

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**İLBANK A.Ş. ÜSTYAPI İŞLERİNDE KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN
UYGULANMASI VE MALİYET ANALİZİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet DONK

UZMANLIK TEZİ

NİSAN 2017



İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

**İLBANK A.Ş. ÜSTYAPI İŞLERİNDE KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN
UYGULANMASI VE MALİYET ANALİZİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet DONK

UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı (Kurum)

Güzide GÖKAŞAN

Tez Danışmanı (Üniversite)

Doç. Dr. Nursel AKÇAM

ETİK BEYAN

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet DONK

03/04/2017

İlbank A.Ş. Üstyapı İşlerinde Kojenerasyon Sistemlerinin Uygulanması ve Maliyet

Analizinin Araştırılması

(Uzmanlık Tezi)

Mehmet DONK

İLBANK A.Ş.

Nisan 2017

ÖZET

Ülkemizin gelişen ekonomik yapısında enerjinin verimli kullanımı, üzerinde yoğun şekilde çalışmalar yapılan önemli bir konudur. Bu amaç doğrultusunda enerji tasarruflu binaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Binalarda enerji tasarrufu için kullanılan teknolojilerden kojenerasyon sistemlerinin çalışma prensipleri ve uygulanabilirliği İlbank A.Ş.'nin kontrolörlüğünde yaptırılmış olan Ahlat Alışveriş Merkezi ve İlbank A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü hizmet binası örnek projeleri üzerinden detaylı şekilde incelenmiştir. Bu tez kapsamında Dünya'da ve Türkiye'de enerji tüketim ve üretim verileri üzerinde durulmuş, yenilenebilir enerji kaynaklarına değinilmiş, binalarda enerji verimliliği irdelenmiştir. Kojenerasyon sistemlerinin hukuki altyapısı açıklandıktan sonra kojenerasyon sistemleri hakkında teknik bilgiler verilerek kojenerasyon sistemlerinin seçim kriterleri oluşturulmuş, projelendirme aşamaları açıklanmıştır. Mevcut çalışır durumdaki ACITY alışveriş merkezindeki trijenerasyon tesisi incelenip, Ahlat Alışveriş Merkezi ve İlbank A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü binası için örnek projeler oluşturulup, fizibilite ve yaklaşık maliyet çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; Belediyeler ve İlbank A.Ş. açısından kojenerasyon projelerinin üstyapı uygulamalarında kullanımı ile enerji verimliliğinin sağlanacağı, yüksek olan ilk yatırım maliyetlerinin kısa sürede ekonomik avantaja çevrileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kojenerasyon, Trijenerasyon, enerji verimliliği

Sayfa Adedi : 100

Tez Danışmanı : Güzide GÖKAŞAN (Kurum)
Doç. Dr. Nursel AKÇAM (Üniversite)

İlbank A.Ş. Investigation of Implementation and Cost Analysis of Co-Generation Systems
in the Upper Construction Works

(Expertise Thesis)

Mehmet DONK

İLBANK A.Ş.

April 2017

ABSTRACT

In developing economy of Turkey, efficient usage of energy is a significant subject where studies have been intensely carried on. In accordance with this purpose, number of energy-saving buildings is increasing day by day. In this thesis, working principles and feasibility of cogeneration systems, which is a technology used for energy conservation in buildings, was analyzed in detail with pilot projects which are Ahlat Shopping Mall and İlbank A.Ş. İzmir Regional Directorate building which was built under inspection of İlbank A.Ş. Energy consumption and production data in the world and Turkey are emphasized, renewable energy sources are mentioned and energy saving in buildings is examined. General information about cogeneration systems is given and legal background of these systems is explained then selection criteria of cogeneration systems are formed and project design stages are explained. After examining building pilot projects for Ahlat Shopping Mall and İlbank A.Ş. İzmir Regional Directorate building by analyzing trigeneration plant in operation of ACITY Shopping Mall, approximate cost and feasibility studies were performed. In conclusion; municipalities and İlbank A.Ş. cogeneration project will be provided in terms of energy efficiency with the use of body applications, the high initial investment cost in a short time has been shown to transform into economic advantage.

Key Words : Cogeneration, Trigeneration, energy efficiency

Page Number : 100

Supervisor : Güzide GÖKAŞAN (Corporate)
Assoc. Prof. Nursel AKÇAM (University)

TEŞEKKÜR

Tez yazım sürecinde bana elinden gelen tüm desteği veren ve yardımlarıyla yol gösteren “İller Bankası A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı’nda” görev yapmakta olan kurum danışmanım Sayın Güzide GÖKAŞAN’a ve “Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’nde” öğretim üyesi olarak görev yapmakta olan akademik danışmanım Sayın Doç. Dr. Nursel AKÇAM’a;

Tez yazımı ile ilgili her türlü sorunumu çözüp, destek olan “İller Bankası A.Ş. Yatırım Koordinasyon Dairesi Başkanlığı’nda” görev yapan Emre AYTAÇ’a, çok değerli çalışma arkadaşlarıma;

Bana olan sevgileri ve inançları ile her daim yanımda hissettiğim değerli aileme ve benim bu süreç boyunca başarılı olabilmem için elinden gelen her şeyi yapan sevgili eşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	viii
RESİMLERİN LİSTESİ	ix
HARİTALARIN LİSTESİ.....	x
GİRİŞ.....	1
1. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ	5
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	8
1.1.1. Güneş enerjisi.....	8
1.1.2. Hidrolik	9
1.1.3. Rüzgar	11
1.1.4. Jeotermal	12
1.1.5. Dalga ve gelgit	13
1.1.6. Biyokütle	14
1.2. Binalarda Enerji Verimliliği.....	15
2. KOJENERASYON	17
2.1. Türkiye'de ve Dünyada Kojenerasyon Tesislerine Genel Bakış	18
2.2. Kojenerasyon Sistemlerinin Yararları.....	21
2.3. Kojenerasyon Tesisleri İçin Hukuki Altyapı.....	22
2.3.1. Lisanssız elektrik üretimi	24
3. KOJENERASYON TEKNOLOJİSİ.....	27
3.1. Geleneksel Rankine çevrimi	27
3.2. Organik Rankine Çevrimi	28
3.3. Güç Üreticiler.....	31
3.3.1. Buhar türbinleri	31
3.3.2. Gaz türbinleri	33
3.3.3. Pistonlu motorlar.....	34
3.3.4. Kombine çevrim.....	36
3.3.5. Stirling motorları.....	37
3.3.6. Mikrotürbinler	38
3.3.7. Yakıt pilleri	38
3.4. Isı Geri Kazanım Ünitesi.....	41
3.5. Jeneratör ve Elektrik Ekipmanları.....	42
3.6. Kontrol Sistemi	44
3.7. Kullanılan Yakıtlar.....	46
3.8. Kojenerasyon Teknolojisinin Kullanım Alanları	47
3.8.1. Bölgesel ısıtma	48
3.8.2. Konutlarda kullanım (Mikrokojenerasyon)	48
3.8.3. Isıtma ve soğutma amaçlı kullanım (Trijenerasyon).....	49

4. ACITY AVM MEVCUT KOJENERASYON TESİSİ İNCELENMESİ, AHLAT (BİTLİS) AVM VE İZMİR BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ BİNALARI İÇİN ÖRNEK KOJENERASYON ANALİZİ	53
4.1. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinde Enerji Analizi Kavramı	53
4.2. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinde Ekserji Analizi Kavramı	56
4.3. Kojenerasyon Tesisinin Projelendirilmesi	58
4.3.1. Projelendirme aşaması	58
4.4. Trijenerasyon Tesisleri İçin İşletme Metotları	60
4.5. ACITY Alışveriş Merkezi Binası Mevcut Trijenerasyon Tesisinin İncelenmesi	62
4.5.1. ACITY alışveriş merkezi binası mevcut trijenerasyon tesisinin işletme yönteminin belirlenmesi.....	67
4.5.2. ACITY alışveriş merkezi trijenerasyon santralinin ekonomik açıdan incelenmesi.....	67
4.6. Ahlat Alışveriş Merkezinin Fizibilitesinin Yapılması	68
4.6.1. Ahlat alışveriş merkezi ısı ihtiyacı gereksinimi hesaplanması	70
4.6.2. Ahlat alışveriş merkezi enerji gereksinimi hesaplanması	71
4.7. Ahlat Alışveriş Merkezi İçin Kurulacak Tesis Seçimi.....	71
4.8. Ahlat Alışveriş Merkezinin Ekonomik Açıdan İncelenmesi	73
4.8.1. Keşif özeti.....	73
4.8.2. Sistem için yıllık sabit masrafların belirlenmesi.....	74
4.8.3. Sistem için yıllık değişen masrafların belirlenmesi	75
4.8.4. Kurulacak trijenerasyon tesisinden elde edilecek gelirler.....	77
4.8.5. Sistemin geri ödeme süresinin belirlenmesi.....	78
4.9. İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü Binası İçin Kojenerasyon Tesis Uygulaması.....	80
4.10. İzmir Bölge Müdürlüğü Kojenerasyon Santrali Seçimi.....	81
4.11. İzmir Bölge Müdürlüğü Mikrokojenerasyon Santralinin Ekonomik Açıdan İncelenmesi.....	84
4.11.1. Keşif özeti	84
4.11.2. Mikrokojenerasyon tesisi giderleri.....	85
4.11.3. Kurulacak mikrokojenerasyon tesisinden elde edilecek gelirler.....	85
4.11.4. Sistemin geri ödeme süresinin belirlenmesi.....	86
SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	93
EKLER.....	97
ÖZGEÇMİŞ	100

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Kıtalarla göre birincil enerji kaynaklarının yıl olarak tükenme süreleri.....	6
Çizelge 1.2. Türkiye'de 2014 yılsonu itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı	7
Çizelge 1.3. Ülkelerin 2014 yılı ilk çeyreği FV kurulu güç kapasitesi.....	9
Çizelge 1.4. Dünya hidroelektrik enerji potansiyeli	10
Çizelge 2.1. Kojenerasyon tesislerinin kullanıldığı yerler.....	19
Çizelge 2.2. 29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı kanunun hükmü, I sayılı cetveli	23
Çizelge 2.3. 29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı kanunun hükmü, II sayılı cetveli	23
Çizelge 2.4. Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik ek-5..	25
Çizelge 3.1. Kojenerasyon sistemleri için kullanılan yakıtlar ve özellikleri	47
Çizelge 3.2. Soğutucu teknolojileri özellikleri	50
Çizelge 4.1. Ekserji ve enerji arasındaki başlıca farklar	57
Çizelge 4.2. Kojenerasyon tesisleri için güç kaynaklarının özellikleri.....	59
Çizelge 4.3. ACITY trijenerasyon tesisi 2015 yılı enerji üretim ve tüketim verileri.....	68
Çizelge 4.4. Bitlis ili için 1950-2015 yılları arası aylık olarak ortalama sıcaklık değerleri	70
Çizelge 4.5. Ahlat alışveriş merkezi ısıtma yükleri tablosu.....	70
Çizelge 4.6. AKSA Van doğalgaz tarifi	75
Çizelge 4.7. Trijenerasyon tesisi için yıllara göre bakım sayısı	76
Çizelge 4.8. Ahlat alışveriş merkezi için kurulacak olan trijenerasyon santrali üretim ve gelir miktarları	78
Çizelge 4.9. Bölge müdürlüğü aylara göre saatlik elektrik tüketim verileri	82

Çizelge 4.10. Bölge müdürlüğü aylara göre saatlik ısı enerjisi tüketim verileri.....	82
Çizelge 4.11. Kojenerasyon tesisi aylara göre saatlik üretim değerleri	83
Çizelge 4.12. Üretilen elektrik ve ısı enerjisi miktarı ve kazanç tablosu.....	86

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Dünyada enerji kaynaklarının 1970-2010 arası kullanımı	6
Şekil 1.2. İşletmedeki rüzgar santrallerinin bölgelere göre dağılımı	12
Şekil 1.3. Türkiye'de yıllara göre rüzgar enerjisi kurulu güç artış sayısal değeri ve oranları	12
Şekil 2.1. Konvansiyonel ve kojenerasyon santralinde verim	17
Şekil 2.2. Trijenerasyon sistemlerinde enerji verimi	18
Şekil 2.3. Avrupa ülkelerinde kojenerasyon sistemlerinin kurulu elektrik güce oranları	19
Şekil 3.1. Geleneksel rankine çevrimi	28
Şekil 3.2. Organik rankine çevrimde akış şeması	29
Şekil 3.3. Gaz türbinli motor yapısı	33
Şekil 3.4. Pistonlu motor örneği	36
Şekil 3.5. Kombine çevrimli kojenerasyon sistemi prensip şeması	37
Şekil 3.6. Yakıt pilli kojenerasyon tesislerinin gösterimi	39
Şekil 3.7. Evsel mikrokojenerasyon sistemlerin genel yapısı	49
Şekil 4.1. Alışveriş merkezi trijenerasyon tesisi elektrik tüketim üretim grafiği	72
Şekil 4.2. Ahlat alışveriş merkezi kojenerasyon tesisi için kümülatif akışlar grafiği.....	79
Şekil 4.3. İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü kojenerasyon tesisi kümülatif akışlar grafiği.....	87

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Biyogaz ile çalışan 1,8MW'lık GASKİ atıksu arıtma tesisi kojenerasyon tesisi örneği	20
Resim 2.2. Doğalgaz ile çalışan 1,2 MW'lık güçte ORION AVM trijenerasyon tesisi .	20
Resim 2.3. Çöp gazı ile çalışan 8,1 MW gücündeki enerji üretim tesisi	21
Resim 3.1. Organik rankine çevrim kullanan türbin örneği.....	30
Resim 3.2. 1910 kW endüstriyel buhar türbini doğrudan elektrik jeneratörü (solda) ile bağlantılı.....	32
Resim 3.3. Yakıt pili kullanan kojenerasyon santrali örneği	41
Resim 3.4. Kojenerasyon tesisi için jeneratör örneği	44
Resim 4.1. ACITY alışveriş merkezinin görüntüsü.....	62
Resim 4.2. ACITY alışveriş merkezi trijenerasyon tesisinin genel görüntüsü	62
Resim 4.3. ACITY trijenerasyon tesisi SCADA ekranı	63
Resim 4.4. ACITY trijenerasyon tesisi SCADA ekranı G4 jeneratörü arızası.....	64
Resim 4.5. ACITY trijenerasyon tesisi SCADA ekranı G4 jeneratörü devre dışı.....	64
Resim 4.6. ACITY trijenerasyon tesisi SCADA ekranı G1 jeneratörünün devreye girişi	65
Resim 4.7. ACITY Trijenerasyon tesisi MCC panoları.....	65
Resim 4.8. ACITY Trijenerasyon tesisi alternatör kısmı	66
Resim 4.9. ACITY Trijenerasyon tesisi gidiş ve dönüş kolektörleri	66
Resim 4.10. Ahlat Alışveriş Merkezinin görüntüsü.....	69
Resim 4.11. İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü.....	80

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 1.1. Türkiye hidroelektrik santralleri potansiyeli haritası	10
Harita 1.2. Dünya rüzgar enerjisi potansiyeli atlası	11
Harita 1.3. Türkiye jeotermal alanları haritası	13
Harita 1.4. Türkiye dalga enerjisi potansiyeli haritası	14
Harita 4.1. Bitlis belediyeler haritası	69
Harita 4.2. İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü hizmet alanları haritası	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°C	Santigrat derece
CO ₂	Karbondioksit
GWh	GigaWatt saat
h	Özgül entalpi
H	Kojenerasyon sistemi için verilen enerji miktarı
kcal	Kilokalori
kPa	Kilopascal
kV	Kilovolt
kVA	Kilovolt amper
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
LiBr	Lityum bromür
MW	Megawatt
MWe	Megawatt elektrik
MWt	Megawatt ısı
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
η _e	Elektrik verimi
η _Q	Isı verimi
η _t	Toplam verim
NO _x	Mono-nitrojen oksit
TWh	Terawatt saat
V	Volt
W	Watt

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur

Kısaltmalar	Açıklamalar
AB	Avrupa Birliği

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AG	Alçak Gerilim
AVM	Alışveriş Merkezi
Banka	İller Bankası Anonim Şirketi
BP	British Petrol
COP	Performans Katsayısı
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EYO	Enerji Yararlanma Oranı
FV	Fotovoltaik
GRÇ	Geleneksel Rankine Çevrimi
HFO	Ağır Yakıt Yağı
LNG	Likit Doğal Gaz
LPG	Likit Petrol Gazı
MCC	Motor Kontrol Kumanda
MCFC	Molten Karbonat Yakıt Pili
MTA	Maden Tetkik ve Arama
Mtep	Milyon ton eş değer petrol
OG	Orta Gerilim
ORÇ	Organik Rankine Çevrimi
PAFC	Fosforik Asit Yakıt Hücresi
PEM	Proton Değişimli Membranlı Yakıt Hücresi
PES	Birincil Enerji Tasarrufu
PK	Performans Katsayısı
PURPA	Kamu Hizmet Programı Düzenleyici Politika Yasası
RPES	Bağıl Birincil Enerji Tasarrufu
SCADA	Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama
SOFC	Katı Oksit Yakıt Hücresi
TBMM	Türkiye Büyük Millet Meclisi
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
Trafo	Transformatör
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi

GİRİŞ

İnsanoğlu tarihinin her döneminde enerjiye ihtiyaç duymuştur. Günümüzde azalan fosil yakıt kaynakları ve artan nüfus, insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacını giderek arttırmaktadır. Enerji, insanlar için önceleri temel ihtiyaçlarını gidermek için gerekliken, yaşam tarzının değişmesi, teknolojinin ilerlemesi sonucu, gereksinim duyulan enerjinin türü ve miktarı da değişmiştir. Ateşle birlikte gelen ısı enerjisi hayatımızın vazgeçilmezi olmuştur. Teknolojinin gelişmesiyle orantılı olarak ısı enerjisine olan talep artmış, enerjiyi elde etme yöntemleri ve kullanım amaçları da değişmiştir. Şehirleşmeyle beraber açığa çıkan yeni türde enerji ihtiyaçları beraberinde elektriği getirmiştir. Konutlarda kullanılan ısı ve elektrik enerjisi gündelik yaşamın bir parçası olmuştur.

Dünyada politika ve stratejiler üzerinde belirleyici rolü olan enerjinin, çok büyük bir kısmı belirli bölgelerde bulunan fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Enerjinin şu anki kullanım miktarı ve çeşitleriyle önümüzdeki dönemde insanlığa yetmeyeceği bir gerçektir. “Dünya petrol rezervinin 2050, doğal gazının 2070 ve kömürünün de 2150 yılında tükenmiş olması beklenmektedir” (İnallı, Yücel ve Işık 2002: 38). Doğal olarak alternatif enerji kaynak araştırma ve projelerine yönelim tüm dünyada artmaktadır. Çünkü insanlığın enerji israfından vazgeçmesi ve enerjinin çok daha verimli kullanılabileceği teknolojiler üzerinde odaklanması gerekmektedir. Ülkemiz fosil yakıtlar açısından dışa bağımlı bir ülkedir. Böyle bir ortamda enerjinin kullanım ve tüketiminin, uzun vadeli olarak etkin planlanmasını gerektirir. Kojenerasyon ile hem endüstriyel tesisler, hem de konutlar için gerekli olan elektrik enerjisinin ve ısı enerjisinin tümünün ya da en azından belirli bir kısmının aynı kaynaktan karşılanması ile yapılacak olan enerji tüketimindeki tasarruf, çevre kirliliğini ve enerjide dışa bağımlılığımızı azaltırken, ülke olarak kaynaklarımızın hızlı tükenmesini de önleyecektir.

Enerji politikalarında arz güvenliğini sağlamak ve sürdürülebilir olmak kolay bir işlem değildir. Enerjide dışarıya bağımlı olmamız durumu daha da güçleştirir. Gelişmekte olan ülkelerde enerjiye olan talep daha da hızlı artmaktadır. Ülkemiz de bu ülkeler arasındadır. “Türkiye’de enerji tüketiminin %41’i endüstriyel tesislerde, %31’i binalarda ve %20’si taşımacılıkta meydana gelmektedir” (Kanoğlu, 2010: 1). Tüketilen yakıtta, kojenerasyon kullanılmasıyla %36 oranında tasarruf edilebileceği öngörülmektedir

(Pravadalıoğlu, 2012: 25). Enerji üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanmasına, dışa bağımlılığın azaltılmasına ve iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik çalışmalar, tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de enerjinin ve enerji kaynaklarının verimli kullanılmasının önemini arttırmıştır. Son yapılan çalışmalarla önemli bir farkındalık gelişmiş olup, enerji üretiminde, yeni kaynak çeşitleri oluşturulmasında ve tüketiminde çevreye duyarlı politikaları ve yöntemleri uygulamak; aşırı tüketimden kaçınarak verimliliği arttırmak, ülkemiz için de üzerinde durulmakta olan bir konu olmuştur. Bu yüzden kojenerasyon ile atık su ya da çöp gazı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak, kojenerasyon santrallerini konutlarda kullanarak enerji verimliliği yüksek binalar yapmak ülkemizde son dönemde önem kazanmıştır.

Enerji ihtiyacının günümüzde en önemli kısmını oluşturan fosil yakıt kaynaklarının giderek azalması, fosil yakıtlara alternatif olarak düşünülen diğer kaynakların talebi yeterince karşılayamaması, çevre kirliliği ve iklim değişikliği enerji verimliliğinin önemini her geçen gün daha da arttırmaktadır. Geleneksel güç santrallerinde fosil yakıt enerjisinin yaklaşık üçte biri elektriğe dönüştürülebilmekte, kalan üçte ikisi çevreye atılmaktadır. Termik santrallerden elektrik, geleneksel enerji üretim sistemleri kullanılarak sağlandığında, çevreyi kirlletmenin yanı sıra kullanılan enerji kaynağının yaklaşık %55-65'ini atık ısı şeklinde bırakmaktadır. Bu tarz enerji üretim metodları verimli değildir. Buna karşılık, kojenerasyon sistemleri ile enerji üretimi sırasında açığa çıkan atık ısı, ısı dönüştürücüler kullanılarak çeşitli ısı gereksinimlerini (sıcak su ve buhar üretimi vb.) karşılamak üzere değerlendirilebilmektedir. Gaz yakıtı ile çalışan kojenerasyon sistemlerinde elektrik ve ısı enerjisinin eş zamanlı olarak üretilmesi ile %80-90 oranında verim sağlanmaktadır.

Gelişen Türkiye'nin enerjisini en iyi şekilde kullanması, yapmış olduğu uygulamaların enerji verimliliğine uygun olması, İlbank A.Ş.'nin bugün ve bundan sonra da yüksek önem vereceği konular olacaktır. İlbank A.Ş. gelişen Türkiye'nin yapıcı gücü olma vizyonu gereği yeni uygulamalarda öncü konumda olma, gelişmekte olan teknolojinin getirmiş olduğu dinamizmi yakalama ve Türkiye'nin değişen ve gelişen kamu anlayışının çizmiş olduğu çerçeve içerisinde uygun alternatif teknolojiler kullanılarak sürekli gelişim içerisinde olma amacını üstyapı uygulamalarında da gözetmektedir. Bu amaç doğrultusunda İlbank A.Ş. üstyapı uygulamalarının yapımından işletmeye alınmasına

kadar belediyelere ve belde yönetimlerine teknik ve finansal yönden danışmanlık ve destek sağlamaktadır.

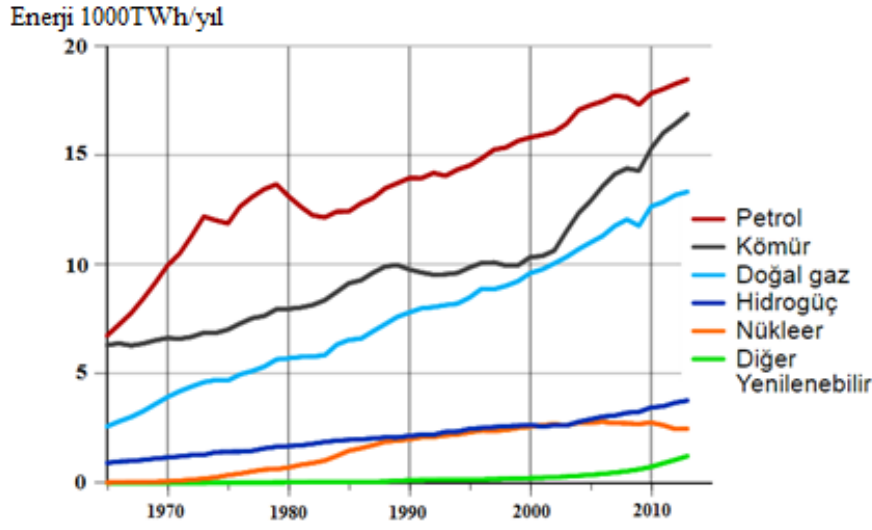
İlbank A.Ş. tarafından kontrolörlüğü yürütülen Ahlat (Bitlis) Alışveriş Merkezi ile yenilenmesi gündemde olan İzmir Bölge Müdürlüğü binalarının kojenerasyon teknolojisine uygunluğu bu uzmanlık tezi kapsamında ele alınmış olup, kurulum, enerji verimliliği ve belediyeler açısından benzer projelerin uygulanabilirliği üzerinde çalışılmış, kojenerasyon teknolojisinin belediyeler ya da İlbank A.Ş. tarafından yaptırılacak olan farklı üstyapı uygulamalarında kullanılmasının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sistemin planlanıp kurulumunun gerçekleştirilmesi halinde binalarda açığa çıkan atık ısıyı kullanması sonucu kendi enerjisini üreterek belediyelerin elektrik ve doğalgaz faturalarında önemli düşüşler sağlayacağı gözlemlenmiştir.

1. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ

Son yıllarda birçok ülkede elektrik sistemleri bir geçiş dönemi yaşamaktadır. Enerji piyasalarındaki liberal yaklaşımlarla gelen önemli teşvikler, satın almalar ve birleşmeler gerçekleşmekte bu nedenlerle de şirketler yeni alanlara yönelmek zorunda kalmaktadırlar. Yeni çevre yasaları, Kyoto süreci ve Avrupa Emisyon Ticaret Planı gibi etkenler enerjinin geleceğini şekillendirmektedir. Günümüzde enerji elde etmek için yenilenebilir enerji kaynakları, kojenerasyon sistemleri, temiz kömür gibi yeni teknolojiler ve yöntemler ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerinde yaşanan enerji krizleri ve enerji arz güvenliğinin sağlanması için yapılan bu çalışmalar oldukça önemli ve öncelikli konular haline gelmiştir.

Şu anki tüketim hızı ve nüfus artış oranları ile, Dünya üzerindeki petrol rezervlerinin 2052 yılında tükeneyeceği, doğalgaz kaynaklarının 2060 yılında tükeneyeceği, kömür kaynaklarının ise 2088 yılında tükenme riski taşıyacağı öngörülmektedir. (Ecotricity, 2016). Enerji Enstitüsüne göre; “Gelişmekte olan ülkelerin gelirlerindeki artış sonucu milyarlarca aracın daha yollara çıkacağı ve bu durumun, 2050’de küresel petrol talebinin yüzde 110 oranında artmasına ve günlük ortalama 190 milyon varile yükselmesine neden olacağı tahmin edilmektedir” (Enerji Enstitüsü, 2011).

Şekil 1.1’de 1970 yılından 2010 yılına kadar dünyadaki kaynaklar bakımından enerji kullanım grafiği görülmektedir. Grafiğe göre birincil kaynaklar olarak nitelediğimiz petrol, kömür ve doğalgaz kullanım miktarı ve hızı diğer ve yenilenebilir kaynaklara göre büyük ölçüde artmaktadır. Bu hızla BP (British Petrol)’den alınan verilere göre birincil enerji kaynaklarının yıllık olarak tükenme süreleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Dünyada enerji kaynaklarının 1970-2010 arası kullanımı (Vikipedi, 2016a)

Çizelge 1.1. Kıtalarla göre birincil enerji kaynaklarının yıl olarak tükenme süreleri (Enerji Enstitüsü, 2011)

BÖLGE	PETROL	DOĞALGAZ	KÖMÜR
Kuzey Amerika	15	11,3	235
Orta ve Güney Amerika	80,6	53,2	181,0
Avrupa-Asya	21,2	64,8	236,0
Ortadoğu	84,8	-	-
Afrika	36	72,4	131,0
Asya-Pasifik	14,4	37,0	59,0
TOPLAM	45,7	62,8	119,0

Ülkemizde enerji tüketimi büyük oranda ithal edilen enerji kaynakları üzerinden sağlanmaktadır. İthalatımızda enerjinin payı oldukça yüksektir. Kendi enerji kaynaklarımız ülkemiz tüketimi açısından yetersiz düzeydedir. Son on yıl içerisinde 2006-2015 yılları arasında yapılan toplam ihracatımız 1,281 trilyon dolardır. Toplam ithalatımız 2,016 trilyon dolardır. “Enerji ithalatı olarak özetlenen, 27’nci fasıl olarak adlandırılmakta olan "mineral yakıtlar, mineral yağlar ve bunların damıtılmasında elde edilen ürünler, bitümlü maddeler, mineral mumlar" ürünlerine ödenen miktar ise 442 milyar dolardır. Bu da dış ticaret açığının %58’ine tekabül etmektedir” (TÜİK, 2016). Ülkemiz için enerjiye ödenen rakamların ne kadar büyük bir oranda olduğu buradan daha iyi anlaşılabilir.

Çizelge 1.2. Türkiye’de 2014 yılsonu itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı (TEİAŞ, 2015)

KAYNAKLAR	KURULU GÜÇ	KATKI
	MW	%
KÖMÜR	14 635,9	21,1
DOĞALGAZ + LNG	21 476,1	30,9
HİDROLİK	23 643,2	34,0
RÜZGAR	3 629,7	5,2
ATIK +JEOTERMAL	693,1	1,0
DİĞER-1- (FUEL OİL+NAFTA+LPG + ASFALTİT)	659,8	0,9
DİĞER-2- (ÇOK YAKITLI KATI+SIVI+DOĞAL GAZ)	4 741,8	6,8
GÜNEŞ	40,2	0,1
TOPLAM	69 519,8	100

Çizelge 1.2’de görüldüğü üzere kurulu güç üzerinden birincil enerji kaynakları (kömür, doğalgaz, sıvılaştırılmış doğal gaz (liquified natural gas [lng]), fuel oil vb.) ülkemizin enerji ihtiyacını yaklaşık olarak yüzde 60 oranında karşılamaktadır. Konutlarda kullanılan birincil enerji kaynakları (doğalgaz, kömür vb.) standart kazan sistemleri ile %65 verimlilikte kullanılabilir. Oysaki konutlar için kullanılacak kojenerasyon teknolojileriyle birlikte bu oran %85-90'lara çıkarılabilir. Bu da kojenerasyon sistemlerinin ülkemizde enerjinin verimli kullanılabilmesi probleminin çözümünde alternatif bir yol olabileceğini göstermektedir. Ayrıca kojenerasyon santralleri yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyoyakıtlardan enerji üretimi için kullanılan teknolojidir.

