

**TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU**  
**MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ**  
**ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ VERİMLİ VE ENERJİ POZİTİF ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN**  
**GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ**

5178602  
(ÇTÜE.17.384)

**NIHAİ RAPOR**

**CİLT 2**

**PROJE SAHİBİ KURUM: ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI**  
**ÇEVRE YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

Haziran 2018  
GEBZE, KOCAELİ

# **ENERJİ VERİMLİ VE ENERJİ POZİTİF ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ**

## **NIHAİ RAPOR CİLT 2**

**5178602**  
(ÇTÜE.17.384)

Gebze, KOCAELİ  
HAZİRAN, 2018

# ENERJİ VERİMLİ VE ENERJİ POZİTİF ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

## NİHAİ RAPOR CİLT 2

5178602

(ÇTÜE.17.384)

Dr. Selda MURAT HOCAOĞLU  
Proje Yürütücüsü

		Dr. Selda MURAT HOCAOĞLU	Y. Müh. Namık ÜNLÜ			
00	18.06.2018	Y. Müh. Recep PARTAL	Y. Müh. Mehtap DURSUN	Y. Müh. İrfan BAŞTÜRK	Doç. Dr. Haldun KARAN Ens. Md. Yrd.	Dr. Selma AYAZ Ens. Müdürü
<b>Güncel</b>	<b>Tarih</b>	<b>Hazırlayanlar</b>			<b>Kontrol Eden</b>	<b>Onaylayan</b>

Gebze, KOCAELİ  
HAZİRAN, 2018

## HAZIRLAYANLAR

### TÜBİTAK MAM

Soyadı	Çalıştığı Birim	E-Posta Adresi	Projedeki Sorumluluğu
Dr. Selda MURAT HOCAOĞLU	ÇTÜE	selda.murat@tubitak.gov.tr	Proje Yürütücüsü
Dr. Nur FINDIK ÇINAR	ÇTÜE	nur.findik@tubitak.gov.tr	Proje Yürütücüsü Yrd.
Recep PARTAL	ÇTÜE	recep.partal@tubitak.gov.tr	Proje Yürütücüsü Yrd.
Mehtap DURSUN	ÇTÜE	mehtap.dursun@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
İrfan BAŞTÜRK	ÇTÜE	irfan.basturk@tubitak.gov.tr	Uzman Araştırmacı
Dr. Şebnem KOYUNLUOĞLU AYNUR	ÇTÜE	sebnem.aynur@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Dr. Cihangir AYDÖNER	ÇTÜE	cihangir.aydoner@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Pamir TALAZAN	ÇTÜE	pamir.talazan@tubitak.gov.tr	Uzman Yardımcısı
Namık ÜNLÜ	EE	namik.unlu@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Aslı SAYAR	EE	asli.sayar@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Berrin ENGİN	EE	berrin.engin@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Kader ÖZGÜR BÜYÜKSAKALLI	EE	kader.ozgur@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Fatih AYNACI	EE	fatih.aynaci@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Özgür GÜRSANLI	EE	ozgur.gursanli@tubitak.gov.tr	Uzman Araştırmacı
Dr. Özgür KARACASU	EE	ozgur.karacasu@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
<b>YARDIMCI ELEMANLAR</b>			
Sedat ÇELİK	ÇTÜE	sedat.celik@tubitak.gov.tr	Başteknisyen
İlker BAKIR	ÇTÜE	ilker.bakir@tubitak.gov.tr	Uzman Teknisyen
Coşkun DUMAN	ÇTÜE	coskun.duman@tubitak.gov.tr	Uzman Teknisyen

ÇTÜE : Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü

EE : Enerji Enstitüsü

### **T.C. ÇEVRE ve ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI ÇEVRE YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

Muhammet ECEL	ÇŞB	muhammet.ecel@cb.gov.tr	Genel Müdür
Recep AKDENİZ	ÇŞB	recep.akdeniz@csb.gov.tr	Genel Müdür Yrd.
<b>Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı</b>			
Ercan GÜLAY	ÇŞB	ercan.gulay@csb.gov.tr	Daire Başkanı
Elif ÖZCAN	ÇŞB	elif.ozcan@csb.gov.tr	Şube Müdürü
Lütfiye DUMLU YILDIRIM	ÇŞB	lutfiye.dumlu@csb.gov.tr	Çevre ve Şehircilik Uzmanı
Çiğdem BUDAK	ÇŞB	cigdem.budak@csb.gov.tr	Çevre ve Şehircilik Uzmanı
Yılmaz ŞENGÜL	ÇŞB	yilmaz.sengul@csb.gov.tr	Çevre Mühendisi

Engin AYAR	ÇŞB	engin.ayar@csb.gov.tr	Çevre Mühendisi
M.Bariş PEKCAN	ÇŞB	mbpekcan@csb.gov.tr	Çevre Mühendisi
Tuğba İMRE ŞAHİN	ÇŞB	tugba.sahin@csb.gov.tr	Çevre Mühendisi

