İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

BELEDİYE KATI ATIKLARININ TERMAL YÖNTEMLERLE BERTARAFI TEKNOLOJİK VE EKONOMİK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih AVCI

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

HAZİRAN 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

BELEDİYE KATI ATIKLARININ TERMAL YÖNTEMLERLE BERTARAFI TEKNOLOJİK VE EKONOMİK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih AVCI
301131009

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Serdar YAMAN

HAZİRAN 2016

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301131009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Fatih AVCI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "BELEDİYE KATI ATIKLARININ TERMAL YÖNTEMLERLE BERTARAFI, TEKNOLOJİK VE EKONOMİK İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Serdar YAMAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Üner ÇOLAK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Haydar LİVATYALI Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 02 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 09 Haziran 2016

Aileme,

ÖNSÖZ

21. yüzyılın konvansiyonel enerji kaynakları açısından zor ve sıkıntılı geçtiği gözardı edilemeyen bir gerçektir. Bu sebeple ülkelerin enerji arz güvenliklerini sağlamak amacıyla özellikle yerli ve yenilenebilir kaynaklar ile kendi enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri büyük önem arz etmektedir. Yaşamın doğal ve kaçınılamaz sonucu olaran atık oluşumu günümüze kadar hep 'gözden uzak' anlayışıyla yapılmıştır. Esasında kontrollü bir atık yönetimi sayesinde iyi bir altyapı ve sistematik yaklaşımla oluşan atıkların kontrol edilmesi ciddi önem arz etmektedir. Bahsi geçen yönetim atık toplama, ayrıştırma, işleme ve bertaraf gibi temel olarak ele alınabilir. Burada kamu kuruluşları toplama işlemini yapmakta fakat diğer işlemler için ciddi bir yatırım ve işletme maliyeti gerektiği için bu sistemler ötelenmektedir. Özel sektör ve kamu işbirliği ile bu konuda da çalışmalar yapılarak özellikle enerji üretimi konusunda yol alınabilirliğin önü açıktır.

Gözler önünde günden güne dağ gibi büyüyen ve önemli miktarda kalorifik değeri olan bu enerji kaynağı biyokütleden maksimum oranda yararlanılmalıdır. Hem enerji üretimi hem de atık bertarafı olduğu için de çevresel etkileri de minimize eden bu tarz tesislerin yaygınlaştırılmasının sağlanması zorunlu hale getirilmelidir.

Bu çalışmada Marmara Bölgesinin doğusunda yer alan bir belediyeye ait katı atık analizinden yola çıkarak, bir 'Katı Atık Yakma Tesisi'nin temel olarak hangi teknolojiler ile yapılabileceği, bu teknolojilerin neye göre seçilmesi gerektiği, temel mühendislik hesaplamaları, yatırım maliyeti, nakit akışları, yatırım ve proje finansmanı için değerlendirme kıstasları hesaplanmış ve gösterilmiştir.

Bu çalışmamı yöneten, her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzünü benden esirgemeyen, değerli hocam Sn. Prof. Dr. Serdar Yaman'a teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarımın yanında özellikle 'mühendislik yaklaşımı' ve 'mühendislik bakış açısı' konusunda üzerimde çok emeği olan üst düzey yönetici ağabeyim Sayın Ataman Kabaran'a, belediye katı atık içeriği deneysel sonuçlarını benimle paylaşan Sayın Ozan Aydın'a ve tüm hayatım boyunca bana her türlü desteği sağlayan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2016

Fatih AVCI
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ixx**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xviivii**
ÖZET ..... **xixix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
1.2 Literatür Araştırması 1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ELEKTRİK ENERJİSİ PİYASASI **3**
2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çeşitleri 3
2.1.1 Rüzgar enerjisi 3
2.1.2 Güneş enerjisi 3
2.1.3 Hidrolik enerji 4
2.1.4 Jeotermal enerji 4
2.1.5 Biyokütle enerjisi 5
2.2 Türkiye Elektrik Enerjisi Piyasası 5
2.2.1 Genel bakış 6
2.2.2 Talep gelişimi 9
2.2.3 Kurulu güç ve enerji üretimi 9
2.2.4 Elektrik fiyatları ve YEKDEM 11
3. TEZ KONUSU VE DETAYLI ÇALIŞMA **15**
3.1 Biyokütle Nedir, Biyokütle Sınıflandırması 15
3.2 Biyokütle Kaynakları 16
3.2.1 Bitkisel kaynaklar 16
3.2.2 Hayvansal kaynaklar 16
3.2.3 Katı atıklar 16
3.3 Katı Atık ve Katı Atık Yönetimi Tanımı 16
3.4 Katı Atık Hiyerarşisi 20
3.4.1 Önleme 20
3.4.2 Azaltma 20
3.4.3 Tekrar kullanım 20
3.4.4 Geri dönüşüm 21
3.4.5 Geri kazanım 21
3.4.6 Depolama & Bertaraf 21
3.5 Entegre Katı Atık Yönetimi 22
3.6 Bertaraf Etme Yöntemleri 23
3.6.1 Depolama 24
3.6.1.1 Düzensiz depolama 24

3.6.1.2 Düzenli depolama 25
3.6.2 Biyolojik sistemler ve biyometanizasyon 28
3.6.3 Termal sistemler 30
3.6.3.1 Piroliz 30
3.6.3.2 Gazlaştırma 31
3.6.3.3 Yakma 34
3.6.3.4 Termal yöntemlerin kıyaslanması ve "Yakma" sisteminin seçilmesi 35
4. BELEDİYE KATI ATIK YAKMA TESİSİ İNCELENMESİ 37
4.1 Hukuki İnceleme 37
4.1.1 Elektrik üretim lisansı 37
4.1.2 Katı atık bertaraf lisansı 39
4.1.3 Çevre etki değerlendirme raporu 39
4.2 Mühendislik İncelemesi 39
4.2.1 Yakıt bileşeni analizi 39
4.2.2 Enerji üretim ve temel ekipman hesaplamaları 40
4.2.3 Buhar türbini teknolojisi ve seçimi 43
4.2.3.1 Impuls türbini 44
4.2.3.2 Reaksiyon türbini 44
4.2.3.3 Yoğuşmalı türbinler 45
4.2.3.4 Geri basınçlı türbinler 46
4.2.3.5 Buhar kullanımına göre türbin seçimi 46
4.2.4 Kondenser hesabı 47
4.2.5 Baca gazı temizleme sistemleri 48
4.2.6 Tedarikçi araştırma ve uygun ekipmanların seçilmesi 52
4.3 Ekonomik İnceleme 53
4.3.1 Temel ekipman fiyatları 54
4.3.2 Nakit akışı, IRR ve ROI hesabı 55
4.3.3 Kredi aylık ve yıllık ödeme tabloları 56
4.3.4 Genel finansal sonuçlar 57
5. SONUÇLAR 59
5.1 Katı Atık Bertaraf Tesisi Genel Özeti 59
5.2 Değerlendirme ve Öneriler 60
5.3 Türkiyenin Biyokütle Projeksiyonu 61
KAYNAKLAR 63
EKLER 67
ÖZGEÇMİŞ 73

KISALTMALAR

C : Char(karbon içerikli katı)
CH_4 : Metan
CO : Karbon monoksit
CO_2 : Karbon dioksit
C_{6n} (H_2 O)$_{5n}$: Biyokütle temel bileşimi
EİE : Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK : Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
EÜAŞ : Elektrik Üretim Anonim Şirketi
H_2 : Hidrojen
H_2O : Su
IRR : İç Verim Oranı (internal rate of return)
kV : Kilovolt
kW : Kilowatt
kWh : Kilowat-saat
LFG : Landfill gas – Çöpgazı
MJ : Mega-joule
MW : Megawatt
MWh : Megawatt-saat
NO_x : Azot oksit
RDF : Refused Derived Fuel
ROI : Geri Dönüş Süresi (return of investment)
SO_x : Kükürt oksit
TEAŞ : Türkiye Elektrik İşleri Anonim Şirketi
TEDAŞ : Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEK : Türkiye Elektrik Kurumu
TETAŞ : Türkiye Elektrik Ticaret Anonim Şirketi
YEK : Yenilenebilir Enerji Kaynağı
YEKDEM : Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

SEMBOLLER

Cp	**:** Özgül ısı
$\underline{h}$	**:** Entalpi
h	**:** Saat
kg	**:** Kilogram
$\dot{m}$	**:** Kütlesel Debi
Nm^3	**:** Normal metreküp
s	**:** Entropi
sn	**:** Saniye (zaman)
$\dot{w}$	**:** Güç
η	**:** Verim
ΔT	**:** Sıcaklık farkı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kaynaklara bağlı olarak Türkiye kurulu gücü. 10
Çizelge 2.2 : Elektrik fiyatına etki eden faktörler. 12
Çizelge 2.3 : Yenilebilir enerji destekleme fiyatları 13
Çizelge 3.1 : AB-Ulusal katı atık mevzuatı. 19
Çizelge 3.2 : Termal sistemlere genel bakış. 35
Çizelge 4.1 : YEKDEM fiyatları. 38
Çizelge 4.2 : Katı atık örneği içeriği. 40
Çizelge 4.3 : Rankine çevrimi noktaları ve özellikleri. 42
Çizelge 4.4 : Impuls-reaksiyon türbin kıyaslaması 45
Çizelge 4.5 : Yoğuşmalı-geribasınçlı türbin kıyaslaması. 46
Çizelge 4.6 : Ithal kömür ve doğalgaz buhar kıyaslaması. 47
Çizelge 4.7 : Tam ve eksik yanma sonucu meydana gelen ürünler ve özellikleri. 50
Çizelge 4.8 : Ekonomik kabuller.. 53
Çizelge 4.9 : Ekipman fiyatları. 54
Çizelge 4.10 : Proje nakit akışı. 55
Çizelge 4.11 : Proje değerlendirme kriterleri. 56
Çizelge 4.12 : Kredi ödeme tablosu. 56
Çizelge 4.13 : Finansal sonuçlar. 57
Çizelge 5.1 : Yatırım değerlendirme temel değerleri. 59
Çizelge A.1: Finansal tablolar. 68
Çizelge A.2: Alınan teklif. 69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Türkiye Elektrik Kurumları yıllara bağlı yapılandırılması. **7**
Şekil 2.2 : Türkiye EDAŞ bölgeler haritası. 8
Şekil 2.3 : Yıllara bağlı elektrik enerjisi tüketimi [15]. 9
Şekil 2.4 : Kurulu gücün yıllara ve kaynaklara bağlı incelenmesi. 10
Şekil 2.5 : Kurulu Güç oransal olarak dağılımın gösterilmesi. 11
Şekil 2.6 : Elektrik tarife fiyatı bileşenleri ve fiyatın oluşması. 12
Şekil 3.1 : F.sentez ve biyokütle temelini oluşturan hidrokarbon denklemi [22] 15
Şekil 3.2 : Entegre katı atık yönetimi hiyerarşisi [2]. 19
Şekil 3.3 : Entegre katı atık yönetimi akış diyagramı [26]. 23
Şekil 3.4 : Şehir çöplüğü düzensiz depolama örneği [27]. 24
Şekil 3.5 : Şehir çöplüğü düzenli depolama sızdırmaz membranı [29]. 26
Şekil 3.6 : Düzenli depolama sahası görünümü [30]. 27
Şekil 3.7 : Kemerburgaz düzenli depolama ve enerji üretim tesisi [31]. 28
Şekil 3.8 : Biyometanizasyon işlemi temel anlatımı [33]. 30
Şekil 3.9 : Gazlaştırma prosesi ve ürünleri [36]. 32
Şekil 3.10 : Gazlaştırıcıların şematik gösterimi [38]. 34
Şekil 3.11 : Amsterdam belediye katı atık yakma tesisi [39]. 36
Şekil 4.1 : Yakma tesisi Rankine çevrimi T-S diyagramı. 42
Şekil 4.2 : Yakma tesisi temel ısı – kütle dengesi. 43
Şekil 4.3 : Impuls türbini kanaçıkları ve kesiti [44]. 44
Şekil 4.4 : Reaksiyon türbini kanatçıkları ve kesiti [44]. 44
Şekil 4.5 : Impuls ve reaksiyon türbinleri buhar basınç ve hız grafikleri [45].. 45
Şekil 4.6 : Ara buhar almalı buhar türbini. 46
Şekil 4.7 : Su soğutmalı kondenser. 48
Şekil 5.1 : Türkiye enerji tüketim projeksiyonu, TEİAŞ [47]. 61

BELEDİYE KATI ATIKLARININ TERMAL YÖNTEMLERLE BERTARAFI TEKNOLOJİK VE EKONOMİK İNCELENMESİ

ÖZET

Dünyada ve ülkemizde, tükenmekte olan enerji kaynaklarının korunması ve sürdürelebilir büyüme için, yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Öte yandan, artan şehirlesme ile birlikte, evsel ve endüstriyel atıkların bertarafı da önemli bir çevresel sorun haline gelmiştir. Biyokütleden enerji üretimi, her iki sorunun çözümüne katkıda bulunabilecek olması nedeni ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ayrı bir yere sahiptir. Çalışmamızın ilk kısmında yenilebilir enerji kaynakları çok temel olarak tanıtılmış olup, Türkiye'de kaynak bazlı enerji kurulu güçleri, enerji fiyatları oluşumu ve destekleme mekanizmaları hakkında temel bilgi verilmiştir.

Çalışmamızın temeli olan katı atık konusunda uygulanan katı atık yönetimi hiyerarşisi anlatılmıştır. Bu hiyerarşinin üst basamağı depolamadır. Bu sebeple günden güne artan katı atık miktarı için düzenli depolama sahaları günden güne dolmakta, yeni saha arama çalışmaları ve yeni yer işgalleriyle sonuçlanmaktadır. Düzenli atık depolama tesisleri yerine yapılacak olan katı atık bertaraf tesisi ile hem kullanılabilir katı atıklar ayrıştırılacak hem de kalan yüksek kalorifik değerli yakıtın (RDF, Refuse-Derived Fuel) termal bertarafı ile de enerji üretimi gerçekleştirilecektir. Bir biyokütle olan bu yakıt 0,133 USD/kWh'den YEKDEM kapsamında elektrik satışı gerçekleştirecektir.

Biyokütlenin biyolojik ve termal bertaraf yöntemleri incelenmiştir. Biyolojik yöntem olan biyometanizasyon sonucu katı atık depolama sahası içerisinde ciddi miktarda metan gazı alınmış katı atık içermekte olup saha tekrar kullanılamayacaktır. Termal yöntemlerde ise piroliz, gazlaştırma ve yakma işlemleri anlatılmıştır. Temel olarak teknolojileri tanıtılmış olup, diğerlerine göre daha bilinir ve ilk yatırım maliyeti diğerlerinden düşük olan yakma sistemi seçilerek mühendislik hesaplamaları yapılmıştır. Bu yöntemde katı miktarlarında hacimce %80-90 azalma elde etmek mümkündür. Çıkan kül ise dolgu malzemesi olarak kullanılabilecektir.

Atıktan enerji üretim tesisi, öncelikle hukuki boyutu ele alınmış, tesisin operasyona geçebilmesi için gerekli ve zorunlu olan elektrik üretim lisansı, katı atık bertarafı lisansı ve çevre etki değerlendirme raporları gerekliliği incelenmiş ve gösterilmiştir. Mühendislik yaklaşımı ise temelde buhar kazanı, buhar türbini, kondenser ve diğer ekipmanlardan oluşacaktır. Buhar türbininde buhar çekiş durumuna göre ekonomik açıdan analiz yapılmış olup, türbin tipine karar verilmiştir. Soğutma suyu tedariğine göre analiz yapılmış olup, kondenser tipi belirlenmiştir. Temel mühendislik hesaplamaları ideal Rankine çevrimi doğrultusunda yapılmıştır. Finansal olarak incelenen bu yatırım, ürettiği elektriğin tamamen satışı kabulü yapılarak, nakit akışları ve kredi ödemeleri hesaplanmış, tablolarda gösterilmiştir. Yatırım değerlendirme kriterleri olan yatırım geri dönüş süresi (RoI) ve iç verim oranı (IRR) hesaplanarak yatırımın yapılabilirliği gösterilmiştir.

Bütün bu inceleme ve hesaplamalar sonucunda yatırım feasible görünmekte olup, farklı konularda getirilen öneriler ve yapılacak iyileştirmeler sonucunda ciddi bir tesis olacak ve büyük bir sorun olan katı atıklar konusunda çözüm aracı olacaktır.

THERMAL DISPOSAL METHODS OF MUNICIPAL SOLID WASTES TECHNOLOGICAL AND ECONOMICAL WAY

SUMMARY

Nowadays, the importance of renewable energy sources is increasing day by day because of the endangering fosil energy sources and sustainable growth. On the other hand, disposal of domestic and industrial waste has become a major environmental problem with increasing urbanization. Energy generation from biomass has a crucial place from other renewable energy sources because it may solve both problems.

In the first part of this study, renewable energy sources are basically introduced and basic information about resource based installed capacity in Turkey, the general information about energy sector and energy market mechanisms in Turkey through years. Then electricity price formations are shown and renewable energy dupport mechanisms and feed-in tariffs are given.

First, the hierarchy of solid waste management has been explained. One of the fundementals, now supported by laws, for Turkey and European Country waste management has been the concept of a waste management hiearchy, where the most covetable option is preventing waste in the first place (not produce the waste) and the least covetable option is to dispose of the waste to landfill without any recovery of either energy or recycled materials. Therefore, landfill fields are filling up day by day because of the increasing amount of solid waste. Moreover, new storage fields are needed and exploration new places. Between these different two choices, there are a wide variety of waste treatment options that may be used as part of a waste management strategy to recover materials (for example furniture reuse, glass recycling or organic waste composting) or generate energy from the wastes (for example through incineration, or digesting biodegradable wastes to produce usable gases).

The top step of the hierarchy is storage. Solid waste incineration facilities can be built instead of regular waste storage areas. After separation, high calorific valued RDF(refused derived fuel) can be burned and produced energy. This fuel is classified as a “biomass” and this electricity has fixed feed-in tariff with 0.133 USD/kWh.

Biological and thermal disposal methods of biomass have been examined. The result of biometanization, which is one of the biological methods, there is a considerable amount of solid waste which methane degassed in the storage areas. So storage field will not be used again. Pyrolysis, gasification and incineration are described as thermal methods.

Incineration is an effective approach to diminish the waste volume and to reduce the landfill space. Incineration plants can be located near the center of gravity of waste generation, therefore reducing the expense of waste transportation. Utilizing the ash from MSW incinerators for ecologically suitable development gives a minimal effort total as well as further lessens the requirement for landfill space. Specifically, incineration of waste containing heavy metals thus on ought to be avoid to keep up an appropriate slag quality. Nonetheless, standard family waste contains little measures

of substantial metals which do not promptly filter under field conditions. The nature of waste ought to be checked before it is used. Energy can be recovered for energy or hear production. All waste disposal methods decay organic materials into simple carbon molecules, for example, CO_2 (carbon dioxide) and CH_4 (methane) at the end. The balance between these two gasses and frame of time for the responses varies by alternative. Incineration gives the most ideal approach to eliminate methane gas discharges from waste management systems. Besides, energy from waste projects gives a substitute to fossil fuel combustion. These are two ways incineration plants help to reduce greenhouse gas emissions. One of the important features of incineration process is that it can be reduced the first volume of combustibles by 80 to 95 percent. Air pollution control remains a major issue in the implementation of incineration of solid waste disposal. In the United States, the expense of best available technology for the incineration facility may be as high as 35 percent of the investment cost. The cost of control systems will, rely on the air pollution regulations existing in a given lesser developing countries. Waste incineration may be valuable when a landfill cannot be sited as a result of an absence of suitable sites or high costed long haulage distances.

The Energy Sector, Incineration of MSW is blazingly more costed than controlled landfilling. For a plant to be feasible in financial, costs must be minimized through sales of energy recovered. The essential concern is the end use of the energy produce: region heating, steam, power, or any combination. In this manner, the characteristics of the energy sector have an essential role while considering a MSW incineration plant. Energy sales as in hot water for locale warming purposes - or specifically cases, low pressure steam to large scale industrial consumers near plant, provide for sufficient contracts and guarantees can be arranged - minimizes plant construction expenses and recovers a high rate of energy. Sales of combined power and heat or steam results in a level of energy recovery that is not higher, but the cost and the complexity of the plant are increased. The energy sector is frequently regulated by governmental organizations. Concession to produce and sell power is generally granted to a limited number of public and private operators. An incineration plant set up by another authority or a private organization may experience challenges before gaining the aggrements and approvals. Early co-operation with the end user organizations is accordingly useful. It is most possible when the power can be sold to one customer for its own use or resale again. For instance, the customer might be a electricity distrubution service organization with an existing grid system. Cost of energy is frequently subject to tax collection or are partly subsidized. Pricing may be a political issue requiring a governmental issue. Likewise, in most developed countries, energy costs are controlled by fiscal measures to support power generation based on biomass fuels. Political and socio-economic considerations play an imperative role when fixing the cost of the power that produced by waste. A high price resulting in a reduction of the waste fee favors the waste sector, but low energy prices favor the energy consumers.

Then, legal aspects of waste to energy plant are diccussed. After that electricity production license, licensing of disposing of waste, and environmental impact assessment reports, which are compulsory to operate the power plants in Turkey energy sector, were shown. The engineering approach will consist of steam boiler, steam turbine, condenser and other equipments. The turbine type has been decided according to the condition of steam extraction with economical calculations. According to supply of cooling water condenser type has been determined. Basic engineering calculations have been made according to ideal Rankine cycle. The

investment is evaluated in financial project calculations. Cash flow and installments were calculated and shown in the tables with sales of all produced electricity. Investment is evaluated with return on investment (ROI) and internal rate of return (IRR) and this power plant investment seems feasible.

As a result, this incineration plant investment seems feasible. Morever this plant solves the solid waste storage problems. In this effective plant the renewable and local fuels are used and security of energy supply problem is solved. With this renewable fuel more clean and efficient electricity is produced.

1. GİRİŞ

Katı atıkların, temel olarak günlük aktiviteler sonucunda ortaya çıkan paket, ambalaj, yemek artıkları, gazeteler, teçhizatlar, boyalar ve piller gibi toplum sağlığı üzerine negatif etkileri olan maddeler, teknik koşullar altında toplanması, taşınıp yok edilmesi ve zararsız hale getirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda sürekliliği sağlandığı takdirde yenilenebilir enerji olarak kabul edilen bu yakıttan elektrik enerjisi üretimi mümkündür.

Ülkemizin elektrik kurulu gücünde fosil ve dışa bağımlı kaynaklar önplanda olup özellikle yenilenebilir enerji yatırımlarında ciddi ivme kazanmak gerekmektedir. Elektrik enerjisi fiyat oluşumları ve yenilenebilir enerji destek mekanizmaları ile desteklenen bu elektriğin devlet tarafından alım garantisi bulunmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Günümüzde gözle görülür miktarda artan tüketim hızı paralelinde ortaya çıkan atık miktarı da artmaktadır. Bu çıkan atıklar için depolama alanları günden güne kapasitelerini doldurmakta, farklı yöntemler aranmaktadır. Bu sebeple tezimizde katı atık bertaraf yöntemlerini inceleyip, seçilen yakma teknolojisi ile tasarlanan bir tesisin temel hesaplamaları, ekipman seçimleri, enerji üretim projeksiyonları ve finansal ve ekonomik değerlendirmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Tezimizin amacı, katı atık enerji üretim tesislerinin temel anlamda tasarım ve kapasite kriterleri ile birlikte bütçesel olarak yatırımı ve finansal modeli hesabında yol göstermesi istenmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Katı atık konusu gün geçtikçe önemini artıran bir konu olup, özellikle akademik alanda ve özel sektörde ciddi araştırma geliştirme çalışmaları yapılmakta olup, gün geçtikçe yüksek verimli teknolojiler kullanılarak katı atık bertarafı işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Dr. M.Tolay yapmış olduğu çalışmada "katı atıklardan ve biyokütleden enerji üretim teknolojileri" üzerine özellikle gazlaştırma prosesi konusunda detaylı bilgi aktarmış olup, temel gazlaştırma tesisi teknik ve ekonomik incelemeleri yapmıştır [1].

A.Kemirtlek ve İSTAÇ A.Ş. yaptığı çalışmada, "evsel katı atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul'a uygulanabilirliği" konusunda Türkiye Katı Atık Yönetimi sempozyumunda yapılan teknik sunumunda da genel olarak termal bertaraf yöntemleri anlatılmış olup birbiriyle kıyaslanmıştır [2].

B.Dogru tarafından yapılan "yakma ve düzenli depolama yönetmeliklerinin enerji sektörüne etkileri" konulu sunumunda ise özellikle yakma tesisleri için gerekli asgari şartlar açıklanmıştır [3].