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Biyoyakıtlardan enerji üretiminde kojenerasyon teknolojisi kullanılır. Biyoyakıtlar üzerinden elde edilen temiz enerji tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynakları arasında gösterilmektedir. Bu nedenle genel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının incelenmesi gerekir.

Yenilenebilir enerji doğanın içinde var olan bir sonraki gün yeniden aynı şekilde var olabilecek enerji türü olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji, karbondioksit emisyonunun engellenmesinde, enerjide dışa bağımlılığın azaltılıp, enerji arzının güvenceye alınmasında yarar sağlar.

1974 yılında yaşanan petrol krizleri sırasında enerjide bağımsız olmanın ve sürdürülebilirliğin önemi ortaya çıkmıştır. Petrol fiyatlarındaki yükseliş petrol bağımlısı ülkelerde ekonomik krizler, halk ayaklanmaları ve bunlara bağlı olarak da dış müdahalelere neden olmuştur. Gelişmiş ülkeler sanayileri ve teknolojik ürünleriyle bu durumdan daha kolay kurtulmuşlardır. Buna rağmen enerjide daha bağımsız ve dış etkenlere kapalı olan yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışmaya başlamışlardır. Çalışmalarında her yerde ve her zaman bulunabilecek kaynaklara yönelmişlerdir. Yapılan araştırmalar sonucu günümüzde ortaya çıkmış olan en önemli yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, hidrolik, rüzgar, biyoyakıt, jeotermal, dalga ve gelgit enerjisidir.

1.1.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneş ışığı kullanılarak enerji açığa çıkması olayıdır. Bu enerjinin yerküreye ulaşan küçük bir kısmı, insanlığın var olan enerji tüketiminden oldukça fazladır. Güneş enerjisinden faydalanmak için yapılan çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmaya başlamış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik yönden gelişim ve maliyetler açısından düşüş göstermiş, böylelikle güneş enerjisi çevreye zarar vermeyen, temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir. Almanya, Çin ve İspanya gibi ülkeler bu teknolojiyi kullanan ilk ülkeler olmakla birlikte, daha sonra bu ülkelere İtalya, ABD ve Fransa eklenmiştir. Çizelge 1.3'de ülkelerin 2014 yılı itibarı ile güneş enerjisi kurulu kapasitesi verilmiştir.

Çizelge 1.3. Ülkelerin 2014 yılı ilk çeyreği FV kurulu güç kapasitesi (Altungrup, 2016)

ÜLKE	KURULU GÜNEŞ ENERJİSİ GÜCÜ (MW)
ALMANYA	36 000
ÇİN	34 000
İTALYA	18 000
JAPONYA	13 600
ABD	10 000
İSPANYA	4 400
FRANSA	4 390
BELÇİKA	2 830
HİNDİSTAN	2 630
YUNANİSTAN	2 523
İNGİLTERE	2 500
DANİMARKA	600
KANADA	444
BİRLEŞİK ARAP EMİRLİKLERİ	100
TÜRKİYE	20

Türkiye 'de 2016 yılı itibarı ile aktif olarak çalışan güneş enerji santrali sayısı 370, toplam kurulu güç ise 442 MWe'dir (Enerji Atlası, 2016a).

1.1.2. Hidrolik

Hidroelektrik santrallerden enerji üretimi, yüksekte bulunan suyun potansiyelini kinetiğe dönüştürüp enerji üretilmesi prensibine dayanır. Barajda depolanan su yüksekten akıtılarak türbinin dönmesi sağlanıp kinetik enerji elde edilir. Jeneratör milinin oluşan bu kinetik enerji yardımıyla döndürülmesiyle elektrik enerjisi üretilir.

Bugün hidroelektrik santrallerinde üretilen elektrik dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %16'sını oluşturmaktadır (Key World Energy Statics, 2014: 24). Hidroelektrik santraller kullanılarak üretilen enerji, dünyada üretilen enerjinin yaklaşık olarak %20'sine tekabül etmektedir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2007: 8). Dünya hidroelektrik enerji potansiyeli Çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1.4. Dünya hidroelektrik enerji potansiyeli (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2007: 14)

	BRÜT TEORİK HİDROELEKTRİK POTANSİYEL (GWh/yıl)	TEKNİK YAPILABİLİR HİDROELEKTRİK POTANSİYEL (GWh/yıl)	EKONOMİK YAPILABİLİR HİDROELEKTRİK POTANSİYEL (GWh/yıl)	İŞLETMEDE		İNŞA HALİNDE (MW)	PLANLANAN (MW)
				KURULU GÜÇ (MW)	ORTALAMA ÜRETİM (GWh/yıl)		
AFRİKA	~ 4 000 000	~ 1 750 000	~1 100 000	~ 21 230	~ 83 100	> 4020	~82 000
ASYA(Rusya Fed. ve Türkiye dahil)	~19 000 000	~ 6 800 000	~ 4 000 000	~ 257 527	~ 874 040	> 93 047	> 266 800
AVUSTRALYA/ OKYANUSYA	~ 624 000	~ 200 000	~ 90 000	~ 13 441	~ 43 628	> 23	> 104
AVRUPA (Rusya Fed. ve Türkiye hariç)	> 3 260 000	~ 1 140 000	~ 772 000	~ 170 000	~ 507 317	> 2717	> 12 897
KUZEY VE ORTA AMERİKA	~ 7 200 000	~ 1 663 000	~ 1 000 000	~ 163 170	~ 695 200	> 3590	> 19 157
GÜNEY AMERİKA	~ 6 272 800	~ 2 815 000	~ 1 600 000	~ 120 753	~ 590 660	> 15 406	> 64 947
TOPLAM	~ 40 000 000	~ 14 368 000	~ 8 562 000	~ 741 121	~ 2 793 928	> 118 803	~ 446 000

Ülkemizde işletmeye alınmış hidroelektrik projelerin adedi 571 olup bunların toplam kurulu gücü 26 242 MWe olmaktadır (Enerji Atlası, 2016b). Türkiye'nin mevcut ve potansiyel hidroelektrik santralleri Harita 1.1'de gösterilmiştir.

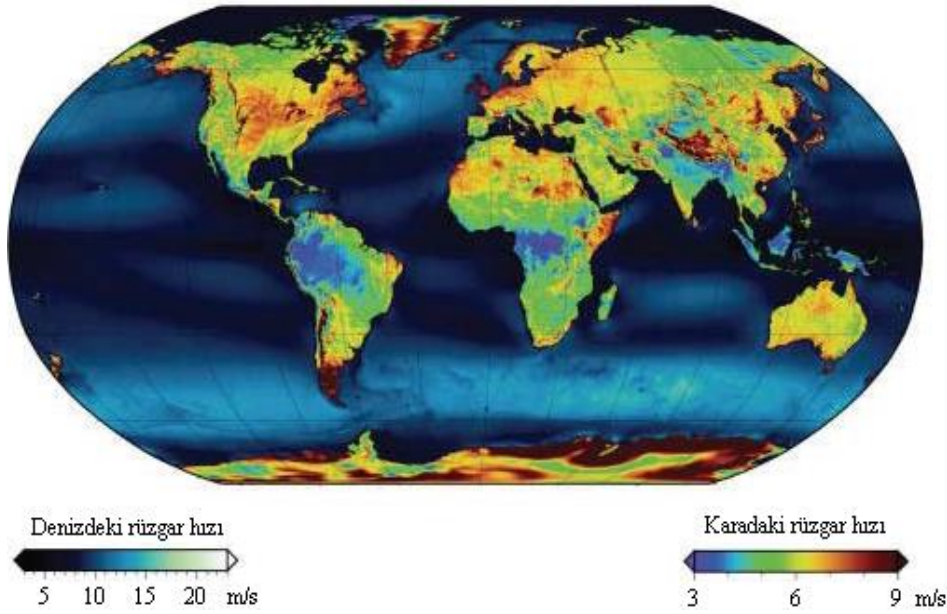


Harita 1.1. Türkiye hidroelektrik santralleri potansiyeli haritası (Goenergy, 2016a)

1.1.3. Rüzgar

Rüzgar; sıcak hava ile soğuk havanın ısınan hava yükselir kuralı ile yer değiştirmesi sonucu oluşan doğa olayı olup, yeryüzündeki fiziki farklılıklardan ve güneşin atmosferi farklı sıcaklıklarda ısıtmasının sonucu olarak atmosferde yaşanan basınç farklarından meydana gelir. Dünya'nın rüzgar enerjisi potansiyeli Harita 1.2'de gösterilmektedir.

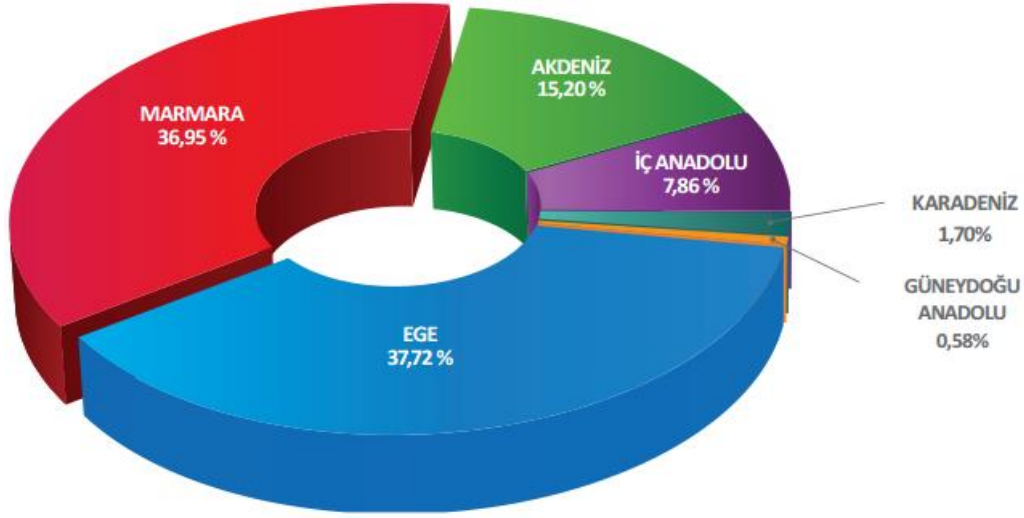
Dünyada genel olarak rüzgar enerji santrallerinde son 15 yılda ciddi artış yaşanmıştır. 2011 yılındaki verilere göre o yıl inşa edilen RES santrallerin kurulu gücü 42 175 MW, toplamdaysa 239 000 MW'a ulaşmıştır. Bu artışta Çin, ABD, Hindistan, Almanya ciddi rol oynamıştır. Bunlardan küresel pazarda payı %26,3 olan Çin ilk sıradadır. ABD'nin payı %19,7, Almanya'nın %12,2, İspanya'nın %9,1, Hindistan'ın ise %6,7 olup, tüm Avrupa ülkelerinin payıysa %40'tır (Global Wind Energy Council, 2011). Bu santrallerle birlikte küresel ölçekte 310 milyon ton karbondioksit emisyonu önlenmiştir.



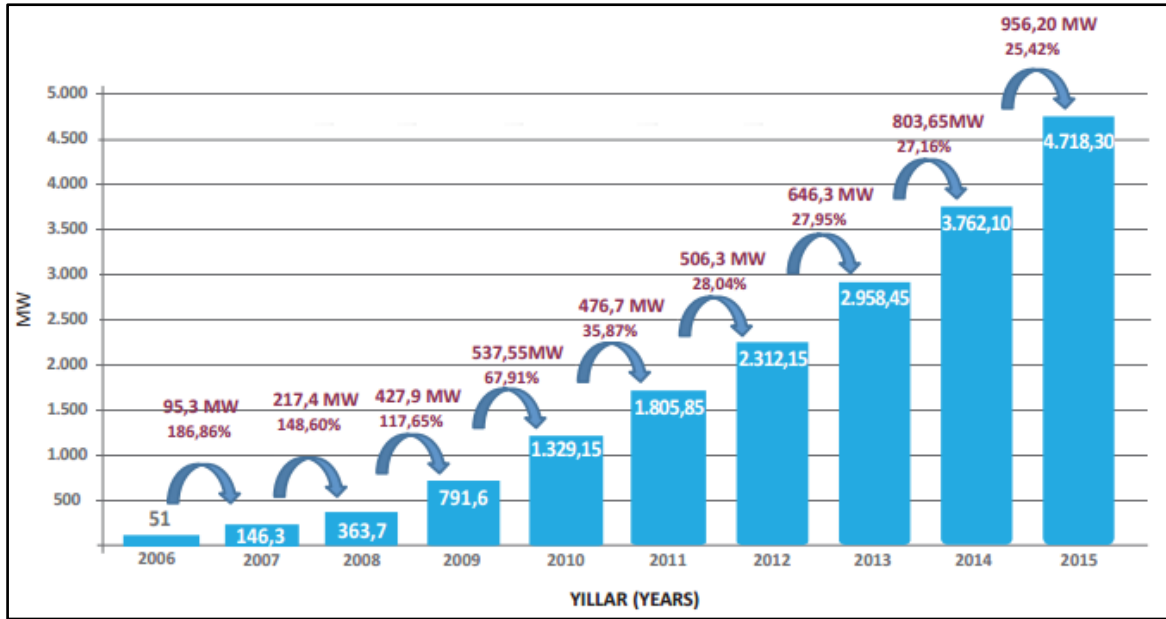
Harita 1.2. Dünya rüzgar enerjisi potansiyeli atlası (World Energy Outlook, 2011)

RES lisans başvuruları özellikle Ege, Marmara, kısmen Doğu Akdeniz kısmında yoğunlaşmıştır. Bu başvurularda rüzgar hızı önemli bir parametreyi oluşturmaktadır. Ülkemizin 2016 yılı itibarıyla 4718 MW'lık kurulu gücü vardır (Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, 2016). Kurulu rüzgar gücü bölgelere göre bakıldığında Ege'de %37,72; Marmara'da %36,95; Akdeniz'de %15,20; Karadeniz'de %1,7; İç Anadolu Bölgesinde %7,86 ve Güney Doğu Anadolu Bölgesinde % 0,58 oranında dağılmıştır (Türkiye Rüzgar

Enerjisi İstatistik Raporu, 2016). Türkiye'de işletmedeki rüzgar santrallerinin bölgelere göre dağılımı ve yıllara göre rüzgar enerjisi kurulu güç artış sayısal değeri ve oranları Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.2. İşletmedeki rüzgar santrallerinin bölgelere göre dağılımı (Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, 2016)



Şekil 1.3. Türkiye'de yıllara göre rüzgar enerjisi kurulu güç artış sayısal değeri ve oranları (Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, 2016)

1.1.4. Jeotermal

Jeotermal enerji; yer kabuğunun altında çeşitli derinliklerde mevcut olan sıcak su, buhar ve birtakım gazlardan yeryüzüne çıkarılması ile elde edilen enerji çeşididir.

üzere gelgit barajı da gereklidir. Dalga enerjisi üretilirken, dalga yüzeyi veya yüzey altındaki dalga basınçları kullanılır. Dalga oluşumu deniz veya okyanusların üzerinde esen rüzgârlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Harita 1.4’de Türkiye’nin dalga enerjisi potansiyeli haritası verilmiştir.

Dalga enerjisi üretiminde Türkiye'nin toplam kıyı uzunluğunun (8 210 kilometre) beşte biri kadarının kullanılabileceği varsayılmaktadır. Yıllık 4-17 kW/m arasında dalga gücüne sahip sularda, yaklaşık 10 TWh/yıl enerji sadece bir dizi küçük ölçekli dönüştürücü yardımıyla elde edilebilmekte, bu da ekonomik olarak Türkiye'nin toplam hidroelektrik enerji potansiyelinin %12,5'u düzeyinde olmaktadır (Elektrik Mühendisleri Odası [EMO], 2016).



Harita 1.4. Türkiye dalga enerjisi potansiyeli haritası (Goenergy, 2016b)

1.1.6. Biyokütle

Biyokütle, su ve toprak tabanlı bitki örtüsü ve ağaçları, katı atıkları, hayvansal, orman ve ziraat atıklarını, belirli türdeki sanayi atıklarını kapsar. Bunlardan elde edilen yakıt türü olan biyoyakıtlar gaz, sıvı ve katı olarak otomobillerde, uçaklarda, gemilerde yakıt olarak kullanılır. Biyogaz %50-70 metan içermekte olup temizlendikten sonra doğalgaza dönüştürülebildiğinden doğalgazın kullanıldığı her alanda (elektrik, yakıt, ısı) kullanılabilir.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Yasa 2011 yılının Ocak ayında yürürlüğe girmesiyle birlikte biyokütleden elde edilen elektriğin 10 yıl süre ile 13,3 dolar cent'ten alım garantisi verilmiştir. Fakat buna rağmen sektöre beklenen ilgi olmadığından Haziran 2011 tarihinde resmileşen, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten tesislerde kullanılan aksamın yurt içinde imalatı hakkındaki yönetmelikle, yerli kaynaklarla üretim yapan tesisler için 5 yıllığına teşvik de verilmiştir.

Özellikle başta Ankara, İstanbul, Bursa, Kayseri, Gaziantep ve Samsun'da bazı sanayi tesisleri ve belediye atık su tesislerinde görülmektedir. Ankara-Mamak çöplüğünde çöpler kojenerasyon tesisleri kullanılarak 22,6 MW'lık elektrik üretilmekte ve üretilen elektrik seralarda kullanılmaktadır. Şu an EPDK'dan işletme lisansı alan 69 biyokütle santralinin toplam elektrik üretim kapasitesi 374 MWe'dir (Enerji Atlası, 2016d).

1.2. Binalarda Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği tanım olarak, üretimdeki kalite ve miktarı düşürmeden, hayat standardındaki seviye korunarak en az enerji tüketimi anlamına gelmektedir. Türkiye, enerji ihtiyacının çoğunluğunu ithal eden ülkelerden olmakla birlikte ülke kaynaklarının önemli bölümünü petrol, doğalgaz ve diğer enerji kaynakları olan birincil enerji kaynakları temini için harcamaktadır. Zamanla gelişen teknoloji ve konut sayısındaki artış nedeni ile konutlarda tüketilmekte olan enerji miktarı ve CO₂ emisyon oranları artmaktadır. Tüm dünyada yaşanan bu olay ülkemizde de paralellik göstermektedir.

Türkiye'de enerji verimliliği kriterlerinin sağlanması halinde binalarda tüketilen enerjiden yılda 7 milyar Amerikan Doları tasarruf sağlanabileceği öngörülmektedir (Engin, 2012: 1). Binalarda tüketilmekte olan enerjinin, Türkiye'nin toplam enerji tüketimine oranı %35'dir ve bu oranın %85'inin ısıtma ve soğutma amaçlı harcanması, enerji verimliliği yönünden kanun ve düzenlemelerin getirilmesine neden olmuştur. Türkiye'nin enerji tüketimini 2020 yılına kadar %15 azaltmak amacıyla Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimliliği Kanunu'nu yürürlüğe koymuştur. "Bu kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, sanayi, ulaşım, bina vb. enerji tüketim sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılması, toplumda enerji bilinci geliştirilmesi, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılmasını kapsar" (TBMM, 2007). Ayrıca Birleşmiş Milletler

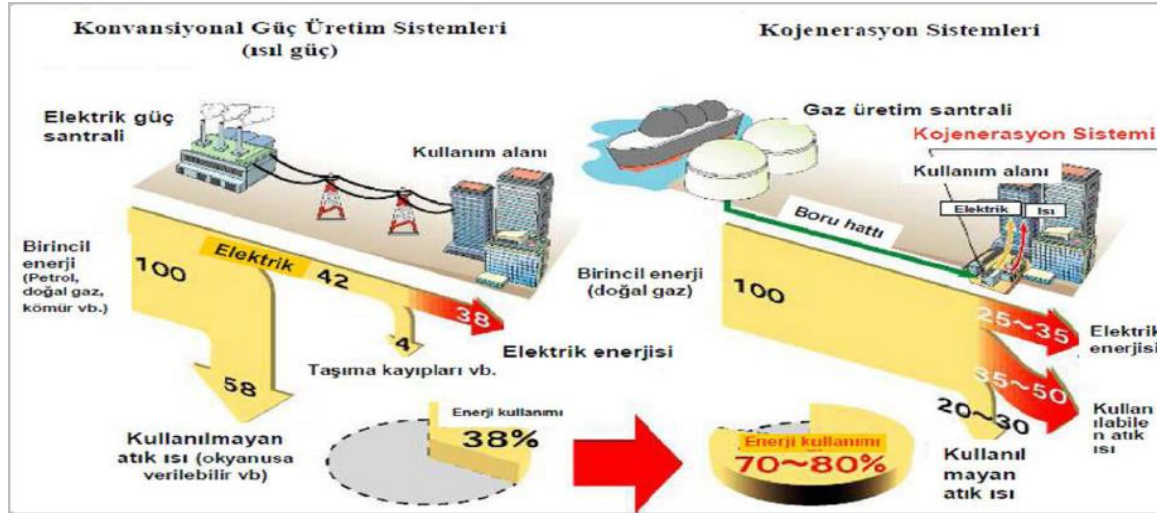
İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne ülkemizin dahil olması da enerji verimliliğine önem verilmesi gerektiğini gösteren bir diğer unsurdur.

Binalarda kullanılan enerji miktarlarını azaltmak amacıyla, binaların tasarım aşamasındayken enerji verimliliği yüksek olacak şekilde projelendirilmeleri gerekir. Bunu da binanın formunun, bulunduğu ortamdaki iklimsel özelliklerin, bina ve çevresindeki elemanların ısı geçirme özelliklerinin, binanın rakım ve arsa durumu ile binanın yönünün, binanın kullanım saatlerinin, binanın ısıtılması ya da soğutulması için kullanılan tüm sistemlerin özelliklerinin incelenmesine bağlıdır. Kojenerasyon teknolojisi, binalarda tüketilen enerjinin verimli kullanılmasının sağlandığı bu sistemlerden biridir.

2. KOJENERASYON

Kojenerasyon; ısı enerjisi ve elektrik enerjisinin aynı yakıttan aynı sistem içerisinde eş zamanlı olarak üretilmesidir. Kojenerasyon teknolojisi ile büyük oranda yakıttan tasarruf ve enerji verimliliği sağlanır. Pek çok ülke kojenerasyon sistemleri kullanarak hem ekonomik kazanç elde ederler hem de çevrenin korunmasına katkı sağlarlar.

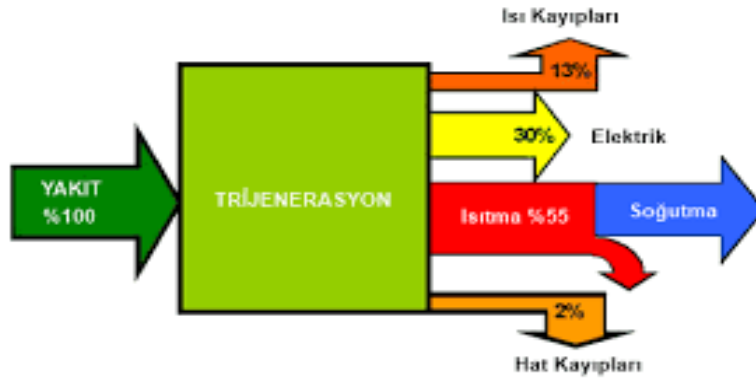
Güç santrallerinde basit çevrimde çalışmakta olan bir gaz motoru kullandığı enerjinin yalnızca %30-40 kadarını elektrik enerjisine çevirebilir. Eğer sistem kojenerasyon yöntemiyle kullanılırsa, dışarıya atılan ısı enerjisinin büyük kısmı geri kazanılır ve böylece toplam enerjinin %70-90'ı kazanılmış olur. Aynı şekilde bina, konut vb. yerlerde kullanılan kazan tesislerinde gelen enerjinin % 55-60 kadarı ısı enerjisine dönüştürülmekte geriye kalan kısım atık ısı enerjisi olarak atılır. Bu sistemlerde de kojenerasyon sistemleri kullanılarak toplamda %80-90 verim elde edilebilir (Öztürk ve Kaya, 2014: 3). Şekil 2.1'de konvansiyonel ve kojenerasyon sistem yöntemleriyle enerji üretimi yapan iki farklı santralin verim farkı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Konvansiyonel ve kojenerasyon santralinde verim (Ekinci, 2013)

Pek çok işletme enerjisini ulusal şebekeden sağlamakta, ısıtma ve soğutma tesis içerisinde kurulmuş olan sistemlerden gelen bu enerji kullanılarak sağlanmaktadır. Ulusal şebekedeki hatlar uzundur. Buna bağlı olarak iletilen elektrikte kayıplar gözlemlenir. Enerji üretim noktalarında verim de düşüktür. Sonuç olarak kullanılan elektriğin maliyeti yüksek, kalitesi düşüktür. Kojenerasyon sistemleri elektriği ve ısıyı bulundukları yerde

ürettikleri için yüksek verimlilik sağlarlar. Genel olarak binalarda kullanılan trijenerasyon sistemlerinde enerji verimi Şekil 2.2'de verilmiştir.

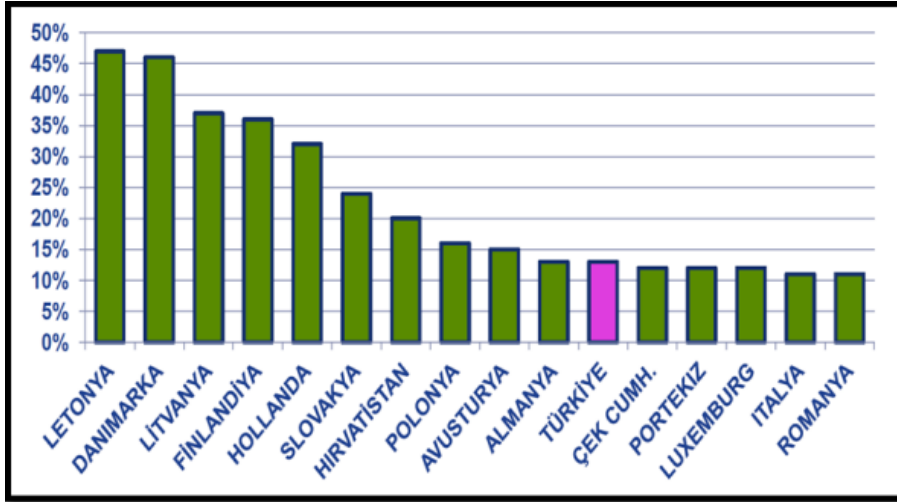


Şekil 2.2. Trijenerasyon sistemlerinde enerji verimi (Pravadalıoğlu, 2012: 26)

2.1. Türkiye'de ve Dünyada Kojenerasyon Tesislerine Genel Bakış

Isı ve elektrik enerjisinin birlikte kullanma fikri ilk olarak elektriğin mucidi Thomas Edison tarafından gerçekleştirilmiştir. Thomas Edison 1882'de Pearl Street İstasyonu'nda dünyanın ilk ısı ve elektriği birlikte üreten endüstriyel tesisini kurmuş ve tesiste elektrik üretimi esnasında oluşan atık ısıyı değerlendirerek, çevresindeki binalara ısı ve elektrik enerjisini bu tesisten sağlamıştır.

1970'lerde yaşanan yakıt krizleri sırasında yükselen yakıt fiyatları yüzünden kojenerasyon santrallerinin kurulumuna ağırlık verilmiştir. "Bu yüzyılın sonuna kadar ABD'de elektriğin %15'inin bileşik kojenerasyon tesislerinden sağlanması beklenmektedir" (İnalı, Yücel ve Işık, 2002: 39). Avrupa'da kojenerasyon tesislerinin en yoğun olarak kullanıldığı ülkeler Şekil 2.3'de görüleceği üzere Letonya, Litvanya, Finlandiya, Danimarka gibi İskandinav ülkeleridir. Almanya'da 2020 yılına kadar mevcut kojenerasyon tesislerinin sayısının iki katına çıkartılması planlanmaktadır (Pehnt, Martin, Corinna, Barbara, Lambert, Katja ve Jan-Peter, 2006: 36).



Şekil 2.3. Avrupa ülkelerinde kojenerasyon sistemlerinin kurulu elektrik güce oranları (Aydın, 2015)

Türkiye' de ve Dünyada şu ana kadar gerçekleştirilmiş olan pek çok kojenerasyon tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin tamamında hedeflenen temel amaç enerji verimliliğidir. Kullanılan teknoloji ve büyüklük olarak ülkemizde çok çeşitli örnekleri bulunan (Resim 2.1, Resim 2.2 ve Resim 2.3) kojenerasyon tesislerinin kullanıldığı uygulama alanları Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Kojenerasyon tesislerinin kullanıldığı yerler

Endüstriyel Uygulamalar	Konut/Ticari ve Bölgesel Uygulamalar
Tekstil endüstrisi	Okul ve üniversite alanları
Demir ve çelik endüstrisi	Hastaneler
Kimya ve petrol endüstrisi	Oteller ve alışveriş merkezleri
Gıda üretimi yapılan tesisler	Çok katlı konut ve büyük siteler
Metal eşya ve makine endüstrisi	Büyük market ve iş merkezleri
Biyokütle kullanılan tesisler	Özel Büyük Spor Kompleksleri
Rafineriler	Toplu Yerleşim birimleri
Çimento, seramik vb. fabrikaları	Tiyatro, sinema ve opera salonları
Taş ve toprak endüstrisi	İş yerleri ve ofisler
Kimyasal işletmeler	Apartman ve siteler
Kağıt ve selüloz işleme tesisleri	Soğuk hava depoları
Gübre tesisleri	Havaalanları
Katı ve sıvı atık arıtma tesisleri	Seralar



Resim 2.1. Biyogaz ile çalışan 1,8MW'lık GASKİ atıksu arıtma tesisi kojenerasyon tesisi örneği



Resim 2.2. Doğalgaz ile çalışan 1,2 MW'lık güçte ORION AVM trijenerasyon tesisi



Resim 2.3. Çöp gazı ile çalışan 8,1 MW gücündeki enerji üretim tesisi

Türkiye'de kojenerasyon üstüne ilk çalışma 1992 yılında Yalova elyaf fabrikasında 4MW'lık Typhoon gaz türbiniyle başlamıştır. 2013 yılında ulaşılan nokta bunun tam 2 075 katı olan 8 300 MW seviyesidir. 2013 yılı itibarı ile ülke enerjisinin %12,9'u kojenerasyon sistemleri ile karşılanmaktadır (Gül ve Beltir, 2015).