## DESTEK VERENLER

DANIŞMANLIK/HİZMET ALIMI		
Prof. Dr. Bariş ÇALLI	Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü	Atıksuların Arıtımı ve Yönetimi
Yrd. Doç. Dr. Neslihan SEMERCİ		

- Proje kapsamında üretilen her türlü veri, rapor ve benzeri bilgi ve belgenin bütün hakları saklıdır. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan yazılı izin alınmadan kısmen veya tamamen alıntı yapılamaz, hiçbir şekilde kopya edilemez, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.
- Bu raporlardaki verilere uyulmaksızın üretilecek ürünlerden TÜBİTAK MAM sorumlu değildir. Bu rapor kurumdan izin alınmadan reklam amaçlı kullanılamaz.

### Yazışma Adresi:

P.K. 21 41470 Gebze KOCAELİ  
T 0 262 677 20 00 F 0 262 641 23 09  
<http://www.mam.gov.tr>

## İÇİNDEKİLER

<b>TABLOLAR DİZİNİ</b> .....	<b>3</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>5</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>8</b>
<b>1 GİRİŞ</b> .....	<b>14</b>
<b>2 YENİLENEBİLİR ENERJİNİN BÖLGELER BAZINDA POTANSİYELİ</b> .....	<b>17</b>
2.1 Biyokütle .....	17
2.1.1 Biyokütle Potansiyeli .....	18
2.1.2 Arıtma Tesislerindeki Biyokütle Potansiyeli .....	35
2.1.3 Biyokütlenin AAT’lerde Enerji Üretimine Yönelik Kullanım İmkânları .....	43
2.2 Hidroelektrik .....	69
2.2.1 Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli .....	69
2.2.2 Hidroelektrik Enerji Sistemleri .....	73
2.2.3 Hidroelektrik Enerjinin AAT Enerji Üretimine Yönelik Kullanım İmkânları .....	79
2.3 Rüzgâr .....	80
2.3.1 Türkiye Rüzgâr Potansiyeli .....	80
2.3.2 Rüzgâr Enerji Sistemleri .....	87
2.3.3 Rüzgâr Enerjisinin AAT Enerji Üretimine Yönelik Kullanım İmkânları .....	91
2.4 Güneş .....	92
2.4.1 Türkiye Güneş Potansiyeli (Elektrik) .....	92
2.4.2 Güneş Enerji Sistemleri .....	99
2.4.3 Güneş ile Kurutma .....	107
2.4.4 Güneş Enerjisinin AAT Enerji Üretimine Yönelik Kullanım İmkânları .....	111
<b>3 YENİLENEBİLİR ENERJİNİN AAT’LERDE KULLANIMINA YÖNELİK ULUSAL ve ULUSLARARASI UYGULAMA ÖRNEKLERİ</b> .....	<b>114</b>
3.1 Biyokütle .....	114
3.2 Biyogaz .....	120
3.3 Hidroelektrik .....	128
3.4 Rüzgâr .....	133
3.5 Güneş .....	136
3.6 Teknik İncelemeler .....	141
3.6.1 Kocaeli (İSU Genel Müdürlüğü ve İSAŞ).....	141
3.6.2 Bursa – BUSKİ Genel Müdürlüğü .....	143



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 2/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

3.6.3	Ankara - ASKİ Genel Müdürlüğü.....	147
<b>4</b>	<b>ARITMA TESİSLERİ İÇİN ÖRNEK HESAPLAMALAR.....</b>	<b>149</b>
4.1	Güneşten Elektrik Üretimi İçin Örnek Hesaplama.....	149
4.2	Hidroelektrikten Elektrik Üretimi İçin Örnek Hesaplama.....	153
4.3	Rüzgârdan Elektrik Üretimi için Örnek Hesaplama .....	157
4.4	Arıtma Çamuru Yakma İçin Örnek Hesaplama .....	161
<b>5</b>	<b>TÜRKİYE’DE UYGULANAN YENİLENEBİLİR ENERJİ TEŞVİKLERİ.....</b>	<b>168</b>
5.1	Sabit Fiyat Garantisi.....	168
5.2	Lisanssız Üretim Hakkı.....	170
5.3	Türkiye’de Yeni Yatırımları Özendirmeye Yönelik Teşvikler.....	171
5.3.1	Genel teşvik uygulamaları.....	171
5.3.2	Bölgesel teşvik uygulamaları.....	171
5.3.3	Büyük ölçekli yatırımların teşviki .....	172
5.3.4	Stratejik yatırımların teşviki .....	172
<b>6</b>	<b>SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>173</b>
<b>7</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>181</b>

