İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

KONYA BÖLGESİ İÇİN ALTERNATİF BİYOKÜTLE ESASLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet ER

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı
Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

KONYA BÖLGESİ İÇİN ALTERNATİF BİYOKÜTLE ESASLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet ER

301131018

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Üner ÇOLAK

ARALIK 2017

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301131018 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammet ER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "KONYA BÖLGESİ İÇİN ALTERNATİF BİYOKÜTLE ESASLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK DEĞERLENDİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Üner ÇOLAK** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Serdar YAMAN** ….....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mesut AKGÜN .....
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Kasım 2017
Savunma Tarihi : 12 Aralık 2017

Aileme,

ÖNSÖZ

Sunulan yüksek lisans tez çalışmasında, ülkemizin tahıl ambarı olarak da bilinen Konya ilinde belirlenen bölgede açığa çıkan atıkların, farklı biyokütle dönüşüm teknolojileriyle enerji geri kazanımları teknik ve ekonomik olarak incelenmiştir. Bölgede açığa çıkan atıkların uygun olduğu teknolojiler, ekonomik ve çevresel etkileriyle farklı senaryolar halinde anlatılmıştır.

Bu tez çalışmam esnasında, her türlü destek, yardım ve ilgisiyle çalışmalarımı yöneten, eleştiri ve önerileriyle her türlü sorunun çözümünde yardımcı olan, değerli hocam Sn. Prof. Dr. Üner Çolak'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarıma ilaveten mühendislik yaklaşımıma farklı bakış açıları getiren ve iş hayatım boyunca her daim çalışmalarıma öncü olan değerli büyüğüm Sn. Sedat Akar'a çok teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi her konuda yanımda olan annem Hatice Er'e, babam Mehmet Ziya Er'e ve sevgili AİLEME çok teşekkür ederim.

Kasım 2017

Muhammet ER

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
2. GENEL BİLGİLER **3**
2.1 Küresel Isınma 3
2.2 Konvansiyonel Enerji 4
2.3 Yenilenebilir Enerji 4
2.3.1 Güneş enerjisi 4
2.3.2 Rüzgar enerjisi 5
2.3.3 Jeotermal enerji 5
2.3.4 Hidrolik enerji 6
2.3.5 Biyokütle enerjisi 6
2.3.5.1 Biyodizel 7
2.3.5.2 Biyoetanol 8
2.3.5.3 Biyogaz 12
2.4 Türkiye Elektrik Enerjisi Piyasası 18
2.4.1 Genel bakış 19
2.4.2 Dağıtım şirketleri 21
2.4.3 Talep gelişimi 23
2.4.4 Elektrik fiyatları ve YEKDEM 24
2.5 Biyokütle Dönüşüm Teknolojileri 27
2.5.1 Gazlaştırma 27
2.5.1.1 Sabit yataklı gazlaştırıcılar 30
2.5.1.2 Akışkan yataklı gazlaştırıcılar 32
2.5.1.3 Sürüklemeli gazlaştırma 33
2.5.1.4 Plazma gazlaştırma 33
2.5.2 Piroliz 34
2.5.3 Fermantasyon 35
2.5.4 Anaerobik çürütme 35
2.5.4.1 Organik katı atıkların anaerobik çözünmesinde kullanılan sistemler 36
2.5.4.2 Reaktör tipleri 37
2.5.5 Yakma 43
2.6 Ekonomik Analiz Kavramları 45
2.6.1 İç karlılık oranı (IRR) 47

2.6.2 Net bugünkü değer analizi (NPV) 48
2.6.3 Karlılık endeksi 48
2.6.4 Geri ödeme süresi analizi (Payback period) 49
2.6.5 Önemli diğer analiz oranları 50
2.7. Analitik Hiyerarşi Prosesi 51
2.7.1 Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi 52
2.7.2 Analitik hiyerarşi prosesi yönteminin aşamaları 52
3. TEZ KONUSU VE DETAYLI ÇALIŞMA 53
3.1 Biyokütle Kaynakları 53
3.1.1 Hayvansal atıklar 53
3.1.2 Bitkisel atıklar 54
3.1.2.1 Doğrudan yakılabilen kuru bitki atıkları 55
3.1.2.2 Islak bitki atıkları 55
3.1.2.3 Tahıl çöpleri 55
3.1.3 Enerji bitkileri 55
3.1.4 Odunsu biyokütle 57
3.1.5 Su bitkileri 59
3.1.6 Kentsel atıklar 59
3.1.6.1 Kanalizasyon atığı 59
3.1.6.2 Kentsel katı atıklar 60
3.1.7 Atık yönetimi hiyerarşisi 61
3.2 Dünya'da Biyokütlenin Kullanımı 63
3.3 Türkiye'de Biyokütle Kullanımı 63
3.4 Biyokütleden Enerji Üretimi 64
3.5 Biyokütleden Enerji Üreten Sistemler 65
4. HUKUKSAL ANALİZ 67
5. MÜHENDİSLİK ANALİZİ 77
5.1 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo A: Biyogaz ile Enerji Üretimi 83
5.2 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo B: Piroliz ile Enerji Üretimi 84
5.3 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo C: Gazlaştırma ile Enerji Üretimi... 86
5.4 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo D: Yakma ile Enerji Üretimi 87
6. EKONOMİK ANALİZ 91
6.1 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo A: Biyogaz ile Enerji Üretimi 91
6.2 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo B: Piroliz ile Enerji Üretimi 92
6.3 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo C: Gazlaştırma ile Enerji Üretimi... 93
6.4 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo D: Yakma ile Enerji Üretimi 95
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 97
KAYNAKLAR 99
EKLER 105
ÖZGEÇMİŞ 121

KISALTMALAR

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	: Analitik Ağ Prosesi
ATP	: Adenosintrifosfat
CFC	: Kloro floro karbon
CH_4	**:** Metan
CO	**:** Karbon monoksit
CO_2	**:** Karbon dioksit
ÇEAŞ	: Çukurova Elektrik Anonim Şirketi
EİE	**:** Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPC	: Anahtar Teslim Modeli
EPDK	**:** Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
EÜAŞ	**:** Elektrik Üretim Anonim Şirketi
H_2	**:** Hidrojen
H_2	**:** Hidrojen gazı
H_2O	**:** Su
H_2S	: Hidrojen sülfür
IRR	: İç Verim Oranı
N_2	**:** Azot gazı
N_2O	: Diazot monoksit
NADP	: Nikotin-Amid-Adenin-Dinükleotidfosfat
NH_3	**:** Amonyak
NO_x	**:** Azot oksit
oDM	**:** Organik kuru madde
OH	**:** Hidroksil grubu
ORC	: Organik Rankine Çevrimi
ROI	: Geri Dönüş Süresi
SO_2	: Kükürt dioksit
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
TOPSIS	: İdeal Çözüme Yakınlığı Belirlemede Tercih Sırası Tekniği
YEK	**:** Yenilenebilir Enerji Kaynağı
YEKA	**:** Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
YEKDEM	**:** Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
$(10C_2NH_3.3H_2O)$	: Protein
$(C_{10}H_{10}O_5)_n$	: Karbonhidrat
$(C_{50}H_{90}O_{10})$	: Yağ

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Hammaddelerin biyoetanol verimi [7]. 9
Çizelge 2.2: Biyoetanol karışımlı egzoz gazı emisyon değerleri ve değişimleri [10]. 10
Çizelge 2.3: Türkiye'de biyoetanol üretim ve tüketim miktarları [13]. 11
Çizelge 2.4: Türkiye'deki hammaddelerin ekim alanı ve tarla verimi [13]. 12
Çizelge 2.5: Biyogazın İçeriği [14]. 12
Çizelge 2.6: Biyogazın genel özellikleri [15]. 13
Çizelge 2.7: Özelleşmiş dağıtım şirketleri [22]. 22
Çizelge 2.8: Yıllara bağlı minimum ve maksimum elektrik enerjisi tüketimi [23]... 24
Çizelge 2.9: Yenilenebilir enerji kaynağına göre uygulanacak elektrik fiyatları [24]. 26
Çizelge 2.10: Tesis tipine göre katkı ilaveleri [24]. 26
Çizelge 2.11: Sentez gazının bileşimi [25]. 27
Çizelge 2.12: Gazlaştırma ile ilgili genel bilgiler [27]. 28
Çizelge 2.13: Gazlaştırma Reaksiyonları [27]. 29
Çizelge 2.14: Katı atıkların anaerobik arıtımında kullanılan proseslerin karşılaştırılması [39]. 38
Çizelge 2.15: Genel yanma reaksiyonları [41]. 44
Çizelge 4.1: Tesis tipine göre alım fiyatları [60]. 72
Çizelge 4.2: Üretim tesisleri bilgileri [61]. 72
Çizelge 5.1: AHP önem değerleri ve değer tanımları [63]. 77
Çizelge 5.2: Ana kriterlerin ağırlık oranı [63]. 78
Çizelge 5.3: Ekonomik ölçütlerin ağırlık oranı [63]. 78
Çizelge 5.4: Atık bilgileri [64]. 81
Çizelge 7.1: Dört farklı teknolojik sistemin karşılaştırılması. 97
Çizelge B.1: Senaryo A'ya ait finansal analiz. 113
Çizelge B.2: Senaryo A'ya ait ekonomiklik tablosu. 114
Çizelge C.1: Senaryo B'ye ait finansal analiz. 115
Çizelge C.2: Senaryo B'ye ait ekonomiklik tablosu. 116
Çizelge D.1: Senaryo C'ye ait finansal analiz. 117
Çizelge D.2: Senaryo C'ye ait ekonomiklik tablosu. 118
Çizelge E.1: Senaryo D'ye ait finansal analiz. 119
Çizelge E.2: Senaryo D'ye ait ekonomiklik tablosu. 120

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Biyogaz oluşum aşamaları [14]. 14
Şekil 2.2: Türkiye Elektrik Kurumu organizasyon şeması [20]. 20
Şekil 2.3: Türkiye'deki dağıtım şirketleri [21]. 21
Şekil 2.4: Türkiye kurulu güç ve üretiminin yıllar itibariyle gelişimi [23]. 23
Şekil 2.5: Elektrik faturalandırma sistemi [24]..... 25
Şekil 2.6: Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı [31]..... 30
Şekil 2.7: Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı [31]. 31
Şekil 2.8: Karşıt akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar [31]..... 32
Şekil 2.9: Akışkan yataklı gazlaştıcılar [32]. 32
Şekil 2.10: Plazma gazlaştırma [31]. 33
Şekil 2.11: Kompleks organik atıkların anaerobik parçalanma süreçleri [39]. 36
Şekil 2.12: Katı atıkların anaerobik arıtımında kullanılan başlıca prosesler [39]. 37
Şekil 2.13: Tek kademeli havasız ıslak tip reaktör sistemi (Waasa prosesi) [40]. 41
Şekil 2.14: Organik atıkların birlikte arıtmanın prensibi [38]. 43
Şekil 2.15: Projenin ekonomiklik etüdü [43]..... 45
Şekil 3.1: Fotosentez ve biyokütle temelini oluşturan hidrokarbon denklemi [47]... 53
Şekil 3.2: Atık yönetimi hiyerarşisi [57]. 61
Şekil 3.3: Biyotkütleden enerji üretiminde alternatif yöntemler [59]..... 64
Şekil 5.1: Biyokütle enerji tesisi yeri seçimi kriterleri ve alt kriterleri [63]..... 79
Şekil 5.2: Biyogaz tesisi şematik gösterimi [66]. 84
Şekil 5.3: Piroliz tesisi şematik gösterimi [67]..... 86
Şekil 5.4: Gazlaştırma tesisi şematik gösterimi [71]. 87
Şekil 5.5: Yakma tesisi şematik gösterimi [72]..... 89
Şekil A.1: Konya bölgesinde bulunan atık miktarı ve özellikleri..... 107
Şekil A.2: Biyogaz tesis için hesaplamalar..... 108
Şekil A.3: Piroliz tesisi için hesaplamalar. 109
Şekil A.4: Gazlaştırma tesisi için hesaplamalar. 110
Şekil A.5: Yakma tesisi için hesaplamalar. 111

KONYA BÖLGESİ İÇİN ALTERNATİF BİYOKÜTLE ESASLI ENERJİ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Yakın gelecekte dünya ve ülkemizin enerji üretiminde büyük pay sahibi olan fosil kaynakların tükenecek olması, gelişme için gerekli olan istikrar ve süreklilik, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu kılmaktadır. Buna paralel olarak artan nüfus ve beraberinde getirdiği tüketim toplumunun alışkanlıklarıyla atık bertarafı çevre açısından önemli sorun teşkil etmektedir. Bu iki hususun birbirlerini tamamlayacak şekilde değerlendirilebilmesi, tarım ülkesi olan ülkemizin enerji ihtiyacında dışa bağımlılığını azaltabilecek yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biyokütleyi en önemli sıraya koymaktadır. Tez çalışması içerisinde genel hatlarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından bahsedilmiş olup, ülkemizde elektrik enerjisinin tarihçesi ve gelişimi, talep gelişimi, iletim ve dağıtım kurumlarının yıllar boyunca şekillenişi ve yenilenebilir enerji kaynaklarını destek mekanizmalarından bahsedilmiştir.

Katı atık hiyerarşisinde en son durumda nihai bertaraf yöntemi olarak depolama sistemleri uygulanmaktadır. Son çözüm olan depolama sistemlerinin uygulamaları ülkemizde ve dünyada oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Depolama sistemlerinde depolanan atıklar ciddi miktarlara ulaşmıştır. Bu atıkların için farklı teknolojik dönüşüm sistemleriyle enerji geri kazanımı yapılabilmektedir. Biyokütle olarak tanımlanan bu atıklardan enerji elde yöntemi Yenilenebilir Enerji Destek Mekanizmasının teşvik kapsamında olup, 10 yıllık süre boyunca alım garantisi altında değerlendirilmektedir. Biyokütle tesisleri için biçilen değer 0,133 USD/kWh olarak karşımıza çıkmaktadır ve bu değer dönüşüm teknolojisine ait yerel ekipmanlar ile kurulumu gerçekleştirildiği takdirde daha yüksek mertebelere çıkmaktadır.

Hammadde kaynakları arasında tarımsal atıklar, orman atıkları, ekinler, hayvansal atıklar vb. olan atık türleri, doğrudan yakma, gazlaştırma, piroliz, ayırma, fermentasyon, anaeorobik çürütme gibi farklı metotlar vasıtasıyla yeni ürünlere dönüştürülebilmektedirler. Elektrik enerjisi elde etmek için uygulanan termal ve biyolojik yöntemler, tesisin kurulması öngörülen bölge özelinde belirlenmiş olan atıklar için ayrı ayrı teknik ve ekononomik analizi yapılarak irdelenmiştir. Çevrim teknolojilerinin getirdiği yan ürünlerden oluşabilecek ekstra gelirler yasal düzenlemelerin halen net zemine oturtulmamış olmasından ötürü ekonomik analiz içerisinde değerlendirilmemiştir.

Alternatif biyokütle esaslı enerji sistemleri incelemesinde tesis kurulumu için gerekli olan yasal ölçütler, kurulması planlanan dönüşüm teknolojisinin özelinde atık bertaraf yönetmelikleri, çevresel etki değerlendirmeleri ve tesislerin ticari varlıkları sürdürebilmeleri için gerekli olan elektrik üretim lisansının analizi yapılmıştır. Mühendislik analizinde ise analitik hiyerarşik proses yöntemi esasları dikkate alınarak, biyokütle tesisi kurulumu için yapılmış olan anketteki sonuçlar ışığında, ekonomik ölçütler ve çevresel ölçütlerin ağırlıkları oranları dikkate alınarak,

senaryolar halinde ayrı olarak incelenen teknolojik yöntemlere ait ürünlerin ekipmanlara ait genel bilgiler verilmiştir. Ekonomik olarak incelenen tüm senaryolarda, farklı şekilde ele alınan dönüşüm sitemlerinin ekonomik süreklilikleri, kurulum ve operasyon maliyetlerine karşılık yatırımdan elde edilecek kazançlar gözetilerek, zamana bağımlı ve zamandan bağımsız metotlarla gösterilmiştir.

TECNO-ECONOMIC EVULATION OF ALTERNATIVE ENERGY SYSTEMS BASED ON BIOMASS FOR KONYA REGION

SUMMARY

In the near future, the fossil resources which have a big part of power generation of the world and our country will be consumed oblige to turn to renewable energy sources due to permanence and sustainability required for development. Parallel to this, increasing of the population that brings along the habits of consumption society makes crucial problem to waste disposal for environment. Biomass is the most important renewable source that is mutually complementary of reducing energy foreign-dependency of the agricultural country. In this thesis, it is mentioned about general renewable energy sources, the history and development of electricity in our country, demand development, corporation of transmission, distribution and incentives of the renewable energy sources.

Early in this study, renewable energy sources have been explained and the development of installed capacity in Turkey has shown for ages. Energy market structure and basic knowledge of energy sector in Turkey have been informed. Also the pricing of electricity bill and calculation have been explained. Guarantee of purchasement has been defined within feed-in tariff mechanism.

In the main subject of this study is based on waste hierarchy. In terms of solid waste hierarchy, the least favoured method is disposal of solid wastes. Day after day storage areas are being fulled. Due to growth of the amount of solid wastes, new storage areas are needed. In the solid waste hierarchy, the most favoured method is preventing the appearing solid wastes. There are other ways to make disposal of solid wastes such as; reusing, recycling and composting and energy recovery. Nowadays this is supported by regulations and incentives in Turkey and the strategy of solid waste management is planning by related departments in municipalities of the cities and ministry of energy, ministry of environment.

Storage systems are applied as ultimate waste disposal method in solid waste hierarchy. Storage systems are widely used method in the world and in our country. The wastes stored in storage systems have reached large quantities. Energy can be recovered for wastes by different technological power generation systems. Power generation of these wastes are considered under purchase warrant for a period of ten years by renewable energy support mechanism. The defined price for the biomass power plants is 0.133 USD/kWh that can be increased by using local equipment and applications. Local equipment incentives are crucial to vitalize the employment and production related to the new technologies. This is supported to reduce exporting technology and foreing dependence. Local incentives also help to create own know-how and technology for the new future. The price of the purchasement guarantee for the local equipment are applied in the first five years period and depends on the all equipment and technologies which are being used the whole bioenergy recovery power plants.

Agricultural wastes, forest residues, energy crops, animal wastes can be converted to power with alternative systems based on biomass conversion technologies by using combustion, gasification, pyrolysis, separation, fermentation, anaerobic digestion. The thermal and biological methods used for power generation were considered separately based on wastes for chosen region. Extra income of subsidiary products that could be obtained during conversion technologies have been neglected for economic analysis due to legislative regulations. Waste heat can be recovered and can be used for district heating, process heating or power generation as the system of combined cycle or organic Rankine cycle. This can be also extra income for the power plants. For more feasible solutions, waste heat should have been converted to steam or hot water for the closest facilities not to have much heat loss. This is one of the most important topics that is being considered as energy efficient nowadays as well by official authorities.

Due to complex structure and organization there has to be good know-how to have optimum and true design for biomass energy recovery facilities. Since energy sector is controlled and frequently new regulations are revised by official authorities power plants must be adapted to the new innovations and variations. Because of these reasons, it is not easy to decide by decision makers. Thus, we took in consideration analytic hierarchy process (AHP) which is an effective technique for analyzing and comparing complicated cases depending on mathematics and psychology. This method is used group decision mechanisms and it is wide in fields such as business, industry, investments, education and healthcare. Analytic hierarchy process procures a detailed comprehensive and rational evaluation for decision to decision makers. In this method, contrasted elements to each other are quantifying for relating to overall objective and alternative resolutions. In the questionnaire study, the decision of biomass power plant criterions have been represented to academic members and people from investors and managerial staff from business organization of the biomass power plants. The criterions have been evaluated by comparing them to each other two at one time with regard to effect in the hierarchical position. The analytic hierarchy process configures evaluations into numerical values that can be showed over the whole range. Numerical weight is come into existence for every factor for the hierarchy. This characteristic differentiates the analytic hierarchy process from other techniques to select and prioritize the criteria for decision makers. Thus, economical priorities have been considered comparing the scenarios of different biomass recovery techniques.

Power generation from larger biomass plants are more feasible than smaller scale plants. Although it supplies more advantages, managing of the wastes is very tough and the installment costs are very large. In this study, it is considered to manage wastes from large power plants scenarios to obtain higher incomes under purchasement guarantee of government incentives in scope of feed-in tariff for renewable energy sources. Political view of the countries shows and determine the scenarios.

Biomass power plants should be located closed to rural areas and farms to reduce transportation costs of municipal solid wastes, organic wastes and energy crops. In addition, this is crucial for the environment for living animals and plants. Biomass power plants may occur negative effects to the atmosphere and could be very hazardous for the living convergence creatures. All methods using for disposal of wastes compose simple carbon molecules. Organic materials are being decayed to

carbon containing structures such as CO_2 (carbon dioxide) and CH_4 (methane) as a final step. Biogas contains methane in its compound. Methane is more hazardous than carbon dioxide for greenhouse gas emissions. Thus to safety of the gas of the digesters and gas holder membranes need to be designed very securely for biogas applications. In thermal methods after combustion reactions, carbon dioxide gets out directly to the atmosphere. Besides all alternative systems, have different technological substructures and costs. They all have different environmental effects to the habitat.

Analysis of the legal regulations such as waste disposal regulations, environment affects assessments have been examined for each scenarios to confirm the availability of the investments and the restrictions for legal aspects. Other compulsory regulations have been discussed for the power generation and commercial operation determined by Energy market regulatory authorization. At the end, sustainability of commercial for power generation license for all biomass conversion scenarios have been evaluated. All scenarios have been considered economically, economical sustainability, installment costs, operational costs and incomes from electrical purchase are considered in time dependent and time independent methods such as internal rate of return (IRR), net present value (NPV) and simple payback period.

As a result, large scale of biomass power plants applications seem commercial and early commercial per scenarios. The scenarios are also compared as energy generation per power unit and installment costs of per power unit.

1. GİRİŞ

Dünyada fosil kökenli kaynakların rezervlerinin sayısının azalmasına rağmen, insanların rahat yaşama isteği, yaşanan teknolojik ve endüstriyel gelişmeler, nüfusta meydana gelen artış gibi nedenlerden dolayı dünyanın enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bunun yanı sıra motorlu taşıt kullanımının artması da enerjiye olan talebi hızla artırmaktadır. Petrol rezervlerinin sınırlı sayıda olması, dünyanın belirli bölgelerinde bulunması, çevre ve hava kirliliğine yol açması, geçmişten bugüne kadar yaşanan petrol krizleri motorlu taşıtlar için yeni enerji kaynaklarına olan ihtiyacı gözler önüne sermektedir. Özellikle enerjide dışa bağımlı olan ülkelerde bu sebeplerden dolayı alternatif enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin çalışmalar başlatılmıştır. Bu ülkeler alternatif enerjiye yönelerek endüstrideki gelişmelerin neden olduğu hava ve çevre kirliliğini azaltacak, diğer ülkelerden satın aldığı petrol nedeniyle ekonomilerinin üzerindeki büyük yükü almasına engel olacaktır.

Ülke nüfusunun artışına paralel olarak, sanayi, tarım, hayvancılık ve gıda sektörlerindeki üretim kapasiteleri artmıştır. Üretimin artması beraberinde, gerek çiftlik ve tarım alanlarında daha fazla atık, gerekse kentsel atıkların depolandığı şehir çöplük alanlarında çevresel riskleri de beraberinde getirmiştir. İnsan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan maddelerin, uygun koşullar altında toplanması ve bertaraf edilmesi gerekliliği büyük bir önem arz etmektedir. Katı atık depolama sisteminin kontrolünün zor olması, etrafa koku yayması, böceklerin hızlı bir şekilde çoğalarak zararlı hale gelmesi ve oluşan sızıntı suyunun yüksek risk potansiyeli oluşturması katı atık yönetiminin iyi bir şekilde yapılmasını zorunlu hale getirmiştir.

İlk çağlardan beri ısınma ve pişirme gibi uygulamalar için geleneksel olarak kullanılan biyokütle, son yıllarda teknoloji ve mühendislik biliminin gelişmesiyle birlikte elektrik enerjisi için kullanılmaktadır. Atık miktarının her geçen gün artışı ve sürekliliği, ülkemizin enerji santrali kurulu güçlerinin fosil kökenli ve dışa bağımlı olduğu göz önüne alındığında atıklardan biyoenerji geri kazanımı, önemli bir alternatif enerji kaynağı haline gelmiştir. Biyokütle kaynakları güneş enerjisini fotosentez sayesinde depolamaktadır. Yüksek yoğunluğa sahip olmayan güneş

enerjisinin depolanması kolektörler ile bile zordur. Biyokütle bu enerjiyi yapısında depoladığından dolayı, büyük miktarda ısı açığa çıkmaktadır. Fosil kökenli yakıtlardan üretilen enerji sistemlerine göre verimleri düşük ve kurulum maliyetleri yüksek olsa dahi, biyokütleden elektrik enerjisi üreten sistemler karlı bir seçenek haline dönüşmüştür. Biyokütle tesisleri, tarım ve hayvancılık sektörlerinin hibelerle desteklenmesi ve üretilen elektrik enerjisinin yenilenebilir enerji destek mekanizmaları ile sağlanan alım garantileri ile ticari anlamda oldukça uygun hale gelen uygulamalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Son dönemlerdeki hayvancılık sektöründeki ivmelenme, dikkat çekici boyutlara ulaşmıştır. Hayvansal atıkların kontrol altına alınamaması ve bilinçsiz şekilde akarsu ve sulama kanalları vasıtasıyla ekim alanlarına atılması nedeni ile bölge toprağının biyolojik yapısı tahrip edilmektedir.

Bu sebeple ülkemizin tahıl ambarı olarak da bilinen ve hayvancılık sektöründe önemli bir konuma sahip olan Konya ilinin atık biyokütle potansiyeli, biyolojik ve termal yöntemler ayrı ayrı olmak üzere, temel hesaplamalar, teknoloji ve ekipman seçimleri, enerji üretim projeksiyonları teknik ve ekonomik analizleri üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tezimizde, hayvansal atıkların, organik atıkların, orman atıklarının enerji üreten sistemler şeklinde değerlendirilmesi için temel olarak tasarım, güç kapasitesi hesabı, kurulum maliyetleri ve geri dönüşüm süreleri ile ilgili ışık tutması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Küresel Isınma

Güneş ışınları çeşitli gazların bileşiminden oluşan atmosferden geçerek yeryüzünü ısıtır. Karbondioksit (CO_2), metan gazı (CH_4), diazotmonoksit (N_2O), kloroflorokarbon gazı (CFC), karbonmonoksit gazının (CO) içinde bulunduğu bu gazlar sera gazı olarak adlandırmış olup, güneşten gelen ve yeryüzünden yansıyan ışınların bir kısmını tutarak, yeryüzündeki canlıların yaşayabileceği sıcaklık derecelerinde kalmasını sağlar. Güneş ışınların sera gazları tarafından tutulmasına ise sera etkisi denir. Hızlı nüfus artışı ve Sanayi Devrimi ile başlayan enerji ihtiyacının artmasıyla fosil kaynak kullanımı da artmıştır. Kullanılan fosil kaynakları sera gazlarının salınım miktarını artırmıştır. Böylece sera gazları güneşten gelen ısıyı tutma miktarını artırarak yeryüzü sıcaklığının da artmasına neden olur [1]. Sera gazlarının emisyonundan % 24 güç, % 14 endüstri, % 3 atık, % 14 tarım, % 18 arazi kullanımı, % 8 ev, işyeri gibi binalar, % 14 ulaşım ve % 5 diğer faktörler sorumludur.

20. yüzyılda dünyanın atmosfere yakın yüzeyinin ortalama sıcaklığı 0.6 °C artmıştır. Stern Raporu'na göre, Dünyada 1 ºC sıcaklık artışı 50 milyon kişi için susuzluk riski başlamasına, And dağlarındaki küçük buzulların kaybolmasına, ishal, sıtma gibi iklime bağlı hastalıklardan birçok kişinin ölmesine, kara türlerinin en az % 10'unun soyunun tükenme tehlikesi altına girmesine neden olacaktır. 2 ºC sıcaklık artışı tropikal bölgelerde ürün veriminin düşmesine, Afrika'da yaşayan insanların sıtmaya yakalanmasına, sel felaketi yaşanmasına, kutup ayısı ve ren geyiği gibi türlerin neslinin tükenmesine, Grönland buz tabakasının çözülmesine, deniz seviyesinin 7 metreye kadar yükselmesine neden olacaktır. 4 ºC sıcaklık artışı Güney Afrika ve Akdeniz'de su kaynaklarının azalmasına, Arktik tundranın yarısının yok olmasına neden olacaktır. 5 ºC'lik bir artış okyanus asiditesini artırarak deniz ekosisteminin ciddi şekilde bozulmasına, balık stoklarının erimesine ve deniz seviyelerinin yükselerek Londra, Tokyo, Florida gibi gelişmişlik düzeyi yüksek metropol şehirlerde yaşamı zorlaştıracaktır [2].

Küresel ısınmayı engelleyecek olası çözümler arasında geri dönüşüme katkıda bulunmak, daha az enerji kullanmak, ağaç dikmek bulunmaktadır. Küresel ısınmanın etkilerini ortadan kaldırmak için yapılması gereken en iyi çözüm ise temiz bir enerji olan yenilenebilir enerji kullanmaktır. Bu enerji sayesinde sera gazları çevreye en az şekilde salınır ve çevre kirletici atıklar oluşması engellenir [1].

2.2 Konvansiyonel Enerji

Milyonlarca yıldır insanların enerji ihtiyacı kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıtlar sayesinde karşılanmaktır. Organik madde içeren bu fosil yakıtlar kullanımları sırasında kül açığa çıkartarak ve karbondioksit (CO_2), sülfür dioksit (SO_2), azot oksit (NO_x) gibi egzoz gazı salınımı yaparak hava kirliliğine yol açmaktadır. Fosil yakıtlar sürdürülebilir ve yenilenebilir kaynaklar olmadıkları için bu hızla tüketildiklerinde önümüzdeki yüzyıllarda bitecektir. Diğer bir yenilenemez enerji kaynağı nükleer enerjidir. Nükleer enerji uranyumu ve toryumu yakıta çevirerek enerji üretmektedir. CO_2, NO_x, SO_2 gibi hava kirletici bileşikler üretmediği için temiz enerji olarak adlandırılsa da, nükleer füzyon nedeniyle binlerce yıl sonrası için bile radyoaktif ve zehirleyicilerdir.

2.3 Yenilenebilir Enerji

Günümüzde enerji ihtiyacının karşılanması için alternatif olarak fosil yakıtlardan daha temiz olan yenilenebilir enerji olarak adlandırılan teknolojiler geliştirilmektedir. Yenilenebilir enerji, doğadaki kaynaklardan elde edilebilen ve doğa tarafından sürekli olarak takviye edilebilen enerji olarak tanımlandığı gibi farklı kaynaklarda tükenme hızı üretim hızından az olan kaynaklara dayandırılan enerji olarak da tanımlanmaktadır.

2.3.1 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan ve hidrojeni helyuma dönüştüren füzyon tepkimesi sonucu ortaya çıkan çok güçlü bir enerji türüdür. Bu tepkimede meydana çıkan enerji radyasyon yoluyla iletilmektedir.

Dünya üzerindeki diğer tüm enerji kaynaklarının direkt veya dolaylı olarak kaynağı olarak görülen güneşin ömrünün 5 milyar yıldan fazla olduğu gerçeği ele alındığında, güneş enerjisinin sonsuz bir enerji kaynağı olduğu karşımıza çıkmaktadır. Bu sonsuz

enerjiden istifade etme ile ilgili çalışmalar 21. Yüzyıldan sonra ivmelenmiştir ve önemi bir yer edinmeye başlamıştır.

Güneş enerjisinin günümüzde gelindiği noktada, bina ve iş yerlerinin ısıtma ve soğutmasında, sanayi merkezleri için termal enerji, sıcak su ihtiyacını giderimi, sera ısıtması ve elektrik enerjisi üretimi şeklinde faydalanılmaya devam edilmektedir.

2.3.2 Rüzgar enerjisi

Yüksek basınç alanından alçak basınç alanına hareket eden hava akımına rüzgar denir. İki alan arasındaki basınç farkının değeri hava akımı hızını belirlemektedir. Bu hava hareketlerinin nedeni de güneşin yerküre üzerinde oluşturduğu ısınmadır. Kısaca yerküre üzerinde farklı bölgelerde farklı miktarlarda oluşan sıcaklık, basınç ve yoğunluk farkları oluşmasına neden olmaktadır.

Rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın ve popüler olan enerji çeşididir. Tarih boyunca çok eski çağlardan beridir yel değirmenleri, su pompa sistemleri, gemilerin hareket etmeleri gibi birçok alanda kullanılmıştır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi 1894 yılında ilk defa Danimarka'da gerçekleştirilmiştir. Doğalgaz ve petrolün aktif kullanımı 20. Yüzyılın sonuna dek rüzgar enerjisinin yaygınlaşmasının önüne geçmiştir. 1990'lı yıllardan itibaren ortaya çıkan çevre bilincinin özellikle rüzgar enerjisini yaygınlaşarak kullanılmasındaki payı oldukça büyüktür. Rüzgar enerjisi, sürekliliğinin iyi olması sebebiyle gün geçtikçe artan kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketiminde meydana gelen açığı kapatma da önemli bir rol oynamaktadır.

Günümüzde rüzgar enerjisi teknolojisi uygulamaları elektrik enerjisi üretme üzerine yoğunlaştırılmıştır. Rüzgar türbinlerine gelen rüzgarın pervane kanatlarını döndürmesiyle oluşan hareket enerjisinin jeneratör sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Rüzgar türbinleri temel olarak mil, gövde ve kanatlardan oluşmaktadır.

2.3.3 Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş halde bulunan ısının oluşturduğu ve farklı kimyasalları içeren sıcak su, su buharı ve gazları bünyesinde barındıran enerji türüdür. Diğer yenilenebilir enerji türleri gibi çevreye olumsuz etkileri asgari düzeydedir, elektrik enerjisi üretimi ve direkt ısınma uygulamaları

bulunmaktadır. Bölgesel ısıtmada, binalarda ve sanayilerde jeotermal ısı pompalarının kullanılması ile elektrik ve doğalgaz tüketiminde tasarruf sağlanmaktadır.

Yeraltında ısınan akışkan üretim kuyusundan yeryüzüne gelir ve santralde kullanılır. Akışkanın özelliklerine ve fazına bağlı olarak, yeryüzünde kurulacak olan tesis türüne karar verilir. Meteorolojik koşullar ve çevre duyarlılığı göz önüne alındığında akışkan olarak suyun seçilmesi tasarım kriterlerine etki etmektedir. Jeotermal enerji tesislerinde azami elektriksel güce veya termik güce en ekonomik şekilde ulaşmak hedeflenmektedir.

2.3.4 Hidrolik enerji

Suyun belli bir yükseklikte sahip olduğu potansiyel enerjisin kinetik enerjiye dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji türü hidrolik enerji olarak bilinmektedir. Yüksek seviyede bulunan suyun cebri borular ve kanallar vasıtasıyla alt seviyelere düşmesi sonucunda oluşan kinetik enerji, türbinleri döndürmek suretiyle mekanik enerjiye çevrilmektedir. Dönen türbinlerde bulunan jeneratörler vasıtasıyla da elektrik üretimi sağlanmaktadır.

Hidrolik enerjinin sürekliliği su döngüsünün devam etmesiyle doğrudan ilgili olup, nehirler, akarsular ve yağışlara bağlıdır. Bu nedenle, hidrolik enerjinin üretiminde iklim şartlarındaki değişiklikler önemli ölçüde rol oynamaktadır. Hidrolik enerji, iklim şartlarından doğrudan etkilenmesine rağmen diğer farklı kaynaklı santraller ile mukayese edildiğinde düşük işletme maliyeti, yüksek verim ve uzun operasyon ömrü ile karşımıza çıkmaktadır.

2.3.5 Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerjisi, biyolojik kaynaklı maddeleri ifade etmek için kullanılan geniş kapsam içeren bir kavram olup, içeriğinde karbonhidrat bileşikleri olan tüm fosilleşmemiş bitkisel ve hayvansal kökenli maddeler bulunmaktadır. Biyokütle enerjisi güneş kaynaklıdır. Her yerde yetiştirilebilmesi ve özellikle kırsal bölgeler için ekonomik ve sosyal yönden yardımcı olması nedeniyle büyük önem arz eden bir enerji kaynağıdır.

Biyokütle enerji kaynakları kullanılarak biyodizel, biyoetanol ve biyogaz elde edilmektedir. Biyodizel organik yağlara alkol ve baz eklenerek dizel yakıta

çevrilmesi sonucu oluşmaktadır. Ayçiçek, soya, kanola ve aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör sayesinde kısa zincirli bir alkol ile reaksiyonu sonucunda açığa çıkmaktadır. Biyoetanol şeker içeriği yüksek olan bitkilerden üretilen, sürdürülebilir bir enerji kaynağı olan ve fosil yakıtlara göre avantajlar sağlayan bir yakıttır. Mısır, buğday, arpa, çavdar, patates, pirinç gibi nişasta içeren mahsullerden ve dallı darı, fil çimeni, söğüt, kavak gibi selüloz içeren mahsullerden sakkarifikasyon, fermantasyon ve distilasyon işlemlerine tabi tutularak etanol üretilmektedir. Şeker kamışı, şeker pancarı, tatlı sorgum gibi şeker içeren mahsullerden ise ekstraksiyon, fermantasyon ve distilasyon işlemi sonucunda etanol üretilmektedir. Biyogaz ise organik maddelerin oksijensiz ortamda fermantasyon sayesinde karbondioksit ve metan gazına dönüştürülmesiyle oluşmaktadır [3]. Biyokütle enerji kaynakları uzun yıllar boyunca sadece ısıtma, pişirme gibi alanlarda ısı enerjisi elde edilmesinde kullanılmıştır. Buna karşılık, yeni yöntemlerle birlikte sadece ısı değil, elektrik enerjisi üretiminde de biyokütleden yararlanılması mümkün hale gelmiştir.

2.3.5.1 Biyodizel

Biyodizel, kanola, ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden üretilen yağların ve hayvansal yağların katalizör eşliğinde metanol veya etanol gibi kısa zincirli bir alkol ile tepkimesi sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Oluşumu sırasında biyodizelin yanında, trans-esterifikasyon reaksiyonu sayesinde gliserin de üretilmektedir.

Bitki kaynaklı olan biyodizel, bitkilerin fotosentezi sırasında güneş enerjisinden aldıkları ışık enerjisini besin olarak depoladığı için güneş enerjisi kökenli olduğu söylenebilir. Biyodizel her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak motorlarda yakıt olarak kullanılabilmektedir ve kimyasal olarak dizel yakıtlara çok benzediğinden dolayı herhangi bir dizel aracın yakıt deposunda kullanılabilir. Ulaşımda yakıt olarak biyodizel kullanmanın emisyon değerlerinin daha az olması, çevreye daha az zarar vemesi, kendi ülke imkanlarından kendi kaynakları ile üretilebilmesi gibi birçok faydası bulunmaktadır. Biyodizel kullanımı, çevre kirliliği ve küresel ısınma açısından incelendiğinde CO emisyonunu % 50 oranında, partikül madde miktarını ise % 30 oranında azalttığı görülmektedir. Biyodizel kullanarak, asit yağmurlarının esas nedeni olan egzoz emisyonundaki sülfatlar yok olmaktadır.