2.2. Kojenerasyon Sistemlerinin Yararları

Kojenerasyon uygulamalarının genel olarak yararları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- ❖ Enerji çevrim verimi yüksek olduğundan yerel veya dışarıdan alımlarda tasarruf sağlanır.
- ❖ Enerjiye dönüşüm bulunduğu noktada gerçekleştiği için iletim ve dağıtım hat kayıpları söz konusu değildir.
- ❖ Merkezi santrallere göre tasarım ve kullanıma girme aşaması daha kısa olduğundan elektrik hızlı üretilip satışa sunulur.
- ❖ Enerji üretiminde atık katı sıvı ve gaz madde miktarı, konvansiyonel çalışan enerji santralleri veya endüstriyel ısı kazanlarına göre çok daha azdır.
- ❖ Belli merkezler yerine enerji dağınık şekilde üretildiği için ulusal güvenliğe katkı sağlar.
- ❖ Üretilen ihtiyaç fazlası enerji şebekeye satılabilir.

- ❖ Şirketin enerji maliyetleri azalır. Böylece şirket rakipleriyle daha kolay rekabet edebilir.
- ❖ İşletme enerjiyi temin ederken kesintilerden daha az zarar görür.
- ❖ Küçük güç ve boyutlarda tasarlanabilir. Böylece bina ve küçük çaplı işletmeler için de uygundur.
- ❖ Elektrik kesintileri, frekans ve voltaj ile ilgili problem yaşanmaz.
- ❖ Atık ısılarda karbondioksitten de faydalandığı için çevre kirliliğini engeller.
- ❖ Kojenerasyon sistemleri gelişip yayıldıkça yeni iş imkanları yeni istihdam alanları ortaya çıkar.

2.3. Kojenerasyon Tesisleri İçin Hukuki Altyapı

Kojenerasyon tesisleri enerji üretimi için diğer yakıt türlerinin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütleyi (atık su, çöp, hayvansal atıklar vb.) kullanılır. Biyokütleden elde edilen biyogaz, kojenerasyon tesislerinde yakıt olarak kullanılır. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı bazı yasalar ve yönetmelikler çerçevesinde düzenlenir. 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nda ise "...üretilen elektriğin kaliteli olmasını, kesintiye uğramamasını, maliyeti açısından tüketicilerin aleyhine olmayacak şekilde rekabet piyasası düzenlenmesini ve bağımsız şekilde denetleme yapılmasını sağlama..." amaçlanmıştır. 18/05/2015 tarihinde yayımlanmış olan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun Yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumu için gerekli olan düzenlemeler ve açıklamaların yapıldığı kanundur. Bu kanunun amacı; yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminin yaygınlaştırılması, bu kaynakların mümkün olan en güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde kullanımı, kaynakların çeşitlendirilmesinin sağlanması, sera gazı emisyonlarının düşürülmesi, atıkların değerlendirilip, çevrenin korunması ve tüm bunların gerçekleştirilmesi için gerekli olan imalat sektörünün geliştirilmesidir. "Yenilenebilir enerji kaynakları için kaynak türü belirlenmesi ve takibinde kullanılmak üzere üretim lisansı sahip tüzel kişiye Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi (YEK) verilmektedir" (TBMM, 2005).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin kanunda devletin 10 yıllık süre için vermiş olduğu alım garantisinin yanı sıra, üretilen elektriğin satın alınacağı fiyat 5 avro sent/kWh olarak belirlenmiştir. Ancak o dönem için yetersiz görülen bu miktar, ilgiyi

azaltmıştır. Bu yüzden 2010 yılı itibarı ile Yenilenebilir Enerjiyi Destekleme mekanizması adı altında yeni bir kanun çıkartılmış ve yeni fiyatların yer aldığı Çizelge 2.2 oluşturulmuştur.

Çizelge 2.2. 29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı kanunun hükmü, I sayılı cetveli (TBMM, 2011)

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üreten tesisler için yerli üretim elektrik ve mekanik ekipmanları kullanılırsa I sayılı cetveldeki fiyatlara ilaveten II sayılı cetvelde verilmiş olan fiyatlar sistemin çalışmaya başlamasından itibaren destek olarak eklenmektedir. Verilen desteğin 5 yıl süresince geçerliliği bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. 29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı kanunun hükmü, II sayılı cetveli (TBMM, 2011)

E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2,0
	5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7- Kojenerasyon sistemi	0,4

2.3.1. Lisanssız elektrik üretimi

Lisanssız elektrik üretimi ile sadece kendi ihtiyaçları için elektrik tüketimi gerçekleştirecek olan gerçek veya tüzel kişileri kapsar. Lisanssız elektrik üretimi yasanın ilk çıktığı zamanlarda elektrik üretim üst sınırı 500 kW olarak değerlendirilmiş ancak 2013 yılında çıkan yönetmeliğin yeni halinde bu rakam 1 MW'a çıkarılmıştır. EPDK bünyesinde lisanssız elektrik üretimine yönelik çıkartılmış olan bu yönetmeliğin amacı;

“Elektrik piyasasında; 14/3/2013 tarihli ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanununun 14 üncü maddesi kapsamında, tüketicilerin elektrik ihtiyaçlarının tüketim noktasına en yakın üretim tesislerinden karşılanması, arz güvenliğinin sağlanmasında küçük ölçekli üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması ve etkin kullanımının sağlanması, elektrik şebekesinde meydana gelen kayıp miktarlarının düşürülmesi amacıyla lisans alma ile şirket kurma yükümlülüğü olmaksızın, elektrik enerjisi üretebilecek gerçek veya tüzel kişilere uygulanacak usul ve esasların belirlenmesidir” (EPDK, 2013).

Yönetmelik çerçevesinde enerji bakanlığınca belirlenen verim kriterlerini sağlayan kojenerasyon sistemleri ile mikro kojenerasyon sistemleri için üst sınır olan 1MW'lık kurulu güç limiti aranmaz, daha büyük çapta kurulacak güçlere izin verilir. Ayrıca yine bu yönetmeliğe göre, uygun görülen her tesis için bir adet kojenerasyon sistemi ya da mikro kojenerasyon sistemi ya da yenilenebilir enerji kaynakları kullanan tesis kurulması esastır. Dağıtım sisteminde yeterli kapasite bulunması durumunda daha fazla kojenerasyon ile enerji üreten tesise ya da yenilenebilir enerji tesisine izin verilir. Şöyleki;

“Yalnızca kendi ihtiyacını karşılamak amacıyla, tesis toplam verimliliği 25/10/2008 tarihli ve 27035 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelikte belirlenen değerin üzerinde olan kojenerasyon tesisi kuracak gerçek veya tüzel kişiler lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaftır” (Resmî Gazete, 2008).

05/12/2008 tarih ve 27075 sayılı Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği 23 üncü maddesi kapsamında; toplamda inşaat alanı en az 20 000 m² ve daha fazla olan binalar için tasarım aşamasında kojenerasyon sistemlerinin uygulama imkanının olup olmadığının analiz edilmesi gerektiği belirtilmektedir.

11 kW_e altı olan alçak gerilim (AG) ve 11 kW_e üstü olan sistemlerde teknik inceleme neticesinde AG veya yüksek gerilim (YG) olarak şebeke hattına bağlanabilir. İlgili Şebeke İşletmecisine ait bir dağıtım transformatörünün AG seviyesinde bir kişiye bir yıl içerisinde tahsis edilebilecek kapasite Çizelge 2.4'e göre hesaplanır.

Çizelge 2.4. Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik ek-5
(Resmi Gazete, 2013)

Trafo Gücü (t.g.) (kVA)	Bağlanabilir Toplam Kapasite (kW _e)	Bir kişiye bir yıl içerisinde tahsis edilebilecek kapasite (kW _e)
t.g. < 100	t.g. x 0,3	7,5
100 ≤ t.g. ≤ 1000		t.g. x 0,1
t.g. >1000		100 kW _e

3. KOJENERASYON TEKNOLOJİSİ

Bu kısımda kojenerasyon tesislerinin çalışma mantığı, kullanılan ekipmanlar ve özellikleri anlatılmıştır. Kojenerasyon santrallerinde kullanılan en önemli ekipmanlar; güç üreticisi, ısı geri kazanım ünitesi, jeneratör ve kontrol sistemidir.

Kojenerasyon tesislerinin temel olarak çalışma düzeni ise şu şekildedir; ilk olarak kompresör basınçlı havayı yakma hücresine gönderir, yakıt yanma hücresine gelir, yandıktan sonra ortaya çıkan sıcak gazlar türbine gelerek dönme hareketi sağlar, dönme hareketi yardımıyla jeneratörden elektrik enerjisi elde edilir.

Buraya kadar klasik enerji üretim yöntemleri geçerlidir. Buradan sonra kojenerasyon teknolojisi devreye girer. Yanma sonucu oluşan ürünler atık ısı kazanında buhar üretiminde kullanılır. Oluşan buhar ısınma ve sıcak su için kullanılır. Bir kısmıyla da türbinden dönme hareketi sağlanıp jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.

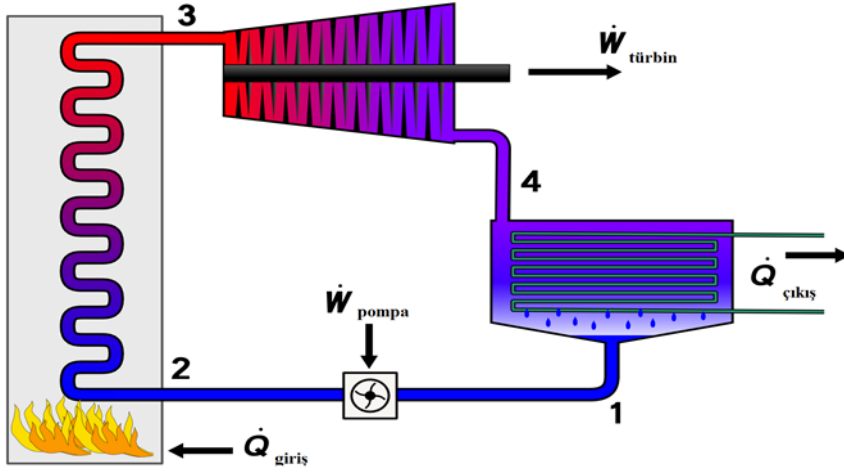
Kojenerasyon santralinde; bir filtre sistemine sokulan hava, sonra gaz türbininin kompresör kısmına gelir, burada sıkıştırılıp yanma odasına gönderilir. Burada püskürtme yöntemiyle verilen yakıt, sıkıştırılmış hava ile birlikte yanar. Sonuçta oluşan 1000-1100°C sıcaklığındaki gaz yüksek basınca sahip olduğu için türbinden geçerek dönmesini sağlar ve dönen türbin vasıtasıyla jeneratörden elektrik üretilir. Gaz türbinindeki atık gaz atık ısı kazanına iletilir. Atık ısı kazanında soğur. Sonra da kazan bacasından atmosfere atılır. Atık ısı kazanları üç ayrı ısı değiştirici bölümden oluşur. Kojenerasyon tesislerinin çalışma mantığı termodinamik bir çevrim olan rankine çevrime dayanır.

3.1. Geleneksel Rankine çevrimi

Rankine çevrimi buharla çalışan enerji santralleri için uygulanır. Buharla enerji üreten klasik termik santrallerde uygulanan yöntemdir. Geleneksel rankine çevrimi (GRÇ) dört aşamada tamamlanır.

Yapılan işlemler Şekil 3.1'e göre açıklanacak olursa, geleneksel rankine çevrimde; ilk olarak çalışma akışkanı ısıtılır. İkinci olarak çalışma akışkanı türbin içinde genişletilir. Üçüncü olarak düşük sıcaklıklardaki atık ısının atılmasıyla akışkanın soğutulması sağlanır.

Dördüncü ve son işlem olarak soğutulan akışkan sıkıştırılarak, çevrimin başlangıcına dönmesidir. Belirtilen işlemler birbirleriyle bağlantılı halde devam etmektedir.



Şekil 3.1. Geleneksel rankine çevrimi (Vikipedi, 2016b)

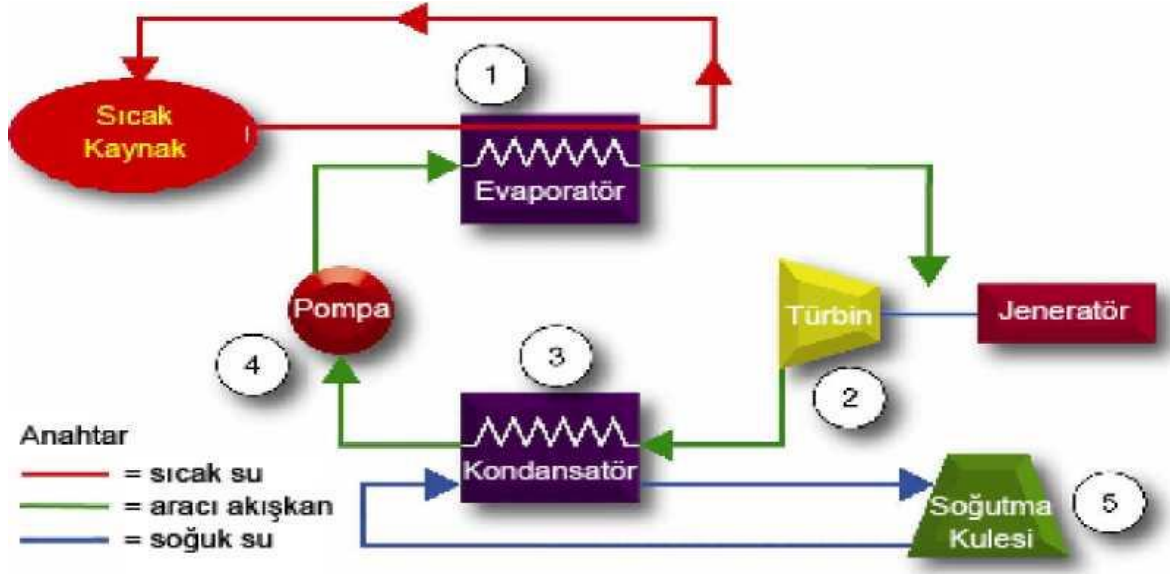
Geleneksel rankine çevrimde yoğuşturucudan alınan su pompa yardımıyla kazana yollarır. Böylelikle basıncı arttırılır. Sıkıştırma işleminin ideal düzeyde ve kayıpların olmadığı böylelikle entropinin sabit kaldığı varsayılır. Basıncın sabit olduğu durumda suyun kızgın buhar oluşturması sağlanır. Aynı anda çevrime ısı dahil olacağı için entropi de artış yaşanır. Elde edilen buhar türbinde genişletilip türbinlerdeki dönüşle beraber mekanik güç oluşturulur. Türbin ideal kabul edilip kayıpsız olduğu için genleşme sabit entropide olur. Atık buhardan ısı çekilip yoğuşma sağlanır. Çevrimin başlangıcına dönmüş olunur.

3.2. Organik Rankine Çevrimi

Geleneksel rankine çevriminde su çalışma akışkanı olarak kullanılır. Sudan daha düşük kaynama sıcaklığına sahip bir akışkan kullanılarak, düşük sıcaklıklarda ısı kaynaklarından elektrik üretilmesini sağlayan yüksek dönüşüm çevrimine organik rankine çevrimi denir. Organik rankine çevrimi (ORÇ), geleneksel rankine çevriminde termodinamik ve ticari koşullara uygun olarak sudan farklı başka bir akışkanın kullanılması ilkesine dayanır.

“Isıdan elektrik üreten sistemi esas alan bir ORÇ teknolojisi (Şekil 3.2), buharlaştırıcı (1 nolu) içerisindeki organik çalışma sıvısını (yeşil çizgi) buharlaştırmak için sıcak kaynaktaki ısıyı kullanır. Seçilen çalışma sıvısı silikon bazlı sıvılar olabilir veya düşük sıcaklıklar için hidrokarbon veya soğutucu bazlı sıvılar kullanılabilir. Basınçlı buhar daha sonra türbinlere (2 nolu) yollar ve

jeneratörle birleştğinde elektrik üretir. Buhar, yoğunlaştırıcı içinde tekrar sıvı hale yoğunlaştırılır (3 nolu). Burada ya soğutma kulesi (5 nolu), ya yeraltı suyu ya da ırmak suyu (mavi çizgi) soğutma aracı olarak kullanılır. Hava soğutma sistemi de alternatif olarak kullanılabilir. Sonra soğutucu pompa (4 nolu) çalışma sıvısını tekrar buharlaştırıcıya pompalar ve bu kapalı çevrim süreci tekrar eder. Sıcak sıvı yakıt kaynağı olarak kullanıldığından yakıt maliyeti sıfırdır. Ayrıca hiçbir yanma gerçekleşmediğinden, ORÇ enerji sisteminde atmosfere hiçbir salınım oluşmaz. Sıcak kaynaklar genellikle sıcak sıvı veya gaz halindedir. Bu tip kaynaklardan gelen ısı, atık ısı kaynağı veya diğer sınırlandırmaların özelliklerine bağlı olarak, bir aracı araç vasıtasıyla doğrudan veya dolaylı olarak ORÇ çalışma sıvısına aktarılır. Sıvı haldeki atık ısı kaynakları genellikle ORÇ ünitesiyle doğrudan birleştirilir. Gaz haldeki ısı kaynakları ise dolaylı yoldan birleştirilir” (Özden ve Paul, 2011: 103).



Şekil 3.2. Organik rankine çevrimde akış şeması (Özden ve Paul, 2011: 103)

Organik rankine çevriminde en önemli kısım akışkanın ısı transfer verimsizliğini engelleyebilecek şartlarda seçilmesidir. Bu sıvılar için bazı önemli özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- ❖ GRÇ’de gerçekleşen kızgın sıcaklıklarda buharlaşma ORÇ için uygun değildir. Bu yüzden daha küçük ısılarla gerçekleşebilecek buharlaşma enerjileri olan sıvılar akışkan olarak tercih edilmelidir.
- ❖ En düşük sıcaklık (donma) noktası, kararlı çalışma sıcaklığının yüksek olması, bu tarz sistemlerde sıvıların yüksek sıcaklıklarda kimyasal yapısı bozulduğu için gereklidir.
- ❖ Yoğunluğu ve buharlaşma ısısının yüksek olmasıyla akışkan daha fazla enerji kullanır. Böylece sistem boyutu azalacaktır.
- ❖ Çevreye olan zararın minimum olması, kolay bulunabilmesi, düşük maliyetli ve güvenilir olması gerekir. Küresel ısınmaya ve ozona olan etkileri önemlidir.



Resim 3.1. Organik rankine çevrim kullanan türbin örneği

Resim 3.1’de türbin örneği verilmiş olan organik rankine çevrimin geleneksel rankine çevrime göre aşağıda belirtilmiş olan pek çok avantaj ve yararları mevcuttur.

- ❖ ORÇ’de türbinle sıcak kaynağın teması olmadığı için jeotermal sularda bulunabilecek aşındırıcı maddelerin zararı olmaz. Eğer jeotermal kaynaklar temiz değilse kirli kaynaklar yüzünden tahribat oluşabilir. Türbindeki bıçaklarda sorun olması durumunda bakım maliyetleri çok yükselecektir. ORÇ’de türbinler uygun şartlar sağlandığında 20 yıldan fazla çalışabilir.
- ❖ Organik akışkanlarda yoğunluk fazla olduğu için buhar moleküllerine göre ısınınca türbinlere daha yavaş çarpar. Bu da bıçaklarda tahribatı azaltır.
- ❖ Mekanik ve termal gerilim daha düşük olduğu için ORÇ’de aksamaların yıpranması daha yavaş olur, maliyet düşer.
- ❖ ORÇ daha düşük sıcaklık ve basınçlarda bile, uzaktan kontrol edilip çalıştırılabilir. Böylelikle çalışma maliyetlerinde ciddi azalmalar sağlanır.
- ❖ ORÇ %10 düzeyindeki kısmi yüklemelerde bile GRÇ’ye göre daha yüksek verimlilikle çalışabilmektedir. Bu avantaj, bazı endüstriyel uygulamaların yanı sıra, ORÇ’nin geleneksel buhar türbinlerine göre daha uzun sürelerde çalışabildiği güneş-termal uygulamalarda kullanılır.
- ❖ Bu sistemlerde su kullanılması gerekmediğinden mineralsız su ve yardımcı elemanlara ihtiyaç duymaz.
- ❖ ORÇ’de türbin, geleneksel rankine çevrimine göre daha yavaş dönmektedir. Bu da yıpranma süresini kısaltıp makinenin ömrünü arttırır. Maliyeti düşürür.

- ❖ “ORÇ ile yüksek türbin verimliliği %85’e varıncaya kadar elde edilebilir” (Akterm Mekanik, 2016).
- ❖ Çalıştırma durdurma işlemlerinin kolay olması, sessiz çalışması, kolay yönetilebilmesi ve 20+ yıla kadar çalışma ömrü ORÇ'nin diğer avantajlarıdır.
- ❖ Üretilebilecek enerji düşük seviyelerde de olabilir. Geleneksel rankine çevrimde MW seviyesinde üretim yapılması verimliyken, ORÇ ile kW'lar düzeyinde verim elde edilebilmektedir.

3.3. Güç Üreticiler

Kojenerasyon sistemleri teknik olarak, tahrik elemanı olan güç üreticilere göre sınıflandırılır. Çünkü güç üreticiler kojenerasyon sistemlerinin çalışan en önemli elemanıdır. Kojenerasyon sisteminin kurulum hedefine ulaşabilmesi için, en çok dikkat edilmesi gereken eleman güç üreticidir. Güç kaynağının seçiminde göz önünde bulundurulacak belirli konular aşağıda belirtilmiştir.

- ❖ Elektrik ihtiyacı güç kaynağı verimi ve çoklu güç üreticisi kullanımı ihtimalleri göz önüne alınarak belirlenir.
- ❖ Tesisin ısıtma ve soğutma için gereken toplam enerji miktarı belirlenip, buna istinaden tesis için güç ısı oranı incelenmelidir.
- ❖ Kullanılacak yakıt türü, güç kaynağının ortaya çıkaracağı sera gazı miktarı açısından önemlidir. Ayrıca değişik tipte yakıtle çalışan güç üreticisi çalışma kolaylığı sağlar.
- ❖ Tesisin kurulacağı yer gürültü ve emisyon açısından incelenip uygun olan güç üreticisi seçilmelidir.

Kojenerasyon sistemleri için güç üreten kısım özelliklerine göre; buhar türbinli, içten yanmalı motorlu, gaz türbinli, birleşik çevrimli sistemler, mikro türbinler, stirling motorları ve yakıt pilli olarak sıralanır.

3.3.1. Buhar türbinleri

Türbin bir akışkanın enerjisini, bir mil ve üzerindeki kanatçıklar yardımıyla işe çevirmek için kullanılan sistemdir. Günümüzde yoğun olarak enerji üretmede kullanılan

yöntem rankine çevrimi kullanılarak yapılan buhar türbinli sistemlerdir. Buhar Türbinleri genel olarak fosil yakıtlar ya da nükleer enerji kullanarak enerji üreten santrallerin büyük çoğunluğunda kullanılır. Bu sistemlerde yüksek miktarda enerji ısı yoluyla suya verilerek buhar elde edilir. Elde edilen yüksek basınçlı buhar türbinin üzerindeki kanatçıklara ulaşır, şaftın dönmesini sağlar. Böylece şafta bağlı jeneratör enerji üretir. Buhar türbinleri kondensli ve kondenssiz (karşı basınçlı) olarak ikiye ayrılır.



Resim 3.2. 1910 kW endüstriyel buhar türbini doğrudan elektrik jeneratörü (solda) ile bağlantılı (Vikipedi, 2016c)

Kondenssiz buhar türbinleri

Yüksek basınçtaki buhar türbinlerden geçerken genişletilir. Çıkan buhar ısıtma amaçlı olarak kullanılabilir. Güç üretimi bu durumda düşecektir. Kondenssiz buhar türbinlerinden %80 oranında enerji verimliliği elde edilebilir (Çakır, 2007: 19). Kullanılan yakıt türleri bakımından yüksek çeşitliliğe sahiptir. Nükleer enerji, biyogaz, fosil yakıtlar bunlardan bazılarıdır. Ağır sanayideki kızgın buhar ihtiyacı ve endüstriyel işlemler için ürettiği buhar uygundur. Kondenssiz sistemlerin dezavantajları aşağıda sıralanmaktadır.

- ❖ Elektrik üretimi açısından diğer sistemlere göre oldukça düşük (%20) verime sahiptir (Çakır, 2007: 20).
- ❖ Çıkan buhar kızgın olduğu için sistemde yer alacak olan Boyler ve diğer ekipmanların seçimine çok dikkat edilmelidir. Uygun olmayan elemanların seçimi daha sonra ortaya çıkartacağı sorunlarla yüksek maliyet olarak geri döner.
- ❖ İlk olarak çalıştırılıp devreye alındığında tekrar normal çalışma düzenine geri dönebilmesi zaman alır.

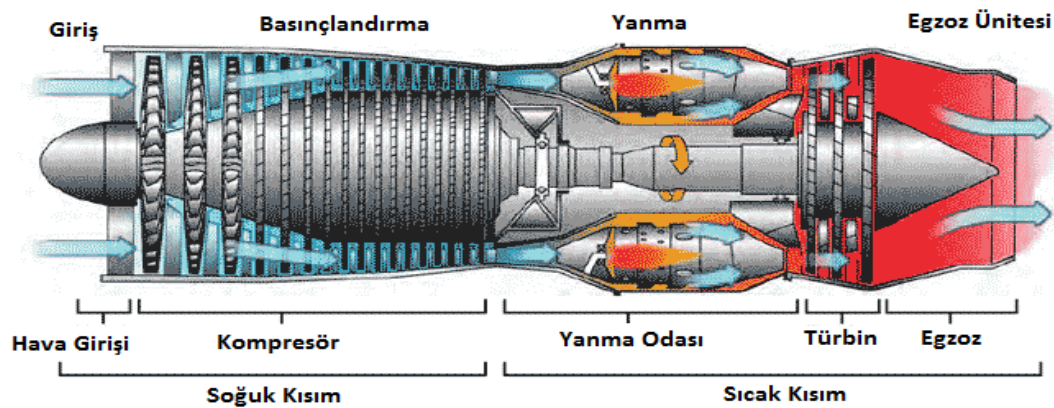
- ❖ Değişken yükler için çalışmaya elverişli değildir.

Kondensli buhar türbinleri

Bu sistemlerde buhar en yüksek düzeyde genişletilip kondensere gönderilir. Kondensli sistemler ile elde edilen elektrik enerjisi daha yüksek olmasına rağmen ısı amaçlı kullanılacak enerji miktarı daha düşük olacağı için toplam elde edilen verimi daha azdır.

3.3.2. Gaz türbinleri

Gaz türbinlerinde, hava sıkıştırılıp, gaz veya sıvı yakıt yakılarak türbinleri döndürülmesiyle jeneratörden elektrik üretilmektedir. Gaz türbinleri içten yanmalı bir motor olup, havayı sıkıştırıp, ısı yardımıyla genişmesini sağlar. Genleşen hava dönme hareketini oluşturur. Bu dönme hareketi devamlı ve düzenli olarak gerçekleşmektedir. Gaz türbinlerinde otto ve dizel motorlardan farklı olarak dönme hareketi için gerekli olan krank mili yoktur. Gaz türbinleri diğer türbin çeşitlerine göre daha fazla güç üretmektedir. Gaz türbinleri yüksek güvenilirlikte, düşük bakım maliyetlerine sahiptirler. Gaz türbinleri Şekil 3.3’de görüldüğü üzere kompresör, türbin ve yanma odası olarak 3 ana bileşenden oluşur.



Şekil 3.3. Gaz türbinli motor yapısı (Makina, 2016)

Kompresör

Merkezi ve eksenli olarak iki çeşit kompresör mevcuttur. Merkezi olan sistemde hava basınç ve hızı artırılarak hareket etmekte daha sonra artan hız azaltılarak basınç yükseltilir. Merkezsel kompresörler dayanıklı ve ucuz olmakla birlikte verimleri düşüktür.

Eksensel kompresörler peş peşe sıralanmış sabit ve hareketli kanatların birleşiminden oluşur. Hareketli kısım havaya hız katarken sabit kanatlar bu hızı basınca çevirir. Çok devreli yapıdan oluşmakta, her devrede de rotor ve stator parçaları bulunmaktadır. Çok sayıda devre yapısının bulunması dış etkenlere karşı daha hassas ve pahalı olmasına rağmen verimleri yüksektir.

Türbin

Türbinde gazın genleşmesi sağlanıp hızlandırılır. Verimlerini oluşturan türbülans olumsuz yönde etkiler. Genel olarak verimleri 0,87-0,90 arası değişir.

Yanma odası

Karışımın yakılıp güç üretildiği kısımdır. Tekli veya çoklu yapıda olabilir.

Gaz türbinlerinin çalışma ilkesi

Ortamda bulunan hava kompresörle emilip, sıkıştırılır. Sıcaklığı yükselen hava, seçilmiş olan yakıtla beraber yanma odasında yakılır. Yanma odasından gaz türbinine gelen sıcak gazlar tekrar atmosfer basıncında genleştirilir. Üretilen gücün bir kısmı alternatöre hareket sağlar. Mekanik güçten elektrik enerjisi istendiğinde, kompresör ve türbinin aynı şaft üzerinde olduğu tek şaftlı gaz türbinleri tercih edilmektedir.

Gaz türbinlerinde yanma ısısının sıcaklığı 900-1200 °C arasındadır. Ortaya çıkan atık ısı (egzoz gazı) 450-550 °C olmaktadır. Bu gazlardan buhar enerjisi oluşturularak ısı üretimi de sağlanır.

3.3.3. Pistonlu motorlar

Pistonlu motorlar dizel motorlar ve otto motorlara benzeyen içten yanmalı motorlardır. Silindir hacim ve ebatları oldukça büyük olmakla birlikte kilowatt başına maliyeti en düşük olan sistemlerdir. Bu motorlar elektrik verimi çok yüksek olup, yaklaşık %45 düzeyindedir. Bu yüzden yüksek pik değerlerde elektrik üretiminin istendiği yerlerde bu tarz motorlar kullanılır. Pistonlu motorlar 5 MW altı sistemler için tercih edilir. Üretilen

sıcak su yaklaşık 100 °C'dir. Egzoz gazlarının sıcaklığı 400 °C olur. Pistonlu motor çeşitleri buji ateşlemeli motorlar ve sıkıştırma ateşlemeli motorlar olarak ikiye ayrılır.

Sıkıştırma ateşlemeli motorlar

Şu an arabalarda da kullanılmakta olan dizel motor teknolojisindeki motorlarla benzerdir. Bu motorların güç çıkışları 200 MW'a kadar olup, şaft verimleri %35 ile %45 aralığında değişir (Sancar, 2010: 29).

Bu motorlarda HFO (heavy fuel oil), gaz yağı ve doğalgaz yakıt çeşidi olarak kullanılabilir. Doğalgazda kesinti yaşanması durumunda gazyağı kullanılarak da çalıştırılabilir. Sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlar istenilen güce göre 500 ile 1500 dev/dk. aralığında çalışabilir. 500 kW ile 2 MW arası güçler hız aralığının üst seviyelerinde, 2 MW-200 MW arası motorlar orta düşük hızda çalışır (Sancar, 2010: 29).