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1 Temel biyokütle grupları ve alt grupları .....	18
Tablo 2.2 Hayvansal atıkların il bazında dağılımı (ton/yıl) ve enerji içeriği (TEP/yıl).....	19
Tablo 2.3 Türkiye’de ormanlık alanın ülke genel alanına oranı .....	22
Tablo 2.4 Türkiye orman varlığı atıkları (ster/yıl).....	23
Tablo 2.5 Bazı bahçe ürünlerinin budama katsayısı .....	26
Tablo 2.6 Bölgesel olarak değişen toplam budama atığı.....	26
Tablo 2.7 Bazı tarımsal ürünlere ait atık üretimi katsayısı (ton/dekar).....	27
Tablo 2.8 Bölgesel bazlı tarım ürünlerinin ekilen alanları yıllık (dekar).....	27
Tablo 2.9 Bölgesel bazlı elde edilen bazı tarım ürünlerinin yıllık atık miktarları (ton/dekar)...	28
Tablo 2.10 Bitkisel atık miktarlarının ve enerji içeriklerinin olarak il bazında dağılımı .....	29
Tablo 2.11 Kentsel katı atıkların il bazında dağılımı ve organik atıkların enerji içeriği .....	32
Tablo 2.12 İllere göre arıtma çamuru enerji içeriği (TEP).....	37
Tablo 2.13 Belediye atıksu göstergeleri, 1994-2016 .....	39
Tablo 2.14 İmalat sanayi atıksu göstergeleri, 2000 – 2016 .....	42
Tablo 2.15 Termokimyasal teknolojilerin kıyaslaması .....	44
Tablo 2.16 Biyogazın genel karakterizasyonu .....	49
Tablo 2.17 Hayvan cinsi bazında üretilebilecek yıllık yaş gübre ve biyogaz miktarları .....	54
Tablo 2.18 Hayvansal atıkların il bazında biyogaz potansiyeli (m <sup>3</sup> metan/ yıl).....	54
Tablo 2.19 Bazı tarımsal ürünlerin metan üretimi.....	57
Tablo 2.20 Bazı tarım ürünlerinin atıklarından elde edilebilecek miktarı (m <sup>3</sup> metan/yıl).....	57
Tablo 2.21 Budama atıklarının biyogaz potansiyeli (Nm <sup>3</sup> /Ton) .....	58
Tablo 2.22 Orman varlığı atığı bölgesel dağılımı ve elde edilebilecek metan miktarı .....	59
Tablo 2.23 Organik belediye atıklarından elde edilebilecek biyogaz miktarı (m <sup>3</sup> /yıl).....	60
Tablo 2.24 Yurdumuzda faaliyet gösteren biyokütle esaslı elektrik üretimi gerçekleştiren işletmeler.....	63
Tablo 2.25 Türkiye’nin HES durumu .....	71
Tablo 2.26 Türbinlerin su düşüsüne göre sınıflandırılması.....	77
Tablo 2.27 50 m Yükseklikte Türkiye kara rüzgâr potansiyeli.....	81
Tablo 2.28 50 m Yükseklikte Türkiye deniz rüzgâr potansiyeli .....	82
Tablo 2.29 10 m yükseklikte bölgesel ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu .....	82
Tablo 2.30 Rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı.....	84



Tablo 2.31 Büyüklüklerine göre türbinlerin karşılaştırılması .....	89
Tablo 2.32 Rüzgârı alış yönüne göre türbinlerin karşılaştırılması .....	89
Tablo 2.33 Kanat çeşitlerine göre türbinlerin karşılaştırılması .....	89
Tablo 2.34 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı .....	95
Tablo 3.1 Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi arıtma çamuru yakma tesisi verileri....	115
Tablo 4.1 Tatlar AAT yıllık toplam radyasyon değeri.....	149
Tablo 4.2 Kayıplar .....	150
Tablo 4.3 Piyasa araştırması ortalama değerleri.....	150
Tablo 4.4 İlk yatırım maliyet kalemleri.....	151
Tablo 4.5 Yıllık işletme maliyet kalemleri .....	152
Tablo 4.6 Verim tablosu.....	154
Tablo 4.7 Piyasa araştırması ortalama değerleri.....	154
Tablo 4.8 İlk yatırım maliyet kalemleri.....	155
Tablo 4.9 Yıllık işletme maliyet kalemleri .....	155
Tablo 4.10 Verim tablosu.....	158
Tablo 4.11 Piyasa araştırması ortalama değerleri.....	159
Tablo 4.12 İlk yatırım maliyet kalemleri.....	159
Tablo 4.13 Yıllık işletme maliyet kalemleri .....	160
Tablo 4.14 Arıtma çamuru bilgileri .....	162
Tablo 4.15 Tesisin ana fizibilite değerleri.....	162
Tablo 4.16 Senaryo 1 için yakma dengesi .....	163
Tablo 4.17 Senaryo 1 için elektrik dengesi .....	164
Tablo 4.18 Arıtma çamuru bilgileri .....	165
Tablo 4.19 Tesisin ana fizibilite değerleri.....	166
Tablo 4.20 Senaryo 2 için yakma dengesi .....	166
Tablo 4.21 Senaryo 2 için elektrik dengesi .....	167
Tablo 5.1 Türkiye'de yenilenebilir enerji için uygulanan sabit fiyatlar .....	169
Tablo 5.2 Türkiye'de teknoloji bazında sabit alım fiyat garantisi ve yerli katkı ilavesi .....	170
Tablo 6.1 İllere göre arıtma çamuru, güneş ve rüzgar enerji içeriği (TEP/yıl) .....	174
Tablo 6.2 Yenilenebilir enerji teknoloji karşılaştırmaları .....	179

