

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

BİR GAZBETON FABRİKASINDA DOĞALGAZ MOTORLU
KOJENERASYON SİSTEMİ YATIRIMI İÇİN FİZİBİLİTE
ÇALIŞMASI

İBRAHİM GEZER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2014

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

BİR GAZBETON FABRİKASINDA
DOĞALGAZ MOTORLU KOJENERASYON
SİSTEMİ YATIRIMI İÇİN FİZİBİLİTE
ÇALIŞMASI

İBRAHİM GEZER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
YRD. DOÇ. DR. SALİH ÖZEN ÜNVERDİ

GEBZE
2014

T.R.

**GEBZE INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ENGINEERING AND INSTITUTE OF SCIENCE**

**FEASIBILITY STUDY FOR NATURAL GAS
MOTOR COGENERATION SYSTEM
INVESTMENT IN A AUTOCLAVED AERATED
CONCRETE FACTORY**

IBRAHIM GEZER

MASTER'S THESIS

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS ADVISOR

ASS. PROF. DR. SALIH OZEN UNVERDI

GEBZE

2014



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23.06.2014 tarih ve 2014/37 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 19/09/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan İbrahim GEZER'in tez çalışması Makina Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :Yrd. Doç. Dr. Salih Özen Ünverdi

ÜYE

:Prof. Dr. Alp Er Konukman

ÜYE

:Doç. Dr. Hasan Sadıkoğlu

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu çalışmada gazbetonun yapısı, üretimi ve otoklavlama safhası anlatılmıştır. Kojenerasyon sistem teknolojileri ve avantajları anlatılmıştır. Türkiye de ve dünyada kojenerasyon sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalara örnekler verilmiştir. Türkiye de kojenerasyon sisteminin tarihsel gelişimi anlatılmıştır. Kojenerasyon sisteminin mali ve termal açıdan gazbeton fabrikasına uygulanabilirliği araştırılmıştır. Kojenerasyon sistemi için 6 farklı işletme senaryosu üzerinde durularak minimum geri ödeme süresini veren durum ortaya koyulmuştur. Detaylı fizibilite tablosu oluşturularak mali ve termal hesaplar yapılmıştır. Ayrıca kojenerasyon sistemleri çevresel etkileri ve yasal emisyon sınırlamalarına kadar bir çok açıdan değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gazbeton, Kojenerasyon, Enerji, Enerji Verimliği, Fizibilite.

SUMMARY

Autoclaving step, production and the structure of autoclaved aerated concrete is explained in this study. In addition to this, system technology of cogeneration and its advantages are mentioned. Many examples of studies at cogeneration systems from Turkey and all over the world are carefully examined. The historical development of cogeneration systems in Turkey is researched. The applicability of cogeneration system to autoclaved aerated concrete factory as commercial and thermal way is examined. 6 separate operation scenarios were taken into consideration and the case with the minimum pay-back time was presented for the cogeneration system. By generating some feasibility charts, commercial and thermal calculations are done. Also, legal emission limits, environmental effects of cogeneration systems are evaluated.

Key Words: Autoclaved Aerated Concrete, Cogeneration, Energy, Energy Efficient, Feasibility.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Salih Özen Ünverdi' ye, bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli yöneticilerim M. Murat Sümer ve M. Murat Öran' a, yönetici asistanımız Gamze Bakankuş'a ayrıca göstermiş oldukları desteklerinden dolayı İltıkno İleri Teknoloji Tic. A.Ş' den Emel Esendir hanıma, Barış Mühendislikten Çağdaş Yeşil beye ve son olarak desteğini arkamda her daim hissettiğim sevgili eşim H. Ecem Gezer' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. GAZ BETON VE ÖZELLİKLERİ	5
2.1. Gaz Beton Nedir?	5
2.2. Gaz Beton Yapısı	6
2.3. Gaz Beton Üretimi	7
2.3.1. Gaz Beton Üretiminde Otoklavlama Safhası	8
3. KOJENERASYON	12
3.1. Kojenerasyon Sisteminin Tanıtımı	12
3.2. Kojenerasyon Sistemi Teknolojileri	15
3.2.1. Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemleri	15
3.2.2. Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemleri	16
3.2.3. Gaz ve Buhar Türbinli Kombine Sistemler	17
3.2.4. Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemleri	19
3.3. Kojenerasyon Sistemlerinde Gaz Motorlu Uygulamaların Tercih Nedeni ve Sağladığı Avantajlar	20
3.4. Kojenerasyon Sistemlerinin Uygulama Yerleri	21
3.5. Türkiye'de Yapılan Araştırmalar	22
3.6. Dünyada Yapılan Araştırmalar	25
3.7. Türkiye de Kojenerasyonun Gelişimi	27
4. KOJENERASYON SİSTEMİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİ	30
4.1. Kojenerasyon Sistemi Kapasite Seçimi	30

4.2. Kojenerasyon Sistemi Detaylı Fizibilite Çalışması	31
4.2.1. Yatırım Bilgileri	31
4.2.2. Kabuller	33
4.2.3. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %75 yük durumundaki teknik verileri	34
4.2.4. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin % 75 yük durumundaki senelik işletme değerleri	35
4.2.4.1. Gaz Motoru Ceket Isı Gücü Kullanma Oranı	37
4.2.4.2. İntercooler Isı Gücü Kullanma Oranı	39
4.2.4.3. Egsoz Isı Gücü Kullanma Oranı	39
4.2.4.4. Kojenerasyon sisteminden elde edilen toplam ısıyı kullanma	41
4.2.4.5. Atık Isı Geri Kazınım Buhar Hesapları	42
4.2.5. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %75 yük durumunda senelik işletme gelirleri	45
4.2.6. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %75 yük durumunda senelik işletme giderleri	46
4.2.7. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %75 yük durumunda geri ödeme süresi	47
4.2.8. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %75 yük durumunda birim elektrik maliyeti	48
4.2.9. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %100 yük durumundaki teknik verileri	50
4.2.10. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin % 100 yük durumunda senelik işletme değerleri	51
4.2.11. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %100 yük durumunda senelik işletme gelirleri	52
4.2.12. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %100 yük durumunda senelik işletme giderleri	52
4.2.13. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %100 yük durumunda geri ödeme süresi	53
4.2.14. 1200 kw gücündeki kojenerasyon sisteminin %100 yük durumunda birim elektrik maliyeti	53
4.2.15. Kojenerasyon sisteminin yıllık çalışma gün sayısındaki değişime göre geri ödeme süresinin değerlendirilmesi	54

4.2.16. Çift yakıtlı motor kullanılması durumunda yatırımın geri ödeme süresinin değerlendirilmesi	56
4.3. Altı Farklı Senaryonun İşletme Sonuçları	57
5. KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ	61
5.1. Çevresel Etkileri	62
5.2. Enerji-Çevre-İklim Değişikliği	65
5.3. Gaz Motorlarının Yasal Emisyon Sınırlamaları	66
5.4. Çevresel ve Ekonomik Faydaları	67
6. SONUÇLAR VE YORUMLAR	68
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	73

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

kwh	: Kilowattsaat
€	: Euro
TL	: Türk Lirası
Sm ³	: Standart metreküp
Kg	: Kilogram
h	: Saat
kwth	: Kilowatt termik
Q _C	: Saatte ceketten alınabilecek ısı miktarı
m _{CS}	: Saatte ceket ısısından yararlanılarak elde edilecek su miktarı
c _p	: 1 kg'lık su kütlesinin sıcaklığını 1°C arttırmak için gerekli olan ısı
T _{CÇ}	: Eşanjör çıkışından elde edilmek istenen sıcak suyun değeri
T _{CG}	: Eşanjör girişine verilecek suyun sıcaklık değeri
kw	: Kilowatt
V _{g,NŞA}	: Egsoz gazı hacimsel debisi
ρ _{NŞA}	: Egsoz gazı normal şartlar altında yoğunluk
M _g	: Egsoz gazı kütleli debisi
t _{g,g}	: Egsoz gazı kazan giriş sıcaklığı
t _{g,ç}	: Egsoz gazı kazandan çıkış sıcaklığı
t _{g,o}	: Kazan boyunca ortalama sıcaklık
ρ _{g,o}	: Ortalama sıcaklıkta atık gazın yoğunluğu
V _{g,o}	: Ortalama sıcaklıkta atık gaz hacimsel debisi
cp _{g,o}	: Ortalama sıcaklıkta ısınma ısısı
Q _T	: Kazanda egsoz gazından alınan ısı miktarı
P _i	: Kazan işletme buhar basıncı
T _i	: Kazan işletme buhar sıcaklığı
q _i	: Buhar çıkış entalpisi
T _{bs,i}	: Kazan besisi suyu giriş sıcaklığı
q _{bs,i}	: Kazan besisi suyu entalpisi
q _b	: Birim buhar üretimi için gereken ısı miktarı

M_b	: Alınan ısıya göre üretilebilecek buhar miktarı
$M_{b,n}$	: Blöf ve diğer kayıplar ile birlikte net buhar miktarı
$T_{es,i}$	: Ekonomizer su giriş sıcaklığı
$q_{es,i}$	: Ekonomizer giriş suyu entalpisi
$T_{es,o}$	: Ekonomizer su çıkış sıcaklığı
$q_{es,o}$	: Ekonomizer çıkış suyu entalpisi
Q_e	: Ekonomizerden alınacak ısı yükü
$cp_{g,e}$	: Egsoz gazı ortalama özgül ısısı
Δt_e	: Egsoz sıcaklığı düşüş miktarı (%5 Kayıp)
$t_{e,\zeta}$	: Ekonomizerden egsoz çıkış sıcaklığı
Q	: Kazan ekonomizer sisteminin toplam ısı yükü
mm	: milimetre
%	: Yüzde işareti
G25	: Ortalama asgari değer 25 kgf/cm ²
TCG V12	: 12 silindirli gaz motoru modeli
T1	: Saat 06:00 - 17:00 arası
T2	: Saat 17:00 - 22:00 arası
T3	: Saat 22:00 - 06:00 arası
°C	: Santigrat derece
MW	: Megawatt
AAC	: Autoclaved Aerated Concrete
AIB	: Atık Isı Bedeli
AIK	: Atık Isı Kazanı
AIKBÇ	: Atık Isı Kazanından Saatlik Buhar Çıkışı
AIKBEM	: Atık Isı Kazancı Birim Elektrik Maliyeti
AIKG	: Atık Isıdan Kazanılan Gelir
AIKV	: Atık Isı Kazan Verimi
BASBM	: Bir Günde Akülerden Sağlanan Buhar Miktarı
BBF	: Bakım Birim Fiyatı
BG	: Bakım Gideri
BGBEM	: Bakım Giderleri Birim Elektrik Maliyeti
BOASM	: Bir Adet Otoklavlamada Akülerden Sağlanan Buhar Miktarı
BSP	: Besleme Pompası
BT	: Buhar Türbini

CCHP	: Combined Cooling Heat and Power
CIKY	: Ceket Isı Kullanma Yüzdesi
CSI	: Ceket Suyu Isısı
DBF	: Doğalgaz Birim Fiyatı
DG	: Doğalgaz Gideri
EESM	: Elde Edilen Sıcak Su Miktarı
EI	: Egsoz Isısı
EIO	: Elektrik Isı Oranı
ESK	: Euro Satış Kuru
EYO	: Enerjiden Yararlanma Oranı
FVT	: Faturadaki Vergiler Toplamı
GT	: Gaz Türbini
GYOA	: Günlük Yapılan Otoklavlama Adedi
İ	: İntercooler
İK	: İç Kayıplar
İDSSM	: İhtiyaç Duyulan Sıcak Su Miktarı
K	: Kompresör
KBEE	: Kojenerasyon Üretilen Brüt Elektrik Enerjisi
KGBM	: Kojenerasyon Sisteminden Günlük Alınabilecek Buhar Miktarı
KGÇS	: Kojenerasyon Günlük Çalışma Süresi
KGÇS	: Kojenerasyon Sistemi Günlük Çalışma Süresi
KHK	: Kanun Hükmünde Kararname
KSYT	: Kojenerasyon Saatlik Yakıt Tüketimi
KYÇG	: Kojenerasyon Yıllık Çalışma Günü
KYÇS	: Kojenerasyon Yıllık Çalışma Süresi
KYDT	: Kojenerasyon Yıllık Doğalgaz Tüketimi
MIK	: Maksimum Isıl Kapasite
MikroG	: Mikro Kojenerasyon
MTEF	: Mevcut Tüketilen Elektrik Fiyatı
MWM	: Mechanical Workshop Mannheim
NŞA	: Normal Şartlar Altında
PGÖS	: Proje Geri Ödeme Süresi
SK	: Soğutma Kulesi
SÜNEE	: Saatlik Üretilen Net Elektrik Enerjisi

TEG	: Tüketilen Elektrik Geliri
TG	: Toplam Gelir
TİE	: Tüketilen Isıl Enerji
TİG	: Toplam İşletme Gideri
TİGBEM	: Toplam İşletme Giderleri Birim Elektrik Maliyeti
T1GS	: T1 Günlük Süresi
T1F	: T1 Puant Tarife Fiyatı
T2GS	: T2 Günlük Süresi
T2F	: T2 Puant Tarife Fiyatı
YBEM	: Yakıt Birim Elektrik Maliyeti
YG	: Yağlama Gideri
YID	: Yakıt Isıl Değeri
YO	: Yanma Odası
YOĞ	: Yoğuşturucu
YT	: Yatırım Tutarı
YYBEM	: Yağlama Yağı Birim Elektrik Maliyeti
YYF	: Yağlama Yağı Fiyatı
YYT	: Yağlama Yağı Tüketimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: 2007 - 2035 Dünya pazarında enerji tüketimi.	1
1.2: 2014 yılı enerji bakanlığının enerji yatırımları.	3
1.3: Sektörlere göre enerji tüketimi.	3
2.1: Gazbetonun sembolik gösterimi.	6
2.2: Gazbeton üretim prosesi.	8
2.3: 7 adet otoklavın genel görüntüsü..	9
2.4: Otoklav içi basınç değişim grafiği.	9
2.5: Doymuş buhar kazanından genel görünüm.	10
2.6: 2 adet 80 m ³ hacmindeki akü tanklarından genel görünüm.	10
2.7: Kazan-Otoklav-Akü otomasyon bilgisayar ekran görüntüsü.	11
3.1: Kojenerasyon santralinin genel görüntüsü.	12
3.2: Kojenerasyon ve geleneksel sistemler ile enerji üretimlerinin sankey diyagramıyla karşılaştırılması.	13
3.3: Gaz türbinli bileşik ısı güç santrali.	15
3.4: Ana buhar almalı türbinli bileşik ısı-güç santrali.	17
3.5: Gaz ve buhar türbinli çevrim santral ünite şeması.	18
3.6: Gaz motorlu kojenerasyon sistemi.	19
3.7: Türkiye de kojenerasyon kurulu güç kapasitesinin yıllar içindeki değişimi.	28
3.8: Türkiye de doğalgaz ve elektrik fiyatlarının yıllara göre değişimi.	29
4.1: Gün bazında aktif enerji min-max değerleri grafiği.	31
4.2: ΔT değişimine bağlı olarak geri ödeme süresindeki değişim grafiği.	39
4.3: Bir adet otoklavlama esnasında 0,5 bar basınç aralıklarında kullanılan buhar miktarları grafiği.	41
4.4: Toplam ısı kullanım oranına bağlı olarak geri ödeme süresindeki değişim grafiği.	42
4.5: Atık ısı kazanı bağlantı şeması.	44
4.6: Atık ısı kazanı imalat resmi.	44
4.7: Kojenerasyon sistemi % 75 yük halinde iken işletme verileri.	49
4.8: Kojenerasyon sistemi % 100 yük halinde iken işletme verileri.	54

4.9: Çalışma süresine bağlı olarak % 100 yük halinde iken geri ödeme süresindeki değişim.	55
4.10: Çalışma süresine bağlı olarak % 75 yük halinde iken geri ödeme süresindeki değişim.	55
4.11: Çift yakıtlı kojenerasyon sisteminin % 75 ve % 100 yük halinde iken işletme verileri grafiği.	57
5.1: Sera gazlarının çevresel etkileri.	62
5.2: Atmosferdeki CO ₂ yoğunluğunun tarihsel gelişimi.	63
5.3: Küresel sıcaklık değişimleri.	63
5.4: İklim değişikliğinin buzullar üzerindeki etkisi.	66

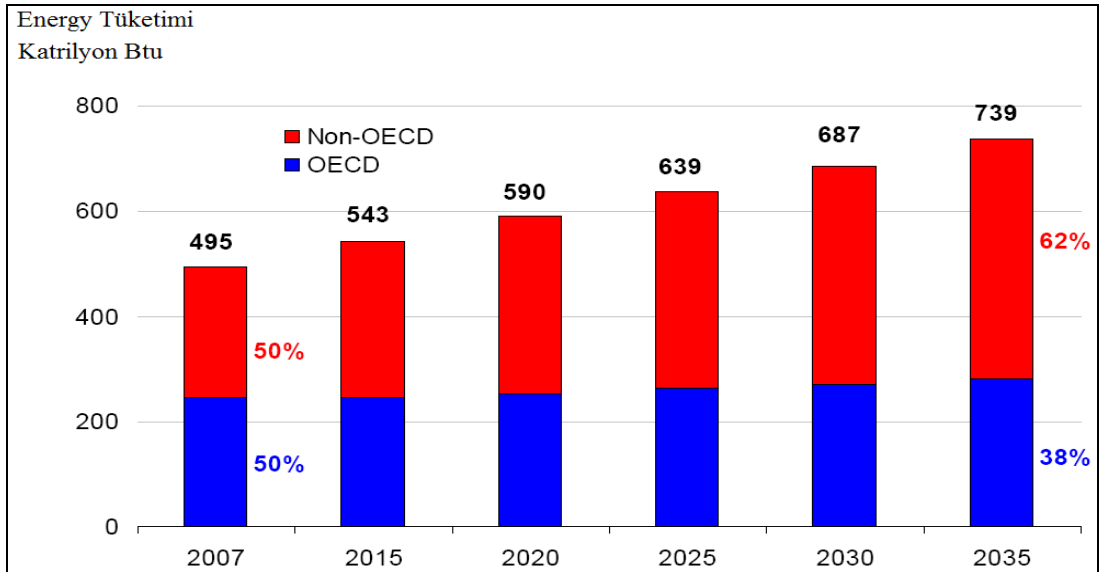
TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
4.1: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali yatırım maliyet tablosu.	32
4.2: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali yatırım hesapları için yapılan kabuller tablosu.	33
4.3: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumundaki katalog değerleri tablosu.	34
4.4: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda senelik işletme değerleri tablosu.	37
4.5: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali için ΔT değişimine bağlı olarak 90°C su eldesi, toplam ısı kullanma oranı ve geri ödeme süresi tablosu.	38
4.6: 1 adet otoklavlama esnasında 0,5 bar basınç aralıklarında kullanılan buhar miktarları tablosu.	40
4.7: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali %75 yük durumunda açığa çıkan ısılardan toplam kullanım oranı tablosu.	41
4.8: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda senelik işletme gelirleri tablosu.	45
4.9: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda senelik işletme giderleri tablosu.	47
4.10: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda geri ödeme süresi tablosu.	47
4.11: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda birim elektrik maliyet tablosu.	49
4.12: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali% 100 yük durumundaki katalog değerleri tablosu.	50
4.13: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda senelik işletme değerleri tablosu.	51
4.14: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda senelik işletme gelirleri tablosu.	52

4.15: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda senelik işletme giderleri tablosu.	52
4.16: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda geri ödeme süresi tablosu.	53
4.17: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda birim elektrik maliyet tablosu.	53
4.18 : Tek yakıtlı kojenerasyon sisteminin tüm senaryoları içeren geri ödeme süresi tablosu.	59
4.19 : Çift yakıtlı kojenerasyon sisteminin tüm senaryoları içeren geri ödeme süresi tablosu.	60

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan Türkiye için enerji hem gerekli hem de stratejik öneme sahiptir. Tüm dünyanın ilgilendiği; enerjinin güvenli ve sürdürülebilir temini, verimli kullanımı, sera gazı etkilerinin azaltılması ve çevrenin korunması, petrol fiyatlarındaki artma eğilimi ve kararsızlıklar, fosil kaynaklardan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru geçiş vb. konulardır. Aynı zamanda Türkiye'nin de ilgilenmesi ve ister istemez politikasında yer vermesi gereken konulardır. Özellikle Cumhuriyetin 100. yılını kutlayacağımız 2023 yılına doğru sanayi toplumundan bilgi toplumuna geçiş hamlelerini sıklaştırmış ve Avrupa Birliği (AB) üyesi bir Türkiye için yapılması öngörülen yatırım gereksinimleri, planlamalar ve enerji modellemeleri gündemi yoğun olarak meşgul etmektedir. Avrupa Birliği'ne geçiş aşamasındaki uyum çabaları ile birlikte liberal, rekabetçi ve şeffaf enerji piyasaları oluşturma hareketleri enerji konularının gündemde kalmasına neden olmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de enerjiye talep artmaktadır ve gelecekte de artmaya devam edecektir. Enerji tüketimi en hızlı büyüme tahmini Asya ve gelişmekte olan ülkelerde, dünya enerji tüketiminin %40'a ulaşması beklenmektedir. Bununla birlikte, sanayileşmiş ülkelerde ise çok daha düşük enerji tüketim artışları beklenmektedir. Çünkü sanayileşmiş ülkelerde olgun enerji tüketicileri yavaş bir nüfus artışı bulunmaktadır.

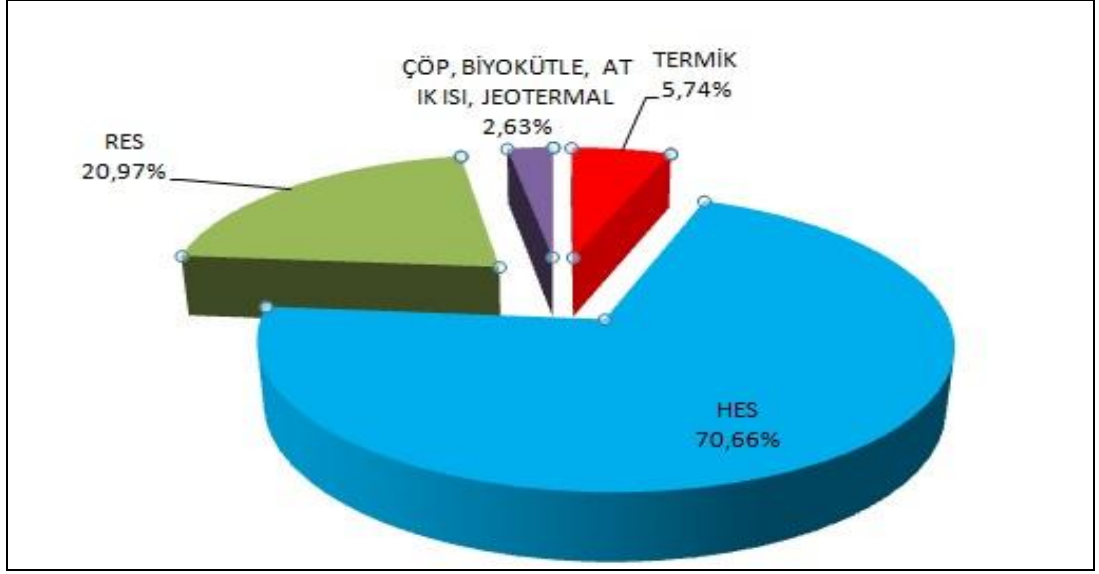


Şekil 1.1: 2007 - 2035 Dünya pazarında enerji tüketimi.

Birçok kurum enerji talebinin projeksiyonları hakkında çalışma yapmaktadır. Günümüze oranla 2030 yılında enerji tüketiminin dünyada %60 ve Türkiye’de ise %100’den daha yüksek oranda artması dile getirilmektedir. Dünyada ve Türkiye’de nüfusun benzer olarak %1 oranında artması beklenmektedir. Artan nüfusun yanısıra, dünyada gelişen ve büyüyen ekonomilerden gelen talep ve ülkemizde ise esas olarak şehirleşme ve sanayileşmeden kaynaklanan talep, söz konusu artışların önemli nedenleri arasındadır. Gelişen ekonomilerde artan gelirler sonucunda araba sahipliğindeki ve elektrik tüketimindeki artış enerji talebindeki artışın diğer nedenleridir. Türkiye’nin hidroelektrik, jeotermal, güneş ve rüzgar enerjisi kullanımı 1990’dan beri artmaktadır. Ancak sistemde doğal gazın büyüyen payı ve ticari olmayan biyokütlenin azalan kullanımından dolayı toplam birincil enerji içinde yenilenebilir enerjinin payı azalmaktadır. Yenilenebilir enerji yasasında yer alan yeni sabit tarifeler ve dağıtım şirketleri için satın alma zorunluluğu yatırımcıları teşvik edebilir. Jeotermal, güneş ve rüzgar enerjisi olanaklarının bulunduğu illere doğalgaz verilirken, ulusal enerji olan ve enerji ithalatını azaltan özellikleri olan söz konusu yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi doğru olacaktır. Yenilenebilir enerji olarak, kalan hidroelektrik potansiyelinin kullanılması ve çevrenin korunmasıyla uyumlu ekonomik hidroelektrik projelerinin hızlandırılması adımları atılmalıdır. Kesikli rüzgar gücünün kullanımından doğan şebeke güvenilirliği ve kararlılığı sorunları değerlendirilmeli ve sorunları en aza indirmenin yolları araştırılmalıdır. Isı üretimi, kojenerasyon ve taşımada yenilenebilirlerin kullanımını teşvik için gerekli politikalar ve ölçüler incelenmelidir. Türkiye’nin kojenerasyon potansiyeli değerlendirilmeli ve gelecek politikalarında maliyet verimliliğine gereken önemi verilmelidir.