Strok, pistonun silindir içinde çıktığı en üst nokta ile en alt noktanın mesafesidir. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda sıkıştırma strokuna gelen hava bastırılarak basıncı artırılır. Basıncı artan havanın sıcaklığı artar. Sıcaklığı artan hava yakıtın tutuşma sıcaklığına ulaşır. Yüksek basınçla yakıt ısınmış havanın içine püskürtülür ve yanma gerçekleştirilir. Doğalgaz ya da benzin için bu yöntem yüksek tutuşma sıcaklıkları yüzünden uygulanamayıp, ateşleme bujileri kullanılır.

Buji ateşlemeli motorlar

Otto motorlarda sıkıştırma daha iyi yanma için uygulanıp, ateşleme buji ile sağlanır. Otto motorların güç aralığı sıkıştırma ateşlemeli motorlara göre daha düşüktür. “Genellikle kıvılcım ateşlemeli motorlarda şaft verimi %27 ve %35 arasındadır ve güç çıkışları maksimum 6 MWe civarında sınırlanmaktadır” (Sancar, 2010: 29).

Bu motorlar atık ısı olarak adlandırdığımız egzoz gazlarından geri kazanımla orta veya düşük sıcaklıkta su ihtiyacı olan küçük kojenerasyon sistemleri için kullanıma uygundur. Yakıt olarak çoğunlukla doğalgaz kullanımına uygun olup, biyogaz, çöp gazı gibi yakıtlarda kullanılabilir. Ancak bu yakıtların ısı değerleri daha düşük olduğu için elde edilecek güç çıkışı azalır.

Pistonlu motorların hareketli parça sayısı gaz türbinli sistemlere göre daha fazla olduğu için aşınma ve yıpranma süreleri daha kısadır. Bakım onarım için maliyetler daha yüksektir.



Şekil 3.4. Pistonlu motor örneği (Bilgi Ustam, 2016)

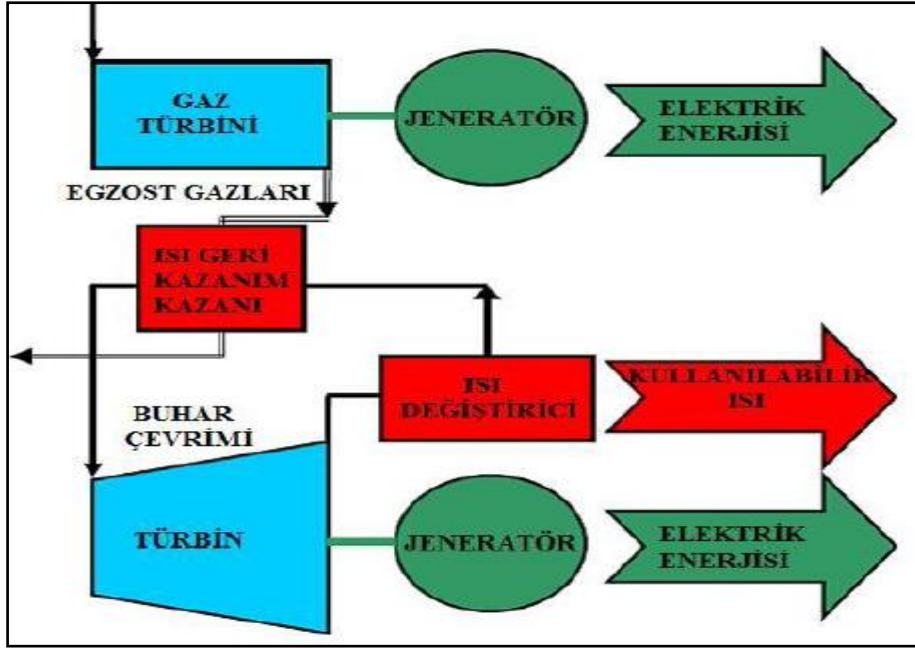
Pistonlu motorlarda üretilen termal enerji için kullanım alanları; egzoz gazları kullanılarak 15 bar basınçta buhar üretimi, buna ek olarak motor soğutma ünitesinden 85-90°C'ye kadar sıcak su sağlanması, egzoz gazları arada ısı değiştirici ya da ısı transferi olmadan CO₂ üretimi ya da kurutma işlemleri için kullanılması, uygun ısı transfer üniteleri seçilerek atık olan ısının tamamı sıcak hava üretimi için kullanılabilmesi olarak sıralanır.

Pistonlu motorlarla yapılan kojenerasyon sistemlerinin genel olarak avantajları; bütün olarak kojenerasyon sisteminin ilk yatırım maliyeti düşük olması, değişken yüklerde çalıştırılması gereğinde verimin diğer sistemler kadar olumsuz etkilenmemesi, geniş uygulanabilme yelpazesinin bulunması, devreye alma ilk çalıştırma zamanı 10–15 saniye gibi çok kısa bir sürede olması ve bu yüzden yedek güç sistemi olarak neredeyse her yerde motorlu sistemler tercih edilmesi, güvenilirliğinin diğer sistemlere nazaran çok fazla olmasıdır.

3.3.4. Kombine çevrim

Güç üretimleri 3MW'dan büyük olan bazı sistemlerde gaz ve buhar türbinlerinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan sistemlerdir. Bu sistemler gaz türbininden gelen yüksek

sıcaklıktaki egzozu atık ısı kazanına gönderip, buhar türbini için buhar üretilmesi temel mantığıyla çalışır. Şekil 3.5'de prensip şeması gösterilen gaz türbini ve buhar türbininin birlikte çalıştığı bu sistem, kombine çevrim olarak adlandırılır. Kombine çevrimli sistemler yaygın olarak gaz türbinleriyle kullanılmakta iken dizel jeneratörlerle kullanılan türleri de bulunur.



Şekil 3.5. Kombine çevrimli kojenerasyon sistemi prensip şeması (Sancar, 2010: 58).

3.3.5. Stirling motorları

Stirling motorları dıştan yanmalı motorlardır. Stirling motorlarında dışarıda yanan bir gazdan elde edilen ısı motor içerisinde bulunan helyumun genleşmesini sağlar. Genleşen helyum, motor içerisindeki iki pistondan biri olan iş pistonunu hareket ettirir. İkinci piston gazı iş pistonu tarafından sıkıştırılacağı alana göndermekte kullanılır. Soğuk bölgeye transfer edilen gaz yer değiştirici piston tarafından ısıtılacağı sıcak bölgeye tekrar gönderilir ve çevrim kendini tekrarlamış olur. Stirling motorlarının çok az hareket eden parçası bulunur. Kesintili yanma çevrimi kullanmadığı ve sürekli çalıştığı için diğer motorlara göre çok sessizdir. Az bakım gerektirir. Bunun da nedeni diğer motorlara göre düşük seviyede ortaya çıkan yanmış partiküllerdir. Verimleri yüksektir.

“Bu motor teknolojisi 60 yıllık bir geçmişe sahiptir ancak yeni olan bunun mikro-kojenerasyon kazanlarında kullanılmasıdır. Bu tip kazanlarda kapasitesi 0.2-0.4kWe arasında küçük motorlara ihtiyaç vardır. Bu uygulamalarda stirling motorları çok iyi bir alternatif olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Gaz türbinleri ve gaz motorları bu ölçekte uygun değildirler, günümüzde en küçük otto motor 3kWe gücündedir” (Ekinci, 2013: 23).

Seri üretimin yeteri düzeyde olmaması nedeniyle stirling motorları yüksek maliyetlere sahiptir. Ayrıca pistonlu motor türlerinin taşımacılıkta kullanılıyor olup devamlı kendini yenileyen bir teknolojiye sahip olması bu motor türünün gelişimini engeller. Ancak stirling motorları tüm bunlara rağmen çok küçük güçlerde bile %30 verimlilikle çalışabilir. Ayrıca güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklar için uygundur.

3.3.6. Mikrotürbinler

Günümüze kadar 1 MW altı kojenerasyon sistemlerinin güç verimliliği yeterli düzeyde olmamıştır. Ancak günümüzde bu durum yeni üretilmeye başlanan 25 kW gibi küçük sistemlerle değişmiştir. Mikrotürbin denilen bu yapılarda kompresör türbin ve jeneratör tek şaft üzerinde bulunur. Mikrotürbin yapıları sadece tek hareketli parçaya sahip olup, hava yataklarıyla çalıştıklarından yağlama ihtiyacı duymazlar. Temel olarak doğalgazla çalışmakla beraber yüksek verimli fosil yakıtlarda kullanılabilir. Mikrotürbinlerle kullanılmak üzere biyoyakıtlar üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

3.3.7. Yakıt pilleri

Yakıt pilleri Carnot çevrimli sistemlere göre karşılaştırıldığında daha yüksek verimli, düşük gürültü düzeyine sahip ve CO₂ emisyonu düşüktür. Yakıt pilli kojenerasyon sistemleri pek çok Avrupa ülkesiyle beraber ABD'de son yıllarda yoğun şekilde kullanılmaktadır. Yakıt pilleri yüksek verimliliklerinin yanı sıra 5 kW ile 2 MW arasında değişen güç kapasitelerine sahiptirler.

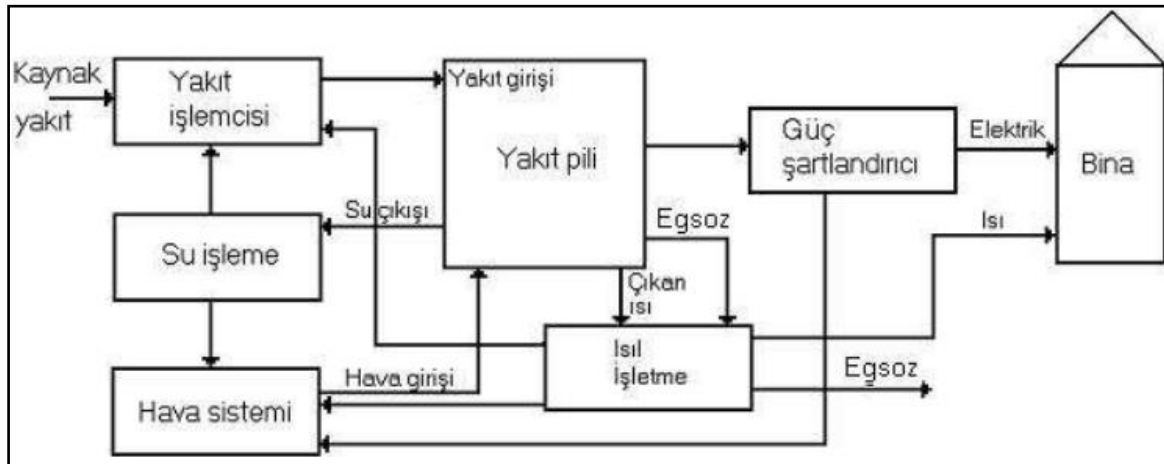
Yakıt pili teknolojisinde, hidrojen ile oksijen bir elektrolit ortam yardımıyla normal kojenerasyon sistemlerinde olan yanma gibi mekanik olaylar olmadan elektrik üretilebilir. Isı ve su üretimi bu kimyasal tepkimeler sonucunda oluşan yan ürünlerdir. Eş. 3.1'de verilen anot reaksiyonu ile Eş. 3.2'de verilen katot reaksiyonun toplamı Eş. 3.3'de reaksiyon sonucu su açığa çıkar.



Reaksiyon ekzotermik olup açığa çıkan ısı ve su binaların sıcak su ve ısı ihtiyacının giderilmesinde kullanılır. “Yakıt pilleri için yakıt olan hidrojen, doğal gaz, propan, kömür veya suyun elektrolizi gibi değişik kaynaklardan elde edilebilir” (İlhan, Özyönüm, Baranak ve Akgün, 2010: 71).

Yakıt pilleri daha çok evsel kojenerasyon sistemlerinde tercih edilmektedir. Yakıt pillerinin, hastane, otel, ev gibi yerlerde gürültü ve titreşimle ilgili problem oluşturmamaları ve az yer kaplamaları tercih edilme sebepleridir. Ayrıca bunlara ek olarak enerjide %20 ile %40 arasında tasarruf sağlarlar. Verimleri yüksektir (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2003: 27).

Yakıt pilli kojenerasyon üniteleri; yakıttaki mevcut kimyasal enerjinin, elektrik ve ısı enerjisine dönüşmesini sağlayan yakıt pili, hidrokarbon yakıtları hidrojene dönüşümünü sağlayan yakıt işleme ünitesi, gücü şebeke için alternatif akıma dönüştüren güç düzenleyicisi, havayı yakıt işlemcisi ve yakıt piline ulaştıran hava sağlama alt ünitesi, yakıt pilinden yüksek ısıyı uzaklaştırıp, sistemin çeşitli bileşenleri arasında ısı transferini sağlayıp, dış ısı yükleri oluşturmak için ısıl işlem ünitesi ve çıkan su için su işleme alt ünitesi gibi ünitelerden oluşmaktadır. Sistemde kullanılan elemanlar kullanılan yakıt türüne göre değişmektedir. Sistemin çalışma prensibi şematik olarak Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Yakıt pilli kojenerasyon tesislerinin gösterimi (Öztop ve Çıtlak, 2004: 40)

Günümüzde farklı aşamalarda üzerinde çalışan yakıt pili çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar molten karbonat yakıt pilleri (MCFC), fosforik asit elektrolit yakıt pilleri (PAFC), katı oksit yakıt pilleri (SOFC) ve proton değişim membranlı yakıt pilleridir (PEM).

Fosforik asit yakıt pilleri (PAFC), günümüze kadar ABD, Japonya, Avrupa' da en çok kullanılmış olan yakıt pili türüdür. 200'den fazla yerde kullanılan PAFC ilk yakıt pili uygulamasıdır. 200°C üzerinde çalışabilmeleri sayesinde metanı hidrojen zengin gazla çevirirken atık ısıyı doğrudan kullanabilir. Atık ısı, genel olarak alan ısıtması ve sıcak su için kullanılabilen ancak diğer kojenerasyon aşamaları için uygun değildir.

Molten karbonat yakıt pilleri (MCFC), yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedirler. PAFC'lere göre daha verimlidir. Karbonat elektrolit oda sıcaklığında katı haldedir. Çalışma ortamı olan 650 °C - 800 °C arası sıvı hale geçer. PAFC'nin aksine Molten Karbonat Yakıt Pilleri yüksek derecedeki atık ısıları sayesinde elektrik üretiminde de kullanılabilir. 1-20 MW aralığında bulunan MCFC endüstriyel uygulamalarda kullanım için uygundur.

Katı oksit yakıt pilleri (SOFC) yakıt pilleri sırasında en yeni olandır ve geliştirilme aşaması hala devam etmektedir. SOFC diğer yakıt pili türleri gibi kojenerasyondan elde edilen tüm kazanımları sağlamaktadır. Gaz türbini veya mikro türbinli hibrid sistemler elektrik verimini %60'a çıkartır.

Proton değişim membranlı yakıt pilleri (PEM), 80°C gibi düşük sıcaklıklarda çalışır. Çünkü proton değişim membranı yüksek sıcaklıklarda erir. PEM geleneksel Carnot çevrimli yüksek sıcaklıklardaki kojenerasyon için uygun olmayıp, evsel mikrokojenerasyon sistemler için idealdir. PEM 1960'lardan beri gelişmekte olan teknolojiyle diğer tüm yakıt pillerinden daha ileri konumdadır. Resim 3.3'de yakıt pili kullanan kojenerasyon santrali örneği görülmektedir.



Resim 3.3. Yakıt pili kullanan kojenerasyon santrali örneği

3.4. Isı Geri Kazanım Ünitesi

Isı geri kazanım üniteleri kojenerasyon sistemleri için buhar, sıcak su ve absorpsiyonlu soğutma üretim sistemleridir. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin atık egzoz gazlarını direk kullanarak yaptığı işlem birincil ısı kazanım olmakta, ikincil ısı geri kazanım ise, sıcak su ve buhar üzerinden elde edilir. Isı geri kazanım kazanlarının; ateşlemesiz, kısmen ateşlemeli, tamamen ateşlemeli olarak 3 çeşidi bulunur.

Ateşlemesiz ısı geri kazanım üniteleri konveksiyonlu ısı değiştirici anlamına gelir. Kısmen ateşlemeli ısı geri kazanım ünitelerinde ise, kanal tipi yakıcı gaz kullanılır. Yakıcı gaz olarak genelde doğalgaz kullanılır. Isı geri kazanım kazanına doğru gelen egzoz gazları sıcaklığı yakıcı kısım yardımıyla yükseltilerek ısının yeniden kazanıldığı kazana gönderilir. Tamamen ateşlemeli sistemler ise egzoz gazlarının ön ısıtılmış hava olarak kullanıldığı sistemlerdir. Bu kazanlarda egzoz gazı kazan boyunca ilerledikten sonra direk atmosfere atılır. Atmosfere atılan egzoz gazlarında yüksek düzeyde ısı enerjisi olmasına karşın bunun hepsi kullanılamaz. Bunun nedenleri aşağıda verilmektedir.

- ❖ Isı transferinin verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için egzoz gazlarının sıcaklığı ısıtılacak olan suyun sıcaklığından yüksek olmalıdır. Genellikle minimum pratik sıcaklık farkı 30°C'dir.
- ❖ Egzoz gazlarının yoğunluk farkıyla yükselmelerini sağlayan sıcaklıklardan aşağısına soğutulmamalıdır.

- ❖ Egzoz gazları belli sıcaklıkların altında kondense duruma geçer. Kondense durum yakıt içerisinde bulunan sülfürün sülfürik aside dönüşmesidir. Bu da kazanın yıpranmasına neden olur.

Açık çevrim sistemlerde yüksek düzeyde ısı geri kazanımı için egzoz gazına ekonomayzer denilen ısıyı değiştiren maddeler eklenir. Ekonomayzer kondense olarak kullanılacaksa en uygun yakıt, içinde sülfür bulunmayan doğalgazdır. Böylelikle asit korozyonu riski en aza indirgenmiş olur.

3.5. Jeneratör ve Elektrik Ekipmanları

Kojenerasyon sistemleri ekipmanları; jeneratör, iletim hatları, devre kesici elemanlar, sayaçlardan ve jeneratörün kendisine ait kontrol elemanlarından oluşur. Şebekeye bağlanıp ürettiği elektriği şebekeye verebilen kojenerasyon sistemleri için çift yönlü sayaçlar gibi başka elemanlara da ihtiyaç duyulur.

Elektrik enerjisi üretimi, kojenerasyon sistemleri için çoğunlukla yakıt olarak kullanılan doğalgaz ve biyogazın motorun silindirlerinde yakılıp mekanik enerji oluşturulması, oluşturulan enerjiden dönme hareketiyle alternatörlerde elektrik enerjisi üretilmesi temeline dayanır. Resim 3.4’de kojenerasyon santrali için kullanılan jeneratör örneği verilmiştir.

Bir iletkenin çevresindeki manyetik alanın değişmesiyle iletkende akım oluşur. Rotor denilen sargılar, stator olarak adlandırılan sabit iletken sargının içinde dönerler. Mekanik enerjinin (motorun) rotoru çevirmesiyle iletkenler etrafında manyetik alan değişir ve elektrik akımı üretilmiş olur. Jeneratör;

- ❖ Sabit kısım, stator (indüklenen)
- ❖ Stator içinde tahrik sistemi ile dönen kısım, rotor (indükleyen) olarak başlıca iki kısımdan oluşur.

Stator; indüklenen kısımdır, endüvi denir. Silisli sac paketlerinden yapılmış ve iç kısmına sargıların yerleştirilmesi için oluklar açılmıştır. Endüvi stator kısmındadır. Rotor; uyarım sargılarının iletimini sağlayan kısımdır ve endüktör denir. Yüksek güçlü

alternatörlerde endüktör, döner şekilde yapılmakta ve bunlara rotor denilmektedir. Endüktörü oluşturan kutuplara göre alternatörü, sistemin devir yapılarına göre çıkıntılı kutuplu alternatörler, düz silindirik kutuplu alternatörler olmak üzere iki şekilde yapılır.

Alternatörler, su türbinleri, rüzgar ve taşıtlarda da kullanılan gaz veya dizel motorları yardımı ile çevrilebilirler. Alternatör gücü, iki şekilde ele alınır. Devamlı güç; alternatörün tam yük durumunda kesintisiz olarak çalışması, standby güç modu ise; alternatörün belli bir süre çalıştırılıp daha sonra soğumaya bırakılması, alternatörün tekrar çalıştırılması ile ortaya çıkan güçtür.

Elektromanyetik alanı meydana getiren rotorun, motorlar tarafından döndürülmesiyle statorda alternatif akım meydana gelir. Stator akım makaralarının kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Bütün makaralar için üzerinde bulunan sarım bir önceki makaranın sarımına göre ters yönlüdür. Alternatif akım, indükleme suretiyle statorda oluşur. Rotor dört kutuptan oluşan bir elektro mıknatıstır. Fakat kutup sayısı dörtten fazla olabilir. Alternatörün elektrik akımı, doğrudan statorun uç kısımlarından alınabilir. Alternatif akımda, elektron akış yönü saniyede 50 defa değişir. Akımın bir saniyedeki yön değiştirme sayısına frekans denir. Rotorun dönme hızı ile orantılı olarak akımın yön değiştirme hızına bağlı olan frekans da değişir.

Jeneratörler, kullandığı enerji kaynağına göre ikiye ayrılır. Jeneratör çalışabilmek için şebekeden enerji çekiyorsa asenkron jeneratörler olarak adlandırılır. Bu jeneratörler senkron hızların üzerinde çalışabilmelerine rağmen, şebekeden gelen elektrik akımına çalışabilmek için ihtiyaç duyarlar. Yedek jeneratör olarak kullanıma uygun değildirler. Ama bununla birlikte şebeke bağlantı ara yüzleri basittir. Senkron jeneratörler küçük bir alternatör yardımıyla ürettikleri akımı kullanırlar. Şebekede kesinti olması durumunda yedek jeneratör olarak kullanılabilirler. Senkron jeneratörler 200 kW altı güçler için asenkron jeneratörlere göre oldukça pahalıdır. Ancak 200 kW altı güçler için dahi genel olarak senkron motorlar tercih edilir.



Resim 3.4. Kojenerasyon tesisi için jeneratör örneği

3.6. Kontrol Sistemi

Kojenerasyon santrali için devreye giriş ve çıkış işlemleri daha önceden tanımlanmış olan çalışma düzenine göre gerçekleştirilir. Kojenerasyon için en çok tercih edilen çalışma prensipleri; santralin ana elektrik ve ısı yükünü karşılaması, saha ihtiyacının üzerinde elektrik üretmek amacıyla ve santralin sadece saha elektrik ihtiyacını karşılamak şeklindedir.

Kontrol sisteminde seçilen çalışma düzeni dışında kojenerasyon tesisi için denetim yapılmasının önemli olduğu birkaç nokta daha bulunur. Bunlar; motor hızı, gaz hattı lambda kontrolü, manifold hava basıncı ve sıcaklık, ateşleme sistemi, vuruntu ve vibrasyondur. Bunların kontrolünün yapılması, sistemin düzgün çalışması, performanslı kullanılması ve uzun ömürlü olabilmesi için gereklidir.

Motor hız kontrolü

Her motorun (dizel veya gaz) bir governoru vardır. Governor, motorun devrini sabit tutmayı sağlayan kontrol birimidir. Bunu sağlayan, actuator denilen bir yapıyı kontrol eder. Actuator; gaz motorlarında gaz ile hava karışımının, istenilen devir sayısına göre silindirlere girmesi gereken karışım miktarını ayarlar. Governor ünitesi, üreticisi olduğu

firmanın yazılımına göre programlanarak başlangıç ayarları set edilir. Her motor markası veya tipi için farklı governor kontrol kartları kullanılabilir.

Gaz hattı lambda kontrolü

Doğalgaz ile çalışan her motorun bir gaz hattı ve gaz kontrol sistemi vardır. Bu hat ve kontroller motor türüne göre değişir. Örneğin, bazı motorlar sıfır basınç ile çalıştığından gaz hattına sıfır basınç regülatörü konulmalıdır. Bazı motorlar ise, belli bir basınç altındaki gaz ile çalıştığından gelen doğalgaz hattı ile motor arasına, gazın basıncını motorun istediği seviyeye düşüren bir gaz regülatörü konur. Bir motorun gaz hattında başlıca, filtre, selenoid valf, gaz basınç regülatörü ve hava ile gaz karışımını yapan mikser (karbüratör) bulunur. Selenoid valf bir röle ile pano tarafından kontrol edilir.

Motora giren gaz, hava ile belli oranda karışır. Bu karışım, düzenli, doğru ve verimli yanmanın silindirlerde gerçekleşmesini sağlar. Lambda ise, motora giren gaz ile havanın karışım oranıdır. Genel olarak bir oran belirlemek gerekirse, lambda oranının 1 olduğu durum, 1 birimlik gaza karşılık 14 birim havanın girdiği durumdur. Elektrik panosunda lambda oranı sürekli izlenir ve kontrol altında tutulur. Lambda ayarı ile motordan çıkan egzoz gazının çevre etkisi yani emisyonu ayarlanabilir. Lambda makinenin hızını, verimini ve düzenli çalışmasını doğrudan etkiler.

Manifold hava basıncı ve sıcaklık kontrolü

Bu kontrol Manifold basınç sensörü (MAP¹) ve Manifold sıcaklık sensörü (MAT²) ile yapılır. MAP manifold basıncını ölçer. MAT ise manifolddaki havanın sıcaklığını ölçer ve kontrol birimine iletir.

Ateşleme sistemi kontrolü

Gaz motorları ile dizel motorların ateşleme sistemi farklıdır. Dizel motorlar kendiliğinden ateşleme yaparken, gaz motorları ise dışarıdan bir ateşleme sistemine ihtiyaç

¹Manifold Air Pressure

²Manifold Air Temperature

duyar. Gaz motorlarında buji denilen ateşlemeyi sağlayan yapılar, belirli oranda karışan gaz ve hava karışımını piston ağzında kıvılcım yaratarak ateşler. Doğru devir sayısının elde edilmesi için bujilerin ateşleme sırası çok önemlidir. Bu yüzden, kam miline yerleştirilen bir pickup ile devir sayısı kontrol edilir. Kontrol sistemi ateşleme kontrol ünitesi tarafından gerçekleştirilir. Motor üzerinde bulunan bu ünite, motor gücüne ve markasına göre farklı kontrol üniteleri olabilir. Bu ünitelerden gelen bilgiler en son olarak motor kontrol biriminde değerlendirilir ve doğru ateşleme sağlanır.

Vuruntu ve vibrasyon kontrolü

Makine, yükte veya yüksüz durumda iken vuruntu veya vibrasyon durumu sürekli kontrol edilmelidir. Devamlı oluşabilecek vuruntu ve vibrasyon makinenin çalışmasını olumsuz etkiler, verimini düşürür. Bunu izlemek için, vuruntu kontrolü yapan kontrol üniteleri kullanılır. Motora vuruntu algılayıcıları¹ yerleştirilir ve bu algılayıcılardan alınan bilgiler vuruntu kontrol ünitesinde değerlendirilir. Makinenin çalışmasını olumsuz yönde etkileyecek vuruntu durumlarında kontrol birimi ekrana vuruntu alarmı gönderir. Ünitenin programlanmasına göre, jeneratör sistemi kapatılabilir veya yavaşça yük azaltılabilir. Farklı motor markaları için farklı vuruntu kontrol üniteleri kullanılır.

3.7. Kullanılan Yakıtlar

Kojenerasyon tesisleri için kullanılan yakıt türü çoğunlukla doğalgazdır. Doğalgazın yanıcılığının iyi olması, ekonomik oluşu, emisyon oranının düşük olması tercih sebeplerindendir. Doğalgazdan sonra yoğun olarak kullanılan diğer yakıtlar; propan, dizel, sıvı yakıt no 4, sıvı yakıt no 6 ve nafta olarak sıralanır.

Dizel yakıtların emisyon oranının düşük ve yanıcılığının yüksek olmasına rağmen, fiyatının yüksekliği sebebiyle kojenerasyon tesisleri için asıl yakıt kaynağı olarak kullanılması uygun değildir. Ancak, yedek yakıt ve elektrik kesintilerinde devreye girmesi için dizel jeneratörlerde kullanılabilir. Sıvı yakıt kullanırken arıtılması gerektiğinden kojenerasyon sistemleri için ekonomik değildir.

¹Knock sensor

Çizelge 3.1. Kojenerasyon sistemleri için kullanılan yakıtlar ve özellikleri

YAKIT	Özellikleri
Doğal Gaz	Kojenerasyon için kullanılan temel yakıttır. Depolama gerektirmez. Çevre dostu ve ekonomiktir. Yanma özellikleri ve ısı değerleri uygundur.
Dizel	Yanması en az sorunlu ve zararlı emisyon oranı en düşük olan yakıttır. Ancak yüksek maliyeti yüzünden gaz ve elektrik kesintilerine karşı yedek yakıt olarak kullanılmaktadır.
Propan	%95 üzerinde saflık gerektirmektedir. Bundan dolayı ithal edilmesi gerekir. Çok düşük metan sayısı ve yüksek ısı değerleri olmasına rağmen verimi %65 düzeylerinde olmaktadır. Bu da ilk yatırım maliyetini yükseltmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarla ekonomik olarak uygulanabilir bir alternatif haline gelmiştir.
Fueloil No:4	Kojenerasyon için uygun olmakla birlikte, kullanılabilmesi için arıtma gereklidir. Bu da maliyetleri yükseltir.
Fueloil No:6	Ülkemizde de bulunabilmesi zaman zaman üretim fazlası verebilmesi ve enerji üretiminde kullanılması durumunda devlet teşviklerinin olması kullanıma uygun yakıtlardan biri olmasını sağlar. Gaz ve katı atık arıtımında karşılaşılan sorunlar nedeniyle maliyeti yüksektir.

Kojenerasyon uygulamaları için; ısı değeri $0,54 \text{ kWh/m}^3$ olan ve metan sayısı düşük gazlar ile 34 kWh/m^3 ısı değeri olan bütan gazı da dahil çeşitli yakıtlar kullanılabilir. Kojenerasyon sistemlerinde atıklardan elde edilen biyoyakıt hem ekonomik hem de etkin bir biçimde kullanılabilir. 2 kW elektrik ve 1,23 kWh ısı enerjisi üretebilmek için; uygun metan sayısı elde edilirse 5-7 kg biyolojik atık, 5-15 kg çöp, 8-12 kg organik atık, 4-7 m³ kanalizasyon suyu yeterli olabilir (Öztürk ve Kaya, 2014: 63). Kojenerasyon tesisleri için en çok kullanılan bazı yakıt türlerinin genel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

3.8. Kojenerasyon Teknolojisinin Kullanım Alanları

Kojenerasyon, enerjinin hem elektrik hem de ısı olarak aynı sistem içerisinde beraber üretilmesidir. Böylece ayrı üretime göre daha yüksek verim elde edilebilir. Kojenerasyon sistemleri ürettiği elektriği tesisin kendi ihtiyaçları için kullanabilmekte ya

da ulusal şebekeye bu elektriği satabilir. Üretilen ısı enerjisi ise, tesisin sıcak su ihtiyacını karşılayabilmesinin yanı sıra, bulunduğu bölgeye dağıtımı yapılarak şehir ısıtması amacıyla da kullanılabilir. Danimarka, Finlandiya, Hollanda ve Letonya gibi Kuzey Avrupa ülkelerinde kojenerasyon uygulamaları yaygın olarak kullanılmakta ve devlet tarafından kapsamlı destekler verilmektedir.