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Türkiye'nin orman varlığı haritası .....	24
Şekil 2.2 Türkiye orman kaynaklı biyokütle potansiyeli .....	25
Şekil 2.3 Bölgelere göre OSB dağılımı .....	35
Şekil 2.4 İllerdeki arıtma tesislerine göre arıtma çamurunun enerji içeriği.....	37
Şekil 2.5 Organize sanayi bölgeleri su, atıksu ve atık göstergeleri, 2012-2016.....	41
Şekil 2.6 Biyokütleden enerji elde etme yöntemleri.....	43
Şekil 2.7 Gazlaştırma prosesi.....	45
Şekil 2.8 Selülozun daha küçük moleküllere kırılarak yeni ürünlerin ortaya çıkması .....	47
Şekil 2.9 Piroliz tesisi.....	48
Şekil 2.10 Atık lastiklerin pirolizinden elde edilen ürünler.....	48
Şekil 2.11 Metanojenlerin aktivitelerinin pH'a bağlı değişimi .....	51
Şekil 2.12 Arıtma çamurunun kurutma ile birlikte yakılarak elektrik üretimi pilot prosesi .....	69
Şekil 2.13 Türkiye'nin il bazında kurulu güce göre hidrolik enerji haritası.....	70
Şekil 2.14 Türkiye'nin atıksu yönetimi açısından bölgelere ayrılması.....	72
Şekil 2.15 Düşü ve debi değerlerine göre türbin tipleri.....	77
Şekil 2.16 Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA) (50 metre yükseklik için).....	81
Şekil 2.17 Türkiye'nin 50 m yükseklikteki kapasite faktörü haritası .....	83
Şekil 2.18 İşletmedeki rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre dağılımı (MW) (Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Rapor, 2017) .....	86
Şekil 2.19 Türkiye güneş enerji potansiyeli atlası.....	93
Şekil 2.20 Türkiye aylara göre ortalama radyasyon değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -gün).....	93
Şekil 2.21 Türkiye aylara göre güneşlenme süreleri (saat) .....	94
Şekil 2.22 Türkiye güneş kuşağı atlası .....	95
Şekil 2.23 Bölgelere göre günlük ortalama güneş radyasyonu.....	96
Şekil 2.24 Fotovoltaik hücre, modül ve panel.....	99
Şekil 2.25 Fotovoltaik sistemin temel çalışma prensibi .....	103
Şekil 2.26 Off-grid sistem genel şematik gösterimi .....	104
Şekil 2.27 On-grid sistem genel şematik gösterimi .....	104
Şekil 2.28 Hibrit sistem genel şematik gösterimi.....	105
Şekil 2.29 Güneşte kurutma örneği .....	108
Şekil 2.30 İspanya'da bulunan solar çamur kurutma tesisi.....	109

Şekil 2.31 Almanya-Bayreuth solar çamur kurutma serası.....	110
Şekil 2.32 Eskişehir OSB solar aktif çamur kurutma tesisinden bir görünüm .....	111
Şekil 3.1 Bursa Doğu Arıtma Tesisleri çamur yakma tesisi .....	114
Şekil 3.2 Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Çamuru Yakma Tesis (İsfa,2016). .....	116
Şekil 3.3 Almanya, Bottrop atıksu arıtma tesisi .....	117
Şekil 3.4 Almanya,Hamburg-Köhlbrandhöft atıksu arıtma tesisi.....	117
Şekil 3.5 İngiltere, Leeds, Knostrop atıksu arıtma tesisi yakma ünitesi .....	119
Şekil 3.6 Hollanda Amsterdam atıksu arıtma tesisi yakma ünitesi .....	120
Şekil 3.7 Kayseri biyogaz tesisi .....	121
Şekil 3.8 Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri .....	122
Şekil 3.9 Mersin Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisleri .....	122
Şekil 3.10 Seyhan (Batı Adana) Atıksu Arıtma Tesisleri .....	123
Şekil 3.11 Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisleri .....	124
Şekil 3.12 Çiğli Atıksu Arıtma Tesisleri .....	124
Şekil 3.13 Almanya Gut Marienhof atıksu arıtma tesisi.....	126
Şekil 3.14 ABD, Michigan Eyaleti'nde bulunan Sheboygan atıksu arıtma tesisi .....	128
Şekil 3.15 Ankara Tatlar AAT deşarj noktasında bulunan 1 MW'lık Arşimet vidası .....	129
Şekil 3.16 Almanya Buchenhofen atıksu arıtma tesisi .....	130
Şekil 3.17 Viyana Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan Kaplan ve Arşimet türbinleri.....	131
Şekil 3.18 Ürdün As Samra Atıksu Arıtma Tesisleri, beş nozullu 2 Pelton türbin .....	132
Şekil 3.19 Ürdün As Samra Atıksu Arıtma Tesisleri, 2 Francis türbin.....	132
Şekil 3.20 İngiltere, Esholt Atıksu Arıtma Tesisleri Arşimet vidası.....	133
Şekil 3.21 Almanya, Hamburg-Dradenau Atıksu Arıtma Tesisleri .....	134
Şekil 3.22 Viyana Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan rüzgâr türbini .....	135
Şekil 3.23 ABD, Atlantik City'de bulunan ACUA (Atlantic City Utilities Authority) Atıksu Arıtma Tesisleri (Waugh, 2015) .....	135
Şekil 3.24 ABD, Massachusetts - Deer Island Atıksu Arıtma Tesisleri .....	136
Şekil 3.25 Sırası ile Nevşehir ve İzmir'de bulunan güneşten elektrik ve kurutma sistemleri	137
Şekil 3.26 Kullar AAT'de havuzların üzerine uygulanan GES panelleri .....	138
Şekil 3.27 Almanya Buchenhofen atıksu arıtma tesisi .....	139
Şekil 3.28 Almanya-Bottrop atıksu arıtma tesisi güneşte kurutma .....	139
Şekil 3.29 ABD, Atlantik City atıksu arıtma tesisindeki güneş panelleri.....	140



## TUBITAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 7/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

---

Şekil 3.30 ABD, Kaliforniya Oroville Atıksu Arıtma Tesisi güneş panelleri .....	141
Şekil 4.1 Senaryo 1 için tesis akış şeması .....	162
Şekil 4.2 Senaryo 2 için tesis akış şeması .....	165
Şekil 5.1 Teşvik planına göre Türkiye'nin bölgeleri .....	172

## KISALTMALAR DİZİNİ

UNFCCC	: The United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
BEPA	: Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
ÖTL	: Ömrünü Tamamlamış Lastik
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
IPCC	: The Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli)
HES	: Hidroelektrik Santral
GES	: Güneş Enerji Santrali
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
DSİ	: Devlet Su İşleri
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
MW	: Mega Watt
MWA	: Mega Watt Amper
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
d/d	: Devir/Dakika
EİE	: Enerji İşleri Etüt İdaresi
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
ETBK	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
kg	: Kilo Gram
USD	: Birleşik Devletler Doları
P	: Güç
PE	: Person Equivalent (Kişi Eşdeğeri)
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol

## YÖNETİCİ ÖZETİ

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda, TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından 03.08.2017 itibarı ile yürütülmeye başlanan, Enerji Verimli ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi Projesi ile Ülkemizde faaliyet gösteren atıksu arıtma tesislerinin enerji tüketimi açısından verimli hale getirilmesi ve enerji verimli teknolojilere geçiş amacıyla, atıksu arıtma tesislerinde kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin, düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nütrient giderimi prosesinin ve enerji pozitif atıksu arıtma tesislerinin araştırılması ve pilot uygulama yapılabilecek alternatiflerin belirlenerek kavramsal tasarımlarının yapılması hedeflenmiştir.

Organik maddelerin karbondioksit ve biyokütleyle dönüştürüldüğü konvansiyonel aktif çamur sistemleri 100 yıldan daha uzun süredir atıksuların arıtımında kullanılmakta, konvansiyonel biyolojik azot giderim prosesinin geçmişi 50 yıl, biyolojik fosfor giderimi uygulamaları ise yaklaşık 30 yıl öncesine dayanmaktadır. Son dönemlerde Konvansiyonel Aktif Çamur prosesleri yüksek enerji tüketimleri sebebi ile dikkat çekmekte ve daha düşük enerji tüketen proseslere, yenilikçi arıtma şemalarının geliştirilmesine ve optimizasyona yönelim artmaktadır. Bunun için, atıksudaki organik maddenin aerobik olarak arıtılması yerine, mümkün olduğunca doğrudan anaerobik parçalama işlemine tabi tutulması ve hava ihtiyacının azaltılırken, üretilen enerji miktarının artırılması hedeflenmektedir. Anaerobik proseslerin kentsel atıksu arıtımında, daha etkin kullanımı amacıyla gerçekleştirilen yenilikçi çalışmalar, atıksuyun karbon içeriğinin düşmesine ve karbon/azot oranının konvansiyonel besin maddesi giderimi aleyhine seviyelere gerilemesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik proses değişikliği ve yenilikçi proses uygulamaları aynı zamanda azot giderimi yaklaşımının da değişimini ve yenilikçi bir proses olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Proje hedefleri doğrultusunda, bu proje raporu kapsamında enerji tüketiminin azaltıldığı ve aynı zamanda enerji üretim veriminin arttırılabileceği yenilikçi arıtma proseslerinin kullanımı konularına yer verilmiştir. Yenilikçi proseslerde genel amaç, havalandırmada kullanılan enerjinin azaltılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda atıksu içerisindeki karbon kaynağının en verimli şekilde kullanılması, çamur yaşının kısaltılması ve daha az oksijen kullanımına olanak sağlayan yenilikçi proseslerin kullanım alternatifleri incelenmiştir. İncelenen besin maddesi giderim prosesleri arasında, düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon (SND) prosesine detaylı olarak yer verilmiştir. Yine bu rapor kapsamında, atıksu arıtma tesislerinde alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ve üretilen enerji miktarının