R.Brown tarafından yayımlanan "Thermochemical Processing of Biomass" adlı kitapta biyokütlenin pirolizi işlemi detaylı olarak anlatılmış, karbonhidrat parçalanmaları ve temel yakıt üretimi ve enerji üretim hesaplamaları verilmiştir [4].

A.Işık tarafından yapılan "katı atık tesislerinde organik atıklardan üretilen depo gazından enerji üretimi" konulu yüksek lisans tez çalışmasında ise detaylı olarak biyometanizasyon işlemi anlatılmıştır [5].

K.Darrow ve Ç.A.(çalışma arkadaşları) tarafından yapılan çalışmada kojenerasyon sistemlerinde kullanılan buhar türbinleri ve teknolojileri tanıtılmıştır. Türbin tiplerinin kullanım alanlarına etkisi anlatılmıştır [6].

A.Buekens tarafından yayımlanan "Incineration Technologies" adlı eserde belediye katı atıkları yakma teknolojisi üzerinde detaylı bir çalışma yapılmış, özellikle yakma sistemi tasarımı ve yakma sistemi seçimi konusu detaylı olarak anlatılmıştır [7].

G.W.Rae tarafından yayımlanan "Waste Incineration and Environment" adlı eserde yakma tesisleri ve emisyonları hakkında yapılan çalışmalar anlatılmış ve emisyon kontrolü üzerine yapılan sistemler tanıtılmıştır [8].

N.Osgood tarafından yayımlanan "Tools for Project Evaluation" adlı sunuda ise temel ekonomik değerlendirme kıstasları açıklanmış ve önemli kriterlerden olan IRR ve ROI hesaplamaları anlatılmıştır [9].

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ELEKTRİK ENERJİSİ PİYASASI

Yenilenebilir enerji literatürde birkaç farklı şekilde tanımlamaktadır. İlk tanımında, doğal hayatta sürekli ve birbirini tamamlayacak biçimde, periyodik olarak oluşan akımlardan elde edilecek enerjinin yenilenebilir enerji olduğu ifade edilebilir. Bir diğer tanımında ise tükenme hızı üretim hızından düşük olan kaynaklara dayanan enerjidir diyebiliriz. Daha somut bir ifade ise, insan ömrü kadar bir sürede ya da en fazla 100 yıllık bir süreçte yeniden yerine konabilen kaynakları yenilenebilir olarak kabul etmektedir.

2.1.Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çeşitleri

2.1.1. Rüzgar enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en bilineni olan rüzgâr enerjisinden tarih boyunca, gemilerin mekanik tahrik araçlarına ihtiyaç duymadan hareket ettirilmesinden yel değirmenlerinin kullanılmasına kadar çeşitli şekillerde yararlanılmıştır. Günümüzde kişi başı elektrik tüketiminde meydana gelen hızlı artışın karşılanabilmesinde rüzgâr enerjisi özellikle sürekliliği sayesinde önemli bir rol üstlenmektedir. Rüzgâr enerjisi teknolojisi olarak ifade edilen çalışmalar, genel olarak elektrik enerjisi üretmek amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, rüzgâr enerjisinden elektrik elde edilmesini, "günümüz teknolojisi" uygulamaları olarak değerlendirmek mümkündür. Rüzgâr türbinleri, bu teknoloji içindeki temel yapıyı oluşturmakta olup, havanın hareket enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren sistemlerdir. En temel sistemde; pervane kanatları, pervane göbeği ve pervane milinden oluşan sisteme türbin denilmektedir [10].

2.1.2. Güneş enerjisi

Güneş, yaydığı yüksek miktardaki ısı ve ışık enerjisi ile dünyamızın hem ısınması hem de aydınlanması konusunda önemli bir rol almaktadır. İnsanoğlu, Güneş'in bu sonsuz özelliklerinden yararlanmakta gecikmiş olsa da özellikle 21. yüzyılda yapılan araştırmalar ve yürütülen çalışmalar gelecek için umut verici niteliktedir.

Güneş'in çekirdeğinde yer alan ve hidrojen gazını helyuma dönüştüren füzyon tepkimesi sonucunda oluşan bu enerji çok güçlü bir enerji kaynağıdır. Bu tepkimede açığa çıkan enerji, radyasyon yoluyla yayılmaktadır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü, insanlığın bütün enerji gereksinimini fazlasıyla karşılayabilecek miktardadır.

Temel olarak bu yaklaşımla değerlendirilen güneş enerjisinden, son 30 yıldır gerek doğrudan gerekse dolaylı elektrik enerjisi üretimi, sıcak su elde edilmesi, alan (hacim) ısıtma ve soğutma, sanayi kuruluşları için ısı enerjisi ve seraların ısıtılması gibi birçok konuda yararlanılmaktadır [10].

2.1.3. Hidrolik enerji

Suyun belli bir yükseklikte ihtiva ettiği mevcut potansiyel enerjisinin geliştirilen sistemlerle kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen enerjiye hidrolik enerji denilmektedir. Belli bir seviyede tutulan suyun kanallar ve cebri borular ile daha düşük seviyeye indirilmesiyle açığa çıkan kinetik enerjinin türbinlerin dönmesini sağlamasıyla mekanik enerji elde edilmektedir. Türbinin arkasına akuple edilen generatör ile de elektrik enerjisi üretilmektedir. Hidrolik enerjinin varlığı akarsu ve nehirlere dolayısıyla yağışlara bağlıdır. Bu sebeple, hidrolik enerji, iklim şartlarındaki değişimlerin etkisinin en hızlı görüldüğü enerji türüdür. Fakat genel olarak hidroelektrik santraller, diğer santraller ile karşılaştırıldığında en düşük işletme maliyetine, en uzun işletme ömrüne ve en yüksek verime sahiptir [10].

2.1.4. Jeotermal enerji

Yerküre merkezi kaynaklı ısı enerjisi olarak ifade edilen jeotermal enerji, yer kabuğunun derinliklerinde oluşan ısı enerjisi ve farklı kimyasallar içeren sıcak su, su buharı ve gazlardan meydana gelmektedir. Doğrudan veya dolaylı olarak bu kaynaklardan faydalanılması ise jeotermal enerji olarak tanımlanabilir. Fosil yakıtlara göre hava kirliliğine olan etkileri minimum düzeyde olduğu için çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Jeotermal kaynakların elektriksel güç üretiminde ve doğrudan ısıtma uygulamalarında kullanılmasıyla enerji temini sağlanır. Ayrıca binalarda ve endüstride jeotermal ısı pompalarının kullanılması ile de elektrik ve doğalgaz tasarrufu sağlanmaktadır.

Yeraltında ısınan jeotermal akışkan üretim kuyusundan yeryüzüne ulaşır ve bu enerji santralde kullanılır. Üretim kuyusundan elde edilen akışkanın fazı ve özelliklerine bağlı olarak, yüzeyde kullanılacak tesisin türü seçilir. Çevre duyarlılığı ve meteorolojik koşullar nedeniyle de akışkan olarak suyun kullanımı tesisin tasarımını etkilemektedir. Tesislerdeki en büyük amaç ise ekonomik bir şekilde mümkün olan maksimum elektriksel veya termik gücü elde etmektir [10].

2.1.5. Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerji kaynağı, güneş kaynaklı olan ve ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddelerdir. Biyokütle enerjisi ise bu kaynaklardan üretilen enerji olarak tanımlanmaktadır.

Biyokütle enerji kaynakları; ısıtma, yakıt ve elektrik enerjisi üretimi gibi birçok amaçla kullanılabilmektedir. Biyoenerji terimi, biyokütle kullanılarak elektrik veya ısı üreten sistemleri, biyoyakıt terimi ise, biyokütleden elde edilen katı, sıvı ve gaz yakıtları ifade etmek için kullanılmaktadır.

Günümüzde modern sayılabilecek biyokütle enerji kaynakları, enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji tarımı ürünleri, tarım kesiminin bitkisel artıkları ve hayvansal atıkları, kentsel atıklar ve tarımsal endüstri atıkları biçiminde sıralanmaktadır. Bu kaynaklardan, ağırlıklı olarak taşıtlar için biyoyakıt elde edilirken, söz konusu biyoyakıtlardan ısı veya elektrik enerjisi üretiminde de yararlanılması mümkün olmaktadır [10].

Biyokütle enerji kaynakları, uzun yıllardır ısı enerjisi (ısıtma, pişirme vb.alanlarda) elde edilmesinde kullanılmaktadır. Buna karşın, yeni yöntemlerle birlikte sadece ısı değil, elektrik enerjisi üretiminde de biyokütlelerden yararlanılması mümkün hale gelmiştir.

2.2. Türkiye Elektrik Enerjisi Piyasası

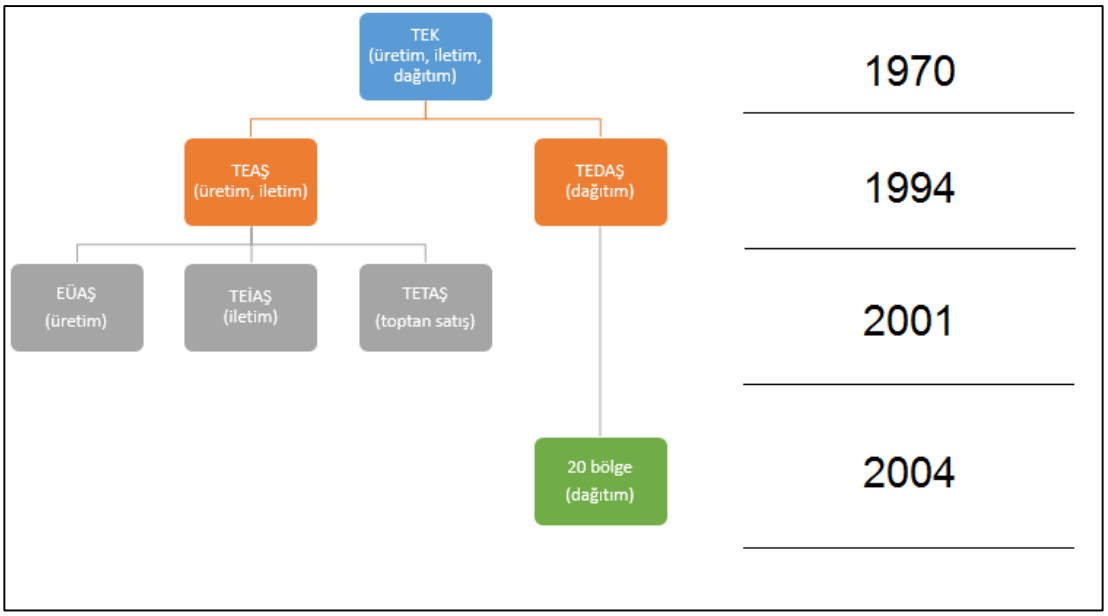
Her türlü ekonomik ve sosyal faaliyetin temel taşı durumunda olan elektrik enerjisi girdisi gün geçtikçe artmakta ve önem kazanmaktadır. Elektrik enerjisi tüketim miktarı ekonomik ve sosyal bir gösterge niteliği taşımakta olup, kişi başına tüketilen elektrik enerjisi miktarı(kwh/capita) da ülkedeki hayat standartları hakkında temel bilgi vermektedir.

Özellikle büyüme ve sanayileşme süreci devam etmekte olan ülkemizin nüfus artışıyla da paralel olmak üzere ortaya çıkan kentleşme ve sanayileşme elektrik enerjisine olan talebin artması ile karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple, ülkemizde hayat standardının yükselmesi, elektrik enerjisi talebinin giderek artmasına neden olmaktadır [11].

2.2.1. Genel bakış

Türkiye'de elektrik enerjisinin tarihi 20. yüzyılın başlarında, 1902'de Tarsus'ta bir su değirmenine bağlanan 2 kW gücünde bir dinamoya kadar uzanmaktadır. Santral kabul edilebilecek ilk yatırım ise 1913 yılında İstanbul'da tamamlanmıştır. Sonrasında, 1935 yılında aralarında hala varlığını sürdüren Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)'nin de bulunduğu üretim amaçlı birçok kamu kuruluşu oluşturulmuştur. 1950'li yıllarda ise kamu ve özel kuruluşlar tarafından büyük ölçekli enerji santrallerinin inşası süreci başlamıştır. Cumhuriyetin ilk dönemlerinde merkezi yatırımlara öncelik verilmiş olup 1970'li yıllara gelindiğinde köylerin sadece %7'si elektriğe kavuşturulabilmiştir. Sektördeki eksiklikleri giderebilmek amacıyla 1970 yılında çıkarılan 1312 sayılı yasa uyarınca Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurularak elektrik piyasası faaliyetleri tek bir çatı altında toplanmıştır. TEK döneminde hızlandırılan çalışmalar sonucunda, 1982'ye gelindiğinde elektrifikasyonu tamamlanmış köylerin toplamdaki oranı %61'e yükselmiştir. Bugün ülke nüfusunun %99,9'unun elektrik enerjisine erişimi sağlanmış durumdadır [12].

Avrupa Birliği'ne giriş çalışmaları ve rekabetçi bir piyasa ortamının yaratılması hedefine paralel olarak elektrik piyasasını liberalleştirme çalışmaları 1980'lerde başlamıştır. Bu çerçevede 1993 yılında TEK 513 sayılı yasa ile özelleştirme kapsamına alınmıştır. Bu yasanın sonucu olarak TEK ikiye bölünerek Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) isimli kamu teşekkülleri kurulmuştur. 2001 yılına gelindiğinde ise Avrupa Birliği müktesebatına uyum programının bir parçası olan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kabul edilmiş ve bu kanunun uygulamasına zemin oluşturabilmesi amacıyla bu defa TEAŞ üçe bölünerek Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ), anonim şirket statüsünde iktisadi devlet teşekkülü olarak yapılandırılmıştır. Bu sayede Şekil 2.1'de de gösterildiği gibi elektrik piyasası üretim, iletim, dağıtım ve ticaret faaliyetleri ayrıştırılmıştır.



Şekil 2.1 : Türkiye Elektrik Kurumları yıllara bağlı yapılandırılması.

Kanunla, piyasada gösterilecek herhangi bir faaliyet için lisans alma zorunluluğu getirilmiş ve lisans alınan ve piyasayı yöneten makam olarak Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) belirlenmiştir. Lisanslar 6446 sayılı kanunla üretim, iletim, dağıtım, toptan satış, perakende satış, piyasa işletim faaliyeti, ithalat ve ihracat grubu olarak 8 farklı grupta düzenlenmiştir. Kurumdan alınacak lisans süreleri en az 10 yıl en fazla 49 yıl olacak şekilde belirlenmiştir [13].

Yıllar içerisinde artan nüfus ve gelişen Türkiye ile birlikte kurulu güç ihtiyacı da hızlı bir artış göstermiştir. Artan ihtiyacı karşılamak üzere kurulan yeni üretim tesislerinin inşası ile kurulu güç 1950'lerin başında 408 MW, 1970'lerde 2.325 MW, 1990'da 16.317 MW'a ulaşmıştır. Türkiye'nin toplam kurulu gücü 2015 sonunda TEİAŞ verilerine göre 73.147 MW'ı aşmış bulunmaktadır. 2015 yıl sonu itibariyle, EÜAŞ'ın kurulu güçteki payı yaklaşık %28 mertebelerindedir.

Güç santrallerinde üretilerek kullanıma sunulan elektrik enerjisi çeşitli kaynaklardan temin edilmektedir. Türkiye büyük miktardaki düşük kaliteli linyit kömürü rezervleri ve önemli hidroelektrik potansiyeline sahip bir ülkedir. Türkiye'de elektrik üretiminde kullanılan diğer bir önemli yakıt da doğalgazdır. Ülkedeki doğalgaz santralleri zaman zaman %50'yi aşan oranlarda toplam elektrik üretimine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca son yıllarda birçok yatırımcı tarafından rüzgâr ve küçük kapasiteli hidroelektrik santral projeleri tamamlanarak devreye alınmıştır.

Santrallerde üretilen elektrik, transformatörlerle 154 kV veya 380 kV gerilim seviyesine yükseltilmekte ve ulusal iletim sistemine aktarılmaktadır. İletim sistemi elektriği, üretildikleri santralden son tüketicilerin bulunduğu dağıtım bölgelerine ulaştıran yüksek gerilim hatlarından ve trafo merkezlerinden oluşmaktadır. Daha önce TEK tarafından işletilen iletim sistemi, bugün Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından işletilmektedir. İletim sisteminin bitiş noktası olan indirici merkezlerde elektrik 154 kV'dan 34,5 kV'a düşürülerek dağıtım şebekesine verilmektedir. Bu noktadan itibaren elektriğin son kullanıcıya iletilmesi dağıtım şirketinin görev ve sorumluluğunda gerçekleşmektedir.

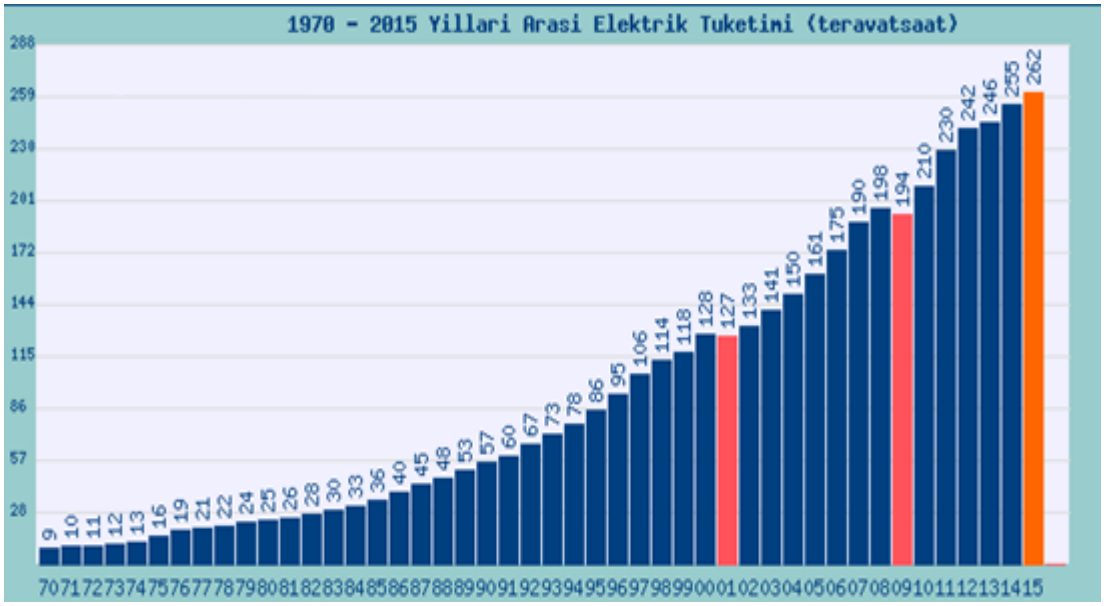
Dağıtım hizmeti ise TEDAŞ'ın faaliyet alanı olarak belirlenmiştir. Dağıtım şirketleri özelleştirmelerinin başladığı 2006 yılının ikinci yarısına kadar dağıtım hizmeti 64 adet TEDAŞ bölge müdürlüğü, 7 adet TEDAŞ'a bağlı ortaklık ve 1 adet Kayseri'de kurulmuş bir özel firma tarafından yürütülmekteydi. Bu dönemde dağıtım bölgeleri 2004 yılında yayınlanan Elektrik Enerjisi Reformu ve Özelleştirme Strateji Belgesi uyarınca tekrar yapılandırılmış ve belirlenen 21 bölgede kurulan 21 dağıtım şirketine aktarılmıştır, Şekil 2.2'de bölgeler ve dağıtım şirketleri görülmektedir. Dağıtım sisteminin karşı karşıya olduğu altyapı yetersizliği, kalifiye personel eksiği, yüksek kayıp kaçak oranları ve bazı bölgelerde yaşanan düşük tahsilât oranları gibi sorunların, özelleştirmeler yoluyla özel sektör tarafından çözümlenmesi hedeflenmiştir [14].



Şekil 2.2 : Türkiye EDAŞ bölgeler haritası.

2.2.2. Talep gelişimi

Türkiye, enerji talebinin hızla arttığı ülkeler arasında yer almaktadır. 2003-2013 yıllarını kapsayan 10 yıllık dönem içinde dünya birincil enerji talebi ortalama %28 artış göstermiştir. Aynı dönemde Türkiye, birincil enerji talebinde %56,6 artış göstererek dünya ortalamasının üzerinde bir performans sergilemiştir. Şekil 2.3'te sunulan verilerden de görüleceği üzere, ekonomik krizin yaşandığı 2001, 2008 yılı sonu ve 2009 yılları haricinde enerji talebi sürekli artış göstermiş, 2011 yılı itibariyle de kriz öncesi seviyelerin üzerine çıkmıştır.



Şekil 2.3 : Yıllara bağlı elektrik enerjisi tüketimi [15].

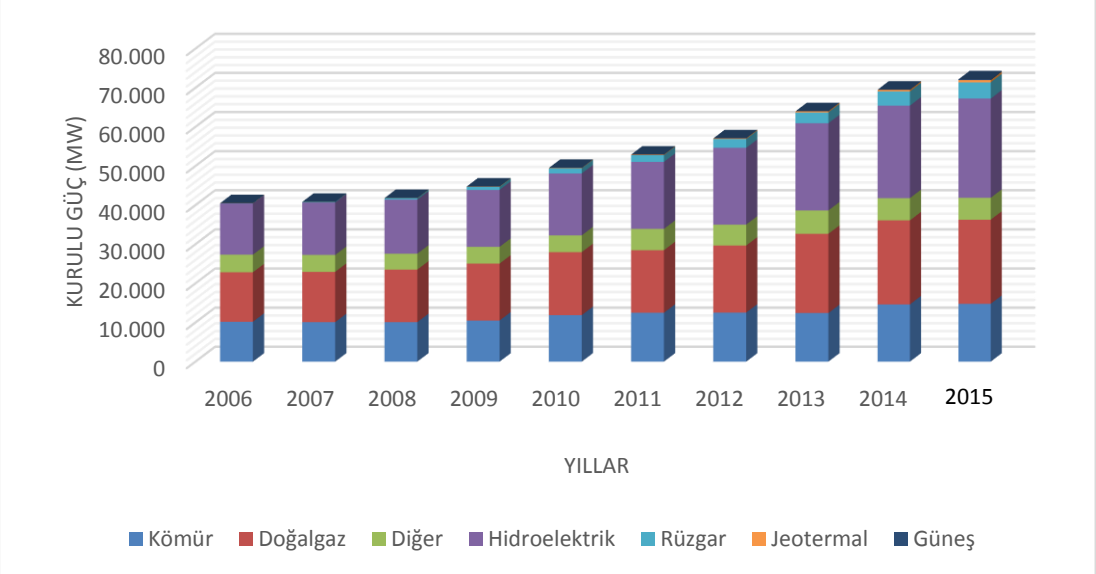
2.2.3. Kurulu güç ve enerji üretimi

2006 yılında 40.502 MW olan elektrik enerjisi kurulu gücümüz, 2014 Yılı sonu itibarıyla 69.516 MW'a 2015 Eylül TEİAŞ verilerine göre de 72.155 MW'a yükselmiştir. Mevcut kurulu gücümüzün %35,1'i hidrolik, %29,8'i doğal gaz, %20,5'i kömür, %5,7'si rüzgâr ve %8,9'u ise diğer kaynaklardan oluşmaktadır. 2012 yılında işletmeye alınan santraller ile elektrik enerjisi kurulu gücümüze 4.245 MW'lik kapasite eklenirken 2013 yılında ise 6.986 MW'lik kapasite artışı ile rekor kırılmıştır. 2003-2014 arası son 12 yıllık dönemde ise ortalama yıllık %6,8'lik bir kapasite artışı gerçekleştirilmiştir [16]. Yıllara ve kaynaklara bağlı olarak ülkemizin kurulu güçleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Kaynaklara bağlı olarak Türkiye kurulu gücü.