2.3.5.2 Biyoetanol

Etanol renksiz ve yanıcı, suda tamamen çözünebilen bir kimyasal bileşim olup içecek, kozmetik, boya sanayisinde kullanıldığı gibi motorlu araçlarda yakıt ve benzine karıştırılan bir katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Yapısında karbon atomuna bağlı hidroksil grubu (-OH) barındırdığından dolayı bir alkol çeşididir ve normal şartlar altında sıvı halde bulunmaktadır. Kimyasal formülü C_2H_6O olan etanol CH_3CH_2OH olarak da ifade edilmektedir. Molekül ağırlığı 46,07 kg/kmol' dür. Etanol –114,1°C'de erimekte, 78,5°C'de kaynamakta olup çok düşük donma noktasına sahiptir. 20°C'de 0,789 g/mL özkütleye sahiptir [4].

Etanol şeker içeren tarımsal ürünlerinden ve petrol ürünlerinden üretilmektedir. Petrol ürünlerinden üretimi genellikle etilenin katalitik hidrasyonundan elde edilmekte olup reaksiyon denklem 2.1'de gösterilmektedir [5].

$$C_2H_4 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH \quad (2.1)$$

Etilen Etanol

Etanol çok eski zamanlardan beri enzim yardımı ile hammaddesi şeker, nişasta veya selüloz olan tarımsal ürünlerden ekstrakte edilen basit şekerlerin fermantasyonundan üretilmektedir. Fermantasyon ile üretilen etanol, bitkisel kaynaklı ürünlerden elde edildiği için biyoetanol ismini almaktadır. Biyoetanol yapımında kullanılan başlıca tarımsal ürünler şeker kamışı, şeker pancarı, gine mısırı, dallı darı, arpa, kenevir, patates, manyok, ayçiçeği, meyveler, melas, kesik süt, mısır, mısır koçanı, hububat, buğday, tahta, kağıt, saman, pamuktur. Fermantasyon reaksiyonu denklem 2.2'de gösterilmektedir. Fermantasyon sırasında karbondioksit gazı açığa çıkmaktadır.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2 \quad (2.2)$$

Glikoz Etanol

Mısır, buğday, çavdar, patates, pirinç gibi nişasta içeren mahsullerden ve dallı darı, fil çimeni, söğüt, kavak gibi selüloz içeren mahsullerden sakkarifikasyon, fermantasyon ve distilasyon işlemlerine tabi tutularak etanol üretilmektedir. Şeker kamışı, şeker pancarı, tatlı sorgum gibi şeker içeren ürünlerden ise ekstraksiyon, fermantasyon ve distilasyon işlemi sonucunda etanol üretilmektedir. Kullanılan tarımsal ürünler farklı oranda şeker içerdiğinden, her birinin etanol üretim verimi farklıdır [6]. Çizelge 2.1'de hammaddelerin biyoetanol verimi gösterilmiştir [7].

Çizelge 2.1: Hammaddelerin biyoetanol verimi [7].

Mahsul	**Mahsul Verimi** (ton/hektar)	**Dönüşüm Verimi** (litre/ton)	**Biyoetanol Verimi** (litre/hektar)
Şeker pancarı	46	110	5.060
Şeker kamışı	65	70	4.550
Mısır	4,9	400	1.960
Pirinç	4,2	430	1.806
Buğday	2,8	340	452
Tatlı sorgum	1,3	380	494

Enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için alternatif bir enerji olması, petrole olan bağımlılığın azalması, yenilenemez enerjiye göre daha temiz olması, kırsal kalkınmayı sağlaması, sera gazı salınımının daha az olması gibi sebeplerle biyoetanol yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyoetanol endüstriyel sektörün büyümesi ve modernizasyonu için gerekli olan yakıtı sağlamaktadır. Biyoetanol benzinle karışma oranına göre E2 (%2 biyoetanol + %98 benzin), E5 (%5 biyoetanol + %95 benzin), E10 (%10 biyoetanol + % 90 benzin), E85 (%85 biyoetanol+% 15 benzin), E100 (%100 biyoetanol) olarak adlandırılır. Benzine karıştırılan etanol, yakıtın emisyon kalitesini yükseltir ve içerisinde bulunan oksijen sayesinde yakıt daha verimli ve temiz yanar. Bunlara ek olarak, araçlarda kullanıldığında CO_2 dahil bütün emisyonların azaldığı da görülmüştür. Son yıllarda biyoetanol motorinle de karıştırılarak kullanılabilmektedir. E-Dizel olarak adlandırılan karışımda motorinin içerisinde biyoetanol genellikle % 15 oranındadır. Biyoetanol yalnızca ulaşımda değil aynı zamanda elektrik üretiminde, küçük ev aletlerinde, kojenerasyon uygulamalarında ve kimyasal madde üretiminde kullanılır [8].

Biyoetanolün ısıl değeri 26,9 MJ/kg iken, petrol türevi olan benzin ve motorinin ısıl değerleri sırasıyla 43,4 ve 42,8 MJ/kg'dır. Biyoetanolün oktan sayısı 106 ile 108 arasında değişmekte iken, benzinin oktan sayısı 87 ile 100 arasında değişmektedir. Biyoetanol, benzin ve motorinden daha yüksek özgül yakıt tüketimine ve daha düşük güç değerinde sahiptir. Ayrıca biyoetanol kullanıldığında motor daha az vuruntuyla çalışmaktadır. Etanolün buharlaşma ısısı 0,856 MJ/kg, motorinin 0,25 ile 0,30 MJ/kg arasında değişmekte ve benzinin buharlaşma ısısı 0,272 MJ/kg'dır. Etanolün daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olması sebebiyle, kompresyon işlemi boyunca

gazlardan ısı alarak volumetrik verimi dolayısıyla motor gücünü artırırlar. Biyoetanol, motorin ve benzinle fiyat olarak karşılaştırıldığında biyoetanolün daha ucuz olduğu görülmektedir. Etanolün üstün özelliklere sahip olmasının yanı sıra yetersiz özelliklere de sahiptir. Oktan sayısının yüksek oluşu nedeni ile dizel motorlarında belirli bir karışım oranından sonra vuruntu meydana gelmektedir. Etanolün içinde bulunan suyun yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki korozif bir etki bulunmaktadır. Buharlaşma ısısı yüksektir ve bu sebeple motorda soğukta ilk hareket etme zorlaşır. En önemlisi alkol üretimi sırasında kullanılan enerji elde edilen enerjiden daha büyüktür. Tüm bu karşılaştırmalar dikkate alındığında, hala biyoetanol ile petrol türevli yakıtlar karşılaştırıldığında, yakıt için petrol türevli kaynakların daha uygun olduğu görüşü mevcuttur. Fakat enerji ihtiyacının artması ve çevre için daha temiz enerji kaynaklarının kullanılması gerekliliğiyle biyoetanol üretilmektedir [9]. Biyoetanol kullanımı başta CO_2 olmak üzere sera gazı salınımını azaltarak, çevre için temiz bir enerji olma potansiyeline sahiptir. Biyoetanol karışımlı egzoz gazı emisyon değerleri ve değişimleri Çizelge 2.2'te gösterilmiştir [10].

Çizelge 2.2: Biyoetanol karışımlı egzoz gazı emisyon değerleri ve değişimleri [10].

	Egzoz Gazı Bileşenleri					
	CO (ppm)	**Benzine göre Değişim (%)**	**CO_2 (ppm)**	**Benzine göre Değişim (%)**	**NO_x (ppm)**	**Benzine göre Değişim (%)**
Benzin	3290	-	12	-	59	-
E5	3198	-2,8	12	-	56	-5,0
E10	3099	-5,8	12	-	51	-13,5
E15	3008	-8,6	12	-8,3	48	-18,6
E20	2928	-11,0	11	-8,3	42	-28,8

Dünyada yasal düzenlemeler çerçevesinde biyoetanol üretim ve tüketimi destekleme politikaları mevcuttur. ABD, Brezilya, Hindistan, Tayland, Arjantin, Çin, Kanada, Almanya, Fransa biyoetanol üretimi yapan ülkelerdendir. ABD'de biyoetanol üretiminin çok büyük bir kısmı mısır tarafından yapılmakta olup, etanol benzin ile en az %15 oranında karıştırılmalıdır. ABD'de 1978 yılında enerji vergisi ile benzin biyoetanol karışımının galon cinsinden benzinden alınan tüketim vergi muafiyeti

olduğu açıklanmıştır. Yasa Tasarısına göre E85 kullanan araçların pompalarının ve boru hatlarının sayılarının artırılması ve 2016'da üretilecek araçların %90'ının E85 yakıtlı araç olması hedeflenmektedir [11].

Brezilya'da ise enerji ihtiyacının büyük bir bölümü yenilenebilir enerji ile karşılanmaktadır. Brezilya'da etanol üretimi en fazla şeker kamışından yapılmaktadır. Zorunlu karışım oranı %20-25 arasında olup hem pazar düzenlemeleri, hem de vergi teşvikleri ile biyoetanol üretimi desteklenmektedir. 2003 yılında çeşitli oranlarda biyoetanol ile karışmış olan benzin ile çalışabilen araçlar piyasaya sürülmeye başlanmıştır. Türkiye'de yakıt alkolü ilk kez 1931 yılında Ziraat Kongresi'nde gündeme gelmiş, 1936 yılında ise Mustafa Kemal Atatürk tarafından 2. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda bu yakıtların diğer ülkelerden alınmayıp ülke içinde üretilmesi gerektiği belirtilmiş fakat Atatürk'ün ölümü sebebiyle uygulamaya geçilememiştir. Petrol krizlerinden sonra Türkiye'de Biyoyakıt için Ar-Ge çalışmaları başlatılmış, fakat uzun yıllar sadece bilimsel çalışmalarda sınırlı kalmıştır [12].

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından 27/09/2011 tarihinde yayınlanan tebliğ ile Türkiye'de yakıt olarak kullanılan benzin türevlerinin 01/01/2013 tarihi itibariyle en az %2 oranında, 01/01/2014 tarihinden itibaren ise en az %3 oranında yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyoetanol içeriğine sahip olması zorunlu kılınmıştır [13]. Diğer ülkeler ile karşılaştırıldığında bu karıştırma oranları çok düşüktür. Bu oranın yükseltilmesi için başlıca çalışmaların yapılması gerekmektedir. Çizelge 2.3'te Türkiye'de biyoetanol üretim ve tüketim miktarları verilmiştir. Türkiye'de yakıt alkolü üretimi için en önemli hammaddelerden biri özellikle ülkemizde de yetiştirilmesi oldukça yaygın olan şeker pancarıdır. Şeker pancarı ise en iyi tarla verimine sahip mamullerin başında yer almaktadır. Çizelge 2.4'te Türkiye'deki hammaddelerin ekim alanı, üretim ve tarla verimi gösterilmektedir [13].

Çizelge 2.3: Türkiye'de biyoetanol üretim ve tüketim miktarları [13].

Yıl	**Üretim** (Milyon Litre)	**Tüketim** (Milyon Litre)
2011	52,3	11,0
2012	63,2	11,1
2013	63,0	54,7
2014	64,9	61,2

Çizelge 2.4: Türkiye'deki hammaddelerin ekim alanı ve tarla verimi [13].

Mahsul	**Ekilen Alan** (Bin hektar)	**Üretim** (Milyon ton)	**Tarla Verimi** (ton/hektar)
Şeker Pancarı	289	16,73	57,88
Mısır	659	5,95	9,03
Buğday	7,919	19,0	2,40

2.3.5.3 Biyogaz

Biyogaz organik atıkların oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu ortaya çıkan renksiz, kokusuz, havadan hafif bir gazdır. Biyogaz içeriği Çizelge 2.5'e gösterilmiş [14], organik maddelerin bileşimine bağlı olmakla beraber, yaklaşık % 50 - 75 oranında metan, % 25 - 45 oranında karbondioksit, su buharı, oksijen, hidrojen sülfür, azot, amonyak ve hidrojen bulunan bir karışımdır. Biyogazın genel özellikleri ise Çizelge 2.6' da verilmiştir [15].

Çizelge 2.5: Biyogazın İçeriği [14].

Ürün	**Hacimsel Oran (%)**
Metan (CH_4)	50-75
Karbondioksit (CO_2)	25-45
Su buharı (H_2O)	2 (20°C) – 7 (40°C)
Oksijen (O_2)	< 2
Azot (N_2)	< 2
Amonyak (NH_3)	< 1
Hidrojen (H_2)	< 1
Hidrojen Sülfür (H_2S)	< 1

Çizelge 2.6: Biyogazın genel özellikleri [15].

Enerji İçeriği	6,0-6,5 kWsa/m^3
Yakıt Eşdeğeri	0,60-0,65 litre/m^3 biyogaz
Patlama Limitleri	% 6 - 12 biyogaz (havada)
Tutuşma Sıcaklığı	700 °C
Kritik Basınç	75-89 bar
Kritik Sıcaklık	-82,5 °C
Koku	Çürük Yumurta

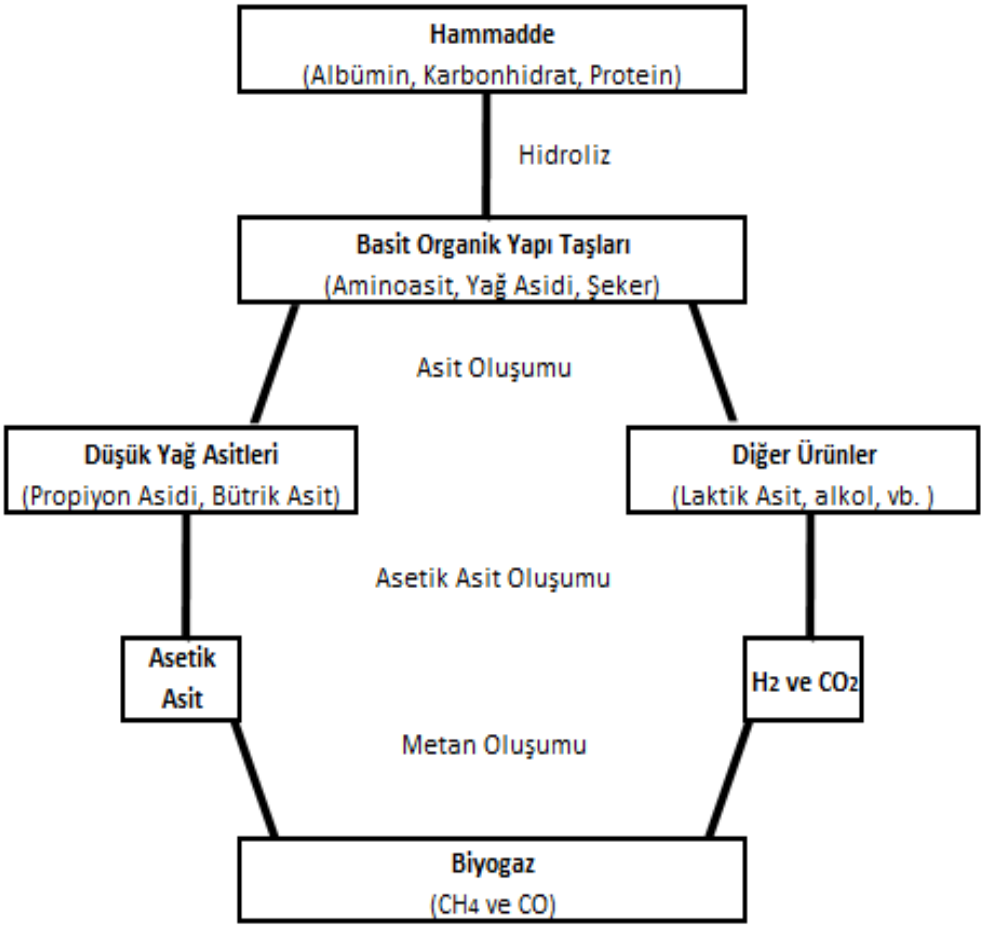
Hayvansal ve bitkisel atıklar genellikle doğrudan yakılmakta ya da tarım sektöründe gübre olarak kullanılmaktadır. Doğrudan yakıldığında, istenilen nitelikte ısı üretilemez ve sonrasında gübre olarak kullanılamaz. Gübre olarak kullanıldığında ise ısı olarak kullanılamaz. Biyogaz teknolojisi ise bunlara üstün olarak, organik kökenli atıklardan hem enerji üretir hem de gübre olarak tekrar toprağa kazandırılmasına imkan vermektedir. Biyogaz üretiminden sonra atıklar tamamen yok olmamakta, üstelik sıvı formda kompost adı verilen daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak verilebilir ya da granül haline getirilebilip doğal kurumaya bırakılabilmektedir. Fermantasyon sonucu üretilen kompostun en büyük avantajı anaerobik fermantasyon neticesinde hastalığa neden olan mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. Bu sayede kompost normal gübreye göre daha verimli olmaktadır. Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu büyük ölçüde azalır. Atıkların bertarafı sayesinde gübre kaynaklı, hem insan sağlığını hem de yeraltı sularını tehdit eden hastalıklar etkinliğini büyük ölçüde yitirmektedir.

Biyogazın fosil kaynakların yerine kullanıldığında CO_2 ve diğer sera gazların emisyon değerlerinde bir azalma görülmektedir. Biyogazın en önemli bileşeni olan metan gazı karbondioksitin yirmi katı büyüklüğünde bir sera gazıdır. Fakat biyogaz üretim tesislerinde metan gazı kayıpları meydana gelmediği sürece, biyogaz üretimi küresel ısınmaya neden olmaz. Aksine, fosil kaynaklı enerji kaynaklarının yerine kullanıldığı için atmosfere yayılan sera gazı emisyon değerlerini azaltır. Biyogaz doğrudan ısıtma, aydınlatma amacıyla kullanılabileceği gibi, mekanik enerjiye ve elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Biyogaz içerisinde büyük oranda metan gazı

barındırdığından dolayı yanma özelliği kazanmaktadır. Hava ile 1/7 oranında birleştiğinde tam yanma olayı meydana gelmektedir. Böylece gaz yakıtlarla çalışan fırın, ocak, termosifon ve şofbenlerde biyogaz kullanılabilmektedir. Biyogaz sıvılaştırılmış petrol gazları ile çalışan lambalarda doğrudan yanma olayı sayesinde kullanılabilmektedir. Buna ek olarak elektrik enerjisine çevrilerek de aydınlatmada kullanılabilmektedir. Biyogazın diğer bir kullanım alanı ise benzinle ve dizelle çalışan motorlardır. Bu motorlarda herhangi bir katkı maddesine ihtiyaç olmadan doğrudan kullanılabildiği gibi, bileşimindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilmektedir. Dizel motorlarda ise belirli oranlarda % 18-20 oranında motorin ile karıştırılmalıdır.

- **Biyogaz Oluşum Aşaması**

Biyogaz başlıca dört ana aşamada meydana gelmektedir. Bu aşamalar hidroliz, asit (asidojenez), asetat (asetojenez) ve metan oluşumu (metanojenez) olmak üzere sıralanmaktadır. Şekil 2.1'de gösterilmektedir [14].



Şekil 2.1: Biyogaz oluşum aşamaları [14].

Hidroliz: Biyokütle genellikle bileşik organik polimerlerden oluşmaktadır. Bu polimerlerin öncelikle daha küçük, suda çözülebilen monomerlere parçalanması ile anaerobik çürütücülerdeki hidrolitik bakterilerin maddenin potansiyel enerjisine ulaşması sağlanır. Bu aşamada karbonhidrat ($C_{10}H_{10}O_5)_n$, yağ ($C_{50}H_{90}O_{10}$) ve protein ($10C_2NH_3.3H_2O$) gibi büyük yapıdaki moleküller parçalanır.

Karbonhidratlar bir kaç saat içinde hidrolize uğrayarak parçalanırken, proteinlerin ve yağların hidrolizi bir kaç günde gerçekleşmektedir. Lignoselüloz ve ligninin hidrolizi çok yavaş gerçekleşmekte olup ve tam olarak parçalanmazlar [16].
Asit Oluşumu (Asidojenez): İkinci aşama olan asidojenez aşamasında hidroliz aşamasında parçalanan monomerler anaerobik bakteriler tarafından kısa zincirli organik asitlere, bütrik asit, propiyonik asit, asetat, asetik asit gibi karbon bazlı moleküllere, alkollere, hidrojen ve karbon dioksite dönüştürülürler [16].
Asetik Asit Oluşumu (Asetojenez): Asidojenez aşamasında oluşan ürünler, üçüncü aşama olan asetojenez aşamasında diğer bakteriler için substrat olarak kullanılıp, asetojenik bakteri grupları sayesinde tek karbonlu asit olan asetik asite dönüştürülürler. Bazı asetojenik bakteriler uçucu yağ asitlerden asetik asit ve hidrojen oluştururken, bazıları ise açığa çıkan karbondioksit ve hidrojeni kullanarak asetik asit oluşturur.

Metan Oluşumu (Metanojenez): Bu aşamada metan bakterileri asetik asit ve hidrojeni kullanarak metan ve karbondioksit gazını meydana getirirler, böylece biyogaz elde edilir. Anaerobik çürütme proseslerinde oluşan metanın yaklaşık %70'i asetik asitten,%30'u hidrojen ve karbondioksitten üretilmektedir. Metan bakterileri diğer bakterilere oranla ortam koşullarından daha fazla etkilenmektedirler. Metan üretimin olması için pH'ın 6,7 ile 8,0 arasında olması gerekmektedir. Metan bakterileri ortam sıcaklığının değişimlerinden de etkilenmektedirler, bu sebeple sıcaklık değişimlerine izin verilmemelidir.

- **Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler**

Oksijen varlığı: Metan oluşturan metanojenik bakteriler en eski canlılardan olup, bundan yaklaşık üç veya dört milyar yıl önce, yani atmosferin oluşmasından çok önce ortaya çıkmışlardır. Bu sebeple bu bakteriler oksijenin bulunmadığı bir ortamda yaşamak zorundadırlar. Bu bakterilerin çoğu çok az miktarda oksijen bulunsa dahi ölmektedirler. Fakat genellikle dönüşüm teknolojilerinde kullanılan fermentöre

oksijen girişini tümüyle engellemek olanaksızdır. Buna rağmen metanojenik bakterilerin faaliyetlerinin durmamasının veya ölmemelerinin nedeni, gerçekleşen bozunma aşamalarında oksijen tüketen bakterilerle aynı ortamda yaşamalarıdır. Bu bakterilerden bazıları fakültatif anaerobik bakteriler olarak adlandırılır. Bu bakteriler hem oksijen etkisi altında, hem de tümüyle oksijensiz ortamda yaşayabilmektedirler. Oksijen miktarı az olduğunda oksijeni, oksijensiz bir ortama zorunlu olarak ihtiyaç duyan metanojenik bakterilere zarar vermeden önce tüketirler.

Sıcaklık değeri: Bilimsel olarak çevre ısısı ne kadar yüksek ise, kimyasal tepkimelerin de o kadar hızlı gerçekleştiği kabul edilir. Ancak bu durum biyolojik çürüme ve indirgenme proseslerinde çok geçerli değildir. Bunun nedeni her mikroorganizmanın farklı sıcaklıklarda varlıklarını sürdürmesidir. Bakteriler için optimum sıcaklığın altına düşüldüğünde ya da üstüne çıkıldığında, proses kesintiye uğrayabilmekte ya da mikroorganizmalar büyük ve dönüşü olmayacak zararlara uğrayabilmektedir.

Çürümeye neden olan mikroorganizmalar faaliyete girdikleri sıcaklık değerlerine göre sakrofilik, mezofilik ve termofilik olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Sakrofilik mikroorganizmaların sıcaklık istekleri 25 °C'den düşük sıcaklıklardır. Bu sıcaklıklarda doğal olarak ekipmanların ısıtılmasına gerek yoktur, fakat bu mikroorganizmaların bozunması sırasında gaz üretimi düşüktür. Bu sebeple bu mikroorganizmalarla bozunma işlemi gerçekleştirildiğinde, biyogaz tesislerinin ekonomik bir şekilde işletilemez. Mezofilik bakterilerin sıcaklık istekleri ise 37 ve 42°C arasındaki sıcaklıklardır. Mezofilik mikroorganizmalar ile faaliyet gösteren tesisler en yaygın görülenlerdir, bunun nedeni bu sıcaklık aralığında diğerlerine göre daha yüksek gaz verimliliği ve iyi bir proses devamlılığı sağlayabilmesidir.

Termofil bakteriler ise hijyenleştirme yapılacak veya yüksek öz ısıya sahip materyale bağlı yan ürün veya atık madde olarak kullanılacaksa çok uygundur. Prosesin ısıtılması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacağı göz önünde bulundurularak, termofil bakterilerin proses için uygun olup olmadığına karar verilmelidir.

Sıcaklık geçişlerinin olması, bu bakteri türlerinin faaliyetlerini kötü yönde etkileyen bir parametredir. Bu sebeple sıcaklık değişiminden kaçınılmalıdır. Bu sebeple en uygun olan bakteri türü mezofilik olanlardır. Bu tip uygulamalarda sıcaklık artışı çok sık gözlenen bir olaydır, bu sebeple bu olay göz önüne alınmalıdır. Sıcaklık artışı

ağırlıklı olarak karbonhidrat içeren materyallerin kullanıldığı, sıvı hammaddelerin bulunmadığı ve iyi yalıtılmış tanklarda meydana gelmektedir. Kendiliğinden ısınma, bazı mikroorganizmaların karbonhidrat çürümesi sırasında ürettikleri ısıya bağlanmaktadır. Esasında, bu etki mezofilik bakteri kullanılan işletme için, sıcaklığın 43-48 °C'ye kadar yükselmesi sonucunu doğurabilir [17].

Sıcaklık yükselmesi yaşandığında, yoğun bir analitik izleme ve proses regülasyonuyla, kısa süreli kesintilerle gaz üretimi devam eder [18]. Ancak prosese gereken müdahaleler yapılmadığı takdirde, bakteriler sıcaklık değişimine uyum sağlayamazlar ve bunu sonucunda gaz üretimi sona ermektedir.

pH değeri: Bozunma işlemini gerçekleştiren mikroorganizmalar en iyi şekilde büyüyebilecekleri farklı pH değerlerine ihtiyaç duyarlar. Örneğin asit üreten ve hidrolize eden bakteriler için pH optimum olarak 5,2 ile 6,3 arasındadır. Bu değerlerden daha yüksek pH değerlerinde çalışıldığında, faaliyetleri büyük ölçüde azalmaktadır. Asetik asit üreten bakteriler ve metanojenik bakteriler için ise optimum pH aralığı 6,5 ile 8 arasındadır.

Besin desteği: Oksijensiz bozunmada mikroorganizmalar türlerine göre makro ve mikro besinlere, vitaminlere ihtiyaç duyarlar. Bu besinlerin konsantrasyonu faaliyetin hızını ve mikroorganizmaların aktivitelerini etkiler. Maksimum miktarda metan üretebilmek için, mikroorganizmaların optimal besin desteğinin tedarik edilmiş olması gerekmektedir. Metan üretiminin miktarını belirleyen faktör, bu maddelerde bulunan protein, yağ ve karbonhidrat oranlarıdır.

Devamlı bir proses için makro ve mikro besinler arasında dengeli bir ilişki olması gerekmektedir. En fazla ihtiyaç duyulan besin maddesi karbon ve azottur. Azot enzimlerin oluşturulmasında kullanılır. Bu yüzden de kullanılan materyallerin karbonun azota olan oranı (C/N oranı) önemlidir. Bu oran fazla yüksek olduğunda yani karbon fazla ve azot az olduğunda, yeterli olmayan metabolizma nedeniyle mevcut olan karbon bütünüyle dönüştürülemez, bundan dolayı da maksimum metan verimliliğine ulaşılamaz. Tersi durumda ise, azot fazlalığından dolayı aşırı amonyak (NH_3) oluşması gözlenmektedir. Aşırı amonyak oluşumu düşük konsantrasyonlarda bile bakterilerin büyümesini engeller ve hatta bazı durumlarda bütün mikroorganizma popülasyonunun tümüyle ölmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle iyi işleyen bir proses için C/N oranı oldukça büyük bir önem taşımakta ve

10 ile 30 aralığında bulunmalıdır. Karbon ve azotun yanı sıra fosfor ve sülfür de mikro besindir. Sülfür aminoasitlerin bileşenidir ve fosfor bağlantıları ATP (Adenosintrifosfat) ve NADP (Nikotin-amidAdenin-Dinükleotidfosfat) enerji taşıyıcıları için gereklidir. Reaktördeki CNPS (karbon/azot/fosfor/sülfür) oranı 600:15:5:3 olduğunda, mikroorganizmalar yeterince besinle destekleyebilmektedir [19]. Makro besin maddelerinin yanı sıra gerekli olan mikro elementler de bulunmaktadır. Tarım kaynaklı ürünler kullanan biyogaz tesislerinin çoğunda mikro besin maddeleri ihtiyacı dışkılardan karşılanmaktadır. Fakat enerji bitkileri kullanılan bir tesiste mikro besin maddeleri ihtiyacı kobalt, nikel, molibden, magnezyum, mangan ve selenyum elementleriyle giderilmelidir.

Ancak mikro elementlerin eklenmesinden önce fermantörde mikro besin maddelerinin miktarı tespit edilmelidir, tespit edilmediğinde mikro elementlerin aşırı dozda bulunması söz konusu olur ve bu durumda fermantasyon artıklarında ağır metal konsantrasyonu tarımsal kullanım için izin verilen sınır değerleri aşılabilir, bu da fermantasyon artıklarının organik gübre olarak kullanılmasını engeller. Bu sebeple mikro elementlerin konsantrasyonu oldukça büyük önem taşımaktadır.

Zararlı maddeler: Zararlı maddeler gaz üretimine veya proses akışına engel olabilmektedir. Antibiyotikler, dezenfektanlar, çözücü maddeler, herbisitler, tuzlar ve ağır metaller çok düşük miktarlarda bile bozunma prosesini durdurabilecek bileşenlerdir. Fermantasyonun bir ürünü olarak çıkan hidrojen sülfür de hücre zehiri olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.4 Türkiye Elektrik Enerjisi Piyasası

Her türlü ekonomik faaliyetin temel ihtiyacı konumunda olan elektrik enerjisinin kullanım alanının gün geçtikte hızla artış göstermesi beraberinde elektrik enerjisine olan talep ve ihtiyacı da arttırmaktadır. En küçük yerleşim yerlerine kadar uzanan elektrik enerjisi tüketimi ekonomik ve sosyal bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Kişi başına tüketilen ve veya üretilen enerji miktarının artması da ülkenin gelişmişlik düzeyi hakkında gösterge niteliğindedir.

Gelişmekte olan Türkiye'nin nüfus artışının doğal sonucu olarak gördüğümüz kentleşme ve sanayileşmenin ivme kazanmasıyla birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç ve talep gün geçtikçe artış göstermektedir. Buna bağlı olarak Türkiye'nin

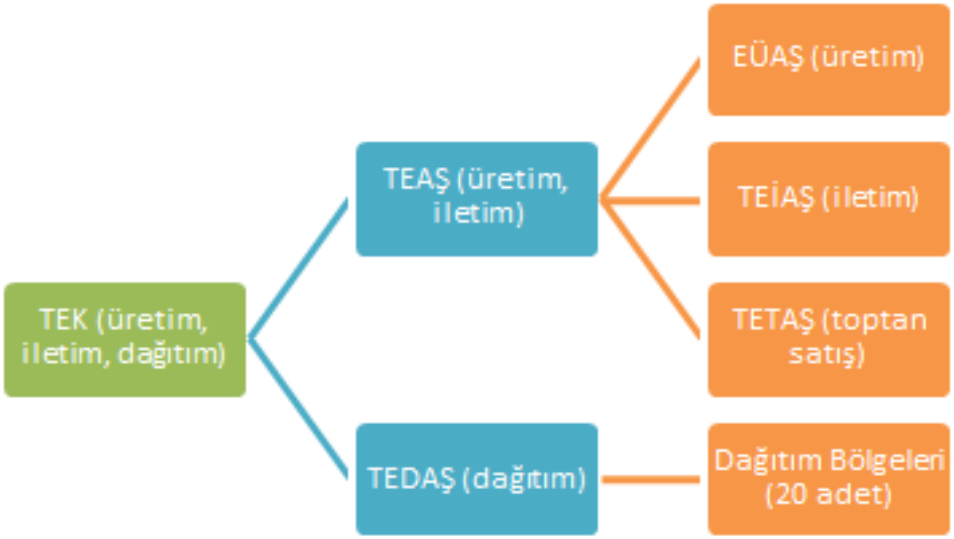
hayat standardının artış göstermesi, beraberinde elektrik enerjisi talebinin de armasına sebebiyet göstermektedir.

2.4.1 Genel bakış

Türkiye'de elektrik enerjisinin kullanımı ilk defa dönemin Tarsus Belediyesi'nde çalışan Avusturyalı Torfil'in girişimiyle 15 Eylül 1902 yılında Mersin'in Tarsus ilçesinde Berdan Nehri üzerinde su değirmeninde kullanılan 2 kW'lık bir dinamo sistemiyle gerçekleşti. Daha sonra bu tesis daha modern bir şekilde 60 kW'lık gücüyle hidroelektrik santraline dönüştürüldü. 1910 yılına gelindiğinde İstanbul'a elektrik enerjisi sağlamak için Osmanlı İmparatorluğu, bir şartname ile uluslararası bir ihale açtı. 1911 yılında Bayındırlık Bakanlığı ile Konsersiyum adı verilen grubu temsilen Macar Ganz şirketi 1911 yılında sözleşme imzaladı. Silahtarağa'da kurulması kararlaştırılan enerji santralinin devreye alması İstanbul'daki sel felaketi ve Balkan Harbinden dolayı 11 Şubat 1914'te gerçekleşti. Cumhuriyet'in kurulmasıyla oluşan ivmelenme sonucu olarak elektrik enerjisindeki artan ihtiyacı karşılamak üzere Silahtarağa Santrali'nin kapasitesi 1926 yılında 40 MW ve 1931 yılında 58MW seviyesine yükseldi. 1935 yılında kamu kuruluşları tarafından üretim amacı giden yapılanmalar oluşturulmaya başlandı. Bu yapılanmalardan bir tanesi de Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)'ydi. Kamu ve özel kuruluşlar vasıtasıyla büyük kapasiteli tesislerin yapılmaya başlanılması 1950'li yıllarda gerçekleşmiştir. 1970'lere gelindiğinde köylere elektrik enerjisinin ulaşma oranı %7 seviyesine gelebilmişti. Bundan dolayı 1970 yılında 1312 numaralı kanun çıkarılmıştır ve bu kanun gereğince gelişmekte olan sektördeki eksikliklerin giderilmesi amaç güdülmüştür. Bu kanun çerçevesince Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurulmuştur ve piyasada oluşan faaliyetlerin kontrolü tek bir merkezden sağlanmaya başlanmıştır. 1982 yılında köylere ulaşmış elektrik enerjisinin oranı %61'e dayanmıştır. Günümüzde bu oran ülke genel nüfusunun %99'unun üzerindedir [20].

1982 yılına gelindiğin 2705 sayılı kanun ile elektrik dağıtım ve satış işlemleri Türkiye Elektrik Kurumu (TEK)'in bünyesine alınmıştır. Bunun sonucunda TEK piyasada tekel olmuştur. 1983 yılıyla birlikte Hamitabat ve Ambarlı gibi büyük ölçekli enerji santralleri TEK tarafından yapılmıştır. Öte yandan elektrik üretimi, dağıtımı ve ticareti özel sektöre açılmıştır ve sektörde özelleştirme ilk sıraya oturmaya başlamıştır. 1984 yılında çıkarılan 3096 sayılı kanun çerçevesinde TEK

haricindeki yerli ve yabancı şirketler de Elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı ve ticaretinde bulunmaya hak kazanmışlardır. Bu kanun ile YİD modeli bünyesinde yapılan yatırımlar özel sektör eliyle belirli bir dönem işletilmesi ve akabinde devredilmesi planlanmıştır. 1993 yılında çıkarılan TEK (Türkiye Elektrik Kurumu **)** 513 sayılı kanun ile özelleştirilmiştir. Bu kanun çerçevesince TEK Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Avrupa Birliği uyum süresince 4628 sayılı kanun ile Elektrik Piyasası Kanunu 2001 yılında çıkarılmıştır ve bu kanun çerçevesince TEAŞ da Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) olarak üç parçaya ayrılmıştır. Bu sayede Şekil 2.2'de elektrik piyasası üretim, iletim, dağıtım ve ticaret faaliyetleri ayrıştırılması gösterilmiştir [20].



Şekil 2.2: Türkiye Elektrik Kurumu organizasyon şeması [20].

Avrupa Birliği'nin direktifleri ile elektrik piyasasında iç pazarın oluşması için yapılan çalışmalar sonucunda 20.02.2001 tarihinde yayımlanan 4628 sayılı yasa ile elektrik piyasasındaki faaliyetleri düzenlemek ve denetlemek amacıyla Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu kurulmuştur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) elektrik enerjisi üretiminde karşılaşılan çevresel etkinliklerden ötürü yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmayı destekleyen, teşvikler vasıtasıyla girişimlerde bulunmak isteyen firma ve kuruluşlara yardımcı olmak ve piyasadaki katılımcıların aralarındaki ilişkileri ve faaliyetleri denetlemek, tarifeleri onaylamak ve lisans vermek üzere yönetici makam konumunda görevini sürdürmektedir. 6446 sayılı kanun gereğince üretim, iletim, dağıtım, toptan ve perakende satış, piyasa

işletim faaliyetleri, ithalat ve ihracat grupları olmak üzere farklı gruplarda düzenlenmiştir. Lisans süreleri 10 yıl ila 49 yıl arasında şeklinde belirlenip verilmektedir. Şekil 2.3'te Türkiye'deki dağıtım şirketleri gösterilmiştir [21].

Şekil 2.3: Türkiye'deki dağıtım şirketleri [21].

2.4.2 Dağıtım şirketleri

Elektrik piyasası dağıtım yönetmeliğinde dağıtımın tanımı "Elektrik enerjisinin gerilim seviyesi 36 kV ve altındaki hatlar üzerinden nakli" dir. Bu dağıtım işlemini lisansında belirlenmiş dağıtım bölgesinde işletmesini yapan tüzel kişiler dağıtım şirketleridir. Yüksek gerilimde üretilmiş olan elektrik son kullanıcıya direkt olarak verilememektedir. Son kullanıcılara elektriği ulaştırmak için oluşturulmuş ağ üzerinden elektrik dağıtımı yapılmaktadır. TEDAŞ tarafından yürütülmekte olan elektrik dağıtım işlemleri 21 dağıtım bölgesinde 21 farklı dağıtım şirketi ile yapılmaktadır. Özelleştirilmiş dağıtım şirketleri ve faaliyet gösterdikleri iller Çizelge 2.7'de gösterilmiştir [22].