arttırılmasına yönelik yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve arıtma çamurlarından termal yöntemlerle enerji elde edilmesi konularına yer verilmiştir. Rapor kapsamında yer alan ana konu başlıkları aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yenilikçi prosesler ve besin maddesi giderimi prosesleri incelenmiş, uluslararası uygulama örneklerine yer verilmiştir.
- Mevcut ve yeni kurulacak AAT'lerde biyolojik besin giderimi kaynaklı enerji tüketiminin hesaplanması, ön çöktürme çamuru ve fazla aktif çamurdan elde edilen biyogaz ile üretilen enerjinin hesaplanması, farklı atıksu arıtma konfigürasyonlarına ait enerji dengeleri ve arıtma hacimlerinin karşılaştırılması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.
- Aktif çamur sistemlerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesinin ülkemiz koşullarında uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.
- Proje kapsamında laboratuvar ölçekli olarak işletilen iki adet MBR reaktörüne ve aktif çamur sistemine ait sonuçlar değerlendirilmiştir.
- Atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, HES, güneş, rüzgâr ve biyokütle enerjilerinin arıtma tesislerinde kullanım olanakları, ülkemizdeki potansiyelleri değerlendirilmiştir.
- Atıksu arıtma tesisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik, web tabanlı bir hesap aracı geliştirilmiştir. Hesap aracı kullanılarak, hidroelektrik enerji ile bölgesel olarak güneş ve rüzgâr için yıllık olarak üretilebilecek enerji miktarı hesaplanabilmektedir. Hesaplamalar, bölgesel güneş ve rüzgâr potansiyelleri ve haritaları kullanılarak yapılmaktadır, sonuçların ortalamayı yansıtacağı ve mevzuat gereği kurulum öncesinde ölçüm yapma zorunluluğu bulunduğu unutulmamalıdır.

Ülkemizde, gerek mevcut atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla, gerekse de, atıksuyun organik madde içeriğinin artan oranda anaerobik prosese aktarıldığı yenilikçi bir proste, biyolojik besin maddesi gideriminin SND ile entegre edilebileceği bir atıksu arıtma sisteminin potansiyel vaat ettiği değerlendirilmektedir. Mevcut atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla gerçek ölçekli bir AAT'de çalışmalar yapılması önerilmektedir. Mevcut AAT'lerde, SND uygulaması ve oksijen kontrollü nütrient giderimi, sadece karbon giderimi gerçekleştiren tesislerde karşılaşılan çökelme problemi, çamur kabarması sorunun çözülmesine de katkı sağlaması beklenmektedir. Bu açıdan, SND prosesi uygulamasının, mevcut bir AAT'de pilot olarak denenmesi ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi önerilmektedir. Yeni kurulacak tesisler için ise kimyasal çöktürme ile

zenginleştirilmiş atıksuda SND uygulaması ve/veya biyodizele dönüşme potansiyeli ve alternatif yakıt olma potansiyeli olan mikroalgın kullanıldığı, yenilikçi yaklaşımlarla nütrient giderimi çalışmalarının desteklenmesinin, ülkemize uzun vadede önemli fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Enerji verimliliği göz önünde bulundurularak, arıtma tesislerine olan bakışın yeniden düzenlendiği yenilikçi atıksu arıtma proseslerine yönelik çalışmalar, atıksu arıtma tesislerinde tüketilen enerji miktarının azaltılması açısından son derece önemlidir. Bununla birlikte, atıksu arıtımının, kirletici giderim verimi, enerji tüketimi ve üretimi, emisyonlar, değerli madde geri kazanımı başlıklarını içerecek bütüncül (entegre) bir yaklaşım ile ele alınması ve teknoloji seçimi ve tasarımlarının bu doğrultuda geliştirilmesi, kaynakların korunması ve verimli kullanımı açısından katkı sağlayacaktır. Gerçekleştirilen çalışmalar, deneysel aşamaları içermesi ve biyolojik sistemlerin temel mekanizmasının, mikroorganizmaların gerçekleştirdiği biyokimyasal süreçler olması nedeniyle uzun soluklu çalışmalardır. Her ne kadar, çalışılan prosesler büyük oranda mevcut teknolojileri içeriyor olsa da, geliştirilen konfigürasyonlar yenidir ve biyolojik sistemin uzun süreli tepkisi ve sonuçları açısından incelenmelidir. Nitekim SND prosesinin uygulandığı pilot çalışmalarda, sistemde mikroorganizma çeşitliliğinin artması ve değişmesi ile uzun işletme sonunda çok yüksek giderim verimlerine ulaşıldığı raporlanmıştır. Bu nedenle, bu konularda yürütülecek çalışmaların, gerek sonuca ulaşma, gerekse verim açısından, en azından birkaç yıllık çalışmalar olarak planlanması önerilmektedir.