Yıllar	Termik			Yenilenebilir				Toplam
	Kömür	Doğalgaz	Diğer	Hidro	Rüzgar	Jeotermal	Güneş	
2006	10.197	12.641	4.520	13.063	59	23	-	40.502
2007	10.097	12.853	4.322	13.395	146,3	23	-	40.836
2008	10.095	13.428	4.072	13.829	363,65	29,8	-	41.817
2009	10.501	14.555	4.284	14.553	791,6	77,2	-	44.761
2010	11.891	16.112	4.276	15.831	1.320	94,2	-	49.524
2011	12.491	16.003	5.438	17.137	1.729	114,2	-	52.911
2012	12.530	17.162	5.337	19.620	2.261	162,2	-	57.072
2013	12.428	20.254	5.965	22.289	2.760	311	-	64.007
2014	14.636	21.474	5.691	23.641	3.630	405	40	69.516
2015	15.482	21.222	5.203	25.867	4.498	624	249	73.147

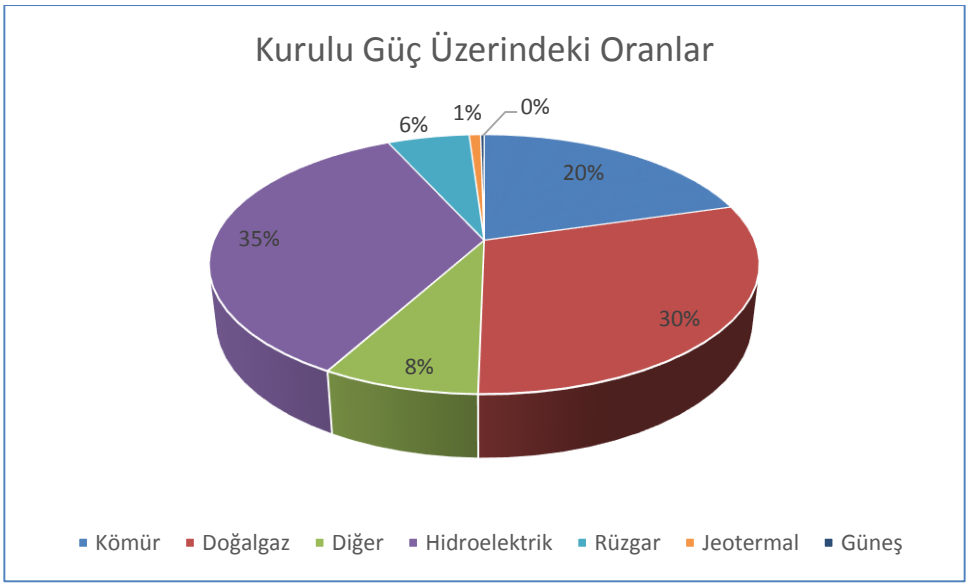
Ülkemizdeki elektrik enerjisi kurulu gücü oranları tablosunu incelediğimizde 2014 yılı sonu itibarıyla kaynakların ülkemiz kurulu gücü miktarındaki nicelik sıralaması yıllara bağlı olarak değişmezken, toplam kurulu güç içerisindeki paylarında farklılıklar görünmektedir. 2015 yılı sonu itibarıyla ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücü içerisinde hidrolik kaynakların oranı %34, doğal gazın %30, kömürün %21 ve jeotermal+rüzgâr+güneşin ise %6 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kaynaklar haricinde kalan diğer kaynakların payı ise %8'dir. Şekil 2.4'te de görüleceği gibi 2006-2014 döneminde en büyük artış oranı rüzgâr ve jeotermal kaynaklı kurulu güç payında gözlenmektedir.



Şekil 2.4 : Kurulu gücün yıllara ve kaynaklara bağlı incelenmesi.

Ayrıca 2014 yılında Güneş kaynaklı kurulu gücün devreye girmesi ve özel sektörün bu alanda büyük yatırımlara hazırlanması ülkemiz arz güvenliği ve kaynak

çeşitlendirmesi adına önem arz etmektedir. 2015 yılsonu itibarı ile 249 MW lisanssız güneş enerjisi santrali bulunmaktadır. 600 MW'lık yarışma sonuçlanmış olmasına rağmen henüz lisanslı bir GES bulunmamaktadır [17]. 2015 yıl sonu itibarı ile kurulu güç dağılımları ise Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 : Kurulu Güç oransal olarak dağılımın gösterilmesi.

2.2.4. Elektrik fiyatları ve YEKDEM

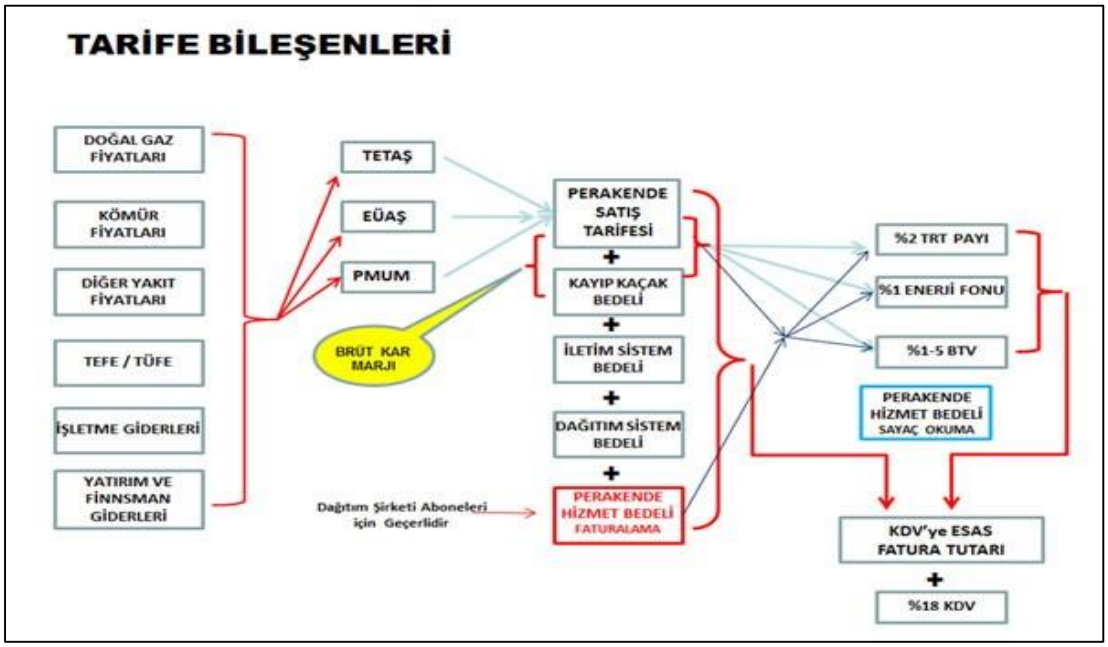
Endüstriyel kalkınma ve sanayileşme ile paralel olarak artan hayat standartları ve günlük kullanılan elektrik miktarı yeterli ve kaliteli (minimum plansız kesinti) şekilde sağlanmalıdır. Bu durumun doğuracağı en temel sonuç ise oluşacak bu dinamik piyasadaki elektrik fiyatlarıdır. Bu fiyatlar birçok farklı kesimi ilgilendirmekte olup, fiyatların doğru ve hem üretici hem de tüketici için uygun olarak belirlenebilmesi önem kazanmaktadır.

Bir tarafta mesken, sanayi veya ticarethane gibi tüketim noktalarına uygun fiyat ile elektrik sağlama hedefi güdülürken, diğer tarafta bu elektriğin üretilmesi için gerekli yatırımı yapan yatırımcıları da mağdur etmeyecek ve yeni yatırımları çekecek makul bir elektrik alış fiyatı oluşması gerekmektedir. Yakın zamana kadar yanlış fiyatlandırma politikaları, temelinde bir matematik formülasyon ile yapılmamakta olup, yanlış fiyat uygulamaları sonucunda yatırımların durma noktasına geldiği dönemler olmuştur. Mevzuatla tanımlı liberal yapıda elektrik piyasası fiyatları birçok farklı etken çevresinde oluşacaktır. Temel olarak bu etkenleri Çizelge 2.2'de verilen durumlara göre oluşacaktır [18].

Çizelge 2.2 : Elektrik fiyatına etki eden faktörler.

Üretim Tesisi ve Şebeke	Diğer Etkiler
Yatırım Maliyeti	Arz – Talep Dengesi
Yakıt Maliyeti	Sanayi - Kalkınma
İşçilik Maliyetleri	Rekabet
Kümülatif Verim Faktörü	Piyasa Açıklık Oranı
İletim Maliyeti	Satış ve Portföy Yönetimi
Piyasa Maliyetleri	

Temelde elektrik santralinde üretilen enerjinin de bir maliyeti bulunmaktadır. Elektrik üreticisi bütün bu faktörleri hesaplayarak Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi üzerinden elektrik perakende satış fiyatını belirler. Bunun üzerine kayıp/kaçak bedeli, iletim bedeli ve dağıtım bedeli eklendikten sonra elektrik perakende satış fiyatı ve kayıp kaçak bedeli toplamı üzerinden yüzde olarak TRT payı, Enerji Fonu gibi vergiler tahsis edilerek kullanıcı faturalandırma fiyatı oluşturulmaktadır. Şekil 2.6'da ise kullanıcıya yansıyan elektrik faturasının oluşum biçimi yalın bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 2.6 : Elektrik tarife fiyatı bileşenleri ve fiyatın oluşması.

Bunun yanı sıra üretim lisansı sahibi tüzel kişilere, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için Yenilenebilir Enerji Kaynak (YEK) Belgesi verilmesi ile YEK Destekleme Mekanizmasının (YEKDEM) kuruluşu ve işleyişine ilişkin usul ve esaslar belirlenmiştir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK) "Yenilenebilir

Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmeliği" 01.10.2013 tarihinde yayımlanmıştır [19].

Yönetmeliğe göre, YEK belgesi, lisansı kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynağından üretilebilir elektrik enerjisinin ulusal ve/veya uluslararası piyasalarda satışında kaynak türünün belirlenmesi ve takibi, lisansı kapsamındaki üretim tesisinde bu yönetmelik kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi için YEKDEM kapsamındaki uygulamalardan yararlanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisinde üretilen elektrik enerjisinin emisyon ticareti kapsamındaki piyasalarda satışında kaynak türünün belirlenmesi ve takibi için kullanılması amacıyla verilecektir [20]. YEKDEM fiyatları Çizelge 2.3'de minimum ve maksimum değerleri ile verilmiştir.

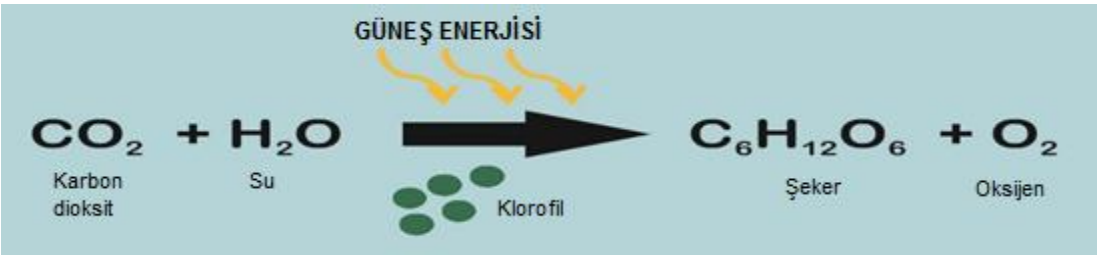
Çizelge 2.3 Yenilenebilir enerji destekleme (feed-in tariff) fiyatları.

Tesis Tipi	Alım Garantili Fiyat (UScent/kWh)	Ek, Yerli Ekipman teşviği maksimum (UScent/kWh)	Maksimum Toplam Fiyat (UScent/kWh)
Hidroelektrik	7,3	2,3	9,6
Rüzgar	7,3	3,7	11
Fotovoltaik Güneş	13,3	6,7	20
Yoğunlaştırılmış Güneş	13,3	9,2	22,5
Biyokütle	13,3	5,6	18,9
Jeotermal	10,5	2,7	13,2

3. TEZ KONUSU VE DETAYLI ÇALIŞMA

3.1. Biyokütle Nedir, Biyokütle Sınıflandırması

Biyokütle bir insan ömrü veya kabaca yüz senelik bir peryottan daha kısa bir sürede kendini yenileyebilen, hidrokarbon içerikli, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan atıkları, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak tanımlanmıştır. Güneş ışığı aracılığı ile fotosentez yapan yeşil bitkilerin ürettikleri kimyasal enerjiyi depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları bitkisel biyokütle olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.1'de ise biyokütle kaynağını oluşturan karbon içerikili (şeker) oluşumunun temel denklemi gösterilmiştir [21].



Şekil 3.1 : Fotosentez ve biyokütle temelini oluşturan hidrokarbon denklemi [22].

Çevreye olan etkileri minimum düzeyde olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında, özellikle gelişmekte olan ülkeler için uygulama alanı en geniş ve de özellikle yerel kaynak olduğu için enerji arzı konusuna dışa bağımlılıktan kurtaracak kaynakların başında biyokütle gelir. Biyokütle yalnız yenilenebilir olması ile değil, her yerde yetiştirilebilmesi, sosyo-ekonomik gelişme sağlaması, çevrenin korumasına katkısı, elektrik enerjisi üretimi, kimyasal madde ve özellikle içten yanmalı motorlu taşıtlar için yakıt elde edilebilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı sayılmaktadır. Dünyada fosil enerji kaynaklarının ömürlerinin kısıtlı olması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle özellikle enerji ormancılığı ve enerji amaçlı bitki yetiştirciliği giderek önem kazanmaktadır [23].

3.2. Biyokütle Kaynakları

Biyokütle kaynaklarını; bitkisel kökenli, hayvansal kökenli, kentsel ve endüstriyel atıklar şeklinde sınıflandırabiliriz.

3.2.1. Bitkisel kaynaklar

Bitkisel kaynaklar olarak; orman ürünlerini, yetiştiricilik dönemi 5-10 yıl, verimlerinin ise 15-35 t/ha olan ağaç türlerini içeren enerji ormanlarını, enerji tarımı yetiştiriciliğine konu olan sorgum, şeker kamışı, mısır gibi C4 bitkilerini, buğday, arpa, çavdar, şeker pancarı gibi C3 bitkilerini, şeker ve nişasta ihtiva eden bitkileri (şeker pancarı, patates vb.), yağlı tohumlu bitkileri (kanola, aspir, ayçiçeği, soya vb.), bazı su otlarını ve algleri sayabiliriz. Enerji tarımı amaçlı yetiştirilen bitkiler, tarım ve orman artıkları enerji elde etmek amacıyla değerlendirilen bitkisel kaynaklardır. Bu biyokütle kaynaklarının ısıl değeri 3800-4300 kcal/kg arasında değişmektedir [23].

3.2.2. Hayvansal kaynaklar

Hayvansal gübrenin enerji eldesi amacıyla kullanımı söz konusudur. Hayvansal gübrenin geleneksel yöntemlerle değerlendirilmesinde, samanla karıştırılıp kurutulması suretiyle elde edilen tezeğin köylerde yakıt olarak kullanımı oldukça yaygındır. Hayvansal gübrenin oksijensiz ortamda fermantasyonu ile üretilen biyogazın dünyada kullanımı da oldukça yaygındır. Biyogazın ısıl değeri, karışımdaki metan yüzdesine bağlı olarak 2 ile 27.5 MJ/m^3 arasında değişmektedir [23].

3.2.3. Katı atıklar

Çöp depolama alanlarındaki, katı, evsel ve endüstriyel atıkların, evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının anaerobik organizmalarla metan gazına dönüştürülmesiyle değerlendirilmesidir. Elde edilen biyogazın doğal gaz dağıtım sisteminde kullanılması, gaz temizleme işleminin pahalı olması nedeniyle yaygın olarak uygulanmamaktadır. Depolama alanından oluşan 1 metreküp gazın ısıl değeri ise yine çöpün bileşenlerine bağlı olarak 18- 27 MJ/Nm^3 arasında değişmektedir[23].

3.3. Katı Atık ve Katı Atık Yönetimi Tanımı

Katı atık, en temel anlamıyla tüketicisi tarafından bir işe yaramadığı gerekçesiyle atılan evsel, ticari ve endüstriyel işlevler sonucu oluşan, düzenli şekilde bertaraf

edilmesi veya depolanması gereken katı maddelerdir. Genel olarak, katı atıklar zararlı ve zararsız atıklar olmak üzere iki grupta incelenebilirler;

Zararlı Atıklar: Çevre ve insan sağlığı risklerini önlemek amacıyla bertaraf edilme sürecinde özel bazı işlemler gerektiren biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip yanıcı-yakıcı, zehirleyici, öldürücü veya diğer madde etkileşimi sonucu zararlı olabilecek maddelerdir.

Zararsız Atıklar: Toplum tarafından atılan ve zararlı atıklar sınıfına girmeyen katı atıklardır. Organik ve inorganik maddelerden oluşur. Kaynakları bakımından ise katı atıklar şu şekilde gruplandırılabilir:

- Evsel atıklar: Çöpler; evsel kaynaklı organik ve inorganik atık ve artıklardır. Genelde yemek artıkları, kağıt, cam, metal ve seramiklerden oluşmaktadır. Küller: Odun ve kömür gibi yanıcı maddelerin çeşitli amaçlarla evsel kullanım sonucu oluşan inorganik atıklardır. İri Katı Atıklar: Hacmi ve boyutları bakımından özel işleme tabi tutulması gerekli mobilya ve ev gereçleri vb. atıklardır.

- Endüstriyel Katı Atıklar: Endüstriyel faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıklardır. Endüstriyel işlemler sırasında oluşan atıklar bu grupta incelenir.

- Ticari ve Kurumsal Atıklar: Ticari işletmelerden ve kurumlardan ortaya çıkan atıklardır. Lokantalardan, okullardan, mağaza ve ofislerden toplanan atıklar bu grup içindedir.

- Belediyesel İşlevler ile İlgili Atıklar: Sokak süprüntüleri, park bahçe ve plajlardan toplanan atıklar, araba hurdaları, hayvan ölüleri, su arıtma tesislerinden ortaya çıkan çamurlar bu özelliktedir.

- Özel Atıklar: Uzaklaştırımı özel önem taşıyan atıklardır. Öncelikle radyoaktif atıklar, tehlikeli endüstriyel atıklar ve hastane atıkları özel atıklar grubu içinde değerlendirilir [24].

Katı Atıkların Uzaklaştırma Yöntemleri;

a) Gelişigüzel (vahşi) depolama

b) Düzenli (sağlıklı) depolama

c) Kompostlama

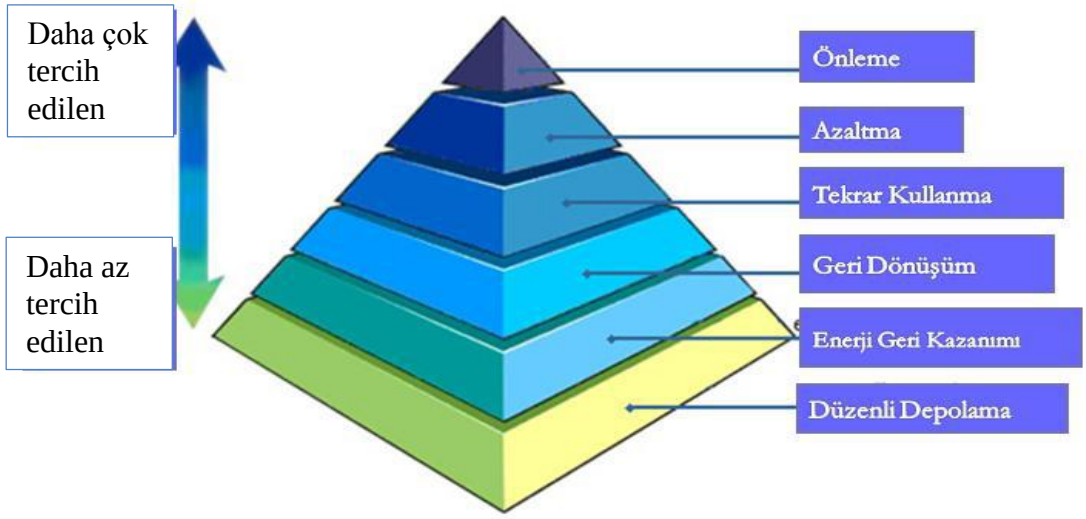
d) Termal Yöntemler; yakma, gazlaştırma, piroliz

Vahşi depolama, günümüzde özellikle az gelişmiş ülkelerde ve gelişmekte olan ülkemizde en yaygın uygulanan katı atıkların uzaklaştırımı yöntemidir. "Gözden uzak olsun" düşüncesi ile genellikle evsel katı atıklar yerleşim yerleri merkezlerine uzak açık alanlara rastgele bir şekilde atılarak yaşam alanlarından uzaklaştırılmaktadır. Düzenli depolama ise, katı atıkların çevre ve toplum sağlığını riske sokmadan belli ölçütlere uygun şekilde depolanmasıdır. Gerek depolama alanlarının yapımında ve işletilmesinde gerekse depolanacak atıkların içeriklerindeki miktarlar ve sağlanması gerekli koşullar ve teknikler açıkça belirlenmiştir. Kompostlama ise, çöplerin içerisindeki organik maddelerin özel yöntemlerle ayrıştırılarak gübre haline getirilmesidir. Organik atıklardan içeriğindeki metan ve diğer yanıcı bileşikleri (biyogaz) ile enerji üretmek de mümkündür. Yakma, çöplerin kontrollü bir şekilde yakılarak bertaraf edilmesidir. Atıklarda hacimce azalma ve enerji üretimi beraber gerçekleştiği için popüler bir yöntemdir. Benzer şekilde gazlaştırma ve piroliz yöntemleri de yakma gibi termal bertaraf etme yöntemleri olup üretilecek çıktı türüne göre seçim yapılabilir. Atıktan enerji üretimi (waste to energy) yöntemleri olarak kabul edilir [24].

Günümüzde atık arıtma ve bertarafı ile ilgili prosedür ve standartlar Avrupa Birliği tarafından belirlenmiştir. Avrupa Birliği tarafından, atık sorununun giderilmesinde uygulanacak en iyi yolun yaşam tarzında, üretim ve tüketim modellerinde değişiklik getiren atıkları önleme ve azaltma anlayışının geliştirilmesini kabul etmektedir. Kentsel katı atık sorunlarıyla başa çıkmanın en etkin yolu olarak çöpün yerinde azaltılması, ürünlerin yeniden tasarlamaları ve atıkları azaltmaları için sanayicileri desteklemek, tekrar kullanılabilecek malzemelere yönelmeleri için sanayici ve tüketicilerin özendirmek gibi konularda Avrupa Birliği tarafından desteklenmektedir. Katı atık yönetimi, toplum tarafından daha fazla faydalı olmadıkları düşüncesiyle atılan maddelerin toplum ve çevreye zarar vermeden, belli yöntemlerin bilinçli bir şekilde uygulanması ile toplama aşamasından son yok ediş aşamasına kadarki süreci konu edilen uygulamalar şeklinde tanımlanmaktadır.

Katı atık yönetiminin amacı, toplum tarafından çeşitli işlemler sonucu üretilen atıkların toplanması, taşınması ve son yok ediş sürecinde ekonomik ve çevresel açıdan en etkin ve verimli yöntemlerin geliştirilip uygulanmasıdır. Atık yönetiminde yapılan çalışmalar, çeşitli atık ve artığın çevreye duyarlı bir biçimde değerlendirilmesi ve bertarafından oluşmaktadır. Bu anlamda atık yönetimi; atıkların yerinde azaltımı, geri

kazanımı, yeniden kullanma, verimlilik ve istihdam artırımı yönü ile ekonomik, çevre kirliliğini önleyici yönü ile engelleyici-koruyucu özellik taşımaktadır. Katı atık hiyerarşisi temel olarak Şekil 3.2'de gösterilmiştir [2].



Şekil 3.2 : Entegre katı atık yönetimi hiyerarşisi [2].

Bunun yanında AB mevzuatı ve ülkemizdeki mevzuat karşılaştırması ise aşağıda Çizelge 3.1'de verilmiştir [2].

Çizelge 3.1 : AB ve Ulusal katı atık mevzuatları.

AB mevzuatı ve Ulusal Mevzuatın İncelenmesi	
AB Mevzuatı	Ulusal Mevzuat
Atık Çerçeve Direktifi (75/442/EEC)	Atık Yönetimi Genel Esaslara ilişkin Yönetmelik (resmi gazete: 26927, 05.07.08)
Düzenli Depolama Direktifi (1999/31/EC)	Atıkların Düzenli Depolanmasına İlişkin Yönetm. (resmi gazete: 27533, 26.03.10)
Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi (94/62/EC)	Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetm. (resmi gazete: 26562, 25.06.07)

3.4. Katı Atık Hiyerarşisi

Katı atık yönetiminde temel amaç atığın yönetimi ve miktarın azaltımı üzerine çalışılıp, uygun yöntemin belirlenmesidir. Bu hiyerarşiyi oluşturan maddeleri açıklayacak olursak;

3.4.1. Önleme

Bu yöntem atığın doğrudan oluşum kaynağı ile ilgili olup, kaynaktan hiç üretilmemesini sağlamaktır, "sıfır atık" olarak da literatürde geçmektedir. Fakat hem teknik hem de sosyal açıdan bu durumun gerçekleşmesi mümkün değildir.