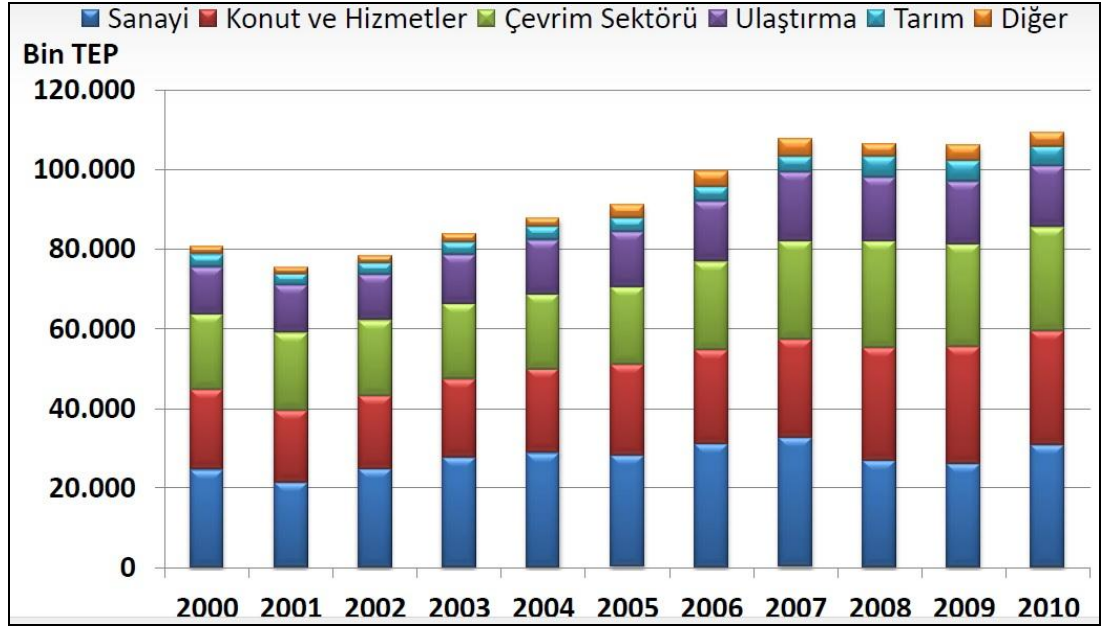
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Ülke olarak kullandığımız enerjinin çok büyük bir kısmını ithal etmek durumundayız. Enerji de dışa bağımlı olmanın getirdiği mali olumsuzlukları minimize etmenin tek yolu enerjiyi verimli kullanmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir. Devlet enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltmak adına yenilenebilir enerji kullanımına yönelik yatırımlarda bulunmaktadır.



Şekil 1.2: 2014 Yılı enerji bakanlığının enerji yatırımları.

Enerji kullanımında sanayinin payı yaklaşık % 25'dir. Ülkede sanayileşme arttıkça bu oran artacaktır.



Şekil 1.3: Sektörlere göre enerji tüketimi.

Bizler sanayi çalışanı mensupları olarak enerjiyi verimli ve tasarruflu kullanmak mecburiyetindeyiz. Bu amaçla birim m³ gazbeton üretimi esnasında kaliteden ödün vermeden minimum enerji nasıl kullanılır, enerji en ucuz nasıl sağlanır sorularına cevap aramak adına kojenerasyon sisteminin uygulanabilirliği sorgulanmaktadır.

Çalışmanın içeriğinde gazbetonun özellikleri, üretimi ve enerjinin harcandığı otoklavlama safhasından bahsedilmiştir. Kojenerasyon sistem teknolojisinin tanıtımı ve bütün kojenerasyon sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Kojenerasyon sistemlerinin avantajları ve tercih edilme nedenlerinden bahsedilmiştir. Kojenerasyon sistemlerinin uygulanan sektörler örnekler verilmiştir. Türkiyede ve Dünyada kojenerasyon ile ilgili yapılan çalışmalar araştırılmıştır. 4. bölümde kojenerasyon sisteminin gazbeton fabrikasına uygulanabilmesi için detaylı fiziblite çalışması ve termal hesaplar yapılmıştır. Son bölümde ise kojenerasyon sisteminin çevreye karşı etkilerinden bahsedilmiş, gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin yasal emisyon sınırlamalarından bahsedilmiştir.

2. GAZ BETON VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Gaz Beton Nedir ?

Gazbeton, hafifletilmiş yapı elemanları üretmek için geliştirilmiş teknoloji ile elde edilen bir malzemedir [Kömürlü ve Önel 2007]. Gazbeton, beton veya geleneksel kâgir malzemelere oranla çok hafif, buna ek olarak, içindeki hava kabarcıkları nedeniyle yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip, bir tür hafif beton olarak yapı sektöründe aranan bir malzemedir. Yapısındaki hava kabarcıkları dolayısıyla bu malzemeye gazbeton adı verilmiştir. İngilizce adı "Autoclaved Aerated Concrete - AAC", Almanca adı "Porenbeton" dur. Gazbeton malzemeler bünyesindeki gözenekleri nedeniyle yapı sahibine yüksek ısı yalıtımı, kolay işlenebilirlik, iş gücü verimliliği ve deprem emniyeti sağlamaktadır. Üretim sürecinde kesinlikle çevre kirliliği yaratmamakta, tehlikeli atıklar oluşturmamakta ve ülke ekonomisi için değerli hammaddeler heba edilmemektedir. Gazbeton ile ilgili ilk patent 1923 yılında İsveçli mimar Johann Erikson tarafından alınmıştır. Bu patent otoklav kürü ve buhar kürü uygulanan betonlarda alüminyum tozu kullanmayı kapsamaktadır. Geniş kullanım özelliği ve hafifliği nedeni ile gazbeton inşaat sektöründe önemli bir yere sahiptir. Tarihi kayıtlara göre ilk ticari gazbeton 1929 yılında İsveç'te üretilmeye başlanmıştır. İsveç kaynaklı olan gazbeton 2. Dünya savaşı sonrasında dünyanın diğer bölgelerine hızla yayılmıştır. Türkiye, Dünya'nın büyük gazbeton üreticisi ülkeleri arasında bulunmaktadır. Gazbeton tüketimi ile Avrupa ülkeleri arasında ilk beşe girmektedir. Ülkemizde, Gazbeton Yapı Malzeme ve Elemanları ilk olarak 1950'lerde İstanbul Hilton Oteli inşaatında, Almanya'dan ithal edilerek uygulanmıştır. 1963'te ilk gazbeton fabrikası İstanbul Pendik'te, Ytong markasıyla üretime geçmiştir [Web 1, 2014]. Gözenekli betonlar genellikle; serbest drenajın gerekli olduğu veya daha az kütle ve ısı geçirgenliği gerektiği yapılarda kullanılmaktadır. En az üç belirgin tipte gözenekli beton üretilmektedir. Bunlar; taze çimento hamuru içinde kimyasal tepkimeler sonucu açığa çıkan gaz baloncukları veya köpük oluşturularak üretilen, doğal ya da sentetik hafif agregaların kullanılmasıyla olağanüstü gözenekli yapıların elde edilmesiyle üretilen, tek tip kaba agrega kullanılıp ince agreganın tamamen çıkarılmasıyla üretilen betonlardır. Bunların üçü de gözenekli betonlar olmasına karşın her biri farklı boşluk yapılarına

sahiptir. Hücresel ve hafif agregâ içeren betonlar çok büyük oranlarda boşluk içerirler fakat bu boşluklar birbirleriyle oldukça bağlantısızdırlar. İnce agregâ kullanılmadan üretilen betonlarda ise büyük oranda birbiriyle içsel bağlantılı boşluklar içeren bir yapı oluşmaktadır.

2.2. Gaz Beton Yapısı

TSE 453 “Gazbeton ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları Standard”ı, gazbeton ve köpük betonu birlikte ele alarak tanımlamıştır. İnce öğütölmüş silisli bir agregâ ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç/çimento) ile hazırlanan karışımın gözenek oluşturucu bir madde ilavesi ile hafifletilmesi ve buhar küreyle sertleştirilmesi ile elde edilen gözenekli hafif beton olarak tanımlamaktadır. Gazbeton, hafifletilmiş yapı elemanları üretmek için geliştirilmiş teknoloji ile elde edilen bir malzemedir. Bir başka tanımla; kum, çimento, sönmemiş kireç, çok düşük konsantrasyonda alçıtaşı ve su karışımına gözenek oluşturucu alüminyum ilave edilmesiyle elde edilmektedir. Milimetrik olarak kesilerek otoklavlarda nihai kristal yapısına ulaşan Gazbeton bu gözenekli yapısı sayesinde iyi ısı yalıtımını sağlayan, hafif, yeterli basınç dayanımına sahip, yangına ve depreme dayanıklı hafif beton grubuna giren bir yapı malzemesidir. Gazbeton’un endüstrileşmiş üretiminde, genellikle silisli agregâ olarak silisçe zengin olan kum, kuvarsit veya uçucu kül, gözenek oluşturucu olarak ise alüminyum tozu veya macunu kullanılmaktadır. [Kömürlü ve Önel 2007]. Gazbetonun sembolik görünümü Şekil 2.1’de verilmiştir [Web 2, 2014].

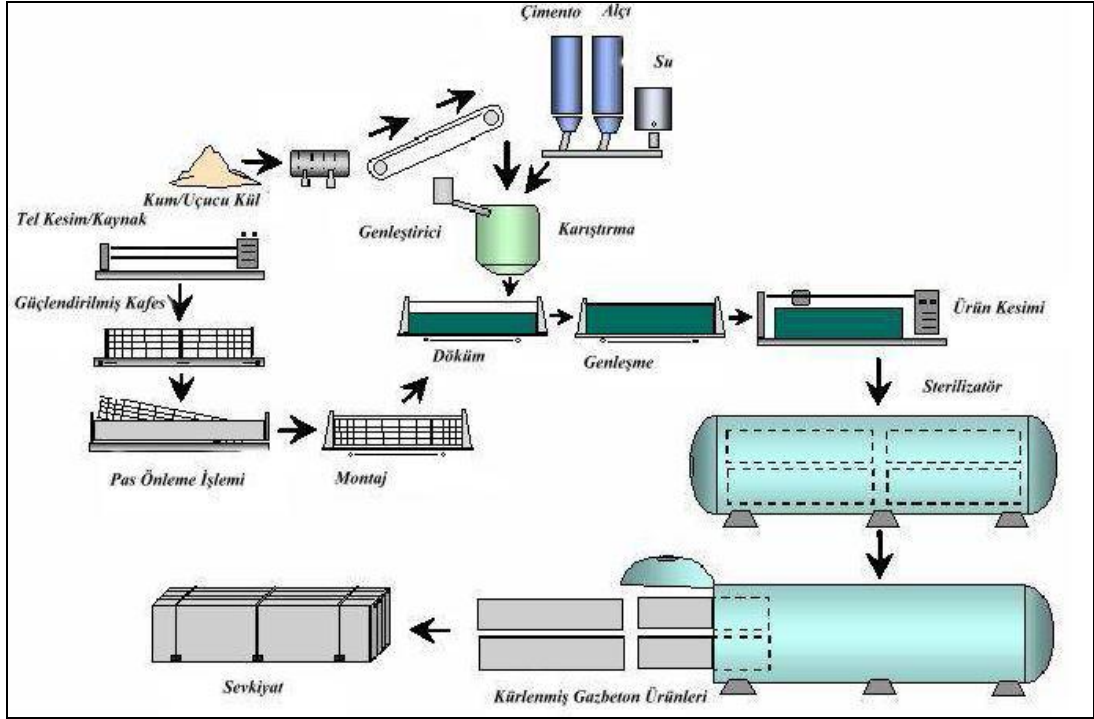


Şekil 2.1: Gazbetonun sembolik simgesi.

Bünyesi yapay olarak hava habbeleri ile hafifletilmiş bu beton, 0,5 ile 1,5 mm arası yuvarlak birbirleri ile bağlantısı olmayan hava gözeneklerinden oluşmaktadır. G25 sınıfı malzemede gözenek hacmi %80, katı madde hacmi %20'dir. Bu özelliği gazbetona yüksek ısı geçirmezlik kabiliyeti kazandırmaktadır. Katı madde miktarı gözenek oranı, birim ağırlığı ve mukavemetini etkilemektedir. Üretim sırasında bu oran kabartıcı madde miktarı ile ayarlanmaktadır. Buhar kürü sonucu malzeme hacim sabitliğine erişmiş olarak ortaya çıkmaktadır. Gözeneklerin arasında irtibat kanallarının olmaması kapiler su emmenin az olmasını sağlar. Yüzeyde gözlenen su emme, kesim yüzeylerinde gözenekli yapının kesim sırasında tahrip olduğundan yüzeysel su emmedir ve malzeme derinliğine su nüfus edememektedir. Gözenekli betonlar genellikle; serbest drenajın gerekli olduğu veya daha az kütle ve ısıl geçirgenliği gerektiği yapılarda kullanılmaktadır.

2.3. Gaz Beton Üretimi

Gazbeton üretiminde; kum, kireç, çimento, alçıtaşı, su ve genleştirici bir madde kullanılır ki böylece üretilen betonda boşluklu bir yapı oluşması sağlanmış olur. Genleştirici olarak alüminyum tozu kullanılmaktadır. Hammaddelerin her birinin ölçülmüş miktarlarının karıştırılmasıyla başlamaktadır. Bu karışımın kalıplara dökülmesiyle birçok kimyasal reaksiyon meydana gelmektedir. Alüminyum tozu, kalsiyum hidroksit ve suyla reaksiyona girerek hidrojen çıkışına sebep olur ve bu hidrojen çıkışı sulu beton içinde baloncuklar oluşturarak hacminin artmasını sağlar ve böylece beton kabararak boşluklu bir yapı kazanır [Web 2, 2014]. Karıştırma işleminden sonra oluşan sulu çimento kalıpların sadece 2/3'ü dolduracak biçimde dökülür ve kabarması beklenir. Sulu kıvamda gazbeton harcı kalıbın 2/3'ü dolacak biçimde dökülür (kabarma oluşmadan önce). Yaklaşık 30 dakika içinde gelişen reaksiyonlar sonucu açığa çıkan hidrojenin oluşturduğu baloncuklar sonucu kabaran, kısmen katılaşmış gazbeton bloğu oluşur. Akıcı kıvamda gazbeton harcının kabarmasıyla kalıbı doldurması ve son adım kesilen blokların buhar kürüne alınmasıdır. Kesilen malzeme otoklavlarda doymuş buhar ile 12 bar basınç altında ve 198 °C sıcaklıkta yaklaşık 9 – 11 saat doymuş buhar kürüne tabi tutulur. Buhar küründen çıkan ürünler, hafif, gözenekli ve yüksek basınç dayanım özelliğine sahip olur. Gazbeton üretim şeması Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2: Gazbeton üretim prosesi.

Priz esnasında uygulanan işleme göre gazbetonlar üç sınıfta üretilir; [Ünverdi, 2006]

- Basınçlı buharda priz yapan gazbeton.
- Yüksek ısıda ve buhar altında priz yapan gazbeton.
- Açık havada priz yapan gazbeton.

2.3.1. Gaz Beton Üretiminde Otoklavlama Safhası

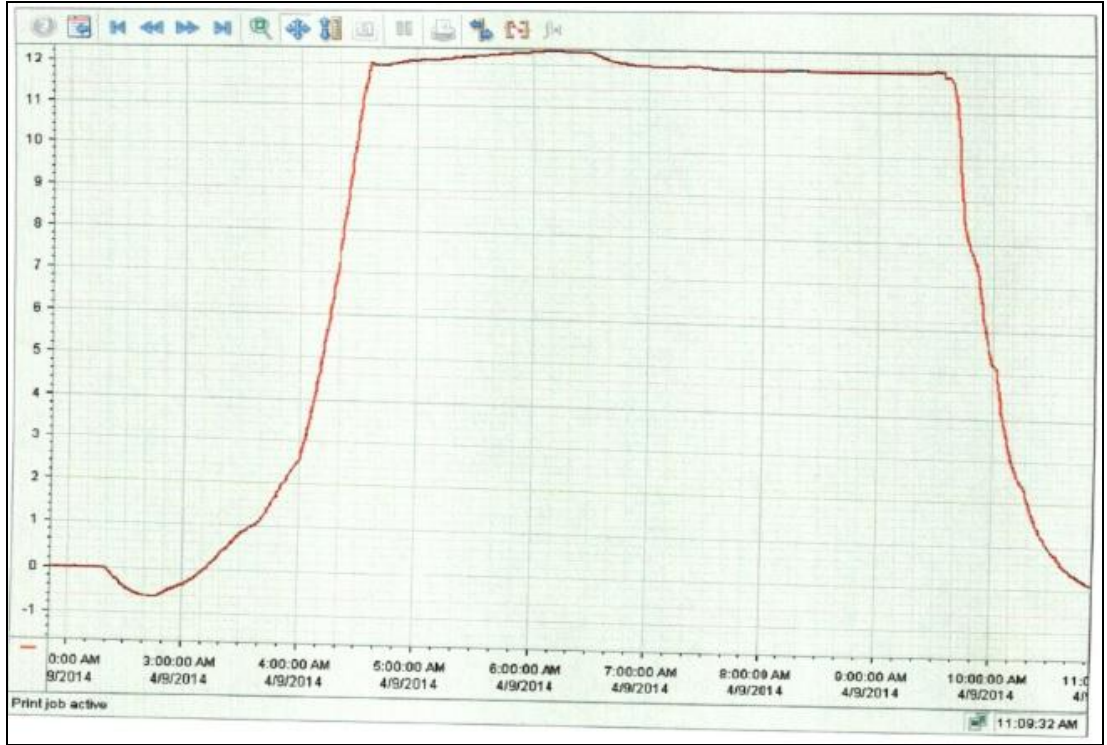
Gazbeton üretimi safhalarının en önemlisi de otoklavlama safhasıdır. Otoklavlama gazbeton üretiminde doymuş buhar kullanılan ve enerji maliyetlerinin en büyük kısmını oluşturmaktadır. Tez kapsamında irdelenecek olan, kojenerasyon sisteminin gazbeton fabrikasına uygulanabilirliği konusu içinde önemlidir. Kojenerasyon sistemi egsoz atık ısısından alınacak buhar, otoklavlama işleminde kullanılacaktır. Bu yüzden otoklavlama işlemini anlatmakta yarar bulunmaktadır.

Otoklav; 2,75 m iç çapında ve 45 m uzunluğunda 12 bar basınç altında çalıştırılan basınçlı kaplara denilmektedir. Türk Ytong San. A.Ş. Pendik fabrikasında 7 adet otoklav bulunmaktadır.



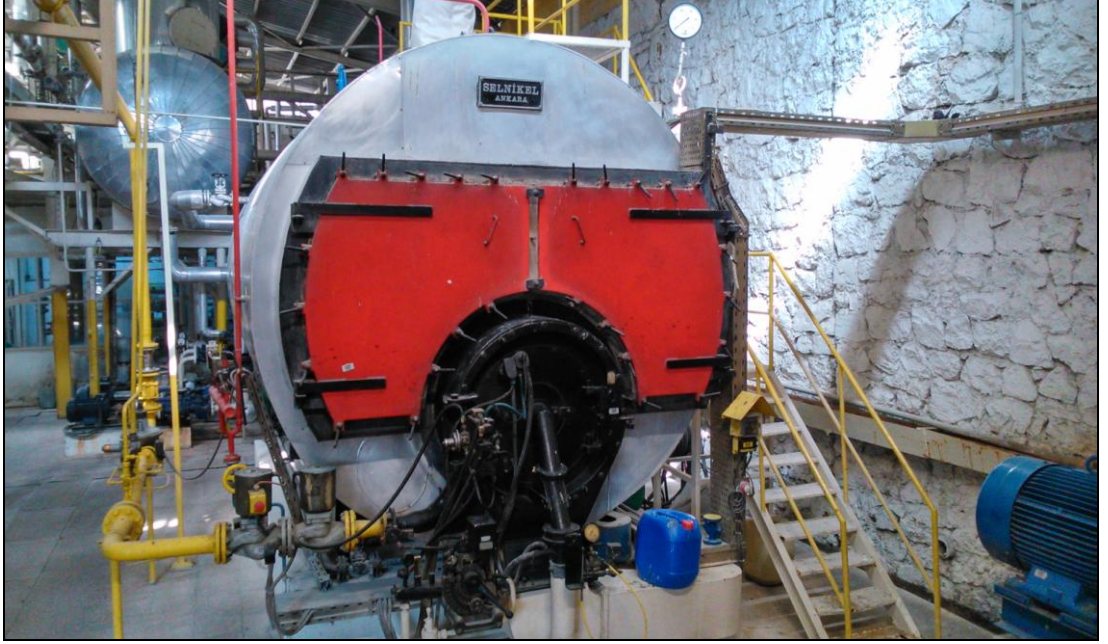
Şekil 2.3: 7 adet otoklavın genel görüntüsü.

Otoklavların içine pişirilmek için alınan gazbeton yarı mamülü ön ısıtma, vakumlama, vakum kırma, basınç yükseltme, yörünge ve tahliyeden oluşan 6 aşamalı işleminden geçirilmektedir. 6 aşamalı otoklavlama işlemi esnasında otoklav içerisindeki basınç değişim grafiği şekil 2.4 de gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Otoklav içi basınç değişim grafiği.

Malzemenin niteliğine göre otoklavlama reçeteleri 9 -11 saat s urmektedir.12000 kg/h lık doymuş buhar kazanında üretilen buhar otoklavlara yönlendirilmektedir.



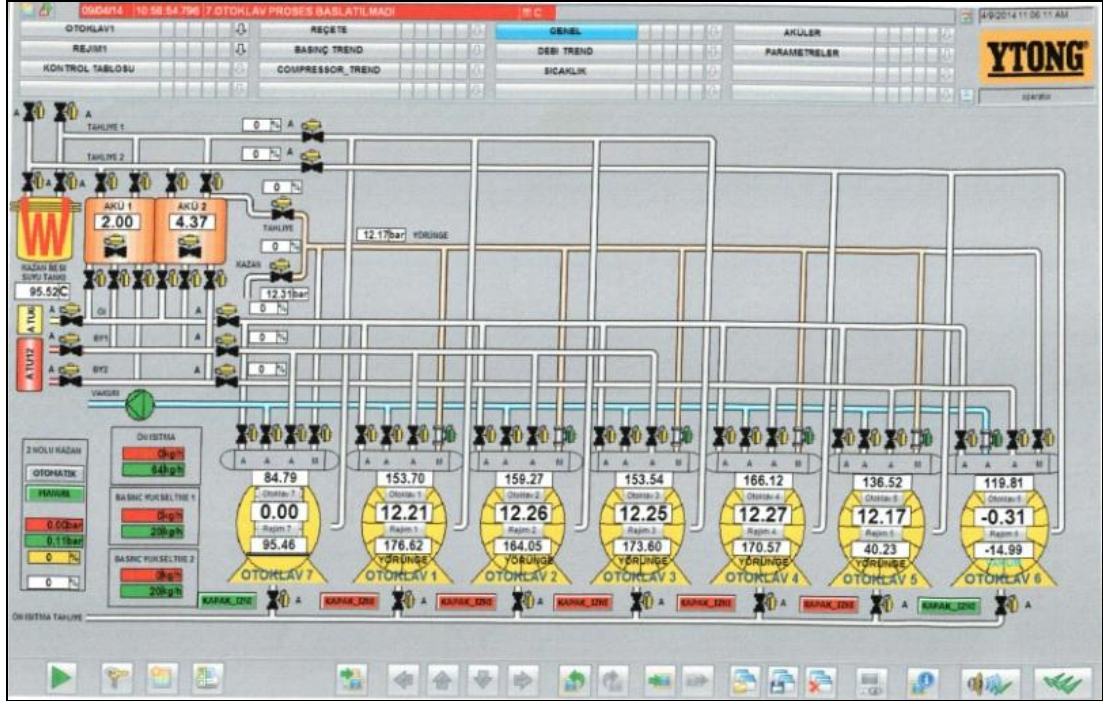
Şekil 2.5: Doymuş buhar kazanından genel görünüm.

Daha sonra otoklavlardan tahliye edilen buhar 2 adet 80 m³ l k akümülatör tanklarına doldurulur. Akülerde depolanan buhar tekrar tekrar otoklavlama işlemlerinde kullanılabilmektedir.



Şekil 2.6: 2 adet 80 m³ hacmindeki ak  tanklarından genel görünüm.

Kazan - Otoklav - Akü sisteminde akümülatör tanklarının varlığı enerji tasarrufu anlamına gelmektedir. Aynı zamanda Kazan - Otoklav - Akü sisteminin farklı bir görseli olarak kazan-otoklav-akü bilgisayar ekran görüntüsü Şekil 2.7 de verilmiştir.



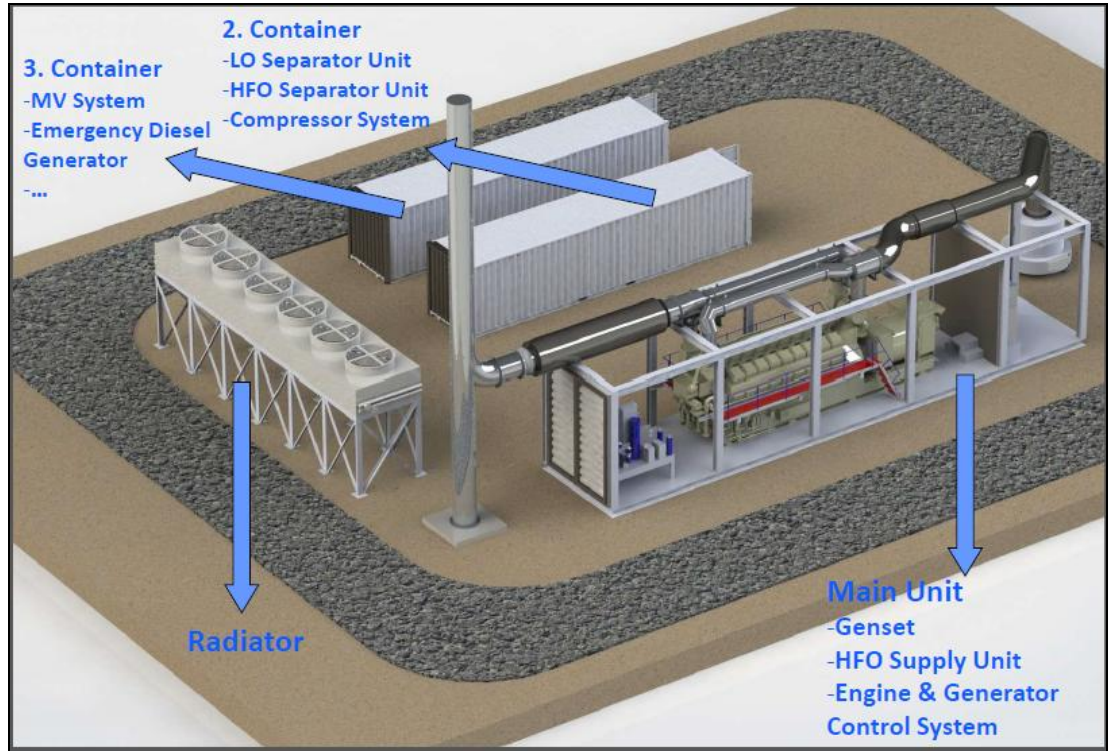
Şekil 2.7: Kazan-Otoklav-Akü otomasyon bilgisayar ekran görüntüsü.