1948 yılında Çatalağzı Termik Santralinin devreye girmesiyle ve 1952 yılında 154 kV'luk iletim hattının İstanbul'a takviye yapmasıyla enerji sektöründe atılımlar ivme kazanmıştır. Üretimdeki artış beraberinde iletim hatlarında da gelişmeleri getirmiş ve Türkiye'de ulusal iletim ağlarının kurulması farklı güç ve özelliklerde trafoların da kurulmasıyla hız kazanmıştır. 1950'li yıllarda santraller işletmeye alınmaya başlanmıştır. Antalya bölgesinde Kepez Elektrik A.Ş. ve Adana bölgesinde Çukurova Elektrik A.Ş (ÇEAŞ)'nin kurulmasıyla birlikte kurulu güç 407,8 MW ve üretim de 789,5 milyon kWh mertebesine ulaşmıştır. TEK'in kurulduğu 1970 yılında

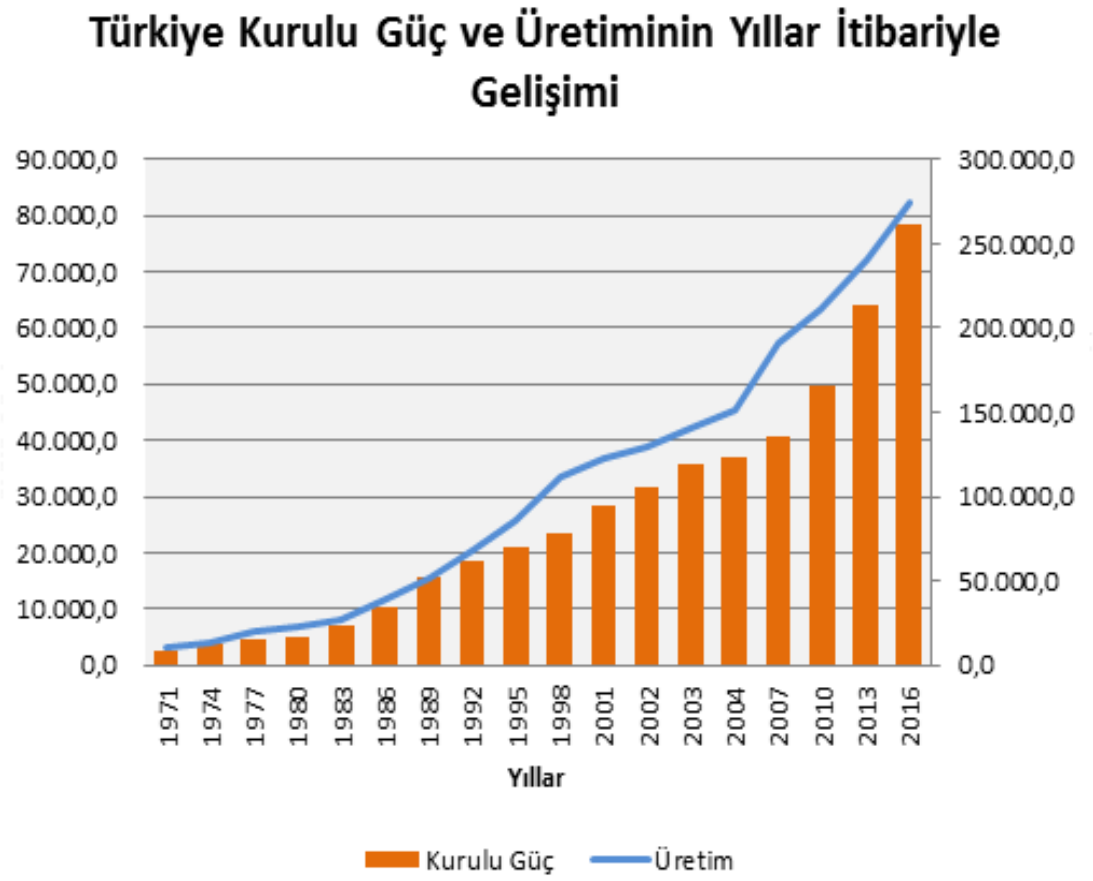
kurulu gücümüz 2234,9 MW ve üretimimiz 8,6 milyar kWh mertebesine ulaşmıştır.1970 yılından sonraki 10 yıllık süreçte tüm dünyada yaşanan enerji krizinden ülkemiz de ciddi şekilde etkilenmiştir. Bütün bu olumsuzluklara rağmen 1980 yılına gelindiğinde kurulu gücümüz 5118,7 MW, üretimimiz de 23,3 milyar kWh seviyesine erişmiştir.

Çizelge 2.7: Özelleşmiş dağıtım şirketleri [22].

1	Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.	Diyarbakır, Mardin, Siirt, Şanlıurfa, Batman, Şırnak
2	Vangölü Elektrik Dağıtım A.Ş.	Bitlis, Hakkari, Muş, Van
3	Aras Elektrik Dağıtım A.Ş.	Ağrı, Erzincan, Erzurum, Kars, Bayburt, Ardahan, Iğdır
4	Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş.	Artvin, Giresun, Gümüşhane, Rize, Trabzon
5	Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş.	Bingöl, Elazığ, Malatya, Tunceli
6	Çamlıbel Elektrik Dağıtım A.Ş.	Sivas, Tokat, Yozgat
7	Toroslar Elektrik Dağıtım A.Ş.	Adana, Gaziantep, Hatay, Mersin, Kilis, Osmaniye
8	Meram Elektrik Dağıtım A.Ş.	Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde, Aksaray, Karaman
9	Başkent Elektrik D.A.Ş.	Ankara, Çankırı, Kastamonu, Zonguldak, Kırıkkale, Bartın, Karabük
10	Akdeniz Elektrik Dağıtım A.Ş.	Antalya, Burdur, Isparta
11	Gediz Elektrik Dağıtım A.Ş.	İzmir, Manisa
12	Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.	Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Yalova
13	Trakya Elektrik Dağıtım A.Ş.	Edirne, Kırklareli, Tekirdağ
14	İstanbul Anadolu Y. E. Dağ. A.Ş.	İstanbul ili Anadolu Yakası
15	Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş.	Bolu, Kocaeli, Sakarya, Düzce
16	Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş.	Afyonkarahisar, Bilecik, Eskişehir, Kütahya, Uşak
17	Boğaziçi Elektrik Dağ. A.Ş.	İstanbul ili Avrupa Yakası
18	Kayseri ve Civarı Elektrik T.A.Ş.	Kayseri
19	Aydem Elektrik Dağıtım A.Ş.	Aydın, Denizli, Muğla
20	Akedaş Elektrik Dağıtım A.Ş.	Adıyaman, Kahramanmaraş
21	Yeşilırmak Elektrik Dağıtım A.Ş.	Amasya, Çorum, Ordu, Samsun, Sinop

2.4.3 Talep gelişimi

Ülkemizdeki enerji talebinde artış ciddi yükseliş göstermektedir. 2003 ila 2013 yılları arasında birincil enerji talep ortalamamız %56 artış göstermişken dünya genelinde birincil enerji talebinin oranı %28 olarak artış göstermiştir. Şekil 2.4'te görüleceği üzere ekonomik krizlerin yaşandığı dönemler dışında düzenli bir artış gösterilmiştir [23].



Şekil 2.4: Türkiye kurulu güç ve üretiminin yıllar itibariyle gelişimi [23].

Hayat standartları ve sanayileşmenin artmasıyla birlikte kesintisiz ve kaliteli enerji kaçınılmaz hale gelmiştir. 1986 yılında 10 MW olan elektrik enerjisi kurulu gücümüz 2001 yılına gelindiğinde 30 MW mertebelerine ulaşmıştır. Düzenli olarak artan kurulu gücümüz 2007 yılında 40 MW, 2016 yılı sonuna gelindiğinde ise 80 MW mertebelerine ulaşmıştır.

Buna paralel olarak elektrik enerjisi üretimimiz de artış göstermiştir ve 2016 yılı sonu itibariyle 250.000 GWh'i geçmiştir. Çizelge 2.8'de ise yıllara bağlı minimum ve maksimum elektrik enerjisi tüketimi verileri günlük olarak MWh cinsinden gösterilmektedir [23].

Çizelge 2.8: Yıllara bağlı minimum ve maksimum elektrik enerjisi tüketimi [23].

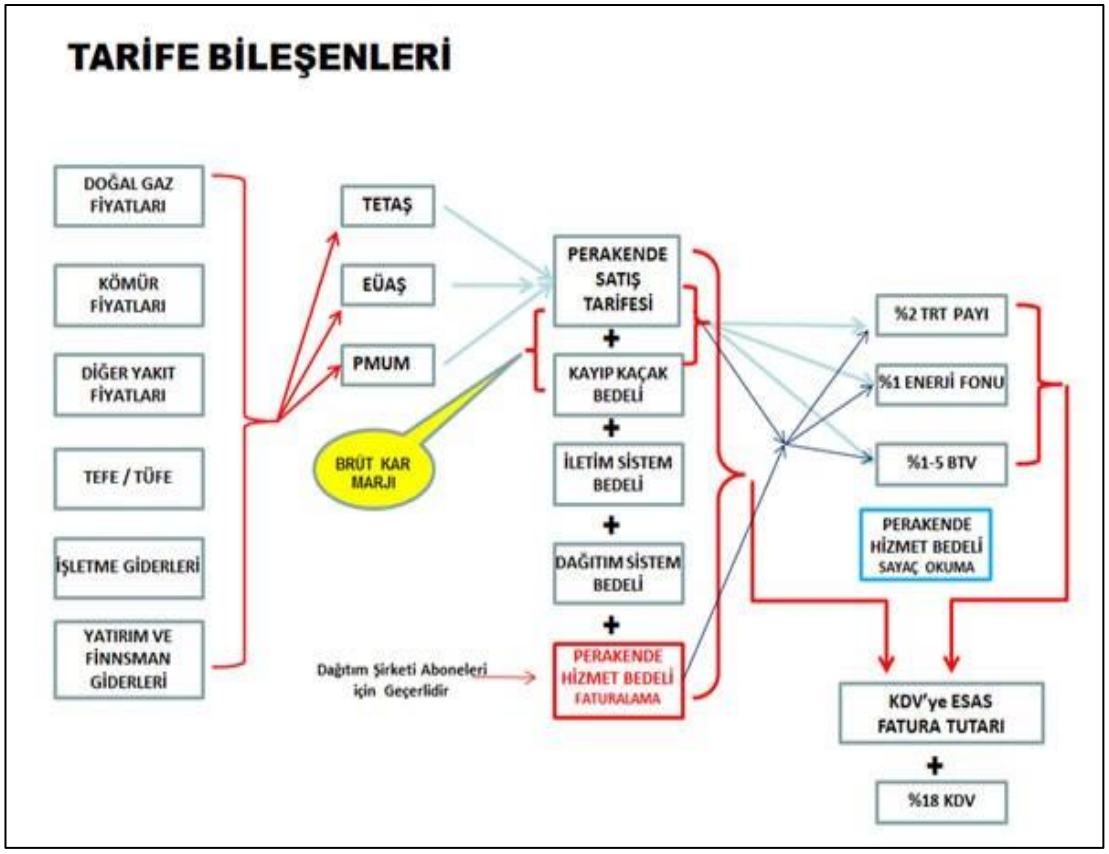
YILLAR	MAKSİMUM GÜNLÜK MWh	MİNİMUM GÜNLÜK MWh
2005	502.306,00	300.563,00
2006	548.921,00	301.498,00
2007	605.875,00	323.153,00
2008	631.179,00	309.821,00
2009	609.936,00	333.798,00
2010	695.335,00	379.023,00
2011	736.836,00	425.528,00
2012	799.365,00	398.344,00
2013	772.150,00	410.928,00
2014	831.871,00	428.204,00
2015	867.551,00	462.547,00
2016	905.764,40	513.805,40

2.4.4 Elektrik fiyatları ve YEKDEM

Arz talep ilişkisi doğrultusunda ihtiyacın fazla olmasının nihai sonucu olarak elektrik fiyatları önemli konuma gelmiştir. Fiyatların üreten ve tüketen taraflar için uygun ve adil şekilde belirlenmesi kaçınılmazdır. Tüketiciler için uygun fiyatta elektrik temin edilmesinin yanı sıra üretim tesisi yatırımı yapan firmaları da zor durumda bırakmayacak ve oluşabilecek yeni yatırımlar için de cezbedici bir fiyat politikası belirlenmesi gerekmektedir. Bu hassas dengeyi sağlamak için önemli kriterlerin iyice etüt edilmesi gerekmektedir. Bu kriterleri üretim tesisi ve şebeke tarafından düşündüğümüzde yatırım maliyeti, yakıt maliyeti, işçilik ve operasyon maliyeti, kümülatif verim, iletim maliyeti olarak ele almak gerekir. Ayrıca diğer etkiler de göz önüne alındığında arz-talep dengesi, rekabet, piyasa açlık oranı, satış ve portföy yönetimi de hassas dengede kendine yer bulmaktadır.

Güç santralinde üretilen enerjinin maliyeti iyi analiz edilmelidir. Üretici bütün bu faktörleri hesaplayarak Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) üzerinden elektrik perakende satış fiyatını belirler. Belirlenen fiyatın üzerine ek olarak kayıp/kaçak

bedeli, iletim bedeli ve dağıtım bedeli ilave edilmektedir sonra elektrik perakende satış fiyatı ve kayıp kaçak bedeli toplamı üzerinden yüzde olarak TRT payı, Enerji Fonu vergileri de eklenerek kullanıcı fiyatı belirlenmiş olur. Şekil 2.5'te ise elektrik fiyatının belirlenirken izlenen yollar gösterilmiştir [24].



Şekil 2.5: Elektrik faturalandırma sistemi [24].

Bunun dışında üretimini yenilenebilir enerji kaynaklarından gerçekleştiren tüzel kişilere, Yenilenebilir Enerji Kaynak (YEK) Belgesi verilmektedir ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kurumu vasıtasıyla desteklenmektedir. 01.10.2013 tarihinde Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmeliği" ile ilgili usul ve esasları belirtmiştir [24].

Alım garantisi verilen Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) fiyatları ve yerli ekipman teşvikleri yenilenebilir enerji kaynağına göre uygulanacak elektrik fiyatları başlığı altında Çizelge 2.9'da gösterilmiştir [24]. İmalat türüne göre ise yerli katkı ilaveleri tesis tipine göre katkı ilaveleri başlığında Çizelge 2.10'da gösterilmiştir [24].

Çizelge 2.9: Yenilenebilir enerji kaynağına göre uygulanacak elektrik fiyatları [24].

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

Çizelge 2.10: Tesis tipine göre katkı ilaveleri [24].

Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2
	5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7- Kojenerasyon sistemi	0,4

2.5 Biyokütle Dönüşüm Teknolojileri

2.5.1 Gazlaştırma

Gazlaştırma işlemi, İskoç bir mühendis olan Murdoch'un tarafından kömürün pirolizi işlemi esnasında bulunmuştur. Daha sonrasında, 1812 senesinde Londra'da ilk gaz şirketi kurulmuştur. Türkiye'de ise ilk gazlaştırma prosesi sarayın ısıtma ve aydınlatmasını sağlaması amacıyla Dolmabahçe Gazhanesi'nde gerçekleşmiştir [24]. Günümüzde ise gazlaştırma en hızlı gelişen teknolojiler arasında yer almaktadır. Sürekli olarak talep artışı gören gazlaştırma prosesi son yıllarda daha da fazla yaygınlaşmıştır. Bu artışın temel sebepleri gazlaştırmanın çevre dostu olması ve diğer enerji maliyetlerine göre uygun olmasıdır. Bu artışın özellikle de enerjide dışa bağımlı ülkelerde devam etmesi beklenmektedir.

Gazlaştırma prosesi yüksek sıcaklık altında, gazlaştırıcı olarak adlandırılan reaktörlerin içerisinde, karbon içerikli katı yakıtların oksijen, hava, su buharı veya bunların karışımları ile temas etmesi ile gerçekleşmektedir. Tam yanma için gerekli olan oksijen miktarından % 20-30 daha az kullanılarak yeni bir teknoloji geliştirilmiştir. Bu işlem sonucunda ısıl değeri yüksek, büyük oranda karbonmonoksit (CO) ve hidrojen gazı, (H_2) az oranda ise karbondioksit (CO_2) ve metan gazı (CH_4) içeren oluşan sentez gazı oluşmaktadır. Sentez gazı bileşimi Çizelge 2.11'de verilmektedir [25].

Çizelge 2.11: Sentez gazının bileşimi [25].

Bileşen	Hacimsel Oran (%)
H_2	20-40
CO	35-40
CO_2	25-35
CH_4	0-15
N_2	2-5

Üretilen sentez gazı, hem doğrudan içten yanmalı motorlarda hem de Fischer Tropsch prosesinde kullanılarak sentetik yakıt üretiminde kullanılmaktadır [26]. Sentez gazı yakıt açısından zengin bir ürün olmakla beraber, elektrik enerjisi veya ısı elde etmek amacıyla diğer proseslerde hammadde olarak kullanılabilmektedir. Çizelge 2.12'de gazlaştırma maddeleri, oluşan gaz ve bileşimi ile kullanım alanı gösterilmektedir [27].

Çizelge 2.12: Gazlaştırma ile ilgili genel bilgiler [27].

Gazlaştırma Maddeleri	Gaz Cinsi	Gaz Ürünün Bileşimi	Kullanım Alanları
Hava ve su buharı	Gaz yakıt (Düşük ısıl değer)	CO CH_4	Endüstriyel yakıt
Hava ve su buharı (yüksek basınç)	Gaz yakıt (Düşük ısıl değer)	CH_4 (fazla) CO H_2 N_2	Güç merkezi ve türbin için yakıt
Oksijen ve su buharı	Su gazı Sentez gazı (Orta ısıl değer)	CO H_2 N_2	Amonyak sentezi, Metanol sentezi, Fischer- Tropsch sentezi, Karbonlaştırma
Oksijen ve su buharı (yüksek basınç)	Su gazı Sentez gazı (Orta ısıl değer) Sentetik doğal gaz, yergazı	CO H_2 N_2 CH_4	Amonyak sentezi, Metanol sentezi, Fischer- Tropsch sentezi,karbonlaştırma, kok gazı ve şehir gazına takviye gazı, yer gazını yedekleme

- **Hava ile gazlaştırma:** Maliyet açısından uygun olan bu teknoloji, su buharı, CO_2, hidrokarbonlar, zift ve nitrojen gazı içeren ürünlerin oluşumunu sağlamaktadır. Azot içeriği % 60'ın üzerine çıktığı için, oluşan sentez gazının ısıl değeri düşük olup 4–6 MJ/Nm^3'dür. Reaktör sıcaklıkları ise 900–1100 ºC aralığındadır.

- **Oksijen ile gazlaştırma:** Isıl değeri 10–15 MJ/Nm^3 olan kalite açısından daha nitelikli bir gaz oluşmaktadır. Proses sıcaklığı 1000–1400 ºC'ye ulaşmaktadır. Bunun yanı sıra oksijen kullanmanın dezavantajı olarak, maliyetinin yüksek olması ve güvenlik problemleridir.
- **Buhar ile gazlaştırma:** Diğer bir ismi reformasyon olan bu gazlaştırma, esas olarak H2, CO, CO_2, CH_4 ve hafif hidrokarbonlar, kömür ve zift içerikli bir gaz üretilmektedir. Bu metotun handikapı korozyon ve kataliz zehirlenmesine neden olabilmesidir. Buharla gazlaştırma amaç olarak sentez gazı değil de hidrojen gazı olması durumunda tercih edilmektedir.
- **Hidrojen ile gazlaştırma:** Bu gazlaştırma işleminde hammadde hidrojence doyurulur. Hala gelişim içinde olan bu işlemde, katalizör kullanılarak düşük sıcaklıkta işlem gerçekleşmektedir [28].

Gazlaştırma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmekte olup, ilk aşamada 600 ^oC altında yakıt uçucu bileşenlerine ayrılması sağlanmaktadır.. Piroliz esnasında hidrojence zengin hafif, uçucu hidrokarbonlar, katranlar, fenoller ile hidrokarbon gazları oluşmaktadır. İkinci aşamasında ise, birinci aşamadan kalan karbon buhar ya da hidrojenle reaksiyona sokulur veya hava veya saf oksijenle yakılmaktadır [29]. Gazlaştırma reaksiyonları Çizelge 2.13'te gösterilmektedir [27].

Çizelge 2.13: Gazlaştırma Reaksiyonları [27].

Tepkimeler
Su Gazı Tepkimesi
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
Boudouard Tepkimesi
$C + CO_2 \rightarrow 2\,CO$
Hidrojenle Gazlaştırma
$C + 2\,H_2 \rightarrow CH_4$
Kısmi Yanma
$C + \frac{1}{2}O \rightarrow CO$
Tam Yanma
$C + O_2 \rightarrow CO_2$
Metanlaştırma
$CO + 3\,H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$

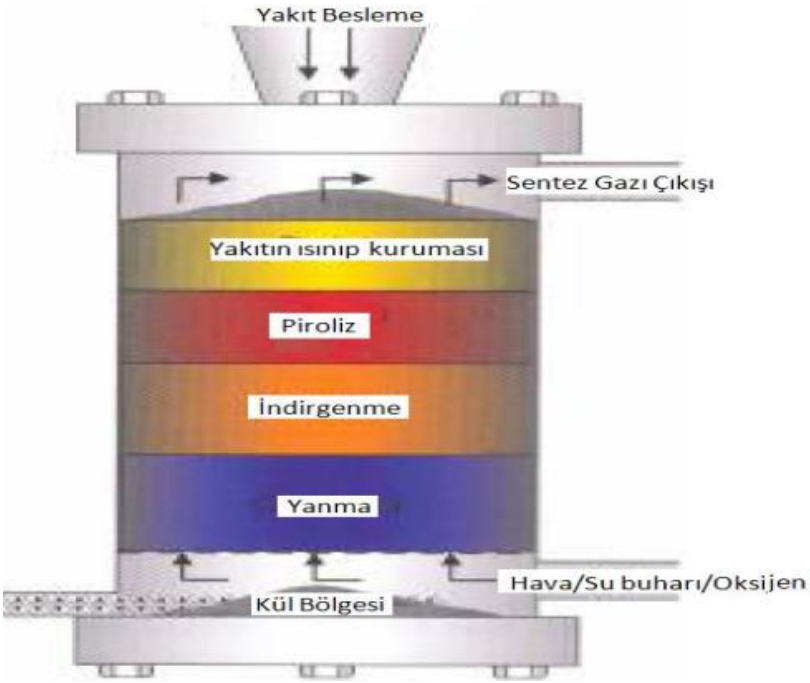
Gazlaştırıcılar kullanılan yakıtın özelliğine, sistemin kapasitesine göre değişmektedir. Temel gazlaştırcı çeşitleri sabit yataklı, akışkan yataklı, plazma ve sürüklemeli tip gazlaştırıcılardır.

2.5.1.1 Sabit yataklı gazlaştırıcılar

Bu tür gazlaştırcılarda reaksiyon bölgesi oluşturmak için metal ızgara bulunmaktadır. Yukarı akışlı, aşağı akışlı ve karşıt akışlı gazlaştırılar olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

- **Yukarı Akışlı Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar**

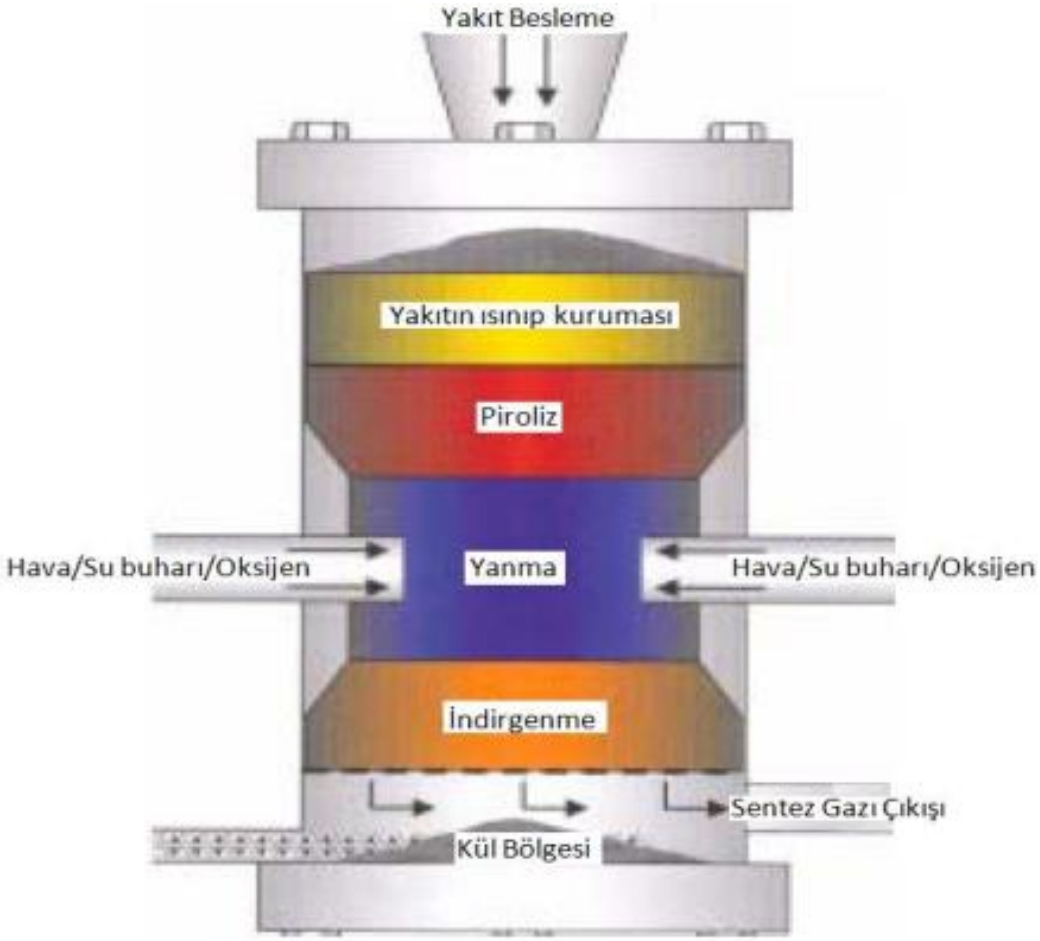
Kullanılan yakıt reaktörün üstünden sisteme beslenir, oksidant ise gazlaştırıcının alt bölgesinden gazlaştırıcıya verilir. Reaktöre beslenen yakıt içinde nem bulundurur ve bu nem aşağıdan alınan sıcak gazın ısısı sayesinde buharlaşır. Bu işlemden sonra, yakıt piroliz kısmında uçucu ve çar olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Izgaranın üzerinde bulunan ocak bölgesinde ise yanma ve gazlaştırma tepkimelerei meydana gemektedir. Piroliz işlemini tamamlayan ürünler bu sistemde tam olarak tepkimeye giremezler. Bu sebeple sıcaklık yüksek değerlere ulaşamaz, buna bağlı olarak katranın parçalanması tam olarak gerçekleşemez ve böylece üretilen sentez gazının katran içeriği fazla olur. Borularda yoğuşarak tıkanmalara neden olan katran bu proseste istenmemektedir [30]. Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı Şekil 2.6'da gösterilmektedir [31].



Şekil 2.6: Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı [31].

- **Aşağı Akışlı Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar**

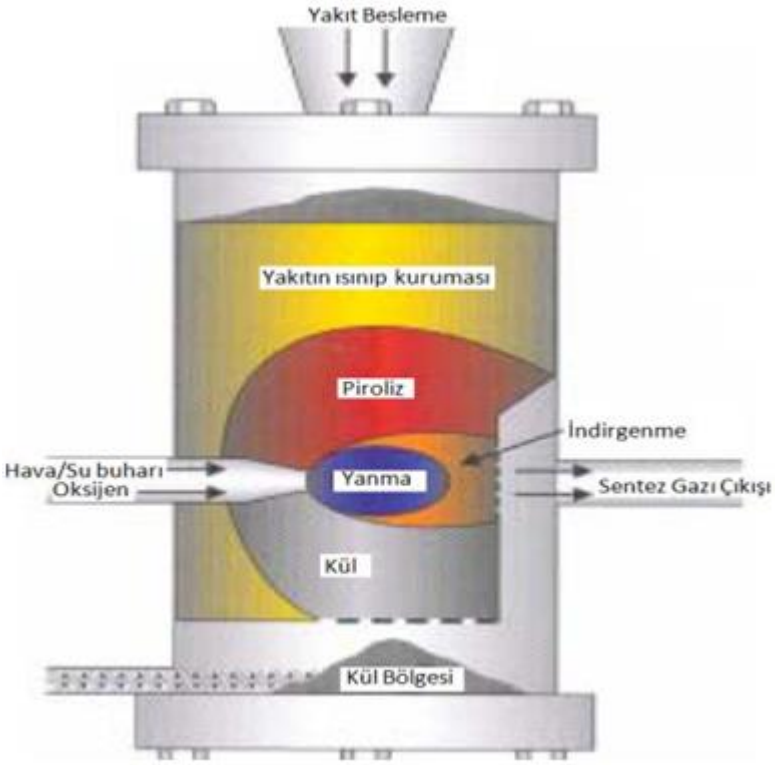
Bu gazlaştırma sisteminde hem yakıt hem de oksidant sisteme yukarıdan beslenir. Oluşan ürünler ise sistemin alt bölgesinden çıkmaktadır. Katranın büyük bir kısmı sıcak yatak bölgesinde parçalanır. Yüksek sıcaklıklarda parçalanamayan katranın birikmesi sonucu, tıkanmalara meydana gelebilmektedir. Bu durum hareketli ızgaralar kullanılarak çözülebilmektedir. Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı Şekil 2.7'de verilmiştir [31].



Şekil 2.7: Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı [31].

- **Karşıt Akışlı Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar**

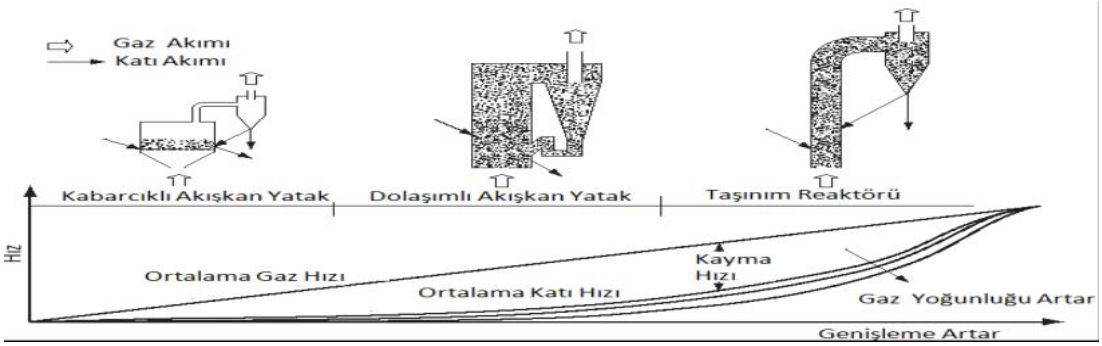
Bu sistemde gazlaştırıcının üzerinden beslenen yakıt aşağı doğru iner, gazlaştırmayı sağlayacak gazlar reaktörün yanından beslenir. Çıkan ürünler de yine aynı seviyenin diğer taraftan çıkmaktadır. Yanma bölümüm sistemde orta kısımda bulunmaktadır. Çıkan ürünün içeriğinde istenmeyen katran miktarı çok fazladır, bu yüzden bu sistemlerde yakıt çok iyi seçilmelidir. Bu sistem Şekil 2.8'de gösterilmektedir [31].



Şekil 2.8: Karşıt akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar [31].

2.5.1.2 Akışkan yataklı gazlaştırıcılar

Bu sistemde iç yüzeyi silika ve seramik gibi hareketsiz granül parçacıklarla kaplı olan yatak bulunmaktadır. Bu sistemde yakıt ve hava alttan beslenmektedir. Şekil 2.9'da akışkan yataklı gazlaştırıcı verilmiştir [32].



Şekil 2.9: Akışkan yataklı gazlaştıcılar [32].

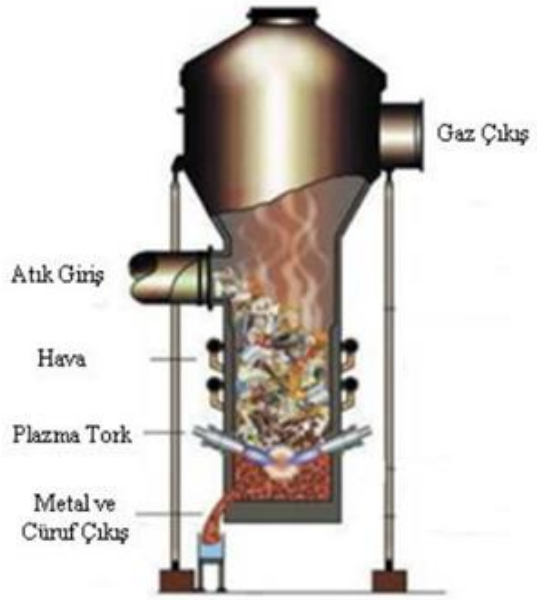
Yatak bağlaması olarak adlandırılan külün ergiyerek cüruf oluşumuna neden olmaması için, yatak sıcaklığının külün ergime sıcaklığının üstüne çıkmaması gerekmektedir. Aksi takdirde, oluşan cüruf yatağı tıkayarak akışkanlaşmanın kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle bu sistemler daima kül ergime sıcaklığının altında bir sıcaklık değeriyle çalıştırılmalıdır.

2.5.1.3 Sürüklemeli gazlaştırma

Bu sistemde yakıt ve ürün aynı doğrultudadır. Reaktörde besleme süresi çok kısa olup, tam yanmanın sağlanması için partikül boyutunun 100 μm veya daha altında olması gerekmektedir. Proses 1250–1600 ºC sıcaklık arasında gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklıkta gerçekleştiğinden dolayı çıkan üründeki metan içeriği çok düşüktür.

2.5.1.4 Plazma gazlaştırma

Yeni bir gazlaştırma tekniği olan plazma gazlaştırmanın gelecek vaat ettiği düşünülmektedir. Plazma, katı, sıvı, gaz gibi maddenin bir halidir ve elektriksel olarak nötrdür. İyon ve nötr partiküllerin bir karışımıdır. Plazma teknolojisi, manyetik alan kırılması yaratan proseste, gazın içerisinden elektrik akımının geçmesi sayesinde elektrik arkının oluşturulmasıdır. Elektriksel dirençten dolayı, bu sistemde önemli miktarda ısı üretilir. Gaz molekülleri 2000 ºC'de atomlarına ayrışmaktadır ve sıcaklık 3000 ºC'ye ulaştığında gaz molekülleri elektron kaybetmekte ve iyonlaşmaktadır [32]. Şekil 2.10'da plazma gazlaştırıcı verilmektedir. Plazma torkları aracılığıyla plazma bölgesinde yüksek sıcaklıktan ötürü oluşan ürünler kısa sürede gazlaşmaktadır. Gazlaşamayan kısım ise kül gibi akışkan cüruf halinde gazlaştırıcının alt kısmından alınmaktadır [31].



Şekil 2.10: Plazma gazlaştırma [31].

Biyokütlenin Gazlaştırılması

Nem içeriği % 5 ile % 30 arasında olan tüm biyokütle kaynakları gazlaştırılabilmektedir. Gazlaşabilen bu kaynakların en başarılı sonuç verenleri kömür, odun kömürü ve odundur. Son zamanlarda ise katı atık için de başarılı sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Biyokütlenin büyüklüğü, şekli, uçucu madde oranı, karbon içeriği de gazlaştırmayı etkileyen parametrelerdir.

Biyokütlenin gazlaştırılması dört aşamadan oluşmakta olup, bunlar kuruma, piroliz, yakma ve indirgenmedir. Kurutularak elde edilen kuru biyokütle, bir sonraki aşamada piroliz gazı ve odun kömürüne dönüşmektedir. Hidrojence zengin olan hafif ve uçucu hidrokarbonlar, katranlar, fenoller ile hidrokarbon gazlarından oluşan piroliz gazı yanma bölgesine gönderilir ve CO_2 ve su açığa çıkar. Son aşamada ise CO_2, CO'e H_2O ise H_2'ye dönüştürülerek, sentez gazı oluşur [33].

2.5.2 Piroliz

Piroliz yakıtın herhangi bir reaktanın olmadığı veya havasız ortamda meydana geldiği termal bozunma esnasında sıvı fazda maksimum ürün verimi gerçekleştiği prosestir. CO ve H_2 termal bozunma sonucu oluşan piroliz gazının ön bileşenleridir, bunlardan farklı olarak, çalışma koşullarına ve biyokütlenin nem içeriğine bağlı olarak değişen oranlarda metan ve karbondioksit gazı da piroliz gazının ön bileşeni olarak karşımıza çıkabilmektedir [34].

Piroliz işleminin gerçekleşme sıcaklığı 250-700 ^{o}C arasında değişmektedir. Biyokütlenin daha yüksek sıcaklıklarda pirolize tabi tutulması gaz ürün veriminde artışa, sıvı ve katı ürün veriminde ise düşüşe sebep olmaktadır. Sıvı maddelerin katı maddelere oranı ise ısıtma hızına bağlı olarak değişmektedir. Düşük ısıtma hızı katı ürün veriminin maksimum olmasına neden olmaktadır. Piroliz işleminin daha yüksek verimle sıvı ürünler elde etmesi için yüksek sıcaklık ve basınçta çeşitli katalizörler kullanılabilmektedir [35]. Hem yakıtın türü hem de işletme parametreleri piroliz işlemini büyük oranda etkilemektedir. Yakıtın organik ve inorganik yapısı, nem içeriği, gözenekliği, kül miktarı, tane boyutu, ısıl değeri ve işletmenin ısıtma hızı, gaz cinsi ve basıncı, reaktörde kalma süresi, reaktör geometrisi ve katalizör piroliz presesini büyük oranda etkilemektedir.

- **Yavaş Piroliz:** Ürünün enerji içeriği yüksek, değerli ürünlere dönüşümünü sağlamak için oksijensiz ortamda uzun sürede ısıl bozundurulmasıdır.