3.4.2. Azaltma

Atık azaltımı, atığın oluşma yerinde önlenemez oluşum miktarının minimum seviyeye indirilmesini amaçlar. Atığın üretildikten sonra nasıl bir yol izleneceğini düşünmektense, kaynağında azaltmayı hedefler.

Sistem içinde oluşan önlenemez bu atıkların bertaraf edilmesi, çevreye ve ekonomiye olan negatif etkilerin minimuma indirilmesi demektir. Bu hedefe ulaşmanın en kısa yolu ise atıkların kaynağında azaltılmasıdır.

Bu yöntemde temel amaç atık miktarının en aza indirgenmesi olup, atık kompozisyonunda da herhangi bir tehlikeli atık grubundan ürün bulunmaması istenir. Bu sisteme örnek olarak, üretimde kullanılan hammadde ve üretim yöntemi seçilirken atık miktarı minimize edecek değişiklikler yapılması, nihai ürünlerin kullanım ömrünü artıracak araştırma geliştirme çalışmaları verilebilir. Tüketicinin özellikle katı atıklar konusunda bilinçlendirilmesi atıkların üretim yerinde azaltımında önemli rol oynamaktadır. Örneğin, bisiklet kullanımının yaygınlaştırılması, yakıt tüketimi ve otopark maliyetlerinde önemli bir tasarruf sağlarken, otomobillerin üretiminden hurda bertarafına kadar olan süreçte çevreye olan negatif etkiler de minimize edilmiş olacaktır [25].

3.4.3. Tekrar kullanım

Yeniden kullanım, proses sonucu oluşmuş atıkların yok edilmesinin diğer faydalı ve ekonomik bir yoludur. Yeniden kullanımın temelinde atık başta olmak üzere, atıl mallar ve malzemeleri almayı ve onların eski ve orijinal formlarının yerlerine,

mümkün olduğunca az değişiklik ve yenileme ile benzer veya biraz farklı amaçla kullanıma kazandırılması yatmaktadır.

Atıkların herhangi bir işleme tabi tutulmadan, yeniden kullanılmasıdır. Yeniden kullanım uygulamalarına verebileceğimiz örnekler şunlardır: Birkaç kez kullanılan ürünlerin üretiminin kontrol edilmesi, depozito uygulamak, atık borsası oluşturmak, ikinci el ve kullanılmış ürün pazarlarının oluşturulmasını desteklemek [25].

3.4.4. Geri dönüşüm

Geri dönüşüm, atık maddeleri yeni bir ara ürün veya malzeme üretmek için yeniden işlemeyi içerir. Geri dönüşüm işleminde, atıklar tekrar hammadde olarak kullanılmak üzere fiziksel veya kimyasal işlemlerden geçer. Bu uygulama için atıkları kaynağında gruplara ayırarak biriktirmek en etkili yöntemdir. Atıkların geri dönüşümü sadece hammadde olarak kullanılan doğal kaynaklarda değil, ürün oluşumu sırasında kullanılan enerji kaynaklarının kullanımında da önemli bir tasarruf sağlar. Örneğin, metal ve plastiklerin ilk üretiminde kullanılan enerjiye oranla çok daha az bir miktar ile bu atıklar tekrar geri kazanılabilir. Tekrar kullanılabilir nitelikli atıklar geri dönüşüm sayesinde ikincil hammadde haline getirilerek doğal kaynakların bilinçsizce tüketilmesinin önüne geçilir [25].

3.4.5. Geri kazanım

Geri kazanım, atık işlemeleri sonucu kazanılan yeni malzeme veya enerji demektir. Atık veya bileşenlerinin, fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle yeni bir nihai ürüne veya enerjiye dönüşmesi işlemidir. Bu yöntemin kapsamına atıkların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı da girmektedir. Organik atık maddelerin kompost işlemiyle dönüştürülerek tarımda gübre olarak kullanılması, organik atıklardan kontrollü yakma işlemiyle enerji üretimi, organik katı atıkların ürettği metan gazı ile enerji üretimi, yakma ile enerji üretimi sonucu oluşan kül ve cürufun dolgu malzemesi olarak kullanımı geri kazanıma verilebilecek örneklerdir [25].

3.4.6. Depolama & Bertaraf

Depolama ise bütün bu yukarıda anlatılan işlemlerden geçmiş atıkların hala kaldıysa kullanılamayacak kısımlarının bertaraf edilmesi amacyla düzenli ve kontrollü olarak biriktirilmesi işlemidir [25].

3.5. Entegre Katı Atık Yönetimi ve Özellikleri

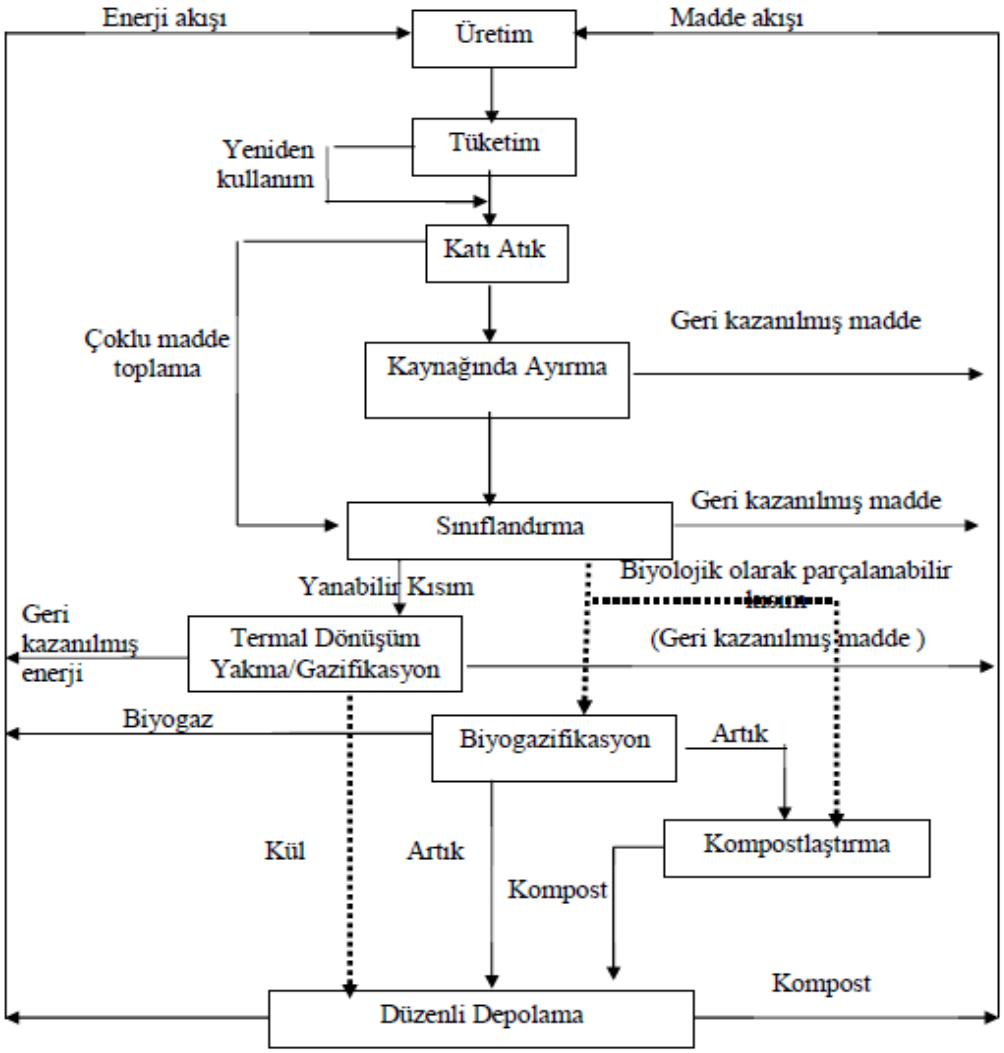
Nüfusun hızla artması ve yaşam standartlarının günden güne iyileşmesi, oluşan atık hacmini ve kompozisyonunu çeşitlendirmiş, özellikle de kontrolü ve yönetilmesini zorlaştırmıştır. Katı atıkların oluşturduğu kirlilik ile buna bağlı mevcut ve potansiyel risklerin boyutunun her geçen gün artması, doğal kaynakların azalması, ekonomik ve diğer nedenlerle çağımızda katı atık yönetimi gittikçe önem kazanmakta ve karmaşıklaşmaktadır. Bu nedenle, atık oluşumundan nihai bertarafa kadar bütün kademeleri içine alan entegre bir katı atık yönetiminin unsurları ve bunların birbirleri ile ilişkilerinin çok iyi bilinmesinin zorunluluğu ortaya çıkmıştır [2].

Özellikle çevre ve ekoloji üzerinde büyük bir baskı oluşturan ve günden güne artan atık sorununun tamamen çözümü için tek bir disiplin yeterli değildir. Ancak farklı disiplinlerden uzmanlar biraraya gelerek etkili bir atık yönetim planı oluşturabilir. Uluslararası düzeyde kabul gören bu yaklaşım, "Entegre Atık Yönetimi" anlayışının benimsenmesine yol açmıştır.

Verimli ve entegre bir katı atık yönetim sisteminin özellikleri şunlardır :

- Bütüncül bir sistem olmalıdır.
- Ekonomik bir değer oluşturabilmelidir.
- Esnek olmalıdır.
- Bölgesel planlama yapılmalıdır.
- Ulusal çevre sektörü oluşmalıdır.

Çevresel olumsuz etkilerin minimize edildiği, en az miktarda düzenli depolama sahası ihtiyacı olan, minimum düzeyde enerji kullanımı olan ve de maliyeti en uygun olan çözümün sunulması, entegre katı atık planı yapılırken başlıca dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Entegre katı atık yönetiminin temel amacı, en uygun maliyetle atığın çevreye zararlı etkilerini en aza indirmektir. Sistem bir bütün olarak; atık malzeme, atık kaynağı, toplama metodunu, işleme ve arıtma yöntemlerini tek bir çatı altında düşünerek değerlendirmelidir. Özellikle kullanılan ve atık haline gelen malzemenin tekrar kullanabilir ve gelire dönüştürülebilir olmalısı istenir. Yeni gelişmeler ve daha az maliyet arayışları içinde olmalıdır. Entegre katı atık yönetimi akış diyagramı (üretimden bertarafa kadar) aşağıda Şekil 3.3'te gösterilmiştir [25].



Şekil 3.3 : Entegre katı atık yönetimi akış diyagramı [26].

3.6. Bertaraf Etme Yöntemleri

Katı atıkların bertarafı için kullanılan yöntemleri temel olarak şu şekilde inceleyebiliriz;

- Depolama,
- Biyolojik Sistemler,
- Termal Sistemler,

3.6.1. Depolama

Katı atıklar düzensiz ve düzenli olmak üzere iki şekilde depolanırlar:

3.6.1.1. Düzensiz depolama

Kentsel veya endüstri kaynaklı katı atıklarının gelişigüzel bir şekilde herhangi bir yalıtım ve drenaj sistemi olmadan depolanmasıdır. Özellikle kentsel katı atıklar (çöp) kaynaklı sızıntı sularının yeraltı suyuna karışarak suları kirletmesi, aynı zamanda çürüme ile oluşan metan gazları ve rahatsızlık verici görüntüsü açısından şehirlerin ciddi bir sorunu haline gelmiştir. Şekil 3.4'de kullanımda olan düzensiz depolama sahası görülmektedir.



Şekil 3.4 : Şehir çöplüğü düzensiz depolama örneği [27].

Ülkemizde de uzun yıllar boyunca yaygın olarak bu yöntem uygulanmıştır. Katı atıklar, herhangi bir tedbir ve önlem alınmadan gelişigüzel bir şekilde bırakılmışlardır.

Katı atıkların bu tip alanlara, bu şekilde tedbirsizce bırakılmasının sebep olduğu başlıca olumsuz durumlar şunlardır:

- Toprak ve görüntü kirliliği,
- Yeraltı ve yerüstü sularının kirlenmesi,
- Metan gazının sıkışması ve patlama meydana getirebilmesi,
- Haşere üremesi,
- Çevre kirliliği (toz, kötü koku gibi),
- İnsan sağlığını tehdit eden bulaşıcı hastalıkların yayılmasına sebep olmasıdır.

Depolarda oluşan metan gazının sıkışması ve patlama meydana getirebilmesi tehlikesine örnek olarak 28 Nisan 1993 tarihinde İstanbul Ümraniye Hekimbaşı katı atık depolama alanında yaşanan patlamalar verilebilir. Ümraniye'de bulunan Hekimbaşı depolama alanında atıkların içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürümesiyle açığa çıkan metan gazı birikerek sıkışmış ve patlamış ve bu nedenle yaklaşık kırk kişi bu felaket nedeniyle can vermiştir [28].

Depolamanın düzenli ve modern yöntemler kullanılarak yapılması, yukarıda bahsedilen istenmeyen durumların tekrar yaşanmasını engelleyecek ve çevreye olan zararların minimize edilmesini sağlayacaktır.

3.6.1.2.Düzenli depolama

Hızla artan popülasyon ve buna paralel olarak değişen ve gelişen ekonomik koşullar ve bu gelişmenin en büyük etkisi olarak yoğun teknoloji kullanılması çevre tahribatını hızlandırmaktadır. Çevre kirliliği toprağı, hava ve suyu tehdit etmektedir. Çevrenin kirlenmesi demek, insanın yaşaması için gerekli ortamın bozulması demektir. Ekonomik avantajları nedeniyle büyük şehirlerde katı atıkların bertaraf edilmesinde uygulanan en yaygın yöntem "Düzenli Depolama"dır. Düzenli depo sahalarının inşa edilmesindeki amaç; yeraltı ve yüzey sularının kalitesinin korunması, hava kalitesinin korunması ve gaz toplama amaçlı sistemler ile enerji kazanma, depo sahasının etkili ve uzun süreli kullanımı ve depolama sona erdiğinde sahanın değerlendirilmesidir.

Atıkların gömülerek üzerinin kapatılması olarak da tanımlanan düzenli depolama, atıkların araziye gelişigüzel yığılmalarından farklı olarak, katı atıkların özellikle çevre koşullarına uygun bir biçimde, depolama amacı için hazırlanmış arazide biriktirilerek günlük olarak sıkıştırılması ve üzerinin membran veya toprak ile örtülmesi olayına denir. Özellikle toprak ile yapılan kapamalarda arazi üzerinde ağaçlandırma çalışmaları yapılarak arazi tekrar kullanılır hale getirilebilir. Şekil 3.5'te sızdırmaz membranlı bir saha gösterilmiştir.

Eğer toprak değil de sızdırmazlığı sağlandıktan sonra membran ile kapama yapılırsa da sistem doğal bir biyolojik reaktör gibi çalışacaktır. Bu yöndem son zamanlarda oldukça popüler bir hal almış olup, üretilen çöp gazı (land-fill gas, LFG) ile elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Metan gazı çevreye salınmsı engellenirken, yakılarak karbondioksit şeklinde çevreye zararsız halde salınmış olur [26].



Şekil 3.5 : Şehir çöplüğü düzenli depolama sızdırmaz membranı [29].

Bu konuda özellikle bu katı atıkların kontrolü üzerine yönetmeliklerle bir standart sağlanmak istenmiş ve denetim ile yapılmak istenmektedir. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, düzenli depolama tesislerinin özellikleri şu şekilde olmalıdır;

• Evsel ve evsel katı atık özelliğindeki endüstriyel atıkları depolamak üzere inşa edilen depo tesislerinin asgari kapasiteleri, nüfusu 100.000'den küçük olan yerleşim bölgelerinde 10 yıllık depolama ihtiyacını karşılayabilecek şekilde, nüfusu 100.000'den büyük olan yerlerde asgari 500.000 m^3 olacak şekilde planlanır.

• Depo tesisine ulaşım ve depo iç yollarında geçiş her türlü hava şartlarında mümkün olacak şekilde olmak zorundadır. Planlanan depo tesisi bir çit ile çevrilir.

• Depolama sahasında kirlenen araba tekerleklerinin yolları ve caddeleri kirletmemesi için, tekerlekleri temizleyecek teknik tedbirleri alınır.

• Depo tesisi girişinde, girişi kontrol altında tutmak, gelen katı atıkları muayene etmek, tartmak amacıyla bekçi kulübesi, işletme odası, kantar ve binası bulunur.

• Geri kazanımdan elde edilen ve geri dönüşüme gönderilecek maddelerin depolanacağı alanlar ayrılmış olmalıdır [26].

Düzenli depolama yönteminin avantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Atık bertarafında kullanılan en ekonomik yöntem olmasına ragmen, uygun arazi bulmanın zor olduğu gerçeği unutulmamalıdır.
- Çevresel açıdan kabul edilebilir ve emniyetli bir yöntem olması,
- Enerji ihtiyacının az olması ile metan gazından elektrik enerjisi elde edilmesinin mümkün olması,

Düzenli depolama yönteminin dezavantajları şunlardır:

- Düzenli depolama alanı kurulum aşamasında, kurulacak alanın yerleşim yerine yakın olması halkın tepkisine sebep olabilir.
- Yerleşim yerinin nüfusunun yoğun olması, uygun yer bulunmasını güçleştirebilir. Taşıma mesafesinin kısa ve ekonomik olması zorlaşabilir.
- Bu yöntemin, Avrupa Birliği standarlarına göre yıllara bağlı olarak depolanacak atıkların azaltılması zorunluluğu nedeniyle, katı atık bertaraf alternatifleri içerisinde ilerleyen yıllarda günümüzdeki gibi en çok kullanılan alternatif olamayacağı konusu unutulmamalıdır[26].

Aşağıda Şekil 3.6'da ise düzenli depolama sahası gösterilmiştir. Sahanın dolması sonucu üzeri kapanarak metan oluşumu beklenecek ve enerji üretimi gerçekleştirilecektir.



Şekil 3.6 : Düzenli depolama sahası görünümü [30].

3.6.2. Biyolojik sistemler ve biyometanizasyon

Günümüzde özellikle çevresel etkilerden dolayı yenilenebilir enerji yatırımları ciddi hız kazanmış ve her geçen gün daha verimli sistemler geliştirilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalardan birisi de biyolojik çürüme sonucu ortaya çıkan metan ve türevi gazlar üstünedir.

Biyolojik sistemler, temelde bozunan organik maddelerin, enerji üretimi yapılabilecek kararlı bir nihai ürüne dönüştürülmesi ve bu yöntemle hacimce azalma sağlanması esasına dayanır. Biyolojik sistemlerin en bilineni ve ülkemizde de en yaygın olarak kullanılanı biyometanizasyon yani havasız kompostlaştırmadır.

Biyometanizasyon işlemi ayrıştırılmış şekilde depolanan organik katı atıklardan kontrollü bir ortamda biyogaz üretim şeklidir. Bu işlem sonucu üretilen biyogaz, metan gazı bakımından zengin, renksiz, kokusuz ve parlak mavi bir alevle yanan gazdır.

Depolanmış organik katı atıklardan alt ısıl değeri yüksek olan metan gazı (CH_4) üretim yöntemidir. Üretilen bu biyogaz içerisinden gaz yıkama ve diğer arıtma işlemleri sonucu zenginleştirilmiş metan elde edilir. Bu yöntemle elde edilen metan kullanımı ile üretilen enerji, yenilenebilir enerji kapsamında değerlendirilmektedir. Örnek olarak Kemerburgaz düzenli depolama ve enerji üretim tesisi Şekil 3.7'te görülmektedir.



Şekil 3.7 : Kemerburgaz düzenli depolama ve enerji üretim tesisi [31].

Depolanan bu katı atıklardan biyogaz üretiminin çevresel katkısının yanında ekonomik olarak da katkı sağlaması bu sistemi oldukça popüler hale getirmiştir. Bu yöntem sayesinde, öncelikle ayrıştırılmış ve düzenli depolanıp verimli bir şekilde biyogaz üretimi ve kalan kısımdan ise stabil gübre elde edildiği takdirde oldukça verimli bir işlem olacaktır. Oluşan biyogazdan yakma işlemi sonucu elektrik üretimi gerçekleşir

ve bu elektriğin Avrupa ve ülkemizde çeşitli sabit fiyat tarifelerinden alım garantisi bulunmaktadır. Ülkemizde 0,133 USD/kWh ve 10 yıl süre ile garanti altına alınmıştır. Bu sebeple katı atıkların biyometanizasyonu sonucu hem ekonomik hem de çevresel kazanç sağlanmış olacak, hem de katı atıklar bertaraf edilmiş olacaktır.

Havasız kompostlaştırma işlemlerinde, kompleks organik maddeler bazı mikroorganizmalar tarafından havasız ortamda biyolojik olarak ayrıştırılır ve bu işlem sonucu metan gazı açığa çıkar. Metan üretim prosesi şu aşamalarda gerçekleşir;

• Hidroliz: Organik katı atıklar, fermantatif ve hidrolitik bakteriler tarafından daha basit yapıda çözülebilir uçucu organik maddelere parçalanırlar. Hidroliz hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve çamur yaşıdır.

• Asit Üretimi: Bu aşamada asetojenik bakteri grupları tarafından birinci aşama hidroliz ürünleri olan uçucu organik maddeler, organik asitlere dönüştürülür.

• Metan Üretimi: Anaerobik özümsemenin son aşamasında ise, diğer iki kademede oluşan ürünler metan oluşturan bakteriler tarafından metan gazına dönüştürülmektedir.

Anaerobik çürütücülerde oluşan biyogaz, hacimsel olarak %65–70 metan (CH_4), %25–30 karbondioksit (CO_2) ve az miktarlarda azot (N_2), oksijen (O_2), hidrojen sülfür (H_2S), su buharı ve diğer gazlardan meydana gelmektedir.

Oluşan gazın özgül ağırlığı havaya göre daha hafiftir. Temel olarak kullanım alanları ise şunlardır:

• Termik enerji üretimi (ısıtma) amacıyla; gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklar, termosifon ve şofbenlerde gaz yakıt olarak kullanılabilir. Doğalgaz, LPG, LNG yakan sistemlerde kullanılabilir,

• Elektrik enerjisi üretimi amacıyla; doğrudan yakma sistemlerinde ve biyometanizasyon sonucu üretilen metan gazı temizlenmesinin ardından gaz motorlarında ve türbinlerinde elektrik üretimi için kullanır,

• Sıvı yakıt üretiminde; binek araç ile ağır vasıta araçlarda biyogazın farklı işlemlere tabi tutulması sonucu üretilen biyo-yakıt, petrol türevi yakıtla karıştırılarak taşıt yakıtı olarak kullanılabilmektedir [32].

Biyometanizasyon işlemi ile elektrik enerjisi üretimi temel hatlarıyla Şekil 3.8'te gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Biyometanizasyon işlemi temel anlatımı [33].