Otoklav içindeki basınç vakum kırma ve basınç yükseltme safhalarında 3 bar basınca kadar olan kısmı aküler içindeki buhardan yararlanıldığından dolayı kojenerasyon sisteminden elde edilen buhar akü tanklarına yönlendirilecek ve enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır. Akülerden 3 bar basınca kadar yararlanma mantığı ise gazbeton otoklavlama tekniğinden gelmektedir.

3. KOJENERASYON

3.1. Kojenerasyon Sisteminin Tanıtımı

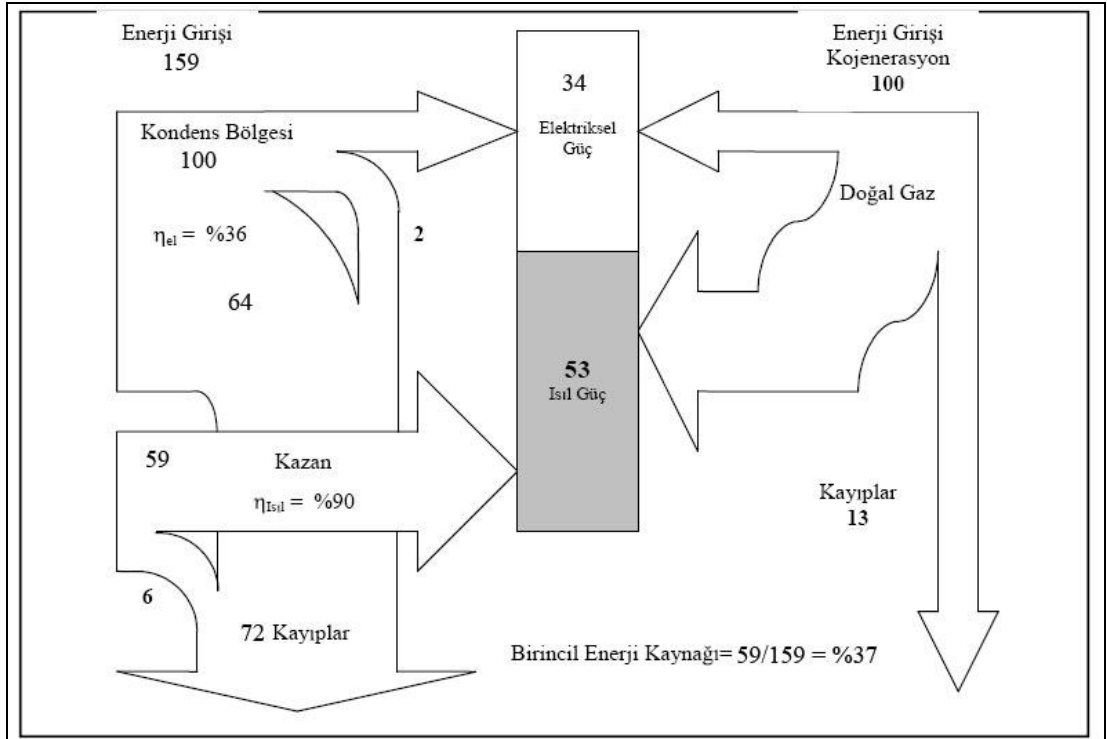
Kombine çevrim (Combined Heat and Power) ve kojenerasyon teknolojisi, bileşik ısı ve güç sistemini ortaya koymuştur. Bileşik ısı güç sisteminin temel özelliği birincil yakıttan elektrik ve ısıнын bütünleşik (entegre) biçimde elde edilmesi, hem güç hem de ısı talebinin birlikte karşılanması anlamına gelmektedir. [Ergezen, 2001]. Bileşik ısı güç santralleri gaz türbinleri ve motorları olarak iki farklı sistemden oluşmaktadır.



Şekil 3.1: Kojenerasyon santralının genel görüntüsü.

Elektrik ve ısı merkezi bir santralde üretilip kullanım yerlerine taşınabilir veya santral doğrudan kullanım yerinde kurulabilir. Bu sistemler ısı ihtiyacı olan tesislerde kullanıldıklarından toplam çevrim verimi %80 - %90 mertebelerine çıkabilmektedir. Sistemin elektrik şebekesi ile paralel bağlı çalışabilmesi yüzyılımızın ilk yarısında basit örnekleri görülen bu tür uygulama ucuz yakıt döneminde terk edilmiş olup 1973-1979 yapay petrol bunalımlarının ardından geliştirilerek yeniden uygulamaya

aktarılmıştır. Bileşik ısı güç çevrimi kömür, petrol türevi yakıtlar, doğalgaz ve biyokütle yakıtlar gibi çeşitli yakıtlarla yapılabilmektedir. Klasik buhar türbinli termik santralde kondenser ünitesinden atılan ısı atılmak yerine teknolojik ısı olarak ısıtma veya sanayi amaçlı kullanımı klasik santrali bileşik (ya da entegre) santrale dönüştürmektedir. Kojenerasyon sistemleri genellikle yüksek sıcaklıkta çalışan çevrimler için uygundur. Bileşik çevrimde tüketiciye ısı ve elektrik ayrı ayrı aynı tesisten verilmektedir. Tek bir tesiste elektrik üretilirken ortaya çıkan atık ısı ek bir donanım ile yeniden elektrik üretiminde kullanılması kombine çevrim olmaktadır. Kombine çevrim santralleri esnek işletmeciliğe olanak tanımakta istenilirse türbinden çekilecek ara buhar bölgesel ısıtmada ya da sanayide teknolojik ısı olarak kullanılmaktadır. Ancak kombine çevrim için santralden dışarı ısı verilmesi zorunlu değildir. Böylece ısı ve mekanik enerjinin ayrı ayrı üretildiği klasik tesislerin toplam faydalı enerji yönünden yararlanma oranı %55–65 civarında olmasına karşılık kojenerasyon tesislerinde %80–90 civarındadır. Kojenerasyon ve geleneksel sistemler ile enerji üretimlerinin sankey diyagramında gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: Kojenerasyon ve geleneksel sistemler ile enerji üretimlerinin sankey diyagramıyla karşılaştırılması.

Şekil 3.2'de görüleceği gibi, kojenerasyon sistemi, tüm ısı makinelerinin çevreye vermek zorunda oldukları atık ısıdan yararlanmayı amaçlar. Bir ısı makinesinde üretilen işin (W), alınan ısı enerjisine (Q_H) oranı, ısı verim, η 'dir.

$$\eta = W / Q_H \quad (3.1)$$

Bu ısı verime kojenerasyon uygulamalarında elektrik çevrim verimi adı da verilmektedir. Çevreye aktarılan ısı enerjisi Q_L , kojenerasyon sisteminde kullanılan ısıdır. Böylece enerjiden yararlanma oranı (EYM) maksimum düzeye çıkartılmaktadır.

$$EYM = W + Q_L \quad (3.2)$$

EYM' ye kojenerasyon uygulamalarında toplam verim de denilmektedir. Her ne kadar EYM, termodinamiğin birinci yasasına göre 1 olsa da, uygulamada atık ısının tümünden yararlanılamadığından bu mümkün olmamaktadır. Bu atık ısıdan doğrudan ısı olarak yararlanılmadıkça ısıdan faydalanma verimi %35–55 aralığında olan uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bileşik çevrimde Ambarlı Çevrim Santrali dünyadaki en iyi örneklerinden biri olmasına rağmen bu verim değeri %50 civarında kalmaktadır. Oysa atık ısıdan tekrar ısı olarak faydalanılan kojenerasyon sisteminde toplam sistem verimini yani Enerjiden Yararlanma Oranını (EYO) %80-90'lara dek çıkarmak mümkün olmuştur. Bileşik ısı güç santrallerinde üretilen işin(elektriğin) faydalanılan ısıya oranı, elektrik ısı oranı (EIO) diye tanımlanır. Termodinamiğin birinci yasası uyarınca ısı verimle de gösterilebilir. EIO, kojenerasyon sisteminin önemli özelliklerinden biridir.

$$EIO = W / Q_L = \eta / (1 - \eta) \quad (3.3)$$

Türbinlerde ise genellikle EIO' nın tersi ($1 / EIO$) olan ısı oranı temel parametrelerden birisi olarak verilir.

$$\text{Isı Oranı} = Q_L / W = (1 - \eta) / \eta \quad (3.4)$$

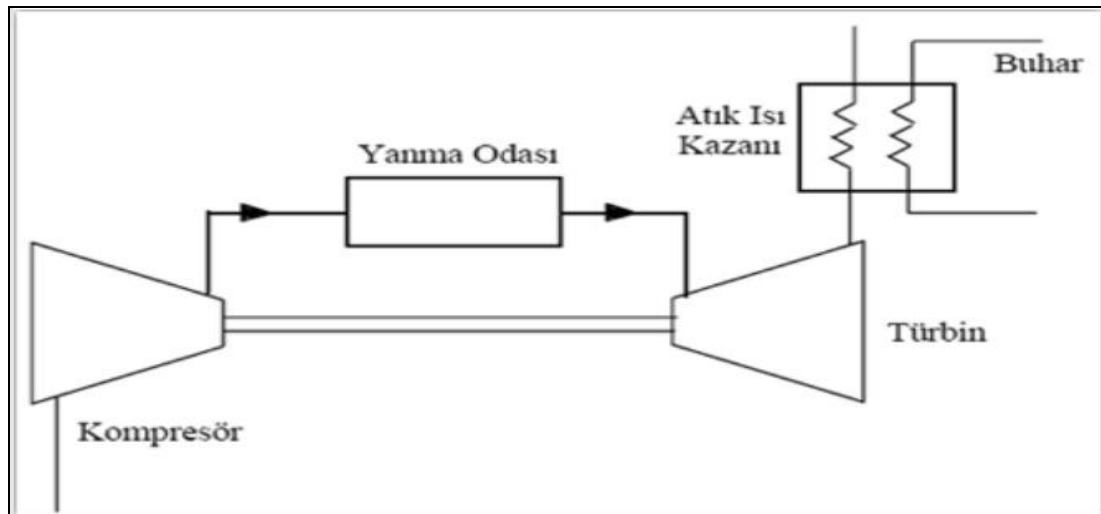
3.2. Kojenerasyon Sistemi Teknolojileri

Kojenerasyon sisteminin seçimi için çeşitli alternatifler bulunmaktadır. Bu alternatifleri şöyle sıralayabiliriz.

- Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemleri
- Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemleri
- Gaz ve Buhar Türbinli Kombine Sistemler
- Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemleri

3.2.1. Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemleri

Gaz türbinli bir bileşik ısı-güç santrali Şekil 3.3 de gösterilmiştir. Gaz türbininden çıkan sıcak gazlar bir atık ısı kazanında sıcak su veya buhar üreterek proses ısını sağlar. Gaz türbinlerinin boyutları küçük güç/ağırlık oranları yüksektir. Çabuk devreye girer ve bakımları kolaydır. Gaz türbinlerinde doğalgaz, LPG, nafta ve sıvı yakıtlar kullanılabilir. Sıvı yakıtlar yakıldığında yakıtın sodyum vanadyum tuzlarından arındırılması gerekmektedir. Gaz türbinleri kojenerasyon uygulamaları için 5 - 30 MW güç aralığında kullanım bulmaktadır. Gaz motorları da daha küçük güçlerde, yurdumuzda da özellikle 1 MW seviyelerinde uygulanmaktadır [Web 4, 2014].

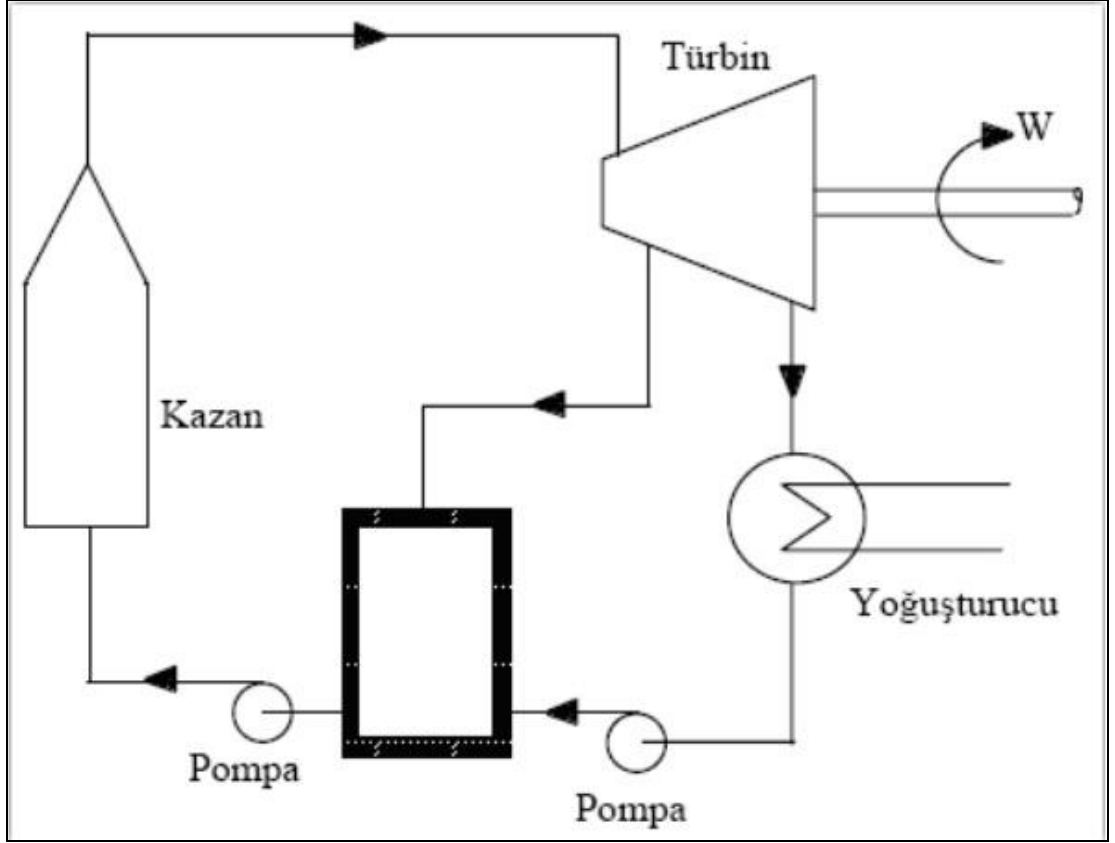


Şekil 3.3: Gaz türbinli bileşik ısı güç santrali.

Gaz türbinli kojenerasyon sistemleri, son yıllarda doğalgazın büyük çapta kullanılabilir olması, teknolojinin hızlı gelişme göstermesi, tesis kurma maliyetinin önemli ölçüde azalması ve daha fazla çevre dostu formunda çalışmaya bağlı olarak büyük bir gelişme kaydetmiştir. Ayrıca bir projenin geliştirilmesi için geçen süre daha aza inmiş ve donanımda modüler yolla gönderilebilir hale gelmiştir. Gaz türbininin çalışmaya başlangıç süresi kısadır ve kesintili işletme için esneklik sağlar. Düşük bir ısı değeri kazanım verimine sahip olmasına rağmen, daha yüksek derecelerde daha fazla ısı elde edilebilmektedir. Isı çıkışı kullanıcının ihtiyacından fazla ise, ek yakıtı oksijen yönünden zengin egzoz gazıyla karıştırarak temel çıkışı daha verimli hale getirecek ek doğalgaz yapmak mümkündür. Diğer bir yaygın kullanım alanı da egzoz gazının have ile karıştırılarak direkt kurutma uygulamalarında kullanılmasıdır. Bu işlemler sayesinde toplam çevrim %80 seviyelerini yakalayabilmektedir [Web 4, 2014].

3.2.2. Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemleri

Buhar türbinli santraller kuruluşun ısı isteminin elektrik isteminden fazla olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Şekil 5 de ara buhar almalı türbin uygulaması gösterilmiştir. Kazanda üretilen buhar, türbinde genişleyerek elektrik üretir. Türbin çıkış basıncı proses için gerekli sıcaklığa karşı gelen doyma basıncıdır. Bu basınçta yoğunlaşan su buharı proses ısını sağlar. Karşı basınçlı türbin, ısı ve elektrik istemlerinin zamanla ve birbirine oranla değişmediği durumlarda, ara buhar almalı türbin ise ısı gereksiniminin elektriğe göre değişken olduğu durumlarda seçilir. Belirli bir santral için üretilen elektrik ve ısı ile tüketilen enerji miktarları, çevrimin termodinamiğin birinci yasasına göre çözümlemesini yaparak elde edilebilir. Diğer güç kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, buhar türbinleri kullanmanın en önemli avantajı her zaman kullanılan yakıtlar kömür, doğalgaz, benzin, ve biomass gibi alternatif yakıtlarında bulunduğu birçok seçenek sunmasıdır. Isı arzının optimize edilmesi için çevrimin güç üretim verimliliğinden fedakarlıkta bulunabilir. Ters basınçlı kojenerasyon santrallerinde, büyük soğutma kulelerine ihtiyaç duyulur. Buhar türbinleri çoğunlukla elektrik talebinin 1 MW ile birkaç 100 MW arasında olduğu tesislerde kullanılmaktadır. Sistemin ataletine bağlı olmakla birlikte, kesintili enerji talebinin olduğu tesisler için uygun değildir [Web 4, 2014].

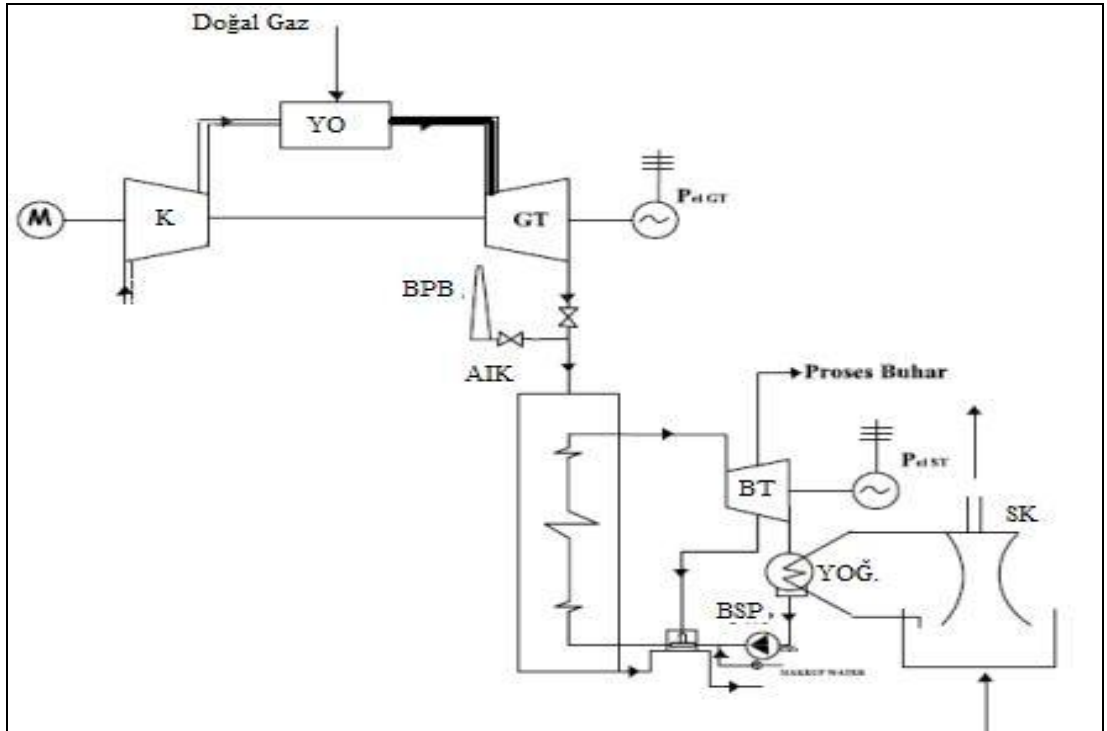


Şekil 3.4: Ana buhar almalı türbinli bileşik ısı-güç santrali.

3.2.3. Gaz ve Buhar Türbinli Kombine Sistemler

Kojenerasyon tesislerinin basit çevrimdeki sistemlerden daha yüksek verimle çalışmasının başlıca nedeni egzoz gazlarından faydalanarak ikinci bir enerji üretmesidir. Basit bir çevrimde, sadece elektrik üreten gaz türbini ya da motor, enerjinin % 30-40'ını elektriğe çevirirken; kojenerasyon sisteminde dışarıya atılacak ısının büyük kısmı kullanılabilir enerjiye dönüşmektedir. Gaz türbini, havayı sıkıştırıp, gaz veya sıvı yakıtı yakarak elektrik jeneratörünü döndüren sistemdir. Gaz türbininden çıkan egzoz gazları, sıcaklığı çok fazla olduğundan, atık ısı kazanında değerlendirilip yüksek verimde ısı enerjisi elde etmede kullanılmaktadır. Kabul edilen ısıl – güç (kojenerasyon) çevrim santral ünitesinin şeması Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Seçilen modelde, kompresör, yanma odası, gaz türbini, ısı geri kazanım buhar jeneratörü, buhar türbini, pompa ve yoğuşturucu kullanılmıştır. Kompresör bölgesinde sıkıştırılan hava sisteme gönderilmekte ve türbinde yanma sonucu oluşan atık gazlar gaz türbininin miline tahrik vermektedir. Gaz türbini mili bu tahrik ile dönmeye başlamakta ve kendisine bağlı gaz türbini jeneratörünün milini

döndürerek elektrik üretimini gerçekleştirmektedir. Gaz türbinindeki yanma sonucu oluşan atık gazlar, gaz türbininden çift basınçlı (yüksek ve alçak basınç) Atık Isı Kazanı sistemine gönderilmektedir. Gaz türbininden gelen atık gaz atık ısı kazanına girmekte ve bu sistemde buhar elde edilmektedir. Atık ısı kazanındaki atık gazlar, sistem ve bağlantılı bölgelerde (kızdırıcı, buharlaştırıcı, ekonomizer vb.) yüksek ve alçak basınç olmak üzere suyun buhar olarak elde edilmesini sağlar. Atık gazlar, AIK'dan geçerek bir baca yoluyla çevreye salınır. AIK sisteminde oluşan yüksek basınç buhar ve alçak basınç buhar buhar türbinine gönderilir. Buhar türbinine gönderilen yüksek ve alçak basınçtaki buhar, türbinin milini tahrik eder. Buhar türbinin milinin dönmesiyle de jeneratör tahrik edilmiş olur. Buhar türbininden çıkan buhar yoğuşturucuda yoğuşturularak, besleme suyu pompalarıyla tekrar sisteme geri beslenir. Buhar türbininden çıkan düşük basınçlı buhar ise borular vasıtasıyla termik santralin çevresindeki yerleşim bölgeleri için bölgesel ısıtma veya endüstriyel amaçla kullanılmak üzere gönderilir [Rahim ve Gündüz, 2013].



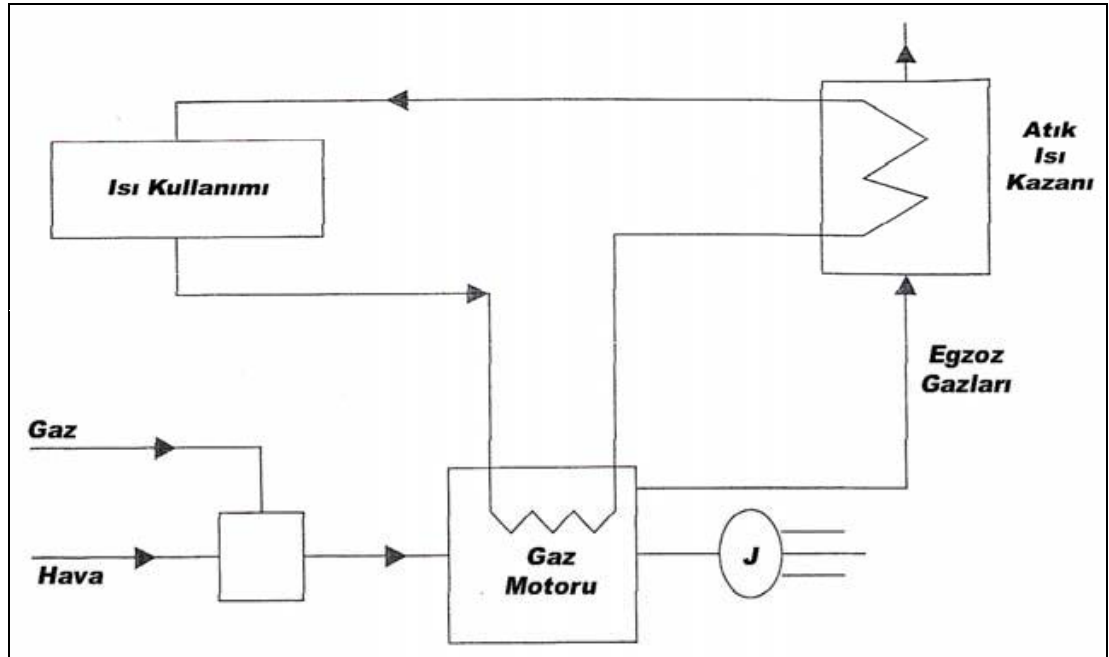
Şekil 3.5: Gaz ve buhar türbinli çevrim santral ünite şeması.