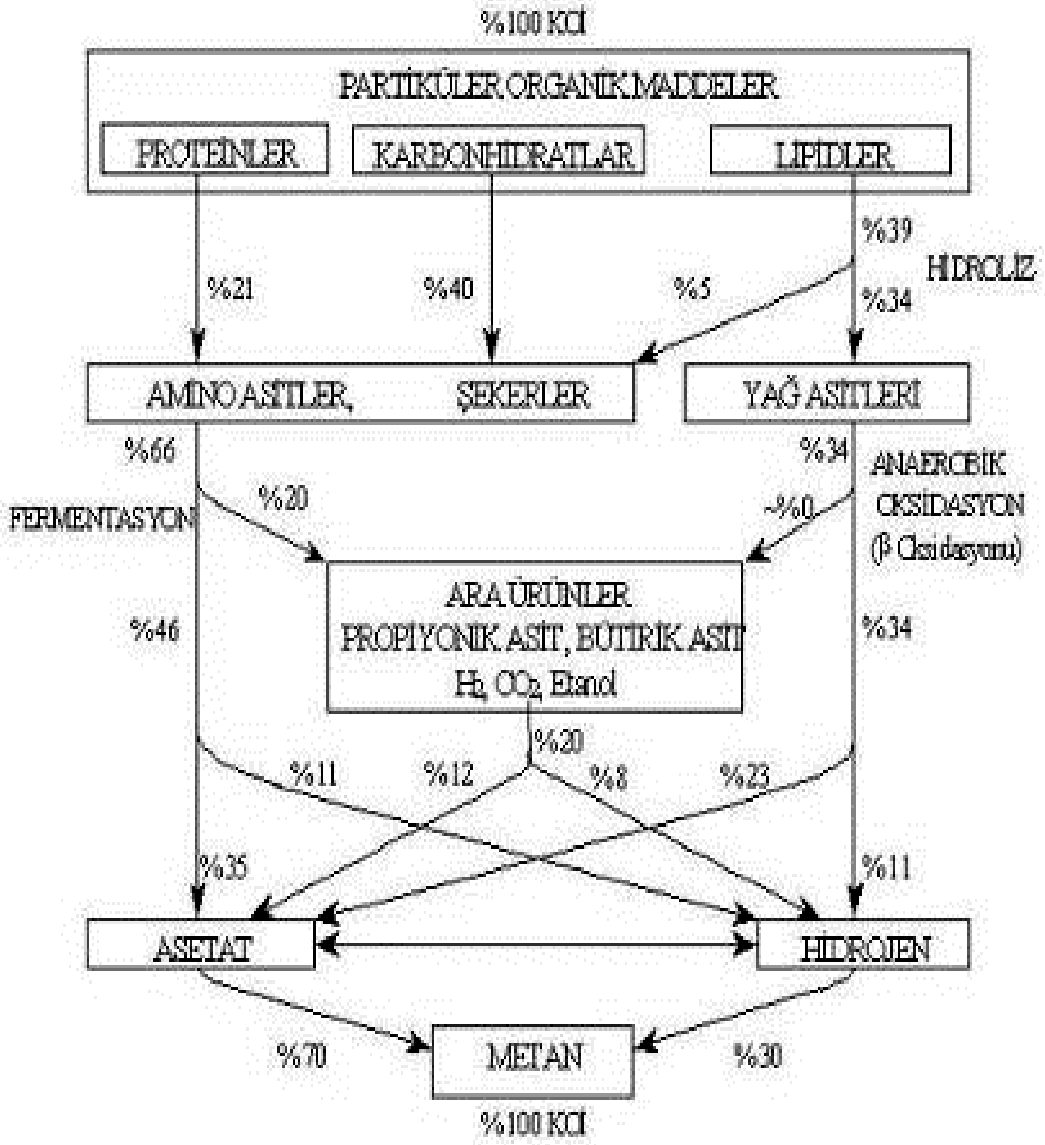
- **Hızlı Piroliz:** Hızlı piroliz işleminde yakıt hava bulunmayan ortamda büyük bir hızla ısıtılır, bozunma sonucu açığa çıkan gazlar yoğunlaşarak piroliz sıvısı olarak adlandırılan koyu kahverengi bir sıvıya dönüşür. Yavaş pirolizden farklı özelliği ısıtma hızı ve biyokütlenin piroliz ortamında kalma süresidir. Piroliz 100 °C/s'nin üzerinde olan ısıtma hızına sahiptir ve reaksiyonun gerçekleşme saniye ya da milisaniye boyutundadır. Bu şekilde yakıtın yoğun ısıtılması mümkün olur. Elde edilen uçucu ürün veriminin daha yüksek olması ve bozunma ve bozunma ürünlerinin kontrolünün mümkün olması gibi yavaş pirolize karşı bazı üstünlükleri bulunmaktadır [36].

2.5.3 Fermantasyon

Fermantasyon uzun yıllardan beri uygulanan gıda üretim ve koruma metodudur. Bitkisel ve hayvansal ürünlerden doğal yolla ya da başlatıcı kültürlerin eklenmesiyle yeni ürünler meydana getirilir. Biyokimyasal olarak ise fermantasyon karbonhidrat bileşiklerinin elektron alıcısının yokluğunda kısmen oksidasyona uğrayarak enerjinin serbest bırakıldığı metabolik bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Fermantasyon gıda üretimi ve gıdaların bozulmadan korunmasının yanı sıra aminoasit ve vitaminlerin oluşumuna neden olarak gıdaların besin değerini artırmaktadır. Fermantasyon bakteri, maya ve mantarlar gibi mikroorganizmalar ve enzimler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir [37].

2.5.4 Anaerobik çürütme

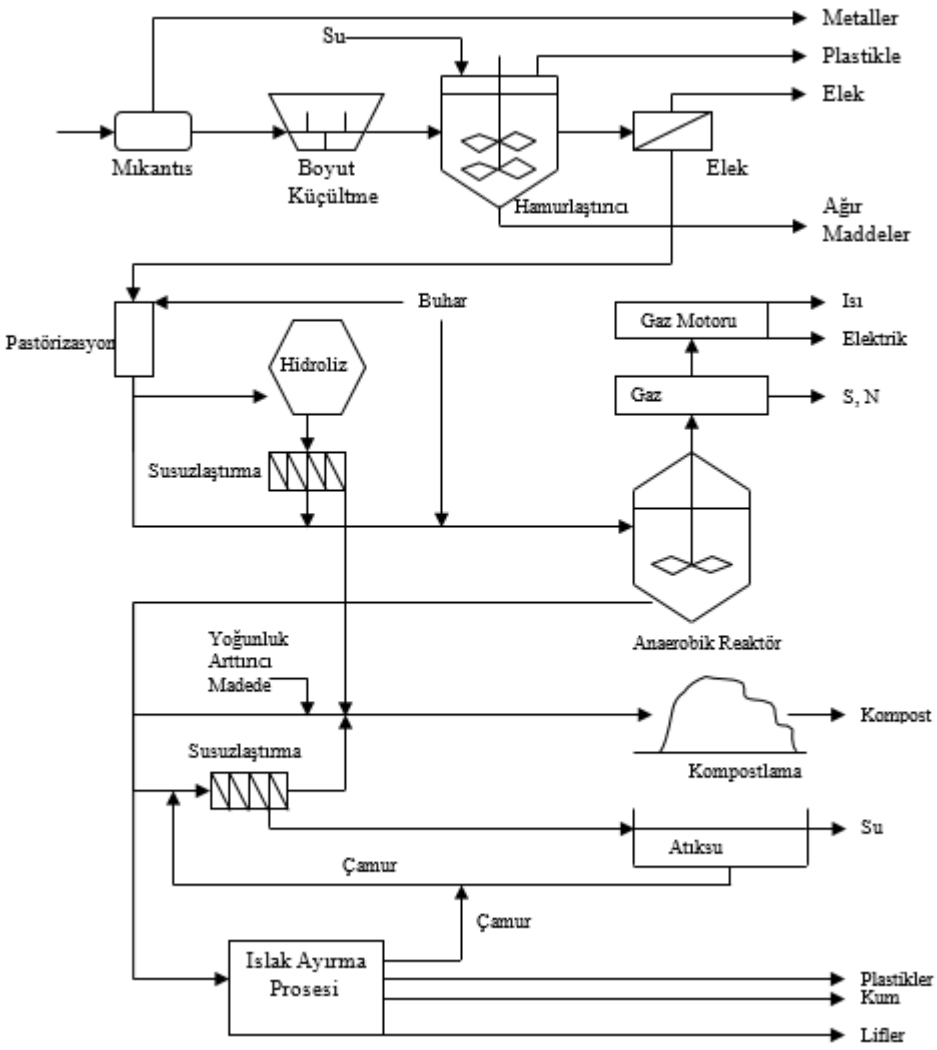
Anaerobik çözünme, organik atıkların biyokimyasal süreçle CH_4, CO_2 ve mikroorganizma biyokütlesi gibi son ürünlere dönüştürülmesiyle meydana gelir. Bu süreç de organik maddeler hem elektron verir (oksidasyon) hem de elektron almaktadır. Katı atıkların biyolojik yöntemle arıtılmasında kullanılan anaerobik biyolojik arıtma teknolojileri, kompostlaştırma, biyometanizasyon, hacim azaltmak, stabilizasyon ve patojen gidermek gayesiyle uygulanmaktadır. Proses stabilitesi, yüksek organik yükleme hızları, net enerji üretimleri ve düşük sera gazı emisyonları, anaeorobik çürütmenin daha ekonomik ve ekolojik kılındığı kriterlerdir. Anaerobik çözünme, organik atıkların biyokimyasal süreçle CH4, CO2 ve mikroorganizma biyokütlesi gibi son ürünlere dönüştürülmesiyle meydana gelir. Bu süreç de organik maddeler hem elektron verir (oksidasyon) hem de elektron almaktadır. Şekil 2.11'de kompleks organik atıkların anaerobik parçalanma süreçleri verilmiştir [39].



Şekil 2.11: Kompleks organik atıkların anaerobik parçalanma süreçleri [39].

2.5.4.1 Organik katı atıkların anaerobik çözünmesinde kullanılan sistemler

Organik katı atıkların anaerobik çözündürülmesi işleminin öncesinde ve sonrasında bazı ilave işlemler gereklidir. Ön işlemlerde metalik malzemelerin ayrımı, tambur, parçalama, elekten geçirme ve çöktürme gibi işlemler uygulanmaktadır. Sonrasında ise susuzlaştırma ve ıslak mekanik ayrım işlemleri yapılarak da çıkan ürünlerden geri kazanım sağlanabilmektedir. Evsel katı atıkların anaerobik olarak arıtıldığı tesisler birçok prosesin birleşiminden oluşur. Atıktan elde edilebilecek ürünlerin miktar ve kalitesini çoğu kez atığın bileşimi ve yapısı belirlese de, anaerobik reaktörün tasarımı da ürünlerin miktar ve kalitesini etkileyen önemli faktörlerden biridir.. Şekil 2.12'de katı atıkların anaerobik arıtımında kullanılan başlıca prosesler bulunmaktadır [39].



Şekil 2.12: Katı atıkların anaerobik arıtımında kullanılan başlıca prosesler [39].

2.5.4.2 Reaktör tipleri

Biyogazın elde edildiği reaktörler belirli kriterlere göre sınıflara ayrılırlar. Bu kriterler; katı madde yüzdesi, kademe sayısı ve prosesin gerçekleştiği sıcaklık olarak karşımıza çıkmaktadır. Reaktör tipleri ise ıslak ve kuru sistemler, tek ve çift kademeli sistemler ve mezofilik ve termofilik sistemler olmak üzere sınıflandırılır.

Organik atıklar kuru tip reaktörlerde genellikle tek kademeli ve termofilik olarak tercih edilir. Buradaki sıcaklık 55 °C civarındadır. Organik kuru madde miktarı ise % 30 civarındadır. Şayet ıslak tip reaktörler tercih ediliyorsa 2 kademeli sistemin uygulanabilirliği daha yaygındır. Buradaki sıcaklık 35 °C ve kuru madde miktarı % 8 – 12 mertebelerindedir. Reaktörlerin beslemeleri kesikli veya beslemeli şekilde işletilebilir. Katı atıkların anaerobik arıtımında kullanılan proseslerin reaktör, kriter, üstünlük ve kısıtları baz alan karşılaştırılması Çizelge 2.14'te gösterilmiştir [39].

Çizelge 2.14: Katı atıkların anaerobik arıtımında kullanılan proseslerin karşılaştırılması [39].

Reaktör	Kriter	Üstünlükler	Kısıtlar
TEK KADEMELİ ISLAK TİP	Teknik	• Klasik çamur çürütme prosesine benzer (% 8-15 katı madde)	• Kısa devreler • Yüzen ve çöken fazlar • Mekanik ekipmanda aşınma • Komplike ön arıtma ihtiyacı
	Biyolojik	• İnhibitörler eklenen temiz suyla seyrelirler	• Reaktör muhtevası tam karışımlı olduğundan şok yüklere karşı hassasiyet • Atılan inert ve plastikler nedeniyle uçucu madde kaybı • Düşük organik yükleme (Org. Yük. ≈ 3-5 kg UKM/m^3.gün)
	Ekonomik ve Çevresel	• Atığı iletmede kullanılan ekipmanlar ucuzdur	• Fazla su tüketimi (~1 m^3 musluk suyu/ton katı atık) • Susuzlaştırma ekipmanı gerekmektedir • Oluşan atıksuyun arıtılması gerekir • Büyük reaktör hacimleri • Komplike ön arıtma ihtiyacı • Büyük hacimleri ısıtmak için gereken yüksek enerji ihtiyacı

Çizelge 2.14 (devam): Katı atıkların anaerobik arıtımında kullanılan proseslerin karşılaştırılması [39].

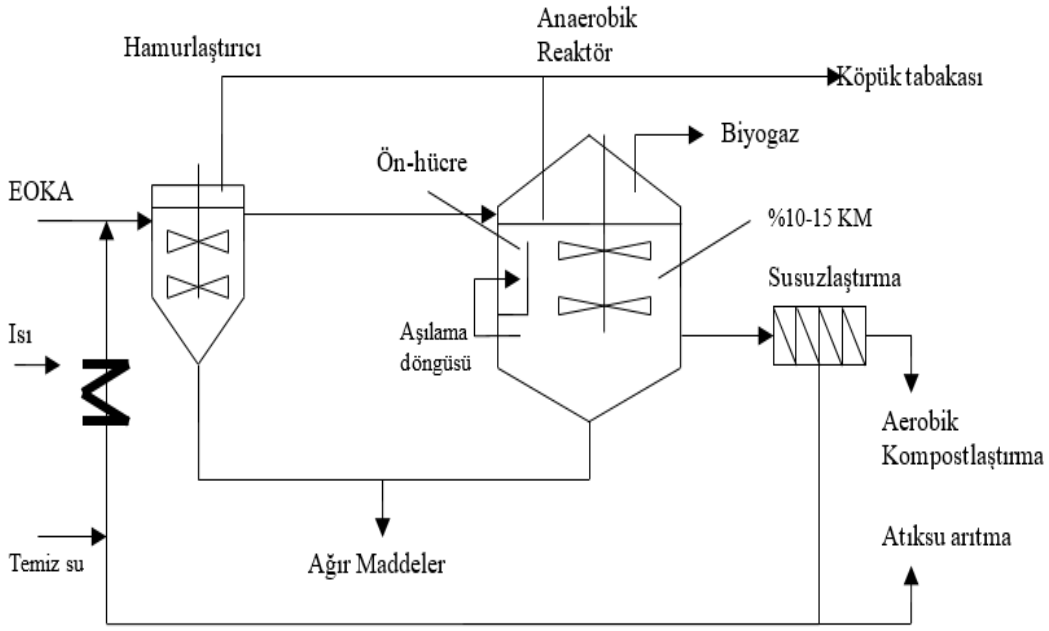
Reaktör	Kriter	Üstünlükler	Kısıtlar
TEK KADEMELİ KURU TİP	Teknik	• Reaktörün içerisinde hareketli parça yoktur • İnert ve plastiklerin ayrılmasına gerek yoktur • Kısa devre oluşmaz	• Islak atıklar (KM<%20) tek başlarına arıtılamazlar
	Biyolojik	• Ön-arıtmada UKM kaybı daha azdır • Yüksek organik yükleme hızı (Org. Yük. ≈ 10-15 kg UKM/m^3.gün) • İnhibitörler reaktörün içerisine daha az yayılırlar	• İnhibitörleri temiz suyla seyreltme imkanı genelde yoktur
	Ekonomik ve Çevresel	• Daha ucuz ön-arıtma • Daha küçük reaktörler • Tam hijyenizasyon • Çok az su kullanımı • Daha az ısıtma ihtiyacı	• Daha dayanıklı ve daha pahalı atık iletme malzemeleri (pompa, borular)
İKİ KADEMELİ	Teknik	• Değişik tasarımların yapılabilmesine uygunluk	• Karmaşık proses • İşletme zorlukları
	Biyolojik	• Selüloz içeriği az olan kolay ayrışan (mutfak atıkları) atıklar için çok uygundur • C/N<20 olan atıkların arıtımı için en uygun tasarım • Kolay hidrolize olabilen sübstratlar için kararlı proses verimi	• Katı kısım metan reaktörüne gönderilmediğinde düşük metan üretimi

Çizelge 2.14 (devam): Katı atıkların anaerobik arıtımında kullanılan proseslerin karşılaştırılması [39].

Reaktör	Kriter	Üstünlükler	Kısıtlar
	Ekonomik ve Çevresel	• Son üründe (kompost) daha az ağır metal içeriği (katı kısım metan reaktörüne beslenmediğinde)	• Daha yüksek ilk yatırım ve işletme maliyeti
DOLDUR BOŞALT	Teknik	• Basit tasarım • Düşük teknoloji	• Tıkanma problemleri • Boşluk arttırıcı madde gereksinimi
		• Safsızlıklardan etkilenmez	• Reaktörler boşaltılırken patlama riski
	Biyolojik	• Çok sayıda reaktör kullanıldığından oldukça güvenilir bir prosestir	• Kanallanmalar nedeniyle düşük biyogaz verimi • Düşük organik yükleme hızı (Org. Yük. ≈ 3-5 kg UKM/m^3.gün)

- **Tek Kademeli Islak Tip Reaktörler:**

Atık su arıtma çamurlarının arıtılmasında uzun senelerden beridir kullanılan çürütücülere benzerler. Bu sistemde organik atıkların katı madde içeriği, tesisteki proses su veya da temiz suyla seyreltilme işlemi yapılarak % 15 seviyelerinden % 8-12 seviyelerine getirilir ve arıtma işlemi gerçekleştirilir. İlk olarak Finlandiya'nın Waasa şehrinde 1989 yılında kullanılmıştır. Şekil 2.13'te Waasa prosesi olarak adlandırılan tek kademeli havasız ıslak tip reaktör sistemi bulunmaktadır.



Şekil 2.13: Tek kademeli havasız ıslak tip reaktör sistemi (Waasa prosesi) [40].

Hamurlaştırıcı bu sistemde, evsel organik katı atıkları parçalar, seyrelti ve homojen hale getirir. Seyreltme için gerekli olacak su için prosesten döndürülen atıksu veya da temiz su kullanılmaktadır. Bu tip reaktörlerde yüksek performans elde etmek için iri ve ağır parçalarından arındırılması komple bir ön arıtma sistemi gerektirir. Waasa prosesinde kısa devrelerin engellenmesi amacıyla atıklar reaktörün içerisindeki ön hücreye iletilir. Burada kurulan sistem sayende atığın reaktör içerisinde birkaç gün kalması beklenmektedir. Ön hücre sisteminde atığın tam anlamıyla hijyenize olduğu gözlemlenemez. Bundan dolayı hamurlaştırıcı içerisine buhar püskürtülür ve atık 70°C'de 1 saat boyunca hijyenizasyona tabi tutulur ve patojen mikroorganizmalar giderilir. Ancak ön hücre atığın yeterince hijyenize olmasını garantilemez. Bu yüzden hamurlaştırıcı içerisine buhar püskürtülerek atık 1 saat boyunca 70°C'de tutulmak suretiyle patojen mikroorganizmalar giderilir.

Biyolojik Arıtma Verimi:

Biyolojik arıtma verimi için 3 kriter çok önemlidir. Bunlar;

- Biyokimyasal reaksiyon hızı
- Organik madde giderme verimi
- Proses kararlılığı

Organik madde giderme verimi, atık başına elde edilen biyogaz miktarı ile laboratuvar şartlarında işletilen düzeneklerdeki biyogaz verimleri karşılaştırılarak elde edilebilir. Bir başka deyişle arıtma verimi uçucu katı madde (oDM) giderme yüzdesi olarak da belirtilmektedir. Bunun temel nedeni, biyogaza dönüşüm oranının atığın bileşimine daha fazla bağlı olmasından kaynaklıdır.

Bir başka kriter olan reaksiyon hızında ise, hız atık besleme hızı ya da ürün oluşum hızı olarak ifade edilmektedir. Organik yükleme hızı ve birim zamanda birim hacim başına elde edilen metan hacmi göstergeleri, atık bileşiminden ziyade reaktör tipiyle daha ilişkili olmasından ötürü biyogaza dönüşüm oranı ve uçucu madde giderme yüzdesine göre daha önemlidir. Farklı tipteki reaktörlerin kıyaslanmasındaki en doğru yol bu 3 göstergeyi birlikte değerlendirmektir.

Islak tipli tek kademeli şekilde işleyen proseslerde reaktörün içerisindeki karışım homojen olduğu için bakterilerin inhibitör konsantrasyonlarından korunabildiği alanların olmaması büyük bir dezavantajdır. Bu dezavantaj ise temiz su ilavesi ile inhibitör konsantrasyonlarının seyreltilmesini sağlar ve bu durumu ortadan kaldırabilmektedir. C/N oranının 20'nin altında olduğu atıklarda ise seyreltme için eklenen su amonyak konsantrasyonu eşik seviyesinin altına indiremeyebilir ve bu tip atıklar için iki kademeli sistemler tercih edilmektedir [40].

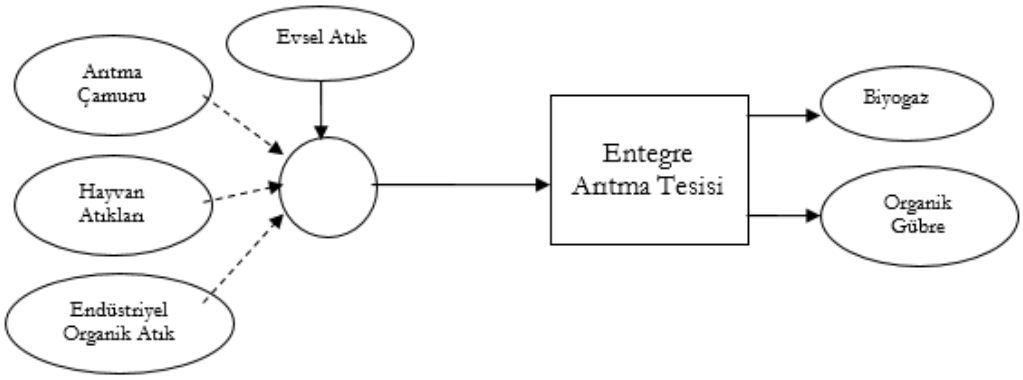
Organik Katı Atıkların Diğer Atık Türleri ile Birlikte Arıtımı

Organik atıkların sahip olduğu yüksek C/N oranı, pH değeri ve katı madde yüzdeleri gibi etkenler tek başlarına anaerobik çözünmelerini zorlaştırmaktadır. Birçok atığın birlikte çözünmesinde ise optimum bir çözüm yolu ortaya çıkar. Entegre sistemler içerisinde gelişen birlikte arıtım sistemi işletmeler için daha uygun bir sistemdir. Birlikte çözünmede sürekli bir kalite ve değişkenlik yerine sabit bir karakteristik kazanılır. Son yıllarda birlikte çözünme tarımsal ve endüstriyel atıklar için uygulanmaktadır [39].

Birlikte çözünmede sağlanan faydalar;

- Metan veriminin artması
- Proseste stabilizasyon sağlanması
- Daha kontrollü ve optimum bir atık yönetimi yapılması
- Entegre sistemin getireceği ekonomik katkılar

Birlikte çözünmedeki en önemli husus farklı atıkların sahip oldukları farklı parametreleri (C/N oranı, pH, inhibitörler, kuru madde) karışmış atıklar içerisinde dengelemektir. Şekil 2.14'te organik atıkların birlikte arıtmanın prensibi verilmiştir [38].



Şekil 2.14: Organik atıkların birlikte arıtmanın prensibi [38].

2.5.5 Yakma

Karbon kaynaklı herhangi bir maddenin yeterli oksijen bulunan bir ortamda hızlı kimyasal tepkime gerçekleştirmesi sonucunda karbondioksit, su ve ısı açığa çıkması olayıdır. Reaksiyon sonucunda çıkan ısının miktarı yakıtın yanma entalpisine bağlıdır. Genel yanma reaksiyonları Çizelge 2.15'te gösterilmektedir [41].

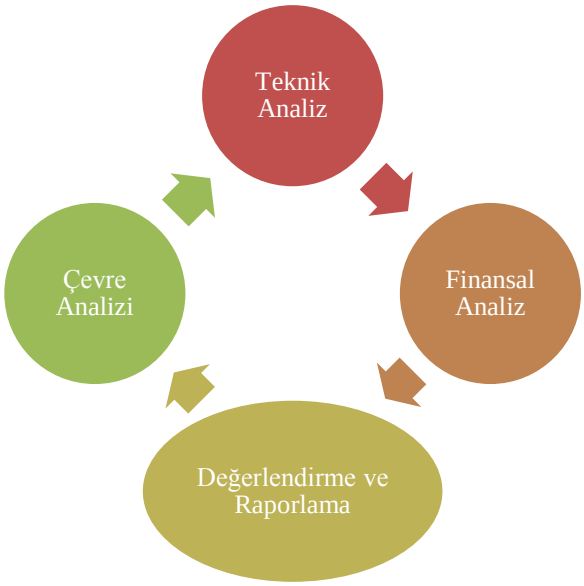
- **Uçucu madde çıkışı ve karbonizasyon:** 100 ile 300 ^{o}C'de gerçekleşen bu aşamada, hidrokarbonlar ve su gibi uçucu kısmın dönüşümü gerçekleşir.
- **Gaz fazında yanma:** Bu aşamada biyokütle 250-700 ^{o}C'de oksidasyon madde olmadan parçalanır. Daha sonra ise sıcaklık artırılır, 500-1000 ^{o}C aralığında su buharı ve CO_2 oluşur.
- **Oksidasyon:** Gaz fazında yanma aşamasında üretilen yanabilen gazlar oksitlenir. Oksidasyon 800-1450 ^{o}C arasında gerçekleşmektedir [42].

Çizelge 2.15: Genel yanma reaksiyonları [41].

Tepkimeler	Açıklamalar
$C_xH_xO_z$ (biyokütle) + $[x+y/4-z/2]O_2 \rightarrow xCO_2 + y/2\ H_2O$	Genel Biyokütle Yanma Reaksiyonu
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	Renksiz, kokusuz, zehirsiz, parlayıcı olmayan bir gazdır. Biyokütle yakılması sonucunda oluşan en önemli üründür.
$H_2 + O \rightarrow H_2O_{(g)}$	
$C + 2\ H_2 \rightarrow CH_4$	Renksiz, kokusuz, zehirsiz, boğucu, son derece parlayıcı, yüksek basınç altında çelik tüpler içerisine sıkıştırılmış gazdır.
$H_2O_{(s)} \rightarrow H_2O_{(g)}$	
$S + O_2 \rightarrow SO_x$	Yüksek sıcaklıklarda SO_2, düşük sıcaklıklarda SO_3 meydana gelir. Yakıttaki kükürdün tamamı SO_x'e dönüşmez, K_2SO_4 ve H_2S'ye dönüşebilmektedir.
$N_2 + O_2 \rightarrow 2\ NO_x$	
Klorit $\rightarrow$ HCl	Yakıtta bulunan klorun tamamı HCl'ye dönüşmez. KCl, NaCl, dioksin, klor içeren organik bileşikler oluşmaktadır. HCl emisyonları yakıtın yıkanması ile azaltılabilmektedir.
Florit $\rightarrow$ HF	

2.6 Ekonomik Analiz Kavramları

Projenin gerçekleştirileceği ülkenin durumu ve yapısı incelenirken ülkenin risk değerlendirmesi yapılırken politik ve siyasi konumu, jeopolitik konum, komşuları ile ilişkileri, güvenlik tehdidi, sürdürülebilirlik ve istikrarın yanında makroekonomik riskler de iyi etüt edilmelidir [43].



Şekil 2.15: Projenin ekonomiklik etüdü [43].

Çevre Analizi yapılırken sektör ve pazardaki analizler, mevzuat ve yasal düzenlemelerin değerlendirilmesi yapılmalıdır [44]. Sektör ve Pazar analizindeki başlıca kriterler:

- Pazarın yapısı ve dünyadaki gelişim
- Pazardaki önemli oyuncular ve rekabet durumu
- Pazarın yaşam eğrisi
- Pazara giriş engelleri (patent, lisans, know-how, vs)
- Pazarın teknolojik durumu
- Pazarın büyüklüğü
- Sektördeki büyüklüğü
- Sektördeki başarı kriterleri
- Sektöre ilişkin mevcut düzenlemeler
- Gelecekte yapılması muhtemel değişiklikler (AB düzenlemelerine uyum vs)
- Mevzuatta meydana gelebilecek değişikliklerin proje üzerindeki etkileri

- Teknik analiz kısmında bölgedeki hammadde, ürün ve fiyat analizi yapılmalıdır. Teknik analizi etkileyen kriterler:
- Ürün talebini etkileyen faktörler (araç sayısı, turist sayısı, vs.)
- Ürün talep projeksiyonu
- Hedef Pazar
- Ürün fiyatı projeksiyonu
- Ürün fiyatını etkileyen faktörler
- Pazar payı ve pazarlama stratejisi

Finansal analizde ise projenin ekonomiklik etüdü yani fizibilite yapılmalıdır. Fizibilite çalışmalarında, yatırımı düşünülen projenin gelecek zaman diliminde oluşturacağı nakit akışları değerlendirilir ve projenin karlılığının hesaplanması hedeflenir. Yatırımcının projedeki temel amacı ekonomik değerlendirilmeler yapılırken kar maksimizasyonunun elde edilmesidir. Özetle bir projeye ait kar, projenin nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değerlere indirgenmesi ile arasında oluşan farktır. Finansal analiz sürecinde incelenmesi gereken kriterlerdir.

- Bütçe
- Makine ve ekipman maliyeti ve zamanlaması
- Nakliye, montaj ve eğitim maliyetleri ve zamanlamaları
- İnşaat maliyet ve zamanlaması
- Proje zaman Çizelgesi
- Toplam operasyonel maliyetler
- Amortisman çizelgesi
- İşletme sermayesi Çizelgesi
- Yatırım planı ve fonlama yapısı
- Borçlanma ve borç geri ödeme Çizelgesi
- Kar ve kar dağıtım Çizelgesi
- Proje net nakit akışı
- Bilanço
- Proje yatırım nakit akışı
- Proje sermaye nakit akışı

Yatırım fizibilite çalışmasında vergi sonrası nakit akışı çıkartılır. Miktar ve tahsilat süreleri hesaplanarak satış projeksiyonları yapılır. Yatırım maliyeti ve zamanlaması,

amortisman süresi ve şekli belirlenir. Faaliyet giderleri ve zamanlaması sabit ve değişken ayrımları gözeterek hesaplanır. Proje fizibilitesini etkileyecek riskler ise standart ve değişken senaryolar üzerinden analiz edilerek hesaplanır. Vergi sonrası nakit akışının Net Bugünkü Değeri (NPV) hesaplanır bu tutarın büyüklüğü projenin karlılığı ile doğru orantılı olacak şekilde kabul edilir [45].

2.6.1 İç karlılık oranı (IRR)

Bir projenin net bugünkü değerini sıfıra eşit kılan indirgeme oranına iç karlılık oranı denir. İç karlılık oranının yatırımcının kabul ettiği asgari indirgeme oranından büyük olması projenin kabul edilebilirliğini göstermektedir. Diğer bir deyişle bir projenin yapılabilir olması için gerekli olan minimum getiri orana iç karlılık oranı (IRR) denmektedir. Alternatif senaryolar arasında IRR oranı en büyük olan projeye öncelik verilir.

NÇt: t dönemindeki net nakit çıkışları

NGt: t dönemindeki net nakit girişleri

IRR: İç getiri oranı

NBDp: pozitif NBD

NBDn: negatif NBD

İr: iç kârlılık oranı

İp: NBD'yi pozitif yapan indirgeme oranı

İn: NBD'yi negatif yapan indirgeme oranı

İlk etapta uygun bir indirgeme oranı ile NPV bulunur. Eğer bulunan NPV pozitif ise NPV'yi negatif yapacak şekilde, negatif çıktıysa pozitif yapacak şekilde bir indirgeme oranı belirlenir. IRR, NPV'yi poziyif yapan değerden büyük, negatif yapan değerden ise küçük olmalıdır. (ip<ir<in)

IRR analizinde projelerin büyüklükleri ele alınmadığı için senaryolar arası değerlendirmeler yapılırken sağlıklı sonuçlar çıkmayabilir. Bu analiz yönteminde iç karlılığı yüksek fakat boyutu küçük projeler öncelik kazanmaktadır. Bu yöntemle projenin kendi dinamikleri kullanılırken piyasa faiz oranları ve ona bağlı indirgeme oranları kullanılmaz. Borçlanma için en uygun olan faiz oranı da bu yöntem sayesinde bulunabilir.

2.6.2 Net bugünkü değer analizi (NPV)

Net Bugünkü Değer analizinde, bir projeye ait ekonomik ömür süresince sağlanan net nakit girişlerinin ve nakit çıkışlarının piyasada geçerli olan bir indirgeme oranıyla bugünkü değerinin hesaplaması yapılır. Nakit girişlerin ve çıkışların bugünkü değere indirgenmesi sonucunda değer pozitif çıkarsa kazancın yatırımdan daha fazla olacağı sonuca çıkar ve bu da projenin karlı olduğunu gösterir. Şayet bu değer sıfıra eşit olursa proje başabaş noktasında demektir. Değer negatif olursa kazancın giderlerden düşük olduğunu ve projenin zarar da olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır ve proje kabul edilmeyecektir [46].

NBD: Net bugünkü değer

NAt: Söz konusu dönemdeki (t) net nakit akımı

k: İskonto oranını (faiz oranı ya da sermaye maliyeti oranı)

n: Projenin kapsadığı dönem sayısı

NNGt: t yılındaki net nakit girisi (artık değer hariç)

It: t yılındaki yatırım tutarı

N: tesisin ekonomik ömrü

İ: indirgeme oranı

S: tesisin ekonomik ömrü sonunda (varsa) artık değeri

NPV analizinde ekonomik ömrün tamamının hesaba katılması ve paranın zaman değerinin dikkate alması bakımından çok avantajlı bir göstergedir. Bu metottaki en büyük handikap ise büyük projeler lehine olumlu sonuçları göstermesidir. Bu metot ile analizi yapılırken indirgeme oranı (i)'nin değeri sonuca oldukça etmektedir. Bu yüzden indirgeme oranı belirlenirken oldukça dikkatli olunmalıdır.

2.6.3 Karlılık endeksi

Projenin sağlayacağı nakit girişlerinin bugünkü değerinin, proje için geçerli olan nakit çıkışlarının bugünkü değerine bölünmesiyle elde edilen analiz yöntemine karlılık endeksi adı verilir, denklem 2.3'te gösterilmektedir. Bu analiz yönteminin bir diğer ismi fayda-maliyet analizi olarak da bilinmektedir. Fayda maliyet analizi projenin gerekliliği ile ililkilidir. Bu oranın 1'den büyük olması projenin kabul edilebilmesi için gereklilik arz etmektedir.

$$\text{Kârlılık Endeksi} = \frac{\text{Nakit Girişlerinin Net Bugünkü Değeri}}{\text{Nakit Çıkışlarının Net Bugünkü Değer}} \quad (2.3)$$

Ft: projenin t yılındaki faydaları (nakit girisleri)

Mt: projenin t yılındaki maliyeti

N:tesisin ekonomik ömrü

M: projenin insaat süresi

Birden fazla senaryonun karşılaştırıldığı durumlarda karlılık endeksi yüksek olan projenin seçilmesi daha uygun olacaktır.

2.6.4 Geri ödeme süresi analizi (Payback period)

Paranın zaman değerinin dikkate alınmadığı bir analiz yöntemidir. Bu yöntemde projeye ait gelirlerin kurulumda harcanan tutarları geçtiği anı hesaplar, bir başka deyişle projenin kara geçtiği noktadır. Birden fazla senaryonun karşılaştırılması yapılan projelerde geri dönüş süresi küçük olan yani geri dönüşü hızlı olan projenin seçimini yapmak daha doğru olacaktır fakat zamandan bağımsız yapılan bu değerlendirme analizi riskli bir yöntem olarak kabul görmektedir [43].

NKt: t yılındaki net kâr

Dt: t yılındaki amortisman

I: toplam yatırım tutarı

M: geri ödeme süresi

- **Proje Karlılığını Ölçen Finansal Göstergelerin Birlikte Değerlendirilmesi**

Proje karlılığını ölçen finansal göstergelerden Net bugünkü değer, İç karlılık oranı ve fayda maliyet oranının üçünde de gelirlerin ve giderlerin bugünkü değerleri üzerinden karşılaştırılması ilkesiyle yapılmaktadır. NPV ve F/M oranı analizlerinde belirli bir indirgeme oranı ile bugünkü değerler üzerinden analiz yapılırken IRR yönteminde ise proje karlılığını gösteren ir değeri hesaplanır. Bu analiz yöntemlerinde projelerin geçerli olup olmadığını gösteren kriterler aşağıda belirtilen üç farklı şekilde ifade edilebilir:

i<ir, NBD>0, F/M>1 [KABUL]

i=ir, NBD=0, F/M=1 [KABUL-RED SINIRINDA]

i>ir, NBD<0, F/M<1 [RED]

Sadece bir yatırıma ait analiz yapılırken bu ölçütlerin hepsi aynı sonucu verir fakat birden fazla senaryo arasında değerlendirme yapılırken NPV ve IRR analizleri aynı sonucu vermeyebilir.

2.6.5 Önemli diğer analiz oranları

- **Başabaş Noktası (Break-Even Point)**

İşletmeye geçmiş olan bir projedeki toplam gelirler ile toplam giderlerin birbirlerine eşit olduğu noktaya başabaş noktası denmektedir. Sabit giderleri hesaplarken ise değişken giderler ve kar arasındaki ilişki incelenir. Bu analizdeki asıl amaç, işletmede elde edilen gelirlerin sabit giderleri ne zaman karşılayacağını görmektir. Eğer işletmelerde kurulum maliyetleri olmuş olmasaydı işletmeler devreye girdikten sonraki faaliyetlerinden gelen kazançlarla hemen kara geçmiş olurdu fakat işletmelerde gelirlerden karşılanması gereken daha önce harcaması yapılmış sabit giderler mevcuttur. Başabaş noktası hesabında, işletme cirosu içerisindeki karın satışlardan elde edilen ciroyu karşıladığı nokta hesaplanmış olur, denklem 2.4'te gösterilmiştir.

$$\text{Başabaş Noktası } \% = \frac{\text{Sabit Maliyetler}}{\text{Satışlar} - \text{Değişken Maliyetler x } 100} \tag{2.4}$$

- **Borç Servis Karşılama Oranı**

Borç servis karşılama oranında ise vergi sonrası net kar, amortismanlar, faiz ve komisyon giderleri, operasyonel giderler, Katma Değer Vergisi KDV mahsuplaşması, işletme sermayesindeki artışlar ve azalmalar ve yatırım harcamalarının dahil edildiği hesaplamalardan sonra elde edilen ve ortaya çıkan net karın faiz, ana para ve operasyonel kiraya bölünmesiyle bulunur, denklem 2.5'te gösterilmiştir. [43].

$$\text{BSKO} = \frac{\text{Net Nakit Akışı}}{(\text{Faiz} + \text{Ana Para} + \text{Operasyonel Kira})} \tag{2.5}$$

- **EBITDA**

Bir projenin faiz, vergi ve amortismanlar öncesi net karı gösteren orandır. Denklem 2.6'da gösterilmiştir.

$$\text{EBITDA} = \text{Net Kâr} + \text{Vergi} + \text{Amortisman} + \text{Finansman Maliyeti} \tag{2.6}$$

- **Yatırımın Getiri Oranı (Roi) Analizi**

Basit karlılık oranı olarak da bilinen yatırımın karlılığını zamandan bağımsız ölçen bir başka yöntemde yatırımın getiri oranı analizidir. Bu analiz genellikle büyük ölçekli projelerde kabaca fikir edinmek için yapılır. Bu projeden elde edilecek net karın toplamı projenin kurulum bedeline bölünerek hesaplanır. Ayrıca yıllık ortalama karın yıllık ortalama yatırım tutarına oranlayarak da bu analiz yapılabilir. Karlılık oranının yüksek olması projenin tercih edilmesini etkilemektedir. Denklem 2.7'de gösterilmiştir.

$$\mathrm{RoI} = \frac{(\text{Net Kâr} + \text{Faiz})\text{x } 100}{(\text{Toplam Yatırım})} \tag{2.7}$$

- **Özkaynağın Getiri Oranı (Equity RoI, RoE) Analizi**

Yatırımın getiri oranı analizinde olduğu gibi kabaca fikir edinmek için yapılan analiz yöntemidir. Bu yöntem ile yıllık kar toplam özkaynağa bölünür ve özkaynağa ait getiri oranı hesaplanır. Denklem 2.8'de gösterilmiştir.

$$\mathrm{RoE} = \frac{(\text{Net Kâr})\text{x } 100}{(\text{Özkaynak})} \tag{2.8}$$

- **Duyarlılık (Hassasiyet) Analizi**

Duyarlılık analizinde projelerdeki nakit akımlarını etkileyen faktörler incelenir ve projelerin tespit edilen b u faktörlere ne derece bağlı olduğu belirlenir. Bu analiz yönteminde birim satış fiyatı, satış adedi, girdilerin maliyetleri, projenin termin süresi veya indirgeme oranı gibi değişkenlerde oluşan değişmelerin, diğerleri sabit kalacak şekilde NPV, IRR, karlılık endeksi, geri dönüşüm süresi gibi analizlerin üzerindeki etkisini görmek için uygulanır. Duyarlılık analizinde projenin hangi değişkene daha duyarlı olduğunun önceliğinin tespit edilmesi gerekmektedir. Buna göre projedeki ana senaryoya ilaveten yapılacak değişikliklerle farklı senaryolar vasıtasıyla fizibilite sonucu daha iyi şekilde etüt edilebilmektedir [46].