3.6.3. Termal sistemler

Temelde yüksek sıcaklık ve kontrollü basınçlı ortamda gerçekleşen sistemlere termal sistemler denir. Organik katı atıklarda özellikle hacimsel olarak ciddi azaltma yoluna giden bu termal yöntemler atık yönetimi konusunda özellikle son çeyrek yüzyılda ivme kazanmıştır. Atık bertaraf hiyerarşisinin en son kademesinde yer alan bu termal sistemler özellikle gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Katı atık yönetiminde dünya genelinde birçok ülkede kullanılan termal bertaraf teknolojileri özellikle ilk yatırım maliyeti açısından yüksek maliyetlidir. Dünya üzerinde büyük ve küçük kapasiteli olarak, Avrupa'da 400'ün üzerinde, Amerika Birleşik Devletleri'nde 87 ve Japonya'da 130'un üzerinde termal bertaraf tesisi bulunmaktadır. Yanabilir organik atıkların yakılması sonucunda elde edilen enerjinin değiştiği aralığın alt sınırını yükseltmek gerekmektedir. Bu değerin yükselmesi özellikle seçici-ayrıştırıcı katı atık toplama ile mümkün olur. Termal sistemler temelde üç farklı şekilde incelenebilir [34];

- Piroliz

- Gazlaştırma

- Yakma

3.6.3.1.Piroliz

Biyokütlenin havasız bir ortamda (oksijensiz) termal olarak bozundurularak katı, sıvı ve gaz yakıt üretimi işlemidir. Bu işlem katı ürün eldesi için yapılıyorsa karbonizasyon adını alır. Karbonizasyon tepkimesi en temelinde, suyun karbo-hidrat bileşiğinden ayrılması ile ilerler [35]:

$$C_{6n}\,(H_2\,O)_{5n} \rightarrow 6n\,C + 5n\,H_2O \quad (3.1)$$

Bu tepkime sonucu oluşan yüksek C içerikli katı "char" diye bilinir. Bu dönüşüm sırasında bu tepkime ile birlikte başka tepkimeler de gerçekleşmektedir;

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2 \quad (3.2)$$

$$2\,CO + 2\,H_2 \rightarrow CH_4 + CO_2 \quad (3.3)$$

$$C + 2\,H_2 \rightarrow CH_4 \quad (3.4)$$

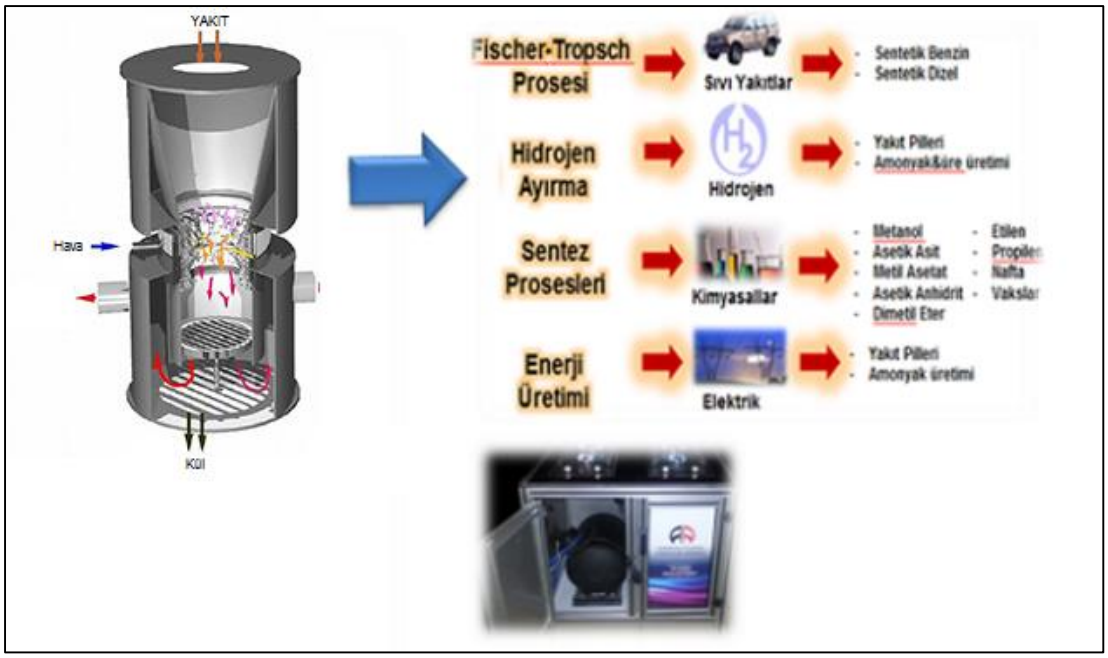
$$C + 2\,H_2O \rightarrow CO_2 + 2\,H_2 \quad (3.5)$$

Meydana gelen bu yan tepkimeler sonucu gaz ürün oluşur. Bu işlem için hammadde olarak odun kullanılırsa oluşan katı ürün, odun kömürü(charcoal) adını alır [35].

Biyokütle bozundurma işlemi sıcaklığı arttığı takdirde, oluşan ürünlerde gaz veriminde artma, sıvı ve katı ürün verimliliğinde azalma görülmektedir. Piroliz işleminde sıvı/katı ürün oluşum oranı prosesin hızına bağlıdır. Uzun sürede ve düşük sıcaklıklarda yapılan pirolizde maksimum katı ürün verimi, yüksek sıcaklıklarda ve kısa sürede yapılan pirolizde ise maksimum sıvı ürün verimine ulaşılmıştır. Bu sebeple piroliz işleminin esas amacı sıvı yakıt üretimi üstünedir. Daha çok gaz yakıt üretimi isteniyorsa gazlaştırma işlemi yapılması gerekir [4].

3.6.3.2.Gazlaştırma

Fosil ya da biyokütle gibi karbon esaslı yakıtlardan yüksek sıcaklıkta kontrollü oksijen ile karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen, metan gibi gaz üretim yöntemidir. Bu termal işlem sonucu meydana gelen ısıl değeri yüksek, karbonmonoksit ile hidrojenden oluşan bu gaza sentez gaz (syngas) denmektedir. Özellikle buhar kazanlarının icadı ile insanoğlunun hayatına giren, ısı, buhar ve elektrik üretiminde önemli bir paya sahip olan kömürün yakın gelecekte de önemli bir yere sahip olacağı öngörülmektedir. Kullanılan yakıta ve gazlaştırma prosesine göre üretilen sentez gazı direkt olarak içten yanmalı motorlarda yakılabileceği gibi bazı proseslerden geçirilerek metanol, Fischer Tropsch prosesinde kullanılarak sentetik yakıt üretimi de yapılabilir[23]. Şekil 3.9'da gazlaştırma işlemi ve bu prosese bağlı enerji dönüşüm yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Gazlaştırma prosesi ve ürünleri [36].

Gazlaştırma teknolojileri

Gazlaştırma prosesi karbon ihtiva eden kömür veya biyokütle gibi katı yakıtların oksijen veya hava gibi okside ediciler ile teması sağlanacak bir ortamda "reaktörlerde" gerçekleşir. Bu reaktörlere "gazlaştırıcı" da denmektedir. Seçilen reaktör tipi, gazlaştırılacak yakıtın tipine, kullanım amacına, kapasitesine, göre seçim yapılır.

Seçilen reaktör tasarımına bağlı olarak karbon oluşumu, proses ve gazlaştırıcı sıcaklık dağılımları, oluşan üründeki tar miktarı değişmektedir. Bu sebeple son ürün gazlaştırıcı tasarımına direkt olarak bağlıdır. Temel olarak sabit yataklı gazlaştırıcılar, akışkan yataklı gazlaştırıcılar ve sürüklemeli tip gazlaştırıcılar olmak üzere üçe ayrılır.

Sabit yataklı gazlaştırıcılar

Sabit yataklı reaktörler havanın ve gazın akış yönüne göre yukarı akışlı gazlaştırıcılar veya aşağı akışlı gazlaştırıcılar olmak üzere sınıflandırılabilir.

Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar: Yukarı akışlı (updraft) sabit yataklı gazlaştırıcılarda karbon içeren yakıt reaktörün üstünden reaktöre alınırken oksitleyici ürün reaktörün alt bölgesinden sisteme alınır. Yakıtın içerdiği nem, aşağıdan gelen sıcak gazın ısısıyla buharlaşmaktadır. Daha sonra piroliz bölgesinde katı yakıt, uçuculara ve char'a ayrışır. Gazlaştırma reaksiyonları ızgaranın üzerinde bulunan ocak bölgesinde gerçekleşir. Bu tip reaktörlerde pirolizden çıkan ürünler tam olarak

tepkimeye giremediklerinden dolayı oluşan katranın tam olarak parçalanması gerçekleşemez. Bu nedenle üretilen sentez gazı içerisindeki katran oranı yüksektir.

Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar: Aşağı akışlı (downdraft) sabit yataklı gazlaştırıcılarda yakıt ve oksitleyici reaktöre yukarıdan beslenir. Üretilen gazlaştırma ürünleri ise sistemin alt bölgesinden alınır. Piroliz bölgesinde oluşan ürünler sıcak yatak bölgesinden geçtiği için oluşan katran bu bölgede parçalanır. Bu tip gazlaştırıcılar özellikle organik katı atıklar ve biyokütle gazlaştırmada çok yaygın olarak tercih edilir [37].

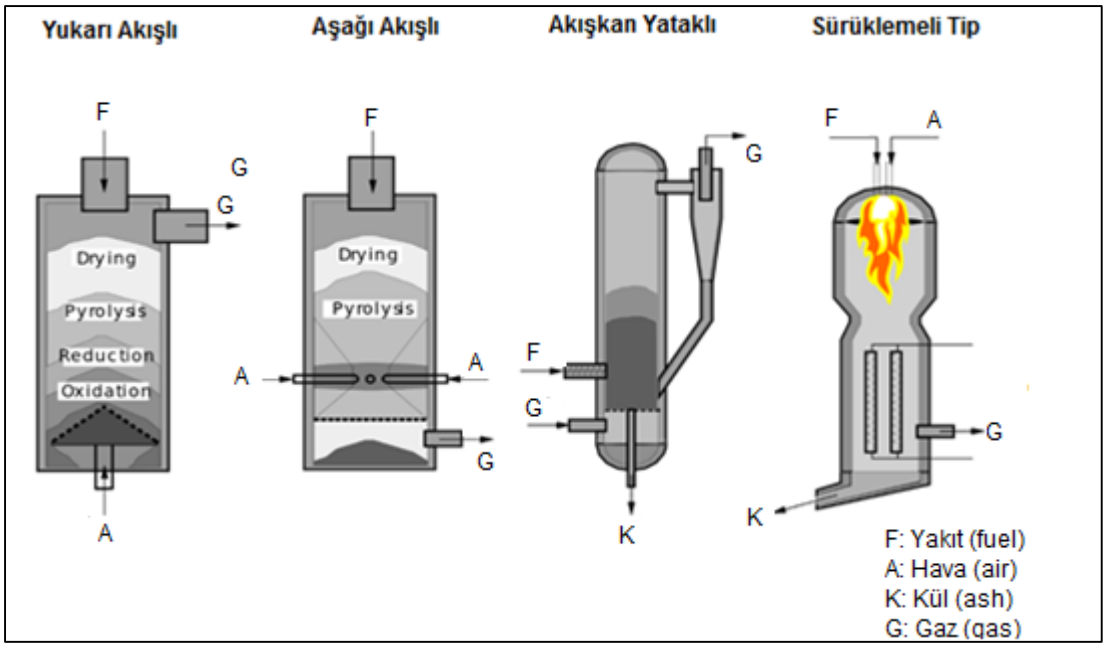
Akışkan yataklı gazlaştırıcılar

Akışkan yataklı (fluidized bed) reaktörlerde yakıt öncelikle uygun parçacık boyutlarına getirilir. Bu boyuttaki yakıtların akışkan şeklinde davranması sağlanır ve gazlaştırma işlemi gerçekleştirilir. Bu sistemler 0.5–5 mm aralığındaki kömür ve biyokütle parçacıklarının gazlaştırılması için uygundur. Yataklama için de kum, kireç taşı ya da kendi külü kullanılması uygundur. Özellikle kireç taşı seçilmesi durumunda ise yakıtın içerdiği kükürdün bir kısmı reaktör içerisinde tutulmuş olur. Bu reaktörlerde yüksek ve homojen bir şekilde sıcaklığın dağılması isteniyorsa, akışkanlaşma hızının üzerine çıkılmalı, karışım etkin hale getirilmelidir.

İşletme sırasında dikkat edimesi gereken husus, yatak sıcaklığı ile kül ergime sıcaklığı kontrolüdür. Yatak sıcaklığı kül ergime sıcaklığının üstüne çıkarsa, kül ergiyerek cüruf oluşturur ve yatağı tıkayabilir. Bu sorunun olmaması için proses çalışma sıcaklığı, kül ergime sıcaklığının altında olmalıdır [1].

Sürüklemeli akışlı gazlaştırıcılar

Sürüklemeli akışlı (entrained flow) gazlaştırıcılar genellikle kömür gazlaştırma işleminde kullanılan gazlaştırıcılardır. Bu tip reaktörlerde sıcaklıklar 1000- 1600ºC mertebelerine ulaştığı için yatak içerisindeki bulunan kül eriyik halde sistemi terkeder. Yüksek çalışma sıcaklıkları bulunan bu sistemlerde sentetik gaz bileşimindeki istenmeyen katran gibi maddelerin tamamen parçalanması sayesinde temiz bir sentetik gaz üretilir. Bu tip gazlaştırıcılar daha çok ısıl değeri yüksek kömürlerin gazlaştırılmasında ve gazlaştırma entegreli kombine çevrimli güç santrallerinde kullanılmaktadır. Besleme sistemleri kuru kömür besleme ya da kömür su karışımı şeklindedir [37]. Şekil 3.10'da temel yapı olarak gazlaştırıcı sistemler gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Gazlaştırıcıların şematik gösterimi [38].

3.6.3.3.Yakma

Doğrudan yakma teknolojisi atıktan enerjiye dönüşümde en çok kullanılan yöntemdir. Özellikle katı atıkların hacimlerinde de meydana getirdiği azaltma ile son zamanlarda kurulan tesislerin çoğunluğu yakma teknolojisini kullanmaktadır.

Yakma sistemlerinde atıkların tamamen yanabilmesi için fazla miktarda oksijen sisteme verilmeli ve tam yanma sağlanmaya çalışılmalıdır. Fakat bu reaktörlerde yanma 900-1200 °C sıcaklıkta gerçekleşir ve bu sıcaklıklarda meydana gelen gaz emisyonları kontrol altına alınmalıdır. Özellikle ilk yatırım maliyetlerini artıran bu emisyon önleme sistemleri konusunda gün geçtikçe maliyeti uygun çalışmalar yapılmalı ve teknolojiler geliştirilmelidir.

Bir bertaraf teknolojisi olarak yakma işlemi temel amacıyla bir hacim azaltma işlemidir, yaklaşık % 80-90'lık bir hacim azaltımı sağlanır. Günden güne gelen evsel katı atık içeriğinin sabit oranlı olmaması ve içeriğinde farklı maddeleri bulundurması sebebiyle kontrollü yakma işlemi ileri bir teknoloji gerektirmektedir.

Katı atıkların yakılması sonucu termik enerji üretilir. Bu termik enerji ile de elektrik enerjisi üretilmektedir. Yakma, özellikle düzenli depo sahası yer sıkıntısı yaşayan ülkelerde yaygın olarak görülmektedir.

Katı atık yakma sistemleri, yoğun teknolojik ekipmanlardan oluşan projeler oldukları için ilk yatırım ve işletme maliyetleri yüksektir. Bu sebeple tesis tasarımı yapılırken

özellikle yakıt için ısıl değer ve içerik incelemeleri yapılmalı ve gereken değerlerin sağlandığından emin olunmalıdır[35].

Yakma metodunun avantajları şunlardır;

- Proses sonunda, giren atık miktarında ağırlık ve hacimce %80 azalma görülür
- Diğer atık bertaraf yöntemlerine göre alan ihtiyacı en az olan yöntemdir,
- Çöp toplama noktalarına yakın bir yere kurulması halinde, nakliye (taşıma) maliyetlerinin azaltılmasını sağlar,
- Elektrik ve termik enerji üretimi sağlar.
- Fosil yakıt kaynaklı sera etkisini azaltır.
- Yakma metodunun dezavantajları ise şunlardır:
- Tesis için gerekli ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri yüksektir,
- Yetişkin, nitelikli ve kalifiye personel gerektirir,
- Yerleşim yerlerinin içinde bulunması halinde kontrol edilemeyen emisyon kaynaklı yayılan gazlar halk sağlığını olumsuz etkileyebilir. Doğal olarak bu da halk tarafından tepkiyle karşılanır. Bu sebeple özellikle gaz filtrasyonu yapılmayan yatırımlar durdurulmalı, emisyon değerleri yönetmeliklerde belirtilen aralıkta olmadığı takdirde operasyon izni verilmemelidir [19].

3.6.3.4.Termal yöntemlerin kıyaslanması ve "Yakma" sisteminin seçilmesi

Dünyada son 20 yılda biyokütle ve katı atık termal bertarafı yöntemleri üzerinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde atık bertarafı sistemlerinde büyük ilerleme sağlanmıştır. Kısaca bu sistemleri proses sıcaklıkları, proses ortamı ve temelde termodinamik yanma oranları şeklinde kısaca özetleyecek olursak, aşağıda tablo halinde karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.2'de verildiği gibidir.

Çizelge 3.2 :. Termal sistemler genel bakış.

	Piroliz	**Gazlaştırma**	**Yakma**
Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	250-700	500-1600	800-1400
Yanma Odası Basıncı (bar)	1	1-40	1
Ortam	Havasız - inert	Oksijen	Hava
Stokiyometrik Hava Oranı	0	<1	>1
Gaz Ürün Çıktıları	H_2 , CO, H_2O, N_2	H_2 , CO, CO_2, CH_4, H_2O, N_2	CO_2, H_2O, O_2, N_2
Sıvı Ürün Çıktıları	Pirolitik Yağ, Su	-	-
Katı Ürün Çıktıları	Kül, Biyokömür (char)	Kül, Cüruf	Kül, Cüruf

Genel olarak yukarıda temel olarak anlatılan bertaraf teknolojileri arasında;

- Mevcut katı atıklardan hacimce %80-90 oranında azalmayı sağlayan,
- Bunun yanında emre amadelik süresi oldukça yüksek olan,
- Yükleme ve boşaltma tarzı kesikli işlemleri olmayan,
- Proses sonunda da yüksek miktarda ısı enerjisi oluşturan,
- İlk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen, işletme maliyetleri düşük olan

Tasarım ve işletmesi diğer sistemlere göre daha bilindik ve kanıtlanmış bir teknoloji olan "yakma" sistemi tercihi yapılmıştır. Çalışmamızda yakma sisteminin temel analizleri, uygun ekipman seçimi ve ekonomik olarak analizi gerçekleştirilmiştir. Dünyada birçok ülkede kullanılan katı atık bertarafı ile enerji üreten santrallerden Hollanda'da bulunan bir santral örnek olarak Şekil 3.11'de verilmiştir. Fakat bu tarz yakma tesisleri henüz ülkemizde ticari olarak kullanılan bulunmamaktadır.



Şekil 3.11 : Amsterdam belediye katı atık yakma tesisi [39].

4. BELEDİYE KATI ATIK YAKMA TESİSİ İNCELENMESİ

Bu kısımda ise, seçilen yakma teknolojisi ile kurulacak olan bir tesis temel olarak hukuki, mühendislik ve ekonomik açıdan incelenecektir.

4.1.Hukuki İnceleme

Atıkların yakılarak elektrik üretimi, hukuki açıdan birçok farklı kanun ve yönetmelik kapsamına girmektedir. Buna göre tesisin faaliyete geçebilmesi için zorunluluk içeren iş ve işlemler aşağıaki gibidir:

• Elektrik üretimi açısından EPDK tarafından tesisin lisanslanması,

• Çevre Bakanlığından atık bertaraf lisansı alınması,

• ÇED Olumlu Belgesi alınması,

Bu iş ve işlemler ile ilgili hukuki düzenlemeler müteakip başlıklar altında sunulmuştur.

4.1.1. Elektrik üretim lisansı

Sistem çıktısı olan elektriğin piyasaya verilmesi ve desteklerden yararlanılabilmesi için enerji tesisi elektrik üretim lisansı alınmalıdır.

> Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği hükümlerine göre ön lisans; "Üretim faaliyetinde bulunmak isteyen tüzel kişilere, üretim tesisi yatırımlarına başlamaları için gerekli onay, izin, ruhsat ve benzerlerinin alınabilmesi için belirli süreli verilen izin" olarak tanımlanmıştır. Ön lisansın süresi mücbir sebep hâlleri hariç yirmi dört ayı geçemez. Ön lisans verilirken, başvurunun kaynak türüne ve kurulu gücüne bağlı olarak, bu sürenin otuz altı aya kadar uzatılmasına ilişkin hususlar, Kurul kararı ile düzenlenir.
>
> Ön lisansın alınmasının ardından, yatırıma başlanılabilmesi için gerekli yükümlülüklerin yerine getirilmesini takiben üretim lisansı alınması gerekmektedir. Üretim lisansı en çok 49 yıl süre için verilir.
>
> Üretim lisansı, sahibine;
>
> a) Lisansında belirtilen üretim tesisini kurma ve işletme,
>
> b) Üretim tesisinde ürettiği elektrik enerjisini veya kapasitesini; Tedarik şirketlerine,
>
> Serbest tüketicilere, Özel direkt hat tesis ettiği kişilere satma,

c) Organize toptan elektrik piyasalarında, elektrik enerjisi ve/veya kapasitesi ticareti,

d) Tedarik etmekle yükümlendiği elektrik enerjisi veya kapasitesini teminen, bir takvim yılı için lisansına belirtilen yıllık elektrik enerjisi üretim miktarının, Kurul tarafından belirlenen oranını aşmamak kaydıyla elektrik enerjisi veya kapasitesi alma,

e) Ürettiği elektrik enerjisinin uluslararası enterkoneksiyon şartı oluşmuş ülkelere ihracatını yapma,

f) Kurulca verilecek izin ile, sınırda yer alan illerde kurmak kaydıyla, üretim tesisinde ürettiği elektriği iletim veya dağıtım sistemine bağlantı tesis etmeden kuracağı özel direkt hat ile ihraç etme, hakkını verir. [40]

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda biyokütle tanımı altında sayılmaktadır. Bu sebeple üretilen elektriğin alım garantisi ile ilgili olarak da,

Birinci Bölüm – Amaç, Kapsam, Tanımlar ve Kısaltmalar

8. Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK): Hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarını,

9. Biyokütle: Organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat artıkları dâhil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynakları,

14. YEK Destekleme Mekanizması: Bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösterenlerin faydalanabilecegi fiyat, süreler ve bunlara yapılacak ödemelere ilişkin usul ve esasları içeren destekleme mekanizmasını ifade eder. [41]

Yenilenebilir enerji destek mekanizmasından biyokütle enerjisine dahil olmak üzere 0,133USD/kWh sabit fiyat ile alım garantisi bulunmaktadır. Çizelge 4.1'de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik için birim fiyatlar da verilmiştir.

Çizelge 4.1 : YEKDEM fiyatları.

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Tesis Tipi	Alım Fiyatları (USD / kWh)
Hidroelektrik üretim tesisi	0,073
Rüzgar Enerjisine dayalı üretim tesisi	0,073
Jeotermal enerjiye dayalı üretim tesisi	0,105
Biyokütleye dayalı üretim tesisi (çöpgazı dahil)	0,133
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	0,133

4.1.2. Katı atık bertaraf lisansı

Atıkların Yakılmasına İliskin Yönetmelik, özellikle yer seçimi konusunda izne tabi olmakla beraber, bertaraf lisansı almak gerekmektedir.

> Madde 6- Yakma tesisi kurmak isteyen özel ve tüzel kisiler; yakma tesisi kurmak üzere seçtikleri yer için meri mevzuat çerçevesinde, Mahalli Çevre Kurulu kararı ve Bakanlıgın uygun görüşü ile mahallin en büyük mülki idare amirinden izin almak ve imar planına işletmek zorundadır.
>
> Madde 7- Yakma veya beraber yakma tesisleri Bakanlıktan lisans almakla yükümlüdür. Yakma veya beraber yakma tesisi kurmak veya işletmek isteyen gerçek ve tüzel kişiler, Çevre Kanununca alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik hükümlerine göre müracaat eder ve lisans alır. Ayrıca, bu Yönetmeliğin Ek-9' unda yer alan bilgi ve belgelerin dosyada yer alması zorunludur. Çevre Kanunca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik gereğince düzenlenen Geçici Faaliyet Belgesi kapsamında deneme yakması sonuç raporunun olumlu çıkması halinde tesis atık kabulüne ve faaliyetlerine devam eder. [42]

4.1.3. Çevre etki değerlendirme raporu

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeligine göre ÇED belgesi alınacaktır.

> Günlük kapasitesi 100 ton ve üzeri katı atıkların yakma, kompost ve diğer tekniklerle ara işleme tabi tutulması ve bertaraf edilmesi için kurulan tesisler ve/veya alanı 10 hektardan büyük veya hedef yılı da dahil depolanacak katı atık miktarının günlük 100 ton ve üzeri olan katı atık depolama tesisleri, atık barajları, atık havuzları ÇED belgesi almakla yükümlüdür.[43]

4.2.Mühendislik İncelemesi

Mühendislik hesaplamalarında ise temel olarak yakıt bileşeni analiz edilmiş, yanabilir net miktar belirlenmiştir. Daha sonra ise buhar türbini tipi seçilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Biyokütle olduğu için baca gazı arıtma sistemleri düşünülmüş, sağlanması gereken çevresel değerlere göre uygun sistem belirlenmiştir. Bu doğrultuda uygun ekipman üreticilerinden kullanılacak ekipmanlar belirlenmiştir.

4.2.1. Yakıt bileşeni analizi

Belediye katı atık depolama tesisinden alınan örnekler bir üniversite labratuvarında bileşenleri incelenmiş, yaz ve kış dönemlerine ait ısıl değerler hesaplanmış ve

belediyeye sunulmuştur. Belediye yakıt içeriğini tarafımıza beyan etmiş ve paylaşmıştır. Yakıt içeriği Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 : Katı atık örneği yakıt içeriği.