3.2.4. Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemleri

Günümüzde gaz motorlarının kullanımı giderek artmaktadır. Gaz motorları özellikle 3.5 MW' ın altındaki güçlerde türbinlere göre daha verimli bir çevrimle çalışmaktadır. Bir gaz motorunda %40 elektrik, %50 ısı eldesi mümkündür. Gaz motorunda yakıt ve yanma havası karbüratörde karıştırılıp sıkıştırılır. Sıkıştırılan karışım buji vasıtasıyla ateşlenerek yanma sağlanır ve motor mekanik güç üretir. Yakıt olarak genelde doğal gaz kullanılır. Fakat alternatif yakıt olarak biyogaz, kanalizasyon gazı, çöplük gazı, LPG, propan, rafineri gazı, kok gazı kullanılabilir. Bu yakıtların kullanılabilmesi için de aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekir;

- Gazın kalorifik değeri belli bir seviyenin altında olmaması gerekir.
- Motorda vuruntu olmasını engelleyecek oktan derecesine sahip olmalıdır.
- İstenmeyen bileşenler, tanınmamış değerlerin altında olmamalıdır.

Atık arıtma tesislerinde kanalizasyon gazı (sewageas), çöp depolama tesislerinden çöplük gazı (Landfill gas) ve benzer şekilde biogaz elde edilebilmektedir. Atıklardan elde edilen bu gazlar elektrik ve ısı üretmek için doğrudan kullanılabilir.



Şekil 3.6: Gaz motorlu kojenerasyon sistemi.

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, klasik (konvansiyonel) sistemin toplam verimi yaklaşık % 58 civarında iken kojenerasyon tesisinin verimi % 90’a kadar çıkabilmektedir. Bu iki durum karşılaştırılırsa yakıtın enerjisinden kojenerasyon tesisinde yaklaşık % 30 civarında daha fazla faydalanma imkanı olduğu görülmektedir. Ayrıca aynı anda ısı ve elektrik enerjisi ihtiyacı olan sistemlerde kojenerasyon tesisi kurulduğunda sistemin işletme ve ilk yatırım maliyetleri önemli miktarda azaltılabilmektedir.

3.3. Kojenerasyon Sistemlerinde Gaz Motorlu Uygulamaların Tercih Nedeni Ve Sağladığı Avantajlar

En yüksek miktarda elektriği üretebilecek, (elektrik ısı oranı 0,8) toplam %45’e varan elektrik çevrim verimi ile elektrik tüketiminin ısı tüketimine oranla daha yüksek olduğu durumlarda seçilmesi uygun olan çözüm alternatifleridir. Bu özellikleri ile gaz motorları elektrik ihtiyacının yanı sıra, ısıtma ve/veya soğutma amaçlı ısı enerjisi gereksinimi duyan; toplu konut, tatil köyleri, oteller, yüzme havuzlu spor kompleksleri, üniversite kampüsleri gibi uygulama alanlarında çok uygun çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır.

- Toplam çevrim verimi, %85 ile %91 arasında değişen türbinli sistemlerle karşılaştırıldığında, türbinli CHP (Combined Heat and Power – Bileşik ısı ve güç) sistemlerinde elektrik çevrim verimi arttıkça toplam çevrim veriminin önemli miktarda düştüğü görülmektedir.
- Fakir karışım veya katalizörlü yakma sistemlerinin çevre dostu temiz doğal gazla kombinasyonu sayesinde, çok düşük zararlı emisyon seviyesi yakalanabilir. Modern fakir karışım yanma sistemlerine sahip motorlar NOx emisyonlarını azaltmak için katalizöre ihtiyaç duymaksızın, binlerce saat izin verilen emisyon değerlerinin altında çalışabilmektedir.
- Kısmi yük verimlilikleri ve çok modüllü konfigürasyon, gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin en esnek CHP sistemi yapmaktadır. Kısmi yükte çalışma durumunda verimin önemli miktarda etkilenmemesi ve modüllerin gerektiğinde sırayla devreye girip çıkma imkânları, sistemin elektrik ve ısı talebinde gün içinde olagelen talep değişikliklerini ve EIO değişimlerini rahatça telafi etmesine izin vermektedir. Bu da gün bazında enerji maliyetlerinin en aza indirilmesine yardımcı olmaktadır.

- Kısa zamanda devreye alınıp, kısa zamanda devre dışı bırakılabilmesi, bir kolaylıştır. Aynı zamanda, gaz motoru, tesisin az devre elemanı içermesinden dolayı, diğer sistemlere göre daha kısa zaman sürelerinde tesis edilebilmesi ve tesis iç tüketimlerinin az olması, gaz motoruna yıllar boyu %98'in üzerinde bir emre amadelik oranı sağlar.
- Gaz motorları denilince, yakıt olarak ilk önce doğalgaz akla gelmekte fakat atık arıtma tesislerinden kanalizasyon gazı (Sewage gas), çöp depolama tesislerinden çöplük gazı (Landfill gas) ve benzer şekilde biyogaz, kok gazı vb. yakıtlarda kullanılabilir. Üstelik atıklardan elde edilen bu gazlar elektrik ve ısı üretmek için direkt olarak kullanılabilir. Bunların direkt olarak motorlarda yakılmasıyla, değerlendirilmeleri için önce yakıp buhar üretmek, bununla da bir buhar türbini çevirmek gibi ara işlemler gerekmemektedir.

3.4. Kojenerasyon Sistemlerinin Uygulama Yerleri

Kojenerasyon tesisleri, en gelişmiş ticari enerji üretim sistemi olarak kentsel yerleşimler ve sanayi kesiminde birçok uygulama alanı bulmaktadırlar. Avrupa ülkelerinin çoğu kojenerasyon teknolojilerini birçok farklı projede kapsamlı olarak uygulamaktadırlar. Kojenerasyon tesisleri birçok farklı sanayide uygulama olanağı bulurlar. Bu sanayilerin genellikle enerjiye aynı zamanda hem elektrik, hem de ısı olarak ihtiyaçları vardır. Kojenerasyon tesislerinden yararlanan birçok sanayi kuruluşunun büyük miktarlarda doymuş veya kızgın buhar ihtiyaçları bulunmaktadır. Bu tip sanayilere örnek olarak petrol rafinerileri, petrokimya kompleksleri, kimya tesisleri, tekstil boyama tesisleri, kâğıt ve selüloz işleme tesisleri, ağaç işleme tesisleri, gıda üretim tesisleri, gübre tesisleri, vs. verilebilir. Bazı sanayilerin üretim hatlarında ürün kurutma maksadı ile büyük miktarlarda sıcak havaya ihtiyaçları vardır. Bu tip sanayilere tuğla üretimi, seramik veya vitrifiye üretimi örnek gösterilebilir. Kurutma veya ısıtma maksadı ile sürekli sıcak havaya ihtiyacı olan herhangi bir sanayi dalı kojenerasyon tesislerinden yararlanabilir. Gıda şoklama tesisleri, soğutma tesisleri, et, balık, tavuk veya sebze gibi gıdaların korunmasına yönelik büyük soğuk depolar gibi büyük miktarda soğuk havaya veya suya ihtiyacı olan bazı sanayiler absorpsiyon soğutuculardan yararlanabilirler. Absorpsiyon soğutucular asgari miktarda elektrik tüketerek kojenerasyon tesislerinde atık ısıdan

Üretilen buhar veya sıcak su vasıtasıyla soğuk su üretirler. Kojenerasyon tesisleri aynı zamanda kentsel yerleşimlerin ısıtma ve soğutma maksadı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Kent veya uydu yerleşimleri aynı zamanda hem elektrik hem de ısıya ihtiyaç duyarlar genel olarak kojenerasyon tesislerinin uygulandığı yerlerdir [İster, 2006].

Sanayide;

- Tekstil
- Kâğıt
- Seramik
- İlaç
- Yiyecek
- Madencilikte

Süreçte;

- Doğrudan Boyama
- HP Buhar, LP Buhar
- Sıcak Su
- Bölgesel Soğutma
- Bölgesel Isıtma

3.5. Türkiye’de Yapılan Araştırmalar

Kırsal Kesimde Kurulabilecek Doğalgaz Yakıtlı Otoprodüktör Kojenerasyon Santralleri zerine Bir Araştırma isimli Doktora Tezi çalışmasında, Türkiye’nin elektrik enerjisi üretiminde özel sektör olarak büyük katkısı olan otoprodüktör kojenerasyon santralleri tanıtılmış, kullanılan sistemler akış diyagramları halinde sunulmuş, teknik ve ekonomik değerlendirmelerde bulunulmuştur. Elde edilen verilere göre teknik ve ekonomik analizler yapılmış, bilgisayar simülasyon programı hazırlanmıştır. Simülasyon programı sonuçları gerçek santral verileri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca hazırlanan programın kojenerasyon santrali fizibilite raporu hazırlanması açısından uygun olduğu belirlenmiştir. Kojenerasyon Sistemleri ve Bir

İşletmenin İhtiyacını Karşılacak Kojenerasyon Sisteminin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında, Kojenerasyon sistemi ile elektrik ve ısınin beraber üretilmesi ile ilgili iki farklı uygulamanın üzerine durulmuştur [Çalışıcı, 2005]. Bu uygulamaların ilki, gaz türbinli kojenerasyon sistemleri; eğer ısı enerjisine elektrik enerjisinden daha fazla ihtiyaç duyuluyorsa bu sistem seçilir. Bu sistemler 4,5 MW ile 20 MW arasında çalışırlar. İkinci uygulama ise, gaz motorlu kojenerasyon sistemleridir. Bu sistemler 100 kW ve 3 MW'lık güç aralığında çalışırlar ve elektrik enerjisine fazla ihtiyaç duyulduğu durumlarda bu sistemler seçilir. Yapılan çalışmada her iki uygulamanın avantaj ve farklılıkları tespit edilmiş sistem seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar ve sistemi etkileyen faktörlerin tümü detaylı bir şekilde incelenmiştir. Doğal Gazlı Kojenerasyon Sisteminin Ekserjetik Analizi isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında, Süleyman Demirel Üniversitesi'nin elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış olan 10 MW gücündeki doğalgazlı kojenerasyon tesisinin termodinamik, ekserji ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Gaz türbinli kojenerasyon tesisinin ekonomik analizi yapıldıktan sonra, gaz türbinli ve gaz motorlu iki farklı kojeneratör için maliyet analizleri yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır [Akdeniz, 2007]. Güneş Panellerinde Kojenerasyon ve Ekserji Analizi isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında çeşitli yapılarıdaki PV güneş toplaçlarının verimlilikleri ortalama % 6-16 aralığında olup kalan enerjinin önemli bir bölümü geri kazanılmayan ısı enerjisi biçiminde olduğu saptanmıştır. Bu nedenle Muğla Üniversitesi'nde gerçekleştirilen test düzeneğinde, yalıtımlı ve yalıtımsız PV güneş toplaçları ve yalıtımlı su tipi akışkan ile soğutulan fotovoltaik/ısı güneş toplaç (PV/T kojenerasyon) aynı koşullarda test edilerek, kojenerasyon sisteminin getirdiği farklar ekserjik analizlerle incelenmiş, bu sonuçlar ile sistem optimizasyonu yapılmış ve böylece deney sonuçlarının daha kapsamlı uygulamalar için temel oluşturması sağlanmıştır [Dişçigil, 2007]. Organize Sanayi Bölgelerinde Kojenerasyon Santralinin Yer Optimizasyonu isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında [Arat, 2006], bir Organize Sanayi Bölgesindeki, kapasiteleri ve tüketimleri belirli olan müşterilere buhar dağıtması planlanan bir kojenerasyon santralinin, buhar dağıtım hatlarını minimum maliyette olacak şekilde dağıtım güzergâhında ve konumunda olması için gerekli parametrelerin belirlenerek çözüme gidilmesi amaçlanmıştır. Mevcut Bir Fabrikada Trijenerasyon Uygulaması isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmasında [İster, 2006] mevcut bir fabrikada trijenerasyon sisteminin kullanılabilirliği araştırılmış, sistem

fizibilitesi yapılmıştır. Kojenerasyon sistemleri, gaz türbinleri veya dizel motorları gibi verilen yakıtın yakılmasıyla açığa çıkan enerjiyi shaft gücüne çeviren makinalarla, elektrik ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan üretimini sağlayabilen sistemlerdir. Trijenerasyon da, bu sistemlere soğutma etkisinin katılması olarak tanımlanır. Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Kojenerasyon Çevrimi ile Güç Üretilmesinin Uygulanabilirliği (Balçova Örneği) isimli çalışmada; Balçova bölge ısıtma sisteminin verileri esas alınarak, karsı basınçlı ve yoğuşturucu çıkışlı buhar çevrimleri ile güç üretiminin olabilirliği ve bu üretimin bölge ısıtma sistemi kapasitesine etkisi analiz edilmiştir. Tesis edilebilecek bir kojenerasyon sistemi ile sistemin ısıtma kapasitesi değişmeksizin kendine yeterli miktarda elektrik üretilmesinin teknik olarak olanaklı olduğu gösterilmiştir. Tekstil Endüstrisinde kullanılan kojenerasyon sistemlerinin kısmi yüke göre verimliliğinin karşılaştırılması isimli çalışmalarında, tekstil endüstrisinde kullanılan kojenerasyon sistemlerinden ara buhar almalı ve karsı basınçlı sistemlerinin kısmi yüke göre verimliliği karşılaştırılmıştır. Kojenerasyon sistemlerinin termodinamik analizi bilgisayar programı ile sürekli akışlı, sürekli açık sistem koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Her iki kojenerasyon sisteminin değişken kısmi yük (%25, %50, %75 ve %100) değerlerinde ürettikleri ısı ve elektrik miktarları karşılaştırılmıştır. Elektrik üretmek için ara buhar almalı sistemin düşük kısmi yükte, proses ısısı elde etmek için ise tam yükte çalıştırılmasının verimi artıracığı tespit edilmiştir. Karsı basınçlı sistemde ise elektrik ve proses ısısı üretmek için tam yükte çalıştırılmasının verimi artıracığı belirlenmiştir [İmal ve Onat 2003]. Aziziye Araştırma Hastanesi enerji gereksinimi için kojenerasyon sisteminin uygulanabilirliği isimli Yüksek Lisans Tezi çalışmada, enerjiyi optimum kullanan yöntemlerden biri olan kojenerasyon sistemlerinde kullanılan ilk çevrim elemanları hakkında bilgi vermiş ve genel hali ile ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Erzurum Aziziye Araştırma Hastanesi enerji gereksinimi için doğalgaz motorlu iki farklı kojenerasyon sisteminin çalışma şartları ve ekonomikliği incelenmiş. Çalışmada sistem seçimi, seçilen sistemin uygulanması ve sistemin analizinin yapılmasında uygulanan yaygın yöntemlerden farklı olarak detaylandırma yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde yıllık çalışma saatleri ve şartları göz önüne alınmayıp, sistemin günlük çalışma şartları dikkate alınmıştır [Çakır, 2007]. Bir Üniversite kampüsü için uygun enerji sisteminin seçimi isimli çalışmalarında, bir üniversite kampüsünün (Yıldız Teknik Üniversitesi Davut paşa Kampüsü) yıllık elektrik ve ısı tüketimleri hesaplanarak, buna en uygun

kojenerasyon sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda üniversiteye yapılacak olan kojenerasyon tesisinin toplam geliri yılda 1.884.171,4 \$ olmaktadır ve sistem kendisini 1.25 yılda amorti etmektedir. Sistemin net işletme geliri de yıllık 573.672,1 \$ olmaktadır. Bu sonuçlara göre kojenerasyon uygulamasının karlılığı üzerinde durulmuştur [Kıncay, 2006]. Kojenerasyon sistemlerindeki yakıt fiyatlarının ve birim yakıt maliyetlerinin analizi isimli çalışmalarında kojenerasyon sistemlerinde kullanılan yakıtların 1991-2003 yılları arasındaki fiyatları analiz edilerek yıllık fiyat eskalasyonları belirlenmiştir. Bu analiz sonuçları kullanılarak, 2003-2023 yılları arasındaki döneme ait her yıl için tahmini yakıt fiyatları hesaplanmıştır. Yakıt fiyatlarının değişimi ekonomik analizleri zorlaştırmaktadır. Ekonomik analizlerin yapıldığı döneme ait fiyat değişimlerini içine alan sabit yakıt fiyatının belirlenmesi hesaplamaları kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, 2003-2023 yılları arasında yakıtların bir değere getirilmiş fiyatları elde edilmiş, daha sonra, kojenerasyon sistemlerinin birim elektrik üretimi için yakıt masrafları bulunmuştur. Bu sistemlerde aynı yakıttan elektrik ve ısı enerjisi ürün olarak elde edilir. Bu amaçla, yakıt masraflarının ürünlere dağıtılmasında iki sınır koşul belirlenmiş ve sınır koşullar için hesaplamalar yapılmıştır [Erdem vd., 2004].

3.6. Dünya’da Yapılan Araştırmalar

Tayvan’da Endüstriyel Sektörde Kullanılabilir Enerji Olarak Kojenerasyon Sisteminin Analizi, isimli çalışmalarında; Tayvan yüksek miktarda enerjiyi ithal eden bir ülkedir. 2004 yılı verilerine göre yaklaşık enerjinin % 98 ‘i ithal edilen yakıttan sağlandığını ifade etmektedirler. Bu çalışmanın amacı Tayvan’da çevresel kirliliğin azaltılması, devamlı gelişim, ekonomik ve sağlam elektrik kaynakları için çevresel politikalar ve endüstriyel sektörde kullanılan enerji üretiminden çıkan ısının kullanılmasında kojenerasyon sisteminin cazibeli hale geldiğini ve bu nedenle kojenerasyon sistemlerinin analizini sunmuşlardır. Bu çalışmada 1984-2004 yılları arasında elektrik kaynakları ve tüketimi ayrıca kojenerasyon sisteminden dolayı sera gazı azalımının çevresel faydasını analizleri yapmışlardır. 2004 yılı verilerine göre karbondioksit (CO₂) ve Nitrousoksit (N₂O) azalım faydalarını sırasıyla 3.488 x 10⁷ ve 650 metrik tona ulaştığı tahmin edilmiştir [Tsai, 2007]. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinden Sera Gazı Yayılımlarının Değerlendirilmesi isimli

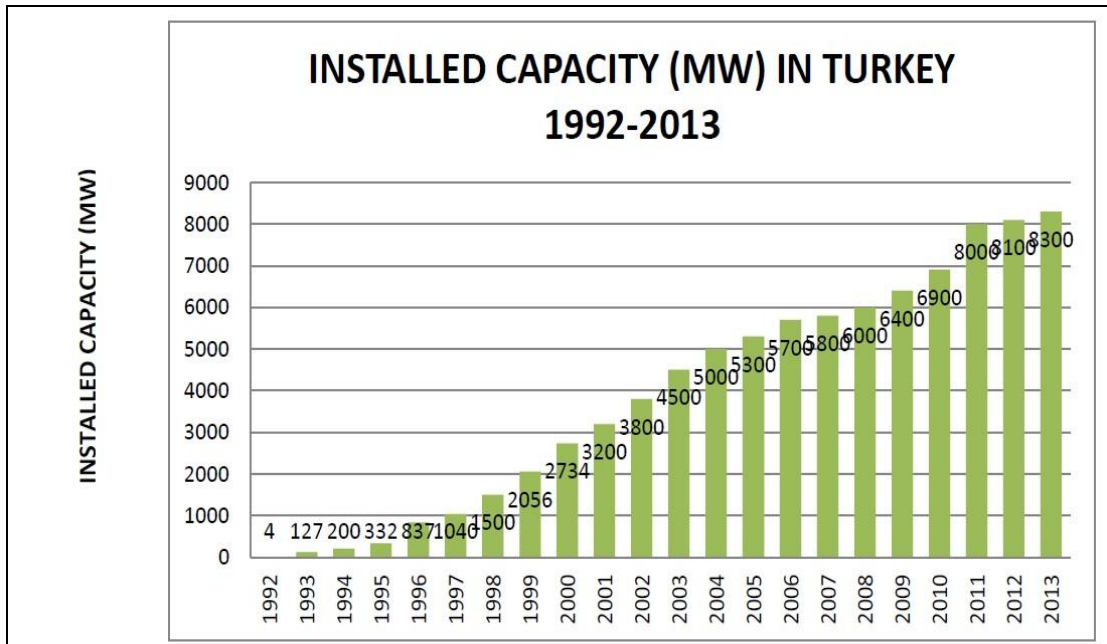
çalışmalarında; Kojenerasyon ve Trijenerasyon Fabrikaların, bölgesel ısıtma yerlerinde önemli enerji kurtarımı ve çeşitli kirletici gazların yayılımını, ayırma üretimini kullanarak azaltmayı sağlarlar. Bu çalışmada üretime bağlı olarak CHP (Combined heat end power) ve CCHP (Combined Cooling heat and power) sistemlerinden gelen CO₂ ve diğer sera gazlarının yayılımının azaltılmasını değerlendiren orijinal bir indikatöre bağlı trijenerasyon CO₂ emisyon redaktörü olarak isimlendirilen farklı bir yaklaşımı tartışıp sunmuşlardır. İndikatörün görevi; CHP ve CCHP sistemlerinde karakteristik performansları, kara kutu modeline bağlı görevler ve geleneksel kaynaklardan gelen sera gazı yayılımlarının özellikleri olarak tanımlanmaktadır. Kore’de apartmanlarda Kojenerasyon Sistemin Ekonomik Kullanımı isimli çalışmalarında; özel konutların bulunduğu alanlarda sekiz apartmanın, büyüklükleri 57200 m² ile 182760 m² arasında olan yerler seçilmiş ve bu apartmanlarda kojenerasyon sistemi kullanılarak ne kadar enerji tasarrufu sağlandığı üzerinde çalışmışlardır. Elektrik ve ısı taleplerine göre her apartman için bir kojenerasyon sistemi optimum düzenini geliştiren bir bilgisayar programı ile belirlenmiştir. Apartmanların kojenerasyon sistemi ile tanışmasıyla ekonomik kazanç sağlandığı tahmin edilmiş ve gözlemlenen değerler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. kojenerasyon sistemin benimsenmesiyle doğal gaz tasarrufu % 30’dan fazla olduğu ve toplam enerji harcamasında ortalama ekonomik kazanım 3.6\$ m⁻²/yıl elde edilmiştir. Portekiz senaryosunda mikro birleşik ısı ve güç sistemlerinin planlaması isimli çalışmalarında; MikroG modeli geliştirmeye çalışmışlardır. Mikro-CHP fabrikalarını dayanışma içinde Portekiz enerji yasal taslağıyla birlikte planlamak için model tasarlanabilir, değerlendirilebilir ve birçok mikro – CHP fabrikayı tekno ekonomik noktada en iyi şekilde kullanabilir. MikroG, bazı veri merkezlerine cazibeli gelir, örneğin mikro – kojenerasyon teknolojileri ve daha önce açıklanan güç tüketim profilleridir. Ek olarak spor salonları da bir uygulamalı durum, modelin tüm görevlerini gösterdiği düşündürebilmektedir. Geliştirilen model görünen pratik özelliklerinden çok kullanılışlı olduğu ispatlanmıştır. Bu model mikro – CHP Portekiz pazarının gelişimine yardımcı olabilmektedir. Başka bir açıdan EU kojenerasyon yönergesi ve Kyoto Protokolü hedeflerinin başarmasına katkıda bulunur. MikroG modelindeki diğer gelişmeler, diğer mikro – kojenerasyon teknolojilerine uygulama alanını genişletebilir ve CO₂ emilim işini başarabilmektedir.

3.7. Türkiye de Kojenerasyonun Gelişimi

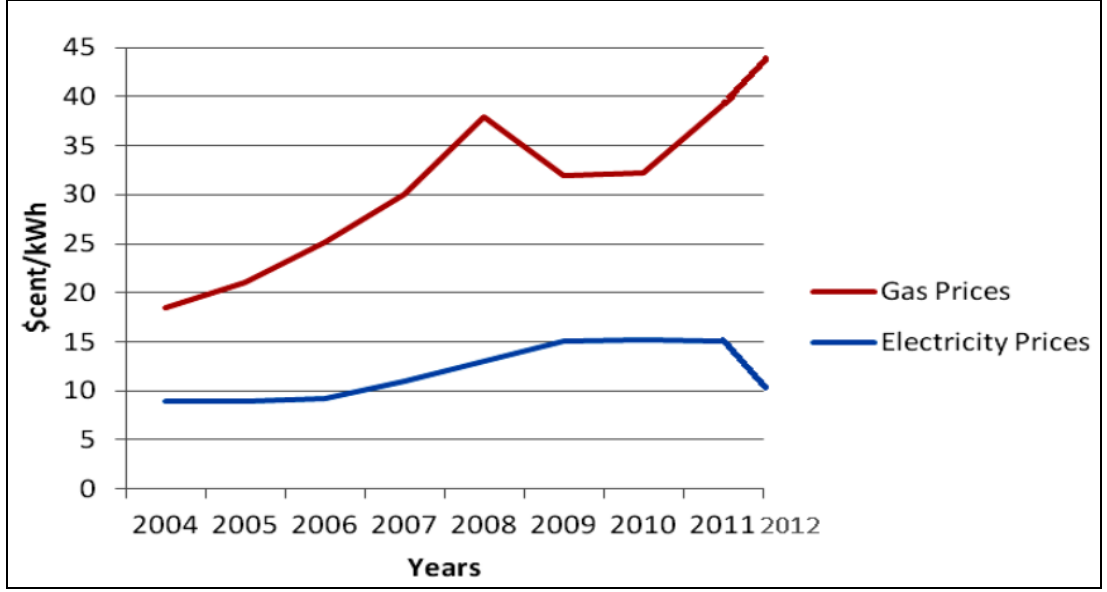
Türkiye’de, Kojenerasyon nasıl doğmuş ve nasıl gelişmiştir? İnsanoğlu hem doğayı, hem de doğal kaynakları hızla yok etmektedir. Doğayı yok edenlere karşı Kyoto Protokolü, kaynak israf edenlere karşı da enerji yoğunluğu duvarları kurulmuştur. 8-10 yıl öncesine kadar enerji tasarrufu değil, enerji kaynaklarının erişilebilirliği konuşulmaktaydı. İyisine, kötüsüne veya verimine bakılmadan ne varsa o kullanılmaktaydı. Elektrik kesintileri kanıksanmıştı. Yüksek kükürtlü Kemerburgaz linyitini bulabilen şanslıydı. Kükürt dumanları büyük şehirlerde yaşayanlara gaz maskesi taktıracak duruma gelmişti. Enerji üretim ve tüketim verimliliği, doğalgazla birlikte ülkeye geldi. Doğalgazla fabrikasının elektriğini üretenler, türbin ve motorların egzoz ısını da değerlendirmeyi düşündüler. Böylece elektrik ve ısı üretilen kojenerasyon doğmuştur. Kojenerasyon hem kaliteli elektrik üretiminin hem de enerji tasarrufunun (buhar ve sıcak su şeklinde) teminatı olmuştur. Daha önce şeker fabrikalarında kullanılan ama yeterince değerlendirilemeyen kojenerasyon enerjisi, 1992’den itibaren özel sektör tarafından tekstil, boya, kağıt, demir/çelik, seramik ve daha pek çok üretim sektöründe yayılmıştır. Şu anda Türkiye’de 8300 toplam MW’lık kurulu kapasite bulunmaktadır. Kojenerasyon kapasitesinin yıllara göre değişimi şekil 3.7 de gösterilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere kapasite gelişmesi ucuz doğalgaz sayesinde 1997-2004 yılları arasında çok dik artmış, sonraları gaz fiyatları yükseldikçe artış hızında düşme olmuştur.