2.7. Analitik Hiyerarşi Prosesi

Günümüz çalışma şartlarında zaman zorlaşan seçim yapma insan, işletme ve kurumlar için her daim daha iyi ve daha başarılı olanı seçmeyi zorunlu kılmıştır. Seçim yapma kriterlerinde modellemeler, algoritmalar ve sayısal yöntemler oldukça önem arz etmektedir. Karar alma aşamasında birden çok kriteri aynı anda

değerlendirebilme yöneticiler için alternatiflerin değerlendirilmesinde yardımcı olmaktadır ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Çok kriterli karar verme, çok amaçlı karar verme ve çok nitelikli karar verme olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Çok nitelikli karar verme yöntemi, birden fazla kriterlerin değerlendirildiği durumlarda kullanılmaktadır. Çok nitelikli karar verme yönteminde ise; AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi), ANP (Analitik Ağ Prosesi), TOPSIS (İdeal çözüme yakınlığı belirlemede tercih sırası belirleme tekniği) yöntemleri en çok tercih edilen yöntemlerdir.

2.7.1 Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi

Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi Saaty tarafından geliştirilmiştir. Niceliksel ve niteliksel değerlerin ele alındığı bir yöntem olan AHP, çok nitelikli karar verme durumlarında karar vericilerin tecrübelerini, bilgilerini ve sezgilerini karar dahil ederek yardımcı olmaktadır. Bu şekilde karmaşık problemler basitleştirilmektedir. AHP probleminde objektif ve sübjektif düşünceler karar sürecine birlikte dahil edilmektedir. Grup kararları için diğer yöntemlere göre daha uygun olan AHP yönteminde grupların ve bireylerin öncelikleri dikkate alınır, nitel veya nicel değişken değişkenleri birlikte değerlendiren matematiksel bir teknik uygulanmaktadır.

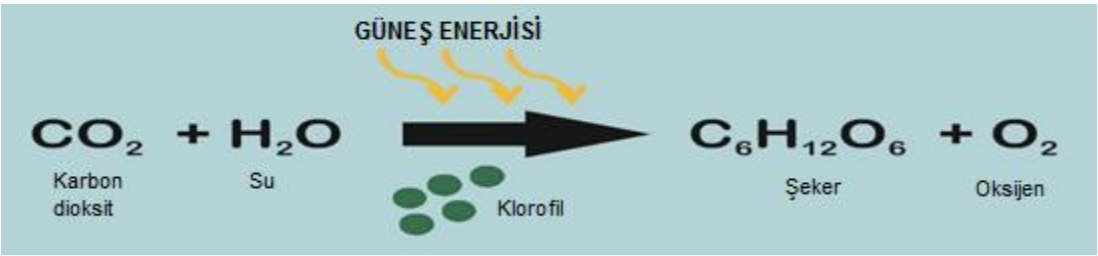
2.7.2 Analitik hiyerarşi prosesi yönteminin aşamaları

AHP yöntemin üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada problemin çözümü için hiyerarşik bir yapı oluşturulmaktadır. Oluşturulan yapıda kriterlerin göreceli önem derecelerini gösteren ikili karşılaştırma matrisi üstünlüklere göre belirlenerek hesaplanmaktadır. Göreceli önem değerleri Saaty'nin özvektör yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Daha sonra matristeki değerlerin tutarlılıkları, tutarlılık oranı tespitiyle kontrol edilir. Tutarlılık oranı istenilen düzeyde ise alternatifler arasında öncelik sıralamasına geçilir ve en yüksek değerdeki alternatif seçilir.

3. TEZ KONUSU VE DETAYLI ÇALIŞMA

3.1 Biyokütle Kaynakları

Biyokütle, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemenin genel adıdır. Yüz senelik bir dönemden daha kısa ya da bir insan ömrü süresince kendisini yenileyebilen, içerisinde hidrokarbon barındıran, yetişen bitkiler, tarımsal atıklar, hayvan atıkları, gıda endüstrisi, orman atıkları ve kentsel atıkları içeren tüm organik maddeleri içerir. Güneş ışığı vasıtasıyla 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 ürün olarak karbon içerikli (şeker) eldesi veren fotosentezi ifade edilmiştir [47].



Şekil 3.1: Fotosentez ve biyokütle temelini oluşturan hidrokarbon denklemi [47].

Biyokütle, gelişmekte olan ülkeler için uygulama alanının geniş olması ve yerel bazlı kaynaklar içerisinde yer almasından ötürü enerji ihtiyacı konusunda dışa bağımlılığı azaltabilecek önemli bir unsurdur. Biyokütle, sadece yenilenebilir enerji kaynağı olması değil, aynı zamanda hammaddenin her yerde yetiştirilebilmesi, çevrenin korunumuna destekte bulunması, sosyo-ekonomik gelişim sağlaması ve özellikle motorlu taşıtlar için yakıt eldesi vermesi nedeniyle de önem arz etmektedir [48].

3.1.1 Hayvansal atıklar

Su içeriği yüksek olan, kötü kokan ve dayanıksız olan hayvansal atıklar, bu istenmeyen özelliklerine rağmen biyokütle kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Hayvan dışkısı enerji değeri olmayan kül ve lifli maddeler açısından zengindir.

Hayvan dışkısı güneşte kurutulup direkt olarak yakılabildiği gibi anaerobik çürütme sonucunda biyogaz üretimi yapılarak da kullanılabilmektedir. Kurutma işlemi güneşin iklim gereği uzun süreler ışıma yaptığı ve sıcak olan yerlerde olabilmektedir. Isıl değerleri bitkisel ısıl değerlere benzer olan hayvan atıklarının aralığı 14-22 MJ/kg olarak belirtilmektedir.

Domuz ve tavuk dışkıları ise biyogaz elde etmek için oldukça uygundur. Besinin içerdiği selülozun atık içerisinde kalması ve metan üretimini gerçekleştiren mikroorganizmalarca dönüştürülmesiyle oluşmaktadır. Metan içerikleri 400-500 l/kg olan atıkların hacim yüzdeleri % 60-70 mertebelerindedir. Hayvan barınaklarına saman ve tahta talaşı tarzı maddeler serilmektedir. Hayvan dışkısıyla karışmış olan bu maddelerin ısıl değere katkısı önemli derecededir. Altlıklarıyla birlikte güneşte kurutulduktan sonra doğrudan yakma sistemi uygulanarak yüksek verim alınabilmektedir. Gübre, yakıt olarak kullanılmak üzere depolanmışsa, bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Depolanan gübrenin yağmurla temas etmesi engellenmelidir ve depolanan maddenin yüzey-hacim oranını azaltılmalıdır [48].

Hayvansal atıkların özellikleri, toplama ve depolamayla doğrudan etkilenebilmektedir. Tavuk dışkısı kafesin altındaki çukurlarda hava sirkülasyonuna bağımlı olarak birikme yapmaktadır ve % 70 katı oranında kuru hale gelmektedir. Tank içerisinde birkaç ay bekletilen sığır gübresinde ise toplam azot oranında azalma görülürken amonyak azotunda artış yaşanmaktadır.

3.1.2 Bitkisel atıklar

Genellikle ticari amaç için ekilen yeşil bitkilerin ağırlıklı olduğu tarımsal ürünlerin % 60'lık kısım atık olarak karşımıza çıkmaktadır ve bu atıkların oluşturduğu kısımlar biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir. Bitkisel kaynaklar içerisindeki atıkları, kuru ve ıslak bitki atıkları ve tahıl çöpleri olarak sınıflandırılmaktadır [49].

Hasat edilebilen miktarları üzerinden değerlendirilen bitkisel atıkların enerji potansiyellerini, yıllık veya günlük üretilen bitki miktarı, kuru ağırlık, kül miktarı değerleri belirlemektedir. Kuru maddelerin enerji potansiyeli için ise organik kuru madde miktarı ve organik madde ısıl değeri belirleyici rol oynamaktadır.

Dünyanın birçok yerinde elektrik enerjisi ve buhar üretimi için tercih edilen şeker kamışı küspesi tarımsal atıklar için önemli bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dünya üzerindeki buğday, arpa, mısır, yulaf, çavdar, pirinç kabuğu ve şeker kamışı küspesinin sahip olduğu 900 Mt'luk madden 360 Mt'luk petrole eşdeğer gelmektedir.

3.1.2.1 Doğrudan yakılabilen kuru bitki atıkları

Tahıllardan elde edilen saman benzeri gövde türü atıkları, tarımsal atıkların büyük bir kısmını kapsamaktadır. Bu tür atıklar düşük nem içerikleriyle diğer atıklardan ayrılmaktadır. Yaklaşık nem oranı % 14 olan tahıl atıkları, yakıt olarak kullanımında nem oranı daha yüksek olan sebzelere göre daha uygundur ve nem giderme işlemi uygulanmadan kullanılabilir ve yakılabilir. Doğrudan yakılabilen tarımsal atıklara, buğday, arpa, çavdar, yulaf çöpü, mısır sapı, üzüm küspesi, kolza, hayvanlar için yem olarak kullanılan kuru fasulye ve bezelye örnek olarak verilebilir. Bunlara ilaveten odunsu gövdesi olan kenevir, hint keneviri, çay üretim alanlarındaki çalılar, fındık kabuğu, badem kabuğu ve hindistan cevizi kabuk ve kuru atıkları da doğrudan yakılabilmektedir [50].

3.1.2.2 Islak bitki atıkları

Coğrafi yapıya bağlı olarak yapraksı maddeler ve nemli sebze gövdelerini içeren ıslak tarımsal atıklar da enerji üretimi için değerlendirilebilmektedir. Patates ve şeker pancarı bu tarz atıklara örnektir. Şeker pancarı, miktar ve bıraktığı kalıntı açısından endüstriyel değeri yüksektir ve birçok alanda kullanılabilmektedir. Patateste uygun harmanlama yapıldığı zaman üst kısmı potansiyel enerji kaynakları arasında değerlendirilebilir. Lahana, karnabahar, bezelye, fasulye, havuç ve domatese ait ekin kökleri de ıslak atıklar içerisinde yer almaktadırlar [50].

3.1.2.3 Tahıl çöpleri

İklim faktörlerinden dolayı mevsimsel olarak değişkenlik gösteren hububat ve tahıl çöpleri saman kullanımını ve zamana bağımlı olarak pazar fiyatlarına da etki eder. Şeker pancarı yaprakları, patates sapları ve yumruları, bezelye kökü, fasulye kökü ve lahana atıkları örnek olarak verilmektedir [51].

3.1.3 Enerji bitkileri

Enerji üretimi amacıyla ekilen bitkiler, enerji bitkileri olarak adlandırılmaktadır. Sorgum, şeker kamışı, soya, ayçiçeği, pamuk gibi bitkisel yağ içeren bitkiler, okaliptüs, söğüt ve kavak gibi kısa sürede yetişen bitkiler enerji bitkilerine örnek

olarak gösterilebilir. Enerji bitkileri, enerji depolamaya alternatif olabilmesi açısından önemli bir hammadde türüdür. Ayrıca yenilenebilir ve fosil yakıtlara göre çevreye daha az kirliliğe yol açmalarından ötürü bu ürünler tercih edilmektedir. Buna karşın enerji bitkilerinin yetiştirilmesi maliyetli olmaktadır. Maliyeti azaltımı için enerji bitkilerinin yetiştirilmesinde çürütücü çıkışındaki katı ve sıvı fermente ürünler değerlendirilmektedir.

Enerji bitkilerinin yetiştirilme alanları, az ilaçlama, az gübreleme, kükürt ve azot oksitli bileşenleri atmosfere yaymalarından ötürü çevreye olan olumlu katkılarından dolayı diğer bitkilerin yetiştirilme alanlarına göre geniştir.

Dünya üzerine gelen güneş ışınlarının % 0,1'i fotosentez olarak kullanılabilmektedir. C_4 bitkileri olarak adlandırılan ve daha verimli bir fotosentetik yapıya sahip olan bu bitkilerde ise bu oran % 2-3 mertebelerindedir. C_4 bitkilerinin karakteristik özellikleri şu şekilde belirtilmektedir.

- CO_2 derişimleri düşüktür.
- Yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyarlar.
- Kuraklığa dayanıklıdırlar ve düşük oranda su ihtiyaçları vardır.
- 4 karbon atomu içeren bileşikleri bağlarlar.
- Işık şiddetinden faydalanma oranları yüksektir.

Tatlı su sorgumu, şeker kamışı, mısır ve miscantus C_4 bitkilerine örnektir. Yulaf, pirinç, pamuk, soya fasulyesi, ayçiçeği, buğday, arpa ve fıstık da C_3 bitkilerine örnek olarak verilmektedir. Ortalama 25 ^{o}C sıcaklığı tercih eden bu bitkiler, alkol ve biyokütle yakıtı üretimi için uygundur.

Alkol üretiminde şeker kamışı 3500 l/ha.yıl ile en yüksek verime sahiptir. Şeker kamışını, 3200 l/ha.yıl ile odun ve 3000 l/ha.yıl ile sorgum izlemektedir. Mısır da ise bu değer 2000 l/ha.yıl dolaylarındadır. Buna karşın şeker kamışından 60 l/t alkol elde edilebilirken bu rakam mısır da 300 l/t olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji bitkisi yetiştirmede dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birisi yiyecek alanlarını etkilemeden ürün yetiştirmektir. Dünyanın farklı ülkelerinde farklı kaynaklara yönelimlerin olmasından dolayı yetiştirilme alanları farklılık göstermektedir. Bu tip ürünler anaerobik çürütmede hammadde deposu ve kuru hasat için kullanılır [52].

3.1.4 Odunsu biyokütle

Odun eşsiz bir biyokütle kaynağıdır. Doğrudan yakılarak kullanılmasının yanı sıra çeşitli işlemler sonucunda pelet ve briket haline getirilerek ısıtma amacıyla kullanılabilmektedir. Odun tek başına kullanılabildiği gibi kömür ve diğer biyokütle yakıtlarıyla birlikte kalorifer kazanlarında, elektrik santrallarında ve gazlaştırma kazanları gibi farklı uygulamalarda da kullanılabilmektedir. Yeni teknolojiler odundan daha fazla yararlanılmasının önünü açmaktadır. Geleceğin teknolojilerinde ise odun artıklarının işlenmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda içten yanmalı motorlarda, yakıt hücrelerinde ya da doğalgaz tesislerinde kullanılmak üzere yapay gaz üretilmesi planlanmaktadır. Yakıt üretim teknolojilerinin gelişimiyle, odunun yapısındaki selülozik maddelerden biyobenzin, biyomotorin gibi farklı sıvı yakıtlar üretilebilmektedir [53].

Kavak ve okaliptüs ağaçları kısa dönem ormanları olarak biyokütle için enerji amaçlı bitki üretimi sınıfına girmektedir. Normal şartlarda enerji üretimi için ormanlardan faydalanma süresi 30 ila 80 yılı bulmaktadır. Bu nedenle orman bitkilerinden elde edilen biyokütle için enerji kaynağı kullanımı fazla ekonomik olarak karşımıza çıkmamaktadır. Ürün elde edilme süresinin kısalması ile biyokütleden enerji kullanımı ekonomikleşse de yapılan yatırım masraflarında artış meydana gelmektedir. Optimum çözüm ise, ilk senelerde hızla yetişen ağaçların seçilmesi ve uygun aralıklarla hasatlarının yapılmasıdır. 1970'teki enerji krizi döneminde uzun vadeli çözüm olarak değerlendirilmiş olan kısa dönem ormanlarının avantajları ve dezavantajları aşağıda belirtildiği gibidir;

Avantajları:

- Kükürt içerikleri düşüktür
- Hayvan yemi olarak kullanılabilir
- Hammaddeleri doğaya zarar vermezler
- Kullanımı ve üretimi esnasında atmosferdeki ısı ve karbondioksit dengesi olumsuz şekilde etkilenmez
- Birim alan başında yüksek miktarda ürün elde edilebilir.

Dezavantajları:

- Kurulumu ve işletmesi güçtür. (Tek kültür ağırlıklı bitki ekimlerinde hastalık veya böcek istilası ihtimali yüksektir.)

- Yüksek ekim alanlarına ihtiyaç duyması
- Büyük çaplı organizasyon gerektirmesi ve maliyetlerin yüksek olması

Kanada ve İsveç enerjide dışa bağımlılıklarını azaltmak için enerji ormancılığını uygulamaya geçirmiş ülkelerin başında gelmektedirler. Kanada 1976 yılında ENFOR programı kapsamında enerji ormancılığına yatırım yapmıştır ve 2050 yılındaki hedefleri ülke enerjisinin % 50'sini karşılamaktadır. 1970 petrol krizi döneminde petrol fiyatlarının artması ve enerji üretiminde petrolün payı % 70'leri bulan İsveç'te de benzeri adımlar atılmıştır ve 2000'li yılların başına gelindiği enerjisinin % 15'ini karşılamaya başlamıştır. Odunlardan güç üretimi için enerji ormanlarına ayrılan alan 4 milyon hektar büyüklüğündedir ve bu oranların arması için çalışmalar sürekli olarak devam etmektedir.

- **Orman ürünlerinin özellikleri**

Odunun diğer yakıtlara nazaran daha kısa sürede yanma ve çabuk ısı verme özellikleri öne çıkmaktadır. 1 kg taş kömürü ya da linyit için 15-17 m^3, 1 kg iyi kurutulmuş odun için ise 7-9 m^3 hava gereklidir. Yanma sonucunda, odunun bıraktığı kül miktarı oldukça azdır ve yaklaşık ağırlığının %3'üne denk gelmektedir. Bu çıkarım linyitte %15-25, kok ve antrasitte ise %5'tir. Kalori değerine etki eden unsurlar, ağaç türü, özgül ağırlığı, rutubet, kül ve ekstratif madde miktarları olarak belirtilmektedir. Yanma sonucunda oluşan ısının bir bölümü odundaki suyun buharlaşması için kullanılır ve rutubet miktarının arttığı için kalori değeri azalmaktadır. Ağaçların gövde odun kalori değerleri ortalaması yaklaşık 5,000 kcal/kg, yapraklı ağaçların ise 4,660 kcal/kg'dır. Ağaç türleri arasında en yüksek kalori değeri 5,274 kcal/kg ile sarıçama aittir. Yapraklı ağaçlarda ise en yüksek değer 4,894 kcal/kg ile okaliptusun, en düşük değer ise 4,500 kcal/kg ile çınarındır. Dal odunda iğne yapraklı ağaçlarda ortalama kalori değeri 5,018 kcal/kg, yapraklılarda 4,620 kcal/kg olup iğne yapraklı ağaçların dal odunlarının kalori değeri yapraklı ağaçlardan %8 daha fazladır. İğne yapraklı ağaçların ortalama dal odun kalori değerlerinin gövde odunu ortalamasından daha fazla olduğu, yapraklılarda ise bu iki değer arasında fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Gövde kabuk kalori değerleri iğne yapraklı ağaçlarda 5,300-4,400 kcal/kg, yapraklı ağaçlarda ise 5,200-3,300 kcal/kg arasında değişmekte olup, iğne yapraklı ağaçlarda ortalama değer 4,850 kcal/kg, yapraklı ağaçlarda ise 4,250 kcal/kg'dır [53].

3.1.5 Su bitkileri

Biyokütle enerji kaynağı olarak su bitkileri de kullanılmaktadır. Bu bitkiler hızlı bir şekilde yetişebilmeleri ve üretkenliklerinin yüksek olması tercih edilmelerinin sebeplerindendir. sümbül (eichhornia crassipes) bitkisi oldukça üretkendir ve ılıman iklimlerde yetişebilmektedir. Sportina, alterniflora, arundo, donax ve cattail de su bitkilerine örnek olarak verilebilir. Mikroalgler üzerime çalışmalar da uzun senelerden beridir yapılmaktadır. 20.000'e yakın çeşidi bulunan mikroalglerden chlorella ve scenedesmus gün ışığında ve sürekli proseslerde üretilebilmektedirler ve fotosentez etkinlikleri yüksektir. Chlorella'nın üretim kapasitesi 1.0 kuru t/ha.yıldır.

Deniz otları ve çok hücreli algler de yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Macrocysus, pyrifera, sorgassum natan, fluiton ve glaciloriatikvahiae de alglere örnek olarak verilebilir. Macrocysus pyrifera yüksek potasyom içeriğine sahiptir ve 1. Dünya savaşı esnasında potasyum kaynağı olarak kullanılmıştır. Günümüzde organik yapıştırıcı ve kıvamlaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Laminaria da alginik asit türevlerinin üretiminde değerlendirilen bir kaynaktır [54].

3.1.6 Kentsel atıklar

Kentsel atıklara şehirlerin kanalizasyonlarında biriktirilen atık su atıkları, evsel katı atıklar ve endüstriyel katı atıkları olarak karşımıza çıkmaktadır. Atıkların yapılarındaki değişik formlardan dolayı farklı işleme özellikleri uygulanmaktadır.

3.1.6.1 Kanalizasyon atığı

Kanalizasyon atığının içerisinde, insan dışkıları, evsel atıkların sıvı halleri ve endüstriyel sıvı atıklar bulunmaktadır. 1500 kcal/gün olan bir yetişkine ait tüketimin sonucunda 100 gr kuru maddenin atığı oluşur. Bu sonuçta yetişkin bir bireyin dışa atımı 87,6 gr/gün kuru madde olarak karşımıza çıkmaktadır. 9,17 MJ alımı sonucunda metabolizmadan üretilen 440 gr katı maddedir. Dışkı ise 27,2 gr katıyı ve 60,4 gr organik katıyı içermektedir. Dışa atılan organik katı atık 23 MJ/kg mertebelerinde katı atık içermektedir. Bu da birey başına 1,39 MJ'e denk gelmektedir. Yani kişi başına 0,5 GJ'dür.

Kanalizasyon atıklarının işlenmesindeki ilk safhada tanklarda tortulaşma oluşmaktadır. Tüm katıların dibe çökmesiyle, yağlar suyun yüzeyine çıkar ve buradan alınabilir. Bu tip tanklarda tutulma süresi yaklaşık olarak 4 saattir.

Kanalizasyom çökeltilerindeki katı oranı % 50 seviyesindedir. İkinci safhada ise oksitlenme meydana gelmektedir. Bu safhada arıtma çamuru filtrelerden damlalar halinde akıtılır ve deflektörler vasıtasıyla dağıtma işlemi yapılmaktadır. Filtrenin yatak kısmında taşlardan ve kaba materyallerden oluşur. Kanalizasyon atıkları buradan akıtıldıktan sonra kollar vasıtasıyla yavaşça dağıtılır. Kolların yapısında nozullar ve deflektörler yer almaktadır. Farklı sıcaklıklarda sisteme hava girişi yapılmaktadır. Bu şekilde mikroorganizmalar hareketli bir şekilde balçıklarını, taşlara ve filtreye yapıştırılmaktadır. Bu sistemdeki asıl ilke, filtre yatağındaki organizmalar vasıtasıyla atığın bünyesindeki organik maddeleri enerji eldesi haline getirebilmektedir. Bu şekilde filtre içerisindeki organizmaların miktarları artmaktadır ve filtre yatağında oluşan sıvı atıklarda organizmalar yer almaktadır. Sıvı atıklarının ikinci aşamasında katılar ayrışmaya başlar ve ikinci tortulaşma esnasında dibe çökelmeler oluşur. İkinci safhada ilk safhada ayrılan kanalizasyon atıkları toplam atıkların % 40-45'inde denk gelmektedir. Filtreye alternatif olarak kanalizasyon atıklarına hava püskürtülmesiyle oksitleme işlemi yapılarak temizleme yapılmaktadır. Havalandırma için kullanılan tankların derinliği 10-15 cm civarında olup, atıkları 4-8 saat boyunca tutarlar. Havalandırma işlemi oksijen stoğu için gereklidir ve bu işlem döner tepsileri, fırçalar ve çeşitli dağıtıcılar vasıtasıyla yapılmaktadır [55].

3.1.6.2 Kentsel katı atıklar

Yerleşim bölgelerinde oluşan evsel ve çöp atıkları kentsel katı atıklar olarak adlandırılmaktadır. Genelinin gıda atıklarının oluşturduğu atıklar içerisinde kağıt, plastik, seramik, cam ve metal de yer almaktadır. Bulunduğu bölgenin yaşam karakteristiğine göre atık içeriği farklılık göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde kentsel katı atıkların % 75'i organiktir ve yakmaya uygundur. Ayrıca metan üretimi de uygundurlar. Sadece küçük miktarı enerji üretimi için kullanılmaktadır. Tekrar kullanabilen maddelerin ayrıştırılmasından sonra kalan maddeler gömülmektedir. Depolama alanlarının uzak olması ve lojistik maliyetlerinin yüksek olması durumunda bu maddeler yakılmaktadır. Cam ve metal türü yanıcı olmayan maddelerin ayrıştırılması enerji üretiminde organik maddelerin ayrıştırılmasına etki ettiği için avantajlıdır. Kentsel atıkların dezavantajı ise yapılarının homojen olmaması ve genellikle % 30-50 mertebelerinde nem içermeleridir.

Evsel atıklardan enerji üretimi için aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

- Doğrudan yakma
- Anaerobik çürütme ile biyogazdan enerji üretimi
- Piroliz teknolojisiyle gaz üretimi

Doğrudan yakma ile termal enerji üretilir ve bu enerji elektrik enerjisine çevrilebilir. Biyogaz ve piroliz ile üretilmiş olan gazlar da elektrik enerjisi üretimi sağlanmaktadır [56].

3.1.7 Atık yönetimi hiyerarşisi

Çeşitli yollarla meydana gelen atıklar çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. İnsan ve çevre üzerinde sağlık açısından olumsuz etkileri engellemek için atıkların uygun şekilde toplanması, taşınması ve zararsız hale getirilmesi gerekmektedir. Atıkların taşınma, depolama ve bertaraf işlemleri maliyetli olduğu için atık yönetimi bir program çerçevesinde hiyerarşik düzene göre yapılmalıdır. Şekil 3.2'de Atık yönetimi hiyerarşisi gösterilmiştir [57].

Şekil 3.2: Atık yönetimi hiyerarşisi [57].

Önleme: İlk öncelik olarak ifade edilmiş olan önlemede, asıl hedef atık miktarlarının ve tehlike boyutunun azaltılmasıdır. Atıkların önlenmesi, doğal kaynaklarının israfının önlenmesinde, dünyanın korunmasında ve sürdürülebilir bir çevre için en etkin yöntemdir. Bu sebeplerden ötürü Çevre Kanununda da belirtildiği üzere atol yönetiminde en öncelikli aşama olarak tanımlanmaktadır.

Azaltma: Üretim yapan endüstriyel tesislerde teknolojilerin ve proseslerin kalitesi atık azaltmayla doğrudan ilintilidir. Üretim aşamalarında yapılacak yatırımlar ve iyileştirmelerle atık miktarları ve tehlike boyutları azaltılabilir. Üretim sürecinde ürünlerin ve ambalajların yeniden değerlendirilmesi, daha az atık üreten teknoloji ve sistemlerin seçilmesi metotlarıyla atık azaltımı gerçekleştirilebilir. Bu sayede daha verimli sistemlerin de kullanılmasının önü açılmaktadır.

Tekrar kullanım: Tekrar kullanma yöntemine örnek olarak kullanılmış olan cam şişelerin temizlenerek tekrar kullanılması örnek verilebilir. Buradaki temel hedef atığın farklı bir ürüne çevrilmeden tekrar faydalı olacak şekilde kullanımın sağlanmasıdır.

Geri dönüşüm: Doğal yaşamın geleceği ve canlı yaşamının önemi için geri dönüşüm sistemleri uygulanmaktadır. Geri dönüşüm, orijinal amaçlı ve enerji geri kazanımı dışındaki organik dönüşüm dahil diğer amaçlar için yapılmaktadır. Örnek olarak kullanılmış beyaz kağıtlardan gazete kağıdı dönüşümü verilebilir. Araştırmalara göre metal ve plastik ambalajların geri kazanılması için sarf edilen enerji, ilk üretim için sarf edilen enerjinin % 5'ine denk gelmektedir.

Enerji geri kazanımı: Enerji geri kazanımında fiziksel, termal ve biyolojik yöntemler uygulanmaktadır. Atıkların enerji geri kazanımı yöntemiyle fayda sağlamak çok önemli bir aşamadır. Bu metotlar sayesinde bertaraf edilecek atık miktarlarının azaltılması sağlanmaktadır. Enerji kazanıma örnek olarak organik atıkların anaerobik çürümesinden elde edilen biyogazın enerjiye dönüştürülmesi verilebilir.

Bertaraf: Atık yönetimi hiyerarşisinde son tercih olan metotta, atık tipine bağlı olarak belirlenen bertaraf yöntemi ile çevreye olumsuz etki etmeyecek şekilde bertarafının yapılması olarak tanımlanmaktadır. Düzenli depolama sahaları ve özel olarak tasarlanmış sistemlerle yakma işlemleri bertaraf için örnek olarak verilebilir [57].

3.2 Dünya'da Biyokütlenin Kullanımı

Biyokütlenin optimum ve geniş perspektifte kullanılmasına yönelik dünya üzerindeki en iyi örneklerden birisi Brezilya'dır. Brezilya'da 5 milyona yakın taşıt, 1989 yılından beridir benzin yerine yakıt olarak şeker kamışından üretilen saf biyoetanol ve benzin/etanol karışımı kullanmaktadır. Şeker üretiminde arda kalan artık posa enerji üretim kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Hindistan'da 1 milyonu aşkın biyogazdan enerji üretimi tesisi bulunmaktadır. Çin'de 5 milyondan fazla irili ufaklı biyogaz tesisi vardır, bu tesislerde aydınlanma ve yemek pişirmek için kullanılan biyogaz üretilmektedir. Ayrıca orta ve büyük ölçekli biyogaz tesislerinde elektrik enerjisi üretimi ve büyük işletmelerin enerji ihtiyaçları giderilmektedir. Çin'de yakıt tercihi de biyokütle kaynaklarından sağlanmaktadır. İsveç'te üretilen enerjinin %16'sı biyokütkeden sağlanmaktadır. Avusturya'da biyokütle kaynaklı enerji üretimi için kurulu güç 1200 MW mertebesindedir. Bu da ülkenin enerji üretiminin %13'üne tekabül etmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde elektrik enerjisi üretiminin %4'ü biyokütleden sağlanmakta olup, kurulu güç 9000 MW seviyesinin üzerindedir.

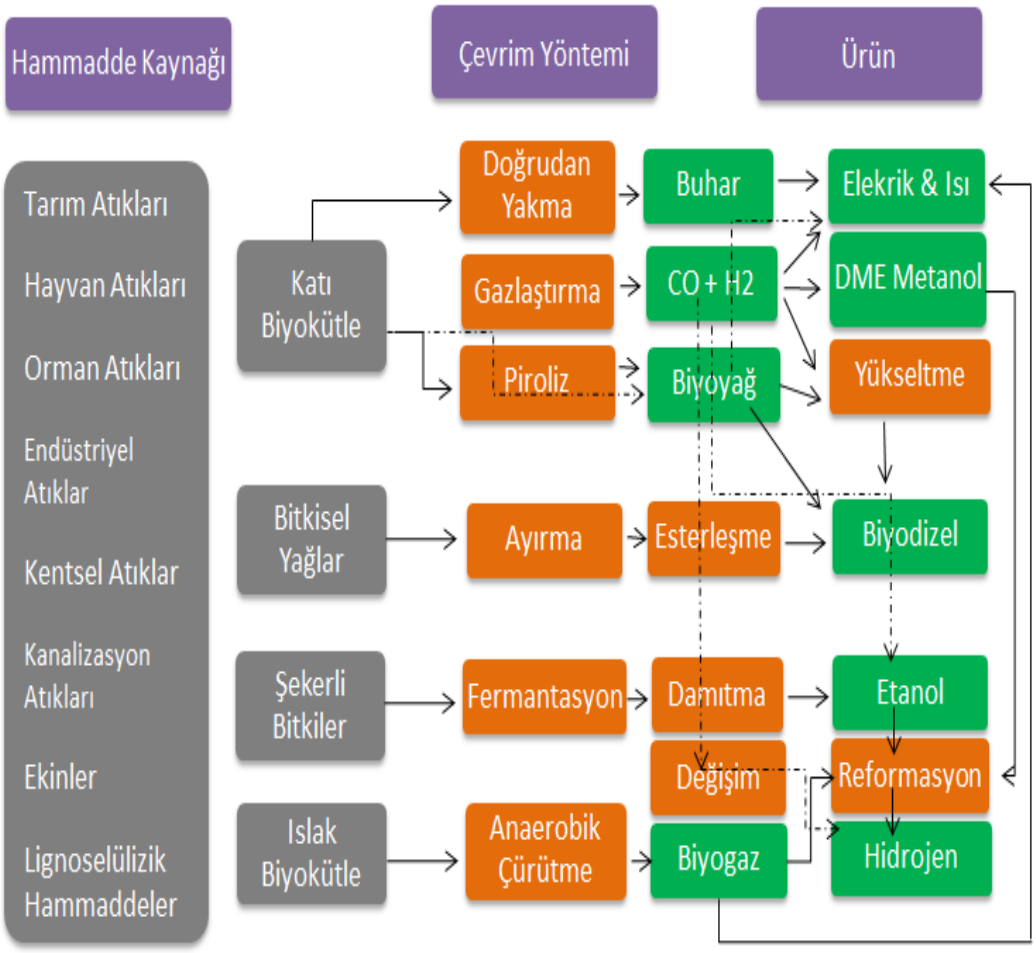
3.3 Türkiye'de Biyokütle Kullanımı

Türkiye'de klasik olarak tabir edilen odun ve tezeğin, enerji üretiminde önemli bir payı bulunmaktadır. Son dönemlerde ise hayvancılıktaki geri gidiş, ormanların azalması ile kömür ve doğalgaz gibi ithal ürünlerinin yaygınlaşması odun ve tezeğin oranını düşürmektedir. 2015 yılı itibariyle birincil enerji arzımızın % 2,3'ü biyokütle ve atıklar ile sağlanmıştır. Modern biyokütle enerjisinin yaygınlaşması ülke ekonomileri ve çevre kirliliği açısından değerlidir. Gelişmiş ülkeler enerji tarımı ile kendi koşullarına göre uyum göstermektedirler. Ülkemizde sahip olduğu potansiyeliyle, bu tarz koşulları barındırmaktadır. Türkiye'de enerji ormancılığına uygun ve ekonomik açıdan elverişli olan ağaç türleri, kızılağaç, meşe, fıstık çamı, karaçam, sedir, titrek kavak, kızılçam, dişbudak ve sedir örnek olarak verilebilir. Türkiye'deki iklim ve yetiştirme şartlarına uygun olabilecek ağaçlar türleri ise akoliptüs, pinus pinaster, acacia, eureamericana, cynophilla ve papulus olarak saymak mümkündür. Hem fazla su ihtiyacı olan ağaçlara hem de kurak alanlarda yetişecek ağaçlara önem vermek gerekmektedir. 1993 yılında modern biyokütle teknolojileri olarak tabir edilen enerji üretimine yönelik çalışmalar başlamıştır. İlaveten tatlı sorgum ve mischantus gibi enerji bitkileri üzerinde yapılan çalışmalar

da örnek olarak belirtilebilir. Biyokütle ve bunlardan elde edilen yakıtların kullanımıyla birlikte kükürt dioksit ve zararlı gazların azalması aşikardır, bu da hava kirliliğinden olumsuz etkilenen şehirler için oldukça önemlidir. 10.01.2008 tarihinde 00158 sayılı yazıyla birlikte Tarım ve Köy işleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü "Enerji Bitkileri Tarımı Araştırma Merkezi'ni" kurmuştur. Bu merkez ülke çapında araştırmalar ve temel projeleri yürütmekle görevlendirilmiş olup, 2010 yılına kadar da alt yapısal konular tamamlanmış olup faaliyete geçmiştir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) uzun seneler sonunda yapmış olduğu çalışmalar neticesinde Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyeline yönelik "Türkiye'nin Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası" nı hazırlamıştır [58].

3.4 Biyokütleden Enerji Üretimi

Şekil 3.3'te biyotkütleden enerji üretiminde alternatif yöntemler özet olarak gösterilmektedir [59].



Şekil 3.3: Biyotkütleden enerji üretiminde alternatif yöntemler [59].

3.5 Biyokütleden Enerji Üreten Sistemler

Pelet üretimi ahşap atıkları veya benzeri biyokütle en kolay şekilde biyoenerji kaynağı oluşturmanın yöntemidir. Türkiye'de pelet üretimi yapan işletme sayısı oldukça azdır fakat Avrupa'da her geçen gün pelet üretiminde ciddi atılımlar yapılmaktadır. Orman ve tarımsal atıkların yapılarından ötürü enerji üretimi yakma, piroliz ve gazlaştırma olarak üç yöntemle yapılabilmektedir. Termal yöntemler vasıtasıyla yapılan üç yöntemde de atıklar kontrollü şekilde ısıl işleme tabii tutulur ve yakıt elde edilir. Oldukça eski olan geleneksel yakma işlemi hava kirliliği probleminden ve düşük enerji veriminden ötürü pek tercih edilmemektedir. Pirolizde ise atıkların termal degredasyonu havasız ortamda gerçekleştirilir ve ürün olarak kok, piroliz petrolü ve sentez gazı elde edilir. Gazlaştırma işleminde ise hidrokarbonların parçalanarak sentez gazı oluşumu sağlanır ve bu oluşum için ortamdaki oksijenin iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. Piroliz aynı zamanda gazlaştırmanın ilk aşamasıdır ve gazlaştırma sonucu elde edilen sentez gazı enerji üretiminde kullanılabilir. Bir biyokütle enerji sisteminin ilk kurulum maliyeti, yakıt besleme ve depolama sistemleri nedeniyle fosil yakıtlı bir sistemden %50 daha fazla olmaktadır. Günümüzde ülkemizde üretimi yapılabilen akışkan yataklı 10 MWe net elektrik üretimi yapabilen ve ilave ısı üretebilen buhar türbinli bir biyokütle enerji üretim tesisi 15 milyon USD fiyatına inşa edilebilmektedir. Ayrıca bu tesisin fazla buhar üretiminden Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile ilave elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Benzer kapasitede bir tesis gazlaştırma teknolojisi ile de daha yüksek verimle inşa edilebilmektedir. Odunsu biyokütleyi etkili bir şekilde yakan mevcut ve yeni teknolojilerle, odun yakma, odun gazlaştırma, kojenerasyon ve kullanılan yakıta bağlı olarak ortak yakma şeklinde değişik yakma biçimleri uygulanabilir.