ATIK KARAKTERİ			
	Birim	%	Kg
Mutfak Atıkları	%	42,85	257.100
Kağıt	%	5,25	31.500
Karton	%	5,35	32.100
Hacimli Karton	%	0,55	3.300
Plastik	%	13,45	80.700
Cam	%	3,70	22.200
Metal	%	0,90	5.400
Hacimli Metal	%	0,00	0
Atık Elektrik Ekp.	%	0,30	1.800
Tehlikeli Atık	%	0,60	3.600
Park Ve Bahçe Atıkları	%	2,55	15.300
Diğer Yanmayanlar	%	0,95	5.700
Diğer Yanabilenler	%	12,25	73.500
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	%	0,00	0
Kül (Toz, Kum Ve Taş Dahil)	%	11,30	67.800
Toplam	**%**	**100,00**	**600.000**
Yanabilen Atık Toplamı	%	82,25	493.500
Kış Dönemi Kalorifik Değer	kcal/kg		3.831
Yaz Dönemi Kalorifik Değer	kcal/kg		3.705

4.2.2. Enerji üretim ve temel ekipman hesaplamaları

Biyokütlenin yanması temel olarak;

$$C_n H_{1.4n} O_{0.6n} + 1.05\ (O_2 + 3.76N_2) \rightarrow n.CO_2 + n.0.7\ H_20 + (3.95)\ N_2 \qquad (4.1)$$

Bu sebeple katı atık içeriğinde bulunan yanabilir bileşenlerin analizleri iyi yapılmalıdır.

Yakıt Alt Isıl Değeri (LHV), 3.750 kcal/kg olarak ortalama bir değer alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Kazan yakıt besleme miktarı ($\dot{m}$); 16.500 kg/saat

Buhar Kazanı Verimi (η); %90

Sisteme verilecek NET Enerji ($\dot{E}$) = ($\dot{m}$. LHV . η)/ (kcal – kwh dönüşümü) (4.2)

= 16.500 * 3750 * 0,9 / 860,4

= 62.762 kWh_{termik}

Buhar kazanından üretici tarafından verilen değerler doğrultusunda, 50 bar 450°C'de kızgın buhar alınmaktadır. Sistem ana çevriminde dolaşan buhar debisi ise 77.000 kg/saat (21,3889 kg/s)'dir.

Kızgın buhar entalpisi (h_3); 3.317 kJ/kg'dır. (s_3; 6,82102 kJ/kg.K)

Sistem bu kızgın buharı türbinden geçirerek enerjisini alacaktır. Türbin tedarikçisi tarafından verilen türbin çıkış basıncına göre entalpi ve entropi hesaplamaları yapılır. Türbin çıkış basıncı 0,5 bar olarak verilmiştir. Türbin çıkışı izentropik değeri olan $h_{4S,}$ bu şekilde hesaplanır.

$$s_{4S} = s_3 \quad (4.3)$$

$$\eta_T = \frac{h3-h4}{h3-h4s} \quad (4.4)$$

h_{4S}; 2.371 kJ/kg (4.4a)

Türbin gerçek çıkış değeri ise; h_4; 2.541 kJ/kg olarak hesaplanır.

Türbinden alınan mekanik enerji;

$$\dot{W} = (\dot{m} . (h3-h4)) \quad (4.5)$$

= 21,3889 kg/s . (3.317-2.541)kJ/kg

16.592 kW hesaplanmaktadır. Bu mekanik enerjiden dişli kutusu ve alternatör ile elektrik üretecektir. Sistemde kullanılacak dişli kutusu verimliliği 0,985 ve alternatör verimliliği de 0,987 olarak kabul edilmiştir. Alternatörün çıkışında elde edilecek elektrik üretim miktarı ise;

$$\dot{W}e = \dot{W} . \eta gear . \eta gen \quad (4.6)$$

= 16.592 . 0,985 . 0,987

Hesaplanarak 16.130 kW elektrik enerjisi üretilir. Her güç santralinde olduğu gibi tesis içerisinde mevcut olan pompalar, fanlar, karıştırıcılar vs. gibi ekipmanların bir enerji tüketimi olacaktır. Bu içeride tüketilen enerji "internal consumption" diye tanımlanır ve farklı prosesleri bünyesinde barındıran tesisler için %5 ile % 9 arasında değişebilmektedir.

Tesisimizde iç tüketim oranı %7 olarak kabul edilmiştir.

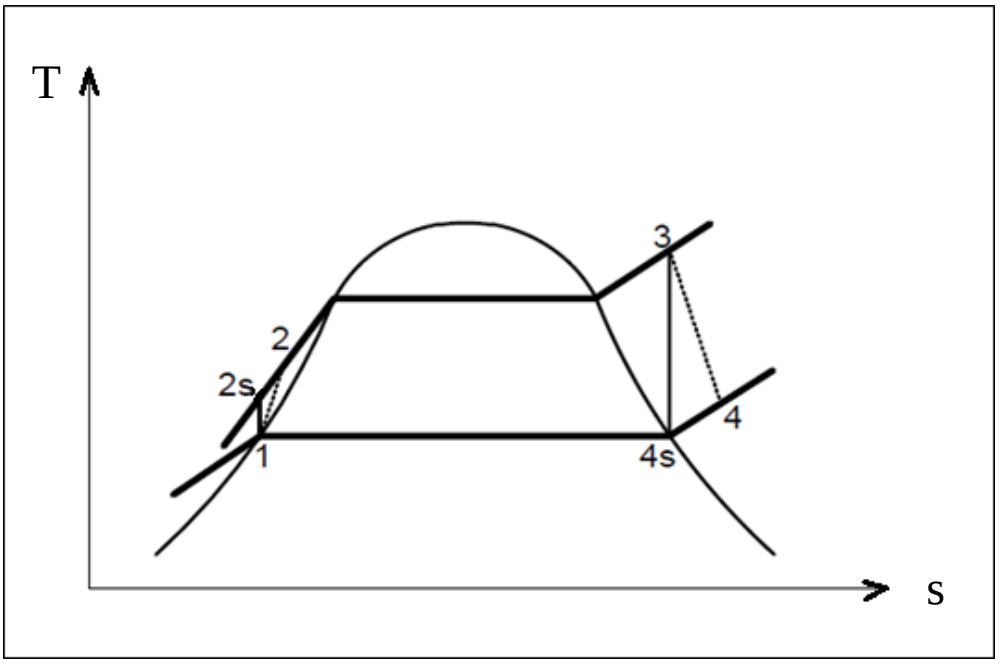
$$\dot{W}net = \dot{W}e.\ (1 - \text{İç Tüketim oranı}) \qquad (4.7)$$

İç tüketim ihtiyaçları da karşılandıktan sonra şebekeye verilecek net enerji 15.000 kW olarak hesaplanır. Saatlik 15 MW enerji şebekeye aktarılacak şekilde gelir ve üretim hesaplamaları yapılacaktır.

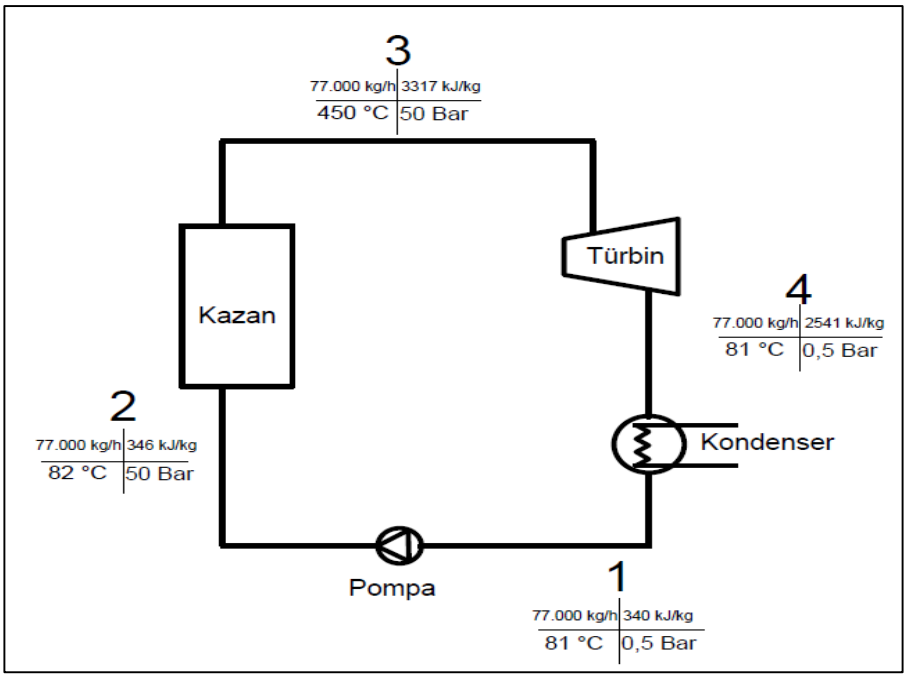
Temel olarak ideal bir Rankine çevrimi olan tesisimizin termodinamik özellikleri Çizelge 4.3'de detaylı gösterilmiştir. Şekil 4.1'de tesis T-S diyagramı verilmiş, Şekil 4.2'de de sistem enerji – kütle diyagramı verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Rankine çevrimi noktalar ve özellikleri.

Noktalar	1	2s	2	3	4s	4
Basınç (bar)	0,5	50	50	50	0,5	0,5
Sıcaklık (°C)	81,3	81,6	81,82	450	81,3	81,3
Entalpi (h) (kJ/kg)	340,5	345,6	346,59	3317,2	2371	2541,3
Entropi (s) (kJ/kg.K)	1,091	1,091	1,091	6,821	6,821	7,299
Kalite (%)					0,881	0,955



Şekil 4.1 : Yakma tesisi Rankine çevrimi T-S diyagramı.



Şekil 4.2: Yakma tesisi temel ısı – kütle dengesi.

Tesisin elektik saatlik elektrik enerjisi üretim miktarı; 15.000 kWh'dir.

Tesisin yıllık öngörülen çalışma süresi; 7.000 saattir.

$$\text{Yıllık elektrik üretimi} = (\text{saatlik üretim}) \,.\, (\text{yıllık çalışma saati}) \qquad (4.8)$$

Formülü ile 105.000 MWh olarak hesaplanır.

4.2.3. Buhar türbini teknolojisi ve seçimi

Buhar türbinleri farklı amaçlar doğrultusunda farklı tip ve yapılarda literatürde yer almaktadır. Bu sebeple türleri incelenmiş ve sisteme uygun olanın seçimi yapılmıştır.

Buhar hareketine göre;

- Impuls Türbini
- Reaksiyon Türbini

Sistemde buhar kullanımı durumunda buhar türbin tipleri iki ayrı durumda incelenir, ara buhar çekişi yapılarak tesiste veya yakınlardaki tesislere proses buharı sağlanabilir.

- Yoğuşmalı (condensing) Türbinler
    - Tamamen yoğuşmalı (Full condensing)
    - Ara buhar çekişli (Extraction)
- Geri Basınçlı (Non-condensing)

4.2.3.1.Impuls türbini

Buhar tarafından meydana gelen itki ile çalışır. Nozuller tarafından eğri kanatçıklara yönlendirilen buhar kanatçıkları döndürür ve generator ile elektrik üretilir. Şekil 4.3'de de görüldüğü gibi kanatçıkların şekli kovaya benzemektedir.

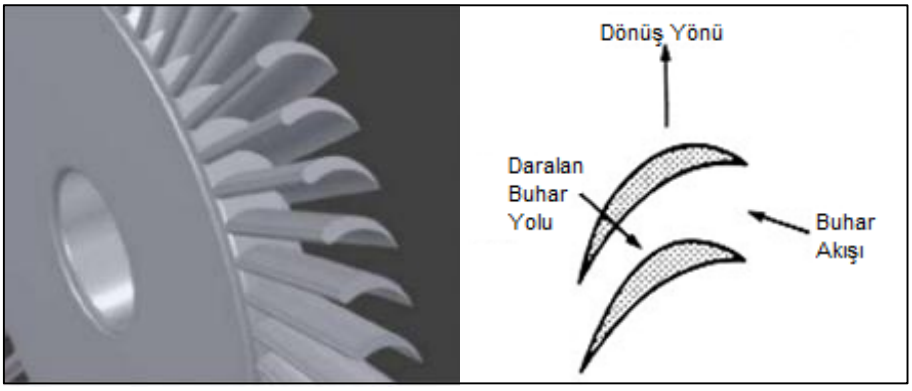
Durgun halde olan türbin, nozulden yüksek hızla gelen buhar sayesinde hareket kazanır (kinetik enerji). Kanatçıktan çıkan buhar enerjisini sisteme aktarmış olur ve düşük bir hızla sistemden ayrılır [6].



Şekil 4.3 : Impuls türbini kanaçıkları ve kesiti [44].

4.2.3.2.Reaksiyon türbini

Nozul yoktur. Hareketli rotor ve sabit statorlardan meydana gelmektedir. Stator kanatçıkları türbin kapatma gövdesine bağlıdır ve bir önceki nozul ile aynı görevi gördüğü söylenebilir. Şekil 4.4'de kesit görüntüsü verilmiştir. tator kanatçıklarından geçen buharın hızı artar ve enerji aktarımı hareketli rotor kanatçıkları üzerinden geçerken olmaktadır.



Şekil 4.4 : Reaksiyon türbini kanatçıkları ve kesiti [44].

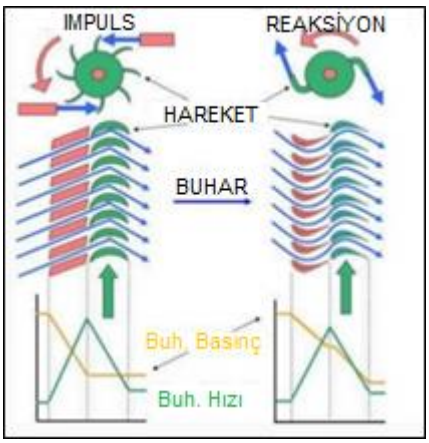
Verimlilik konusunda ise;

- Birden fazla kademe oluşturarak buharın genişlemesi sağlanmak istenir.
- Çok kademeli sistemler daha yüksek verimlidir
- Günümüzde çoğu buhar türbini impuls ve reaksiyon dizaynlarını bünyelerinde bulundurur
- Yüksek basınç kısımları impuls tipi, düşük basınç kısımları reaksiyon tipinde olmaktadır.

Çizelge 4.4 : Impuls ve reaksiyon türbini kıyaslaması.

Impuls Türbini	Reaksiyon Türbini
Nozullar ile türbin kanatçıklarına hareket verir	Statorlar yardımı ile hareketli rotora yönlendirilirler
Buhar kanatçığa direk kinetik enerjisi ile temas eder	Buhar hareketli kısım üzerinden basınç ve kinetik enerji ihtiva ederek akar
Kanatlar simetriktir	Kanatlar simetrik değildir

Yukarıda bulunan Çizelge 4.4'te temel olarak çalışma prensipleri anlatılmıştır. Bu hareket ve izledikleri yoldan kaynaklı, türbinlerin hız ve basınç grafikleri temel olarak Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Impuls ve reaksiyon türbinleri buhar basınç ve hız grafikleri [45].

4.2.3.3.Yoğuşmalı türbinler

Türbin çıkış basıncı negatif basınçta (vakum) çalışmaktadır. Maksimum basınç düşümü sonucu yüksek enerji üretimi görülmektedir. Ara kademeden buhar çekilip proseste veya ısıtma sisteminde kullanılabilir. Yaklaşık türbin verimi % 30 - % 40 mertebelerindedir. Türbin çıkışında uygun olarak konulacak kondenser hava veya su soğutmalı olabilir. Geri basınçlı türbinlere göre ilk yatırım maliyetleri daha fazladır [6].

4.2.3.4.Geri basınçlı türbinler

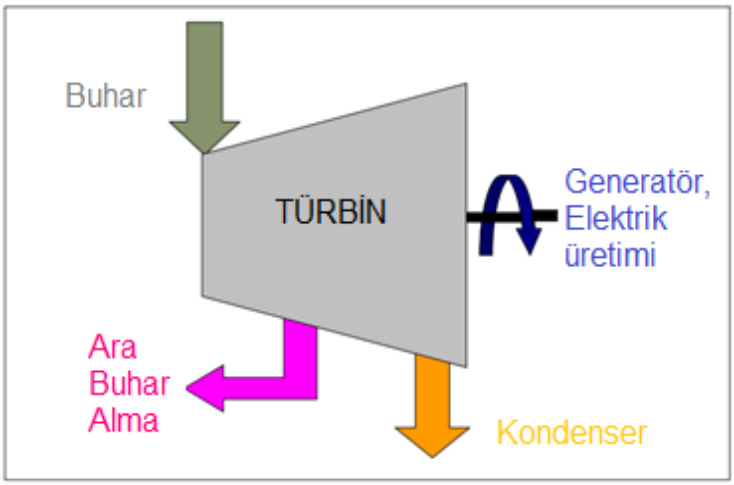
Türbin çıkış buharı atmosfer basıncında olur. Düşük basınçlı buhar proseslerinde kullanılmaktadır. Yoğuşmalı türbinlere göre aynı miktar buhardan daha az enerji üretirler. Verimlilikleri % 20 - % 35 arasındadır. Yoğuşmalı türbinlere göre daha ekonomiklerdir [6]. Genel hatlarıyla Çizelge 4.5'de temel özellikler tanımlanmıştır.

Çizelge 4.5 : Yoğuşmalı ve geri basınçlı türbin kıyaslama.

	Yoğuşmalı Türbin	**Geri Basınçlı Türbin**
Elektrik Üretim Verimleri	%30 - %40	%20 - %35
Buhar Egzoz Basıncı	Negatif Basınç (vakum)	Atmosfer basıncı veya üstü
kW başı buhar ihtiyacı	3 – 4,5 kg/h	9 – 45 kg/h

4.2.3.5.Buhar Kullanımına Göre Türbin Seçimi

Buhar çekişi konusu da fizibilitede detaylı incelenmiştir. Sistemden 10 bar basınçta 12 ton/saat buhar çekişi olması öngörülmüştür. Şekil 4.6'da ara buhar almalı türbin temel olarak gösterilmiştir. Bu buhar üretimini karşılamak için tesisin İstanbul ve Hatay için iki farklı durumu incelenmiştir. Sebebi ise İstanbul'da buhar üretiminin doğalgaza dayalı olması, Hatay'da ise ithal kömüre dayalı olmasıdır. Saatlik birim buhar maliyetleri hesaplanmıştır. Buhar satış fiyatı aynı miktar buhar ile elektrik üretimi fiyatının altında olduğu için sistemden tamamen elektrik üretmek ve sisteme satışını yapmak daha karlı olmaktadır.



Şekil 4.6 Ara buhar almalı buhar türbini.

Öngörülen senaryoda sistemden çekilen ara buhar 10 bar 180°C'de saatte 12 ton (3,33 kg/s) olarak düşünülmüştür. Çizelge 4.6'da ithal kömür ve doğalgaza dayalı temel buhar üretim maliyeti hesabı yapılmış ve gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : İthal kömür ve doğalgaz kıyaslaması.

	İthal kömür	Doğalgaz
Alt Isıl Değer (LHV) (kcal/kg)	5000	8250
Birim Fiyat (USD/ton – USD/m^3)	65	0,252
Buhar Üretim Maliyeti (USD/h)	103	243

Çekilen ara buharın ihtiva ettiği enerji = $\dot{m}$. h (4.9)

Bu enerji ise, 3,3 kg/s . 2777 kJ/kg ‘dan 9256 kW olarak hesaplanır

Bu miktarda buhar üretimi için gereken yakıt miktarı ise bu enerjiyi karşılayacak şekilde hesap edilerek bulunur.

Q = $\dot{m}$ (kg/h) . LHV(kcal/kg) / 860 (kcal/kwh) (4.10)

Tablodan da gözüktüğü üzere, sistemden çekilen buharın saatlik maliyeti doğalgaz kullanılırsa 243 USD, ithal kömür kullanılırsa 103 USD olmaktadır. Fakat bu buhar sistemin dışına alınmadan buhar üretimine devam edilmiş olsaydı sistem kazancı 270 USD olmaktadır. Bu sebeple elektrik satış bedeli olan 270 USD’den daha yüksek fiyatta satılabilecekse sistem extraction türbin seçilmelidir. Aksi takdirde tamamen yoğuşmalı bir buhar türbini kullanımı en ekonomik ve doğru seçim olacaktır. Bizim sistemimizde de tamamen yoğuşmalı türbin seçimi yapılmıştır.

4.2.4. Kondenser hesabı

Kondenser sistemi, türbinden sonra oluşan çürük buharın tamamen soğutularak sıvı hale getirildiği yer olacaktır. Tamamen sıvı olduktan sonra pompa sistemi ile tekrar çevrime devam edecektir. Kondenser tamamen bir ısı değiştirici gibi çalışmakta olup su soğutmalı veya hava soğutmalı olarak seçilebilir.

Su soğutmalı sistemlerde su kaynağı olan göl, akarsu veya deniz için, var olan ekosistemin de bozulmaması için giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 7°-9° C olması istenmektedir.

Sistemde kondenserden geçmesi gereken su miktarı hesaplamak istenir ise;

$$Q_{kondenser} = (\dot{m} \cdot (h4 - h1)) \quad (4.11)$$

Sistemdeki buhar debisi ve türbin giriş ve çıkış entalpileri farkı ile burada soğutulması gereken enerji yaklaşık olarak 43.440 kW_t hesaplanmıştır.

Burada meydana gelen Qkondenser akarsudan alınan su ile soğutulacaktır. Kondenser verimliliği olarak $\eta_{kondenser}$; 0,95 olarak alabiliriz. Dolayısıyla kaynaktan alınacak enerji miktarı ise Q_{deniz}; 45.726 kWt olacaktır.

$$Q_{deniz} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4.12)$$

Suyun özgül ısısı (c_p); 4,18 ve sıcaklık farkı da 8° C alınmıştır. Göl veya akarsu sistemi bozulmak istenmemektedir. Bu işlemler sonucunda 4.922 m^3/h gibi büyük bir miktar soğutma suyu gerekmektedir. Proje sahası yakınlarından akarsu üzerinden bu debi sağlanacaktır. Daha sonra operasyon sırasında gerektiği takdirde azar azar takviye suyu alınacaktır. Daha sonra soğutma kulelerinde su soğutulacaktır. Şekil 4.7'de de verilen tipte 4 adet 1250 m^3'lük soğutma kuleleri kullanımı öngörülmüştür.



Şekil 4.7 Su soğutmalı kondenser.

4.2.5. Baca gazı temizleme sistemleri

Biyokütle yakma sistemlerinde çevresel etkileri genellikle atmosfere salınan emisyonlar ile ilgilidir. Emisyon miktarı oluşmasında farklı sebepler bulunmaktadır;

- Yakma teknolojisi
- Biyokütle özellikleri
- Yakma koşulları
- Birincil ve İkincil giderme yöntemleri

Yakma işlemlerinde yanma olayının tam olarak gerçekleşmesi sağlanmalı ve emisyon oluşumu kontrol edilmeli ve azaltılmalıdır. Emisyonları azaltmak için birincil ve ikincil önlemler uygulanmaktadır. Birincil emisyon azaltma sistemleri genellikle bütün santrallerde kullamılır, fakat küçük ölçekli biyokütle yakma tesislerinde ikincil emisyon azaltma önlemleri çoğu zaman maliyet-etkin (cost-effective) değildir. Bu sebeple de emisyon regülasyon sınırları büyük ölçekli biyokütle yakma sistemlerinde olduğu kadar katı değildir. Biyokütlenin yakıt olarak kullanıldığı yakma sistemlerinde emisyon kontrol değerleri genellikle eksik yanma kaynaklı partiküller ve CO gibi bileşenler için uygulanır.

Özellikle düşük azot içerikli biyokütle yakma prosesinden kaynaklanan NO_x ve SO_x emisyonları fosil yakıtlar olan kömür ve petrole göre daha düşüktür. Brincil emisyon azaltma sistemlerinde genellikle NO_x emisyon seviyeleri önemli ölçüde azaltılır ve ikincil emisyon azaltma sistemleriyle daha da fazla azaltılabilmektedir. SO_x emisyonları ikincil emisyon azaltma önlemleriyle kolayca düşürülebilirken, bazı durumlarda birincil emisyon azaltma teknikleri de etkilidir.

Biyokütle yakma sistemlerinden kaynaklanan emisyonlar iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar:

- Tam yanma sonucu oluşan emisyonlar
- Eksik yanma sonucu oluşan emisyonlardır.

Eksik yanmanın meydana geleceği durumlar ise;

- Yanma kamarasında hava/yakıt karışmasının iyi olmaması,
- Ortamdaki oksijenin eksikliği,
- Sıcaklığın yeterince yüksek olmaması,
- Bekleme süresinin yeterince uzun olmaması,
- Kesikli yanma prosesinde çarın yanma sırasında radikal konsantrasyonlarının oldukça düşük olması [8]

Tam yanma ve eksik yanma sonucu ortaya çıkan emisyon bileşenleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7: Tam ve eksik yanma sonucu meydana gelen ürünler ve özellikleri[46].