1984 yılına kadar Türkiye’de elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı Türkiye Elektrik Kurumu tarafından yapılmaktaydı. 1984’te çıkartılan 3096 Sayılı Yasa ile ilk defa özel ve tüzel kişilere, kendi fabrikasındaki elektriği üretme ve fazlasını TEDAŞ’a satma hakkı tanınmıştır. Bir yıl sonra da bu yasaya dayalı olarak ve uygulama esaslarını belirleyen 9799 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname çıkartılmıştır. İlk yıllarda, bu kararnamenin faydaları çok iyi anlaşılamamıştır. Bu kararnameye göre ilk kurulan kojenerasyon tesisleri Yalova-Elyaf ve AK-SA Akrilik olmuştur. Bu tesisler hem kaliteli elektrik üretimini hem de ana ürünün kaliteli çıkarılmasını sağlamıştır. Ayrıca üretimde enerji maliyetini düşürerek sahibine, rekabet üstünlüğü sağlamıştır. Bu sistemi kullanarak kendi fabrikasının elektrik ihtiyacını sağlayan üreticiye “Otoprodüktör” denilmiştir. Otoprodüktör, üreticinin yasal adı olmuştur.

Kojenerasyon ise otoprodüktörün kullandığı teknolojinin adı olmuştur. 9799 Sayılı KHK, otoprodüktöre hem elektrik üretme imkanı vermiş hem de elektrik fazlasını TEDAŞ'a, sanayi tarifesinin %85'i ile alma yükümlülüğü getirmiştir. Daha sonra 2001 yılında çıkartılan 4628 Sayılı Enerji Piyasası Yasası ile otoprodüktörün üretim fazlası elektrik satışına %20 gibi bir sınırlama (bu %20 EPDK kararı ile %50'ye kadar artırılabilirdi) getirmiştir. Daha sonra EPDK, bir hafta önce çıkarttığı bir kurul kararı ile otoprodüktörün tüketim fazlası elektriğin, üretimin %40 kadarını şebekeye satabileceğini kabul etmiştir.



Şekil 3.7: Türkiye de kojenerasyon kurulu güç kapasitesinin yıllar içindeki değişimi.



Şekil 3.8: Türkiye de doğalgaz ve elektrik fiyatlarının yıllara göre değişimi.

Üretim kapasitesine katkıyı arttırması bakımından olumlu bulunan otoprodüktörlerin satış limiti, satışlarının niteliği, satışlarına uygulanacak vergi ve benzeri yükümlülüklerin tespiti gibi diğer unsurlar bakımından, her iki yaklaşımı destekler argümanlara sahiptir. Ancak piyasadaki üretim segmentinin yeni yapısı gereği, üretiminin satışa arz edilmesi ve teknik gereklilik oluşmadıkça üretim segmentinin bölünmemesi, piyasa yapısının bir gereği olarak görülmektedir. Bu kapsamda teknik özellikleri nedeniyle kojenerasyon uygulamalarına kanunda yer verilmiş, ancak hukuksal bir kategori olarak otoprodüktörlerin kaldırılması yoluna gidilmiştir. Bu tercihin sonucu olarak mevcut prodüktörlerin ancak mevzuattan kaynaklanan haklarının korunarak üretim lisansı alacakları öngörülmüştür. Kojenerasyon kullanım alanı çok geniştir. Kojenerasyon kullanımı oranında 1998-2004 yılları arasında doğal gazın ucuz olduğu yıllarda, artış hızı yönünden dünya rekorunu sağlamıştır. Halen de Avrupa kojenerasyon üretim payının üzerindedir. Bu nedenlerle gelecek yıllarda AVM’lerde, hastanelerde, üniversitelerde, okullarda, tatil köylerinde, otellerde, toplu konutlarda, bölgesel ısıtma ve soğutmalarda, kojenerasyon ve trijenerasyon projelerinin geniş çapta uygulamaya konulacağına inanılmaktadır. Doğal gaz fiyatları yüksek verimli (%80 ve üzeri) kojenerasyon sistemler için kazandırdıkları tasarrufa göre ayarlanabilirse uygulamanın daha da rağbet görüleceği düşünülmektedir [Web 5, 2014].

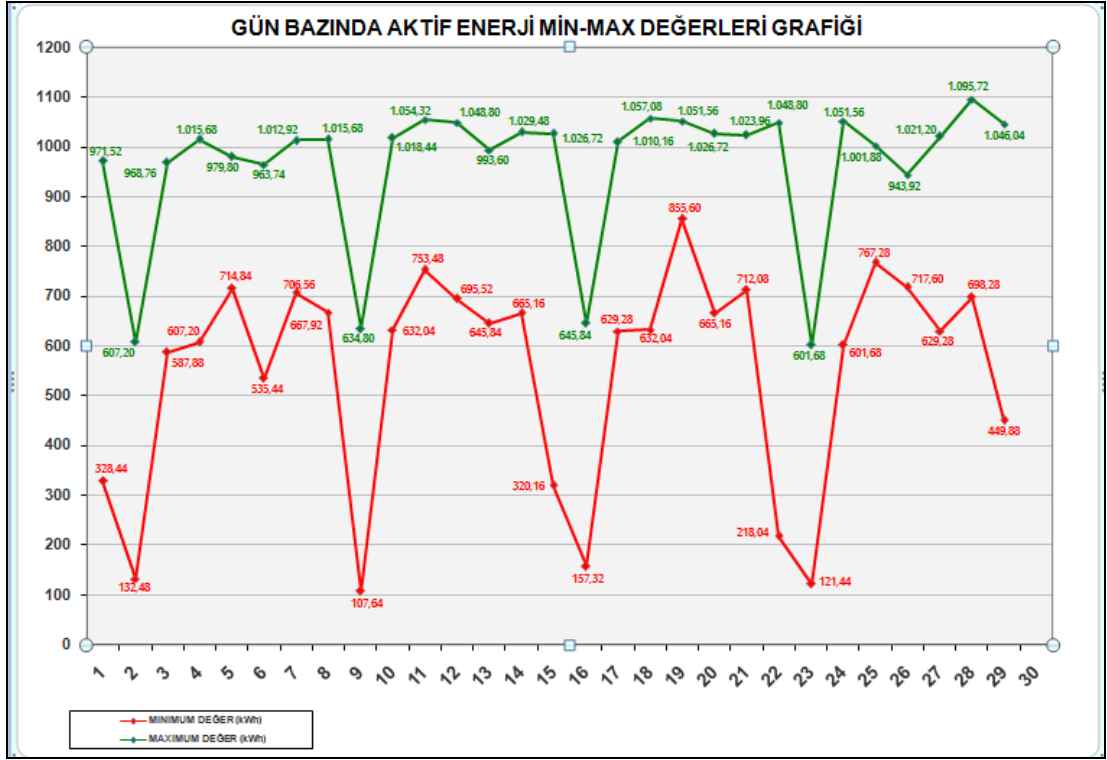
4. KOJENERASYON SİSTEMİNİN TERMO EKONOMİK ANALİZİ

İstanbul Pendik gazbeton fabrikası elektrik ve ısı yükleri göz önünde bulundurularak aynı zamanda fabrikanın fiziksel şartları da düşünülerek termoeconomik analiz çalışması yürütülmüştür. Termoeconomik analiz için yapılan hesaplamalar fabrikanın Kasım 2013 tarihinde yaptığı enerji sarfiyatları baz alınarak yapılmıştır. Yılın diğer ayları da ortalama olarak aynı karakteristikte davrandığı kabul edilmiştir.

4.1. Kojenerasyon Sistemi Kapasite Seçimi

İşletme olarak amacımız, ana şebekeden alınan elektrik birim fiyatlarından daha ucuza elektrik üretmek ve bunun yanı sıra kojenerasyon sisteminin atık ısısından yararlanmak olduğundan dolayı kapasite seçiminde ele alınacak en önemli parametre fabrikanın elektrik yük profili olmuştur.

Kojenerasyon sisteminden maksimum şekilde tasarruf edebilmek ve yatırımın geri dönüş süresini minimum seviyeye indirebilmek adına kojenerasyon kapasitesinin doğru seçilmesi önemlidir. Bunun için ana dağıtım şirketinden fabrikanın aylık yük profili temin edilmiştir. Bir aylık yük profili göz önünde bulundurularak fabrikanın saatlik elektrik çekiş gücü ortalama olarak 900 kwh olarak tespit edilmiştir. Şirketin birincil talebi kojenerasyon sistemi kurulduğunda elektrik tedariki noktasında dışa bağımlı olmamak olduğundan seçilecek kojenerasyon kapasitesi fabrikanın elektrik talebi altında olmamalıdır. Türkiye de kojenerasyon sistemleri ile ilgilenen firmalar ile görüşüldü ve saatte 900 kwh elektrik enerjisi talebini karşılayabilecek uygun kapasitenin 1200 kwh olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.1 de fabrikanın elektrik talebinin minimum ve peak yaptığı noktaları gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Gün bazında aktif enerji min-max değerleri grafiği.

1200 kw lık kojenerasyon sistemi yükü izleme modu ile elektrik talebini kesintisiz bir şekilde sağlayacaktır. Bundan sonraki hesaplamalar 1200 kw gücündeki kojenerasyon sistemine göre yapılacaktır.

4.2. Kojenerasyon Sistemin Detaylı Fizibilite Çalışması

4.2.1. Yatırım Bilgileri

Türk Ytong San. A.Ş. Pendik fabrikasına kojenerasyon kurulumu kararı alınabilmesi için detaylı bir fizibilite çalışması yapılması gerekmektedir. Fizibilite çalışması bir çok basamaktan oluşmaktadır. İlk önce yatırım maliyetini oluşturan birçok kalem ele alınmaktadır. Fabrikanın 12 ay boyunca aynı karakteristikte ve aynı miktarda elektrik enerjisi harcadığı varsayılarak elektrik enerji dağıtım şirketinden fabrikanın 2013 Kasım ayı yük profili temin edilmiştir. Yük profiline göre uygun kapasitede kojenerasyon sistemi seçildikten sonra tez kapsamında MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon sistemi hesaplamalara dahil edilmiştir.

Fizibilite çalışmaları aşağıdaki 6 farklı ana senaryo oluşturularak geri ödeme süresi minimize edilmeye çalışılmıştır.

- Sadece fabrikanın saatteki elektrik ihtiyacını karşılayacak kadar üretim yapması, yani sistemi % 75 yükte çalıştırarak saatte 900 kwh elektrik üretmesi
- Kojenerasyon sistemini % 100 kapasitede çalıştırarak tüketim fazlası olan üretilen elektriği dışarıya satılması
- Kojenerasyon sisteminin yıllık çalışma gün sayısındaki değişikliğe göre geri ödeme süresinin değerlendirilmesi
- Ceket ısısından elde edilecek 90°C su için ΔT değerlerindeki değişime göre ve buna bağlı olan toplam ısı kullanım oranındaki değişime göre geri ödeme sürelerinin değerlendirilmesi
- Elektriği çok zamanlı çift terimli tarifeye göre alan fabrika için kojenerasyon sisteminin gün içinde hangi zaman dilimlerinde çalışması gerektiğinin değerlendirmesi
- Çift yakıtlı kojenerasyon sisteminin geri dönüş süresinin değerlendirilmesi

Tablo 4.1'de bulunan yatırım maliyeti tablosu oluşturulması için kojenerasyon firmaları ile görüşmeler yapılmıştır.

Tablo 4.1: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali yatırım maliyeti tablosu.

YATIRIM BİLGİLERİ	FİYAT (€)
1.Gaz Motoru, Kontrol Sistemleri	376.000
2.Atık Isı Kazanı Sistemi	60.000
2.1 Atık Isı Kazanı ve Ekonomizer	
2.2 Egsoz Susturucu	
2.3 Kompansatörler	
2.4 Gaz Kanallar, By Pass Bacası, Baca	
2.5 By Pass Klapeler	
2.6 İzolasyon ve Montaj	
2.7 Kontrol Sistemi	

Tablo 4.1: Devam.

3. Mekanik Aksam ve Montaj	20.000
3.1 Esanjör, Pompa ve Vanalar	
3.2 Yağ Tankı	
3.3 Borulama ve Mekanik Montaj	
4. Motor Sağutma Grubu	11.500
5. Saha Nakliye	7.500
6. Doğalgaz Bağlantı	14.000
7. Şalt Tesisi Uygulaması	50.000
8. İnşaat İşleri	10.000
9. EPDK İzinleri	7.000
10. İthalat Masrafları	2.000
11. İlk Yağ Dolumu, Kimyasallar ve Sarf Malzemeleri	4.000
12. Kapsam Dışı Borulama	8.000
13. Ön Görülemeyen Maliyetler	8.000
Toplam Yatırım Tutarı	578.000

4.2.2. Kabuller

Yapılması planlanan yatırımın geri dönüş süresi, yıllık getirisi ve yıllık giderleri hesaplanabilmesi için Tablo 4.2. de bulunan parametre kabullerinin yapılması gerekmektedir.

Tablo 4.2: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali yatırım hesapları için yapılan kabuller tablosu.

KABULLER					
Euro		2,89	TL		
Elektrik	T1=06:00-17:00	0,195491	TL/kwh	0,067644	€/kWh
	T2=17:00-22:00	0,337895	TL/kwh	0,116919	€/kWh
	T3=22:00-06:00	0,092775	TL/kwh	0,032102	€/kWh

Tablo 4.2: Devam.

Satılan Elektrik		0,180000	TL/kwh	0,062284	€/kWh
Doğalgaz		0,72	TL/Sm3	0,25	€/Sm3
Atık Isı Kazanı Verimi		85	%		
Yıllık çalışma gün sayısı		300	gün		
Kojen günlük çalışma saati		16	saat		

Kabuller yapıldıktan sonra 1. senaryo olarak kojenerasyon sistemi sadece fabrikanın saatteki çektiği elektrik ihtiyacını karşılayacak şekilde üretim yapacakmış gibi düşünülüp hesaplar yapılmıştır. Sadece fabrikanın elektrik talebini karşılaması için % 75 yükte 900 kwh elektrik üretmesi gerekmektedir.

4.2.3. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 75 Yük Durumundaki Teknik Verileri

Kojenerasyon sisteminin % 75 yük durumundaki teknik verileri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumundaki katalog değerleri tablosu.

1. Modül Tipi	Gaz Motoru TCG 2020 V12	
2.Elektrik Gücü	900	kwh
3.Yakıt Tüketimi	2123	kwh
4.Yağ Tüketimi	0,18	kg/h
5.İç İhtiyaçlar	11	kwh
6.Egsoz Isısı	481	kwh
7. Ceket Suyu Isısı	469	kwh
8.İntercooler	71	kwh

Tablo 4.3: Devam.

9.Elektrik Verimi	42,40%	
10.Termik Verim	44,07%	
11.Toplam Verim	86,47%	

4.2.4. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 75 Yük Durumunda Senelik İşletme Değerleri

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santralinin örnek olarak T1 ve T2 zamanlarında çalışarak % 75 yük durumunda senelik işletme değerleri hesaplanıp Tablo 4.4'de işlenmiştir. Hesaplara göz atacak olursak;

$$KYÇS = KGÇS * KYÇG \quad (4.1)$$

- $KYÇS = 16 * 300 = 4800$ saat/yıl
- $KYÇS$: Kojenerasyon yıllık çalışma saati
- $KGÇS$: Kojenerasyon günlük çalışma saati
- $KYÇG$: Kojenerasyon yıllık çalışma günü

$$SÜNEE = KBEE - İK \quad (4.2)$$

- $SÜNEE = 900 - 11 = 889$ kwh
- $SÜNEE$: Saatlik üretilen net elektrik enerjisi
- $KBEE$: Kojenerasyon üretilen brüt elektrik enerjisi
- $İK$: İç kayıplar

$$YÜNEE = SÜNEE * KYÇS \quad (4.3)$$

- $YÜNEE = 889 * 4800 = 4.267.200$ kw/yıl
- $YÜNEE$: Yıllık üretilen net elektrik enerjisi

$$MIK = (EI + CSI + İ) * KYÇS \quad (4.4)$$

- $MIK = (481 + 469 + 71) * 4800 = 4.900.800 \text{ kwh}$
- MIK : Maksimum ısıtıl kapasite
- EI : Egsoz ısıtısı
- $İ$: İntercooler
- CSI : Ceket suyu ısıtısı

Fabrika maksimum ısıtıl kapasitenin yaklaşık % 60' nı kullanabilecektir.

$$TIE = MIK * 0,60 \quad (4.5)$$

- $TIE = 4.900.800 * 0,60 = 2.940.480 \text{ kw/yıl}$
- TIE : Tüketilen ısıtıl enerji

$$MTEF = (((T1F/T1GS) + (T2F/T2GS)) / KGÇS) + FVT / ESK \quad (4.6)$$

- $MTEF = (((0,20/11) + (0,34/5)) / 16) + 0,03295 / 2,89 = 0,094 \text{ Euro/kwh}$
- $MTEF$: Mevcut tüketilen elektrik fiyatı
- $T1F$: T1 puant tarife fiyatı
- $T1GS$: T1 günlük süresi
- $T2F$: T2 puant tarife fiyatı
- $T2GS$: T2 günlük süresi
- FVT : Faturadaki vergiler toplamı
- ESK : Euro satış kuru

$$AIB = (((DBF) / (YID / 860)) / AIKV) * 1000 \quad (4.7)$$

- $AIB = (((0,25) / (8250 / 860)) / 0,85) * 1000 = 30,8 \text{ Euro / 1000kwth}$
- AIB : Atık ısı bedeli
- DBF : Doğalgaz birim fiyatı
- YID : Yakıt ısıtıl değeri
- $AIKV$: Atık ısı kazan verimi

$$KYDT = KY\dot{C}S * KSYT \quad (4.8)$$

- $KYDT = 4800 * 221 = 1.062.272 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$
- $KYDT$: Kojenerasyon yıllık doğalgaz tüketimi
- $KSYT$: Kojenerasyon saatlik yakıt tüketimi

Tablo 4.4: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda senelik işletme değerleri tablosu.

1. Yıllık Çalışma Saati	4.800,00	saat/yıl
2. Yakıt Tüketimi	1.062.272,00	m3/yıl
3. Yıllık Üretilen Elektrik Enerjisi	4.267.200,00	kw/yıl
4. Yıllık Tüketilen Elektrik enerjisi % 100	4.267.200,00	kw/yıl
5. Maksimum Isıl Kapasite	4.900.800,00	kw/yıl
6. Tüketilen Isıl Enerji % 60	2.940.480,00	kw/yıl
7. Mevcut Tüketilen Elektriğin Fiyatı	0,094	Euro/kwh
8. Atık Isı Bedeli	30,80	Euro/1000kwth
9. Doğalgaz Tüketimi	1.062.272,00	Sm3
10. Yağlama Yağı Tüketimi (SAE 40)	0,86	ton/yıl
11. Doğalgaz Fiyatı	249,00	Euro/1000Sm3
12. Yağlama Yağı Fiyatı	1.500,00	Euro/ton

4.2.4.1. Gaz Motoru Ceket Isı Gücü Kullanma Oranı

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda motor ceket ısı gücü 469 kwh' tır.

Eşanjör devre sıcaklıkları 20/90 °C seçilecek olursa; $\Delta T = 70 \text{ °C}$

4.9 eşitliğindeki formüle göre ;

$$Q_C = m_{CS} * c_p * (T_{C\dot{C}} - T_{CG}) \quad (4.9)$$

- Q_C : Saatte ceketten alınabilecek ısı miktarı (kwh)
- m_{CS} : Saatte ceket ısısından yararlanılarak elde edilecek su miktarı (kg/h)
- c_p : 1 kg'lık su kütlesinin sıcaklığını 1°C arttırmak için gerekli olan ısı miktarı (kcal/kg °C)
- T_{CC} : Eşanjör çıkışından elde edilmek istenen sıcak suyun değeri (°C)
- T_{CG} : Eşanjör girişine verilecek suyun sıcaklık değeri (°C)
- 1 kw = 860 kcal
- $c_p = 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$
- $469 * 860 = m * 1 * 70$

$m = 5762 \text{ kg/h}$ (Ceket ısısından yararlanılarak saatte 90 °C sıcaklığında elde edilen su miktarı). Fabrikanın 1500 kg/h suya ihtiyacı olduğuna göre 90 °C elde edilen su miktarını kullanma yüzdesi;

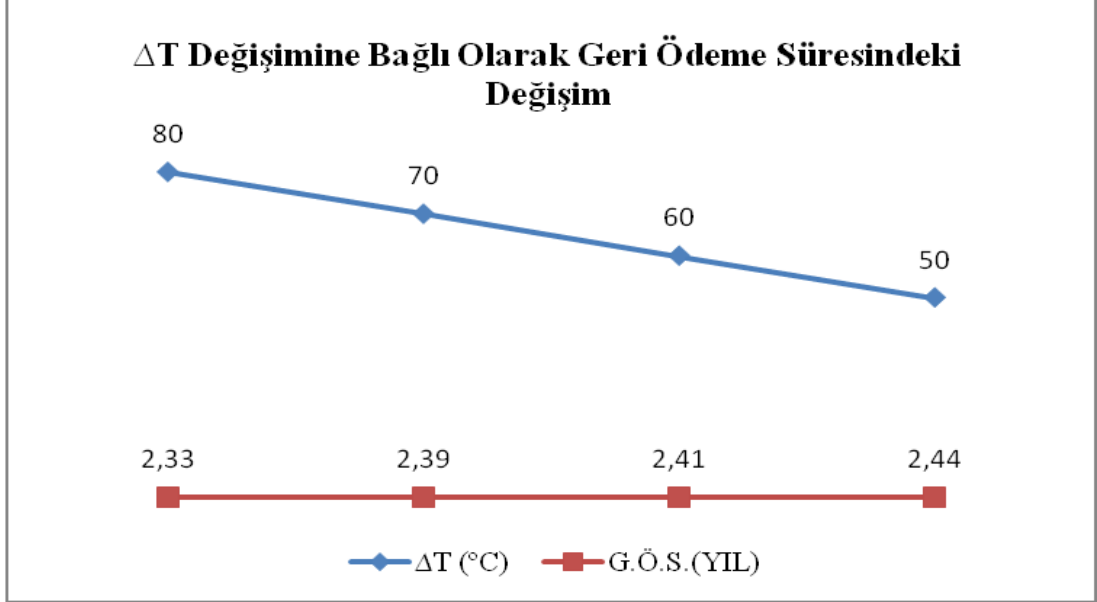
$$CIKY = (\text{İDSSM}/\text{EESSM}) * 100 \quad (4.10)$$

- $CIKY = (1500/5762) * 100$
- $CIKY = \%26$
- $CIKY$: Ceket ısı kullanma yüzdesi (%)
- İDSSM : İhtiyaç duyulan sıcak su miktarı (kg/h)
- EESSM : Elde edilen sıcak su miktarı (kg/h)

Tablo 4.5: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali için ΔT değişimine bağlı olarak 90°C su eldesi, toplam ısı kullanma oranı ve geri ödeme süresi tablosu.

ΔT (°C)	90°C Su (kg/h)	İhtiyaç (kg/h)	Toplam I.K.O.(%)	G.Ö.S. (YIL)
80	6547	1500	58	2,33
70	7482	1500	56	2,39
60	8729	1500	55	2,41
50	10475	1500	54	2,44

Doğalgaz yakıtlı kojenerasyon sisteminde ΔT , toplam ısı kullanma oranına bağlı olarak T1T2T3 zaman dilimi içerisinde yılda 300 gün çalışan % 100 yükteki sistemin geri ödeme süresindeki değişiklik grafiği şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2: ΔT Değişimine bağlı olarak geri ödeme süresindeki değişim grafiği.

4.2.4.2. İntercooler Isı Gücü Kullanma Oranı

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda intercooler ısı gücü 71 kwh' tır.

Fabrikanın intercooler gücünden yararlanılarak elde edeceği sıcak suya ihtiyacı bulunmadığından dolayı kullanma yüzdesi % 0 olarak düşünülecektir.

4.2.4.3. Egsoz Isı Gücü Kullanma Oranı

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda egsoz ısı gücü 481 kwh' tır.

Ek.A'da da görüldüğü üzere; atık ısı kazanı işletme basıncı 8 bar, atık ısı kazanı buhar çıkışı 620 kg/h tır.