4. HUKUKSAL ANALİZ

Atıkların bertaraf edilmesi ve enerji geri kazanımı sistemlerinin tabi olduğu kanunlar ve yönetmeliklerin yatırım kararı alınırken iyi değerlendirilip etüt edilmesi gerekir. Bu kanun ve yönetmelikler çerçevesince tesisler için gerekli olan belgelerin alınması ve tamamlanması gerek çevresel zorunluluklardan gerekse de tesisin kabul görebilmesi için elzemdir. Bu bağlamda biyoenerji tesisleri için gerekli olacak belgeler arasında bulunduğu bölgeyi doğrudan etkileyecek olan çevresel etki değerlendirme raporu, atıkların bertarafı için lisans ve elektrik üretim lisansı alınması gereklidir.

17 Temmuz 2008 tarihinde Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından resmi gazetede yayımlanan 26939 sayılı Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliği EK-I Listesinde Çevresel Etki Değerlendirmesi uygulanacak projeler listesinde "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" maddesi yer almaktadır. Buna göre atıklardan enerji geri kazanımı tesisleri için ÇED raporu alma zorunluluğu belirtilmiştir.

6 Ekim 2010 tarihinde Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından resmi gazetede yayımlanan 27721 sayılı Atıkların Yakılmasın İlişkin Yönetmelikte ise yakma tesisinin tanımı şu şekilde yapılmıştır.

"Yakma tesisi: Atık kabul birimi, geçici depolama birimi, ön işlem birimi, atık besleme ve hava besleme sistemleri, kazan, baca gazı arıtım sistemleri, yakma sonucu oluşan kalıntıların düzenli depolanması ve atık suların arıtılması için tesis içinde yer alan birimler, baca, yakma işlemlerini kontrol etmek ve yakma şartlarını izlemek ve kaydetmek için kullanılan ölçüm cihazları ve sistemler de dahil olmak üzere tesiste yer alan bütün birimleri kapsayan, ortaya çıkan yanma ısısını geri kazanabilen veya kazanamayan, atıkların oksitlenme yoluyla yakılması, piroliz, gazlaştırma veya plazma işlemleri gibi diğer termal bertaraf

işlemleri de dahil olmak üzere termal yolla bertarafına yönelik her türlü sistemi, ifade eder". Buna göre madde 6'da yer seçimi izni için "Yakma tesisi kurmak isteyen özel ve tüzel kişiler; yakma tesisi kurmak üzere seçtikleri yer için meri mevzuat çerçevesinde, Mahalli Çevre Kurulu kararı ve Bakanlığın uygun görüşü ile mahallin en büyük mülki idare amirinden izin almak ve imar planına işletmek zorundadır" ibaresi belirtilmiştir. İzne tabi tutulan bu tesislerde buna ilaveten madde 7'de lisans almaya ilişkin hükümler şu şekilde belirtilmiştir; "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."

10 Ekim 2015 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından resmi gazetede yayımlanan Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile fermente ürün yönetimi tebliğinde "Biyometanizasyon tesisinde oluşan biyogaz toplanıp doğrudan veya işlenerek enerji ve/veya yakıt üretiminde kullanılır. Elde edilen biyogazın kullanılmaması halinde biyogaz, sera gazı etkisini azaltacak şekilde uygun kapasiteli meşalelerde yakılır, serbest olarak atmosfere verilemez." ifadesi yer almaktadır. Ayrıca tesiste hayvansal atıkların bulunması durumunda "bu atıkların 55 ^{o}C'de 15 gün veya 60 ^{o}C'de 7 gün veya 65 ^{o}C'de 5 gün veya 70 ^{o}C'de 1 saat işlem göreceği hijyenizasyon ünitesi" nin yer alması zorunlu kılınmıştır. Ayrıca biyometanizasyon tesislerinde fermente olarak elde edilen yan ürünlerin piyasaya arz durumu ve kullanılması ile ilgili Madde 5 e ve f bendlerinde ilgili eklerle birlikte mevzuat hükümleri belirtilmiştir [62].

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPYK) tarafından 2 Kasım 2013 tarihinde resmi gazetede yayımlanan 28809 sayılı Elektrik Piyasaları Lisans Yönetmeliği gereğince elektrik üretimi yapacak tesisler için önlisans ve lisans almaları için yükümlülük getirilmiştir.

Yönetmeliğe göre önlisansın tanımı "Üretim faaliyetinde bulunmak isteyen tüzel kişilere, üretim tesisi yatırımlarına başlamaları için gerekli onay, izin, ruhsat ve

benzerlerinin alınabilmesi için belirli süreli verilen izin" olarak yapılmıştır. Önlisansını alan işletme lisansa geçiş yaparken önlisans süresine belirtilen kriterlerde uymak zorundadır. Buna göre "Önlisansın süresi mücbir sebep hâlleri hariç yirmi dört ayı geçemez. Önlisans verilirken, başvurunun kaynak türüne ve kurulu gücüne bağlı olarak, bu sürenin otuz altı aya kadar uzatılmasına ilişkin hususlar, Kurul kararı ile düzenlenir." Ve önlisans sahibinin hak ve yükümlülükleri Madde 28'de şu şekilde belirtilmiştir;

MADDE 28 – (1) Önlisans, sahibine lisansına konu üretim tesisi yatırımına başlamak için mevzuattan kaynaklanan izin, onay, ruhsat ve benzeri belgeleri edinebilmek ve üretim tesisinin kurulacağı sahanın mülkiyet veya kullanım hakkını elde edebilmek için ilgili kurum ve kuruluşlar nezdinde girişimde bulunma hakkını verir.

(2) Önlisans sahibi, ilgili mevzuatta sayılanların yanısıra;

a) Kurumun faaliyetlerini yerine getirebilmesi için ihtiyaç duyacağı her türlü bilgi ve belgeyi istenilen zamanda Kuruma vermek,

b) Lisans alıncaya kadar veraset ve iflas nedenleriyle bu Yönetmelikte belirtilen istisnalar dışında ortaklık yapısında doğrudan veya dolaylı olarak herhangi bir değişiklik yapmamak, paylarını devretmemek, payların devredilmesi veya payların devri sonucunu doğuracak iş ve işlemleri yapmamak,

ile yükümlüdür.

Lisans süresi ise "faaliyetin niteliği dikkate alınarak en az on, en çok kırk dokuz yıl için verilir. Ancak, Kanunun geçici 12nci maddesi kapsamında verilen üretim lisansının süresi, ilgili mevcut sözleşmenin süresi ile sınırlıdır." Üretim lisansı sahibinin hak ve yükümlülükleri ise Madde 30'da şu şekilde belirtilmiştir:

MADDE 30 – (1) Üretim lisansı, sahibine;

a) Lisansında belirtilen üretim tesisini kurma ve işletme,

b) Üretim tesisinde ürettiği elektrik enerjisini veya kapasitesini;

1) Tedarik şirketlerine,

2) Serbest tüketicilere,

3) Özel direkt hat tesis ettiği kişilere satma,

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

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

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

e) 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,

f) Satış olarak değerlendirilmemek üzere, tesislerinde ürettiği enerjiyi iletim veya dağıtım sistemine çıkmadan kullanmak kaydıyla sahip olduğu, kiraladığı, finansal kiralama yoluyla edindiği veya işletme hakkını devraldığı tüketim tesislerinin ihtiyacı için kullanma hakkını verir.

8 Ocak 2011 tarihinde resmi gazetede yayımlanan 27809 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Kanunda: " 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 kaynakları" olarak tanımlanmıştır.

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," olarak çöpgazı ise "Çöp dâhil diğer atıklardan enerji elde edilmesi amacıyla üretilen gazı" olarak ifade edilmiştir. Bu tanıma uyan enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapan tesislerin YEKDEM'e tabi olduğu belirtilmiştir ve YEK Destekleme Mekanizması: "Bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösterenlerin faydalanabileceği fiyat, süreler ve bunlara yapılacak ödemelere ilişkin usul ve esasları içeren destekleme mekanizması" şeklinde tanımlanmıştır.

YEK Destekleme Mekanizmasının kapsamı ve sınırları Madde 6'da "Bu Kanunun yürürlüğe girdiği 18/5/2005 tarihinden 31/12/2015 tarihine kadar işletmeye girmiş veya girecek YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim lisansı sahipleri için, bu

Kanuna ekli I sayılı Cetvelde yer alan fiyatlar, on yıl süre ile uygulanır. Ancak, arz güvenliği başta olmak üzere diğer gelişmeler doğrultusunda 31/12/2015 tarihinden sonra işletmeye girecek olan YEK Belgeli üretim tesisleri için bu Kanuna göre uygulanacak miktar, fiyat ve süreler ile kaynaklar Cetveldeki fiyatları geçmemek üzere, Bakanlar Kurulu tarafından belirlenir. YEK Destekleme Mekanizmasına bir sonraki takvim yılında tabi olmak isteyenler YEK Belgesi almak ve 31 Ekim tarihine kadar

EPDK'ya başvurmak zorundadır. YEK Destekleme Mekanizmasında öngörülen süreler; tesislerden işletmedekiler için işletmeye girdiği tarihten, henüz işletmeye girmemiş olanlar için işletmeye girecekleri tarihten itibaren başlar. YEK Destekleme Mekanizmasına tabi olanlar, uygulamaya dâhil oldukları yıl içerisinde uygulamanın dışına çıkamaz. Tesislerin işletme giriş tarihleri, yıllık elektrik enerjisi üretim kapasiteleri ve yıllık üretim bilgilerini içeren YEK listesi elektrik enerjisinin üretildiği kaynaklara göre ayrılmış olarak EPDK tarafından her yıl 30 Kasım tarihine kadar yayımlanır.

PMUM, her fatura dönemi için YEK toplam bedelini ilan eder ve her bir tedarikçinin ödeme yükümlülüğü oranını belirler. Ödeme yükümlülüğü oranının belirlenmesi sırasında, bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilerek YEK Destekleme Mekanizmasına tabi olmaksızın serbest piyasada satışı yapılan elektrik enerjisi miktarı bu Kanun kapsamındaki hesaplamalara dâhil edilmez. Tüketicilere elektrik enerjisi sağlayan her bir tedarikçinin ödemekle yükümlü olduğu tutar belirlenerek ilgili tedarikçiye fatura edilir ve yapılan tahsilat YEK Destekleme Mekanizmasına tabi tüzel kişilere payları oranında ödenir. Bu fıkra kapsamındaki PMUM dâhil uygulamalara ilişkin usul ve esaslar, EPDK tarafından çıkarılacak yönetmelikte düzenlenir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten tesislerin lisanslarına derç edilecek yıllık üretim miktarı, bu tesislerin kaynağına göre mevcut kurulu gücü ile üretebileceği yıllık azami üretim miktarıdır. Bu maddenin yürürlüğe girdiği tarihte mevcut olan lisanslar da ilgililerin müracaatı ile üç ay içinde bu doğrultuda tadil edilir. Bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten ve bu madde hükmüne tabi olmak istemeyen tüzel kişiler, lisansları kapsamında serbest piyasada satış yapabilirler." çizilmiştir. Kanuna ekli I sayılı cetveldeki Çizelge 4.1'de aşağıda gösterildiği gibidir [60].

Çizelge 4.1: Tesis tipine göre alım fiyatları [60].

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

24 Haziran 2016 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından resmi gazetede 29752 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Yerli Aksamın Desteklenmesi Hakkında Yönetmelik yayımlanmıştır. Bu yönetmelikte yerel aksam desteklerinden faydalanmak isteyen işletmeler için başvuru sürecinin yol haritası çizilmiştir. Ayrıca yönetmelik Ek-1 E bendinde Biyokütle Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinde kullanılan "yurt içinde imal edilen aksam ve bütünleştirici parçalar listesi"ne ait alt tanımlamalar, alt kırılımlar ve oranlar detaylandırılmıştır.

Çizelge 4.2: Üretim tesisleri bilgileri [61].

Ekipman	Açıklama	Yüzdelik Dilim (%)
1-Akışkan Yataklı Buhar Kazanı	Akışkan yataklı biyokütle yakma teknolojilerinin kullanıldığı buhar üretim sistemi	
	1.1 Hammadde hazırlama ünitesi	15
	1.2 Yanma reaktörü	35
	1.3 Buhar Kazanı	25
	1.4 Gaz temizleme sistemi	25
2-Sıvı veya Gaz Yakıtlı Buhar Kazanı	Sıvı veya gaz formundaki biyoyakıtların yanma ısısının kullanılması sonucu buhar üreten ünite ve bileşenleri	
	2.1 Buhar kazanı	40
	2.2 Brulör	35

Çizelge 4.2 (devam): Üretim tesisleri bilgileri [61].

Ekipman	Açıklama	Yüzdelik Dilim (%)
	2.3 Pompa	20
	2.4 Isı ve kazan kontrol paneli	5
3- Gazlaştırma ve Gaz Temizleme Grubu	**3.1 Gazlaştırma grubu (Sentetik gaz için):** Biyokütle kaynaklarına sınırlı miktarda oksijen, hava, hava-su buharı karışımı veya zenginleştirilmiş oksijen içerikli hava verilerek yanabilen gaz bileşimlerinin elde edildiği ünite ve bileşenleri	
	Gaz temizleme grubu (Sentetik gaz için): Gazlaştırma grubunda üretilen yanabilen gaz bileşiminin içerisindeki kirleticilerin fiziksel, kimyasal veya termal işlemlerle bertaraf edilerek gaz yakma ünitesi için kullanılabilir hale getiren ünite ve bileşenleri (üretilen ısı buhar veya gaz türbinlerinde kullanılır)	
	3.11 Hammadde hazırlama ünitesi	20
	3.12 Gazlaştırma reaktörü	35
	3.13 Gaz temizleme ünitesi	20
	3.14 Gaz yakma ünitesi	25
	3.2 Gazlaştırma Grubu (Biyogaz için): Biyokütlenin oksijensiz ortamda doğal bakteriler tarafından çürütülerek biyogazın elde edildiği ünite bileşenleri	
	Gaz Temizleme Grubu (Biyogaz için): Oksijensiz çürütme grubunda üretilen yanabilen gaz bileşiminin içerisindeki kirleticilerin fiziksel, kimyasal veya termal işlemlerle bertaraf edilerek içten yanmalı gaz motoru veya biyogaz yakıtlı kazan (buhar veya gaz türbini için) için kullanılabilir hale getiren ünite ve bileşenleri	
	3.21 Hammadde hazırlama ünitesi	10
	3.22 Çürütme ünitesi	40
	3.23 Gaz biriktirme ünitesi	25
	3.24 Gaz temizleme ünitesi	25

Çizelge 4.2 (devam): Üretim tesisleri bilgileri [61].

Ekipman	Açıklama	Yüzdelik Dilim (%)
4- Buhar veya Gaz Türbini	Biyokütle gazlaştırma grubunda üretilen temizlenmiş gaz bileşiminin yakılmasından veya akışkan yataklı biyokütle yakma tesislerinden veya katı, sıvı, gaz biyoyakıtlı kazanlardan elde edilen ısı enerjisi ile elektrik üreten türbinler	
	4.1 Buhar türbini	
	4.11. Türbin	
	4.12. Yağlama sistemi	15
	4.13. Hız kontrol sistemi	15
	4.14. Yoğuşma Sistemi	15
	4.2 Gaz türbini	
	4.11. Türbin	55
	4.25. Yağlama sistemi	15
	4.26. Hız kontrol sistemi	15
	4.27. Egzoz sistemi	15
5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	**5.1 İçten yanmalı motor**: Biyokütle kaynağından üretilen gaz ile çalışabilen motor	
	5.11. Motor	55
	5.12. Yakıt sistemi	15
	5.13. Egzoz sistemi	15
	5.14. Soğutma Sistemi	15
	5.2 Stirling motoru: Yalıtılmış bir silindir içerisinde bulunan bir miktar çalışma gazının biyokütle kaynağından üretilen gaz ile ısıtılması, ısınan gazların genleşmesi ve soğutulması yöntemine göre elektrik üreten ısı motoru	
	5.21 Motor	55
	5.22. Alternatör	25
	5.23. Soğutma ünitesi	20

Çizelge 4.2 (devam): Üretim tesisleri bilgileri [61].

Ekipman	Açıklama	Yüzdelik Dilim (%)
6- Jeneratör ve Güç Elektroniği	**Jeneratör:** Türbin milinden veya gaz motorundan alınan mekanik enerjiyi stator ve rotor ekipmanları yardımıyla elektrik enerjisine dönüştüren donanım.	70
	Güç elektroniği: Jeneratörlerden üretilen elektrik enerjisinin; izlenmesi, kontrol edilmesi ve bağlantı noktasının elektriksel karakteristikleri ile uyumlu hale getirilmesinde kullanılan yazılım ve donanım.	30
7- Kojenerasyon Sistemi	Isı, elektrik ve/veya mekanik enerjiyi eş zamanlı olarak aynı ünitede üreten sistem	
	7.1 Atık ısı geri kazanımı sistemi	35
	7.2 Otomasyon sistemi	35
	7.3 Kompansatör ekipmanları	30

5. MÜHENDİSLİK ANALİZİ

Konya ilinde belirlenen bölgeye ait atık miktarları farklı teknolojik enerji dönüşüm sistemleri uygulamalarıyla incelenmiştir. Bu incelemede aynı atıklar kullanarak hangi teknolojinin daha uygun olabileceği ekonomik analizlerle senaryolar şeklinde sunulmuştur. Senaryo yorumları, İTÜ İşletme Fakültesi'nde biyokütle enerji tesisi yeri seçimi adlı AHP yöntemiyle yapılan anket çalışmasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu yönteme göre sektör çalışanları ve akademisyenlere sunulan anket sonucunda tesis için seçilecek bölgede ana ve alt ölçütler değerlendirilmeye alınmıştır. Çizelge 5.1'de AHP ile ilgili tanımlar verilmiştir[63].

Çizelge 5.1: AHP önem değerleri ve değer tanımları [63].

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki ölçütün eşit öneme sahip olması durumu
3	1. ölçütün 2. ölçütten daha önemli olması durumu
5	1. ölçütün 2. ölçütten çok önemli olması durumu
7	1. ölçütün 2. ölçüte görece çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. ölçütün 2. ölçüte görece mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Yukarıda belirtilen sayısal değerler ana ve alt kriterler arasında ikişerli olarak değerlendirilmeye tutularak önem sırasına göre puanlama yapılarak değerlendirme için kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmelerin % 10 tutarlılık oranının altında olması dikkate alınmıştır. Buna göre ilk aşamada ekonomik ölçütler, sosyal ölçütler, çevresel ölçütler, güvenlik ile ilgili ölçütler ve yasal ölçütler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ana kriter ağırlıkları Çizelge 5.2'de belirtilmiştir. Bu sonuçlara göre ekonomik ölçütler % 30 ile en önemli kriter olmuştur [63].

Çizelge 5.2: Ana kriterlerin ağırlık oranı [63].

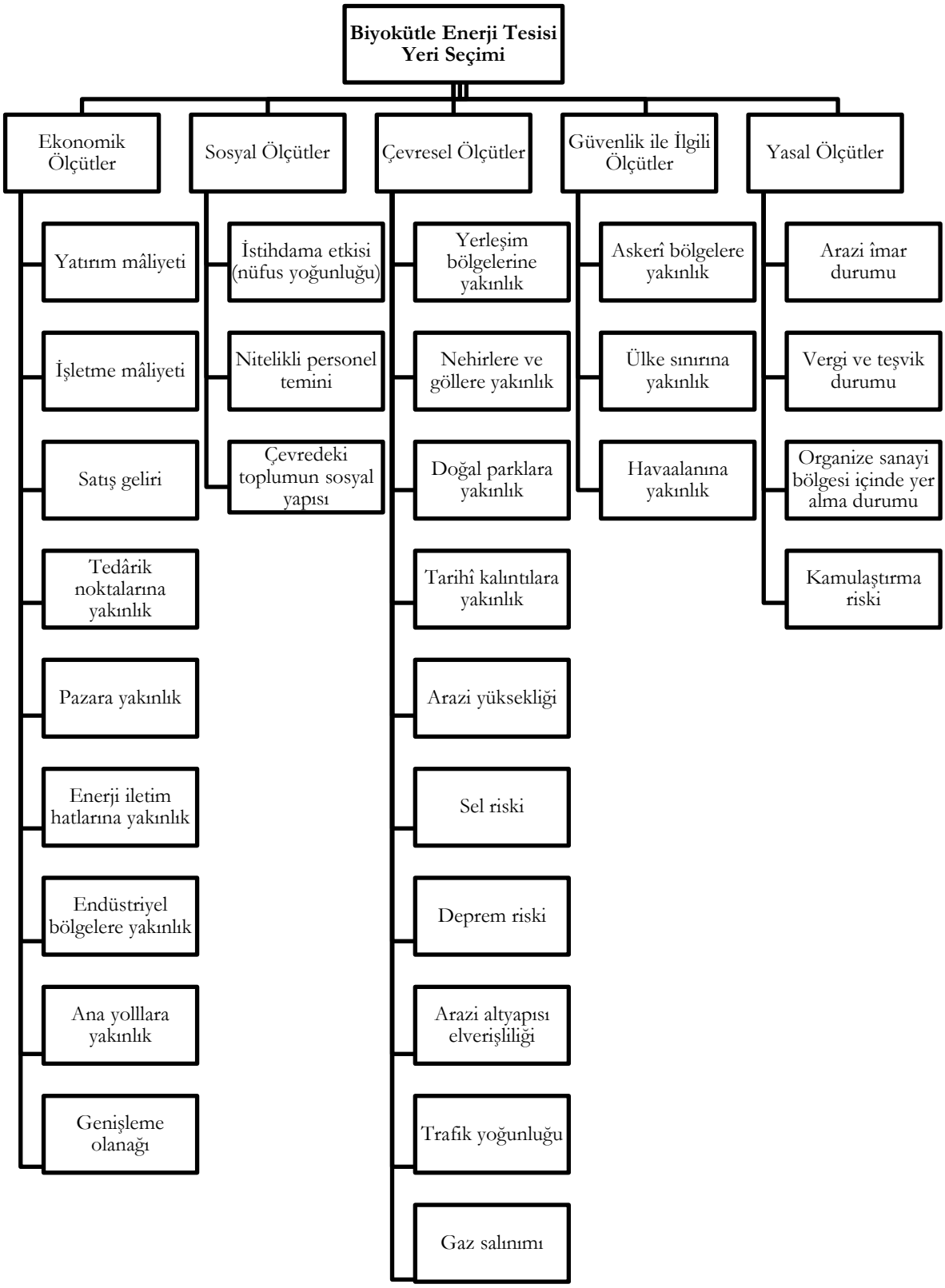
Ana Kriterler	Ağırlığı
Ekonomik Ölçütler	0,302
Güvenlik ile İlgili Ölçütler	0,201
Sosyal Ölçütler	0,063
Yasal Ölçütler	0,222
Çevresel Ölçütler	0,212

Ekonomik ölçütlerin kendi içerisindeki ağırlıkları ise Çizelge 5.3'te verilmiştir [63]. Buna göre satış geliri % 22'lik ağırlık oranıyla en önemli ekonomik kriter karşımıza çıkmıştır. Tedarik noktalarına yakınlık ise %16 ile ikinci sırada yer almaktadır ve tesislerin sürdürülebilirliği açısından çok büyük önem arz etmektedir. Bu tarz tesislerin ana gider kalemi olan işletme maliyetleri ise %15 ile üçüncü sırada yer almaktadır.

Birden çok kriterin aynı anda değerlendirilmesini zorunlu kılan karar verme durumu için yapılmış olan ankette, biyokütle esaslı enerji tesislerinin kurulumunda ve işletilmesinde karar vericilerin değerlendirmesi gereken ana ve alt kriterler Şekil 5.1'te verilmiştir [63].

Çizelge 5.3: Ekonomik ölçütlerin ağırlık oranı [63].

Ekonomik Ölçütler	Ağırlığı
Ana yollara yakınlık	0,052
Endüstriyel bölgelere yakınlık	0,035
Enerji iletim hatlarına yakınlık	0,089
Genişleme olanağı	0,063
İşletme maliyeti	0,151
Pazara yakınlık	0,084
Satış geliri	0,220
Tedarik noktalarına yakınlık	0,164
Yatırım maliyeti	0,142



Şekil 5.1: Biyokütle enerji tesisi yeri seçimi kriterleri ve alt kriterleri [63].

Anket sonucuna göre biyokütle esaslı enerji dönüşüm sistemlerinin kurulması, işletilmesi ve varlıklarını sürdürebilmesi için ekonomik ölçütler ilk sırada değerlendirilmesi gereken kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Ekonomik ölçütler kadar önemli bir diğer ana kriter ise yasal ölçütlerdir.

Yasal düzenlemeler hukuksal analiz kısmında belirtildiği üzere ilgili dönüşüm sisteminin çevre duyarlılığını ön planda tutacak şekilde, yayımlanan kanunlar ve yönetmeliklere uygun, eksiksiz şekilde sağlanmalıdır. Bununla beraber yer seçimi de gerek sosyal hayata etkisi açısından gerekse de arazinin tesise uygunluğu ve hammadde sürekliliği açısından büyük önem arz etmektedir.

Ekonomik ölçütler arasında hem kurulum hem de tesislerin sürekliliğinin sağlanabilmesi için alt kriterlerin iyi şekilde analiz edilmesi gerekir. Yapılan çalışma sonucunda tesislerin ekonomik ömürleri için vazgeçilmez olan satış gelirleri ilk sırada yer almaktadır.

Satış gelirleri hesabında, yerel ekipmanların ekstra teşviklerinin de değerlendirildiği yenilenebilir enerji destekleme mekanizmasının belirlediği tarifeden faydalanılmıştır. Geçici kabulü takiben ilk 5 yıllık süreç içerisinde geçerli olan yerli teşvikler ikinci 5 yıllık süreç içerisinde toplam getirilere etki etmektedir. 2. 5 yıllık süreç içerisinde Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizmasının 10 yıllık alım garantisinde belirtilen getiriler üzerinden hesaplama yapılıştır. 10 yıllık sürenin bitmesinden sonra henüz belirlenmiş destekleme sisteminin olmamasından günümüz elektrik enerjisi satış fiyatının enflasyona göre artışının yıllara göre oluşturacağı öngörü üzerine formülasyon üzerinden değerler elde edilerek yapılmıştır.

İşletme dönemindeki giderlerin hesap edildiği ikinci ve üçüncü önemli sırada alt ekonomik ölçüt olarak karşımıza çıkan işletme maliyeti ve tedarik noktalarına yakınlıkta ise, lojistik maliyetleri ve tesislerde kurulması gereken ana ekipmanların servis ve bakım maliyetleri hesaplamaları yapılmıştır.

Mühendislik analizi finansal uygunluk hesaplamalarında, kurulum maliyetleri, gelir ve gider hesaplamaları detaylı olarak incelenmiştir. Alternatif senaryolar halinde farklı dönüşüm sistemlerinin finansal uygunlukları hesaplamalarında, aynı atık miktarları ve atık türleri esas alınarak yapılan teknik analizlerde TÜİK, Orman Genel Müdürlüğü ve BEPA'dan elde edilen veriler kullanılmıştır. Tesislerde kullanılan atıklara ait bilgiler Çizelge 5.4'te verilmiştir [64].

Çizelge 5.4: Atık bilgileri [64].

Atık Tipi	Popülasyon	Hayvan başına atık üretimi, ton/hayvan.gün	Üretim ton/gün	Üretim ton/yıl	Sistemde Kullanılacak Ürün ton/gün	Kaynak	Kuru madde, %	Organik Madde, %	Metan Üretimi, m^3CH_4/ton Org. Madde	Metan miktarı, %	Alt Isıl Değer, LHV (MJ/kg)	Üst Isıl Değer, HHV (MJ/kg)
Büyükbaş Dışkısı	752221	0,028	21062,2	7582387,7	2106,2	TÜİK	0,25	0,80	450,00	55,00	19,71	21,23
Küçükbaş Dışkısı	2086906	0,0020	4173,8	1502572,3	417,4	TÜİK	0,30	0,80	450,00	55,00	18,85	20,25
Kanatlı Dışkısı	11995381	0,0001	1199,5	431833,7	120,0	TÜİK	0,14	0,78	500,00	60,00	18,34	19,64
Mısır Sılajı	-	-	4078,1	1468100,0	407,8	TÜİK	0,20	0,85	170,00	50,00	18,00	19,27
Şeker Pancarı	-	-	15594,7	5614078,0	1559,5	TÜİK	0,23	0,90	170,00	53,00	17,44	18,59
Arpa	-	-	2247,9	809258,0	224,8	TÜİK	0,20	0,94	606,47	58,70	18,19	19,51
Buğday	-	-	5681,4	2045298,0	568,1	TÜİK	0,86	0,92	369,20	52,75	27,84	28,44
Ayçiçeği	-	-	589,8	212312,0	59,0	TÜİK	0,88	0,97	699,40	63,50	18,30	19,56
Yonca	-	-	3133,7	1128138,0	313,4	TÜİK	0,35	0,88	459,80	54,80	19,33	20,71
Sorgum	-	-	3,4	1220,0	0,3	TÜİK	0,25	0,91	601,71	58,50	18,17	19,43
Kolza	-	-	5,9	2116,0	0,6	TÜİK	0,88	0,96	766,90	65,70	23,98	25,58

Çizelge 5.4 (devam): Atık bilgileri [64].

Atık Tipi	Popülasyon	Hayvan başına atık üretimi, ton/hayvan.gün	Üretim ton/gün	Üretim ton/yıl	Sistemde Kullanılacak Ürün ton/gün	Kaynak	Kuru madde, %	Organik Madde, %	Metan Üretimi, m^3CH_4/ton Org. Madde	Metan miktarı, %	Alt Isıl Değer, LHV (MJ/kg)	Üst Isıl Değer, HHV (MJ/kg)
Orman Atıkları	-	-	111,1	40000,0	11,1	OGM ve BEPA					19,10	20,49
Evsel Katı Atık	2161303,00	0,0005	1080,7	389034,5	108,1	TÜİK	0,15	0,90	1300,00	60,00	18,66	19,87
TOPLAM			**60489,6**	**21776257,3**	**6049,0**							

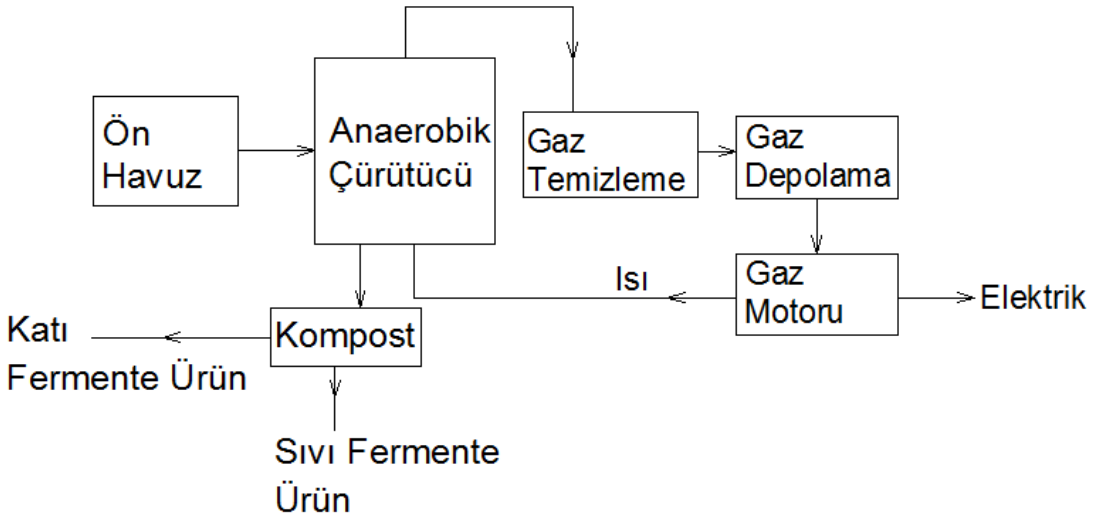
5.1 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo A: Biyogaz ile Enerji Üretimi

İlk senaryoda TÜİK'ten alınan veriler ışığında büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan popülasyonları ve bölgede yetiştirilen tarımsal ürünlerden arda kalan atıklar ve evsel atıkların miktarları gün ve yıl bazında belirlenmiştir. Sistemde kullanılacak ürün miktarları seçili bölge özelinde belirlenmiştir. Günlük elde edilen hammadde üzerinden her atığın kendi kuru madde miktarı oranı üzerinden günlük sistemde kullanılacak kuru madde miktarı belirlenmiştir. Kuru maddelerin içerisinde de her atığın kendi fraksiyonu içerisinde organik kuru madde miktarları elde edilmiştir. Her atığın kendi biyogaz metan potansiyelleri göz önüne alınarak günlük ve saatlik olarak metan üretim miktarları hesaplanmıştır. Biyogazın içerisindeki metan oranlarına paralel olarak hangi atıktan ne kadar biyogaz üretileceği hesaplanmıştır. Metanın enerji değeri 9,4 kWh/m^3 olarak kabul edilmiştir [65]. Çürütücüler içerisinde toplam üretilecek enerji miktarı belirlenmiştir. Belirlenen toplam enerji miktarı ile içten yanmalı biyogaz ile çalışan gaz motorunun elektriksel verimi üzerinden elektrik enerjisi hesabı yapılmıştır. Bu hesaba göre sistemin toplam kurulu gücü hesap edilmiştir.

- **Biyogaz tesisi çalışma prensibi ve teknolojisi**

Taşıma yoluyla gelen atıklar ön havuzda biriktirilir. Ön havuza dolumu yapılan atıklar, belirli boyutlara parçalandıktan sonra oksijen barındırmayan çürütücülere aktarılır. Anaerobik çürütücülerin içerisinde bulunan karıştırıcıların vasıtasıyla biyogaz elde edilir. Anaerobik çürüme, oksijen barındırmayan ortam şartlarında oluşan bakterilerin katı ve sıvı atıkların parçalanması sonucunda gerçekleşen biyolojik bir süreçtir. Çürütücü içerisindeki malzemenin içeriği, çürüme sistemine ve tutulma süresine bağlıdır. Çürütücü sonrası oluşan gübrenin kokusu azaltılmaktadır ve hava kalitesini artmaktadır. Tarım için elverişli olan bir form elde edilir. Biyogaz üretimi esnasında oluşan gübrenin toprakta uygulanması sonucunda ekinlerde verim artışı gözlemlenmektedir. Pancarda % 25 mertebelerinde olan bu oran buğdayda ise % 16 mertebelerindedir. Yaklaşık olarak tarımda % 20'lik bir verim artışı ortaya çıkmaktadır. Çevreye olumlu katkı olarak CH_4 ve CO_2 gibi sera gazı emisyonlarının atmosfere salınımı azaltılır. Hayvansal atıkların yüzey ve yeraltı sularına karışacak patojenler bu yöntem sayesinde azaltılmış olur ve su kalitesinin korunması sağlanmış olur.

Elde edilen biyogaz, gaz motorları vasıtasıyla elektrik enerjisine çevrilmektedir. Gaz motorunun ceket ısısı ve egzoz gazı atık ısısı termal enerji olarak değerlendirilebilmektedir. Burada elde edilen termal enerji çürütücülerin reaksiyon için ihtiyacı olan ısının sağlanmasında, gübre tesisinde ve tesisin idari binalarında ısınma amaçlı kullanılabilmektedir. Ayrıca bölgesel ısıtma amaçlı, ısı kaybının fazla olmadığı yakın çevrede ısıtma şebekelerine verilebilmektedir. Elde edilen biyogazın fazla gelmesi durumunda çürütücülerin üzerinde bulunan gaz tutucu olarak adlandırılan membran balonlar içerisinde depolanabilir ve güvenlik gereği yakma bacılarında fazla gaz yakılabilir. Ayrıca fazla gaz gerekli arıtma işlemleri yapıldıktan sonra istenen teknik değerler elde edildiğinde gaz hattı şebekesine verilebilir. Şekil 5.2'de biyogaz üretim prosesinin genel bir kesiti verilmiştir [66].



Şekil 5.2: Biyogaz tesisi şematik gösterimi [66].

5.2 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo B: Piroliz ile Enerji Üretimi

Piroliz ile enerji üretimi hesabında biyogaz ile enerji üretimi hesabından farklı olarak Orman Genel Müdürlüğü ve Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünün hazırlamış olduğu Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası'ndan istifade edilerek orman atıkları da sistemde kullanılabilecek toplam atık miktarları günlük ve yıllık olarak belirlenmiştir. Piroliz için kullanılabilecek ürün miktarı % 20 olarak alınmıştır [67]. Piroliz için kullanılacak toplam piroliz miktarı da bu şekilde hesaplanmıştır. Organik atıklar için enerji değeri 2,33 kWh/kg kabul edilmiştir. Organik atık verimi % 90 olarak alınmıştır [67]. Bu hesaplamaların sonucunda saatlik olarak atıklardan gelecek

enerji miktarı hesaplanmıştır. Bu sistemde de pirolizden elde edilen gaz içten yanmalı motorda kullanmıştır ve toplam sistemde üretilecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır.

- **Piroliz tesisi çalışma prensibi ve teknolojisi**

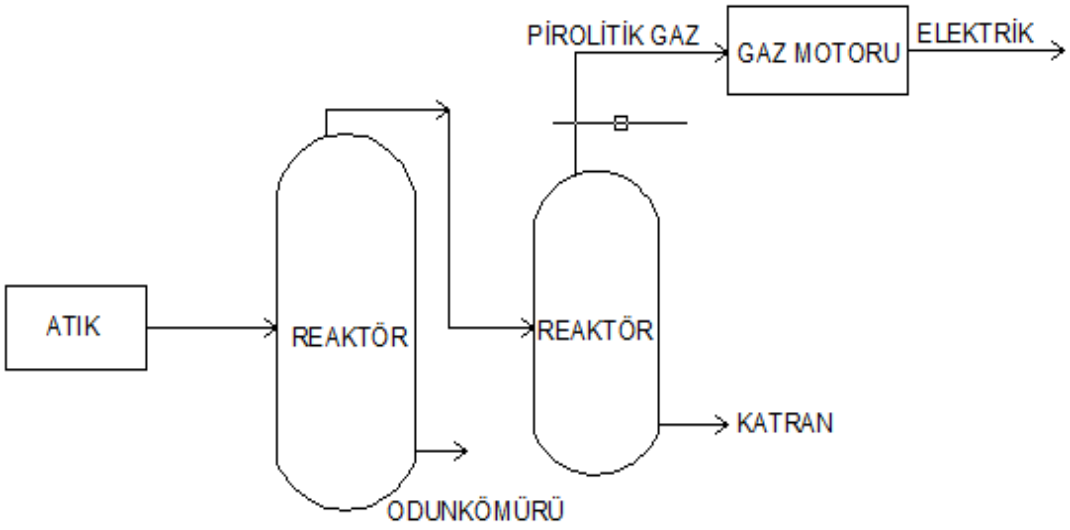
Organik atıklar boyutları 50 mm'in altına indirilmiş ve nem oranı % 25 seviyelerine indirilmiş şekilde vida yardımıyla piroliz reaktörünün malzeme girişindeki çiftli hava kilitlerine beslenirler. Hava kilitleri piroliz bozundurması için oksijenin girmesini engellerler. Reaktörün çıkışında bulunan kilitlerin görevi ise piroliz sonucunda elde edilen külleri dışarıya tahliye etmektir.