Çıkan Bileşen	Tam Yanma	Eksik Yanma	Açıklama
CO_2	x		Tüm biyokütle türlerinin yakılması sonucunda oluşan en önemli yanma ürünüdür ve karbondan oluşmaktadır. Biyokütle yakılmasından kaynaklanan CO_2 emisyonlarının sera etkisine katkısı yoktur.
NOx	x		Biyokütle yakılmasından kaynaklanan NOx emisyonları yakıtta bulunan azotun tam oksidasyonu sonucunda oluşur. Fosil yakıt yakılması halinde ise, havadan gelen azot da NOx oluşumuna katkıda bulunur. NOx oluşumu hem gaz fazdaki yanma sırasında, hem de çarın yanması sırasında meydana gelir. NO (nitrik oksit) başlıca azot oksit olup, atmosferde NO_2'ye dönüşmektedir.
SOx	x		Yakıttaki kükürdün tam oksidasyonu sonucunda oluşurlar. % 95'den fazlası SO_2 , % 5'den azı ise düşük sıcaklıklarda oluşan SO_3'den oluşur. Yakıttaki kükürdün tamamı SOx'e dönüşmez; bir kısmı külde kalırken küçük bir kısmı da K_2SO_4 tuzu veya H_2S şeklinde salınır. Danimarka'da, saman yakılan iki ayrı yakma sisteminde ölçülen sonuçlara göre, kükürdün % 57-65'i baca gazı ile salınırken geriye kalanı külde kalmaktadır. SO_2 emisyonları, kireç veya kireçtaşı ilavesi gibi birincil önlemler ile ya da ikincil bazı önlemler ile azaltılabilmektedir.
HCl	x		Yakıtta bulunan klorun bir bölümü HCl şeklinde salınmaktadır. Odunsu biyokütlenin klor içeriği oldukça düşüktür. Miskantus, çimen ve saman gibi bazı biyokütle türlerinde yüksek oranda klor bulunması nedeniyle önemli miktarda HCl oluşumu söz konusudur. Yakıtta bulunan klorun tamamı HCl'ye dönüşmez. Ana fraksiyon K ve Na ile tepkime sonucunda oluşan KCl ve NaCl tuzları şeklinde tutulur. Bir miktar dioksin ve klor içeren organik bileşikler de oluşmaktadır. Yakıtın yıkanması ile HCl emisyonları azaltılabilmektedir. Özellikle bu yöntem yüksek klor içeriğine sahip saman için uygulanmaktadır. Ayrıca, ikincil emisyon azaltma yöntemleri de uygulanabilmektedir.
Ağır Metaller	x		Taze biyokütlenin her çeşidi belli oranda ağır metal içerir. En yaygın ağır metaller bakır, kurşun, kadmiyum ve cıvadır. Bunlar, Külde kalabilirler, Buharlaşabilirler, Atmosfere atılan partiküllere yapışabilirler, Fly-ash içerisinde kalabilirler.
CO		x	Yakıtın karbon içeriğinin CO_2'ye dönüşmesi, farklı reaksiyonların gerçekleştiği birkaç adımla meydana gelir. CO en önemli ara üründür. Yeterince oksijen varsa CO2'ye oksitlenir. CO'nun CO_2'ye oksitlenme hızı sıcaklığa bağlıdır. CO, yanma kalitesinin güzel bir indikatörüdür. Büyük ölçekli yakma sistemlerinde kontrolün daha etkin yapılması nedeniyle CO emisyon seviyesi küçük ölçekli sistemlere göre daha azdır.

Çizelge 4.7(devam) : Tam ve eksik yanma sonucu meydana gelen ürünler ve özellikleri[46].

CH_4	x	Metan doğrudan bir sera gazı olduğu için diğer hidrokarbonlardan farklı bir öneme sahiptir. Biyokütlenin yakılmasında, karbonun CO_2'ye hidrojenin de H_2O'ya dönüşümünde önemli bir ara üründür. CO gibi CH_4 emisyonları da, düşük yanma sıcaklığı, kısa bekleme süresi ve eksik oksijen durumunda artmaktadır. Hidrokarbonlar genel olarak CO'dan önceki ara ürünlerdir. Bu nedenle emisyon seviyeleri daha düşüktür.
NMVOC	x	NMVOC, metan dışında kalan tüm hidrokarbonları, PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar) ve kondanse olarak partikül emisyonlarını oluşturan diğer ağır hidrokarbonları kapsar. Düşük yanma sıcaklıkları, kısa bekleme süreleri ve oksijen eksikliği durumunda bu emisyonların konsantrasyonları artış göstermektedir.Kanserojen etkilerinden dolayı PAH'lar diğer hidrokarbonlardan ayrı tutulur.
NH_3	x	Piroliz / gazlaştırma işleminden oluşan NH_3'ün tam olarak yanmaması nedeniyle az miktarda NH_3 emisyonu oluşabilir. Yakma sıcaklığı düşük ise emisyonları oluşur. NH_3 enjekte edilmesini içeren ikincil NOx azaltma önlemi de ilave NH_3 emisyonu oluşmasına yol açar.
O_3	x	CO, CH_4 , NMVOC ve NOx içeren fotokimyasal atmosferik reaksiyonlardan oluşan ikincil bir yanma ürünüdür. Ozon doğrudan bir sera gazıdır. Lokal ve bölgesel çevreyi etkiler. Biyokütle yakma sistemlerinin en istenmeyen yan ürünlerindendir. O3 emisyonları eksik yanma sonucu oluşan emisyonların indirgenmesi yoluyla ve NOx giderme amacıyla uygulanan birincil ve ikincil önlemler sayesinde azaltılabilmektedir.

Partikül emisyonları tam veya eksik yanma sonucu gözlenebilir. Bu emisyonlar arasında uçucu kül (fly-ash) diye bilinen bileşenler, baca gazı ve aerosoller ile taşınmaktadır. Aerosoller, K veya Na'nın Cl veya S ile reaksiyonu sonucunda oluşurlar. Aerosoller ağır metalleri de içeren ve kolayca buharlaşabilen elementleri içerdiklerinden ve ergime sıcaklılarının düşük olmasından dolayı emisyon problemleri haricinde birikim oluşturma sorunu da yaratırlar.

Kuru sistemlere örnek olarak toz halinde kireçtaşı, baca gazlarının bulunduğu bir reaktöre verilir. Bu reaktörde gerçekleşen reaksiyon toz kireç taşı ($CaCO_3$) , baca gazındaki ($HCl + HF + SO_2$) arasında olur ve ürün olarak $CaCl_2$, CaF_2 ve $CaSO_3$, gibi nötr tuzlar oluşur ve filtreler yardımıyla baca gazından ayrılır. Eğer yakıt olarak evsel atık kullanılıyorsa, çıkan bu atıklar diğer evsel atıklarla birlikte düzenli depolama

sahalarına gömülerek bertaraf edilir veya cüruf ile birlikte yol yapımlarında dolgu malzemesi olarak kullanılır.

Elektrostatik çöktürücüler (ESPs) ve torba filtreler büyük ölçekteki biyokütle yakma sistemlerinde kullanılan ikincil partikül emisyon azaltma önlemlerindendir. Bu tip filtreler sadece orta ve büyük ölçekli uygulamalar için ekonomik olduklarından, küçük ölçekli biyokütle yakma birimlerinden önemli ölçüde ince partikül açığa çıkmakta ve ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır.

Yakma kamarasının optimum dizaynı yoluyla, baca gazı ile taşınan iri fly-ash partiküllerinin yakma kamarasını terk etmesi belli ölçüde önlenebilmekte ve yanma kamarasında aşağı doğru düşerek yatak külü şeklinde uzaklaştırılabilmektedir[46].

4.2.6. Tedarikçi araştırma ve uygun ekipmanların seçilmesi

Buhar kazanı konusunda özellikle Avrupa menşeili firmalar başta olmak üzere yerli ve yabancı birçok üretici bulunmaktadır. Anahtar teslim alınan teklif Ek – B'de verilmiştir.

- Biyokütle ve benzeri evsel katı atık (çöp) yakan tesisler için buhar kazanı ciddi bir ekipman olup, cinsi ve miktarı sürekli değişebilen yakıt yakacağı için değişik sorunlar çıkarması muhtemeldir. Özellikle bu konuda deneyimli, kendini kanıtlamış firmalarla çalışmak işletme açısından da daha az sıkıntı çıkartacaktır. Çalışmamızda Avrupalı bir üretici ile görüşülmüştür. Nihai olarak su borulu, doğal sirkülasyonlu ve hareketli ızgaralı bir buhar kazanı tercih edilecektir.
- Buhar türbini konusunda ise, ara buhar alma durumu değerlendirilmiştir. Ekonomik olan durum, sistemden herhangi bir buhar çekişi olmadan tamamen elektrik üretimine yönelik olan sistem olacaktır. Bu sebeple türbin tamamen yoğuşmalı ve kanatçık olarak da impuls ve reaksiyon kanatlarını beraberinde bulunduran çok kademeli yatay bir buhar türbini seçilecektir.
- Kondenser konusunda ise "shell and tube" tarzı akarsu veya göl kenarına yapılacaktır. Soğutma suyu temini için bu şekilde düşünülmüştür. Bu tarz bir durum söz konusu değil ise hava soğutmalı kondenser tercih edilecektir.
- Baca gazı temizleme sistemi olarak da öncelikle yasa ve yönetmelikteki değerleri sağlamak için bir adet kuru sistem gaz temizleme sistemi ve furan,

dioksin vb. gibi zararlı bileşenleri önlemek için de elektrostatik filtreleme sisteminin beraber kullanılması öngörülmüştür.

4.3.Ekonomik İnceleme

Sistemin en önemli kısmı ise ekonomik ve fizibilite kısmıdır. Bu konuda uzun dönemli çalışacak olan santral için projeksiyonları iyi yapabilmeli, feed-in tarif sonrası elektrik enerjisi satış fiyatları, sistemde meydana gelebilecek duruşları, yıllık enerji üretimlerini ve yıllık personel ve bakım giderleri vs. gibi temel gelir ve gider projekisyonlarını iyi tahmin etmek gerekmektedir.

Temel ekipman fiyatları sektör içerisinden tahmini rakamlarla alınarak hesaplamalar yapılmış, sonra ise bu tesisi komple müteahhitliğini yapacak bir firmadan da reel bir teklif alınarak çalışmalar bir teorik bir de gerçek olarak gösterilmiştir.

Teknik ve ekonomik kabuller yapılarak bir çalışma senaryosu ortaya konmuştur. Bu senaryoya göre enerji üretimi, gelir gider tablosu, nakit akışı gibi temel analizler yapılmıştır. IRR ve ROI gibi finansal göstergeler hesaplanmıştır [9].

Çizelge 4.8 : Ekonomik kabüller.

KABÜLLER	Birim	Değer
Yıllık Elektrik Fiyatına Gelen Zam (ortalama)	%	8,0
Yıllık Ortalama US$ Develüasyonu (ortalama)	%	9,0
Yıllık Enflasyon Oranı (ortalama)	%	7,5
US$/TL		3,00
EUR/TL		3,30
Elektrik Satış Fiyatı		
İlk Yıl	US$/MWh	133
Feed-in tarifden sonraki ilk yıl (11.yıl)	US$/MWh	60
Yıllık Öngörülen Yakıt Tüketimi	Ton/yıl	182.500
Yıllık Yakıt Gideri, Elektrik satış fiyatı üzerinden	%	25
Kurulu Güç	kW	16.130
Yıllık Çalışma Süresi	saat	7.000
Yıllık Net Elektrik Üretim Miktarı	MWh	105.000
Ortalama Tesis Elektromekanik Ekipman Yıpranma Oranı	%	0,30%
EKONOMİK KABULLER	Birim	Değer
Faiz Oranı	%	6,5
Özkaynak/Kredi Oranı	/	25/75
Özkaynak	%	25
Kredi	%	75
İlk Yatırım Maliyeti	US$	30.000.000
Özkaynak	US$	7.500.000

Çizelge 4.8(devam) : Ekonomik kabüller.

Kredi	US$	22.500.000
Finansman Gideri Dahil Yatırım Maliyeti	US$	35.364.213
Faiz Oranı	%	6,5%
Ödemeler (ödemesiz + kredi)	Yıl	1+5
Toplam Ödeme (adet)	#	10
Özkaynak/Kredi Oranı		25/75
Ödemeler		Anapara+Faiz+BSMV
Ödeme Başlangıç Tarihi		1 Mayıs 2018
Kredi Alış Tarihi		1 Ocak 2017

4.3.1. Temel ekipman fiyatları

Tesiste kullanılacak temel ekipmanlar ve fiyatları çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Ekipman fiyatları.

No.	Ekipman Temel Fiyatları	Birim Fiyat (US$)	Birim	Toplam Fiyat (US$)	% Oran
1.	Sahanın satın alınması ve İnşaat işleri	1.995.000	1	1.995.000	7,1%
2.	Boiler, Türbin, Kondenser & Ekipmanlar	21.445.000	1	21.445.000	76,6%
3.	Kurulum, montaj	855.000	1	855.000	3,1%
4.	Testler ve Devreye Alma	912.000	1	912.000	3,3%
5.	Taşıma Nakliyat (CIF Istanbul)	718.000	1	718.000	2,6%
6.	Dizayn ve Mühendislik	1.505.000	1	1.505.000	5,4%
7.	Trafo Merkezi ve Enerji Nakil Hattı	570.000	1	570.000	2,0%
	Toplam			***28.000.000***	***100%***
	Müteahhit Firma Toplam Maliyeti			28.000.000	100%
	Diğer bedeller, öngörülmeyen bedeller			2.000.000	US$
	Yatırımcı Maliyeti			**30.000.000**	**US$**

4.3.2. Nakit akışı, IRR ve ROI hesabı

Detaylı nakit akış tablosu Ek-A'de verilmiştir. Özet olarak nakit akışları Çizelge 4.10'daki gibidir.

Çizelge 4.10 : Proje nakit akışları.

PROJE NAKİT AKIŞI DURUMU	Birim	2017	2018	2019	2020	2041
Kazanç Toplama Oranı	%	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Elektrik Satış Fiyatı	US$	133,00	133,00	133,00	133,00	64,80
GELİRLER		2017	2018	2019	2020	2041
Operasyon Kazancı	US$	0	13.965.000	13.931.484	13.898.048	6.438.170
Elektrik Satış Geliri	US$	0	13.965.000	13.931.484	13.898.048	6.438.170
Yıllık Ekipman Yıpranma Oranı	*%*	*0*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*
Yıllık Net Elektrik Üretimi	*MWh*		*105.000*	*104.748*	*104.497*	*99.354*
Yatırım Finansmanı için Alınacak Kredi	US$	25.500.000	0	0	0	0
Ekstra Kredi	US$	0	0	0	0	0
Kısa Dönem Banka Kredileri	US$	0	0	0	0	0
Özsermaye	US$	4.500.000	0	0	0	0
TOPLAM GELİRLER	US$	30.000.000	13.965.000	13.931.484	13.898.048	6.438.170
GİDERLER						
Operasyon Giderleri		2017	2018	2019	2020	2041
Toplam Operasyon Giderleri	US$	0	4.217.250	4.212.891	4.208.633	2.451.499
Personel Giderleri	US$	*0*	150.000	153.000	156.060	236.535
Teknisyen ve Mühendsiler	*US$*	*0*	*150.000*	*153.000*	*156.060*	*236.535*
Dış İnsan Kaynağı	*US$*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
Yakıt Gideri	US$	0	3.491.250	3.482.871	3.474.512	1.609.542
Yıllık Yakıt Tüketim Miktarı	ton/yıl		*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*
Düzenli Bakım Onarım Gideri	US$	0	575.000	576.000	577.020	603.845
Yapı & İnşaat Bakım	*US$*	*0*	*50.000*	*51.000*	*52.020*	*78.845*
Mekanik & Elektrik Bakım	*US$*	*0*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*
Ulaşım & İletişim Giderleri	US$	0	1.000	*1.020*	*1.040*	*1.577*
Finansman Giderleri	US$	0	0	0	0	0
Toplam Kredi Ödemeleri	US$	0	6.258.013	5.493.803	5.976.418	0
Mevcut Kredi - 1	US$	0	6.258.013	5.493.803	5.976.418	0
Finansal Giderler	US$	0	0	0	0	0
Toplam Yatırım Miktarı	US$	30.000.000	0	0	0	0
TOPLAM GİDERLER	US$	30.000.000	10.475.263	9.706.694	10.185.051	2.451.499
YILLIK TOPLAM KAR / (ZARAR)	US$	0	3.489.738	4.224.791	3.712.998	3.986.671
KÜMÜLATİF YILLAR SONU KAR / (ZARAR)	US$	0	3.489.738	7.714.528	11.427.526	130.577.767

Bu gelir ve gider tablosuna göre temel proje değerlendirme kriterlerinden olan "geri dönüş süresi (ROI)" ve "iç verim oranı (IRR)" hesaplanmış ve Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11 : Proje değerlendirme kriterleri.

%15 ÖZSERMAYE GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ (ROI)	YIL	2,7
%15 ÖZSERMAYE İÇ VERİM ORANI (IRR)	%	34%
%100 ÖZSERMAYE GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ (ROI)	YIL	4,1
%100 ÖZSERMAYE İÇ VERİM ORANI (IRR)	%	30%
PROJE GERİ DÖNÜŞ SÜRESİ (ROI)	YIL	6,2
PROJE İÇ VERİM ORANI (IRR)	%	21%

4.3.3. Kredi Aylık ve Yıllık Ödeme Tabloları

Bankadan alınacak kredinin ise nasıl ödeneceği Çizelge 4.12'de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.12 : Kredi ödeme tablosu.

					Kredi Tutarı	25.500.000	US$						
					Faiz Oranı	6,5%	Sabit						
					Kredi Süresi	1+5	Yıl	1 Yıl Ödemesiz / 5 yıl Ödeme					
					Toplam Ödeme Sayısı	10							
					Özkaynak/Kredi Oranı	25/75							
					Ödemeler	Anapara+Faiz+BSMV							
					İlk Ödeme Başlama Tarihi	01.05.2018	Kredinin Alınma Tarihi		01.01.2017				
						Ödemeler			*Faiz Oranı*				
# Ödeme	Günler #	Tarih	Kalan Anapara	**Faiz Bedeli**	**Anapara Ödemesi**	**Ana Para + Faiz**	**Kümülatif Toplam**	*Sabit*	*Diğer*	*Toplam Faiz*	Yıllık Ödeme	Yıllar	
		1.1.2017	22.500.000										
1	485	1.5.2018	22.500.000	1.970.313	1.800.000	3.770.313	3.770.313	6,50	-	6,50			
2	184	1.11.2018	20.700.000	687.700	1.800.000	2.487.700	6.258.013	6,50	-	6,50	6.258.013	2018	
3	181	1.5.2019	18.900.000	617.663	2.106.000	2.723.663	8.981.675	6,50	-	6,50			
4	184	1.11.2019	16.740.000	557.934	2.106.000	2.663.934	11.645.609	6,50	-	6,50	5.387.597	2019	
5	182	1.5.2020	14.580.000	482.664	2.379.780	2.862.444	14.508.053	6,50	-	6,50			
6	184	1.11.2020	12.031.200	408.906	2.379.780	2.788.686	17.296.739	6,50	-	6,50	5.651.130	2020	
7	181	1.5.2021	9.482.400	324.467	2.641.556	2.966.023	20.262.762	6,50	-	6,50			

Çizelge 4.12(devam) : Kredi ödeme tablosu

8	184	1.11.2021	6.474.816	242.086	2.641.556	2.883.642	23.146.404	6,50	-	6,50	5.849.665	2021
9	181	1.5.2022	3.467.232	151.812	2.641.556	2.793.368	25.939.772	6,50	-	6,50		
10	184	1.11.2022	459.648	66.570	2.003.773	2.070.342	28.010.115	6,50	-	6,50	4.863.710	2022
USD				**5.510.115**	**22.500.000**	**28.010.115**					**28.010.115**	

4.3.4. Genel finansal sonuçlar

Genel hatlarıyla projeyi tekrar incelersek, çizelge 4.13'te toparlayabiliriz.

Çizelge 4.13 : Finansal sonuçlar.

Yatırım Bedeli (2017)	**Birim**	
Toplam Yatırım Bedeli	US$	30.000.000
Toplam Yatırım Bedeli	US$	30.000.000
Finansal Kaynaklar (2017 - 2022)		
Banka Kredisi	US$	22.500.000
Özsermaye	US$	7.500.000
Toplam Yatırım Bedeli	US$	30.000.000
Kısa Dönemli Banka Kredisi	US$	-
Toplam Finansal Bedel	US$	30.000.000
Kabuller		
Elektrik Satış Fiyatı	US$/kWh	0,133
IRR & ROI		
Yatırımcı (25%) Finansal IRR & ROI (Finansman Gideri Dahil)		
Yatırımcı IRR	% P.A.	37%
Yatırımcı ROI	YIL	2,9
100% Özsermaye Finansmanı IRR & ROI (Finansal Giderler Hariç)		
Özsermaye IRR	% P.A.	30%
Özsermaye ROI	YIL	4,1
Proje Finansal IRR & ROI (Finansal Giderler Dahil)		
Proje IRR	% P.A.	21%
Proje ROI	YIL	6,2

Bu finansal hesaplamalara göre proje kendini 6,2 senede tamamıyla geri ödemiş olacaktır. Bu süre enerji projeleri için iyi bir süre olmakla beraber, elektromekanik ekipmanlar için ekonomik olarak öngörülen 25 yıl çalışma süresinin geri kalan kısmında yatırımcıya maddi kazanç sağlayacaktır.

5. SONUÇLAR

5.1.Katı Atık Bertaraf Tesisi Genel Özeti

Genel kapsamıyla evsel katı atık kaynaklı ve belediye aracılığıyla toplanan katı atıkların ileri termal teknolojiler ile bertarafı ve enerji üretimi üstüne teknik değerlendirme ve ekonomik analiz yapılmıştır. Bilinen en eski yöntemlerden olan yakma teknolojisi seçilmiştir. Bu seçimde çıkan kül miktarında meydana gelen hacimce %80-90 azalma, kurulacak sistemin tasarımının, inşaatının ve işletmesinin kolaylığı göz önüne alınmıştır. Temel olarak ideal Rankine çevrimi ile çalışacak olan sistem, buhar kazanı, buhar türbini, su soğutmalı kondenser ve diğer elektromekanik ekipmanlardan oluşmaktadır. Sistemde kullanılacak buhar türbini proses buharı kullanım durumuna göre ekonomik olarak incelenmiş, bu çalışma amacına göre teknoloji seçimi yapılmıştır. Oluşturulan sistemde ise, ortalama saatte 16,5 ton evsel ve endüstriyel kaynaklı katı atık yakılarak 16,1 MWh enerji üretilecektir. Bu enerjinin bir kısmı tesis içindeki ekipmanlarda tüketilecek, net olarak 15 MWh elektrik saatlik olarak şebekeye verilecektir. Bu tesis yaklaşık olarak 30.000.000 USD'a mal olması öngörülmüştür. Bu kapsamda temel fizibilite ve nakit akışı hesaplamaları yapılmış ve gösterilmiştir. Yatırımın geri dönüş süresi ve iç verim oranı da hesaplanmıştır, çıkan rakamlar yatırımın yapılabilirliğini göstermektedir.

Çizelge 5.1 Yatırım projeleri değerlendirmede kullanılan temel değerler.