- Kojenerasyon sisteminden günlük üretilebilecek buhar miktarı:

$$KGBM = AIKBÇ * KGÇS \quad (4.11)$$

- KGBM = 620 * 16 = 9920 kg
- KGBM : Kojenerasyon sisteminden günlük alınabilecek buhar miktarı
- AIKBÇ : Atık ısı kazanından saatlik buhar çıkışı
- KGÇS : Kojenerasyon sistemi günlük çalışma süresi

Bir gün içerisinde 06:00 - 22:00 saatleri arasında yapılacak otoklavlama sayısı 10 adet olup, Şekil 4.3 ve Tablo 4.6' den görüldüğü üzere 1 adet otoklavlama esnasında akülerden kullanılan buhar miktarı 4000 kg'dır. Bir gün (Bir günlük kojenerasyon çalışma süresi =16 saat) içerisinde akülerden sağlanan buhar miktarı;

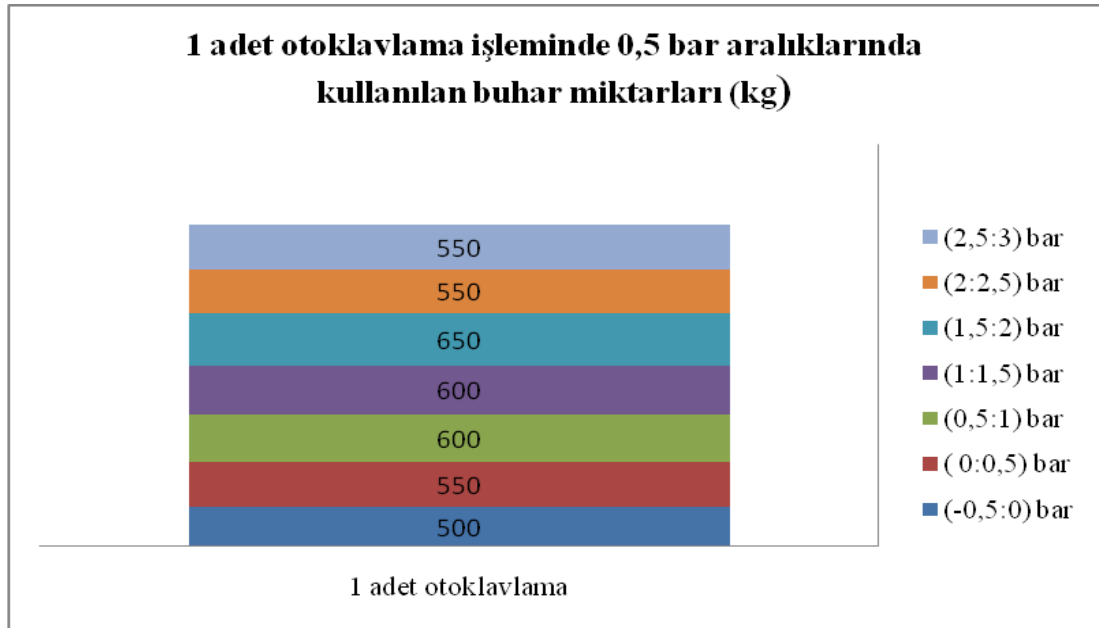
$$BASBM = GYOA * BOASM \quad (4.12)$$

- BASBM = 10 * 4000 = 40.000 kg
- BASBM = Bir günde akülerden sağlanan buhar miktarı
- GYOA = Günlük yapılan otoklavlama adedi
- BOASM = Bir adet otoklavlamada akülerden sağlanan buhar miktarı

40.000 > 9920 olduğundan egsoz ısı gücünden yararlanma oranı % 100 olacaktır.

Tablo 4.6: 1 adet otoklavlama esnasında 0,5 bar basınç aralıklarında kullanılan buhar miktarları tablosu.

(-0,5:0) bar	(0:0,5) bar	(0,5:1) bar	(1:1,5) bar	(1,5:2) bar	(2:2,5) bar	(2,5:3) bar	toplam (kg)
500	550	600	600	650	550	550	4000
1 adet otoklavlama							



Şekil 4.3: Bir adet otoklavlama esnasında 0,5 bar basınç aralıklarında kullanılan buhar miktarları grafiği.

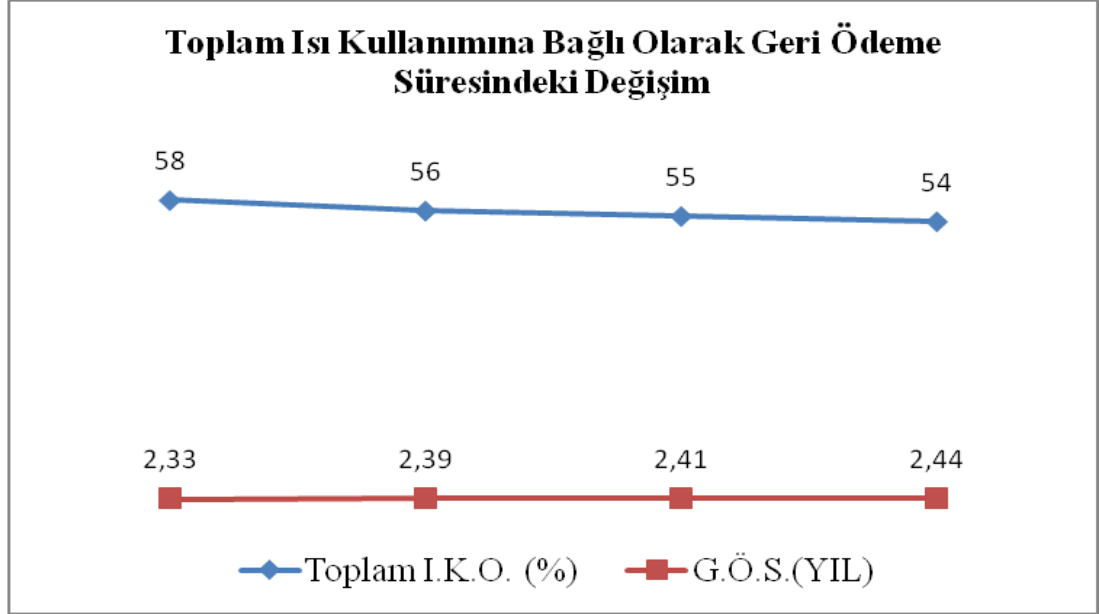
4.2.4.4. Kojenerasyon Sisteminden Elde Edilen Toplam Isıyı Kullanma Oranı

Hesaplanan egsoz ısı gücü kullanma oranı, ceket ısı gücü kullanma oranı ve intercooler ısı gücü kullanma oranı Tablo 4.7'de oluşturulmuştur.

Tablo 4.7: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda açığa çıkan ısılardan toplam kullanım oranı tablosu.

	Egsoz Isı Gücü	Ceket Isı Gücü	İntercooler	Toplam
Güç Değerleri (kw)	481	469	71	1021
Kullanma Yüzdeleri %	100	26	0	
Kullanım Değerleri (kw)	481	122	0	603
Toplam Isı Kullanım Yüzdesi %59				59

% 100 yükte yılda 300 gün 24 saat çalışan kojenerasyon sisteminin toplam ısı kullanım oranındaki değişime bağlı olarak yatırımın geri ödeme süresindeki değişim grafiği şekil 4.4 de verilmiştir.



Şekil 4.4: Toplam ısı kullanımına bağlı olarak geri ödeme süresindeki değişim.

4.2.4.5. Atık Isı Geri Kazanımı ile Buhar Üretim Hesapları

Atık ısı olan egsoz gazının hacimsel analizi O₂: 8,0 %, CO₂: 6,0 %, HO₂: 7,0 %, N₂: 78,0 % ve diğer gazlar: 1,0 % olarak ele alınmıştır. Egsoz gazı hacimsel debisi $V_{g,N\dot{S}\dot{S}}=3.891,0 \text{ Nm}^3/\text{h}$, egsoz gazı NŞA yoğunluk $\rho_{N\dot{S}\dot{S}} = 1,261 \text{ kg/Nm}^3$, egsoz gazı kazana giriş sıcaklığı $t_{g,g} = 438,0 \text{ }^\circ\text{C}$, egsoz gazı kazandan çıkış sıcaklığı $t_{g,\zeta} = 202,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ve ortalama sıcaklıkta ısınma ısısı $cp_{g,o} = 0,339 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak ele alınmıştır.

- Egsoz gazı kütleli debisi:

$$M_g = V_{g,N\dot{S}\dot{S}} \times \rho_{N\dot{S}\dot{S}} = 4.905 \text{ kg/h} \quad (4.13)$$

- Kazan boyunca ortalama sıcaklık:

$$t_{g,o} = (t_{g,g} + t_{g,\zeta}) / 2 = 320,0 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.14)$$

- Ortalama sıcaklık atık gazın yoğunluğu:

$$\rho_{g,o} = (\rho_{N\dot{S}\dot{S}} \times 273) / (273 + t_{g,o}) = 0,580 \text{ kg/m}^3 \quad (4.15)$$

- Ortalama sıcaklıktaki atık gaz hacimsel debisi:

$$V_{g,o} = V_{g,N\dot{S}\dot{S}} \times (273 + t_{g,o}) / 273 = 8.451,9 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.16)$$

- Egsoz gazından alınan ısı miktarı:

$$Q_T = V_{g,N\dot{S}\dot{S}} \times c_{p,g,o} \times (t_{g,\dot{C}} - t_{g,i}) = 361,7 \text{ kWth} \quad (4.17)$$

Kazan işletme buhar basıncı $P_i = 8,0$ barg, kazan işletme buhar sıcaklığı $T_i = 175,4$ °C, buhar çıkış entalpisi $q_i = 663,6$ kcal/kg, kazan besi suyu giriş sıcaklığı $T_{bs,i} = 163,0$ °C, ve kazan besi suyu entalpisi $q_{bs,i} = 163,0$ kcal/kg olarak ele alınmıştır.

- Birim buhar üretimi için gereken ısı miktarı:

$$q_b = q_i - q_{bs,i} = 500,6 \text{ kcal/kg} \quad (4.18)$$

- Alınan ısıya göre üretililecek buhar miktarı:

$$M_b = Q_T / q_i \text{ kg/h} = 621,4 \text{ kg/h} \quad (4.19)$$

Blöf kaybı ve diğer kayıplarla birlikte toplam kayıp %5 kabul edildi. Net buhar miktarı $M_{b,n} = 590,3$ kg/h olarak ele alınmıştır. Ekonomizer su giriş sıcaklığı $T_{es,i} = 102,0$ °C, ekonomizer giriş suyu entalpisi $q_{es,i} = 102,0$ kcal/kg, ekonomizer su çıkış sıcaklığı $T_{es,o} = 163,0$ °C, ekonomizer çıkış suyu entalpisi $q_{es,o} = 163,0$ kcal/kg ve egsoz gazı ortalama özgül ısı $c_{p,g,e} = 0,330$ kcal/Nm³ °C olarak ele alınmıştır.

- Ekonomizerden alınacak ısı yükü:

$$Q_e = M_{b,n} \times (q_{es,o} - q_{es,i}) = 36.010,4 \text{ kcal/h} = 41,9 \text{ kWth} \quad (4.20)$$

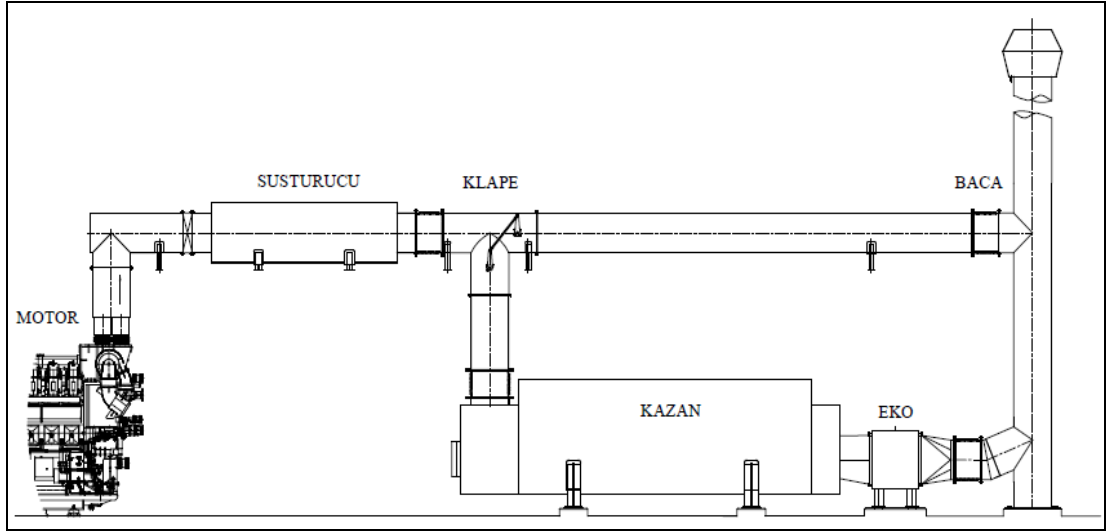
- Egsoz sıcaklığı düşüş miktarı (%5 Kayıp):

$$\Delta_{te} = Q_e / (0,95 \times c_{p,g,e} \times V_{g,N\dot{S}\dot{A}}) = 29,5 \text{ °C} \quad (4.21)$$

- Ekonomizerden egsoz çıkış sıcaklığı:

$$t_{e,\zeta} = t_{g,\zeta} - \Delta t_e \text{ } ^\circ\text{C} = 172,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.22)$$

Sonuç olarak toplam buhar üretimi $M_{b,n}=590,3 \text{ kg/h}$, kazan buhar çıkış basıncı $P_i=8,0 \text{ barg}$, kazan-ekonomizer sisteminin toplam ısı yükü $Q=347.059,4 \text{ kcal/h}=403,6 \text{ kWth}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.5: Atık ısı kazanı bağlantı şeması.



Şekil 4.6: Atık ısı kazanı imalat resmi.

4.2.5. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 75 Yük Durumunda Senelik İşletme Gelirleri

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda senelik işletme gelirleri hesaplanıp Tablo 4.8'de işlenmiştir. Hesaplara göz atacak olursak;

$$TEG = YÜNEE * MTEF \quad (4.23)$$

- $TEG = 4.267.200 * 0,094 = 403.010$ Euro
- TEG : Tüketilen elektrik geliri

$$AIKG = (TIE * AIB) / 1000 \quad (4.24)$$

- $AIKG = (2.940.480 * 30,8) = 90.420$ Euro
- AIKG : Atık ısıdan kazanılan gelir

$$TG = TEG + AIKG \quad (4.25)$$

- $TG = 403.010 + 90.420 = 493.437$ Euro
- TG : Toplam gelir

Tablo 4.8: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda senelik işletme gelirleri tablosu.

1. Tüketilen Elektrik Geliri	403.010	Euro
2. Atık Isıdan Kazanılan Gelir	90.420	Euro
3. Toplam Gelir	493.437	Euro

4.2.6. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 75 Yük Durumunda Senelik İşletme Giderleri

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda senelik işletme giderleri hesaplanıp Tablo 4.9'da işlenmiştir. Hesaplara göz atacak olursak;

$$DG = KYDT * DBF \quad (4.26)$$

- $DG = 1.062.272 * 0,25 = 266.374$ Euro
- DG : Doğalgaz gideri

$$YG = YYF * YYT \quad (4.27)$$

- $YG = 1500 * 0,86 = 1.296$ Euro
- YG : Yağlama gideri
- YYF : Yağlama yağı fiyatı
- YYT : Yağlama yağı tüketimi

$$BG = KYÇS * BBF \quad (4.28)$$

- $BG = 4800 * 3,9 = 13.872$ Euro
- BG :Bakım Gideri
- BBF : Bakım birim fiyatı

$$TİG = DG + YG + BG \quad (4.29)$$

- $TİG = 266.374 + 1.296 + 13.872 = 281.542$ Euro
- TİG : Toplam işletme gideri

Tablo 4.9: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda senelik işletme giderleri tablosu.

1. Doğalgaz Gideri	266.374	Euro
2. Yağlama Gideri	1.296	Euro
3. Bakım Gideri	13.872	Euro
4. Toplam İşletme Gideri	281.542	Euro

4.2.7. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 75 Yük Durumunda Geri Ödeme Süresi

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda geri ödeme süresi hesaplanıp Tablo 4.10'da işlenmiştir. Hesaplara göz atacak olursak;

$$PGÖS = YT / (TG - TİG) \quad (4.30)$$

- PGÖS = 578.000 / (493.437 - 281.542) = 2,81 yıl
- PGÖS : Proje geri ödeme süresi
- YT : Yatırım tutarı

Tablo 4.10: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda geri ödeme süresi tablosu.

1. Toplam Gelir	493.437	Euro
2. Toplam İşletme Gideri	286.930	Euro
3. İşletme Karı	207.048	Euro
4. Yatırım Tutarı	578.000	Euro
5. Proje Geri Ödeme Süresi	2,81	Yıl

4.2.8. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 75 Yük Durumunda Birim Elektrik Maliyeti (Net Elektrik Üretimine Oranlanmış)

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda birim elektrik maliyeti hesaplanıp Tablo 4.11'de işlenmiştir. Hesaplara göz atacak olursak;

$$YBEM = DG / YÜNEE \quad (4.30)$$

- $YBEM = 266.374 / 4.267.200 = 0,0624$ Euro/kwh
- YBEM : Yakıt birim elektrik maliyeti

$$YYBEM = YG / YÜNEE \quad (4.31)$$

- $YYBEM = 1.296 / 4.267.200 = 0,0003$ Euro/kwh
- YYBEM : Yağlama yağı birim elektrik maliyeti

$$BGBEM = BG / YÜNEE \quad (4.32)$$

- $BGBEM = 18.720 / 4.267.200 = 0,0044$ Euro/kwh
- BGBEM : Bakım giderleri birim elektrik maliyeti

$$TİGBEM = YBEM + YYBEM + BGBEM \quad (4.33)$$

- $TİGBEM = 0,0624 + 0,0003 + 0,0044 = 0,0671$ Euro/kwh
- TİGBEM : Toplam işletme giderleri birim elek. mal.

$$AIKBEM = AIKG / YÜNEE \quad (4.34)$$

- $AIKBEM = 90.427 / 4.267.200 = 0,0212$ Euro/kwh
- AIKBEM : Atık Isı Kazancı Birim Elektrik Maliyeti

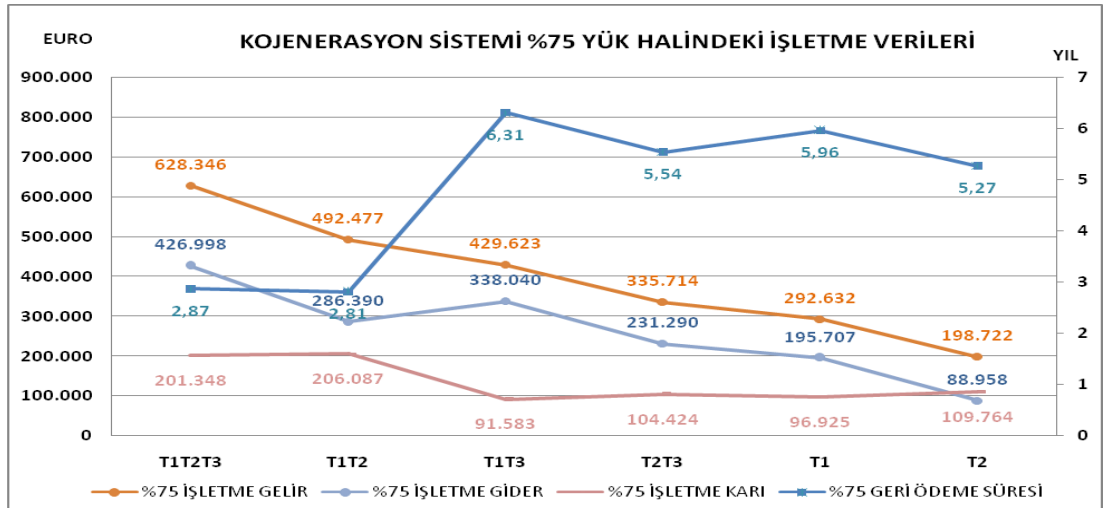
$$AIDSBEM = TİGBEM - AIKBEM \quad (4.35)$$

• AIDSDEM = 0,0671 - 0,0212 = 0,0459 Euro/kwh

Tablo 4.11: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 75 yük durumunda birim elektrik maliyet tablosu.

1. Yakıt Birim Elektrik Maliyeti	0,0624	Euro /kwh
2. Yağlama Yağı Birim Elektrik Maliyeti	0,0003	Euro /kwh
3. Bakım Giderleri Birim Elektrik Maliyeti	0,0044	Euro /kwh
4.Toplam İşletme Gideri Birim Elektrik Maliyeti	0,0671	Euro /kwh
5.Atık Isı Kazancı Birim Elektrik Maliyeti	0,0212	Euro /kwh
6.Atık Isı Kazancı Düşükten Sonra Birim Elektrik Maliyeti	0,0459	Euro /kwh

Kojenerasyon sisteminin %75 yük durumunda fizibilite hesapları T1T2T3, T1T2, T1T3, T2T3, T1 ve T2 olarak kendi içinde 6 farklı ana senaryo için hesaplanmıştır. T3 zaman diliminde dışarıdan alınan elektrik birim fiyatı atık ısı kazancı düşükten sonraki birim elektrik maliyetinden daha ucuz olduğundan hesaplara katılmamıştır. Doğalgaz yakıtlı kojenerasyon sisteminde farklı zaman dilimlerine bağlı olarak yılda 300 gün çalışan %75 yükteki, ısı kullanım oranı %58 olan sistemin işletme gelir, işletme gider, işletme karı ve geri ödeme süreleri şekil 4.7 da gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Kojenerasyon sistemi % 75 yük halindeki işletme verileri.

4.2.9. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 100 Yük Durumundaki Teknik Verileri

2. ana senaryo olarak düşünülen kojenerasyon sisteminin % 100 yükte olması hali ve tüketim fazlası üretilen elektrik enerjisinin dışarıya satılması ile ilgili tablo ve grafikler aşağıdaki gibi verilmiştir. Hesaplar % 75 yük halindeki hesaplar ile aynıdır. Burada ilave bilgi olarak satılan elektriğin birim fiyatı 0,062 euro/kwh ve yıllık lisans gideri 4000 Euro olarak alınmıştır. Kojenerasyon sisteminin teknik verileri tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumundaki katalog değerleri.

1. Modül Tipi	Gaz Motoru TCG 2020 V12	
2.Elektrik Gücü	1200	kwh
3.Yakıt Tüketimi	2750	kwh
4.Yağ Tüketimi	0,18	kg/h
5.İç İhtiyaçlar	11	kwh
6.Egsoz Isısı	582	kwh
7. Ceket Suyu Isısı	609	kwh
8.İntercooler	106	kwh
9.Elektrik Verimi	43,64%	
10.Termik Verim	47,16%	
11.Toplam Verim	90,80%	

4.2.10. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 100 Yük Durumunda Senelik İşletme Değerleri

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda senelik işletme değerleri Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.13: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda senelik işletme değerleri tablosu.

1. Yıllık Çalışma Saati	7.200,00	saat/yıl
2. Yakıt Tüketimi	2.064.000,00	m3/yıl
3. Yıllık Üretilen Elektrik Enerjisi	8.560.800,00	kw/yıl
4. Yıllık Tüketilen Elektrik enerjisi % 75	6.420.000,00	kw/yıl
5. Üretim Fazlası Elektrik Enerjisi	2.140.000,00	kw/yıl
6. Maksimum Isıl Kapasite	9.338.400,00	kw/yıl
7.Tüketilen Isıl Enerji % 60	5.229.504,00	kw/yıl
8. Mevcut Tüketilen Elektriğin Birim Fiyatı	0,077	Euro/kwh
9.Satılacak Elektriğin Birim Fiyatı	0,062	Euro/kwh
10. Atık Isı Bedeli	30,60	Euro/1000kwth
11. Doğalgaz Tüketimi	2.064.000,00	Sm3
12. Yağlama Yağı Tüketimi (SAE 40)	1,30	ton/yıl
13. Doğalgaz Fiyatı	249,00	Euro/1000Sm3
14. Yağlama Yağı Fiyatı	1.500,00	Euro/ton

4.2.11. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 100 Yük Durumunda Senelik İşletme Gelirleri

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda senelik işletme gelirleri hesaplanıp Tablo 4.14'de işlenmiştir.

Tablo 4.14: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda senelik işletme gelirleri tablosu.

1.Tüketilen Elektrik Geliri	497.363,00	Euro
2.Atık Isıdan Kazanılan Gelir	159.779,00	Euro
3.Satılan Elektrikten Gelir	133.300,00	Euro
4.Kojen Toplam Gelir	790.442,00	Euro

4.2.12. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 100 Yük Durumunda Senelik İşletme Giderleri

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda senelik işletme giderleri hesaplanıp Tablo 4.15'de işlenmiştir.

Tablo 4.15: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda senelik işletme giderleri tablosu.

1.Doğalgaz Gideri	514.215,00	Euro
2.Yağlama Gideri	1.944,00	Euro
3.Bakım Gideri	28.080,00	Euro
4.Lisans Gideri	4.000,00	Euro
5.Toplam İşletme Gideri	548.239,00	Euro

4.2.13. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 100 Yük Durumunda Geri Ödeme Süresi

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda geri ödeme süresi hesaplanıp Tablo 4.16'da işlenmiştir.

Tablo 4.16: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda geri ödeme süresi tablosu.

1.Toplam İşletme Geliri	790.442,00	Euro
2.Toplam İşletme Gideri	548.239,00	Euro
3.İşletme Karı	242.203,00	Euro
4.Yatırım Tutarı	578.000,00	Euro
5.Proje Geri Ödeme Süresi	2,39	Yıl

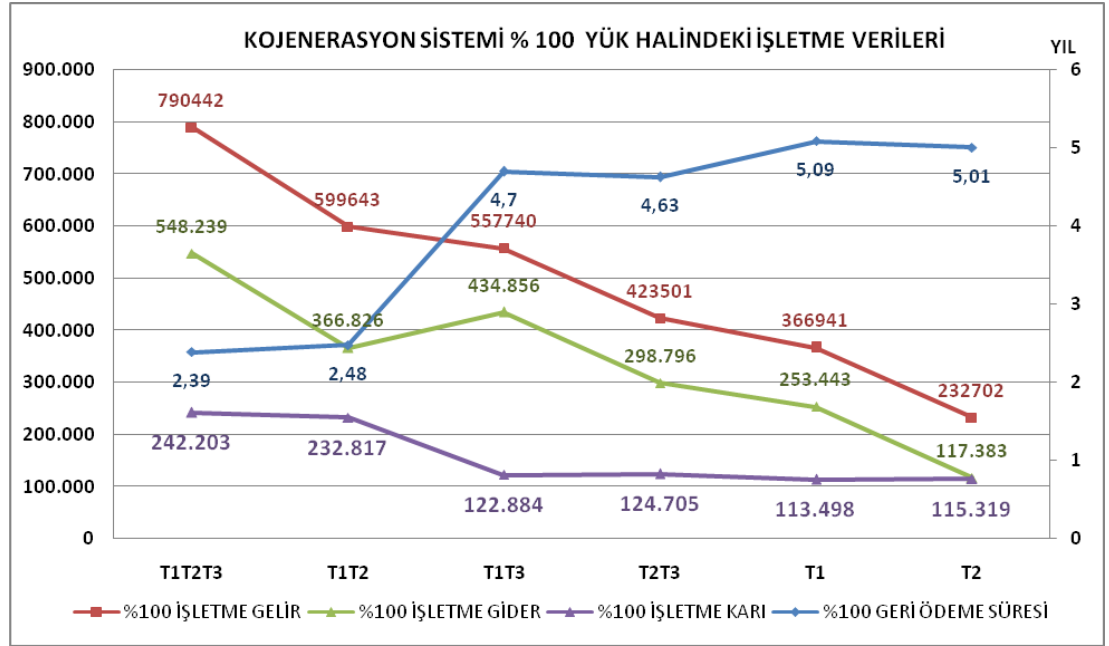
4.2.14. 1200 kW Gücündeki Kojenerasyon Sisteminin % 100 Yük Durumunda Birim Elektrik Maliyeti (Net Elektrik Üretimine Oranlanmış)

MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda birim elektrik maliyeti hesaplanıp Tablo 4.17'da işlenmiştir.