Organik atıklar reaktör boyunca vida vasıtasıyla taşınmaktadır. Bu süre hammaddelerin yapısına göre değişmektedir ve 60 – 75 dakika arası sürebilmektedir. Ortam sıcaklığı ise 500 ^{o}C - 750 ^{o}C arasında değişebilmektedir. Termal bozunmayla elde edilen gazlar vakumlu pompa vasıtasıyla dışarıya emilir ve arda kalan küller ise reaktörden tahliye edilir.

Pirolizden elde edilmiş gaz, venturi tipi gaz yıkama ünitesiyle içerisinde bulunan partiküllerinden arındırılır. Soğutma esnasında gazın içerisindeki nem yoğunlaştırılır ve gazın hacmi küçültülmüş olur. Soğutulmuş olan sıvı, soğutma kulesinde bulunan eşanjör vasıtasıyla sıvı seviyesi yükseldikçe dejarj edilmektedir. Gaz yıkama ünitesinden çıkan piroliz gazı, gaz kurutucusuna gönderilir ve burada eşanjör vasıtasıyla kurutma işlemi yapılır.

Piroliz gazı, kurutma işleminden sonra vakumlu pompa vasıtasıyla orta basınca sahip ara tanka alınır ve gaz kompresörü vasıtasıyla basıncı artırılıp yüksek basınçlı tanka depolanmak üzere basılır. İstenilen basınç ve kurulu özelliklerine sahip olan piroliz gazı gaz motorlarına elektrik enerjisi vermek üzere gönderilir ve elektrik enerjisi dönüşümü gerçekleşmiş olur.

Proses için gerekli olan ısı istenildiği takdirde brülörler vasıtasıyla cehennemlik kısımda yakılabilir. Reaktörlere beslenen hammaddelerin % 20'si kül ve karbon karışımı olarak çiftli hava kilitlerinden tahliye edilir. Bu maddeler sıcak oldukları için soğutularak depolanmak üzere çelik silolara gönderilir. Öğütülme ve uygun boyutlara getirildikten sonra paketlemesi yapıldıktan sonra ticari olarak satılabilir hale getirilebilmektedir. Piroliz tesisi genel çalışma prensibi Şekil 5.3'te gösterilmiştir [67].



Şekil 5.3: Piroliz tesisi şematik gösterimi [67].

5.3 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo C: Gazlaştırma ile Enerji Üretimi

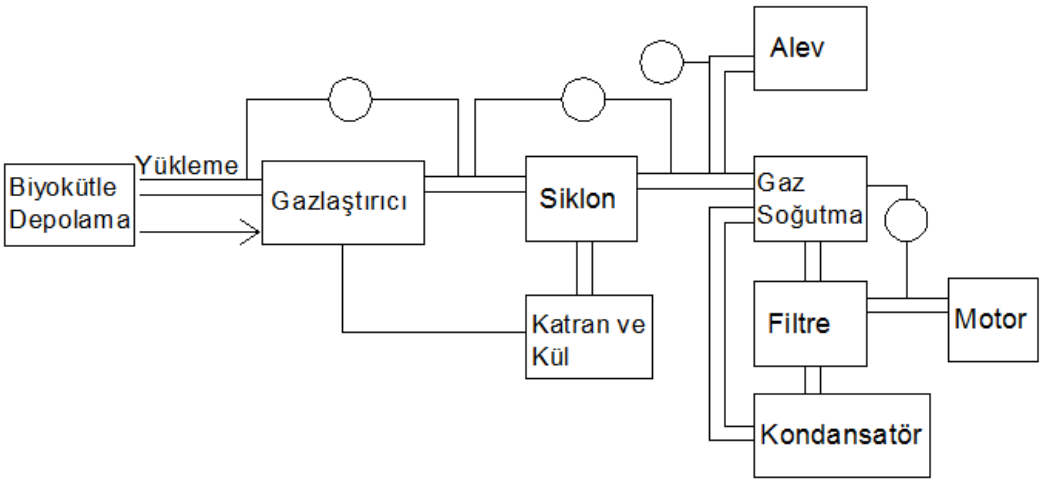
Gazlaştırma yöntemiyle bölge için belirlenen toplam atık miktarları üzerinden saatlik olarak beslenecek hammadde miktarı hesaplanmıştır. Gazlaştırma sonucunda elde edilen sentez gazının hacimsel debisi hesaplanmıştır ve sentez gazına ait alt ısıl değer 4,3 MJ/Nm^3 olarak alınmıştır [68]. Saatlik olarak belirlenen yakıtın debisi, hacimsel debi ve sentez gazının alt ısıl değeri ile gazın kimyasal enerjisi hesap edilmiştir. Gazın verimi ise % 69 olarak alınmıştır [68]. Bu hesaplamaların sonucunda yakıta ait kimyasal enerji elde edilmiştir. Sistemde elektrik enerjisi elde etmek için sentez gazı ile çalışan içten yanmalı gaz motorları tercih edilmiştir ve gaz motoruna ait verim kullanılarak sistemdeki toplam elektrik enerjisi hesap edilmiştir.

- **Gazlaştırma tesisi çalışma prensibi ve teknolojisi**

Biyokütle atıkları depolama alanına gönderildikten sonra eş zamanlı olarak akış malzemesi ile gazlaştırıcıya gönderilir. Akış malzemesi gazlaştırıcı içerisinde uygun cüruf akışını sağlar. Bu malzemeler taşıyıcıya yerleştirilmeden önce yaklaşık olarak 15 cm'den daha küçük olacak şekilde parçalanmaktadır. Atıkların gazlaştırıcının içerisinde organik kısımları, organik yakıt bazlı karbonlu malzemeleri, karbonmonoksit, karbondioksit ve hidrojenden oluşan sentez gazına dönüştürülür. Burada kontrollü şekilde oksijen girişi yapılarak malzeme yüksek sıcaklık altında

yakmadan reaksiyona girmesiyle elde edilir. Sentez gazı, gazlaştırıcının tepesinden gelen su ile soğutulmaktadır. Atık içerisinde kalan metalik ve kükürt içeriği, gazlaştırıcının alt kısmında bulunan deliklerden akan cürufu oluşturmaktadır. Erimiş cüruf, gazlaştırıcıdan çıktıktan sonra soğutularak granül haline getirilmektedir. Granüller yan ürün olarak ticari amaçla kullanılabilir.

Sentez gazı venturi soğutucu ve yıkama sistemiyle elektrostatik çökeltici üzerinden ilerler. Soğutucunun buradaki asıl amacı sentez gazının içerisinde bulunan partiküllerden sentez gazını arındırmaktır. Partiküllerinden ayrıştırılmış olan sentez gazına çeşitli temizleme işlemleri uygulanmaktadır. Bu temizleme işlemleriyle kurşun, kükürt, cıva, çinko, kadmiyum ve klor ayrıştırılır. Soğutma işlemlerinde de gazdaki nemin giderilmesi yapılmaktadır. Sentez gazı daha sonra kompresör vasıtasıyla çalışma basıncına kadar basıncı artırılarak enerji dönüşümün yapılacağı gaz motoruna gönderilir. Gaz motorundan elde edilecek atık ısı da ihtiyaca göre termal enerji veya elektrik enerjisi olarak kullanılabilir. Gazlaştırma tesisi genel çalışma prensibi şekil 5.4'te gösterilmiştir [71].



Şekil 5.4: Gazlaştırma tesisi şematik gösterimi [71].

5.4 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo D: Yakma ile Enerji Üretimi

Yakma teknolojisi için de diğer termal yöntemlerde olduğu gibi atık miktarları alınmıştır ve her bir hammaddenin kendisine ait alt ısıl değerleri alınarak hesaplama yapılmıştır. Her bir hammaddeye ait yakıt enerjisi hesaplanmıştır. Buhar kazanı verimi % 90 olarak kabul edilmiştir ve her atığa ait mevcut yakıt enerjisi hesaplanmıştır. Toplam termik enerji hesabı da tüm hammaddelerden gelen enerji

üzerinden hesap edilmiştir. Sistemde kullanılacak buhar türbini verimi % 30 olarak kabul edilmiştir [72]. Toplam termik enerji miktarından buhar türbini verimi kullanılarak toplam elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır.

- **Yakma tesisi çalışma prensibi ve teknolojisi**

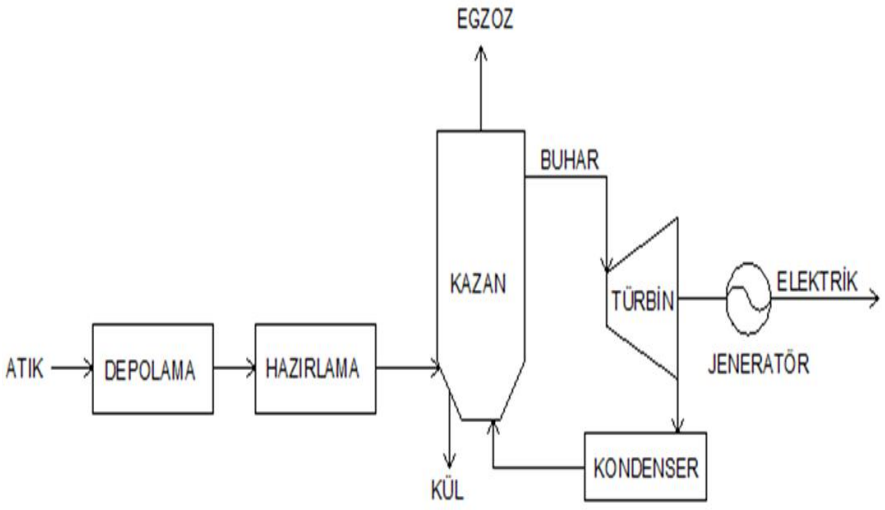
Fırın içerisinde kuru biyokütlenin doğrudan yanmasıyla elde edilen termal enerji hammaddenin yapısına bağlı olarak ton başına 16-24 GJ olarak elde edilebilmektedir. Yüksek sıcaklık altında bulunan lignoselülozik yapılar gaz fazında alev çıkarmak suretiyle piroliz ürünlerini oluştururlar. Arda kalan katı kısım, yüzey oksidasyonuyla ısı ve ışık yayarak düşük hızda yanar. Alevdeki sıcaklık, tepkime süresi, yanma şiddeti, alev hızı ve çevreye transfer edilen enerjinin parametresidir. Biyokütle yakma kamarasına gelir ve burada fiziksel olarak içeriğinde bulunan nem buharlaşır. 423 – 473 K seviyelerinde termal olarak bozunma gerçekleşir. Yanıcı gaz karışımı yanma kamarasında yanmaya başlar. Yakıt bileşeninde arda kalan karbonlu kalıntıdaki kısım 673 – 1073 K ve üzeri sıcaklıklarda oksijenin yüzeye yayılmasıyla yanmaktadır. Bu sıcaklıktaki aralık; yakma kamarası yüzeyindeki ve yanma gazlarından açığa çıkan radyant enerjinin soğurulması yoluyla sağlanır. Yakma prosesi dikkatlice kontrol altına alınması ve yakıtın kuru olması durumunda 1773 K'e ulaşmak mümkündür.

Biyokütlenin doğrudan yakıldığı sistemlerde ekipman seçimini birçok parametre etkilemektedir. Bu parametreler; kullanılan yakıt tipi ve karakteristiği, sistemin diğer sistemlerle ilintisi, elde edilecek son enerji türü, geri dönüşüm yöntemi ve çevresel faktörlerdir. Bu yüzden büyük ölçekli biyokütle sistemlerinde tüm parametreler detaylı olarak incelenmeli ve analiz edilmelidir.

Biyokütle tesislerinde geleneksel olarak yakma kısmında katı yakıtların yanması yatay ve eğime sahip ızgaralar üzerinde gerçekleşir. Kazanda elde edilmiş olan kızgın buharın entalpisi seçilecek buhar türbininin çıkış gücünü belirlemektedir. Buhar türbininden elde edilecek mekanik enerji buhar türbini üzerindeki dişli kutusu ve alternatör vasıtası ile elektrik enerjisi üretir. Tesis içerisindeki kompresörler, pompalar, fanlar ve karıştırıcılar gibi yardımcı ekipmanlar da tüketilen enerji kısmında yer almaktadır ve buhar türbininden elde edilen net enerji hesabı yapılır ve şebekeye enerji basımı yapılır. Buhar türbinleri ideal Rankine çevrimi ile çalışmaktadır. Eğer tesis içerisinde buhar harici olarak proseslerde tüketilecek ise

türbin seçimi ona göre yapılmalıdır ve ara buhar çekişli buhar türbinleri kullanılmalıdır. Türbin sonrasında açığa çıkan çürük buhar ise kondens edilir ve tamamen sıvı hale getirilir. Yoğuşmuş olan akışman pompa vasıtasıyla çevrime tekrar kazandırılır.

Biyokütle kaynakları yakıldığı zaman karbondioksit açığa çıkar. Çıkan karbondioksit yeşil bitkiler tarafından fotosentez yapmak için kullanılır bu da çevreyi sera etkisinden korur. Bir başka deyişle biyokütle atmosferik karbon döngüsüne ait bir parçadır. Biyokütle yakıtları çok az sülfür ürettikleri için asit yağmurlarına neden olan sülfürü üretmezler. Biyokütlede, kömürün yakılması sonucunda açığa çıkan külden daha az miktarda kül elde edilir, bu oluşan kül kolay ve ucuz yollarla uzaklaştırılabildiği gibi depolama alanına ihtiyacı da azdır. Elde edilen kül toprak iyileştiricisi olarak tarımsal amaca uygun şekilde kullanılabilir. Biyokütle yakma tesislerinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus emisyonlar ile ilgilidir. Teknoloji, hammadde özelliği, yakma şartları gibi sebeplerden dolayı emisyon miktarlarında artış olmaktadır. Özellikle büyük ölçekli tesislerde emisyon kontrollerinde oldukça keskin şekilde kontrol edilmektedir. Emisyon değerleri büyük ölçekli tesislerde genelde eksik yanma kaynaklı partiküller ve CO gibi bileşenlerde uygulanmaktadır. NO_x ve SO_x emisyonlarının azaltımı da yakma tesislerinde uygulanan çevresel önlemler içerisinde yer almaktadır. Şekil 5.5'te yakma tesisi şematik olarak gösterilmiştir [72].



Şekil 5.5: Yakma tesisi şematik gösterimi [72].

6. EKONOMİK ANALİZ

6.1 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo A: Biyogaz ile Enerji Üretimi

Tesisin ekonomik fizibilitesi yapılırken 7 gün 24 saat çalışacağı esasına varsayılarak yan ürün gelirleri hariç tutularak sadece elektrik enerjisinden elde edilecek gelirler hesap edilmiştir. Buna göre tesisteki ana ekipmanlarda oluşacak arıza, rutin servis ve bakım süreleri dikkate alınarak 8000 saat operasyon süresi olacağı varsayılmıştır. Tesis ömrü ise 20 yıl olarak öngörülmüştür. İlk 10 yıl içerisindeki elektrik enerjisinden elde edilecek gelir Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması tarafından biyokütle tesisleri için taahhüt edilen değerler üzerinden takip eden ikinci 10 yıllık süreç içinse günümüzdeki elektrik enerjisi alım fiyatının enflasyona maruz kalacak şekilde değişimi varsayılarak hesaplama yapılmıştır. Ayrıca YEKDEM tarafından yerli ekipman kullanımına ait ilave teşvik tesisin devreye alınmasının ardından ilk 5 yıllık süreç içerisinde hesaba dahil edilmiştir. Buna göre ilk 5 yıllık süreçte enerji alım bedeli 0,1430 $/kWh olarak 2,5 yıllık süreçte ise 0,1330 $/kWh olarak kabul edilmiştir [73].

Tesisin kurulumu EPC anahtar teslim modeli olarak öngörülmüştür. Bir yıl proje geliştirme ve bir yıl da tesis inşası süresi öngörülmüştür. Buna göre toplam kurulum maliyeti içerisinde ana ekipmanlar; gaz motorları, çürütücüler, gaz tutucular, karıştırıcılar ve inşaat, mekanik, elektrik olarak müteahhitlik, arsa maliyeti, iş geliştirme maliyeti, müşavirlik bedeli, arsa maliyeti ve öngörülemeyen giderler dahil edilmiştir. 101,6 MW kurulu gücündeki biyogaz tesisinde yıllık üretilecek toplam enerji miktarı 812.800.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Toplam anahtar teslim EPC bedeli 325.323.200 € olarak hesaplanmıştır.

Operasyon ve işletme giderlerinin hesabında servis, bakım, bakım yenileme sonrası servis ve bakım, hammadde tedariki ve lojistik giderleri, sigorta giderleri, şebeke giderleri, tesis iç tüketimi giderleri ve personel giderleri hesaplanmıştır. Yıllık 3.780.000 $ gider çıkan tesiste amortisman süresi 15 yıl belirlenmiş olup amortisman maliyeti 24.941.445 $/yıl olarak hesaplanmıştır. Tesiste üretilen elektrik enerjisi 690.880.000 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Bu gelir ve giderler ışığında sistemin finansal yapısı analiz edilmiştir. Tesiste özsermaye olarak % 30'luk bedel kabul edilmiş olup kalan tutar banka kredisi ile finanse edilmiştir. Kullanılan kredi tutarı 261.885.176 $ olarak çıkmıştır. Faiz oranı % 8 ve faiz dönemi 10 yıllık süre baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

2020 yılı YEKDEM döneminde faaliyete girmesi öngörülen tesiste toplam elektrik gelirlerinin hesabı bu yıldan sonraki 20 yıllık süreç için hesaplanmıştır. İşletme giderleri, amortisman, operasyonel kazanç, faizler ve gelir vergisinin dahil edildiği hesaplamalar sonucunda net kar 1.192.948.526 $ olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda zamana bağımlı ve zamandan bağımsız ekonomik analizler yapılmıştır. Buna göre tesis için zamandan bağımsız olarak geri dönüşüm süresi 6,19 yıl olarak hesaplanmıştır. İç karlılık oranı (IRR) % 23 özsermaye iç karlılık oranı (Equity IRR) ise % 41 olarak sonuç vermiştir. Net bugünkü değer (NPV) 536.041.096 olarak tesiste başabaş noktasına 2035 yılında gelinmiştir. Bu veriler ışığında biyogazdan elde edilerek yapılacak teknoloji sayesinde nakit akışı ve gelir gider çizelgeleri ekte verilmiştir [74].

6.2 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo B: Piroliz ile Enerji Üretimi

Piroliz ile enerji üretimi yönteminin ekonomik analizinde de senaryo A'da olduğu gibi yan ürünlerden elde edilebilecek kazanç düşünülmeden hesaplamalar yapılmıştır. Tesiste elektrik enerjisi üretimi için içten yanmalı gaz motoru tercih edilmiş olup operasyon süresi, rutin bakım ve servis, arıza, tesis içi genel bakım gibi hususlar göz önüne alınarak 8000 saat olarak belirlenmiştir. Fizibilite yapılırken tesisin 20 yıl boyunca işletileceği öngörülmüştür. Elektriksel gelir YEKDEM tarafından biyokütle tesisleri için garanti alınan alım garantisi üzerinden hesap edilmiştir. Buna göre 10 yıllık alım garantisini içeren süreçte yerel aksam destekleriyle birlikte tesisin işletmeye alınmasını takip eden ilk 5 yıllık süreç içerisinde elektrik enerjisi alım bedeli 0,1410 $/kWh olarak 2,5 yıllık süreçte ise 0,1330 $/kWh olarak kabul edilmiştir [75].

Tesis kurulumu EPC anahtar teslimi modeli üzerinden tasarlanmıştır. 1. yılda proje geliştirme ve fizibilite 2. yılda ise tesisin inşasının süreceği farz edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre toplam kurulum maliyeti içerisinde ana ekipmanlar; gaz motorları, ve inşaat, mekanik, elektriksel işlerin müteahhitliği, arsa maliyeti, iş geliştirme ve öngörülemeyen giderlerin dahil edildiği 130 MW kurulu

gücündeki tesisin toplam maliyeti 778.260.00 € olarak hesaplanmıştır. Tesisten üretilecek yıllık enerji miktarı 1.040.000.000 kWh olarak hesap edilmiştir.

İşletme süresince operasyon giderleri hesabına, servis, bakım, bakım yenileme sonrası servis ve bakım, hammadde tedarik ve nakliye giderleri, sigortadan oluşacak giderler, şebeke giderleri, tesis iç tüketimi giderleri ve personel giderleri dahil edilmiştir. Amortisman süresi 15 yıl olan tesiste yıllık amortisman gideri 55.833.267 $ olarak hesaplanmıştır ve tesisin yıllık toplam gideri 3.960.000 $ olarak hesap edilmiştir. Finansal analiz kısmında gelir ve giderler doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır. Tesisin kurulumu için ayrılan özsermaye oranı % 30 olarak kabul edilmiştir. Geriye kalan tutar ise banka kredisi ile sağlanmıştır. Özsermaye için ayrılan bütçe 251.249.700 $ olan yatırım için çekilen kredi tutarı 586.249.300 $'dır. Faiz dönemi 10 yıl boyunca geçerli olacak yatırım için belirlenen faiz bedeli % 8'dir. 2020 yılı YEKDEM döneminde devreye alınacak olan tesisteki gelirler 20 yıllık projeksiyon içerisinde öngörülerek hesap edilmiştir. Operasyon süresince oluşacak giderlerin hesaplamasında, işletme giderleri, amortisman, operasyonel kazanç, faizler ve vergilerin oluşturacağı giderlerin toplamı hesap edilmiştir. Tüm gelir ve giderlerin karşılaştırılmasından sonra elde edilen net kar 918.443.898 $ olarak hesaplanmıştır. Proje karlılığını ölçen finansal göstergeler zamana bağımlı ve zamandan bağımsız olacak şekilde yapılmıştır. İç karlılık oranı (IRR) % 13 olan yatırımda özsermaye iç karlılık oranı (Equity IRR) % 17 olarak hesaplanmıştır. Yatırımın zamandan bağımsız geri dönüşüm süresi 10,1 yıl olarak hesap edilmiştir. Yatırıma ait net bugünkü değer (NPV) ise 509.576.879 olarak hesaplanmıştır. Piroliz teknolojisiyle kurulması planlanan yatırıma ait gelir ve gider Çizelgeleri ekte verilmiştir [76].

6.3 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo C: Gazlaştırma ile Enerji Üretimi

Gazlaştırma teknolojisi ile enerji dönüşüm sisteminin ekonomik analizinde de Senaryo A ve Senaryo B'deki yöntemlere benzer yöntem takip edilmiştir. Sadece elektrik enerjisinin satışından gelecek gelirlerin hesap edildiği sistemin kazanç kısmında yan ürünler hesaba katılmamıştır. Tesiste elektrik enerjisi üretimi için gaz motoru tercih edilmiştir. Tesisin operasyon süresi hesap edilirken tesiste kullanılan gaz motorlarına ait servis, bakım, arıza ve tesis içerisindeki genel bakım süreleri öngörülerek operasyon süresi 8000 saat olarak belirlenmiştir. Tesis ömrünün 20 yıl olacağı tasarlanan tesisin elektrik satışından elde edilecek gelirleri YEKDEM

tarafından biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisleri için garanti altına alınan tarife üzerinden belirlenmiştir. 10 yıllık alım garantisi süresince tesisten elde edilecek olan gelirler yerel ürünlerin kullanılmasıyla birlikte ilk 5 yıllık süreç içerisinde 0,1430 $/kWh 2,5 yıllık süreç içerisinde ise 0,1330 $/kWh olarak kabul edilmiştir [77].

Tesisin kurulumunda EPC anahtar teslim yöntemi şeklinde model belirlenmiştir. İlk 2 yıllık süreç iş geliştirme, fizibilite ve tesisin inşası için öngörülmüştür. Tesisin kurulumu için toplam bedel 1.439.236.00 € olarak hesaplanmıştır. Bu toplam bedel içerisinde ana ekipmanlar; gaz motorları, gazlaştırıcı, kondansatör ve enerji üreten sistemler dışındaki ana ekipmanların birbirleriyle ilişkileri için yapılacak olan inşaat, mekanik, elektrik işleri, arsa giderleri ve öngörülemeyen giderler yer almaktadır. Toplam gücü 218 MW olan tesisten öngörülen yıllık enerji üretim miktarı 1.744.000.000 kWh olarak hesaplanmıştır.

Operasyon süresi boyunca servis, bakım, bakım yenileme sonrası servis ve bakım, hammadde tedariki ve hammadde lojistiği, sigorta, şebeke, tesis iç tüketimi, personele ait giderler ve öngörülemeyen giderler dahil edilerek giderler için hesaplamalar yapılmıştır. Senaryo A ve Senaryo B'de olduğu gibi amortisman süresi 15 yıl olarak alınan yatırım için yıllık amortisman gideri 110.341.427 $'dır.

Finansal incelemede gelir gider çizelgesi oluşturulmuştur. Buna göre tesis kurulu için özsermaye yoluyla ayrılan bütçe 496.536.420 $'dır. Bu bedel toplam yatırımın % 30'una tekabül etmektedir. Geriye kalan % 70'lik dilim ise bankadan çekilecek olan kredi ile finanse edilecektir. Bu bedel ise 1.154.584.980 $ olarak hesaplanmıştır. 10 yıl boyunca sürmesi beklenen faiz dönemi için belirlenmiş olan faiz oranı % 8'dir. 20 yıl boyunca elektrik satışının devam edileceği düşünülen tesisin 2020 yılı içerisindeki YEKDEM döneminde devreye alınacağı hesap edilmiştir.

İşletme süresince elde edilecek gelirler ve giderlerden sonra ele geçecek olan net kar 1.116.790.608 $ olarak hesap edilmiştir. Projenin finansal olarak karlılığı gösteren değerlerde ise zamana bağımlı ve zamandan bağımsız hesaplama yöntemleri yapılmıştır. Buna göre proje iç karlılık oranı (IRR) % 11 özsermaye iç karlılık oranı (Equity IRR) % 13 olarak hesaplanmıştır. Zaman düşünülmeden yapılan geri dönüşüm süresi 11,67 yıl olarak hesaplanmıştır. Net bugünkü değer (NPV) ise 730.699.694 olarak hesap edilmiştir. Gazlaştırma teknolojisi ile kurulması planan yatırıma ait gelir ve gider çizelgeleri ekte sunulmuştur.

6.4 Konya Bölgesi Biyokütle Tesisi Senaryo D: Yakma ile Enerji Üretimi

Yakma teknolojisi biyotküle enerji üretim tesisi senaryosunda da diğer senaryolarda olduğu gibi fizibilite analizi yapılmıştır. Elektrik enerjisinden elde edilen kazancın esas alındığı ekonomik değerlendirmeler hesaplanmıştır. Tesiste elektrik enerjisi üretimi için buhar kazanından elde edilen buhar kullanılmıştır. Elde edilen buhar da buhar türbini vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Diğer senaryolarda da olduğu gibi operasyon süresi yıllık 8000 saat olarak öngörülmüştür. Tesis ömrü 20 yıl biçilen projeksiyonda YEKDEM'e tabi olacak şekilde fizibilite analizi yapılmıştır. Diğer senaryolarda olduğu gibi yerel aksam desteklerinden de faydalanıldığı öngörülen tesislerde ilk 5 yıllık süreçte 0,1510 $/kWh gelir elde edileceği 2. 5 yıllık süreçte ise 0,1330 $/kWh gelir elde edileceği kabulü yapılmıştır. 10. Yıldan sonraki süreçte ise bugünkü elektrik alım fiyatının enflasyon değeriyle birlikte yıllar boyunca değişmesi esası öngörülerek belirlenen fiyat üzerinden hesaplamalar yapılmıştır [78].

Diğer senaryolarda olduğu gibi EPC anahtar teslim modeli tesisin kurulumu için öngörülen yatırım modelidir. Projenin olgunlaşması ve inşası için biçilen süre 2 yıldır. Kurulumu tamamlanan tesis için belirlenen toplam fiyat 1.668.780 €'dur. Ana ekipmanları; buhar türbini, buhar kazanı ve enerji üretimi dışındaki sistemlerin hazır hale getirilmesi için yapılacak olan saha uygulamalarını içinde barındıran inşaat, mekanik ve elektrik işleri, arsa maliyetleri ve öngörülemeyen giderler bu bedele dahildir. 1200 MW termik 360 MW elektriksel gücü olan tesisten yıllık beklenen enerji üretim miktarı 2.920.000.000 kWh olarak hesap edilmiştir.

Operasyon giderleri olarak, servis, bakım, bakım yenileme sonrası servis ve bakım, işletme giderleri, hammaddenin tedariki ve nakliyesi, sigorta giderleri, şebeke giderleri, personel giderleri ve tesis içi tüketimine ait giderleri hesaplanarak bütün giderler finansal analizde göz önünde bulundurulmuştur. Diğer senaryolarda da olduğu gibi amortisman süresi 15 yıl kabul edilmiş olup yıllık amortisman gideri 127.939.800 $ olarak hesaplanmıştır.

Gelir ve giderlerin detaylı olarak incelendiği finansal analiz kısmı eklerde verilmiştir [79]. Yatırım için belirlenen özsermaye oranı % 30'dur, bu tutar 575.729.100 $ olarak planlanmıştır. % 70'lik dilimin ise banka tarafından kredilendirileceği kabul edilip, hesaplanmıştır. Banka tarafından kredi edilecek tutar ise 1.343.367.900 $'dır.

10 yıllık süreçte devam edecek olan faiz dönemi için kabul eden faiz oranı % 8'dir. Tesisten elde edilecek elektrik enerjisinin 20 yıl boyunca gelir getireceği öngörüsü yapılmıştır. 20 yıllık süre boyunca elde edilecek net kar ise 3.602.618.111 $'dır.

Projeye ait finansal karlılığı gösteren değerler diğer senaryolarda olduğu gibi zamana bağımlı ve zamandan bağımsız olacak şekilde hesaplanmıştır. İç karlılık oranı (IRR) % 18 çıkan yatırımda özsermaye iç karlılık oranı (Equity IRR) % 28 olarak hesap edilmiştir. Net bugünkü değeri (NPV) 1.816.398.746 olan yatırım için zamandan bağımsız olacak şekilde hesaplanan geri dönüşüm süresi ise 6,88 yıl olarak hesaplanmıştır. Yakma teknolojisi ile ilgili olarak yapılacak yatırım için yapılmış olan gelir gider hesaplarını gösteren çizelgeler ekte verilmiştir [79].

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada aynı miktardaki atıklardan biyokütle esaslı alternatif dönüşüm sistemleri için teknik ve ekonomik analizler yapılmıştır. Bu yapılan çalışmalar farklı senaryolar dahilinde incelenmiş olup aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre;

- Dört farklı teknoloji sistemine göre yapılan karşılaştırmalar Şekil 7.1'de verilmiştir. Şekile göre, toplam kurulu güç açısından en büyük değer 365.000 kWe ile yakma teknolojisine aittir. Toplam kurulum maliyeti açısından ise en yüksek rakam 1.668.780.000 € ile yine yakma teknolojisinde mevcuttur. Yakma teknolojisi birim kütleye karşılık gelen enerji miktarınca en yüksek olan 0,0596 kWe/kg değerine sahiptir. Birim kütle kurulum maliyeti açısından ise en yüksek değer 6.602 €/kWe ile gazlaştırma teknolojisine aittir.

Çizelge 7.1: Dört farklı teknolojik sistemin karşılaştırılması.

	Biyogaz	**Piroliz**	**Gazlaştırma**	**Yakma**
Toplam kurulu güç, kWe	101.600	130.000	218.000	365.000
Toplam kurulum maliyeti, €	325.323.200	728.260.000	1.439.236.000	1.668.780.000
Birim kütleye karşılık gelen enerji miktarı, kWe/kg	0,01662449	0,00001748	0,03606414	0,05962307
Birim kütle kurulum maliyeti €/kWe	3.202	5.602	6.602	4.572

- Biyogaz tesisi kurulu gücü 101,6 MW ve yıllık üretilecek toplam enerji miktarı 812.800.000 kWh olarak hesaplanmıştır. 130 MW kurulu güce sahip olan piroliz tesisinin yıllık olarak üretilecek enerji miktarı 1.040.000.000 kWh olarak bulunmuştur. Gazlaştırma tesisinin ise toplam gücü 218 MW ve öngörülen yıllık enerji üretim miktarı 1.744.000.000 kWh olarak hesaplanmıştır. Yakma

teknolojisine ait tesisin ise 1200 MW termik, 360 MW elektriksel gücü olup, yıllık beklenen enerji üretim miktarı 2.920.000.000 kWh olarak bulunmuştur.

- 20 yılın sonunda net kar, biyogaz tesisinde 1.192.948.526 $, piroliz tesisinde 918.443.898 $, gazlaştırma tesisinde 1.116.790.608 $, yakma tesisinde ise 3.602.618.111 $ olarak bulunmuştur.
- Geri dönüşüm süresi ise biyogaz tesisinde 6,19 yıl, piroliz tesisinde 10,1 yıl, gazlaştırma tesisinde 11,67 yıl ve son olarak yakma tesisinde ise 6,88 yıl olarak hesaplanmıştır.
- Aynı atık türlerinden farklı dönüşüm sistemleri kullanılarak birim kütle başına farklı enerji miktarları elde edilebilmektedir. Bundan dolayı kurulacak tesisteki hammaddelerin getirisi detaylı şekilde etüt edilmelidir.
- Maliyetleri düşürüldüğü takdirde tarım ülkesi olan ülkemizde enerji bitkisine yönelmekle biyokütle enerji dönüşüm sistemlerinde önemli bir hammadde kaynağı oluşturulacaktır. Bu sayede tarımsal üretimde çiftçiye de gelir kaynağı oluşturulabilir.
- Kurulacak tesislerde yerli ekipman oranının artırılması teşvikleri artırıp yatırımın finansal uygunluğuna olumlu etki ettiği gibi ülke ekonomisi ve istihdama da olumlu etki etmektedir. Bu nedenlerden dolayı yerli üretim teşvik edilmelidir.
- Dönüşüm sistemlerden çıkan yan ürünlerin ticaretinin de uygun hale gelmesiyle tam randımanlı biyokütle dönüşüm sistemleri faaliyete girebilir ve işletilebilir.
- Biyokütle esaslı enerji dönüşüm sistemlerindeki en önemli parametre olan hammaddenin sürekliliğinin sağlanabilmesi için belediyeler hammaddelerin sağlanmasında rol oynamalıdır.
- Biyokütle esaslı enerji dönüşüm sistemlerinde kurulu güç arttığı zaman birim güç başına düşen maliyetlerin azalmasından dolayı küçük ölçekli tesisler yerine büyük ölçekli tesisler tercih edilmelidir. Rüzgar ve güneş enerjisinde kullanılan YEKA modeli, biyokütle esaslı enerji dönüşüm sistemleri için de düşünülmelidir

KAYNAKLAR

[1] Akın, G., 2006. Küresel ısınma, nedenleri ve sonuçları, *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi,* 46, 29-43.

[2] Stern, N. H., 2007. The economics of climate change, The Stern Review, Cambridge, UK.

[3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2012. http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx, alındığı tarih 10.11.2017.

[4] Shakhashiri, B., 2009. Ethanol, Chemical of the week.

[5] Fan, D., Dai D. ve Wu, H., 2013. Ethylene formation by catalytic dehydration of ethanol with industrial considerations, 6, 101-115.

[6] Ehrlich, R., 2013. Renewable Energy a First Course.

[7] Greenfacts, Facts on Health and the Environment, 2016.

[8] Ar F.F., Biyoetanol kullanım zorunluluğunun Türk ekonomisinde yaratacağı etkiler, Türkiye 12. Enerji Kongresi, Kasım 14-16, Ankara.

[9] Çetin, M. ve Kuş H., 2010. Biyoetanol yakıtların emisyon karakteristikleri ve Erzincan'ın biyoetanol yakıt üretim potansiyeli, EÜFBED - *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3, 19-35.

[10] Koçtürk, D. ve Onurbaş Avcıoğlu, A., 2012. Benzin motorlarında biyoetanol kullanımının çevresel etkilerinin belirlenmesi, *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 4, 65-74.

[11] Ethanol: Law, Economics and Politics, 2016.

[12] İşler, A. ve Karaosmanoğlu, F., 2007. Yakıt alkolü: Türkiye mevcut durumu ve geleceği. Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı. TMMOB, Kimya Mühendisleri Odası. 123-132, Ankara.

[13] Akalın, B. ve Seyrekbasan A.M., 2015. Dünyadaki biyoetanol politikalarının Türkiye koşulları ile karşılaştırmalı incelenmesi ve Türkiye şartlarına uygunluk açısından biyoetanol üretiminde kullanılan hammaddelerin değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1, 157-168.

[14] Seadi, T. A., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., and Janssen, R., Biogas Handbook, no. 1. Esbjerg: University of Southern Denmark, 2008.

[15] Vij, S., "Biogas Production From Kitchen Waste,", p. 48, 2011.

[16] Deublein, D., and Steinhauser, A., Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.

[17] Weiland, P. Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; S. 19-32; VDI-Verlag 2001.

[18] Lindorfer, H., Braun, R., Kirchmeyr, R. The self-heating of anaerobic digesters using energy crops; Water Science and Technology 53 (8), 2006.

[19] Weiland, P. Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und -erzeugung in Deutschland, Gülzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial, S. 8–27, Weimar, 2000.

[20] Topuz G., & Onaygil S., 2017.EBT546, Enerji bilim ve teknolojilerinde özel konular ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.

[21] Url-21 <*http://www.emo.org.tr/ekler/c48ca73fhlout192d0c_ek.pdf?dergi=576*>, alındığı tarih 11.02.2017.

[22] Url-22 <*http://www.enerjigunlugu.net/icerik/63413/osmanlida-ilk-elektrigi-kim-uretti.html*>, alındığı tarih 21.06.2017.

[23] Url-23 <*https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletisim-istatistikleri/2015*>, alındığı tarih 10.10.2017.

[24] Url-24 <*http://www.epdk.org.trrr/TR/Dokumanlar/Elektrik/Yekdem*>, alındığı tarih 11.09.2017.

[25] Saxena, R.C., Seal, D., Kumar, S. and Goyal, H.B., 2008, Thermo-chemical routes for hydrogen rich gas from biomass: A review, Renewable andSustainable Energy Reviews, 12:1909-1927p.

[26] Kaya, E., 2009. ‘Kömür ve Gazlaştırma Ürünlerinin Kimyasal Denge Kuramıyla İncelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[27] Karaosmanoğlu, F., 2015. Kimyasal teknolojiler ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği.

[28] Kalıncı, Y., 2011. Biyokütle esaslı hidrojen üretimi sistemlerinin eksergo ekonomik analizi ve yaşam döngüsü değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[29] Halıcıoğlu, K., 2007. Biyokütlenin kullanıldığı termokimyasal dönüşüm proseslerinin modellenmesi ve ekserji analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[30] Marcio L., 2004. ‘Solid Fuels Combustion and Gasification Modeling, Simulation, and Equipment Operation’ State niversity at Campinas São Paolo, Brazil.