YATIRIMCI' (15%) FİNANSMANI (FİNANSMAN GİDERİ DAHİL)		
YATIRIMCI IRR	% P.A.	37%
YATIRIMCI PBP	YIL	2,9
100% ÖZSERMAYE FİNANSMANI (FİNANSAL GİDERLER HARİÇ)		
ÖZSERMAYE IRR	% P.A.	30%
ÖZSERMAYE PBP	YIL	4,1
PROJE FİNANSMANI (FİNANSAL GİDERLER DAHİL)		
PROJE IRR	% P.A.	21%
PROJE PBP	YIL	6,2

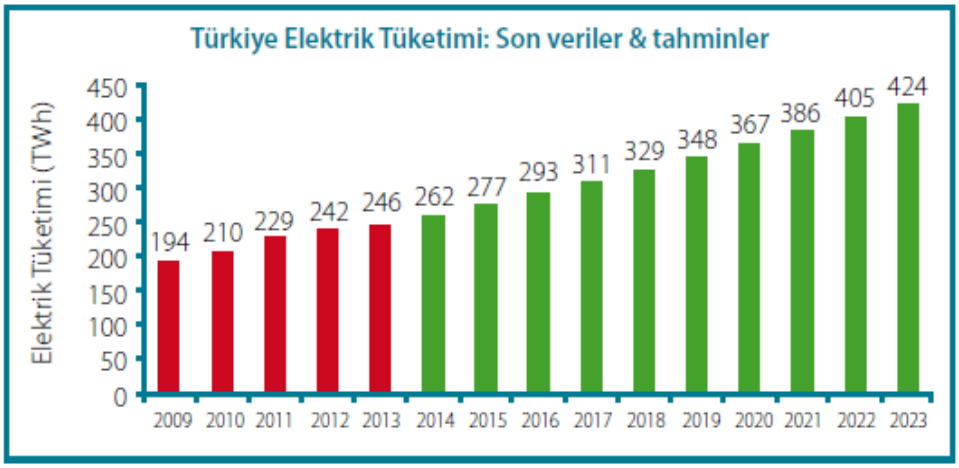
5.2.Değerlendirme ve Öneriler

Çalışması yapılan bu bertaraf tesisi temel değerlendirme çalışması için birtakım öneriler getirilebilir;

- Yerli ekipman kullanılarak ilk 5 yıl için elektrik alış fiyatının artırılması, özellikle yerli üretimi teşvik etmek ve yerli ürünlerin dünya standartlarını yakalayabilmesi için tesiste kullanılacak sistemlerde yerli ürün kullanımı daha karlı olur. Kullanılan bu ürünün yerlilik oranına göre YEKDEM kapsamında ekstra maksimum 5,6 $cent/kWh daha ek fiyat alınabilir ve yatırım daha karlı hale getirilebilir.
- Çıkan kül için dolgu malzemesi olarak ticari hale dönüştürülmesi, bu konuda ise özellikle belediyeler ile beraber çalışan özel firmalarda yeni yapılacak yol, park vs. alanlarda sistemde üretilen külün dolgu malzemesi olarak satışı sonucu ek gelir elde edilmesi, sistemi tamamen yararlı ürün üretilebilir bir tesis haline getirecektir.
- Büyükşehirlere kurarak oluşan katı atıklardan yüksek oranda kurtarılması, özellikle artan nüfusun kaçınılmaz sonucu olan günlük katı atık miktarı da günden güne artmaktadır. Bu katı atıklar için direkt depolama sonucu kısıtlı alan kalacaktır, bu sebeple atığın önce yakılarak ihtiva ettiği enerjiden yararlanılmalı ve hacimce de azaltma yapılmalı, çıkan kül de satılamıyorsa depo edilmelidir. Bu yöntemle katı atıktan minimum düzeyde yere ihtiyaç duyulur.
- Belediyenin de çöp bedeline karşın yatırıma ortak olması, sürekli kazanç sağlaması, bu yöntemle belediye de tek seferde bir bedel almak yerine sürekli ve düzenli gelir elde etme yolunu sağlamış olacaktır.
- Yatırım maliyetindeki finans gideri yükünün azaltılması, burada da finansman gideri kısmının faiz ve alınan kredi ile doğru orantısı vardır. Düşük faizli yatırım kredileri ve kısa ödeme süreli kredi değerlendirmeleri yapılmalıdır.

5.3.Türkiyenin Biyokütle Projeksiyonu

Dünya'nın ve Avrupa'nın sayılı büyümekte olan ekonomilerinden biri olan Türkiye'de, elektrik enerjisi tüketimi günden güne armakta ve bir düzenli bir artış öngörülmektedir. Şekil 5.1'de TEİAŞ tarafından yapılan çalışmada 2023 yılı dahil elektrik tüketimi tahminleri gösterilmiştir. Bu sebeple günümüz itibariyle ithal enerji kaynaklarına bağımlı olan ülkemiz, yeni yapılacak enerji yatırımlarında daha çok yerli ve yenilenebilir kaynaklara ağırlık vermelidir[47].



Şekil 5.1 : Türkiye Enerji Tüketim Projeksiyonu, TEİAŞ [47].

Sadece katı atık olarak değil biyokütle kapsamına giren hayvansal, tarımsal atıklar ve enerji ormancılığı başta olmak üzere, çevreye etkileri minimum olan bu yerel yakıt kaynakları üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Enerji arz güvenliği için yerel olan bu "atık" niteliğindeki değerlendirilebilir kaynaklara yönelik yatırımlar hızlandırılmalı ve bu konuda yerli ve yeni teknolojiler geliştirilmeli, bu konuda çalışma yapan enstitüler ve özel kuruluşlar desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Tolay, M. (t.y.). *Katı atıklardan ve Biyokütleden Enerji Üretim Teknolojileri ve Entegre Katı Atık yönetiminde Fizibilite Çalışmaları*, erişim tarihi 01.03.2016, http://www.dektmk.org.tr/upresimler/MTOLAY.pdf.

[2] Kemirtlek, A. (t.y.). *Entegre Katı Atık Yönetimi*, İSTAÇ A.Ş., Alınma tarihi;10.03.2016, http://istac.com.tr/contents/44/cevre-makaleleri 130838592910380265.pdf.

[3] Doğru, B. (2011). Yakma ve Düzenli Depolama Yönetmeliklerinin Enerji Sektörüne Etkileri, Istanbul.

[4] Brown, R.C. (2011). *"Thermochemical Processing of Biomass: Conversion into Fuels, Chemicals and Power"*, Bölüm 5-10, Ames, Wiley.

[5] Işık, A. (2014). *Katı atık bertaraf tesislerinde organic atıklardan açığa çıkan depo gazı ile enerji elde edilmesi* (Yüksek Lisans tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[6] Darrow, K., Tidball, R., Wang, J., Hampson, A. (2015), Technology Characterization – Steam Turbines, *Catalog of CHP Technologies,* United States of America.

[7] Buekens, A. (2013). *Incineration Technologies,* (Sf. 3-46), Springer-Verlag New York.

[8] Rae G.,W. (1994). *Waste Incineration and Environment,* RSC Books.

[9] Osgood, N. (2004). *Tools for Project Evaluation,* <http://ocw.mit.edu/courses/ civil-and-environmental-engineering/1-040-project-management-spring-2004/lecture-notes/l3prj_eval_fina2.pdf>, alınma 11.03.2016.

[10] Gülay, A.N. (2008). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Geleceği ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal BilimleriEnstitüsü, İzmir.

[11] Url-1 <*http://www.polatenerji.com/b_enerjisektoru.php*>, alıntı tarihi 10.02.2016.

[12] Url-2 < *http://www.teias.gov.tr/ebulten/makaleler/2012/ OSMANI%20ELEKTR%C4%B0K*>, erişim tarihi 09.04.2016.

[13] Url-3 <*http://www.emo.org.tr/ekler/c48ca73fc192d0c_ek.pdf?dergi=576*>, erişim tarihi 11.04.2016.

[14] Url-4 <http://www.oib.gov.tr/2009/dosyalar/TEDAS%20Teaser_tur_2009.pdf>, erişim tarihi 12.04.2016.

[15] Url-5 <http://www.enerjiatlasi.com/elektrik-tuketimi/>, alıntı tarihi 12.04.2016.

[16] Url-6 < www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls >, erişim tarihi 15.04.2016.

[17] Url-7 <sp.enerji.gov.tr/ETKB_2015_2019_Stratejik_Plani.pdf >, erişim tarihi 10.03.2016.

[18] Url-8 <http://www.kap.gov.tr/api/download.aspx?tip=bildirimek&id=172849& bildirimid=464384>, erişim tarihi 16.04.2016.

[19] EPDK Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik, T.C. Resmi Gazete, 28782, 1.10.2013.

[20] Url-9 < http://enerjienstitusu.com/yenilenebilir-enerji-tesvikleri-yekdem-nedir>, erişim tarihi 15.04.2016.

[21] Olgun, H. & Doğru, M. & Howarth, C.R. (n.a) **–** Kati Atiklarin Enerji Dönüşümünde Kullanilmasi Ve Gazlaştiricilar, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi,* İzmir.

[22] Url-10 <http://www.lifeadrift.info/ages-11-16/phytoplankon-extra.aspx **>**, erişim tarihi 21.03.2016.

[23] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (2007). *Biyokütle Enerjisi Çalışma Raporu* (2007), Hidroelektrik ve Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu.

[24] Palabiyik, H. & Altinbaş, D. (2004). *"Kentsel katı atıklar ve yönetimi", Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetsel Perspektifler*, erişim tarihi 12.04.2016.

[25] Çevre Bakanlığı, (2008). *Atık Yönetimi Eylem Planı*, Ankara.

[26] Arikan, E. (2013). *Çok kriterli karar verme teknikleri ile katı atık bertaraf etme teknolojisi seçimi ve bir uygulama,* (Yüksek Lisans Tezi). Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.

[27] Url-11 <http://www.tarlasera.com/haber-9786-edirneye-kati-atik-tesisi**>**, erişim tarihi 08.04.2016.

[28] Url-12 <http://tr.wikipedia.org//wiki/Ümraniye_çöp_patlaması> erişim tarihi 15.03.2016.

[29] Url-13 <https://floatingcovers.wordpress.com/tag/geomembrane-liners/ >, erişim tarihi 16.03.2016.

[30] Url-14 <http://www.csb.gov.tr/iller/eskisehir/index.php?Sayfa=haberdetay&Id= 7656 >, erişim tarihi 17.03.2016.

[31] Url-15 <http://www.insaatyatirim.com/haber/20819/ortadogu-enerji-yilda-1-milyon-637-bin-ton-karbondioksiti-yok-ediyor.html>, erişim tarihi 17.03.2016.

[32] Erdoğan, D., Sayın U. (2011). *Belediye Atıkları Yönetiminde Biyometanizasyon Teknolojisi,* Sunum, Çevre ve Orman Bakanlığı Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, İstanbul, 1-26., http://www.biyogazder.org/ makaleler/mak05.pdf , erişim tarihi 02.01.2016.

[33] Url-17 < http://www.kyforward.com/garbage-irvine-landfill-project-keeping-lights-on-by-turning-waste-into-electricity/>, erişim tarihi 17.03.2016.

[34] Sezer, K. (2011). Entegre Katı Atık Yönetimi ve Son Teknolojiler, İSTAÇ A.Ş., Sunu, Giresun Katı Atık Yönetimi Semineri, 10 Haziran, 1-69.

[35] Knight, J.A. (1976). "*Pyrolysis of Fine Sawdust"*, 172nd American Chemical

Society National Meeting, San Fransisco, USA.

[36] Url-16 < http://anadoluplazma.com/images/linyitgazlastirma.png>, erişim tarihi 20.03.2016.

[37] Nayır, T. (2012). *Kömür ve biyoküte karışımlarının gazlaştırılması ve ASPEN programı ile simülasyonu*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[38] Url-18 <https://en.wikipedia.org/wiki/Gasification**>**, alınma tarihi 21.03.2016.

[39] Url-19 <http://www.aebamsterdam.com/about/>, alınma tarihi 20.04.2016.

[40] Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 28809, 02.11.2013.

[41] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, T.C. Resmi Gazete, 27809, 08.01.2011.

[42] Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik, T.C. Resmi Gazete, 27721, 06.10.2010.

[43] Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 26939, 17.07.2008.

[44] Url-20 <http://www.dieselduck.info/machine/05%20steam/steam_page/steam .htm>, alınma tarihi 15.03.2016.

[45] Url-21 <http://www.slideshare.net/GlistenAngel/impulse-and-reaction- turbines >, alınma tarihi 15.03.2016.

[46] Yaman S.,&Açma H., (2014). EBT534, Biyokütle dönüşüm teknolojileri ders notları, Istanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.

[47] TEİAŞ, (2014). Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, Ankara.

EKLER

EK – A : Fianasal Tablolar

EK – B : Alınan Teklif

EK A: Finansal Tablolar

Çizelge A.1: Nakit Akışı Tablosu

NAKİT AKIŞI DURUMU	Birim	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
Kazanç Toplama Oranı	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Elektrik Satış Fiyatı	US$/ MWH	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	60	65	70	76	82	88	95	103	111	120	130	140	151
GELİRLER																										
Operasyon Kazancı	k US$	0	**13.965**	**13.931**	**13.898**	**13.865**	**13.831**	**13.798**	**13.765**	**13.732**	**13.699**	**13.666**	**13.633**	**6.136**	**6.611**	**7.122**	**7.674**	**8.268**	**8.908**	**9.597**	**10.340**	**11.140**	**12.003**	**12.932**	**13.933**	**15.011**
Elektrik Satış Geliri	k US$	0	13.965	13.931	13.898	13.865	13.831	13.798	13.765	13.732	13.699	13.666	13.633	6.136	6.611	7.122	7.674	8.268	8.908	9.597	10.340	11.140	12.003	12.932	13.933	15.011
Ekip. Bozulma Oranı	*%*	*0*		*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*	*0,30%*
Net Elektrik Üretimi	*MWh*		*105.000*	*104.748*	*104.497*	*104.246*	*103.996*	*103.746*	*103.497*	*103.249*	*103.001*	*102.754*	*102.507*	*102.261*	*102.016*	*101.771*	*101.527*	*101.283*	*101.040*	*100.797*	*100.555*	*100.314*	*100.073*	*99.833*	*99.593*	*99.354*
Alınacak Kredi	k US$	22.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Özsermaye	US$	7.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam Gelirler	**k US$**	**30.000**	**13.965**	**13.931**	**13.898**	**13.865**	**13.831**	**13.798**	**13.765**	**13.732**	**13.699**	**13.666**	**13.633**	**6.136**	**6.611**	**7.122**	**7.674**	**8.268**	**8.908**	**9.597**	**10.340**	**11.140**	**12.003**	**12.932**	**13.933**	**15.011**
GİDERLER																										
Operasyon Giderleri	k US$	0	4.217	4.213	4.209	4.204	4.200	4.196	4.193	4.189	4.185	4.182	4.178	2.309	2.433	2.566	2.709	2.862	3.028	3.206	3.397	3.603	3.824	4.063	4.319	4.595
Personel Giderleri	US$	*0*	150.000	153.000	156.060	159.181	162.365	165.612	168.924	172.303	175.749	179.264	182.849	186.506	190.236	194.041	197.922	201.880	205.918	210.036	214.237	218.522	222.892	227.350	231.897	236.535
Teknisyen/ Mühendis	*US$*	*0*	*150.000*	*153.000*	*156.060*	*159.181*	*162.365*	*165.612*	*168.924*	*172.303*	*175.749*	*179.264*	*182.849*	*186.506*	*190.236*	*194.041*	*197.922*	*201.880*	*205.918*	*210.036*	*214.237*	*218.522*	*222.892*	*227.350*	*231.897*	*236.535*
Yakıt Gideri	k US$	0	3.491	3.483	3.475	3.466	3.458	3.450	3.441	3.433	3.425	3.417	3.408	1.534	1.653	1.781	1.918	2.067	2.227	2.399	2.585	2.785	3.001	3.233	3.483	3.753
Yıllık Yakıt Tüketimi	Ton / yıl		*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*	*182.500*
O&M Gideri	US$	0	575.000	576.000	577.020	578.060	579.122	580.204	581.308	582.434	583.583	584.755	585.950	587.169	588.412	589.680	590.974	592.293	593.639	595.012	596.412	597.841	599.297	600.783	602.299	603.845
Yapı & İnşaat Bakım	*US$*	*0*	*50.000*	*51.000*	*52.020*	*53.060*	*54.122*	*55.204*	*56.308*	*57.434*	*58.583*	*59.755*	*60.950*	*62.169*	*63.412*	*64.680*	*65.974*	*67.293*	*68.639*	*70.012*	*71.412*	*72.841*	*74.297*	*75.783*	*77.299*	*78.845*
Mekanik & Elektrik Bakım	*US$*	*0*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*	*525.000*
Ulaşım & İletişim Giderleri	US$	0	1.000	*1.020*	*1.040*	*1.061*	*1.082*	*1.104*	*1.126*	*1.149*	*1.172*	*1.195*	*1.219*	*1.243*	*1.268*	*1.294*	*1.319*	*1.346*	*1.373*	*1.400*	*1.428*	*1.457*	*1.486*	*1.516*	*1.546*	*1.577*
Finansman Giderleri	K US$	0	6.258	5.387	5.651	5.849	4.863	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kredi – 1	K US$	0	6.258	5.387	5.651	5.849	4.863	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM YATIRIM	**k US$**	**30.000**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Giderler	**k US$**	**30.000**	**10.475**	**9.600**	**9.859**	**10.054**	**9.064**	**4.196**	**4.193**	**4.189**	**4.185**	**4.182**	**4.178**	**2.309**	**2.433**	**2.566**	**2.709**	**2.862**	**3.028**	**3.206**	**3.397**	**3.603**	**3.824**	**4.063**	**4.319**	**4.595**
Yıllık Nakit Akışı Kar/ (Zarar)	**US$**	**0**	3.489.738	4.330.997	4.038.286	3.810.552	4.767.284	9.601.747	9.572.471	9.543.167	9.513.832	9.484.463	9.455.060	3.826.828	4.178.042	4.556.729	4.965.022	5.405.219	5.879.796	6.391.419	6.942.962	7.537.523	8.178.437	8.869.299	9.613.982	10.416.659
Kümülatif Nakit Akışı Kar/ (Zarar)	**K US$**	**0**	3.490	7.821	11.859	15.670	20.437	30.039	39.611	49.154	58.668	68.153	77.608	81.434	85.612	90.169	95.134	100.539	106.419	112.811	119.754	127.291	135.470	144.339	153.953	164.370

Çizelge A.2: Proje değerlendirme tablosu

%15 ANASERMAYE GERİ ÖDME PERİYODU	YIL	**2,9**
%15 ANASERMAYE IRR	%	**37,1%**
%100 ANASERMAYE GERİ ÖDEME PERİYODU	YIL	**4,1**
%100 ANASERMAYE IRR	%	**29,9%**
PROJE GERİ ÖDEME PERİYODU	YIL	**6,2**
PROJE IRR	%	**21,0%**

EK – B :Alınan Teklif

SCOPE OF WORK BY SUPPLIER

The Scope of Work shall include the following, but not limited to these, as may be required to complete the job/contract.

1. Design and engineering for the complete power plant system within the power plant boundary, including design for thermodynamic system, fuel handling system, ash handling system, chemical water system, water supply system, electrical system, thermal control system & auxiliary system, design for civil works at site, design for communication system, illumination system, air-conditioning & ventilation system within the power plant boundary, design for fire fighting system, design for roads & afforestation within the power plant boundary, design for street illumination within the power plant boundary, etc.
2. Furnishing of equipment drawings, civil foundation drawings, civil construction drawings, design construction drawings, data, test certificates, instruction manuals, hand-over/take-over test reports etc.
3. Manufacturing and supply of equipment for complete power plant within boundary, including equipment for thermodynamic system, fuel handling system, ash handling system, chemical water system , electrical system, thermal control system and auxiliary system.
4. Manufacturing and supply of materials for erection and commissioning, including pipelines, valves, pipeline accessories (elbows, flanges, three-way accessories, reducers), cables, bridge truss,
welding bars, insulation materials and etc.
5. To provide sea-worthy packing for all equipment and materials, ocean freight from Chinese port to Turkish Port and insurance.
6. Manufacturing and supply of materials for civil works, Execution of all civil works including foundation, construction, structure and etc.
7. To provide erection, testing, commissioning, trail operation and hand-over of the power plant.
8. Supply of recommended two-year operation and maintenance spares.
9. Organization and mobilization of project personnel, application for visas, Coordination with local manufacturers. All applicable taxes & duties, inspection and related charges happened in China.
10. To provide simple site training and operation instructions for purchaser's operating personnel.

SCOPE OF WORK BY PURCHASER

The Scope of Work shall include the following, but not limited to these, as may be required to complete the job/contract.

1. Preparation & leveling of the site, accessing road to & within the site, supply of water & electricity upto one point at 1.0m within the power plant boundary.
2. For all equipment & materials, Customs clearance, Turkish port handling & inland transportation with insurance from Turkish port to site and storage & security at site.
3. Application & acquisition of all necessary licenses for local construction. Coordination with local electricity authority and government. All applicable taxes & duties, inspection and related charges happened in Turkey.
4. To provide all heavy machinery and tools required at site free of charge to supplier.
5. If there is any need for local materials procurement or hiring local labors, it should be done under purchaser's name and paid by supplier.
6. To provide assistance in visa approvals or extensions, if any, for supplier's staff from local government. To provide houses/rooms, communication facilities and local transportation convenience for Supplier's engineers free of charge. Supplier shall be responsible for food themselves.
7. Provide necessary documents for setting up the power plant, such as hydrographic report, geologic report, earthquake report, atmosphere report and ultimate analysis of biomass, water, limestone etc.
8. Communication, illumination, air-conditioning & ventilation system within the boundary, firefighting system, roads & afforestation, street illumination for the power plant.

ESTIMATED TIME SCHEDULE

The completion time is twelve (12) months.
1. Within ten (10) days from the effective date of contract, i.e. the receipt date of advance payment.
2. Within fifteen (15) days upon receipt of Purchaser's all necessary documents, Supplier shall render the requirements for geologic prospecting report.
3. Within fifteen (15) days upon receipt of Supplier's requirements for geologic prospecting report, Purchaser shall submit the geologic prospecting report.
4. Within fifteen (15) days upon receipt of Purchaser's geologic prospecting report, Supplier shall render the foundation treatment scheme.
5. Within fifteen (15) days upon receipt of Supplier's r foundation treatment scheme, Purchaser shall submit foundation experiment report.
6. Within one (1) month upon receipt of Purchaser's foundation experiment report, Supplier shall render civil foundation drawings.
7. Within one (1) month after render of civil foundation drawings, Supplier shall render civil construction drawings.
8. Within one (1) month after render of civil construction drawings, Supplier shall render design construction drawings.
9. The shipment of equipment shall start from the fifth month and arrive at Istanbul port in several lots in the sixth to seventh month from the effective date of contract.
10. The civil work shall start from the fourth month and complete within the sixth month from the effective date of contract.
11. The erection work shall start from the seventh month and complete within the tenth month from the effective date of contract.
12. The commissioning work (including trail operation and hand-over works) shall from the eleventh month and complete within the twelfth month from the effective date of contract.

PERFOMANCE GUARANTEE

1. The supplier guarantee the power shall be 16,1 MW as net output; auxiliary power consumption shall not excess 10,28%.
2. In case the guarantee figures are not achieved, liability of the supplier in this respect will include repair, modify/replace the plant in part or in full as may be necessary to the purchaser within three (3) months after performance test and prove the guarantee.

CONTRACT PRICE

In consideration of above scope of work, we would like to quote a Contract Price amounting to **USD 28,500,000** (Say Twenty eight million five hundred thousand US Dollars only).
The price of all equipment is based on CIF Istanbul port. The reference price break-ups are showed in table-I: Price Break-ups for Power Plant on Turnkey Basis.

Civil works with its materials & Purchasing Land	1.800.000
Supply of equipment (ASME/DIN/EN/CE) Denmark	22.000.000
Erection with its materials(ASME)	900.000
Testing, Commissioning with materials, Project management	925.000
Ocean freight with insurance* (CIF Istanbul)	700.000
Design & Managements(TS standards/ASME)	1.400.000
Substations & Transmission Lines	775.000

The price for civil works with its materials are estimated based on Turkey local materials and labor costs. If purchaser would like to take up civil works together with supplier, supplier will provide all steel structures for buildings and crane, while purchaser will provide all necessary machinery, procure necessary materials and execute civil works, such as construction of foundation for building and equipment, in accordance with supplier's design drawings under supplier's supervision. In this way, the cost of civil works will be possibly brought down to USD 900,000 (say Nine hundred thousand US Dollars only) .
The price for ocean freight with insurance is based our estimation. If purchaser can find better price, supplier can supply all equipment and materials on basis of FOB Chinese port.

TRAINING & AFTERSALES SERVICE

1. Supplier shall send engineers for professional training of Purchaser's personnel at site and at manufacture's premises, wherever necessary, upon Purchaser's request.
2. Supplier shall send engineers for maintenance service and operation supervision upon Purchaser's request.
3. Besides accommodation, communication facilities, insurance, international traffic expenses and local transportation convenience, Purchaser shall pay Supplier's engineers extra USD 200.00/person/day as allowance. One month of allowance shall be paid by Purchaser before dispatch of each engineer. From the second month, the allowance shall be paid weekly at site.

LANGUAGE

All documents and drawings shall be written in English language only.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:** Fatih Avcı

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 10.08.1990 / Islahiye-Gaziantep

E-posta **:** fath.avc@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2013, İstanbul Teknik Üni., Makine Fakültesi, Makine Müh.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Enerwo Enerji San. ve Tic. A.Ş. – İş geliştirme & Proje Mühendisi
- Trakya Biyoyakıt Ür. Paz. Tic. Lit. Şti – Proses & Proje Mühendisi