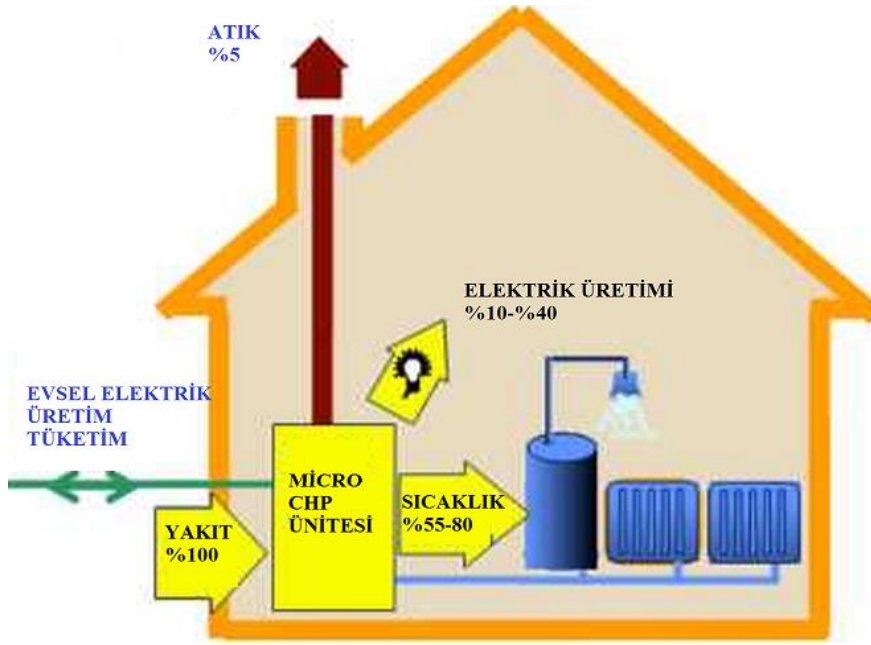
3.8.1. Bölgesel ısıtma

Bölgesel ısıtma işlemi; toplu halde bulunan birçok bina için tek santral üzerinden ısıtılması ve sıcak su sağlanması işleminin gerçekleştirilmesidir. Santral, kombine çevrimli bir kojenerasyon tesisi ya da sadece ısı üretimi yapılan bir santral olabilir. Üretilen ısı, sıcak su olarak binalara ulaştırılır. Binalarda kullanılıp soğuyan su tekrar merkeze ısıtılmak üzere döner.

3.8.2. Konutlarda kullanım (Mikrokojenerasyon)

Kojenerasyon tesisleri, üretilen güce bağlı olarak büyük orta ve küçük boyutlu sistemler olarak tasarımlanır. Avrupa 2004 yılı kojenerasyon yönetmeliğine göre; 10-50 kW arası mikrokojenerasyon, 50-1000 kW arası küçük kojenerasyon, 1 MW'dan büyük sistemler orta ve büyük kojenerasyon tesisleri olarak adlandırılır. Mikrokojenerasyon olan sistemler; 50 kW altı kurulu güce sahip olan ısı, elektrik enerjisi ve soğutmanın tek seferde üretilmesini sağlayan yapılardır (Pehnt ve diğerleri, 2006: 2). Ülkemizde 2014 yılında çıkan kojenerasyon ve mikrokojenerasyon tesislerinin verimliliğinin hesaplanmasına ilişkin usul ve esaslar hakkında tebliğe göre 100 kWe gücün altındaki kojenerasyon tesisleri mikrokojenerasyon olarak tanımlanır.

Paket olarak kullanılan bu sistemlere eklenecek ufak cihazlar yardımıyla yaz aylarında soğutma için kullanılabilirler. Evlerde kullanılan mikrokojenerasyon tesislerinin genel yapısı ve konutlarda kullanım alanları Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Evsel mikrokojenerasyon sistemlerin genel yapısı (Akterm Mekanik, 2016)

Mikrokojenerasyon üniteleri ile küçük ölçekli güçlere ihtiyaç duyulan (hastane, okul, daire vb.) gibi binaların ısı, elektrik ve eklenecek parçalar yardımıyla soğutma ihtiyaçları karşılanabilmektedir. Mikrokojenerasyon ünitelerinde kullanılan motor çeşitleri; içten yanmalı motorlar (otto çevrimi), dıştan yanmalı motorlar (stirling çevrimi) ve yakıt pilleridir.

3.8.3. Isıtma ve soğutma amaçlı kullanım (Trijenerasyon)

Trijenerasyon var olan kojenerasyon sistemine soğutma sistemi eklenmesiyle oluşturulan, kojenerasyonun genişletilmiş biçimidir. Kojenerasyon sistemlerinde yan çıktı olan ısı enerjisi iklimlendirme, sıcak su, buhar üretiminde kullanılır. Yaz mevsimi için binalarda ısı enerjisi ihtiyacı azalır, ancak buna paralel olarak soğutma ihtiyacı artar. Kojenerasyon tesisinden elde edilen atık ısı absorpsiyonlu soğutucu kullanılarak iklimlendirme ve soğutma için kullanılabilir.

Trijenerasyon işlemi kojenerasyonla ilgili işlemlere ek olarak soğutmanın eklenmesidir. İlk olarak asıl ısı güç üreticisi aracılığıyla mekanik güç üretimi gerçekleştirilir. Elde edilen mekanik güç, jeneratörü çalıştırmada kullanılır. Güç üretim ünitesinden açığa çıkan atık ısı, bina ısıtması ya da absorpsiyonlu soğutucular yardımıyla soğutmada kullanılır.

Trijenerasyon sistemlerinde soğutma için elektrik enerjisi yerine ısı enerjisi kullanır. Bu nedenle, bu sistemler ısıl sürümlü sistemler olarak adlandırılmaktadır. Isıl sürümlü sistemler; absorpsiyon, adsorpsiyon ve kurutma olmak üzere 3 ana başlık altında toplanmaktadır. Genel olarak soğutucu teknolojileri özellikleri Çizelge 3.2’de açıklanmaktadır.

Çizelge 3.2. Soğutucu teknolojileri özellikleri (Ünal, Kayakutlu ve Ercan 2016: 46)

Teknoloji	Girdi	Çıktı	PK	Uygulamalar
Absorpsiyon (tekil etki)	LiBr-su Buhar 2-3 bar, Sıcak su 70-90 C°	Soğuk su 5-10 C°	~0.7	Büyük ölçekli endüstriyel ve ticari uygulamalar, ayrık soğutma, ticari ve mesken binaları için soğutma
LiBr-su (çift etki)	Buhar 4-8 bar, Sıcak su 120-170 C°	Soğuk su 5-10 C°	~1.2	
LiBr-su (üçlü etki)	Sıcak su 200-230 C°	Soğuk su 5-10 C°	1.4-1.5	
Absorpsiyon (tekil etki)	su-NH ₃ Buhar 2-16 bar, Sıcak su 80-200 C°	Glikol su < 0 C°	~0.5	Gıda ve kimya endüstrileri için uygun, küçük ticari ve mesken binaları için soğutma ihtiyacı
Su-NH ₃ (çift etki)	Buhar 8-16 bar, Sıcak su 170-220 C°	Soğuk su 5-10 C°	0.8-1.2	
Adsorpsiyon su	silika-jel Sıcak su 60-85 C°	Soğuk su 7-15 C°	0.3-0.7	Küçük ticari ve mesken binaları için küçük ölçekli uygulamalar
Adsorpsiyon karbon-metanol	aktive Buhar 2-4 bar, Sıcak su 80-120 C°	Glikol su < 0 C°	0.1-0.4	Deneysel uygulamalar, ticari amaçlar için buz ve soğutma üretimi
Sıvı kurutma soğutması	Sıcak su 60-90 C°, Sıcak hava 80-110 C°	Kuru soğuk hava 18-26 C°	0.5-1.2	Mesken binaları için ısı konfor ve nem kontrolü, kurutma ve nem alma
Katı soğutması	kurutma Buhar 2-4 bar, Sıcak su 60-150 C°	Kuru soğuk hava 18-26 C°	0.3-1	Endüstriyel uygulama süreçleri, mesken ısı konfor ve nem kontrolü
Ejektör soğutması	Sıcak su 70-130 C°	Soğuk su 5-15 C°	<0.8	Gıda işleme fabrikaları üretim ve süreçler, taşıma soğutması, küçük ölçekli bina soğutma
Bütünleşik absorp-CO ₂ soğutma döngüsü	Uygulanan abropsiyon birimine bağlı	Salamura (brine) <0 C°	5.5-6	Deneysel uygulamalar, gıda soğutma uygulamaları

Trijenerasyon tesislerinde ortaya çıkan ısı enerjiden üretilebilecek soğutma gücüne oranlanmasıyla belirli bir katsayı elde edilir. Performans katsayısı (PK) denilen bu katsayı satın alınan trijenerasyon tesisinden ne kadar verimle soğutma elde edilebileceğini gösterir.

Absorpsiyonlu soğutma işleminde soğutucu akışkanın soğutulabilmesi için ikinci bir akışkan kullanılır. Bu sistemler için soğutucu akışkan olarak amonyak (NH₃), su (H₂O) kullanılır. Kullanılmakta olan diğer absorpsiyonlu soğutma sistemleri arasında suyun

akışkan halde olduğu, su-lityum bromür ile su-lityum klorür sistemleri bulunur. Soğurma mekanizması içerisinde soğurucu, pompa, ısıtma ünitesi, ısı değiştirici eleman, kısılma vanası ve ayırıcı bulunur. Tüm bu elemanlar, NH_3 basıncının yükseltilmesi amacıyla kullanılır. Basıncı yükseltile NH_3 daha sonra yoğuşturucu yardımıyla soğutularak yoğuşturulur, buharlaştırıcı basıncı seviyesine kısılr ve buharlaştırıcının temas ortamı dahilinde soğutulan ortam vasıtasıyla ısı çekilir. NH_3 buharı buharlaştırıcıyı terk ettikten sonra soğutucuya gelir, su içinde soğutulur ve suyla kimyasal tepkimeye girerek $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ çözeltisini oluşturur. Soğurucudan ısı çekilerek soğutulan NH_3 miktarı artırılır. Çözelti, ısıtıcıya pompalandıktan sonra, ısıtıcıda buharlaştırılır ve ayırıcıya gönderilir. Burada çözeltideki su, amonyak yönünden zengin olan buharından ayrılıp ısıtıcıya geri döner, saf amonyak buharı yoğuşturucuya ulaşarak çevrimi sürdürür. Düşük oranlarda amonyağa sahip çözelti, ısı değiştiriciden geçer, pompadan çıkan çözeltiye ısı verir daha sonra soğurucu basıncına kısılr.

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri için akışkan olarak genellikle $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ve $\text{LiBr} + \text{H}_2\text{O}$ çözeltileri kullanılır. $\text{LiBr} + \text{H}_2\text{O}$ kullanan sistemlerin tek olumsuz yanı, $+4^\circ\text{C}$ 'den düşük sıcaklıklar için çalışamamasıdır. $\text{LiBr} + \text{H}_2\text{O}$ sistemler, $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ çözeltisine göre daha düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarında çalışır. $\text{LiBr} + \text{H}_2\text{O}$ çözeltili sistemler için çalışma sıcaklıkları $80-150^\circ\text{C}$ aralığındadır.

Trijenerasyon tesislerinde genellikle, tek etkili absorpsiyonlu soğutucular kullanılır. Genel olarak özellikleri açısından incelenecek olursa; performans katsayısı (soğutma gücü/ısı enerjisi) $0,7 - 0,8$ aralığında ve enerji üretim kapasitesi $158 - 4\ 853\ \text{kW}$ arasındadır. “Enerji kaynağı olarak $80 - 130^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki kızgın su ve maksimum 1 barda düşük basınçlı buhar veya egzoz gazının yakılmasıyla elde edilen atık ısı kullanılır. Kapalı alan soğutmasında kullanılan $+5^\circ\text{C}$ 'deki soğuk hava ihtiyacı tek etkili absorpsiyonlu soğutucu ile karşılanabilir” (Öztürk ve Kaya, 2014: 140).

4. ACITY AVM MEVCUT KOJENERASYON TESİSİ İNCELENMESİ, AHLAT (BİTLİS) AVM VE İZMİR BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ BİNALARI İÇİN ÖRNEK KOJENERASYON ANALİZİ

4.1. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinde Enerji Analizi Kavramı

Verimlilik, ekonomik gelişme ve enerji tüketimindeki artış arasındaki ilişkileri tanımlayan en önemli göstergelerden birisidir. Bir sistem için, yararlı çıktı ve enerji girişi arasındaki ilişki farklı şekillerde ölçümü yapıp, hesaplanabilen birçok yöntemle ifade edilebilir. Bir sistem veya işlem için verim, yararlı girdi ve çıktı arasında hesaplanan yüzde oranıdır. Toplam verim hesabı, bütün yararlanılan enerji türleri toplamının sisteme giren enerjiye (genellikle yakıt enerjisi) oranı anlamına gelir. Kojenerasyon sistemleri için yararlanılan enerji elektrik ve ısı enerjisi olarak ikiye ayrılır. Elektrik ve ısı etkinliği olarak tanımlanan referans göstergelerde değişkenlerin hepsinin aynı enerji birimi üzerinden olması gerekir.

Geleneksel enerji analizinde; termodinamiğin birinci yasası dikkate alınır. Enerji analizinde incelenen diğer bir konu ise kullanılan enerji miktarıdır. Fiziksel ve kimyasal işlemler için verimli enerji potansiyelinin azalışı ihmal edilir. Bir sistemde genel olarak enerji dengesi aşağıdaki gibi açıklanabilir.

$$\sum \text{Enerji}(\text{Sisteme giren}) + \sum \text{Enerji}(\text{Sistemde depolanan}) + \sum \text{Enerji}(\text{Sistemden çıkan}) \quad (4.1)$$

Kararlı durumdaki bir akış işleminde ilk (i) ve son (f) durumlarına göre enerji dengesi formülü Eş. 4.2’de verildiği gibidir.

$$\dot{Q} = [(\dot{m}h)_f - (\dot{m}h)_i] + \dot{W} \quad (4.2)$$

Burada;

$\dot{W}$ =sisteme verilen enerji (kJ/s)

h =özellik entalpi (kJ/kg)

$\dot{W}$ =çıkan enerji veya iş (kJ/s veya kW)

$\dot{m}$ =kütle akış hızı (m/s)'dir.

İşin tamamı teoride ısı enerjisine çevrilebilirken, ısı enerjisinin işe dönüştürülmesi ısıнын sıcaklık değeriyle sınırlandırılmıştır. Toplam iş ve enerji verimi η (%) olarak Eş. 4.3'deki gibi tanımlanır.

$$\eta(\%) = \dot{W}/\dot{Q} \quad (4.3)$$

Kojenerasyon sistemi için elektrik ve ısı verimleri ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Elektrik verimi

$$\eta_e = W/H \quad (4.4)$$

η_e =Kojenerasyon sistemi için elektriksel verim

W =Kojenerasyon sistemi için üretilen elektrik miktarı

H =Kojenerasyon sistemi için verilen enerji miktarıdır.

Isı verimi

$$\eta_Q = Q/H \quad (4.5)$$

Q =Kojenerasyon sistemi için açığa çıkan ısı enerjisi

Toplam verim

Kojenerasyon işlemi için açığa çıkan ısı enerjisi de yararlı enerji çeşidi olarak verime eklenir. Böylece elektriksel ve ısı enerjisi toplamından oluşan toplam verim (η_t) ya da enerjiden yararlanma oranı (EYO) en yüksek düzeyde olur.

$$EYO = (\eta_t) = (W + Q)/H \quad (4.6)$$

EYO için termodinamiğin birinci yasasına göre işlem yapıldığından dolayı verim beklentisi "1"dir. Ancak atık ısıdan tamamı ile yararlanılamadığı için bu değer elde edilemez. Kojenerasyon sistemlerinde toplam verim %80-%90 düzeylerindedir.

Referans tesislerde elektrik ve ısı enerjisi üretimi

Elektrik ve ısı enerjileri üretimlerinde her biri için ayrı referans tesislerin tanımlanıp, referans alınabilecek yakıt enerjisi miktarları hesaplanmalıdır.

$$H_{eref} = W/\eta_{eref} \quad (4.7)$$

$$H_{Qref} = Q/\eta_{Qref} \quad (4.8)$$

$$H_{ref} = H_{eref} + H_{Qref} \quad (4.9)$$

H_{eref} = Referans elektrik verimi

H_{Qref} = Referans ısı verimi

H_{ref} = Toplam verimdir.

Bu eşitliklerde tanımlanan yakıt miktarları, aynı miktarlardaki elektrik ve ısı enerjisini ayrı üretilmesinde kullanılacak olan yakıt miktarlarıdır. Referans verim değerleri için tanımlama mevcut en yeni ve en teknolojik tesisler üzerinden yapılmalıdır.

Eşdeğer elektrik üretme verimi

Elektrik pek çok yönden termodinamik, teknolojik ve ekonomik açılarından ısı enerjisinden önemli farklılıklara sahiptir. Bu farklılıklar incelenirken bazı gösterge değerler tanımlanmıştır. Bu amaçla yapılan eşdeğer elektrik verimi (η_{eev}) formülü ;

$$\eta_{eev}(\%) = W / (H - \frac{Q}{\eta_{Qref}}) \text{ 'dir.} \quad (4.10)$$

Eş. 4.10 kojenerasyon tesisinde yakıtle kullanılan enerjinin ayrı bir kazan tesisi yardımı ile η_{Qref} veriminde üretebilmek için gerekli olan yakıt miktarının düzenlenmiş oranı olarak kabul edilir. Geriye kalan yakıt miktarı eşdeğer elektrik verimi olan η_{eev} oranında elektrik üretimi için kullanılır. Başka bir yaklaşım olarak, ısı enerjisinin ideal olarak elektriğe dönüştürülebilien bölümü yine bu tanımlama içinde yer almaktadır. Bu kavram ABD'de geçerli bir yönetmelik olan Kamu Hizmet Düzenleme Politikası Yasası

(PURPA¹)'da kullanılmıştır. Buhar enerjisinin yarısı, elde edilecek elektrik enerjisine eklenir. ABD'de geçerli olan sistem Eş. 4.11'de η_{us} olarak verilmiştir.

$$\eta_{us} = (W + 0,5Q)/H \quad (4.11)$$

Kojenerasyon ile sağlanan enerji tasarrufu

Yeni yapılmış olan bir kojenerasyon tesisi için enerji tasarruf değeri, mevcut ayrı en iyi teknolojiye göre üretim tesisleri ile karşılaştırıldığında pozitif olması gerekir. Aynı miktarda elektrik ve ısıyı ayrı tesisler üzerinden üretimi için kullanılan yakıt enerjisi birincil enerji tasarrufu (Primary Energy Saving [PES]) olarak tanımlanır.

$$PES = H_{ref} - H = \frac{W}{\eta_{eref}} + \frac{Q}{\eta_{Qref}} - H \quad (4.12)$$

Eş. 4.12'nin referans üretim tesislerinde kullanılan yakıt enerjisine bölünmesiyle bağlı birincil enerji tasarrufu (Regional Primary Energy Saving [RPES]) oluşturulur.

$$RPES = 1 - \frac{H}{H_{ref}} = 1 - H \left(\frac{W}{\eta_{eref}} + \frac{Q}{\eta_{Qref}} \right) \quad (4.13)$$

AB yönetmeliklerinde, kojenerasyon sistemlerinin verimini belirlemede RPES değeri bir ölçüt olarak kullanılır. AB ülkelerinde, referans ısı üretim verimi, buhar üretimi için 0.85, sıcak su üretiminde ise 0,90 olarak alınır. Mekanik iş üzerinde doğrudan faydalanılıyorsa elektriksel üretimde referans verim 0,53 yoksa 0,50 ile 0,55 arasında değişen değerler alınır.

4.2. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinde Ekserji Analizi Kavramı

Kinetik, potansiyel ve elektrik benzeri enerji türleri, tersinir bir işleme sokulduklarında tamamen farklı bir enerji çeşidine veya işe dönüşebilirler. Ancak; ısı enerjisi, kimyasal enerji benzeri enerjiler tersinebilir bir işleme uğradığında son durum için

¹ Public Utility Regulatory Policy Act

çevre koşulları üzerinden denge durumuna gelirler. Dengeye geldiğinde enerjinin tamamı dönüşmez ve enerjinin belirli bir kısmı kullanılabilir duruma gelir.

Ekserji kavramı, mevcut çevre koşulları ve ısı kaynağı için ideal koşullarda efektif çalışma sırasında yararlı enerjiyi belirtir (Dayıoğlu ve Ültanır, 1992). Ekserji mevcut koşullar için sistemin çevresiyle aynı duruma getirilmesi ile elde edilen en büyük iş olarak tanımlanır. Termodinamiğin birinci yasasında, değişik enerji çeşitlerinin toplamı sabit kalır, ancak iş yapabilme kapasitesi azalır. Ekserji kavramı kullanılarak, çeşitli enerji türleri için iş yapabilmekteki kalitelerinin farklılıkları, enerji dönüşümlerinde gerçek verim ve verimsizliklere neden olan süreç veya ekipmanlar gözlemlenebilir.

Çizelge 4.1. Ekserji ve enerji arasındaki başlıca farklar

ENERJİ	EKSERJİ
Sadece kütle veya enerji akışının özelliklerine bağlıdır. Ortamın özelliklerinden bağımsızdır.	Kütle veya enerji akışının özellikleriyle birlikte, ortamın özelliklerine de bağlıdır.
Sıfırdan farklı değerlere sahiptir. Einstein yasası gereğince mc^2 değerine eşittir.	Ortam ile denge durumunda sıfıra eşittir.
Tüm işlemlerde termodinamiğin ilk yasası ölçüt olarak alınır.	Sadece tersinir işlemler için termodinamiğin ilk yasası geçerlidir. Tersinmez işlemlerde kısmen ekserji tüketimi gerçekleşir.
Tersinir işlemler de dahil olmak üzere, bütün işlemler için termodinamiğin ikinci yasası ile sınırlandırılmıştır.	Termodinamiğin ikinci yasası nedeniyle tersinir işlemler için sınırlı değildir.
Hareket veya hareket üretme yeteneğidir.	İş veya iş üretme yeteneğidir.
Enerji ne yok edilebilir, ne de üretilebilir.	Tersinmez bir işlemde sürekli tüketimi söz konusudur.
Miktarın bir ölçütüdür.	Entropi nedeniyle hem kalite hem de miktarın bir ölçütüdür.

Enerji diğer bir enerji türüne çevrilebilen ve çevrilemeyen olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Enerjinin başka bir enerji türüne çevrilebildiği kısım kullanılabilir enerji (ekserji), çevrilemeyen kısmı ise tersinmezlik ya da anergi olarak adlandırılır. Ekserji kavramında enerji bu iki kavramın toplamına eşitlenir. Ekserji ve enerji arasındaki farklar Çizelge 4.1’de açıklanmıştır.

4.3. Kojenerasyon Tesisinin Projelendirilmesi

Kojenerasyon tesislerinin tasarlanma amacı; atık ısıdan yüksek oranda faydalanabilmektir. Kojenerasyon tesisleri için yüksek verimde çalışma esas alındığı için, üretilen elektriğin belli bir düzeyin altında kalması halinde kapasite artırımı yerine, şebekeyle paralel çalışması tercih edilmelidir. Kojenerasyon tesisi için kurulumdaki en önemli kriter yüksek elektrik üretimidir.

Endüstriyel tesisler, toplu konut ve binalar (hastane, AVM vb.) için kojenerasyon tesislerinin projelendirilmesinde sürekli, en uygun yakıt türüyle, yüksek verimlerde ve kesintisiz olarak çalışabilmesini sağlayabilmek üzerinde durulması gereken en önemli hususlardır.

İkincil yani başka kaynaklardan üretilen bir enerji çeşidi olduğu için elektrik, ülkemiz şartları için pahalı bir enerjidir. Termik çevrim santrallerinde, ülkemizde üretilmekte olan 1 kW elektrik için, genel olarak 2 kW'dan daha fazla birincil enerji kaynakları olan kömür, doğalgaz vb. tüketilir (Kubilay, 2016). Kurulacak kojenerasyon tesisleri için projelendirme aşamalarına dikkat edilirse elde edilecek kazançla enerji maliyetinin düşürülme şansı artar. Projelendirme aşamalarında aşağıdaki verilen aşamalar sırasıyla gerçekleştirilir.

- ❖ Elektrik ve ısı enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi.
- ❖ E/I oranının incelenip buna uygun motor seçilmesi.
- ❖ Motor/Türbin kapasitesinin seçilmesi.
- ❖ Ön projenin hazırlanması.
- ❖ Tekliflerin alınıp, tedarikçinin seçilmesi.
- ❖ Yatırım maliyetinin hesaplanması ve geri ödeme sürelerinin belirlenmesi.
- ❖ Ayrıntılı son projelerin oluşturulması (Elektrik, mekanik, inşaat).
- ❖ Yatırım amacıyla finansman seçeneklerinin incelenmesi.

4.3.1. Projelendirme aşaması

İhtiyaç duyulan kojenerasyon tesisi belirlenirken, mutlaka son bir ya da iki yılın saatlik, günlük ve aylık elektrik ve yakıt tüketimleri ayrıntılı şekilde incelenmelidir.

İllerdeki ihtiyaçların artacağı düşünülerek yapılan büyük kojenerasyon tesisleri, düşük verimlerde çalışmasına hatta %50'nin altına düşmesi halinde hiç çalışmamasına neden olur. Bu durum geri ödeme süresini uzatmaktadır. Bunun yerine, gelecek için uygun kapasitelerde birden fazla kojenerasyon ünitesi paralel çalıştırılarak yüksek verimler elde edilir.

Çizelge 4.2. Kojenerasyon tesisleri için güç kaynaklarının özellikleri (Al Suleiman, Hamdullahpur ve Dincer, 2011)

ÖZELLİKLER	İçten yanmalı motor	Stirling Motoru	Buhar Türbini	Gaz Türbini	Mikro Türbin	Yakıt Pili
Büyüklik(kW)	<75 000	1-55	50 - 250 000	50 - 250 000	3 - 250	5 - 2 000
Güç verimi(%)	22-40	~35	15-38	22-36	18-27	30-50
Toplam Verim(%)	70-80	60-80	80	70-75	65-75	55-80
Elektrik Verimi(%)	70-80	-	75	50-70	50-70	55-80
Güç/Isı Oranı	0,5-1	1,2-1,7	0,1-0,3	0,5-2	0,4-0,7	1-2
Kısmi Yük	Uygun	İyi	Uygun	Zayıf	Uygun	İyi
Yakıt basıncı(kPa)	7-310	>14	-	689-3447	345-552	3,4-310
Yakıt tipi	Doğalgaz, Biyogaz, Propan	Bütün Yakıtlar	Bütün Yakıtlar	Doğalgaz, biyogaz, propan, petrol	Doğalgaz, biyogaz, propan, petrol	Doğalgaz, hidrojen, propan, metanol
Gürültü	Yüksek	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Düşük
Güç Yoğunluğu(kW/m ²)	35-50	-	>100	20-500	5-70	5-20
CO ₂ (kg/Mwh)	504-651	4-260	-	525-680	725	430-490
NO _x (kg/Mwh)	0,23-0,99	0,18-0,91	-	0,14-0,5	0,18	0,0045-0,014
Yol verme süresi	10s	-	1sa-1gün	10dak.-1sa	60s	3sa-2gün
Kullanım süresi(yıl)	20	-	>25	0,0041-0,011	10	10
Bulunabilirlik (%)	92-97	85-90	Yaklaşık 100	90-98	90-98	>95
Isı çıktısı	Sıcak su, Düşük Basıncılı Buhar	-	Düşük ve yüksek basınçlı buhar	Isı,sıcak su, düşük /yüksek basınçlı buhar	Isı,sıcak su,düşük/yüksek basınçlı buhar	Sıcak su,düşük/yüksek basınçlı buhar
Atık ısı sıcaklığı	38-128	-	-	316-649	204-260	40-1 000
Kojenerasyon için yararlanılabilir sıcaklık	82-360	-	-	260-593	204-338	60-371

Motor/türbin seçimi yapılırken bkz. Çizelge 4.2'de özellikleri verilmiş olan türlerden elektrik ve ısı ihtiyacına uygun olanı seçilmelidir. Elektrik enerjisi ihtiyacının, ısı enerjisi ihtiyacına oranı 1 den büyük olduğu tesisler için motor seçilmelidir. Bu oranın 0,8'den küçük olduğu işletmeler için türbin teknolojisi tercih edilmelidir. Oran, eğer bu iki değerin arasında kalıyorsa çok daha ayrıntılı bir değerlendirme yapılmalıdır. Kapasiteler belirlenirken ise atık ısıların yüksek oranda, 12 ay boyunca sürekli kullanımı dikkate alınmalıdır. İyi değerlendirilemeyen atık ısıların olduğu bir kojenerasyon tesisi, verimsiz çalışacak ve zarar edecektir.

Kojenerasyon tesisi kurmayı planlayan kuruluşun, yeterli sayı ve kalitede teknik personele sahip olması öncelikle ele alınması gereken bir durumdur. Yeterli sayıda ve kalifiye teknik personelin olması, arızalar ve periyodik bakım zamanlarının sürekli takip edilmesini sağlayıp, kojenerasyon tesisinin verimini artıracaktır.

Bazı tedarikçiler, farklı kapasiteli kojenerasyon tesisleri arasındaki fiyat farkını düşürüp daha büyük sistemler alınmasına neden olur. Burada dikkat edilmesi gereken husus, düşük verimde çalıştırılan ünite için bakım ve yedek parça maliyetinin artacağıdır.

Hesaplamaların, Elektrik Elektronik Mühendisliği Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE]) standartlarına uygun olması ayrıntılı elektrik projelerinde yük kesme, kilitleme gibi sistemlerin testleri yapılmış ve standartlara uygun olması tesis için önemlidir.

Tesis ekonomik olarak uygun çıkmasına rağmen, mevcut şebekeyle yaşayabileceği uyumsuzluk paralel çalışmasına engel olur. Eski sistemle yeni sistemin uyumu incelenip gerekirse eski sistem tamamen yenilenmelidir. Son olarak, projenin uygulama aşamaları için iş/zaman çizelgeleri oluşturulmalı, bunlara uygun olarak tesisin kurulumu takip edilmelidir.