Tablo 4.17: MWM TCG 2020 V12 doğalgazlı 1.2 MW kojenerasyon santrali % 100 yük durumunda birim elektrik maliyet tablosu.

1. Yakıt Birim Elektrik Maliyeti	0,0601	Euro /kwh
2. Yağlama Yağı Birim Elektrik Maliyeti	0,0002	Euro /kwh
3. Bakım Giderleri Birim Elektrik Maliyeti	0,0033	Euro /kwh
4.Toplam İşletme Gideri Birim Elektrik Maliyeti	0,0636	Euro /kwh
5.Atık Isı Kazancı Birim Elektrik Maliyeti	0,0187	Euro /kwh
6.Atık Isı Kazancı Düşükten Sonra Birim Elektrik Maliyeti	0,0449	Euro /kwh

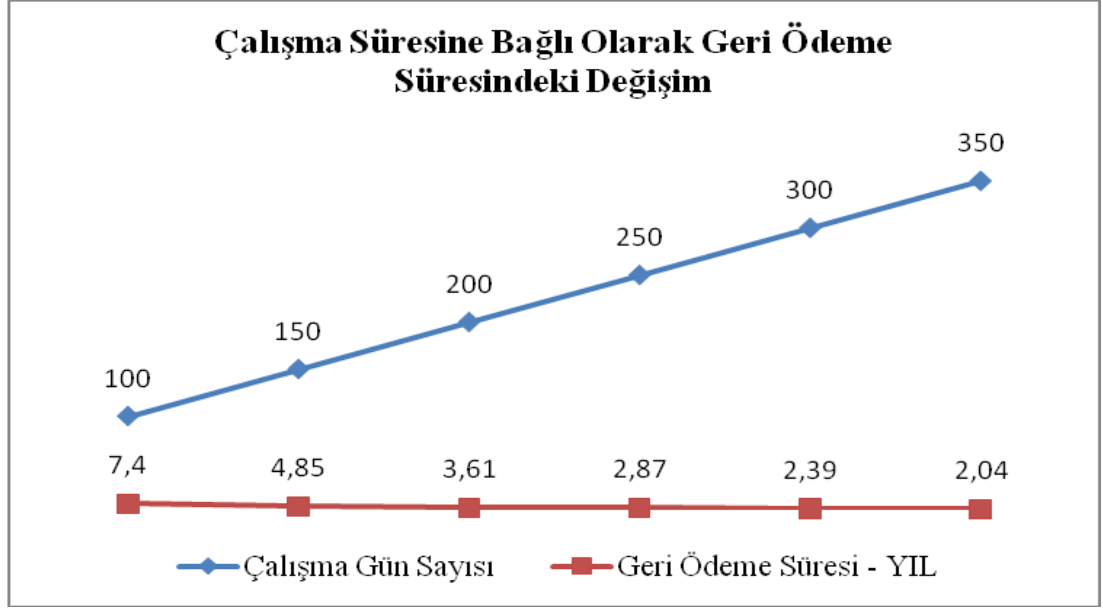
Kojenerasyon sisteminin %100 yük durumunda fiziblite hesapları T1T2T3, T1T2, T1T3, T2T3, T1 ve T2 olarak kendi içinde 6 farklı ana senaryo için hesaplanmıştır. T3 zaman diliminde dışarıdan alınan elektrik birim fiyatı atık ısı kazancı düştükten sonraki birim elektrik maliyetinden daha ucuz olduğundan hesaplara katılmamıştır. Doğalgaz yakıtlı kojenerasyon sisteminde farklı zaman dilimlerine bağlı olarak % 56 ısı kullanım oranı, yılda 300 gün çalışmasıyla %100 yükteki sistemin işletme gelir, işletme gider, işletme karı ve geri ödeme süreleri şekil 4.8 de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Kojenerasyon sistemi %100 yük halindeki işletme verileri.

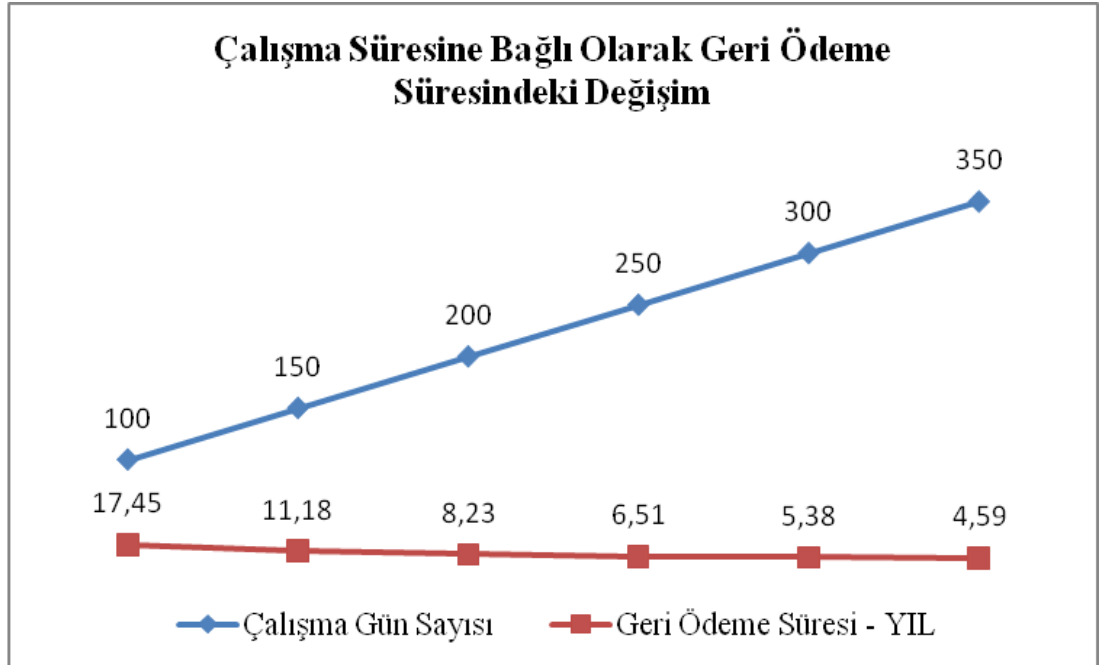
4.2.15. Kojenerasyon Sisteminin Yıllık Çalışma Gün Sayısındaki Değişime Göre Geri Ödeme Süresinin Değerlendirilmesi

Kojenerasyon sistemi yatırımının geri ödeme süresini minimize etme noktasında diğer bir senaryo olan çalışma süresinin geri ödeme süresine etkisi idi. Yatırımın geri ödeme süresini etkileyen değişken parametrelerden olan çalışma gün sayısı ile geri ödeme süresi arasında ters orantı bulunmaktadır. Yıl içerisinde sistemin çalıştığı süre arttıkça yatırımın kendini geri ödeme süresi kısalmaktadır. Buna ilişkin % 100 yük halinde T1T2T3 zaman diliminde %56 ısı kullanım oranıyla sistemin geri ödeme sürelerini gösteren grafik şekil 4.9 da verilmiştir.



Şekil 4.9: Çalışma süresine bağlı olarak % 100 yük halinde iken geri ödeme süresindeki değişim.

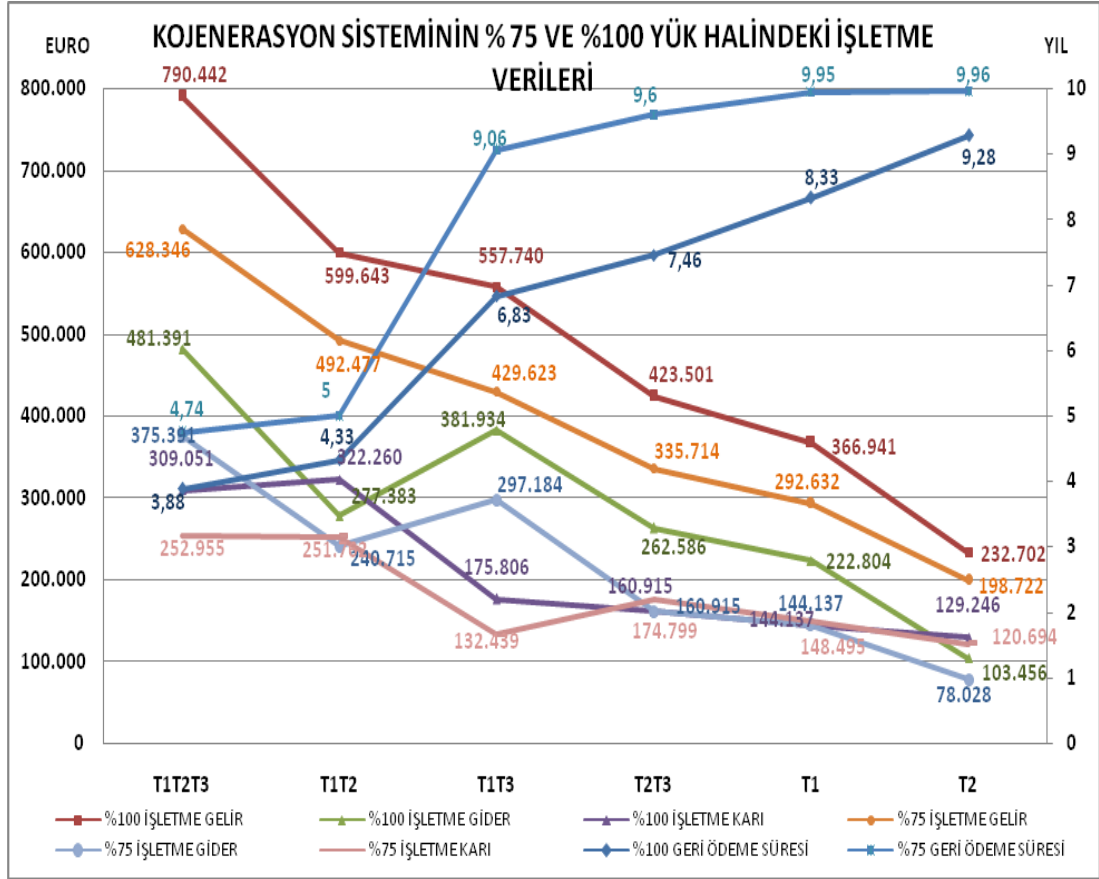
% 75 yük halinde T2T3 zaman diliminde %58 ısı kullanım oranıyla sistemin geri ödeme sürelerini gösteren grafik şekil 4.10 da verilmiştir.



Şekil 4.10: Çalışma süresine bağlı olarak % 75 yük halinde iken geri ödeme süresindeki değişimi.

4.2.16. Çift Yakıtlı Motor Kullanılması Durumunda Yatırımın Geri Ödeme Süresinin Değerlendirilmesi

Bir başka senaryo ise ülkenin doğalgaz kullanımda problem yaşaması ihtimaline karşılık projenin çift yakıtlı olarak yapıldığında yatırım % 75 ve % 100 yükte, T1T2T3, T1T2, T1T3, T2T3, T1 ve T2 sürelerinde çalışacağı düşünülerek fizibilite yapılmıştır. Gaz motorlu sisteminde yapılan hesaplardan giderek yatırımla ilgili değerlendirme yapılabilecek işletme gelir, işletme gider, işletme kar ve geri ödeme süresini gösteren grafik şekil 4.11 de verilmiştir. Alt ısı, ortalama verim, yakıt hazırlama, depolama ve işletme gider değerleri göz önünde bulundurularak yakıt eşdeğerliliğine göre 1 birim doğalgazın 0,87 birim motorine eşdeğer olduğu saptanmıştır [Web 6, 2014]. Doğalgaz yerine motorin yakmanın sonucunda termal verim, elektrik verim ve ısı çıktılarının eşdeğer olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Çift yakıtlı sistemin yatırım maliyeti 1.200.000 euro olarak alınmıştır. Çift yakıtlı kojenerasyon T1T2T3, T1T2, T1T3, T2T3, T1, T2 zaman dilimlerine bağlı olarak %58 ısı kullanım oranı, yılda 300 gün çalışmasıyla %75 yükteki sistemin işletme gelir, işletme gider, işletme karı ve geri ödeme süreleri şekil 4.11 de gösterilmiştir. Yine aynı şekilde çift yakıtlı kojenerasyon T1T2T3, T1T2, T1T3, T2T3, T1, T2 zaman dilimlerine bağlı olarak %56 ısı kullanım oranı, yılda 300 gün çalışmasıyla % 100 yükteki sistemin işletme gelir, işletme gider, işletme karı ve geri ödeme süreleri şekil 4.11 de gösterilmiştir.



Şekil 4.11: Çift yakıtlı kojenerasyon sisteminin % 75 ve %100 yük halindeki işletme verileri grafiği.

4.3. Altı Farklı Senaryonun İşletme Sonuçları

Gazbeton fabrikası kojenerasyon sistemi yatırımı için sistemin % 75 yük durumu ile çalışması, % 100 yük ile üretilen fazla elektriğin dışarıya satılması, yıllık çalışma gün sayısındaki değişimi, ceket ısısından yararlanılarak elde edilecek 90°C su için ΔT değerindeki değişimi, T1T2T3 çalışma zamanlarındaki değişimi ve son olarak çift yakıtlı kojenerasyon sistemi için yapılan hesaplamalar sonucunda geri ödeme süreleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar tek yakıtlı sistem için tablo 4.18' de, çift yakıtlı sistem için tablo 4.19' da işlenmiştir.

6 farklı senaryonun işletme sonuçlarına bakacak olursak; tek yakıtlı ve çift yakıtlı sistemlerin geri ödeme süreleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Çift yakıtlı sistemin yatırım maliyetinin daha yüksek olması sebebi ile tek yakıtlı sisteme nazaran geri ödeme süresi daha uzundur. Bunun yanı sıra kojenerasyon sisteminin yıl içerisinde devrede kaldığı gün sayısı arttıkça gelir gider farkı (işletme karı)

artmaktadır. Buna bağılı olarak geri ödeme süresinin kısaldığı tablo 4.18 ve 4.19'da görülebilmektedir. Aynı zamanda işletme, sadece kendine ihtiyaç duyduğu kadar elektrik üretmek yerine sistemi tam kapasiteli (%100 yük ile) çalıştırıp, tüketim fazlası üretilmiş olan elektriğı TEİAŞ'ın belirlemiş olduğu birim fiyatlara göre yaklaşık %40 karla satıp geri ödeme süresini kısaltabilmektedir. Kojenerasyon sistemin konvansiyonel sisteme göre daha verimli bir sistem olduğundan elektriğı daha ucuza üretilmesine imkan vermektedir. Kojenerasyon sisteminde elektrik üretmenin birim fiyatı 0,0459 €/kwh' tır. Fabrika T1 ve T2 zamanlarında bu fiyattan daha pahalıya elektrik tedarik etmektedir. T3 zamanında ise daha ucuza elektrik tedarigi yapabilmektedir. İşte bu yüzden ki T3 (0,0435 €/kwh) fiyatı kojenerasyon birim fiyatından daha düşük olduğundan fizibilite değerlendirmelerine alınmamıştır. T1T2T3 günün 24 saatini sembolize etmekte, T1T2T3 ağırlıklı ortalama değeri olan 0,0774 €/kwh , kojenerasyon sisteminde elektrik üretmenin birim fiyatı 0,0459 €/kwh değerinden büyük olmasına rağmen devlet yerinde elektrik üretmeye çok değer verdiğinden elektrik satış kar marjını yüksek tutmasından dolayı sistemin T1T2T3 zamanlarında çalışması geri ödeme süresini her zaman en aza çektiğı görülmektedir. Son olarak; ceket ısısından yararlanılırken cekete giren ve çıkan su sıcaklığı arasındaki değeri yani ΔT değeri arttıkça elde edilen 90°C suyun debisi azalmaktadır. Su debisi azaldıkça da ısı kullanım oranı artmaktadır. Sistemde artan ısı kullanım oranı tablo 4.18 ve 4.19' da görüldüğü üzere geri ödeme süresini her zaman azaltmaktadır.

Tablo 4.18: Tek yakıtlı kojenerasyon sisteminin tüm senaryoları içeren geri ödeme süresi tablosu.

TEK YAKITLI (DOĞALGAZ) KOJENERASYON SİSTEMİ																	
		I.K.O. (%)	Çalışma Gün Sayısı								I.K.O. (%)	Çalışma Gün Sayısı					
			350	300	250	200	150	100				350	300	250	200	150	100
100%	T1T2T3	58	1,99	2,33	2,81	3,53	4,74	7,23	75%	T1T2T3	58	2,49	2,81	3,48	4,35	5,81	
		56	2,04	2,39	2,87	3,61	4,85	7,40			56	2,55	2,97	3,56	4,46	5,94	
		55	2,06	2,41	2,91	3,65	4,91	7,50			55	2,58	3,00	3,61	4,51	6,01	
		54	2,09	2,44	2,94	3,70	4,97	7,59			54	2,61	3,04	3,65	4,56	6,08	
	T1T2	58	2,09	2,44	2,94	3,70	4,97	7,58		T1T2	58	2,43	2,81	3,40	4,25	5,67	
		56	2,12	2,48	2,99	3,76	5,05	7,71			56	2,46	2,88	3,45	4,31	5,75	
		55	2,14	2,50	3,01	3,79	5,09	7,78			55	2,48	2,90	3,48	4,35	5,79	
		54	2,16	2,52	3,04	3,82	5,14	7,85			54	2,50	2,92	3,50	4,38	5,84	
	T1T3	58	3,87	4,54	5,48	6,91	9,37	-		T1T3	58	5,52	6,31	7,72	9,65	-	-
		56	4,01	4,70	5,68	7,17	9,72	-			56	5,74	6,70	8,04	-	-	-
		55	4,09	4,79	5,79	7,31	9,91	-			55	5,87	6,84	8,21	-	-	-
		54	4,17	4,88	5,90	7,45	-	-			54	5,99	6,99	8,39	-	-	-
	T2T3	58	3,86	4,52	5,46	6,89	9,34	-		T2T3	58	4,59	5,54	6,51	8,23	-	-
		56	3,95	4,63	5,60	7,07	9,58	-			56	4,92	5,74	6,88	8,60	-	-
		55	4,00	4,69	5,67	7,16	9,70	-			55	4,98	5,81	6,97	8,71	-	-
		54	4,05	4,75	5,74	7,25	9,83	-			54	5,04	5,89	7,07	8,80	-	-
	T1	58	4,25	4,98	6,01	7,60	-	-		T1	58	5,17	5,96	7,23	9,04	-	-
		56	4,34	5,09	6,15	7,78	-	-			56	5,28	6,16	7,39	9,24	-	-
		55	4,39	5,15	6,23	7,87	-	-			55	5,34	6,23	7,47	9,34	-	-
		54	4,45	5,21	6,30	7,96	-	-			54	5,40	6,30	7,51	9,44	-	-
	T2	58	4,23	4,96	5,99	7,57	-	-		T2	58	4,53	5,27	6,35	7,93	-	-
		56	4,27	5,01	6,06	7,65	-	-			56	4,57	5,33	6,40	8,00	-	-
		55	4,30	5,04	6,09	7,69	-	-			55	4,59	5,36	6,43	8,04	-	-
		54	4,32	5,06	6,12	7,73	-	-			54	4,61	5,38	6,46	8,08	-	-

Tablo 4.19: Çift yakıtlı kojenerasyon sisteminin tüm senaryoları içeren geri ödeme süresi tablosu.

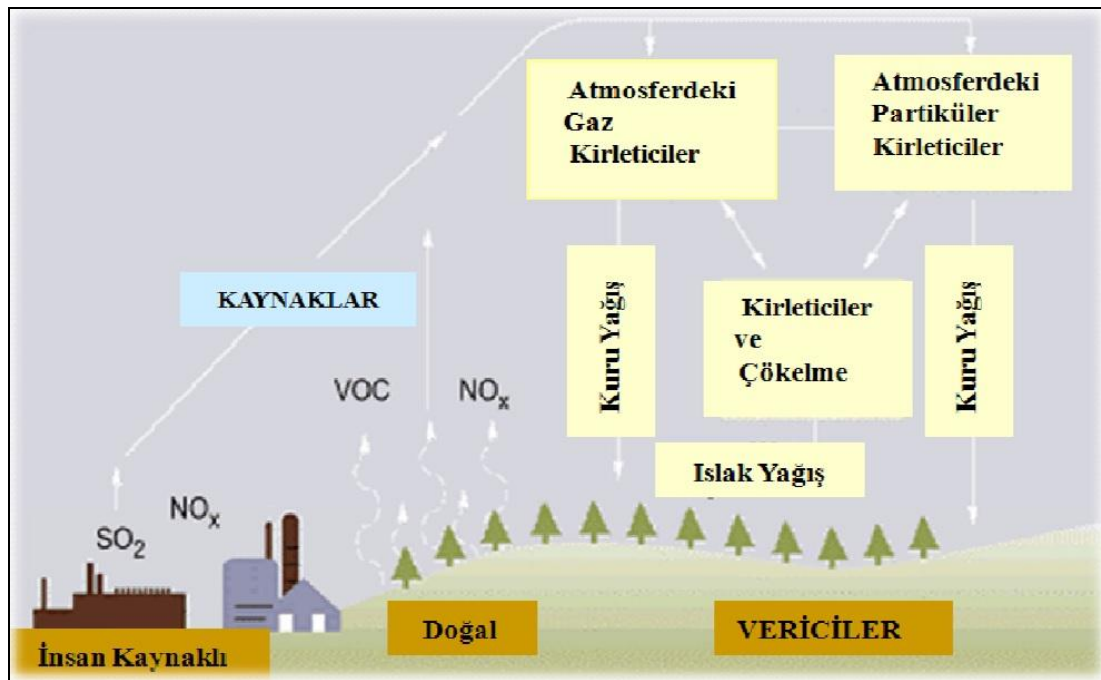
ÇİFT YAKITLI (DOĞALGAZ+MOTORİN) KOJENERASYON SİSTEMİ																	
		I.K.O. (%)	Çalışma Gün Sayısı								I.K.O. (%)	Çalışma Gün Sayısı					
			350	300	250	200	150	100				350	300	250	200	150	100
100%	T1T2T3	58	2,71	3,81	6,41	-	-	-	75%	T1T2T3	58	3,43	4,74	7,93	-	-	-
		56	2,75	3,88	6,58	-	-	-			56	3,48	4,87	8,13	-	-	-
		55	2,77	3,92	6,67	-	-	-			55	3,51	4,92	8,23	-	-	-
		54	2,80	3,96	6,76	-	-	-			54	3,53	4,96	8,34	-	-	-
	T1T2	58	3,17	4,27	6,52	-	-	-		T1T2	58	3,78	5,00	7,49	-	-	-
		56	3,21	4,33	6,64	-	-	-			56	3,83	5,09	7,61	-	-	-
		55	3,23	4,36	6,70	-	-	-			55	3,85	5,13	7,67	-	-	-
		54	3,25	4,39	6,76	-	-	-			54	3,87	5,16	7,73	-	-	-
	T1T3	58	4,44	6,65	-	-	-	-		T1T3	58	6,06	9,06	-	-	-	-
		56	4,53	6,83	-	-	-	-			56	6,19	9,44	-	-	-	-
		55	4,58	6,91	-	-	-	-			55	6,26	9,57	-	-	-	-
		54	4,62	7,01	-	-	-	-			54	6,33	9,71	-	-	-	-
	T2T3	58	5,16	7,32	-	-	-	-		T2T3	58	6,51	9,60	-	-	-	-
		56	5,25	7,46	-	-	-	-			56	6,62	9,32	-	-	-	-
		55	5,29	7,53	-	-	-	-			55	6,67	9,41	-	-	-	-
		54	5,33	7,60	-	-	-	-			54	6,72	9,50	-	-	-	-
	T1	58	5,82	8,18	-	-	-	-		T1	58	7,24	9,95	-	-	-	-
		56	5,91	8,33	-	-	-	-			56	7,34	-	-	-	-	-
		55	5,96	8,40	-	-	-	-			55	7,40	-	-	-	-	-
		54	6,00	8,48	-	-	-	-			54	7,45	-	-	-	-	-
	T2	58	7,13	9,20	-	-	-	-		T2	58	7,89	9,96	-	-	-	-
		56	7,19	9,28	-	-	-	-			56	7,95	-	-	-	-	-
		55	7,22	9,33	-	-	-	-			55	7,98	-	-	-	-	-
		54	7,25	-	-	-	-	-			54	8,01	-	-	-	-	-

5. KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Dünya nüfusunun her geçen gün artması, teknolojinin gelişerek insan yaşamını kolaylaştıracak ürünleri çoğaltarak kullanımını yaygınlaştırması, dünyada kişi başına düşen enerji tüketimini artırmaktadır. Bu da dünyada enerji üretiminin zorunlu olarak artmasına sebep olmaktadır. Dünya enerji ihtiyacı 2010 yılında 12.4 milyar TEP civarında olmuştur. Bu değerin 2020 yılında 15.4 milyar TEP olacağı tahmin edilmektedir [Web 3, 2014]. Endüstriyel sektörler, elektrik tüketiminde ilk sırada yer almaktadırlar. Gelişmekte olan ülkelerde elektrik ihtiyacı her geçen gün büyük bir hızla artmaktadır ve bu artışın gelecekte de süreklilik göstermesi beklenmektedir. Bir çok hükümet, enerji politikalarını, yatırımcıları elektrik üretimi konusunda teşvik etmek için yeniden gözden geçirmektedir. Bu doğrultuda, kendi elektrik üretimini yapmak isteyen endüstriyel oluşumlar için cazip ekonomik ortam, enerji tasarrufunu mümkün kılan birleşik ısı ve güç üretimiyle (kojenerasyon) mümkün olabilmektedir. Güç üretimi yapan tesisler için en büyük handikap, bu tesislerin zehirli egzoz gazlarının ve diğer zehirli bileşiklerin emisyonlarından kaynaklanan çevresel kirliliktir. Güç üretim ve kojenerasyon sistemleri, söz konusu emisyon değerlerinin düzeylerine göre insan sağlığı ve canlı organizmalar için oldukça büyük tehlike arz edebilmektedir [Frangopoulos, 1993]. Kojenerasyon veya birleşik ısı ve güç üretimi, endüstriyel işletmelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamada ekonomik avantajlar taşıması nedeniyle yirminci yüzyılın başından itibaren dünyanın dört bir yanında pek çok endüstriyel kuruluş tarafından tercih edilen bir teknoloji olagelmıştır. Kojenerasyon, ayrı ısı ve güç üretim tesislerine göre yakıt kullanımını azaltması ve buna bağlı olarak hava ve diğer çevre kirlilik emisyon değerlerini düşürmesi dolayısıyla toplam enerji kullanım verimini arttırmaktadır [Spiewak, 1997]. Öteleme pistonlu motorlarla tahrik edilen kojenerasyon sistemleri genellikle tercih edilirler. Bu sistemler, paket sistem çözümleri sunmaları ve montajlarının kolaylığı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrik üretiminde kullanılan öteleme pistonlu, içten yanmalı motorlar, turboşarjlı, ara soğutmalı endüstriyel motorlardır. Yakıt olarak ağır yakıt (fuel oil no.6), doğal gaz, motorin, LPG, propan ve biyogaz da kullanılmaktadır [Stenhede, 2004].