Türkiye’de atıksu arıtma tesislerinde, yenilenebilir enerji teknolojileri arasında hidroelektrik ile enerji üretimi, güneş enerjisi ile elektrik üretimi ve çamur kurutma, arıtma çamurundan termokimyasal ve biyolojik çevrimler ile elektrik üretimi uygulamaları potansiyel ve ekonomik açıdan katma değeri yüksek seçenekler olarak tespit edilmiştir. Entegre arıtma çamuru kurutma ve yakma sistemleri ve hidroelektrik sistemleri uygulamalarında, nispeten az sayıda örnek bulunması nedeni ile bu konularda gerçekleştirilecek çalışmaların (pilot uygulamaların, rehberlerin geliştirilmesi çalışmalarının vb.) desteklenmesinde fayda görülmektedir.

Ön plana çıkan diğer bir önemli husus ise; arıtma tesislerinde enerji verimliliğinin artırılması yönünde gerçekleştirilecek çalışmalardır. Motorların verimli sınıftan seçilmesi, devir kontrolü, pompa kanatlarının kaplanması, pompa dizayn değişiklikleri bunlara örneklerdir. Bunun için öncelikli olarak, AAT’lerde farklı kriterlerin (atıksu özellikleri, arıtma tipi, topoğrafya vb.) enerji verimliliğine ne kadar etki ettiğini tespit etmek üzere enerji üretim / tüketim taraması (ölçüm ve etüt) yapılması ve daha sonra verimlilik ve yenilenebilir enerji kullanım potansiyellerinin ortaya konması faydalı olacaktır. Bunun için, seçilecek belli sayıda kritere bağlı olarak



belirlenecek örnek tesislerde, enerji taraması (ölçüm ve etüt dâhil) yapılarak, verimlilik ve yenilenebilir enerji kullanım potansiyellerinin belirlenmesi uygun olacaktır.

Sonuç olarak, AAT'lerde önemli bir enerji tasarrufu potansiyeli mevcut görünmekte olup, bu potansiyelin harekete geçirilmesinde üstünde durulması önerilen çalışma konuları özet olarak aşağıda sunulmuştur;

- Mevcut AAT'lerde SND prosesinin ve/veya kesikli havalandırma uygulamasının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla, seçilecek mevcut bir pilot AAT'de uygulama yapılması önerilmektedir.
- Gerek SND uygulamasında, gerekse de konvansiyonel sistemlerde karşılaşılan çökme problemlerinin önlenmesine yönelik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi, ayrıca ekonomik ve basit filtrelerin geliştirilmesi çalışmalarının desteklenmesi faydalı olacaktır.
- Yenilikçi yaklaşımlarla atıksu arıtımını bütüncül bir yaklaşımla değerlendirildiği çalışmaların artması ve bu konuda yürütülecek projeler, kurulacak pilot sistemler desteklenmesi önerilmektedir. Örneğin, organik maddenin olabildiğince enerji üretimi amacıyla kullanılabilmesi yenilikçi arıtma ve nütrient giderimi çalışmaları, yakma ile birlikte değerlendirilmeli ve yakma sonrasında kalan külden fosfor ve değerli madde geri kazanımı ayrıca incelenmelidir. Bu çerçevede, bütüncül bir yaklaşımla geliştirilecek sistemlerde, geleceğin potansiyel yakıtları olarak görülen mikroalglerin, atıksulardan nütrient giderimi için kullanılmasının araştırılması da önerilmektedir.
- Arıtma çamuru ve diğer atıklar ile birlikte kurutma ve yakma ile yardımcı yakıt olmadan elektrik üretimi, arıtma çamurundan doğalgaz ve sıvı yakıt üretimi çalışmalarının desteklenmesi önerilmektedir. Bunun için, öncelikli olarak farklı tip ve özellikteki AAT'lerde oluşan çamur özelliklerinin ve detaylı karakterizasyonunun belirlenmesi faydalı olacaktır.
- Arıtma tesislerinde giriş kısmında Arşimet vidası ile elektrik üretimine yönelik pilot uygulama ve çalışmaların desteklenmesi ve pilot uygulamalar faydalı olacaktır.
- Arıtma tesislerinde enerji etiketleme ve kıyaslama (benchmarking) aracı geliştirilmesine yönelik çalışma ve projelerin desteklenmesi ile AAT'lerde öz



## TUBITAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 13/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

değerlendirme ve farkındalık oluşturmaya ve enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Yenilenebilir enerji uygulamalarının yanı sıra, yukarıda belirtilen uygulamalar ile ülkemizde bulunan arıtma tesislerinde sağlanacak enerji verimliliği sayesinde, pozitif enerji kavramına uygun tesislerin olabileceği ve mevcut duruma göre önemli oranlarda kaynak kullanımında azalma sağlanabileceği öngörülmektedir.