4.4. Trijenerasyon Tesisleri İçin İşletme Metotları

Trijenerasyon tesisinin işletilme metodu olarak, şebekeye elektrik için ödenen miktardan daha düşük fiyatta üretebildiği zamanlar için üreterek teorik olarak bir yöntemle karar verilebilir. Ancak uygulamada hangi enerji türünün kullanılacağı, sistemin baz

gücü, sistemden istenilen verim, kullanılacak enerji dönüşüm cihazlarının teknik özellikleri gibi etmenlere bağlı olarak işletme metoduna karar verilir. Trijenerasyon sistemleri için kullanılmakta olan işletme metotları aşağıdaki gibi özetlenir.

- ❖ Isı ihtiyacının izlenmesi ile öncelikli olarak tesisin tüm ısıl ihtiyaçlarının karşılanması hedeflenir. Elektrik ihtiyacından fazlasının üretimi durumunda şebekeye elektrik satar yetmemesi durumunda ise şebekeden elektrik alımı gerçekleştirir.
- ❖ Elektrik ihtiyacının takip edilmesi ile sistemin hedefi olan tesisin elektrik ihtiyacının karşılanabilmesidir. Sistem elektriğin tamamını karşılayabilmek için ihtiyaç fazlası atık ısı üretir.
- ❖ Sürekli çalışma metodu ile sistem, herhangi bir enerji gereksinim değerini dikkate almadan önceden belirlenmiş süre boyunca çalışır. Bu metot, teknolojilerinin kısmi yükte çalışmasına uygun olmayan endüstriyel tesislerde ve daha çok enerji satan enerji üreticileri tarafından tercih edilir.
- ❖ Aşırı tüketim olduğunda takviye olarak kullanmada sistem sadece aşırı enerji tüketimi olduğunda devreye girer. Böylelikle kısmi bir yük miktarını belirli bir süre için karşılar.
- ❖ Asıl yükte çalışma metodu ile sistemin elektrik yükünün belirli bir kısmı karşılanır. Sistemde oluşan sıcak su, tesisin ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının sağlanması için kullanılır. Gerekli olan elektriğin kalan kısmı şebekeden çekilir, ihtiyaç duyulan ısıtma için ise ekstra kazan sistemleri kullanılır.

Trijenerasyon sistemlerinde ısı ve elektrik ihtiyacının tamamının karşılanması yöntemleri yaygın değildir. Isı gereksiniminin tamamının karşılanması durumunda sadece gerekli olan ısı enerjisi üretilir, bunun sonucunda da absorpsiyonlu soğutucuların çalışmasını sağlayacak atık ısı açığa çıkmaz. Elektrik tüketiminin tamamının karşılanması durumunda absorpsiyonlu soğutucuların elektrik tüketimi göz önüne alınacaktır. Buna uygun olarak yapılan üretimde ise aşırı ısı açığa çıkar. Bununla beraber ısı/güç oranı fazla olan uygulamalar için yüksek ısı üretimi daha da büyük bir sorun olarak ortaya çıkacaktır. Bunun önlenmesi için eşdeğer yük izleme metodu uygulanır. Bu metot ile absorpsiyonlu soğutucunun ihtiyacı olan atık ısı sadece trijenerasyon sisteminin güç kaynağından elde edilir. Böylelikle soğutucu için fazladan ısı kazanına ihtiyaç

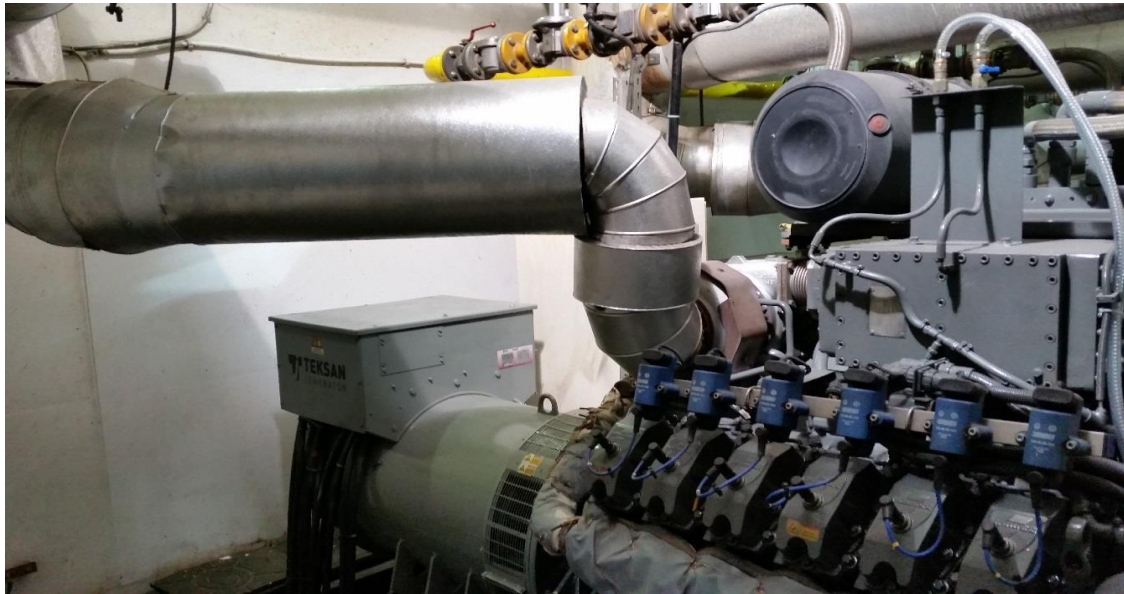
olmayacaktır. Bu yüzden, güç üretici kaynak olarak yüksek ısı/güç oranına sahip olanlar tercih edilir. Güç kaynağı tarafından üretilen atık ısı absorpsiyonlu soğutucuda kullanılır. Kış dönemi için ise fazla atık ısı, sıcak su ihtiyacı ve ısıtma için kullanılır.

4.5. ACITY Alışveriş Merkezi Binası Mevcut Trijenerasyon Tesisinin İncelenmesi

ACITY Outlet Alışveriş Merkezi, Nisan 2008 tarihinde Ankara'da İstanbul Yolu Fatih Sultan Mehmet Bulvarı üzerinde kurulmuştur. 2013 senesinde 5 kat üzerinde, 140 mağaza ile faaliyete geçmiştir. ACITY alışveriş merkezinin elektrik kurulu gücü yaklaşık olarak 4 MW'dır.



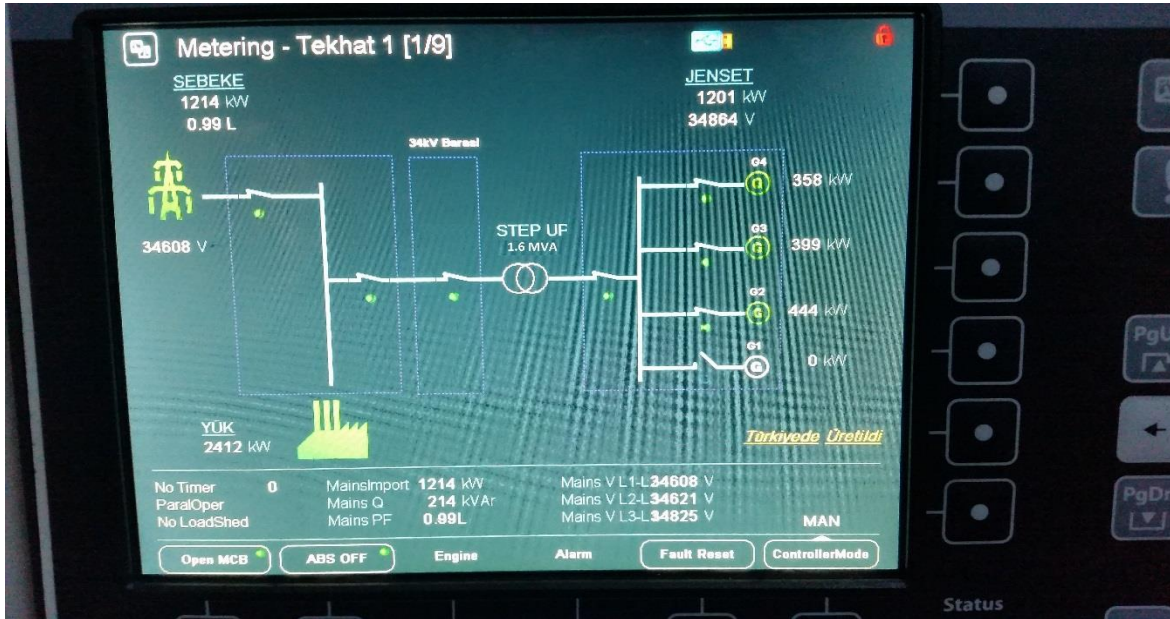
Resim 4.1. ACITY alışveriş merkezinin görüntüsü



Resim 4.2. ACITY alışveriş merkezi trijenerasyon tesisinin genel görüntüsü

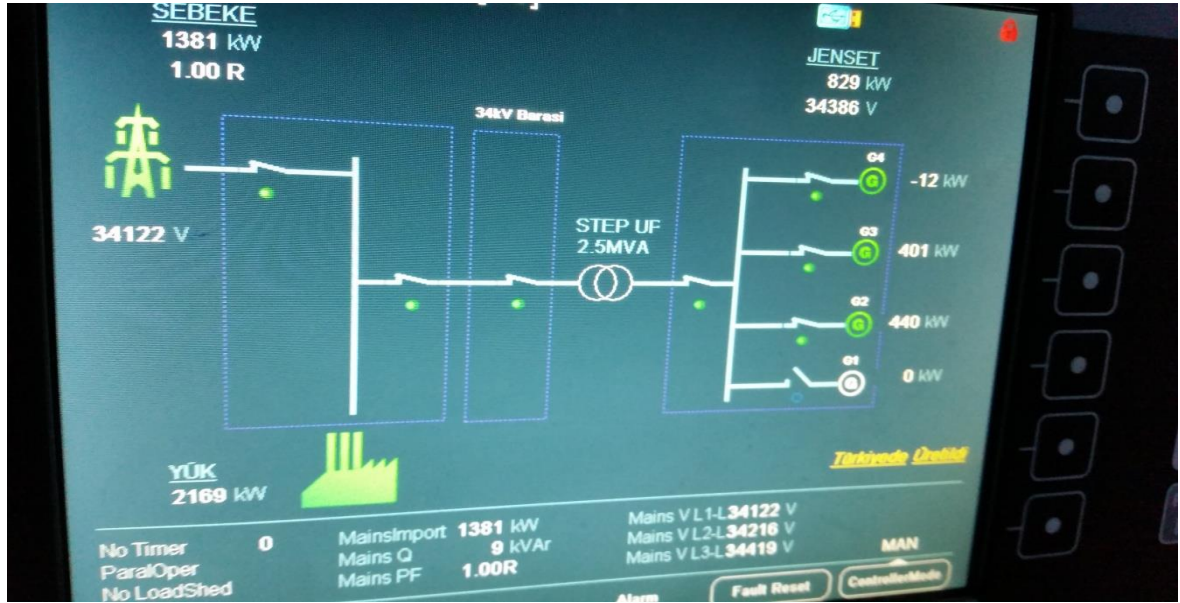
ACITY alışveriş merkezinde kurulu olan trijenerasyon tesisi 34,5 kV'lık bara, 2,5 MVA'lık trafo, SCADA sistemi, 4 adet 500 kWe gücünde değişken yükte çalışabilecek dizel trijenerasyon motoru, alternatör ve jeneratörlerden oluşmaktadır. Sistemin genel görüntüsü Resim 4.2'de verilmektedir.

Resim 4.3'de trijenerasyon tesisinin SCADA ekranı görüntülenmektedir. SCADA ekranı o anki verilere göre incelendiğinde alışveriş merkezinin trafolarından biri bozulduğu için trijenerasyon tesisindeki G1 jeneratörünün çalıştırılmadığı görülmektedir. 4 jeneratörün bir arada çalışması durumunda oluşacak toplam gücü kaldırabilecek trafo bulunmadığı görülmüştür. Trijenerasyon tesisinden elde edilebilen toplam güç 1 200 kW iken, şebekeden çekilen güç ise 1 214 kW'dır. Alışveriş merkezinin toplam güç ihtiyacı olan 2 412 kW'ı karşılamak için trijenerasyon tesisinden çekilen güç ile beraber şebeke elektriği de kullanılır.



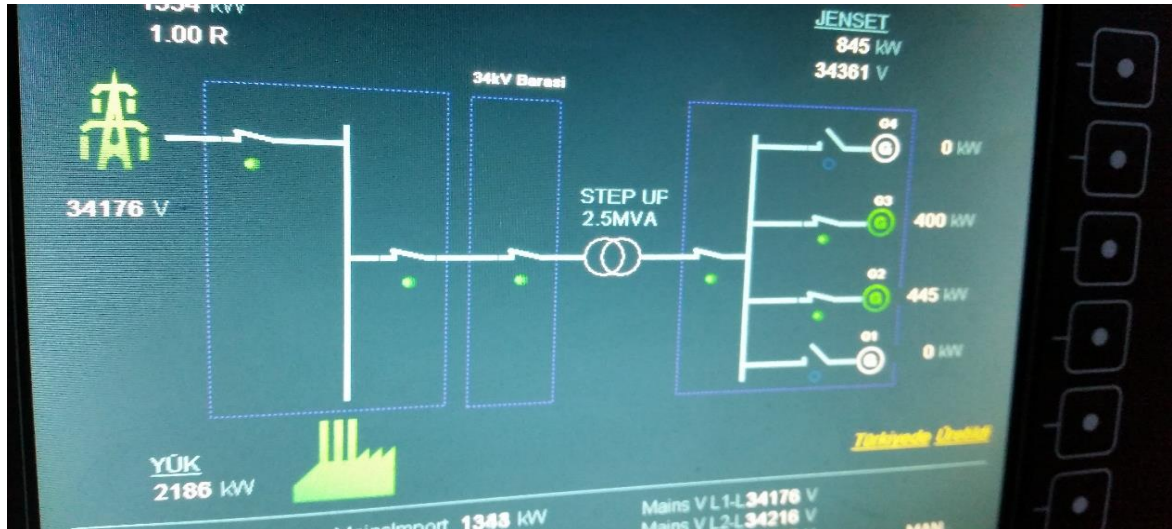
Resim 4.3. ACITY trijenerasyon tesisi SCADA ekranı

SCADA ekranından yukarıda belirtildiği üzere genel çalışma, tek hat şeması gibi bilgiler gözlemlenebildiği gibi anlık durum verilerine de ulaşılabilir. SCADA sisteminin önemini açıklayabilmek için mevcut bir problem ile ilgili gözlemlenen örnek senaryo aşağıda verilmiştir.



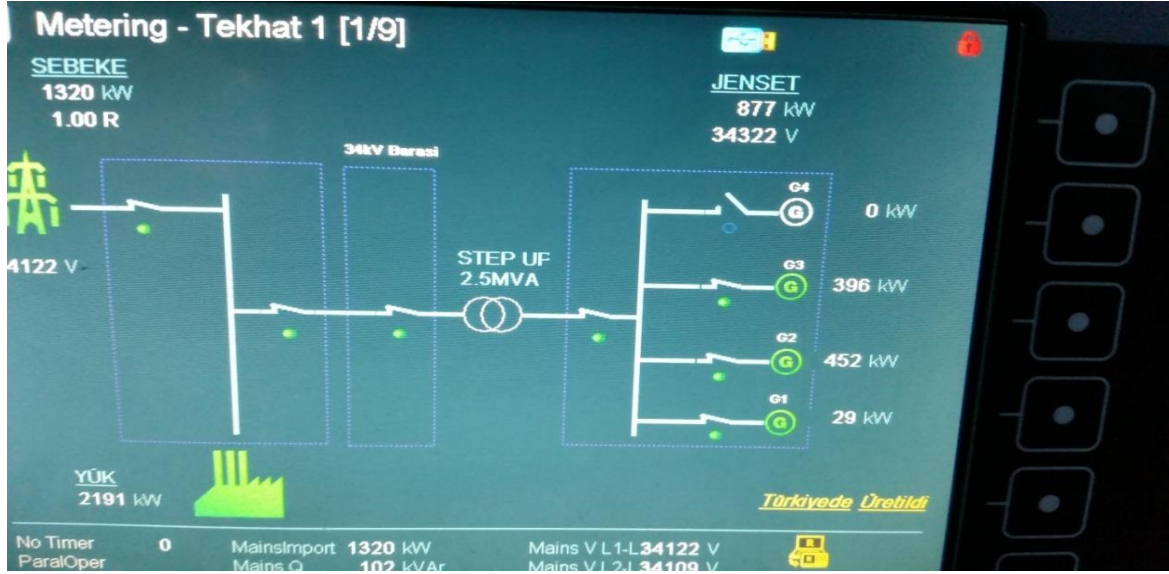
Resim 4.4. ACITY trijenerasyon tesisi SCADA ekranı G4 jeneratörü arızası

Resim 4.4'deki SCADA ekranında G4 jeneratörünün enerji üreten yerine tüketen konumuna geçtiği gözlemlenmiştir. Bu durumda motor gibi çalışan jeneratör arızalı kabul edilip sistem dışı bırakılmıştır.



Resim 4.5. ACITY trijenerasyon tesisi SCADA ekranı G4 jeneratörü devre dışı

Resim 4.5'de görüldüğü üzere trijenerasyon tesisinde sadece G3 ve G2 jeneratörleri çalışmaktadır. Jeneratör arızası sebebiyle, tesisten elde edilen güç 845 kW'a gerilemiştir. Tesisin ihtiyacı olan güç ise hala 2 200-2 300 kW civarlarındadır. İstenilmeyen bu durum karşısında şebekeden çekilen güç 1 300-1 400 kW düzeylerine çıkmıştır.



Resim 4.6. ACITY trijenerasyon tesisi SCADA ekranı G1 jeneratörünün devreye girişi

Resim 4.6'da G4 jeneratörünün sistemden otomatik olarak çıkarılmasıyla, yerine boşta duran G1 jeneratörü senkronize olmuştur. Böylelikle, sistemin maksimum verimle çalışması sağlanmıştır. SCADA sistemi, tüm bunların gözlemlenip çözümlenebilmesi için trijenerasyon tesisi için bir zorunluluktur.



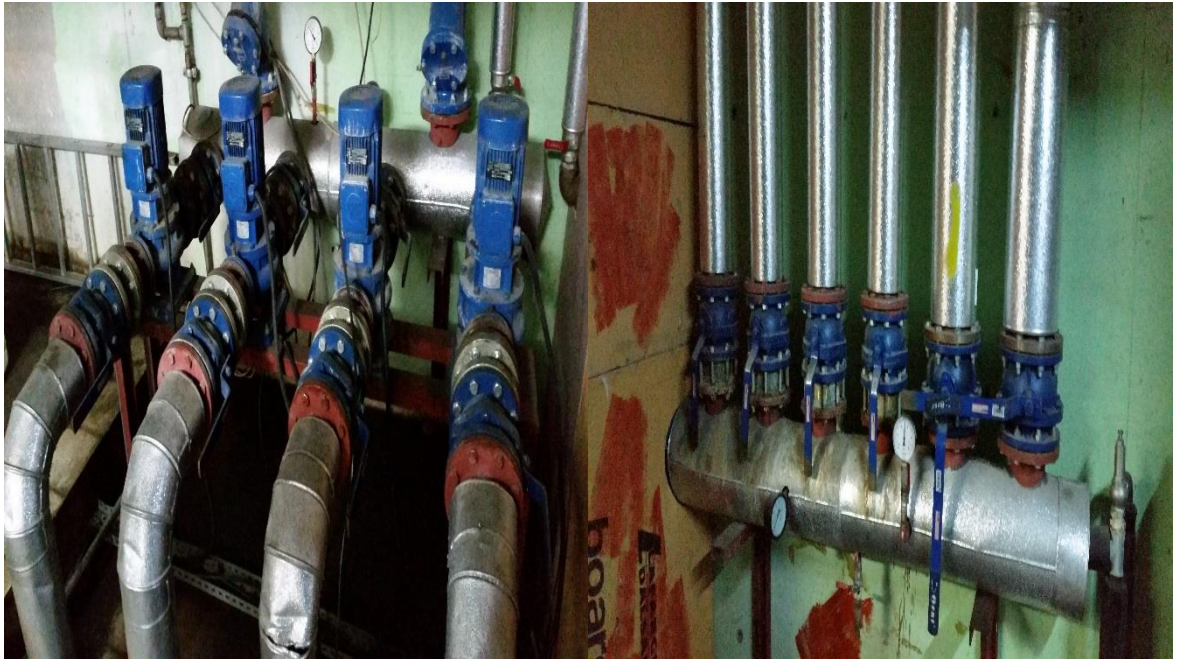
Resim 4.7. ACITY Trijenerasyon tesisi MCC panoları

Resim 4.7'de trijenerasyon tesisin MCC (motor kontrol kumanda) panoları görülmektedir. Bu panolar sayesinde, sistemde bulunan temelde dizel motor mekanikğine dayalı trijenerasyon motorlarının kontrolü frekans konvertörü yardımıyla gerçekleştirilir.

Elektrik üretimin gerçekleştirildiği alternatör kısmı Resim 4.8'de verilmektedir. Alternatörden üretilen elektrik tesise verilir.



Resim 4.8. ACITY Trijenerasyon tesisi alternatör kısmı



Resim 4.9. ACITY Trijenerasyon tesisi gidiş ve dönüş kolektörleri

Resim 4.9'da trijenerasyon tesisinin gidiş ve dönüş kolektörleri verilmiştir. Trijenerasyon tesisinden açığa çıkan sıcak ceket suyu bu kanallar vasıtasıyla soğutma kulelerine gönderilip, yaz mevsiminde soğutma için, kış mevsiminde kulelere gönderilmeyip direkt olarak ısınma ve sıcak su elde edilmesinde kullanılır.

4.5.1. ACITY alışveriş merkezi binası mevcut trijenerasyon tesisinin işletme yönteminin belirlenmesi

ACITY alışveriş merkezinde mevcut durumdaki trijenerasyon tesisi yılın 6 ayı ısıtma ve sıcak su elde etme amacı ile, diğer 6 ayında ise absorpsiyonlu soğutucu vasıtasıyla soğutma için kullanılmaktadır. Trijenerasyon tesisinin çalışma düzeni; Ankara'daki mevsim ve sıcaklık şartları incelendiğinde, ekim, kasım, aralık, ocak, şubat ve mart aylarında ısıtma, nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında ise soğutma amacı ile planlanmıştır.

Alışveriş merkezlerinde günlük olarak enerji kullanım dönemi sabah 07:00 ile akşam 22:00 saatleri arasındadır. Bu saatler dışında yani alışveriş merkezinin kapalı olduğu saatlerde kullanılan enerji miktarı oldukça düşer. Trijenerasyon tesisi akşam 22:00 ile sabah 07:00'ye kadar olan dönemde çalıştırıldığında %50 verimden aşağıda çalışır. Bu da kojenerasyon ya da trijenerasyon tesisinin geri ödeme süresini uzatacağı için, trijenerasyon tesisinin bu saatler arasında çalıştırılmamasına karar verilmiştir. Tesis için gerçekleştirilen işletme modeli kısmi yükte çalıştırılma olarak tercih edilmiştir. Trijenerasyon santrali tesisin elektrik tüketiminin 2 MW'lık kısmını, ısıtma, soğutma ve sıcak su ihtiyacının yaklaşık 2,2 MW'lık kısmını karşılamaktadır. Tesisin geriye kalan ısıtma ihtiyacı mevcut kazanlardan, geriye kalan elektrik enerjisi ihtiyacı ise şebekeden sağlanmaktadır.

4.5.2. ACITY alışveriş merkezi trijenerasyon santralinin ekonomik açıdan incelenmesi

ACITY alışveriş merkezinin üretim verileri tam olarak çalışmaya başladığı 2015 yılının şubat ayından itibaren santraldeki SCADA - otomasyon sistemi sayesinde alınıp tablo haline getirilmiştir. Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere ACITY alışveriş merkezinde bulunan trijenerasyon tesisi çalışmaya başladığı şubat ayından itibaren 2015 yılı boyunca toplam 1 205 778 TL kar elde etmektedir. Bu kar hesaplanırken, yaz aylarında soğutma için kullanılan soğutucuların yerine trijenerasyon sistemindeki chillerların kullanılmasıyla elde edilecek olan elektrik tasarrufu da dahil edilmiştir. Böylece ocak ayı hariç 2015 yılı için elde edilen toplam kar 1 205 778 TL olmaktadır. Alışveriş merkezinin trafosunda çıkan sorun nedeniyle trijenerasyon jeneratörlerinden 4 yerine 3 tanesi çalışabilmektedir. Bu da daha yüksek miktardaki elektrik üretimini engellemiştir. Tesisin bütünüyle işletmeye

geçmesi durumunda tesisin amortisman süresi yaklaşık 3 sene olarak tedarikçi firma tarafından hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. ACITY trijenerasyon tesisi 2015 yılı enerji üretim ve tüketim verileri

2015 AYLAR	AYLIK HARCANAN DOĞALGAZ MİKTARI (m ³)	AYLIK HARCANAN DOĞALGAZ BEDELİ (TL)	TRİJEN SİSTEMİNİN ÜRETİĞİ ELEKTRİK GÜCÜ (kWh)	ELEKTRİK AYLIK KAZANÇ (TL)
ŞUBAT	127 833	105 079	420 563	103 038
MART	97 044	79 770	316 687	81 705
NİSAN	102 487	84 244	347 090	84 239
MAYIS	85 116	69 965	302 003	69 763
HAZİRAN	99 500	81 789	352 500	81 392
TEMMUZ	123166	101 242	427 819	99 254
AĞUSTOS	187952	154 497	628 255	155 179
EYLÜL	191 760	157 627	643128	157 576
EKİM	188 463	154 917	637 655	153 032
KASIM	121 439	99 823	404 304	98 650
ARALIK	147 605	121 331	491734	121 950

4.6. Ahlat Alışveriş Merkezinin Fizibilitesinin Yapılması

Ahlat AVM için yapılacak olan örnek trijenerasyon tesisi (örnek projelendirme sırasında) tesis tam anlamıyla işletmeye geçmediği için tesisin fatura bilgilerine ulaşamamıştır. Ayrıca Ahlat AVM’de kullanılacak olan kazan büyüklüklerinin de değiştirilmesi gündemdedir. Tüm bu nedenlerden dolayı Ankara’da bulunan ACITY alışveriş merkezinde, mevcut çalışır halde bulunan kojenerasyon tesisi incelenmiş, elde edilen sonuçlara göre Ahlat’da yapılmış olan AVM için örnek bir trijenerasyon tesisi tasarlanmıştır.



Resim 4.10. Ahlat Alışveriş Merkezinin görüntüsü

" Harita 4.1’de görülen Ahlat, Van Gölü’nün kuzeybatısında 22 000 nüfuslu Bitlis iline bağlı bir ilçedir. Kuzeyinde Muş iline bağlı Bulanık ve Malazgirt ilçeleri, batısında Muş ili, güneyinde Van Gölü, güneybatısında Tatvan ve Bitlis, doğusunda ise yine Van Gölü ve Adilcevaz ilçesiyle sınırlıdır" (Vikipedi, 2016d).



Harita 4.1. Bitlis belediyeler haritası (Vikipedi, 2016d)

Ahlat (Bitlis) için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 1950-2015 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Bu çizelgeden de görülebileceği üzere Bitlis’de haziran, temmuz, ağustos ve eylül ayları için trijenerasyon tesisi soğutma amacıyla, diğer zamanlarda ısıtma amacıyla kullanılacaktır.

Çizelge 4.4. Bitlis ili için 1950-2015 yılları arası aylık olarak ortalama sıcaklık değerleri

AYLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
SICAKLIK (°C)	-3.0	-2.1	1.7	7.6	13.2	18.5	22.8	22.4	17.6	11.3	4.7	-0.9

4.6.1. Ahlat alışveriş merkezi ısı ihtiyacı gereksinimi hesaplanması

Ahlat alışveriş merkezi için trijenerasyon sistemi kurulmadan önce yapılmış olan mevcut kazan büyüklüklerinin hesabı Çizelge 4.5'te belirtilmiş olan verilere göre yapılmıştır. Bu veriler Ahlat alışveriş merkezinin mekanik tesisat uygulama projesinden alınmıştır.

Çizelge 4.5. Ahlat alışveriş merkezi ısıtma yükleri tablosu

BÖLGE ADI	ISITMA YÜKÜ (kcal/h)
Yatak Odaları Klima-Havalandırma Santrali	24 300
Ofisler Klima-Havalandırma Santrali	73 500
Çocuk Oyun Alanı Klima-Havalandırma Santrali	20 300
Sinema Konferans Salonu Klima-Havalandırma Santrali	47 900
Sinema Konferans Salonu Klima-Havalandırma Santrali	47 900
Restoran Düğün Salonu Klima-Havalandırma Santrali	186 700
Kat Holü-Fuaye Klima-Havalandırma Santrali	373 000
Dükkanlar Klima-Havalandırma Santrali	151 800
Dükkanlar Klima-Havalandırma Santrali	198 800
Market Klima-Havalandırma Santrali	90 900
Fitness Salonları Klima-Havalandırma Santrali	145 900
Radyatör Devresi Isıl Yüğü	40 251
Fan-coil Devresi Isıl Yüğü	198 992
Genel Mekanlar Sıcak Su Eldesi Isıl Yüğü	30 000
Fitness Sıcak Su Eldesi Isıl Yüğü	50 000
TOPLAM:	1 680 243

Toplam yüke emniyet için yaklaşık %10 ekleme yapılarak, $Q = 1\,848\,267$ kcal/h kabul edilmiştir. Tesis için 1 000 000 kcal/h kapasiteli, 80/600°C sıcak su üreten, 6 bar işletme basıncında, çift yakıt tipli, kendinden yoğunşmalı 2 adet kazan seçilmiştir.

4.6.2. Ahlat alışveriş merkezi enerji gereksinimi hesaplanması

Ahlat alışveriş merkezi için kurulu güç ve talep gücü listesi bilgileri kullanılarak Ahlat AVM için trafo hesabı gerçekleştirilmiştir. Aydınlatma ve mekanik için iki ayrı pano bulunmaktadır. Bunların talep ve kurulu güçleri Ahlat alışveriş merkezinin projesinden temin edilmiştir. Kurulu güç, bir elektrik sistemi için tüm devre elemanlarının aynı anda çalışması ihtimalinde tüketeceği güç miktarı olarak kabul edilmiştir. Talep gücü ise gerçekte tüm devre elemanlarının aynı anda çalışma durumu söz konusu olamayacağı için kurulu gücün talep faktörüne çarpılmasıyla elde edilen sonuçtur. Aydınlatma için armatürler aynı anda çalışmayacağı için talep faktörü 0,57 alınmış, mekanik ekipmanlar için ise motor ve pompaların aynı anda çalışacağı düşünüldüğü için talep faktörü 0,97 olarak kabul edilmiştir.