[31] Basu, P., 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical.

[32] Gomez, E., Rani, D.A., Cheeseman, C.R., Deegan, D., Wise, M. and Boccaccini, A.R., 2009, Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review, *Journal of Hazardous Materials.*

[33] Rezaiyan, J. and Cheremisinoff, N.P., 2005. Gasification Technologies – A Primer for Engineers and Scientists, Taylor & Francis Group, CRC Press, New York.

[34] Lewis, F.M., Ablow, C.M., 1976. Pyrolysis of Biomass Capturing The Sun Through Bioconversion" 34, Washington Center for Metropolitan Studies, Washington D.C., USA.

[35] Knight, J.A., 1976. Pyrolysis of Fine Sawdust, 172nd American Chemical Society National Meeting, San Fransisco, USA.

[36] Diebold, J.P., Chum, H.L., Evans, R.J., Milne, T.A., Reed, T.B., and Scahill, J.W., 1987. In Energy from Biomass and Wastes X, s.801, Ed. Klass, D.L. Institute of Gas Technology, Chicago.

[37] Akalın, B. ve Seyrekbasan A.M., 2015. Dünyadaki biyoetanol politikalarının Türkiye koşulları ile karşılaştırmalı incelenmesi ve Türkiye şartlarına uygunluk açısından biyoetanol üretiminde kullanılan hammaddelerin değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1, 157- 168.

[38] T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015. Meriç-Ergene havzasında oluşan çiftlik atıklarının ve evsel atıksu arıtma çamurlarının yönetimi ve uygulanabilirliğinin araştırılması projesi nihai raporu.

[39] Altınbaş M., 2017.EBT532E, Bionergy recovery from organic wastes ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.

[40] Türk-Alman biyogaz projesi, Biyogaz kullanım kılavuzu, www.biyogaz. web.tr/files/docs/biyogaz_kilavuzu.pdf, alındığı tarih 11.11.2017.

[41] Türe, S., 2001. Biyokütle Enerjisi, Tübitak Matbaası, Ankara.

[42] Açma, H., 1999. Kömürün mineral içeriğinin yanma özelliklerine etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[43] Topuz G., & Onaygil S., 2017 EBT546, Enerji bilim ve teknolojilerinde özel konular ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.

[44] Topuz G., & Onaygil S., 2017 EBT546, Enerji bilim ve teknolojilerinde özel konular ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.

[45] Çolak Ü., 2017. EBT508E Cogeneration and waste heat recovery ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.

[46] Proje analizinde kullanılan teknikler Kubilay Kavak, alındığı tarih 10.10.2017.

[47] The Research Progress of Biomass Sources of Pyrolysis Processes, http://www.fao.org/docrep/T4470E/t4470e0a.html, alındığı tarih 20.11.2016.

[48] Robertson, A.M., 1977. Farm Wastes Handbook Scottish farm Buildings, Investigation Unit. Management, 42, 1357-1378.

[49] Demirbaş, A., 2001. Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion processing for Fuels and Chemicals, Energy Conversion and Management, 42, 1357-1378.

[50] Russel, E.W., 1977. The role of organic matter in soil fertility, Agricultural Efficiency, The Royal Society, London.

[51] Ader, G., Buck, F.R., 1979. Organic Wastes as an Energy Source, Study for Energy Technology Support Unit, Harwell, UK.

[52] Tolay M., 2017. Türkiye'nin biyokütle potansiyeli ve biyokütleden enerji üretimi termik prosesler.

[53] OGM Kastamonu Orman Biyokütlesi ve Biyoenerji Çalıştay Raporu, 25-26 Şubat 2010.

[54] Klass, D.L., 1998. Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals, Academic Press, London.

[55] Greco, J.R., 1977. Energy recovery from municipial wastes, Fuels and Energy from Renewable Resources, Academic Press, New York.

[56] Bay B., 2006. Çeşitli biyokütle kaynaklarının termal davranımının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[57] T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, iş sağlığı ve güvenliği genel müdürlüğü tehlikeli atık bertaraf tesislerinin iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmesi, www.csgb.gov.tr/media/5086/merveercan.pdf, alındığı tarih 08.07.2017.

[58] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir enerji genel müdürlüğü Türkiye biyokütle enerjisi biyokütle atlası, www.bepa.yegm.gov.tr, alındığı tarih 07.07.2017.

[59] IEA Energy Technology Essentials, Biomass for Power Generation and CHP, https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/essentials3.pdf, alındığı tarih 07.01.2017.

[60] Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun**,** www.epdk.org.tr/TR/Dokuman/1859, alındığı tarih 04.08.2017.

[61] Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten tesislerde kullanılan yerli aksamın desteklenmesi hakkında yönetmelik taslağı, www.yegm.gov.tr/duyurular_haberler/.../Yonetmelik_Taslagi.doc, alındığı tarih 04.08.2017.

[62] Çevre ve Şehircilik Bakanlığından: Kompost tebliğinin birinci bölümü http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/03/20150305-8.htm, alındığı tarih 05.08.2017.

[63] Bölek M., 2015. Biyokütle Enerji Tesisi Yeri Seçimi Anket Çalışması, 6.Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi.

[64] TÜİK, BEPA, OGM, https://www.ecn.nl/ alındığı tarih 05.07.2017.

[65] Altınbaş M., 2017. EBT 532E, Bionergy recovery from organic wastes ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.

[66] World Bioenergy Association, WBA fact sheet: BIOGAS – An Important Renewable Energy Source, 2013.

[67]Cekirge, H., 2007. Ammar Elhassan Economic Analysis of Solid Waste Treatment Plants Using Pyrolysis.

[68] Kalina J,. Techo-economic assessment of small-scale integrated biomass gasification dual fuel combined cycle power plant.

[69] Rae G.,W. 1994. Waste Incineration and Environment, RSC Books.

[70] Hamrick, J.T., 1987. In Energy from Biomass and Wastes X, p. 517, Ed. Klass, D.L., Institute of Gas Technology, Chicago.

[71] Reed, R.J., 1983. North American Combustion Handbook, Ed.2, North American Mfg. Co. Cleveland, OH.

[72] Özyurtkan H., 2007. Melez kavağın karbonizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği, İstanbul.

EKLER

EK A: Atık verileri 107
EK B: Senaryo A hesaplamaları 113
EK C: Senaryo B hesaplamaları 115
EK D: Senaryo C hesaplamaları 117
EK E: Senaryo D hesaplamaları 119

EK A: Atık verileri

Atık Tipi	Popülasyon	Hayvan başına atık üretimi, ton/hayvan.gün	Sistemde Kullanılacak Ürün ton/gün	Kaynak	Kuru madde, %	Organik Madde, %	Metan Üretimi, m^3CH_4/ton Org.Madde	Metan miktarı, %	Alt Isıl Değer, LHV (MJ/kg)	Üst Isıl Değer, HHV (MJ/kg)	Kaynak
Büyükbaş Hayvan Dışkısı	752221	0,028	2106,22	TÜİK	0,25	0,8	450	55	19,71	21,23	https://www.ecn.nl/
Küçükbaş Hayvan Dışkısı	2086906	0,002	417,38	TÜİK	0,3	0,8	450	55	18,85	20,25	https://www.ecn.nl/
Kanatlı Hayvan Dışkısı	11995381	0,0001	119,95	TÜİK	0,14	0,78	500	60	18,34	19,64	https://www.ecn.nl/
Mısır Sılajı			407,81	TÜİK	0,2	0,85	170	50	18	19,27	https://www.ecn.nl/
Şeker Pancarı			1559,47	TÜİK	0,23	0,9	170	53	17,44	18,59	https://www.ecn.nl/
Arpa			224,79	TÜİK	0,201	0,94	606,47	58,7	18,19	19,51	https://www.ecn.nl/
Buğday			568,14	TÜİK	0,86	0,92	369,2	52,75	27,84	28,44	https://www.ecn.nl/
Ayçiçeği			58,98	TÜİK	0,88	0,966	699,4	63,5	18,3	19,56	https://www.ecn.nl/
Yonca			313,37	TÜİK	0,35	0,876	459,8	54,8	19,33	20,71	https://www.ecn.nl/
Patates			152,72	TÜİK	0,88	0,94	667,6	50,6			https://www.ecn.nl/
Soya			0,03	TÜİK	0,87	0,93	679,5	61,2			https://www.ecn.nl/
Sorgum			0,34	TÜİK	0,246	0,91	601,71	58,5	18,17	19,43	https://www.ecn.nl/
Kolza			0,59	TÜİK	0,88	0,955	766,9	65,7	23,98	25,58	https://www.ecn.nl/
Orman Atıkları			11,11	OGM + BEPA					19,1	20,49	https://www.ecn.nl/
Evsel Katı Atık	2161303	0,0005	108,07	TÜİK	0,15	0,9	1300	60	18,66	19,87	https://www.ecn.nl/
Toplam			6048,96035								

Şekil A.1: Konya bölgesinde bulunan atık miktarı ve özellikleri

Atık Tipi	Hayvan Sayısı	Hayvan başına atık üretimi, ton/hayvan .gün	Sistemde Kullanılacak Ürün ton/gün	Kuru madde, %	Kuru madde, ton/gün	Organik Madde, %	Organik Madde, ton/gün	Üretimi, m^3CH_4/ton Org.Madde	Metan Üretimi, m^3 CH_4/gün	Biyogaz Üretimi, m^3 biyogaz/gün	Metan Üretimi, m^3 CH_4/h	CH_4 Enerji Değeri, kWh/m3	Toplam Enerji Değeri, kWh/h	Elektrik Enerjisi verimi, %	Elektrik Enerjisi, MWh/h
Büyükbaş Hayvan Dışkısı	752221	0,028	2106,22	0,25	526,55	0,80	421,24	450,00	189559,69	344653,99	7898,32	9,4	74244,21	38,00	28,2
Küçükbaş Hayvan Dışkısı	2086906	0,002	417,38	0,30	125,21	0,80	100,17	450,00	45077,17	81958,49	1878,22	9,4	17655,22	38,00	6,7
Kanatlı Hayvan Dışkısı	1,2E+07	0,0001	119,95	0,14	16,79	0,78	13,10	500,00	6549,48	10915,80	272,89	9,4	2565,21	38,00	1,0
Mısır Sılajı			407,81	0,20	81,56	0,85	69,33	170,00	11785,58	23571,16	491,07	9,4	4616,02	38,00	1,8
Şeker Pancarı			1559,47	0,23	358,68	0,90	322,81	170,00	54877,61	103542,67	2286,57	9,4	21493,73	38,00	8,2
Arpa			224,79	0,20	45,18	0,94	42,47	606,47	25758,33	43881,31	1073,26	9,4	10088,68	38,00	3,8
Buğday			568,14	0,86	488,60	0,92	449,51	369,20	165959,48	314615,13	6914,98	9,4	65000,80	38,00	24,7
Ayçiçeği			58,98	0,88	51,90	0,97	50,13	699,40	35063,68	55218,39	1460,99	9,4	13733,27	38,00	5,2
Yonca			313,37	0,35	109,68	0,88	96,08	459,80	44177,47	80615,82	1840,73	9,4	17302,84	38,00	6,6
Patates			152,72	0,88	134,40	0,94	126,33	667,60	84339,43	166678,72	3514,14	9,4	33032,94	38,00	12,6
Soya			0,03	0,87	0,03	0,93	0,02	679,50	16,34	26,70	0,68	9,4	6,40	38,00	0,0
Sorgum			0,34	0,25	0,08	0,91	0,08	601,71	45,65	78,03	1,90	9,4	17,88	38,00	0,0
Kolza			0,59	0,88	0,52	0,96	0,49	766,90	378,82	576,60	15,78	9,4	148,37	38,00	0,1
Orman Atıkları			11,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,4	0,00	38,00	0,0
Evsel Katı Atık	2161303	0,0005	0,02	0,15	0,00	0,90	0,00	1300,00	4,37	7,28	0,18	9,4	1,71	38,00	0,0
Toplam															98,8

Şekil A.2: Biyogaz tesis için hesaplamalar.

Atık Tipi	Sistemde Kullanılacak Ürün ton/gün	Üretim kg/gün	Piroliz İçin Kullanılabilecek Oran, %	Piroliz için kullanılacak günlük miktar, kg	Organik atık enerji değeri, kWh/kg	Atık verimi, %	Günlük Üretilen Enerji, kWh	Elektrik Enerjisi, MWh/h
Büyükbaş Hayvan Dışkısı	2106218,80	2106218800	0,20	421243,76	2,33	90	883348,2	37
Küçükbaş Hayvan Dışkısı	417381,20	417381200	0,20	83476,24	2,33	90	175049,7	7
Kanatlı Hayvan Dışkısı	119953,81	119953810	0,20	23990,76	2,33	90	50308,6	2
Mısır Sılajı	407805,56	407805556	0,20	81561,11	2,33	90	171033,7	7
Şeker Pancarı	1559466,11	1559466111	0,20	311893,22	2,33	90	654040,1	27
Arpa	224793,89	224793889	0,20	44958,78	2,33	90	94278,6	4
Buğday	568138,33	568138333	0,20	113627,67	8,00	90	818119,2	34
Ayçiçeği	58975,56	58975556	0,20	11795,11	2,33	90	24734,3	1
Yonca	313371,67	313371667	0,20	62674,33	2,33	90	131428,1	5
Patates	152722,78	152722778	0,20	30544,56	2,33	90	64051,9	3
Soya	29,72	29722	0,20	5,94	2,33	90	12,5	0
Sorgum	338,89	338889	0,20	67,78	2,33	90	142,1	0
Kolza	587,78	587778	0,20	117,56	2,33	90	246,5	0
Orman Atıkları	11111,11	11111111	0,20	2222,22	2,33	90	4660,0	0
Evsel Katı Atık	108065,15	108065150	0,20	21613,03	2,33	90	45322,5	2
Toplam				1209792				130

Şekil A.3: Piroliz tesisi için hesaplamalar.

Atık Tipi	Sistemde Kullanılacak Ürün ton/gün	üretim ton/yıl	Biyokütle Besleme Debisi, kg/h	Singazın Hacimsel Debisi, Nm3/h	Singaz LHV, MJ/Nm3	Yakıt Debisi, kg/h	Gazın Kimyasal Enerjisi, kW	Gaz Verimi, %	Yakıtın Kimyasal Enerjisi, kW	Elektrik Enerjisi Verimi, %	Elektrik Enerjisi, MW
Büyükbaş Hayvan Dışkısı	2106,22	7582388	87759	175518	4,3	87759	209647	69	303836	25	76
Küçükbaş Hayvan Dışkısı	417,38	1502572	17391	34782	4,3	17391	41545	69	60210	25	15
Kanatlı Hayvan Dışkısı	119,95	431833,7	4998	9996	4,3	4998	11940	69	17304	25	4
Mısır Sılajı	407,81	1468100	16992	33984	4,3	16992	40592	69	58829	25	15
Şeker Pancarı	1559,47	5614078	64978	129956	4,3	64978	155225	69	224963	25	56
Arpa	224,79	809258	9366	18733	4,3	9366	22375	69	32428	25	8
Buğday	568,14	2045298	23672	47345	4,3	23672	56551	69	81958	25	20
Ayçiçeği	58,98	212312	2457	4915	4,3	2457	5870	69	8508	25	2
Yonca	313,37	1128138	13057	26114	4,3	13057	31192	69	45206	25	11
Patates	152,72	549802	6363	12727	4,3	6363	15202	69	22031	25	6
Soya	0,03	107	1	2	4,3	1	3	69	4	25	0
Sorgum	0,34	1220	14	28	4,3	14	34	69	49	25	0
Kolza	0,59	2116	24	49	4,3	24	59	69	85	25	0
Orman Atıkları	11,11	40000	463	926	4,3	463	1106	69	1603	25	0
Evsel Katı Atık	108,07	389034,5	4503	9005	4,3	4503	10756	69	15589	25	4
Toplam											218

Şekil A.4: Gazlaştırma tesisi için hesaplamalar.

Atık Tipi	Sistemde Kullanılacak Ürün ton/gün	Üretim kg/gün	Alt Isıl Değer, LHV (MJ/kg)	Mevcut Yakıt Enerjisi, MW	Buhar Kazanı Verimi, %	Termik Güç, MWth	Elektrik Enerjisi verimi, %	Elektrik Enerjisi, MWh/h
Büyükbaş Hayvan Dışkısı	2.106,2	2.106.218,8	19,7	480,5	90,0	432,4	30,0	129,7
Küçükbaş Hayvan Dışkısı	417,4	417.381,2	18,9	91,1	90,0	82,0	30,0	24,6
Kanatlı Hayvan Dışkısı	120,0	119.953,8	18,3	25,5	90,0	22,9	30,0	6,9
Mısır Sılajı	407,8	407.805,6	18,0	85,0	90,0	76,5	30,0	22,9
Şeker Pancarı	1.559,5	1.559.466,1	17,4	314,8	90,0	283,3	30,0	85,0
Arpa	224,8	224.793,9	18,2	47,3	90,0	42,6	30,0	12,8
Buğday	568,1	568.138,3	27,8	183,1	90,0	164,8	30,0	49,4
Ayçiçeği	59,0	58.975,6	18,3	12,5	90,0	11,2	30,0	3,4
Yonca	313,4	313.371,7	19,3	70,1	90,0	63,1	30,0	18,9
Patates	152,7	152.722,8	-	-	90,0	-	30,0	-
Soya	0,0	29,7	-	-	90,0	-	30,0	-
Sorgum	0,3	338,9	18,2	0,1	90,0	0,1	30,0	0,0
Kolza	0,6	587,8	24,0	0,2	90,0	0,1	30,0	0,0
Orman Atıkları	11,1	11.111,1	19,1	2,5	90,0	2,2	30,0	0,7
Evsel Katı Atık	108,1	108.065,2	18,7	23,3	90,0	21,0	30,0	6,3
Toplam								360,7

Şekil A.5: Yakma tesisi için hesaplamalar.

EK B: Senaryo A hesaplamaları

Çizelge B.1: Senaryo A'ya ait finansal analiz.

GELİR TABLOSU		**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**2035**	**2036**	**2037**	**2038**	**2039**
	Birim	Proje Geliştirme	İnşaat																				
Elektrik Geliri	k USD	-	-	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	93.947	101.462	109.579	118.346	127.813.	138.038	149.082	161.008	173.889	187.799
İşletme Giderleri	k USD		0	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780
Amortisman	k USD			24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	24.941	0	0	0	0	0
EBITDA	k USD	0	0	70.074	70.074	70.074	70.074	70.074	63.166	63.166	63.166	63.166	63.166	65.225	72.741	80.858	89.624	99.092	134.259	145.302	157.228	170.108	184.020
Faiz	k USD			46.901	44.777	42.652	40.566	38.404	36.280	34.156	32.046	29.907	27.783	0	0								
Vergi Öncesi Kazanç	k USD		0	23.174	25.298	27.422	29.508	31.670	26.886	29.010	31.120	33.258	35.383	65.225	72.741	80.858	89.624	99.092	134.259	145.302	157.228	170.109	184.020
Gelir Vergisi (20%)	k USD		0	4.635	5.060	5.484	5.902	6.334	5.377	5.802	6.223	6.652	7.077	13.045	14.548	16.172	17.925	19.818	26.852	29.060	31.446	34.022	36.804
Net Kar	k USD	0	0	18.539	20.238	21.938	23.607	25.336	21.509	23.208	24.896	26.607	28.306	52.180	58.193	64.686	71.699	79.274	107.407	116.241	125.783	136.087	147.216
NAKİT AKIŞ																							
Satış Gelirleri	k USD	0	0	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	98.796	93.947	101.462	109.579	118.346	127.813.	138.038	149.082	161.008	173.889	187.799
İşletme Giderleri	k USD	0	0	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780
Banka Ödemeleri	k USD	0	0	-46.901	-44.777	-42.652	-40.566	-38.404	-36.279	-34.155	-32.046	-29.907	-27.783	0	0								
Vergi (20%)	k USD		0	-4.635	-5.060	-5.484	-5.902	-6.334	-5.377	-5.802	-6.223	-6.652	-7.077	-13.045	-14.548	-16.172	-17.925	-19.818	-26.852	-29.060	-31.446	-34.022	-36.804
Net Nakit Akışı	k USD		0	43.480	45.179	46.879	48.548	50.277	46.450	48.149	49.837	51.548	53.247	77.121	83.134	89.627	96.640	104.215	107.406	116.241	125.782	136.087	147.215
Sermaye Nakit Akışı	k USD k USD	-8.000	-104.236	43.480	45.179	46.879	48.548	50.277	46.450	48.149	49.837	51.548	53.247	77.121	83.134	89.627	96.640	104.215	107.406	116.241	125.782	136.087	147.215
Kümülatif Nakit Akışı	k USD	-8.000	-112.236	-68.756	-23.576	23.302	71.850	122.128	168.578	216.728	266.565	318.113	371.360	448.482	531.616	621.244	717.885	822.100	929.507	1.045.748	1.171.530	1.307.617	1.454.833
EBITDA	k USD	0	0	95.015	95.015	95.015	95.015	95.015	88.107	88.107	88.107	88.107	88.107	90.166	97.682	105.799	114.565	124.033	134.258	145.301	157.228	170.108	184.019
Vergi Sonrası Nakit Akımı	k USD		-374.121	90.381	89.956	89.531	89.114	88.681	82.729	82.305	81.883	81.455	81.030	77.121	83.134	89.627	96.640	104.215	107.406	116.241	125.782	136.087	147.215
BSKO				2,02	2,11	2,21	2,32	2,44	2,42	2,57	2,74	2,93											
Başabaş Noktası	%			73%	71%	69%	67%	64%	67%	65%	62%	60%	28%	28%	26%	24%	22%	20%	0%	0%	0%	0%	0%
Nakit Akışı	k USD	0	-8.0000	-104.236	43.480	45.179	46.879	48.548	50.277	46.450	48.149	49.837	51.548	53.247	77.121	83.134	89.627	96.640	104.215	107.406	116.241	125.782	136.087
Kümülatif Nakit Akışı	k USD	0	-8.0000	-112.236	-68.756	-23.576	23.302	71.850	122.128	168.578	216.728	266.565	318.113	371.360	448.482	531.616	621.244	717.885	822.100	929.507	1.045.748	1.171.530	1.307.617
Brüt Kazanç	k USD		0	0	95.015	95.015	95.015	95.015	95.015	88.107	88.107	88.107	88.107	88.107									
Kredi Geri Ödemeleri	k USD		0	0	-44.776	-42.652	-40.566	-38.404	-36.279	-34.155	-32.046	-29.907	-27.783	0									
Net Kazanç	k USD		0	0	50.239	52.363	54.449	56.611	58.736	53.951	56.061	58.199	60.323										

Çizelge B.2: Senaryo A'ya ait ekonomiklik tablosu.

Öz Sermaye İKO (Equity IRR)	%	41
Proje İKO (IRR)	%	23
Net Bugünkü Değer (NPV)	$	536.041.096
İskonto Oranı	%	10
Geri Dönüşüm Süresi (Payback Period)	YIL	6,2
Proje Maliyeti	$	374.121.680

EK C: Senaryo B hesaplamaları

Çizelge C.1: Senaryo B'ye ait finansal analiz.

GELİR TABLOSU	Birim	2018 Proje Geliştirme	2019 İnşaat	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Elektrik Geliri	k USD	-	-	124.644	124.644	124.644	124.644	124.644	117.572	117.572	117.572	117.572	117.572	120.207	129.823	140.209	151.426	163.540	176.624	190.753	206.014	222.495	240.295
İşletme Giderleri	k USD		0	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780
Amortisman	k USD			55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	55.833	0	0	0	0	0
EBITDA	k USD	0	0	65.030	65.030	65.030	65.030	65.030	57.958	57.958	57.958	57.958	57.958	60.594	70.210	80.596	91.813	103.927	172.844	186.973	202.234	218.715	236.515
Faiz	k USD			104.990	100.235	95.480	90.810	85.970	81.215	76.459	71.737	66.949	62.194	0	0								
Vergi Öncesi Kazanç	k USD		0	-39.960	-35.204	-30.449	-25.779	-20.939	-23.256	-18.501	-13.778	-8.990	-4.235	60.594	70.210	80.596	91.813	103.927	172.844	186.973	202.234	218.715	236.515
Gelir Vergisi (20%)	k USD		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.118	14.042	16.119	18.362	20.785	34.568	37.394	40.446	43.743	47.303
Net Kar	k USD	0	0	-39.960	-35.204	-30.449	-25.779	-20.939	-23.256	-18.501	-13.778	-8.990	-4.235	48.475.	56.168	64.477	73.450	83.142	138.275	149.579	161.787	174.972	189.212
NAKİT AKIŞ																							
Satış Gelirleri	k USD	0	0	124.644	124.644	124.644	124.644	124.644	117.572	117.572	117.572	117.572	117.572	120.207	129.823	140.209	151.426	163.540	176.624	190.753	206.014	222.495	240.295
İşletme Giderleri	k USD	0	0	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780
Banka Ödemeleri	k USD	0	0	-104.990	-100.235	-95.480	-90.810	-85.970	-81.215	-76.459	-71.737	-66.949	-62.194	0	0								
Vergi (20%)	k USD		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-12.118	-14.042	-16.119	-18.362	-20.785	-34.568	-37.394	-40.446	-43.743	-47.303
Net Nakit Akışı	k USD		0	15.873	20.628	25.383	30.053	34.893	32.576	37.332	42.054	46.842	51.597	104.308	112.001	120.310	129.283	138.975	138.275	149.579	161.787	174.972	189.212
Sermaye Nakit Akışı	k USD k USD	-8.000	-243.249	15.873	20.628	25.383	30.053	34.893	32.576	37.332	42.054	46.842	51.597	104.308	112.001	120.310	129.283	138.975	138.275	149.579	161.787	174.972	189.212
Kümülatif Nakit Akışı	k USD	-8.000	-251.249	-235.376	-214.748	-189.364	-159.310.	-124.416	-91.839	-54.507	-12.453	34.389	85.986	190.295	302.297	422.607	551.891	690.866	829.142	978.721	1.140.508	1.315.481	1.504.693
EBITDA	k USD	0	0	120.864	120.864	120.864	120.864	120.864	113.792	113.792	113.792	113.792	113.792	116.427	126.043	136.429	147.646	159.760	172.844	186.973	202.234	218.715	236.515
Vergi Sonrası Nakit Akımı	k USD		-837.499	120.864	120.864	120.864	120.864	120.864	113.792	113.792	113.792	113.792	113.792	104.308	112.001	120.310	129.283	138.975	138.275.	149.579	161.787	174.972	189.212.
BSKO				1,21	1,27	1,33	1,41	1,49	1,49	1,59	1,70	1,83											
Başabaş Noktası	%			129%	125%	121%	117%	113%	116%	112%	108%	104%	49%	48%	44%	41%	38%	35%	0%	0%	0%	0%	0%
Nakit Akışı	k USD	0	-8.000	-243.249	15.873	20.628	25.383	30.053	34.893	32.576	37.332	42.054	46.842	51.597	104.308	112.001	120.310	129.283	138.975	138.275	149.579	161.787	174.972
Kümülatif Nakit Akışı	k USD	0	-8.000	-251.249	-235.376	-214.748	-189.364	-159.310	-124.416	-91.839	-54.507	-12.453	34.389	85.986	190.295	302.297	422.607	551.891	690.866	829.142	978.721	1.140.508	1.315.481
Brüt Kazanç	k USD		0	0	120.864	120.864	120.864	120.864	120.864.	113.792	113.792	113.792	113.792	113.792									
Kredi Geri Ödemeleri	k USD		0	0	-100.235	-95.480	-90.810	-85.970	-81.215	-76.459	-71.737	-66.949	-62.194	0									
Net Kazanç	k USD		0	0	20.628	25.383	30.053	34.893	39.648	37.332	42.045	46.842	51.597	113.792									

Çizelge C.2: Senaryo B'ye ait ekonomiklik tablosu.

Öz Sermaye İKO (Equity IRR)	%	17
Proje İKO (IRR)	%	13
Net Bugünkü Değer (NPV)	$	509.596.879
İskonto Oranı	%	10
Geri Dönüşüm Süresi (Payback Period)	YIL	10,1
Proje Maliyeti	$	837.449.000

EK D: Senaryo C hesaplamaları

Çizelge D.1: Senaryo C'ye ait finansal analiz.

GELİR TABLOSU	Birim	**2018** Proje Geliştirme	**2019** İnşaat	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**2035**	**2036**	**2037**	**2038**	**2039**
Elektrik Geliri	k USD	-	-	211.983	211.983	211.983	211.983	211.983	197.159	197.159	197.159	197.159	197.159	201.578	217.704	235.121	253.930	274.245	296.184	319.879	345.470	373.107	402.956
İşletme Giderleri	k USD		0	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780
Amortisman	k USD			110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	110.341	0	0	0	0	0
EBITDA	k USD	0	0	97.861	97.861	97.861	97.861	97.861	83.037	83.037	83.037	83.037	83.037	87.457	103.583	120.999	139.809	160.123	292.404	316.099	341.690	369.327	399.176
Faiz	k USD			207.489	198.092	188.694	179.464	169.900	160.502	151.105	141.772	132.310	122.912	0	0								
Vergi Öncesi Kazanç	k USD		0	-109.627	-100.230	-90.833	-81.603	-72.038	-77.464	-68.067	-58.734	-49.272	-39.875	87.457	103.583	120.999	139.809	160.123	292.404	316.099	341.690	369.327	399.176
Gelir Vergisi (20%)	k USD		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.491	20.716	24.199	27.961	32.024	58.480	63.219	68.338	73.865	79.835
Net Kar	k USD	0	0	-109.627	-100.230	-90.833	-81.603	-72.038	-77.464	-68.067	-58.734	-49.272	-39.875	69.965	82.866	96.799	111.847	128.099	233.923	252.879	273.352	295.462	319.341
NAKİT AKIŞ																							
Satış Gelirleri	k USD	0	0	211.983	211.983	211.983	211.983	211.983	197.159	197.159	197.159	197.159	197.159	201.578	217.704	235.121	253.930	274.245	296.184	319.879	345.470	373.107	402.956.
İşletme Giderleri	k USD	0	0	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780
Banka Ödemeleri	k USD	0	0	-207.489	-198.092	-188.694	-179.464	-169.900	-160.502	-151.105	-141.772	-132.310.	-122.912	0	0								
Vergi (20%)	k USD		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-17.491	-20.716	-24.199	-27.961	-32.024	-58.480	-63.219	-68.338	-73.865	-79.835
Net Nakit Akışı	k USD		0	7.135	10.110	19.508	28.738	38.303	32.876	42.273	51.607	61.068	70.466.	180.307	193.208	207.141	222.188	238.440	233.923	252.879	273.352	295.462	319.341
Sermaye Nakit Akışı	k USD k USD	-8.000	-488.536	713.503	10.110	19.508	28.738	38.303	32.876	42.273	51.607	61.068	70.466	180.307	193.208	207.141	222.188	238.440	233.923	252.879	273.352	295.462	319.341
Kümülatif Nakit Akışı	k USD	-8.000	-496.536	-495.822	-485.712	-466.203	-437.465	-399.162	-366.285	-324.011	-272.404	-211.335	-140.869	39.437	232.645	439.786	661.975	900.416	1.134.340	1.387.220	1.660.572	1.956.034	2.275.375
EBITDA	k USD	0	0	208.203	208.203	208.203	208.203	208.203	193.379	193.379	193.379	193.379	193.379	197.798	213.924	231.341	250.150	270.465	292.404	316.099	341.690	369.327	399.176
Vergi Sonrası Nakit Akımı	k USD		-1.655.121	208.203	208.203	208.203	208.203	208.203	193.379	193.379	193.379	193.379	193.379	180.307	193.208	207.141	222.188	238.440	233.923	252.879	273.352	295.462	319.341
BSKO				1,05	1,10	1,16	1,23	1,30	1,28	1,36	1,46	1,57											
Başabaş Noktası	%			148%	144%	139%	135%	130%	135%	130%	125%	121%	57%	56%	52%	48%	44%	41%	0%	0%	0%	0%	0%
Nakit Akışı	k USD	0	-8.0000	-488.536	713	10.110	19.508	28.738	38.303	32.876	42.273	51.607	61.068	70.466	108.307	193.208	207.141	222.188	238.44	233.923	252.879	273.352	295.462
Kümülatif Nakit Akışı	k USD	0	-8.0000	-496.536	-495.822	-485.712	-466.203	-437.465	-399.162	-366.285	-324.011	-272.404	-211.335	-140.869	39.437	232.646	439.786	661.975	900.417	1.134.340	1.387.220	1.660.572	1.956.034
Brüt Kazanç	k USD		0	0	208.203	208.203	208.203	208.203	208.203	193.739	193.739	193.739	193.739	193.739									
Kredi Geri Ödemeleri	k USD		0	0	-198.092	-188.694	-179.464	-169.502	-160.502	-151.105	-141.772	-132.310	-122.912	0									
Net Kazanç	k USD		0	0	10.110	19.508	28.738	38.303	47.701	42.274	51.607	61.068	70.466	193.379									

Çizelge D.2: Senaryo C'ye ait ekonomiklik tablosu.

Öz Sermaye İKO (Equity IRR)	%	13
Proje İKO (IRR)	%	11
Net Bugünkü Değer (NPV)	$	730.699.694
İskonto Oranı	%	10
Geri Dönüşüm Süresi (Payback Period)	YIL	11,7
Proje Maliyeti	$	1.655.121.400

EK E: Senaryo D hesaplamaları

Çizelge E.1: Senaryo D'ye ait finansal analiz.

GELİR TABLOSU	Birim	**2018** Proje Geliştirme	**2019** İnşaat	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**2035**	**2036**	**2037**	**2038**	**2039**
Elektrik Satış Geliri	k USD	-	-	374.782	374.782	374.782	374.782	374.782	330.106	330.106	330.106	330.106	330.106	337.505	364.505	393.666	425.159	459.172	495.906	535.578	578.424	624.698	674.674
İşletme Giderleri	k USD		0	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780	3.780
Amortisman	k USD			127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	127.939	0	0	0	0	0
EBITDA	k USD	0	0	243.062	243.062	243.062	243.062	243.062	198.386	198.386	198.386	198.386	198.386	205.785	232.785	261.946	293.439	327.452	492.126	531.798	574.644	620.918	670.894
Faiz	k USD			240.582	229.686	218.789	208.087	196.997	186.101	175.205	164.383	153.412	142.516	0	0								
Vergi Öncesi Kazanç	k USD		0	2.479	13.376	24.272	34.974	46.064	12.284	23.181	34.002	44.973	55.869	205.785	232.785	261.946	293.439	327.452	492.126	531.798.	574.644	620.918.	670.894
Gelir Vergisi (20%)	k USD		0	496	2.675.	4.854	6.994	9.212	2.456	4.636	6.800	8.994	11.173	41.157	46.557	52.389	58.687	65.490	98.425	106.359	114.928	124.183	134.178
Net Kar	k USD	0	0	1.983	10.700	19.417	27.979	36.851	9.827	18.544	27.202	35.978	44.695	164.628	186.228	209.557	234.751	261.961	393.700	425.438	459.715	496.735	536.715
NAKİT AKIŞ																							
Satış Gelirleri	k USD	0	0	374.782	374.782	374.782	374.782	374.782	330.106	330.106	330.106	330.106	330.106	337.505	364.505	393.666	425.159	459.172	495.906	535.578	578.424	624.698	674.674
İşletme Giderleri	k USD	0	0	0	0	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780	-3.780
Banka Ödemeleri	k USD	0	0	-240.582	-229.686	-218.789	-208.087	-196.997	-186.101	-175.205	-164.383	-153.412	-142.516	0	0								
Vergi (20%)	k USD		0	-495	-2.675	-4.854	-6.994	-9.212	-2.456	-4.636	-6.800	-8.994	-11.173	-41.157	-46.557	-52.389	-58.687	-65.490	-98.425	-106.359	-114.928	-124.183	-134.178
Net Nakit Akışı	k USD		0	129.923	138.640	147.357	155.919	164.791	137.767	146.484	155.141	163.918	172.635	292.568	314.168	337.496	362.691	389.901	393.700	425.438	459.715	496.735	536.715
Sermaye	k USD																						
Nakit Akışı	k USD	-8.000	-567.729	129.923	138.640	147.357	155.919	164.791	137.767	146.484	155.141	163.918	172.635	292.568	314.168	337.496	362.691	389.901	393.700	425.438	459.715	496.735	536.715
Kümülatif Nakit Akışı	k USD	-8.000	-575.729	-445.805	-307.164	-159.806	-3.887	160.904	298.671	445.156	600.298	764.217	936.852	1.229.421	1.543.589	1.881.086	2.243.778	2.633.679	3.027.380	3.452.819	3.912.535	4.409.270	4.945.986.
EBITDA	k USD	0	0	371.002	371.002	371.002	371.002	371.002	326.326	326.326	326.326	326.326	326.326	333.725	360.725	389.886	421.379	455.392	492.126	531.798	576.644	620.918	670.894
Vergi Sonrası Nakit Akımı	k USD		-1.919.097	370.506	368.326	366.147	364.007	361.789	323.869	321.689	319.525	317.331	315.152	292.568	314.168	337.496	362.691	389.901	393.700	425.438	459.715	496.735	536.715
BSKO				1,61	1,68	1,76	1,85	1,94	1,85	1,96	2,08	2,23											
Başabaş Noktası	%			96%	93%	91%	88%	85%	93%	90%	86%	83%	39%	38%	35%	33%	30%	28%	0%	0%	0%	0%	0%
Nakit Akışı	k USD	0	-8.000	-567.729	129.923	138.640	147.357	155.919	164.791	137.767	146.484	155.141	163.918	172.635	292.568	314.168	337.496	362.691	389.901	393.700	425.438	459.715	496.735
Kümülatif Nakit Akışı	k USD		-8.000	-575.729	-445.805	-307.164	-159.806	-3.8870	160.904	298.671	445.156	600.298	764.217	936.852.	1.229.421	1.543.589	1.881.086	2.243.778	2.633.679	3.027.380	3.452.819	3.912.535	4.409.270
brüt kazanç	k USD		0	0	371.002.	371.002.	371.002	371.002.	371.002.	326.326	326.326	326.326.	326.326.	326.326.									
kredi geri ödemeleri	k USD		0	0	-229.686	-218.789	-208.087	-196.997	-186.101	-175.205	-164.383.	-153.412	-142.516	0									
net kazanç	k USD		0	0	141.315	152.212	162.914	174.004	184.900	151.120	161.942.	172.913	183.809.	326.326									

Çizelge E.2: Senaryo D'ye ait ekonomiklik tablosu.

ÖZ SERMAYE İKO (EQUİTY IRR)	%	28
PROJE İKO (IRR)	%	18
NET BUGÜNKÜ DEĞER (NPV)	$	1.816.398.746
İSKONTO ORANI	%	10
GERİ DÖNÜŞÜM SÜRESİ (PAYBACK PERIOD)	YIL	6,9
PROJE MALİYETİ	$	1.919.097.000

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Muhammet ER

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 16.05.1986 / Konya

E-posta **:** mu.er@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2010, Selçuk Üni., Müh. Mim. Fakültesi, Makine Müh.

MESLEKİ DENEYİM:

- 2012-2013 yılları arasında KOS Enerji
- 2014-… yılları arasında Topkapı Endüstri – GE Jenbacher Gaz Motorları