5.1. Çevresel Etkileri

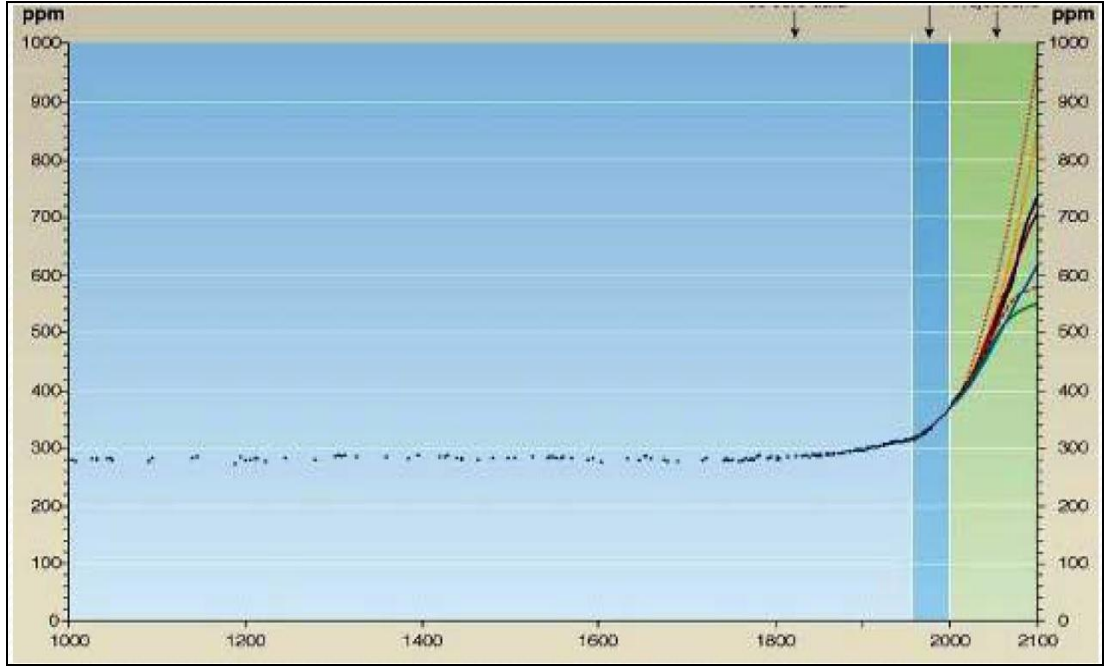
İnsan kökenli sera etkisinin oluşumunda karbondioksitin payı % 55'ten fazla, metanın % 20, kloroflorokarbonun % 18, nitrozoksitin % 5, ozonun ise % 2 dir. Atmosferdeki su buharı ile birleşen SO_2 ve NO_x ise esas olarak asit yağmurlarına yol açmaktadır. Atmosferdeki su buharı ile birleşen SO_2 ve NO_x kükürtdioksit ve nitrik asit oluşturmakta ve bu da dünyanın ekolojik dengesinin bozulmasına neden olmaktadır.



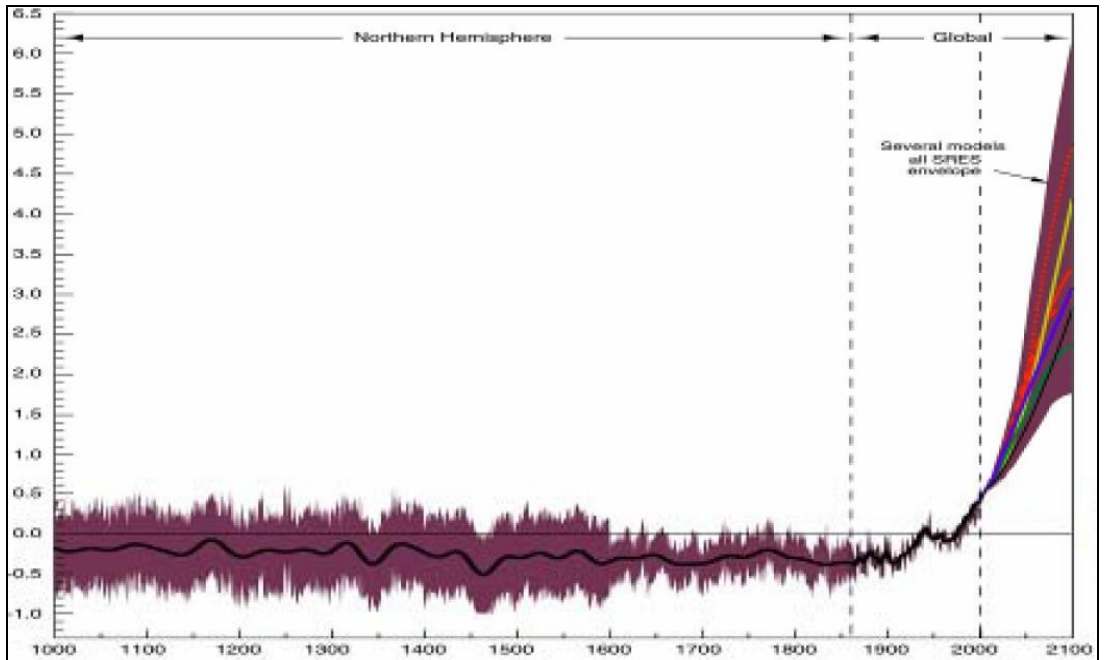
Şekil 5.1: Sera gazlarının çevresel etkileri.

Karbondioksit esas itibariyle tabiatta karbon çevriminde karbonun aldığı formlardan birisidir. Fosil yakıt olarak tabir edilen yakıtların yakılması neticesinde yanma ürünü olarak açığa çıkar. Bunun yanı sıra bazı kimyasal, elektrokimyasal ve biyokimyasal süreçler neticesinde de karbondioksit oluşur. Bu süreçlerden en önemlisi doğadaki karbon çevrimi içerisinde CO_2 dönüşümünün olduğu denizlerde meydana gelen süreçtir. Bu süreç içerisinde açığa çıkan CO_2 atmosfere yükselir. Daha sonra tekrar toprağa ve suya döner. Bu çevrim tabii hayatın devamlılığındaki temel döngülerdendir. Bunun dışında dünya üzerindeki bitki ve ağaçların yanması ve yakılması neticesinde de atmosfere oldukça büyük miktarlarda karbondioksit salınır.

Karbondiyoksit atmosferde diğ er sera gazları ile birlikte dünyanın ısı ve sıcaklık dengesini korur.



Şekil 5.2: Atmosferdeki CO₂ yoğunluğunun tarihsel gelişimi.



Şekil 5.3: Küresel sıcaklık değişimleri.

Ancak sanayileşme ile birlikte bu denge üzerinde insan tesiri önemli bir etken olarak ortaya çıkmaktadır. Sera etkisini oluşturan bileşenlerden karbondioksitte oldukça uzun zaman dilimlerinde görülebilecek değişiklik son 160 yılda insan eliyle yapılan işler neticesinde olmuştur. Öyle ki 10.000 yılda olabilecek bu değişime son 100 yılda ulaşılmıştır. Karbondioksit miktarı 180 ppm'den 280 ppm'e çıkmıştır. Her yıl insan kaynaklı net 3,25 milyar ton karbon atmosfere verilmektedir. Çevresel kirliliğindeki kojenerasyonun yerini açacak olursak, içten yanmalı motorlardan çıkan egzoz gazı emisyonları oluşturmaktadır. Atmosfere verilen değişik kirleticilerin miktarı kullanılan yakıtın tipine bağlı olarak değişmektedir. Bileşik ısı-güç üretim tesislerinde yakıt olarak yaygın şekilde doğal gaz kullanılmaktadır. Enerji üretiminde, çevresel etkilerin dikkate alınması ile birlikte enerji santrallerindeki atıklar konusu ve özellikle baca gazı konusu oldukça önemli bir hale gelmiştir. Santral bacalarından atılan gazların başlıcaları; SO_2 , NO_x ve CO_2 'dir. Bu üç gaz santraldeki yanmanın ürünü olarak açığa çıkar. SO_2 gazı, ya baca gazı arıtma ya da yanma sisteminde değişik teknikler (akışkan yataklı sistemler vb. gibi) kullanılarak, kabul edilebilir seviyelere çekilmektedir. Yakıt olarak doğal gaz tüketildiğinde SO_2 gazı oluşumu söz konusu değildir. Sıvı yakıt kullanıldığı (petrol türevi) takdirde yakıttaki sülfür oranına bağlı olarak SO_2 ortaya çıkar. Kojenerasyonda asıl emisyon sorunu NO_x ile ilgilidir. Küçük bir bölgede meydana gelen yanma, yanma sıcaklığının yüksek olmasına yol açar. Bu sebepten dolayı NO_x oluşumu artar. Son teknolojik gelişmeler (alevin yayılması ve/veya su ya da buhar püskürterek yanma sıcaklığının düşürülmesi) NO_x oluşumunun kabul edilebilir seviyelere düşürülmesini sağlamıştır. Bunun dışında, SO_2 'de olduğu gibi çeşitli baca gazı NO_x ($DENO_x$) arıtma sistemleri de kullanılmaktadır (katalitik konvertör). Bu filtrelerde amonyak yardımıyla nitrojen oksitler azot gazı ve suya parçalanırlar. CO_2 gazı ise, yanma sırasında açığa çıkan ve SO_2 ile NO_2 gibi arıtılması veya azaltılması yapılmayan bir gazdır. Yeryüzündeki sera etkisinin birincil sebebini oluşturmaktadır. Bu gazın birim enerji için açığa çıkan miktarını azaltmaktan başka yapılacak bir yöntem yoktur. Bu ise direkt olarak enerji çevrim veriminin artırılmasıyla mümkündür [Web 3, 2014].

5.2. Enerji-Çevre-İklim Değişikliği

Sıcaklık: Sanayi devriminden itibaren gözlem kayıtlarında yer alan en sıcak 12 yılın 11'i 1995-2006 yılları arasında yaşanmıştır. Küresel ortalama yüzey sıcaklıkları için güncellenen 100 yıllık (1906-2005) doğrusal eğilimin büyüklüğü, 0,74 °C' ye ulaşmıştır (0,74±0,18 °C). Doğrusal ısınma eğilimi, son 50 yıllık dönemde, geçen 100 yıllık dönemin yaklaşık iki katı olmuştur (0,13 °C/10 yıl). Arktik bölgede 19. yüzyıldan 21. yüzyıla ve 1960 lardan günümüze kadar olan dönemdeki ısınma, küresel ortalamanın iki katıdır. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren aşırı sıcak dalgası olayları sıklaşmaya başlamıştır. Donlu günler ve en soğuk günler sayısı azalmıştır.

Yağış Rejimi: 1900 den 2005 yılını kapsayan yağış gözlemlerine göre; Kuzey ve Güney Amerika'nın doğusunda, kuzey Avrupa'da, Kuzey ve Orta Asya'da yağışın artmakta, Sahel Akdeniz havzası, Güney Afrika ve Güney Asya'nın bir bölümünde ise önemli ölçüde azalmaktadır. 1970 li yıllardan itibaren tropikler ve subtropiklerde daha şiddetli ve uzun kuraklıklar gözlenmektedir. Aşırı yağış ve tropik siklon olaylarında hissedilir artış gözlemlenmektedir..

Buzul Bölgeleri: Permafrost tabakasının yüzey sıcaklığında 1980' lerden beri gözlenen artış 3 °C dir. Kuzey Yarı Küre'de mevsimlik olarak donan toprakların kapladığı maksimum alan 1900 yılından bu yana yaklaşık % 7, ilkbaharda %15 azalmıştır. 1980' lerden itibaren ilkbaharda karla kaplı alanlarda %5 azalma gözlenmiştir. Deniz buzlarının kapladığı alanlar her 10 yıl için ortalama %2,7 yaz aylarında %7,4 azalmaktadır.



Şekil 5.4: İklim değışikliğinin buzullar üzerindeki etkisi.

5.3. Gaz Motorlarının Yasal Emisyon Sınırlamaları

Sanayi ve enerji üretim tesislerinin faaliyeti sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak; insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden korumak; hava kirlenmeleri sebebiyle çevrede ortaya çıkan umuma ve komşuluk münasebetlerine önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmamasını sağlamak amacıyla 2006 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından "Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" çıkartılmıştır. Bu Yönetmelik; tesislerin kurulması ve işletilmesi için gerekli olan ön izin, izin, şartlı ve kısmi izin başvuruları, tesisten çıkan emisyonun ve tesisin etki alanı içerisinde hava kirliliğinin önlenmesi tetkik ve tespiti ile, tesislerin, yakıtların, ham maddelerin ve ürünlerin üretilmesi, kullanılması, depolanması ve taşınmasına ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır.

Doğaya salınan sera gazlarının kontrolü ve azaltımı adına yönetmelik kapsamında tesis sahipleri veya işleticileri tesislerinde üretimden, yakıt tüketiminden ve yakma sistemlerinden kaynaklanan sera gazları (Karbondioksit-CO₂, Metan-CH₄, Nitrozoksit-N₂O, Hidrofloro karbonlar-HFCs ,Perfloro karbonlar-PFCs ,Kükürt

hegzaflorid SF₆ ve kloro floro karbonlar CFCs) miktarlarını (ton/yıl-ton/ay) belirlemek ve alınan sera gazlarını azaltma önlemlerini açıklamakla yükümlüdür. Sera gazları ile ilgili bilgiler emisyon izin dosyasında ayrı bir bölüm olarak verilmelidir. Bu Yönetmelikte belirtilen teyit zorunluluğundan bağımsız olarak her yıl bu bilgilerin Çevre ve Orman Bakanlığına gönderilmesi zorunlu bulunmaktadır. Kıvılcım ateşlemeli olarak da adlandırılan gaz motorlarının emisyon sınırlamalarında baca gazında hacimsel oksijen miktarı % 5 alınacaktır. Karbon monoksit emisyonu; yakıt ısı gücü 3 MW'a kadar olan tesislerde (bio gaz kullananlar da dahil) baca gazındaki karbon monoksit emisyonu 1000 mg/Nm³, yakıt ısı gücü 3 MW veya daha fazla olan tesislerde (bio gaz kullananlar da dahil) Baca gazındaki karbon monoksit emisyonu 650 mg/Nm³, değerini aşamaz. Azot oksit emisyonları (Azot dioksit cinsinden); yakıt ısı gücü 3 MW'a kadar olan tesislerde (bio gaz kullananlar da dahil) baca gazındaki azot oksit emisyonu 1000 mg/Nm³, yakıt ısı gücü 3 MW veya daha fazla olan tesislerde (bio gaz kullananlar da dahil) baca gazındaki azot oksit emisyonu 500 mg/Nm³, değerini aşamaz [ResGaz, 1].

5.4. Çevresel ve Ekonomik Faydaları

- Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ile yerli veya ithal fosil enerji kaynaklarının tasarrufu sağlanmaktadır.
- Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması sağlanmaktadır.
- Yakıt biyogazın atıklardan elde edilmesi ile atıklarındaki enerjinin geri kazanımı sağlanmaktadır.
- Yakıt biyogazın atıklardan elde edilmesi ile ekonomik bir yakıt temin edilmesi ile fiyat verimliliğinin artırılması, enerji maliyet azalımı sağlanmaktadır.
- Kömürün yanması sonucu meydana gelen kül ve kükürt oksitler ile fuel-oilin sebep olduğu diğer emisyonların bertarafı ve özellikle CO₂ ve SO₂ emisyonlarında önemli miktarda kazanım sağlanmaktadır.[Web 3, 2014]

6. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Dünyada ve ülkemizde teknolojinin hızla gelişmesiyle enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artmasıyla sınırlı olan birincil enerji kaynaklarının da tasarruflu kullanılması konusu büyük önem taşımaktadır. Enerji bakımından dışa bağımlı olan ülkemizin enerjiyi en verimli şekilde kullanması gerekmektedir. Kullandığı enerjiyi de maksimum şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarından temin etmesi gerekmektedir. Henüz Avrupa'nın ve gelişmiş ülkelerin gerisinde olmamıza rağmen son yıllarda devletin yenilenebilir enerji kaynaklarına yaptığı yatırımlarla bu konudaki hassasiyetini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yüksek verimli enerji üreten sistemlerin, enerji üretiminde tercih edilmesi doğaya salınacak daha az emisyon gazları anlamına gelmektedir. Bu da küresel ısınmanın daha da problemli boyuta gelmemesine olumlu katkı sağlayacaktır.

Kojenerasyon sistemleri de işletmecilere dolayısıyla ülkemize mali ve çevresel açıdan birçok katkı sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında doğalgaz yakıtlı 1.2 MW gücündeki gaz motorlu ve çift yakıtlı kojenerasyon sisteminin Türk Ytong San A.Ş. firmasının pendik fabrikasına uygulanabilirliği farklı işletme senaryoları ile değerlendirilmiş ve çok olumlu sonuçlar alınmıştır.

Çalışma içeriğinde kojenerasyon sisteminin % 75 yük ile çalıştırılması ile sadece kendi elektrik talebini karşılamasıyla geri ödeme süresi değerlendirilmiştir. Diğer bir senaryo ise kojenerasyon sisteminin % 100 yükte çalıştırılarak tüketim fazlası üretilen elektrik enerjisinin dışarıya satma durumu değerlendirilmiştir. % 75 ve %100 yükte çalışma halleri tek yakıtlı (doğalgazlı sistem) ve çift yakıtlı (doğalgaz+motorin) sistemler için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu iki senaryonun detayında geri ödeme süresini etkileyen T1,T2,T3 zamanları, yıllık çalışma süresi ve ısı kullanma oranları da hesaplara katılarak senaryolar arttırılmış ve geri ödeme süresini minimize edecek durum ortaya koyulmuştur. Kojenerasyon sistemi konvansiyonel sisteme göre daha verimli olduğundan atmosfere daha az emisyon gazı salınacağı sonucuna varılmıştır. Detaylı fizibilitesi çıkartılan sistemin termal açıdan bakıldığında sistemden elde edilen atık ısının kullanma yüzdesi arttıkça projenin geri ödeme süresinin kısaldığı görülmüştür. Aynı şekilde sistemin yıl içerisinde devrede kaldığı gün sayısı arttıkça proje geri ödeme süresi kısalmıştır. Çift yakıtlı sistemin yatırım maliyeti çok yüksek olduğundan birçok senaryoda fizibil

çıkmadığı gözlenmiştir. Geri dönüş süresini etkileyen diğer parametreler ise sistemin çalışacağı yük oranı, döviz fiyatları, bakım masrafları, yağlama yağı birim fiyatları, doğalgaz birim fiyatları olarak dikkat çekmiştir. En kısa geri ödeme süresi ise tek yakıtlı kojenerasyon sisteminin ısı kullanım oranı %58, yılda 350 gün çalışması, T1T2T3 zamanlarında % 100 yükte tüketim fazlası üretilen elektrik enerjisini dışarıya satarak elde edildiği görülmüştür. Kojenerasyon sisteminin konvansiyonel sisteme göre ortalama %35 daha verimli olması, şirkete mali desteğinin olması, devletin enerjideki dışa bağımlılığını azaltması ve son olarak çevreye olan olumlu katkılarından dolayı bu yatırımın gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür.

KAYNAKLAR

Akdeniz N., (2007), “Doğalgazlı Kojenerasyon Sisteminin Sisteminin Ekserjetik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Arat B., (2006), “Organize Sanayi Bölgelerinde Kojenerasyon Santralının Yer Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Çakır U., (2007), “Aziziye Araştırma Hastanesi Enerji Gereksinimi İçin Kojenerasyon Sisteminin Uygulanabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi.

Çalışıcı M. Ü., (2005), “Kojenerasyon Sistemleri ve Bir İşletmenin İhtiyacını Karşılacak Sistemin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi.

Dişçigil M., (2007), “Güneş Panellerinde Kojenerasyon ve Ekserji Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi.

Erdem H. H., Sevilgen S. H., Çetin B., Akkaya A. V., (2004), “Kojenerasyon Sistemlerindeki Yakıt Fiyatlarının ve Birim Yakıt Maliyetlerinin Analizi”, Journal Of Engineering and Natural Sciences, 1, 13-22.

Ergezen M. D., (2001), “Enerji Üretiminde Kojenerasyon Teknolojilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.

Frangopoulos C. A., (1993), “Cogeneration of Heat and Power”, The Way Forward, Proceedings of a European Conference, 11-14, Athena, Greece, 3-5 November.

İmal M., Onat A., (2003), “Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Kojenerasyon Sistemlerinin Kısmi Yüke Göre Verimliliğinin Karşılaştırılması”, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri ve Mühendislik Dergisi, 2, 60-71.

İster İ., (2006), “Mevcut Bir Fabrikada Trijenerasyon Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Kıncay M., (2006), “Bir Üniversite Kampüsü İçin Uygun Enerji Sisteminin Seçimi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 1, 5-12.

Kömürlü R., Önel H., (2007), “Gaz beton Yapı Ürünlerinin Konutlarda Kullanımı”, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2, 145-158.

Rahim M A., Gündüz D., (2013), “Gaz Türbinli Bir Isıl-Güç (Kojenerasyon) Çevrim Santralının Enerji ve Ekserji Analizi: Ankara Şartlarında Uygulama”, Türk Bilim Araştırma Vakfı Dergisi, 6(2), 19-27.

ResGaz 1, (2006), Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 22 Temmuz 2006 tarih ve 26236 sayılı Resmi Gazete.

Spiewak S., (1997), “Cogeneration and Small Power Production Manual”, 5th Edition, Lavoisier.

Stenhede T., (2004), “Cogeneration and Emissions”, 10th International Energy and Environmental Technology Systems Fair and Conference, 365-368, İstanbul, Turkey, 17-19 December.

Tsai W. T., Heisen K. J., (2007), “An Analysis Of Cogeneration System Utilized as Sustainable Energy Reviews” 11, 2104-2120.

TSE, (1988), “Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları”, TS 453, Türk Standartları Enstitüsü.

Ünverdi A., (2006), “Yüksek Sıcaklık Altında Gazbeton Kırıklı Betonların Dayanımlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi.

Web 1, (2014), <http://www.ytong.com.tr>, (Erişim Tarihi, 04/04/2014).

Web 2, (2014), http://en.wikipedia.org/wiki/Autoclaved_Aerated_Concrete, (Erişim Tarihi: 05/05/2014).

Web 3, (2014), http://www.enerji_dunyasi.com/kojenerasyon_ve_trijenerasyon_uygula, (Erişim Tarihi: 07/04/2014).

Web 4, (2014), <http://www.btisi.com.tr/kojenerasyon>, (Erişim Tarihi: 15/04/2014).

Web 5, (2013), http://www.enerjidergisi.com.tr/haber/2013/01/turkiye_de_yasal_alt_yapi_kojenerasyon_gelismesine_uygun_mu, (Erişim Tarihi: 18/04/2014).

Web 6, (2014) http://www.yasam.com.tr/liste_goster, (Erişim Tarihi:14/07/2014).

Yenice, O. T., (2007), “Kırsal Kesimde Kurulabilecek Doğalgaz Yakıtlı Otoprodüktör Kojenerasyon Santralleri Üzerinde Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Gezer, 1984 yılında Bilecik' de doğdu. Lisans eğitimini 2002-2006 yılları arasında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü' nde tamamladı. 2006 yılı 8. ayından itibaren Berk Doğalgaz firmasında proje mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2007 yılında askerlik görevini tamamladı. 2008 yılı eylül ayında Türk Ytong San. A.Ş' de bakım mühendisi olarak göreve başladı. Aynı firmada 2010 yılından bu yana Bakım ve Yardımcı İşletmeler Şefliği görevini yürütmektedir. Aynı zamanda İş Sağlığı ve Güvenliği Kurul Üyeliği ve Enerji Yöneticiliği görevlerini de yürütmektedir. Yüksek lisans eğitimini 2012-2014 yılları arasında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim dalında tamamladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