Ahlat alışveriş merkezinde aydınlatma için hesaplanan kurulu güç 1 192 500 W'dır. Kurulu güç aynı anda tüm aydınlatma ve elektrikli ekipmanların çalıştığı düşünülerek hesaplanmıştır. Talep gücü kurulu gücün gerçekte çalışacağı kadarı düşünülerek hesaplanmıştır. Bu da kurulu gücün 0,57 ile çarpımı olan 679 725 W'dır. Mekanik ekipman ve motorlar için düşünülen kurulu güç 685 810 W'dır. Bunun talep gücü ise; 651 050 W olarak hesaplanmıştır. Toplam talep gücü 1 330 775 W olan tesisin, trafo gücü hesabı bu değere göre yapılacaktır. Gereken trafo gücü hesabı aşağıda verilmiştir.

$$\text{Trafo Gücü Hesabı} = N_t (\text{Toplam Talep gücü}) / \cos\theta \quad (4.14)$$

$$\text{Trafo Gücü} = 1\,330,775 \text{ kW} / 0,99$$

$$\text{Trafo Gücü} = 1\,342,217 \text{ kVA}$$

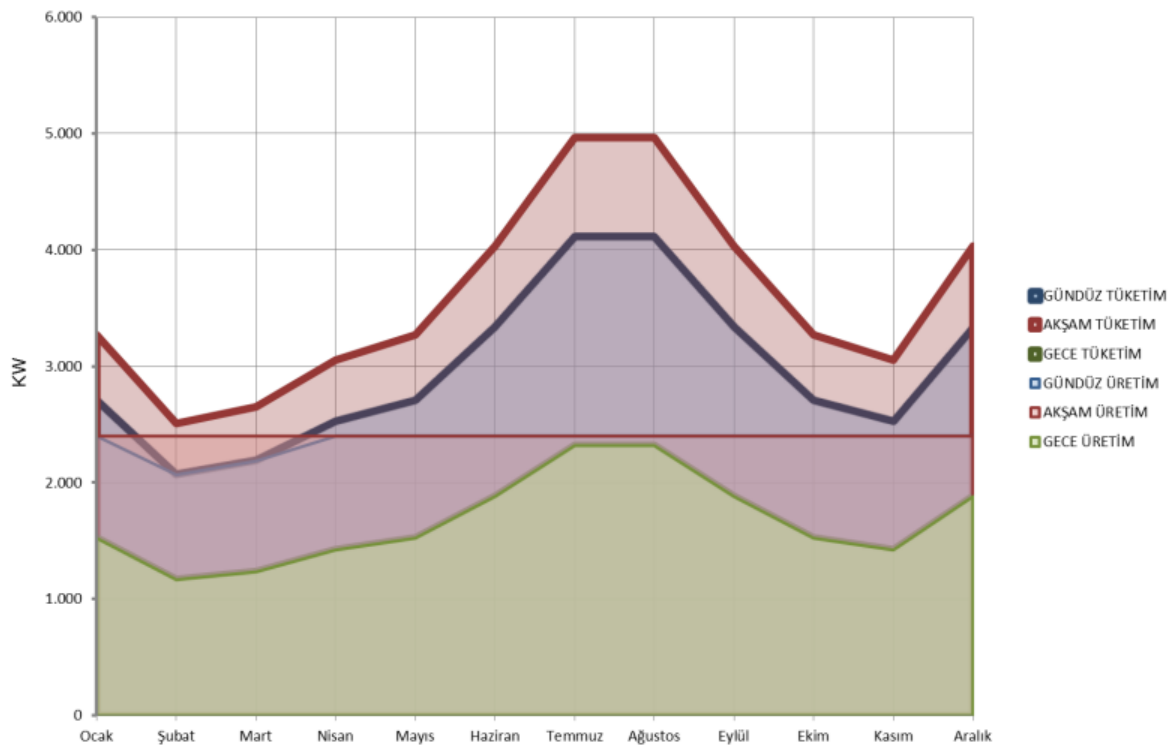
Elde edilen sonuca göre norm trafo gücü olarak 1 600 kVA'lık 1 adet trafo seçilmiştir.

4.7. Ahlat Alışveriş Merkezi İçin Kurulacak Tesis Seçimi

Trijenerasyon tesisi seçiminde öncelik elektrik enerjisinin maksimum düzeyde karşılanması yönündedir. Ancak tesis için talep edilen elektrik gücünün tamamı trijenerasyon tesisi ile sağlanmamıştır. Çünkü gün içerisinde alışveriş merkezlerinin

elektrik tüketim verileri değişiklik göstermektedir. En yüksek elektrik tüketimine 11:00 ile 16:00 saatleri arasında ulaşılır. Geriye kalan zamanda tüketim düşer. Maksimum düzeye göre yapılacak bir seçim sonrasında üretilen elektriğin kullanılamaması bunun sonucunda da şebekeye satış söz konusu olacaktır. Ancak konut ve binalarda elektrik satışı yönetmeliklerle kısıtlanmıştır. Bu yüzden trijenerasyon tesisi her zaman için belli bir miktar elektriği şebekeden çekmek zorundadır.

Ahlat alışveriş merkezi için trijenerasyon tesisi seçimi yapılırken bina henüz işletmeye geçmediği için fatura bilgilerine ulaşamamıştır. Bu yüzden Ankara'da bulunan ACITY alışveriş merkezinin mevcut trijenerasyon tesisinin trafo ve kazan bilgileri ile karşılaştırılarak Ahlat AVM için yeni bir trijenerasyon tesisi düşünülmüştür. Şekil 4.1'deki grafikte, makine mühendisleri odasından alınan başka bir alışveriş merkezi için düzenlenmiş olan gündüz, akşam ve gece boyunca elektrik tüketimleri tüm bir yıl boyunca gösterilmektedir. Yine aynı kaynaktan baz tüketime göre yapılmış olan trijenerasyon tesisinin gücü görülmektedir.



Şekil 4.1. Alışveriş merkezi trijenerasyon tesisi elektrik tüketim üretim grafiği (Kas, 2015)

ACITY alışveriş merkezinin kurulu elektrik gücü 4 MW'tır. Burası için düşünülen trijenerasyon tesisi kurulu gücü 2 MW olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalara uygun olarak

4 adet 500 kW'lık trijenerasyon jeneratörü kurulmuştur. Şekil 4.1 incelendiğinde, yaklaşık maksimum 5 MW'lık elektrik enerjisi tüketimine sahip diğer bir alışveriş merkezi için, 2,5 MW'lık trijenerasyon tesisi öngörülmüştür. Alışveriş merkezleri için kesin değerlerin elde edilebilmesi için gerekli olan fatura bilgileri olmadığında, trijenerasyon santralleri hesap aşamasında talep gücünün yaklaşık yarısı değerinde seçim kabul görmekte ve uygulanmaktadır. Ahlat alışveriş merkezinin toplam talep gücü yaklaşık olarak 1,3 MW olarak hesaplandı.

Bu verilere dayanarak; ACITY alışveriş merkezinin yaklaşık olarak yarısı kadar bir kurulu güce sahip olan Ahlat alışveriş merkezi için 500 kW'lık 1 adet doğalgaz motorlu trijenerasyon tesisi öngörüldü. İlbank A.Ş. Van Bölge Müdürlüğü'nden alınan bilgiler ışığında Bitlis'e kısa sürede gelecek olan doğalgaz nedeniyle doğalgazla çalışan motor seçimi yapıldı. Burada tam olarak talep gücün yarısı olan 650 kWe seçilmemiş olmasının nedeni güvenli kısımda kalıp gereğinden fazla elektrik üretmemek ve 500 kWe'lik trijenerasyon santralinin standart üretim olmasıdır. Böylelikle fiyat performans oranında maksimum değer hedeflendi. Seçilmiş olan trijenerasyon tesisinin katalog bilgilerinde saatlik elektrik üretim değeri 500 kWe, saatlik sıcak su üretim değeri 547 kWt olarak verilmektedir.

4.8. Ahlat Alışveriş Merkezinin Ekonomik Açıdan İncelenmesi

Trijenerasyon santrali için ekonomik verimliliğinin incelenmesi, yani amortisman süresince yıllık olarak elde edilecek karın ve masrafın hesaplanıp, fizibilite çalışması olarak ortaya konulması önemli bir unsurdur. Yapılacak bu fizibilite çalışmasına göre santralin verimli çalışıp çalışmayacağı söylenebilir.

Trijenerasyon santrali için yapılacak fizibilite çalışması; keşif özeti, toplam masraflar (sabit masraflar + değişen masraflar), elde edilen gelirler ve geri ödeme süresinin belirlenmesi olarak 4 ana başlık altında aşağıda incelenmiştir.

4.8.1. Keşif özeti çıkarılması

Keşif özeti çıkarılması ile santralin toplam kurulum masrafının ne olacağı değerlendirilir. Sistem kurulumunda ilk yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında, sistem

için gerekli inşaat işlerinin (trijenerasyon santrali binası ya da odası yapımı) yaklaşık maliyeti, sistemde kullanılacak mekanik imalatlarının (gaz motoru, (yardımcı ve kontrol üniteleri dahil), atık ısı geri kazanım sistemi (sıcak su üretimi), motor soğutma radyatörü, soğutma kulesi, absorpsiyonlu soğutucu, egzoz-baca katalitik konvektör, borulama montaj ve devreye alma) yaklaşık maliyetleri, sistemde kullanılacak elektrik imalatlarının (jeneratör seti, elektronik kontrol panosu, alçak ve orta gerilim sistemi, jeneratör koruma ve kumanda panosu ile senkronizasyon sistemi, step up trafo ve orta gerilim (OG) sistemi, otomasyon ve SCADA sistemi, kablolama, montaj ve devreye alma yaklaşık maliyeti göz önüne alınmıştır. Buna uygun olarak firmalardan alınan fiyatlara göre tesisin ilk kurulum maliyeti, elektrik bağlantısı hariç, 410 000 Avro olarak ele alınmıştır.

4.8.2. Sistem için yıllık sabit masrafların belirlenmesi

Kojenerasyon santrali için kurulum ve işletme sırasında yıl boyunca oluşan ve değişmediği kabul edilen masraflardır. Bu masraflar amortisman ve sigorta bedeli olarak hesaplanmıştır.

Kojenerasyon santralinin toplam maliyetinin santralden yararlanılabilen süreye eşit olarak dağıtılması ile amortisman payı hesaplanmaktadır. En çok kullanılan yöntem, tesisin çalıştığı süre boyunca her yıl eşit miktarda amortisman miktarı sağlayacağı düşünülerek elde edilen sonuçtur.

Trijenerasyon tesisleri için öngörülen ekonomik ömür, Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı verilerine dayanarak 20 yıl olarak ele alınmaktadır. Hesaplamalar yapıldığında ödenecek amortisman bedeli sabit masrafların amortisman payı kısmını oluşturmaktadır.

Trijenerasyon santrali için çalışmakta olan ekipmanlara, işçilere, her türlü kaza, yangın, deprem ve patlamaya karşı her yıl belirli oranlarda sigorta yaptırılması gerekir. Yangın, yıldırım, patlama, terör gibi nedenlerle ilk yatırım maliyetinin binde 5'i, deprem primi olarak ise ilk yatırım maliyetinin binde 3,3'ü her yıl sigorta şirketine ödenmelidir. Bu durumda Ahlat (Bitlis) alışveriş merkezi için yıllık ödenecek sigorta primi miktarı, 10 900 TL olarak hesaplanmıştır.

4.8.3. Sistem için yıllık değişen masrafların belirlenmesi

Trijenerasyon tesisinin yıllık kullanıldığı çalışma saatine göre değişebilen masraflardır. Değişen masraflar; işçilik giderleri, yakıt giderleri, yağlama giderleri ve bakım-onarım giderleri olarak sıralanmıştır.

Yakıt giderleri

Alışveriş merkezinin gün boyunca saatlere göre değişen elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için değişen yüke göre çalışacak trijenerasyon motorlarının ihtiyaç duyduğu yakıt miktarıdır. Trijenerasyon tesisinin çalışması için gereken güç 1 237 kW/h'dir. Bitlis iline henüz doğalgaz tesis edilemediği için; 20 Mayıs 2016 tarihinde AKSA Van Doğalgaz şirketinden alınan doğalgaz tarifi Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Çizelge 4.6'da verilen verilere göre; kWh başına doğalgaz maliyeti 0,09 TL alınmıştır. Doğalgaz için harcanan toplam maliyet 601 182 TL'dir.

Çizelge 4.6. AKSA Van doğalgaz tarifi

Yıllık Tüketim Aralığı (m ³)		Sistem Kullanım Bedeli (TL)	Birim fiyat (TL)	KDV
Başlangıç (m ³)	Bitiş (m ³)			
0	100 000	0,154044	1,025505	%18
100 000	300 000	0,086663	0,958124	%18
300 001	-	0,086663	0,892046	%18

İşçilik Giderleri

Tesisin çalışma süresi 2 vardiya olacak şekilde planlanmaktadır. Trijenerasyon tesisinin çalışmadığı gece süresince herhangi bir vardiya olmayacaktır. Tesis için 1 teknisyen ve 1 tane yardımcı eleman düşünülmüştür. Buna göre toplam işçi masrafı tesis için aylık 14 000 TL olup, yıllık ödenecek bedel 168 000 TL'dir.

Bakım ve onarım giderleri

Santralde çalışan elektrik ve mekanik ekipmanların yıllık bakım giderlerini kapsar. Bakım giderleri arasında en önemli olanı gaz motorlarının bakım giderleridir. Sistemin periyodik bakımları gaz motorlarının çalışma süresine bağlı olarak yapılır.

Gaz motorunun günlük çalışma süresi 07:00 ile 22:00 saatleri arasındadır. Yani günde 15 saat çalışacağı değerlendirilmiştir. Aylık çalışma süresi 450 saat, yıllık çalışma süresi ise 5 400 saat olarak hesaplanmıştır.

Sisteme dört şekilde rutin bakım uygulanır. İlk bakım her 1 500 saat için yapılır. Motor yağ değişimi de bu bakım içindedir. İkinci bakım her 4 500 saat için yapılır. Üçüncü bakım her 12 000 saat için yapılır. Dördüncü bakım ağır bakımdır, 60 000 saat sonunda yapılır. Buna göre motorun ağır bakımı da dahil olmak üzere 10 yıllık sürede hangi bakımı kaç defa görecekleri Çizelge 4.7'de verilmektedir.

Çizelge 4.7. Trijenerasyon tesisi için yıllara göre bakım sayısı

	1.yıl	2.yıl	3.yıl	4.yıl	5.yıl	6.yıl	7.yıl	8.yıl	9.yıl	10.yıl
1.bakım	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2.bakım	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
3.bakım			1		1		1		1	
4.bakım										

Tesis 10 yıllık süre içerisinde çalışma saatleri yüzünden 4.bakım olan ağır bakıma girmeyecektir. Ağır bakımda kojenerasyon tesisinin motorları değişir. Yıllık 5400 saatlik çalışma verisine göre toplamda tesis için harcanan bakım ve yedek parça giderleri çalıştığı saat başına 6 Avro üzerinden 32 000 Avro yani 102 432 TL olarak değerlendirilecektir.

Yağlama giderleri

Motorun yağ tüketim değeri yaklaşık olarak 0,10 kg/sa. civarlarındadır (Liebher kataloğu). Motorun yağ değişimi sırasındaki gerekli olan yağ kapasitesi 90 litredir. Ortalama yağ değişim süresi olarak 1 000 saat alınmıştır. Kullanılacak yağın fiyatı yaklaşık

olarak litre başına 4 avrodur. Tesisin yılda 5 400 saat çalışacağı öngörülmüştür. Her 1000 saat için yağ değişimi gerçekleşeceğinden yıllık 5,4 defa yağ değişimi gerçekleşecektir.

Yıllık yağ değişim için harcanan miktar;

$$90 \times 4 = 360 \text{ Avro}$$

$360 \times 5,4 = 1944$ Avro olarak alındı. Türk lirası cinsinden ifade edecek olursak; 6 223 TL olarak kabul edildi.

Elektrik tarifeleri

Ülkemizde elektrik tarifeleri çift terimli ve tek terimli olmak üzere iki şekilde uygulanır. Çift terimli tarife önceden belirlenen bir sözleşme gücü karşılığında fiyatlandırmanın yapıldığı tarifiedir ve bazı sanayi kuruluşlarınca tercih edilmektedir.

Genellikle kullanılan tarife tek terimli tarifiedir. Bu tarife, kullanılan elektrik enerjisinin kWh miktarı üzerinden bedel alınmasıyla yapılır. Van gölü elektrik dağıtım şirketi bu tarz alışveriş merkezleri için elektrik alım fiyatını 20 Mayıs 2016 tarihinde, şirketten alınan bilgiye göre, kW/h başına 36 kuruş olarak fiyatlandırmıştır.

4.8.4. Kurulacak trijenerasyon tesisinden elde edilecek gelirler

Tesise kurulacak olan trijenerasyon santrali katalog bilgilerine göre 500 kWh'lık elektrik, 547 kWh büyüklüğünde ise soğutma ya da ısıtma gücü verecektir. Santralin 22:00 ile 07:00 saatleri arasında çalışmayacağı kabulü üzerinden hesaplamalar yapıldı. Santralin yıllık çalışma süresi bu bilgilere dayanarak 5 400 saat olarak kabul edildi.

Çizelge 4.8. Ahlat alışveriş merkezi için kurulacak olan trijenerasyon santrali üretim ve gelir miktarları

AYLAR 2016	TRİJEN ÜRETİLEN ELEK. (kWh)	ELEKTRİK AYLIK KAZANÇ(TL)	ISITMA VE SOĞUTMA İÇİN ÜRETİLEN ISI MİKTARI (kWh)	ISITMA VE SOĞUTMA İÇİN AYLIK KAZANÇ(TL)
OCAK	225 000	81 000	246 150	22 153
ŞUBAT	225 000	81 000	246 150	22 153
MART	225 000	81 000	246 150	22 153
NİSAN	225 000	81 000	246 150	22 153
MAYIS	225 000	81 000	246 150	22 153
HAZİRAN	225 000	81 000	246 150	22 153
TEMMUZ	225 000	81 000	246 150	22 153
AĞUSTOS	225 000	81 000	246 150	22 153
EYLÜL	225 000	81 000	246 150	22 153
EKİM	225 000	81 000	246 150	22 153
KASIM	225 000	81 000	246 150	22 153
ARALIK	225 000	81 000	246 150	22 153
TOPLAM	2 700 000	972 000	3 000 000	265 836

Santral için elektrik tarife bedeli kW/h başına 0,36 TL, doğalgaz bedeli kW/h başına 0,09 TL alındı. 2016 yılı için eldeki verilere göre elde edilecek gelir ve üretim miktarları Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8'de görüldüğü üzere; trijenerasyon santrali yıl boyunca elektrik enerjisi üreterek 972 000 TL, ısıtma soğutma için ürettiği sıcak su ile 265 836 TL kar elde eder. Tesisin 1 yıl boyunca toplam ürettiği enerjinin bedeli 1 237 836 TL olarak hesaplanmıştır.

4.8.5. Sistemin geri ödeme süresinin belirlenmesi

Tesisin elektrik enerjisi üretimi, ısıtma ve soğutma üzerinde elde ettiği toplam gelir miktarı 1 242 000 TL'dir. Tesis ilk kurulum yaklaşık maliyeti 410 000 Avro olarak

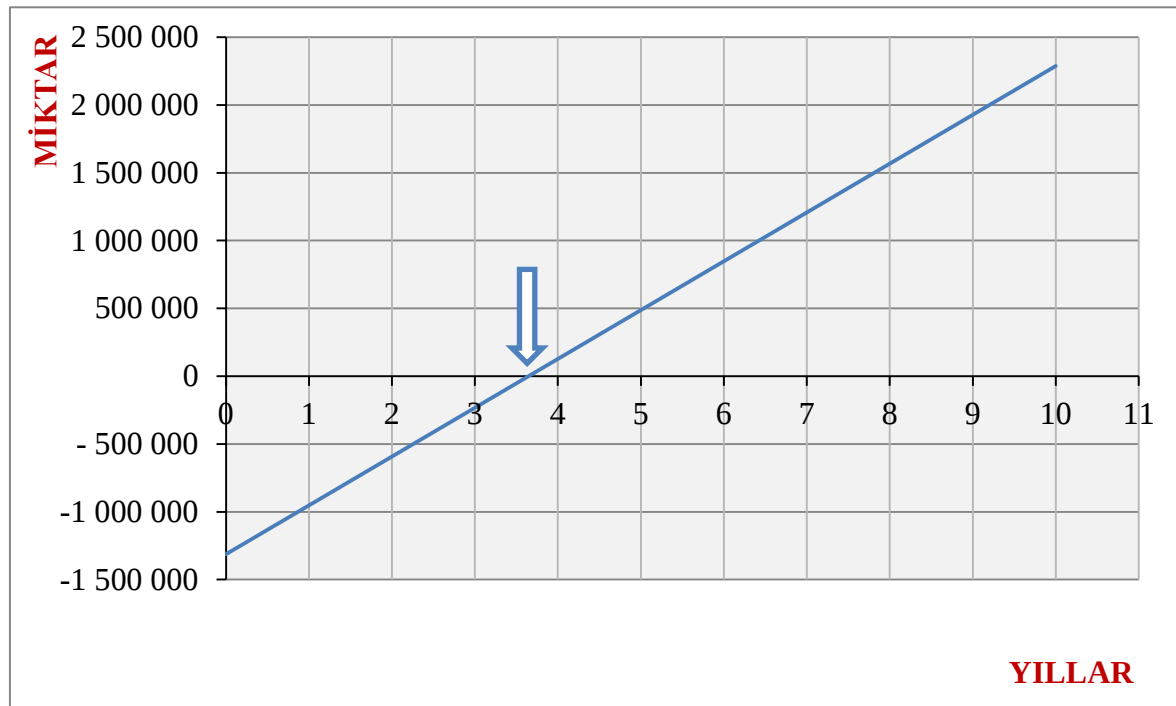
hesaplandı. 01.07.2016 tarihli Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası döviz kuru bilgisine göre; 1€=3,201 TL olarak ele alındı. Buna göre toplam yaklaşık maliyet 1 312 410 TL olarak hesaplandı. Yakıt (doğalgaz) maliyeti, tamir, bakım ve yedek parça giderleri, yağlama giderleri, işçilik giderleri ve sigorta bedeli toplamı 877 837 TL olarak hesaplandı.

Sistem geri ödeme süresi hesaplanırken; elektrik ve doğalgaz tarifeleri değişmeyecek şekilde kabul edilmiş, Avro ise 3,201 olarak sabitlenmiştir. Sistemin amortisman süresini bulmak için toplam yaklaşık maliyet, 1 yılda elde edilen toplam gelirden toplam giderlerin çıkartılmasıyla ortaya çıkacak sonuca bölünecektir. Trijenerasyon santralinin tamamen öz kaynaklar kullanılarak kurulması durumunda elde edilecek sonuç aşağıda verildiği gibidir.

Toplam yaklaşık maliyet/ Toplam Gelir-Toplam Giderler (Net Kar) (4.15)

$$1\,312\,410 / (1\,237\,836 - 877\,837) = 3,646 \text{ yıl}$$

Elde edilen sonuca göre; Ahlat alışveriş merkezine kurulacak olan trijenerasyon tesisinin amortisman süresi tamamen öz kaynaklar kullanılması durumunda 3,646 yıl olacağı hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. Ahlat alışveriş merkezi kojenerasyon tesisi için kümülatif akışlar grafiği

4.9. İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü Binası İçin Kojenerasyon Tesisi Uygulaması

İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü 1955 yılında kurulmuştur. Aydın, Denizli, İzmir, Manisa ve Muğla Büyükşehir Belediyeleri ile Uşak Belediyesi hizmet alanı içerisindedir. 2016 yılı itibarı ile 106 personel çalışmaktadır. İzmir Bölge Müdürlüğünün hizmet alanında toplam 5 büyükşehir, 1 il, 101 ilçe, 6 belde bulunmaktadır. Harita 4.2’de İzmir Bölge Müdürlüğü’nün hizmet alanları verilmiştir.



Harita 4.2. İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü hizmet alanları haritası



Resim 4.11. İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü

İLBANK A.Ş.’nin yapmış olduğu üstyapı işlerinde Ahlat alışveriş merkezi büyüklüğü ve işletme özellikleriyle daha küçük çaplı üstyapı uygulamalarına göre farklı

özelliktir. Şu ana kadar yapılan üstyapı işleri incelendiğinde çeşitli bina tipleri olarak belediye hizmet binaları, okullar ya da İLBANK A.Ş. bölge müdürlüklerinin yapım işlerinin de gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu yüzden İller Bankasının üstyapı işleri için kojenerasyon santralleri değerlendirildiğinde daha küçük ölçekli üstyapı işleri için de değerlendirilme yapılması gerekmiştir.

Belediye hizmet binaları gibi üstyapı işleri için örnek kojenerasyon santrali uygulamasının düşünüleceği bina benzerlik kriteri olarak iki unsur ele alınmıştır. Birincisi tesisin ortalama 100 kişinin çalışabileceği büyüklükte olması, ikincisi ise; tesisin çalışma süresinin sabah 07:00 ile akşam 20:00 saatleri arasında olmasıdır. Bu kriterleri sağlaması yüzünden İller Bankası İzmir Bölge Müdürlüğü binası için kojenerasyon tesisinin uygulanabilirliği incelenmiştir.

4.10. İzmir Bölge Müdürlüğü Kojenerasyon Santrali Seçimi

İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü Binası hizmet binası ve sosyal tesisler olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Lojman kısmının ısıtma ve elektrik kısmı bu değerlendirme kapsamına dahil edilmemiştir. Ahlat alışveriş merkezinin aksine İzmir Bölge müdürlüğü çalışır vaziyette olduğu için trijenerasyon tesisinin uygulanabilirliği ve tesis büyüklüğü seçimi mevcut 2015 yılına ait elektrik ve doğalgaz faturaları kullanılarak yapılmıştır.

Tesisin elektrik harcamaları puant saatler üzerinden 3 kısımda incelenmiştir. Bunlar tüketimin en yoğun olduğu 06:00 ile 17:00 saatleri arası gündüz ve 17:00 ile 22:00 saatleri arası puant, üçüncü olarak bu saatlere göre tüketimin yarı yarıya düştüğü 22:00 ile 06:00 saatleri arası gece dönemleridir. Hesaplamalarda dönemlere göre tüketilen güç miktarları hesaplanırken gündüz ile puant dönem arasındaki oran 1,16, puant ile gece arasındaki güç kullanım oranı 1,5 kabul edilmektedir. Hesaplamalar bu kabul üzerinden gerçekleştirilip Çizelge 4.9 haline getirilmiştir. Çizelgede aylara göre günlük belirli saatler için şebekeden çekilen elektrik gücü ve yine bu saatlere göre kojenerasyon santralinden üretilen elektrik gücü verilmiştir. Toplam kısmı 1 yıl yani 365 gün için saatlik dönemler üzerinden hesaplanan toplam değerlerdir.

Tesisin ısıtma tüketim dönemleri elektrik kullanımında olduğu gibi üçe bölünmüştür. Hesaplamalarda dönemlere göre tüketilen güç miktarları hesaplanırken gündüz ile puant dönem arasındaki oran 1,16, puant ile gece arasındaki güç kullanım oranı 1,5 puant kabul edilmektedir. Hesaplamalar bu kabul üzerinden gerçekleştirilip ısı tüketim verileri Çizelge 4.10 haline getirilmiştir. Planlanan tesisin toplam ısıtma ihtiyacı mikrokojenerasyon tesisi üzerinden sağlanmamakta, kalan kısmı ısı kazanları yardımıyla tedarik edilmektedir. Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de yer alan toplam kısmı 365 gün üzerinden hesaplanan değerdir.

Çizelge 4.9. Bölge müdürlüğü aylara göre saatlik elektrik tüketim verileri

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
06:00-17:00 Saatleri Arasında Çekilen Ortalama Güç (kWh)	59	70	70	50	33	60	106	129	85	34	48	72	269 015
17:00-22:00 Saatleri Arasında Çekilen Ortalama Güç (kWh)	50	59	59	43	28	51	90	109	72	29	41	61	103 938
22:00-06:00 Saatleri Arasında Çekilen Ortalama Güç (kWh)	33	38	38	28	18	33	58	71	47	19	26	39	107 606

Çizelge 4.10. Bölge müdürlüğü aylara göre saatlik ısı enerjisi tüketim verileri

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
06:00-17:00 Saatleri Arasında Çekilen Ortalama Isıtma Gücü (kWt)	286	282	225	175	26	57	50	48	53	61	138	220	535 298
17:00-22:00 Saatleri Arasında Çekilen Ortalama Isıtma Gücü (kWt)	243	240	192	149	22	48	42	41	45	52	118	187	206 820
22:00-06:00 Saatleri Arasında Çekilen Ortalama Isıtma Gücü (kW)	157	155	124	96	14	31	27	26	29	34	76	121	214 119

Çizelge 4.9'da görüldüğü üzere tesisin en düşük çektiği güç 22:00 ve 06:00 saatleri arasındadır. Bu dönemde çekilen en düşük gücün Mayıs ayında 18 kW, en yüksek gücün

ağustos ayında 71 kW olduğu görülmektedir. Yoğun olarak çekilen ortalama gücün 30kW civarlarında olduğu da yine bu tablodan belli olmaktadır. Santral bu elektrik tüketim değerlerine göre 30 kW elektrik gücü üretecek şekilde seçilmiştir. Ayrıca santral 60 kWh'lık ısı enerjisi üretmektedir. 60 kWh ısı üretim değeri 30 kWh elektrik gücü için seçilen mikrokojenerasyon tesisinin maksimum ısı gücü üretim değeridir. Santralin planlanan elektrik üretim gücü 100 kWh'dan daha düşük olduğu için mikrokojenerasyon tesisi seçilmiştir. Mikrokojenerasyon tesisi ile yalnızca ısıtma ve elektrik üretimi gerçekleştirilirken soğutma yapılamamaktadır. Elde edilen sonuca göre kojenerasyon tesisi elektrik ve ısı üretim güçleri aylara göre belirli saatlik dönemler için Çizelge 4.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.11. Kojenerasyon tesisi aylara göre saatlik üretim değerleri

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
06:00-17:00 Saatleri Arasında Co-Gen'den Alınabilecek Max. Güç (kWh)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	118 800
17:00-22:00 Saatleri Arasında Co-Gen'den Alınabilecek Max. Güç (kWh)	30	30	30	30	23	30	30	30	30	24	30	30	51 988
22:00-06:00 Saatleri Arasında Co-Gen'den Alınabilecek Max. Güç (kWh)	30	30	30	23	13	30	30	30	30	14	21	30	74 494
06:00-17:00 Saatleri Arasında Co-Gen'den Alınabilecek Max. Isıtma Gücü (kW)	62	62	62	62	26	57	50	48	53	61	62	62	220 357
17:00-22:00 Saatleri Arasında Co-Gen'den Alınabilecek Max. Isıtma Gücü (kW)	62	62	62	62	22	48	42	41	45	49	62	62	93 044
22:00-06:00 Saatleri Arasında Co-Gen'den Alınabilecek Max. Isıtma Gücü (kW)	62	62	62	47	14	31	27	26	29	28	44	62	118 916

Mikrokojenerasyon tesisi seçilirken daha yüksek güç tüketiminin olduğu dönemlere göre tercih yapılmış olsaydı; bu durumda gece ihtiyaçtan fazlası üretilecek, fazla üretilen elektrik üretici olarak mahsuplaşılacağı için problem yaratacaktır. Mikrokojenerasyon

santralleri de daha büyük kojenerasyon santralleri gibi %50 yükün altında verimli çalışmamaktadır.

Bkz. Çizelge 4.9 incelendiğinde mayıs ayında gece döneminde 18 kW'lık elektrik gücüne ihtiyaç duyulurken üretim 13 kW olmaktadır. Aslında santral tüm ihtiyaç duyulan enerjiyi üretebilecek güçtedir. İhtiyaç duyulan enerjinin tamamının üretilmemesinin nedeni yönetmeliklere göre tesisin tüm enerjisini kendisinin üretmesine izin verilmemesidir. İhtiyaç duyduğu enerjinin belirli bir kısmını şebekeden almak zorundadır. Bu değer hesaplamalarda 5 kW olarak uygulanmıştır. Aynı durum ekim ayı için de geçerlidir.

4.11. İzmir Bölge Müdürlüğü Mikrokojenerasyon Santralinin Ekonomik Açıdan İncelenmesi

Tesis için yapılacak olan gelir-gider hesaplamaları Ahlat Alışveriş Merkezi için yapılan hesaplamalardan farklı ele alınmayacaktır. Mikrokojenerasyon santrali için yapılacak fizibilite çalışması; keşif özeti, toplam masraflar (sabit masraflar + değişen masraflar), elde edilen gelirler ve geri ödeme süresinin belirlenmesi olarak 4 ana başlık altında incelendi. Bu başlıklar Ahlat alışveriş merkezinde açıklandığı için kısaca değerlendirildi.

4.11.1. Keşif özeti

Keşif özeti çıkarılması ile santralin toplam kurulum masrafının ne olacağı hesaplandı. Tesise kurulacak olan mikrokojenerasyon santrali büyük kojenerasyon santrallerine göre ebat olarak oldukça küçüktür. Bu santraller paket halinde satılmakta ve ısı kazanları yanına eklenmektedir. Bu yüzden kurulum sırasında inşaat giderleri düşünülmeydi. Buna göre mikrokojenerasyon tesisi için firmalardan alınan tekliflere göre ilk kurulum yaklaşık maliyeti olan 44 700 Avronun Türk lirası olarak karşılığı 143 085 TL' dir. 01.07.2016 tarihli TCMB döviz kuru bilgisine göre; 1 Avro 3,201 TL olarak ele alınmıştır.

4.11.2. Mikrokojenerasyon tesisi giderleri

İşçilik giderleri

Santral trijenerasyon santrallerine göre küçük ölçekli ve sorun çıkartacak eleman sayısı düşük olduğu için vardiyalı çalışan iki teknisyen düşünülmüştür. Ancak İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü'nde çalışan teknisyenler bulunduğu için işçilik giderleri hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Tamir ve bakım giderleri

Mikrokojenerasyon santrali için düşünülen yıllık bakım ve onarım giderleri toplamı 8 400 TL olarak değerlendirilmiştir.

Yağlama giderleri

Mikrokojenerasyon tesisi için yıllık harcanacak yağ değişim tutarı 3 900 TL'dir.

Yakıt giderleri

Seçilen mikrokojenerasyon tesisi için maksimum değerlere göre ısı ve elektrik enerjisi üretebilmesi için 96 kWh'lik doğalgaz harcayacaktır. Buna göre yıllık olarak harcanan doğalgaz tüketim gideri 72 576 TL olarak hesaplanmıştır.

4.11.3. Kurulacak mikrokojenerasyon tesisinden elde edilecek gelirler

Tesise kurulacak olan mikrokojenerasyon santrali katalog bilgilerine göre 30 kWh'lık elektrik, 62 kWh büyüklüğünde ise ısıtma gücü vermektedir. Santralin 7 gün 24 saat boyunca çalışacağı kabul edilmiştir. Santralin yıllık çalışma süresi bu bilgilere dayanarak 8640 saat olarak alınmış ancak tesisin olası arızalarda çalışmama ihtimali düşünülerek 8400 saat olarak ele alınmıştır. Santral için 2015 yılında İller Bankasının yapmış olduğu enerji alım ihalesi gereğince serbest tüketici olarak sabit elektrik tarife bedeli kWh başına 36 kuruş ödenmekte, doğalgaz bedeli m³ başına 90 kuruş olarak tahsil edilmektedir. 2015 yılı için eldeki verilere göre elde edilecek gelir ve üretim miktarları Çizelge 4.12'te gösterilmiştir.

Mikrokojenerasyon santralinden elde edilen toplam brüt gelir, tükettiği elektriğin şebekeden çekilmeyip ürettiği kısmının maddi tutarı ile santralin kendi üzerinde ürettiği sıcak suyun maddi tutarının yıllık bazda toplanmasıyla elde edilir. Santralin yıllık ürettiği elektrik miktarından elde ettiği kazancın 80 698 TL, yıllık ürettiği ısıtmadan elde ettiği kazancın 38 908,53 TL olduğu hesaplandı.

Çizelge 4.12. Üretilen elektrik ve ısı enerjisi miktarı ve kazanç tablosu

AYLAR 2015	ÜRETİLEN ELEKTRİK (kWh)	ELEKTRİK AYLIK KAZANÇ (TL)	ISITMA İÇİN ÜRETİLEN ISI MİKTARI (kWh)	ISITMA İÇİN AYLIK KAZANÇ(TL)
OCAK	21 600	7 106,40	44 640	4 017,6
ŞUBAT	21 600	7 106,40	44 640	4 017,6
MART	21 600	7 106,40	44 640	4 017,6
NİSAN	19 801	6 514,53	40 921	3 682,89
MAYIS	16 449	5 411,72	15 435	1 389,15
HAZİRAN	21 600	7 106,40	33 528	3 017,52
TEMMUZ	21 600	7 106,40	29 345	2 641,05
AĞUSTOS	21 600	7 106,40	28 338	2 550,42
EYLÜL	21 600	7 106,40	31 513	2 836,17
EKİM	16 727	5 503,18	34 366	3 092,94
KASIM	19 505	6 417,15	40 311	3 627,99
ARALIK	21 600	7 106,40	44 640	4 017,60
TOPLAM	245 282	80 697,78	432 317	38 908,53

4.11.4. Sistemin geri ödeme süresinin belirlenmesi

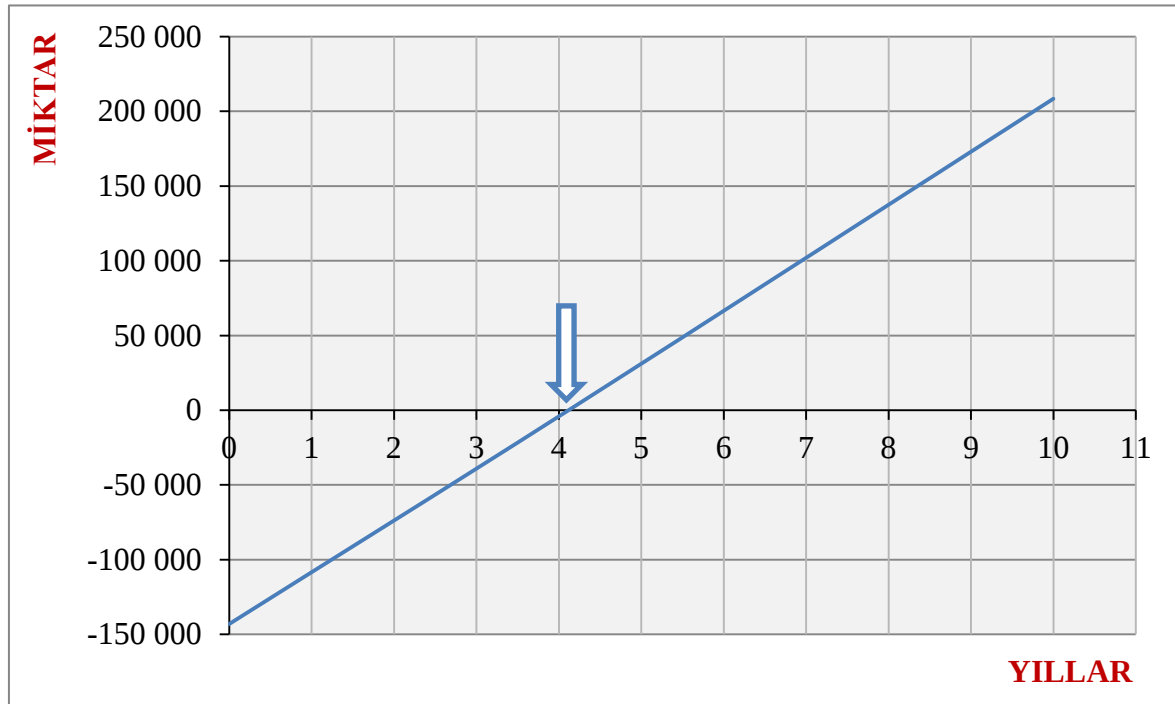
Tesisin elde ettiği elektrik ve ısı toplam brüt gelir Çizelge 4.12’de görüldüğü üzere 119 606 TL’dir. Tesisin tükettiği yakıt tutarı olan 72 576 TL bu miktardan çıkarılarak elde ettiği net gelir 47 030 TL olarak bulunmuştur. Tesis ilk kurulum yaklaşık maliyeti 135 039 TL olarak hesaplanmıştır. Tamir, bakım ve yedek parça giderleri, yağlama giderleri, işçilik giderleri toplamı 12 289 TL olarak hesaplanmıştır.

Sistem geri ödeme süresi hesaplanırken; elektrik ve doğalgaz tarifeleri değişmeyecek şekilde kabul edilmiş, Avro ise 3,201 olarak sabitlenmiştir. Sistemin amortisman süresi bulmak için toplam yaklaşık maliyet 1 yılda elde edilen toplam gelirden toplam giderlerin çıkartılmasıyla ortaya çıkacak sonuca bölünecektir. Mikrokojenerasyon tesisinin tamamen öz kaynaklar kullanılarak kurulması durumunda elde edilecek sonuç aşağıda verilmiştir.

$$\text{Toplam yaklaşık maliyet} / (\text{Toplam Kar} - \text{Toplam Giderler}) = \quad (4.15)$$

$$143\,085 / (47\,030 - 12\,289) = 4,118 \text{ yıl}$$

Elde edilen sonuca göre; İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü'ne kurulacak olan mikrokojenerasyon tesisi amortisman süresi tamamen öz kaynaklar kullanılması durumunda 4,118 yılda amortismanını sağlayacağı hesaplanmıştır. İzmir Bölge Müdürlüğü'nde, misafirhane yüzünden gece döneminde çalışan elektrikli ekipmanın fazla oluşu, gece elektrik tüketimini arttırmıştır. Böylece üretilen enerjinin gece süresince tüketimi gerçekleşmekte sistem bakım ve onarım süreleri hariç yıl boyunca 24 saat çalışabilecektir.



Şekil 4.3. İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü kojenerasyon tesisi kümülatif akışlar grafiği

SONUÇ VE ÖNERİLER

İLBANK A.Ş. Üstyapı İşlerinde Kojenerasyon Sistemlerinin Uygulanması ve Maliyet Analizinin Araştırılması adlı uzmanlık tezi çalışmasında İLBANK A.Ş.'nin yapmış olduğu ve yapacağı üstyapı işleri için kojenerasyon teknolojisi hakkında bilgiler verilmiş olup, Türkiye'deki kullanım alanları enerji verimliliği açısından incelenmiştir. Ülkemizde yeni yapılacak olan toplamda 20 000 m² ve üzeri inşaat alanına sahip tüm binalar için kojenerasyon ve mikrokojenerasyon teknolojisinin uygunluğunun incelenmesi, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Madde-22'ye göre zorunlu kılınmıştır. Buna göre, İLBANK A.Ş.'nin mevcut ve yeni yapılacak üstyapı projelerinde kojenerasyon sistemlerini kullanması durumunda; belediyelerin enerji masraflarının azalacağı ve ülke ekonomisine katkı sağlanacağı öngörülmektedir.

Bu çalışma kapsamında; öncelikle örnek bir üstyapı kojenerasyon sistemi olarak Ankara Macunköy'de bulunan ACITY alışveriş merkezinde, 2014 yılında kurulmuş olan trijenerasyon tesisi incelenmiştir. Daha sonra incelenen bu tesis üzerinden alınan veriler ışığında; halen kojenerasyon ve trijenerasyon sistem uygulaması bulunmayan, büyüklükleri ve çalışma düzenleri bakımından farklı konumlarda olan Ahlat Alışveriş Merkezi ile İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü binaları için farklı kojenerasyon sistem uygulamaları bu tez kapsamında örnek projeler olarak ele alınmıştır. Sistemin tasarımından devreye alınmasına kadar olan aşamalar ve ekipmanlar incelenmiştir. İlk yatırım maliyetleri ve amortisman süreleri hesaplanmıştır.

Tamamen belediyelerin öz kaynaklarını kullanması durumunda, Ahlat Alışveriş Merkezi'ne yapılacak olan trijenerasyon tesisinin kendini 3,65 yılda, İLBANK A.Ş. İzmir Bölge Müdürlüğü binasına yapılacak olan mikrokojenerasyon tesisinin kendini 4,12 yılda amorti ettiği görülmüştür. Ancak; gece elektrik tüketiminin olmadığı küçük ölçekli binalar için mikro kojenerasyon tesisinin kurulmasının amortisman süresini yükselttiği tespit edilmiştir.

Kısa süreli elektrik tüketim ihtiyaçlarının, kojenerasyon tesisinin amortisman süresini uzun tutması ve çalışma verimini düşürmesi nedeniyle, toplu konut gibi bina türleri, çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

Kojenerasyon teknolojisi ile ilgili dikkat edilmesi gereken diğerk bir nokta ise, bu tesislerin kurulmadan önce kurulacakları binaya uygunluğunun çok iyi araştırılması gerektiğidir. Yanlış planlanmış kojenerasyon tesislerinin amortisman süresini uzatacağı, uygun kojenerasyon sistemleri kurulduğunda ise, amortisman sürelerinin pek çok enerji üretim tekniğine göre oldukça kısa olacağı görölmektedir. Aşağıda belirtilen noktalar; İLBANK A.Ş. ve belediyelerin değerlendirmesi gereken önerilerdir.

❖ Bankamızca yapılacak olan üstyapı projeleri için belediyelere kojenerasyon teknolojisinin enerji tasarrufu açısından önemi açıklanmalı, ilgili işin kontrolörlüğü ve danışmanlık hizmetlerinin yürütölmesi sağlanmalıdır.

❖ İLBANK A.Ş. binalarda enerji verimliliğı kapsamında, belediyelerin talepleri doğrultusunda yapılacak kojenerasyon projeleri ile ilgili kredilendirme konusunda yardımcı olmalıdır.

❖ Belediyelere daha önce yapılmış olan mevcut üstyapı uygulamaları için kojenerasyon teknolojisinin uygunluğu incelenmeli; yapılmasının uygun olması durumunda belediyeler binalarına kojenerasyon uygulamaları kullanımı için teşvik edilmelidir.

❖ İLBANK A.Ş.'nin pek çok kamu kuruluşu gibi kendisi için yapacağı bölge müdürlüğü binaları, genel müdürlük binaları gibi üstyapı uygulamalarında kojenerasyon teknolojisini kullanıp, enerji verimliliğı yüksek akıllı binalar konusunda öncü konumda olması sağlanmalıdır.

❖ Kojenerasyon teknolojilerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, amortisman sürelerinin kısalığı nedeniyle, belediyeler açısından kullanımının uygun olduğu görölmektedir. Bu durumla ilgili olarak; belediyeler, İLBANK A.Ş. tarafından bilgilendirilmeli ve farkındalık sağlanmalıdır.

❖ Kojenerasyon teknolojisinin kullanımı binalarda atık gaz çıkışını azaltmaktadır. Bu da CO₂ emisyon oranlarının düşmesi anlamına gelmektedir. Böylelikle çevreye verilen zarar azaltılıp, güvenli enerji tasarrufu da sağlanacaktır. Üstyapı uygulamalarının yanı sıra, atık su arıtma tesislerine de kurulabilecek sözkonusu kojenerasyon tesisleri, belediyelerin kendi güvenli enerjisini üretmesini sağlayacaktır.

Sonuç olarak; bu tez kapsamında ülkemizde yoğun şekilde enerji talebini gerçekleştiren konutlar ve binalar için enerjinin verimli kullanımı açısından kojenerasyon teknolojisi incelenmiştir. Enerjide dışa bağımlılığımızı azaltacak uygulamalardan olan kojenerasyon teknolojisi için devlet desteği arttırılmalı, yerli üretim için AR-GE çalışmalarına önem verilmelidir. İLBANK A.Ş.'nin yapmış olduğu ve yapacağı pek çok üstyapı uygulaması için, kojenerasyon teknolojisinin koşullarının iyi incelenip, uygun olması durumunda gerçekleştirilmesi halinde, ülkemiz ekonomisine sağlayacağı katkıların büyük olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Sulaiman, F.A.,Hamdullahpur F., Dincer I. (2011). Trigenation: a comprehensive review based on prime movers. *International Journal of Hydrogen Energy* (35), 233-258.
- Aydın, Y. (2015). *Elektrik Üretiminde Enerji Verimliliği İçin Kojenerasyon*, Kojenerasyon ve Trijenerasyon ile Üretimde Enerji Verimliliği Sempozyumunda sunuldu, Kocaeli.
- Çakır, U. (2007). *Aziziye Araştırma Hastanesi Enerji Gereksinimi İçin Kojenerasyon Sisteminin Uygulanabilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 19-20.
- Çetinkaya, M. ve Karaosmanoğlu, F. (2003). Yakıt pilleri, *Tesisat Mühendisliği Dergisi* (75), 27.
- Dayıoğlu, M.A., Ültanır, M.Ö. (1992). *Termodinamiğin İkinci Yasasının Güneş Kollektörlerine Uygulanması*. VI. Türk Alman Sempozyumunda sunuldu, İzmir
- Ekinci, D. A. (2013). *Erzurum Kampüs Hastanesine Uygulanacak Trijenerasyon Sisteminin Fizibilitesi*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 23-31.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2013). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik. *TC Resmi Gazete*. 28783, 02.10.2013.
- Engin, S. (2012), *Binaların Isıtılmasında Enerji Verimliliğinin Termodinamik Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 1.
- Global Wind Energy Council. (2012). *Global Wind Statistics*, 1.
- Gül, Ö. ve Beltir, V. (2015). *Bir Ticari İşletmede Kurulacak Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Analizi*. IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirilerinde sunuldu, İzmir.
- International Energy Agency. (2014). *Key World Energy Statics*, 24.
- İlhan, N., Özyönüm, G. N., Baranak, M., Akgün, F. (2010). Enerji verimliliğinde evsel mikro kojenerasyon uygulamaları, *Enerji Verimliliği Dergisi* (1), 72.
- İnallı M., Yücel Halit, L., Işık, E. (2002). Kojenerasyon sistemlerinin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği, *Aylık Mühendis ve Makine Dergisi*, (506), 38-44.
- İnternet: Akterm Mekanik. Organik Rankine çevrim.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aktermmekanik.com.tr%2Fhizmetler%2Forganik-rankine-cevrim-tesisleri&date=2016-10-24>, Son Erişim Tarihi: 24.10.2016

İnternet: Altun Grup. Dünyada Solar Enerji. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.altungroup.com%2Findex.php%2Fdunyasolar&date=2016-07-25>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2016

İnternet: Bilgi Ustam. Dizel Motoru. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.bilgiustam.com%2Fdizel-motoru-nedir-nasil-calisir%2F&date=2016-10-31>, Son Erişim Tarihi: 31.10.2016

İnternet: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. Hidrolik Enerji Çalışma Raporu. URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dektmk.org.tr%2Fupresimler%2F2007calismagrubu%2Fhidrolik_enerji_raporu_304.pdf&date=2016-10-30, Son Erişim Tarihi: 30.10.2016

İnternet: Ecotricity. The End Of Fossil Fuels. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ecotricity.co.uk%2Four-green-energy%2Fenergy-independence%2Fthe-end-of-fossil-fuels&date=2016-10-10>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2016

İnternet: Enerji Atlası, 2016d. Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik Yağ Enerji Santralleri. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.enerjiatlası.com%2Fbiyogaz%2F&date=2016-07-25>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2016

İnternet: Enerji Atlası, 2016a. Güneş Enerji Santrali. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.enerjiatlası.com%2Fgunes%2F&date=2016-07-25>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2016

İnternet: Enerji Atlası, 2016b. Hidroelektrik Santralleri. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.enerjiatlası.com%2Fhidroelektrik%2F&date=2016-07-25>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2016

İnternet: Enerji Atlası, 2016c. Jeotermal Enerji Santralleri. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.enerjiatlası.com%2Fjeotermal%2F&date=2016-07-25>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2016

İnternet: Enerji Enstitüsü 2011. Dünya Enerji Kaynaklarının 100 Yıllık Ömrü Kaldı. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fenerjiensitusu.com%2F2011%2F05%2F23%2Fdunya-enerji-kaynaklarinin-100-yillik-omru-kaldi%2F&date=2016-07-25>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2016

İnternet: Makina, Erhan Dilaver. Buhar Türbinli Motor. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ferhandilaver.blogspot.com.tr%2F2014%2F12%2Fturbojet.html&date=2016-10-30>, Son Erişim Tarihi: 30.10.2016

İnternet: Goenergy, 2016a. Hidroelektrik. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgoenergy.com%2Fprojele%2Fhidroelektrik.html&date=2016-10-10>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2016

- İnternet: Goenergy, 2016b. Dalga Enerjisi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gooenergy.com%2Fprojeler.html&date=2016-10-10>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2016
- İnternet: Kubilay Ersun. Bir Kojenerasyon Tesisi İçin Fizibilite Çalışması. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dektmk.org.tr%2Fupresimler%2FEKUBILAY.pdf&date=2016-07-30>, Son Erişim Tarihi: 30.07.2016
- İnternet: Mehmet Kanoğlu, 2010. Enerji Verimliliği. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F157581-Enerji-verimliliği-ornek-projeleri.html&date=2016-11-16>, Son Erişim Tarihi: 16.11.2016
- İnternet: Maden Tetkik Arama. Jeotermal. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mta.gov.tr%2Fv2.0%2Fdair-baskanliklari%2Fenerji%2Findex.php%3Fid%3Dharitalar&date=2016-10-10>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2016
- İnternet: Elektrik Mühendisleri Odası[EMO], Mustafa SAĞLAM, Tanay Sıdkı UYAR . Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli . URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.emo.org.tr%2Fekler%2F20bb2d9a50d5ac1_ek.pdf&date=2016-07-25, Son Erişim Tarihi: 25.07.2016
- İnternet: TEİAŞ, 2015. Kurulu Güç Dağıtım. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.teias.gov.tr%2Fyukdagitim%2Fana_menu.htm&date=2016-07-30, Son Erişim Tarihi: 30.07.2016
- İnternet: Türkiye Jeotermal Derneği. JEOTERMAL ENERJİ. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.jeotermaldernegi.org.tr%2Fsayfalar-Dunya-da-Jeotermal&date=2016-11-20>, Son Erişim Tarihi: 20.11.2016
- İnternet: Akterm Mekanik. Mikrokojenerasyon. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aktermmekanik.com.tr%2Fhizmetler%2Fmicro-kojenerasyon&date=2016-10-31>, Son Erişim Tarihi: 31.10.2016
- İnternet: TÜİK. Dış Ticaret İstatistikleri. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tuik.gov.tr%2FPreTablo.do%3Falt_id%3D1046&date=2016-07-25, Son Erişim Tarihi: 25.07.2016
- İnternet: vikipedi, 2016d. Bitlis Harita. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki%2FAhlat%2C_Bitlis&date=2016-11-23, Son Erişim Tarihi: 23.11.2016
- İnternet: Vikipedi, 2016c. Buhar Türbini. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki%2FBuhar_t%25C3%25BCrbini&date=2016-10-25, Son Erişim Tarihi: 25.10.2016

- İnternet: Vikipedi, 2016a. Enerji Tüketimi . URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki%2FD%25C3%25BCnya_enerji_t%25C3%25BCketimi&date=2016-07-30, Son Erişim Tarihi: 30.07.2016
- İnternet: Vikipedi, 2016b. Geleneksel Rankine Çevrim. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki%2FRankine_%25C3%25A7evrimi&date=2016-10-30, Son Erişim Tarihi: 30.10.2016
- Kas, Ö. (2015). *Hizmet Binalarında Kojenerasyon ve Trijenerasyon Uygulamaları ve Optimizasyon*. Makina Mühendisleri Odası'nda sunuldu, Ankara.
- Öztop, H. F., Çıtlak, A. (2004). Yakıt pilli kojenerasyon sistemlerinin evsel ve ticari binalarda uygulamaları, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (82), 40.
- Öztürk, H., Kaya, D. (2014). *Kojenerasyon ve Trijenerasyon Tekniği*. (Birinci Baskı). Kocaeli: Umuttepe Yayınları, 3,63,140.
- Pehnt, M., Martin, C., Corinna, F., Barbara, P., Lambert, S., Katja, S. and Jan-Peter, V. (Eds.). (2006). *Micro Cogeneration Towards Decentralized Energy Systems*. (First Edition). Berlin: Springer, 1-36.
- Özden, H. ve Paul, D. (2011). *Organik Rankin Çevrim Teknolojisiyle Düşük Sıcaklıktaki Kaynaktan Faydalanılarak Elektrik Üretimi. Örnek Çalışma: Sarayköy Jeotermal Santrali*. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi'nde sunuldu, İzmir.
- Pravadalıoğlu, S. (2012). Kojenerasyon sistemleri ile yerinde enerji üretimi, *Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi*, (77), 25-26.
- Sancar, O. (2010). *Ticari Binalarda Uygulanan Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinin Teknoekonomik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 29,58.
- TBMM. (2007). Enerji Verimliliği Kanunu. *TC Resmi Gazete*. 26510, 02.05.2007.
- TBMM. (2005). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. *TC Resmi Gazete*, 25819, 18.05.2005
- TBMM. (2011). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. *TC Resmi Gazete*, 27809, 08.01.2011.
- TBMM. (2013). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik. *TC Resmi Gazete*, 28783, 02.10.2013.
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği. (2016). *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu*, 5,13.
- Ünal, A. N., Kayakutlu, G., Ercan, S. (2012). Üçlü güç üretim sistemlerinde ana güç üretim birimi seçimi için çok ölçütlü karar verme uygulaması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(9), 43.

EKLER

EK-1. LIEBHER G9512 doğalgaz motoru genel teknik özellikleri

General technical data		
Layout		V
Number of cylinders		12
Bore	mm	130
Stroke	mm	157
Cylinder capacity	l	25
Direction of rotation (facing the flywheel)		Left
Ignition sequence		1-12-2-11-3-10-6-7-5-8-4-9
Flywheel housing		SAE 1
Flywheel (number of teeth)	Z	137
Compression ratio	ϵ	13.3:1
Width (engine)	mm	1200
Length (engine)	mm	1550
Height (engine)	mm	1550
Weight (engine)	kg	2150
Mass moment of inertia	kgm^2	3.86
Piston velocity mean value	m/s	7.85
Minimum pressure before gas mixer	mbar	-20
Ignition pressure before turbo	mbar	-100
Max. exhaust gas back pressure	mbar	50
Motor oil capacity min / max	l	72/90
Cooling water capacity	l	65
Max. system pressure of cooling water min/max	bar	1 / 2.5
Cooling water recirculated quantity / min.	l/min	594
Cooling water-outlet temperature / min	°C	80
Cooling water-outlet temperature / max	°C	88
Temperature difference over engine (in-out max.)	K	5
Intake temperature max.	°C	35

EK-2. LIEBHER G9512 doğalgaz motoru 50 Hz için çalışma verileri

		TA-air			½ TA-air		
Power rate		100%	80 %	60 %	100%	80 %	60 %
Air ratio ca. (depending on gas quality and controls)	λ	1.74	1.7	1.66	1.76	1.73	1.71
Mix-temperature max.	°C	45	45	45	45	45	45
Ignition timing before top dead center	grad	16	16	16	16	16	16
Rated speed	min-1	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Max. rated power *)	kW	516	412	309	516	412	309
Max. torque	Nm	3289	2631	1973	3289	2631	1973
Brake mean effective pressure	bar	16.5	13.2	9.9	16.5	13.2	9.9
Consumption of lubricating oil	kg/h	0.10	0.08	0.06	0.10	0.08	0.06
Consumption of lubricating oil	g/Kwh	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Mechanical performance *)	kW	516	412	309	516	412	309
Colling water heat quantity (engine)	kW	185	170	145	178	166	151
Heat quantity of cooling water (intercooler HT-stage)	kW	62	46	23	76	49	24
Heat quantity of cooling water (intercooler LT-stage)	kW	41	23	10	45	27	16
Exhaust gas heat capacity 120 °C	kW	300	254	205	312	264	212
Combustible energy	kW	1237	1029	761	1283	1045	805

Degree of efficiency

Mechanical (indicated value)	%	41.7	40.1	40.7	40.2	39.5	38.4
Mechanical referred to DIN ISO 3046-1 **)	%	43.8	42.1	42.7	42.2	41.5	40.3
Thermic (indicated value)		44.2	45.6	49.0	44.2	45.9	48.0
Thermic referred to DIN ISO 3046-1 **)	%	47.3	48.8	52.5	47.3	49.1	51.4
Over-all efficiency (indicated value)	%	85.9	85.7	89.7	84.4	85.4	86.4
Engine over-all efficiency (shipment according to DIN ISO 3046-1 **)	%	91.1	90.9	95.2	89.5	90.5	91.7

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DONK, Mehmet
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 20.11.1987 / Soma - MANİSA
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 508 77 38
Faks : 0 (312) 508 77 99
e-mail : mdonk@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği (İngilizce)	-
Lisans	Ege Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2012
Lise	Nermin Mehmet Çekiç Anadolu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-	İller Bankası A.Ş.	Teknik Uzman Yardımcısı
2013	Sosyal Güvenlik Kurumu	Programcı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Programlama, Müzik, Yüzme, Futbol



İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