## 1 GİRİŞ

Artan şehir yaşamı ve değişen tüketim alışkanlıkları ile birlikte tüketilen kaynaklar ve üretilen atıkların miktarı ve içeriği sosyal olduğu kadar teknik ve ekonomik bazı çözümleri gereken problemleri açığa çıkartmaktadır. Tüketilen kaynaklar arasında enerji ve su insan yaşamında önemli yer tutmaktadır. Enerji modern şehirlerde elektrik, doğalgaz ve çeşitli petrol yakıtları ile yer almaktadır. Su ve enerji kullanımı sonucunda farklı boyutlarda çevresel etkiler ortaya çıkmaktadır. Su kullanımı sonucunda ortaya çıkan atıksular, kullanım noktalarından toplanarak deşarj edilmeden önce, arıtma tesislerinde kabul edilebilir seviyelere kadar arıtılmaktadır. Atıksu kaynakları, evsel, endüstriyel ve kentsel vb. olarak farklılık gösterdiği gibi arıtma tesislerine ait arıtma teknolojileri de farklı proses ve işletme parametreleri ile işletilmektedir.

Arıtma tesisleri arasındaki teknolojik farklara rağmen her bir arıtma teknolojisi önemli bir enerji tüketimi ortaya çıkarmaktadır. Tesisler içerisinde en önemli tüketim noktalarını, suyun terfisi ve biyolojik arıtma süreçlerinde havalandırılma için tüketilen elektrik enerjisi oluşturmaktadır. 1 m<sup>3</sup> suyun arıtılması için harcanan elektrik miktarı 0,25 kWh tan 2 kWh civarına kadar yükselebilmektedir. Bu tüketimin % 70 – 80 civarı elektrik motorlarına bağlı pompalar, karıştırıcılar ve havalandırıcılar ile tüketilmektedir.

Ülkemizdeki arıtma tesislerinin verileri incelendiğinde, enerji tüketim istatistiklerinin değişiminin takip edilebileceği ve en iyi uygulamaların kıyaslanabileceği bir altyapı henüz hayata geçmemiştir. Bu proje kapsamında, arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji tüketimlerinin incelenmesi amacıyla içme suyu ve atıksu arıtma tesislerine ziyaretlerde bulunulmuştur. İncelenen arıtma tesislerinin, sorunsuz olarak işletildiği ve tesis kurulumundan itibaren detaylı ve iyi mühendislik uygulamaları ile donatıldığı söylenebilir. Üç tesisin enerji tüketimi, elde edilen temel veriler ışığında 0,2 ila 0,5 kWh/m<sup>3</sup> aralığındadır. Bu tesislerin ve farklı tipteki seçilecek arıtma tesislerinde gerçekleştirilecek ölçüm çalışmaları ile enerji dengesinin çıkarılması ve bu veriler ışığında farklı kriterlerin (atıksu özellikleri topoğrafya, teknoloji vd.) enerji verimliliğine ne kadar etki ettiğinin bulunarak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile birleştirilerek ortaya bir mukayese (benchmarking) aracı konulması birçok açıdan faydalı olacaktır. Bu doğrultuda örnek tesislerde enerji üretim / tüketim taraması (ölçüm ve etüt dâhil) yapılarak verimlilik ve yenilenebilir enerji kullanım potansiyellerinin ortaya konması uygun olacaktır. Elde edilen verilerin düzenlenecek geniş katılımlı bir kriterler anketi ile birleştirilmesi ile webden erişilebilir bir mukayese (benchmarking) aracı ile öz değerlendirme ve farkındalık oluşturmasının faydalı olacağı öngörülmektedir.

Ayrıca ortaya konacak etiketleme sistemi ile arıtma tesislerinin, enerji tüketimi göz önünde bulundurularak geliştirilmesine katkı sağlanabilir.

Bu çalışma kapsamında yenilenebilir enerji kullanımı açısından yapılan incelemede önemli tespitler yapılmıştır. Öncelikle bilhassa gelişmiş ülkelerde atıksu arıtma tesisleri oldukça yaygın bir şekilde yenilenebilir enerji kullanmaktadır. Kullanılan teknolojiler sırası ile güneş enerjisi ile elektrik üretimi ve kurutma, giriş ve çıkış akımlarında hidroelektrik ile enerji üretimi ve kullanımı, yakma/gazlaştırma/piroliz sistemleri, biyogaz sistemleri, ısı pompası ve daha az yaygın olarak rüzgâr enerjisi kullanımı olarak görülmüştür.

Ülkemizde ise güneş enerjisinden elektrik üretimi ve güneş enerjisi ile çamur kurutma uygulamaları bölgesel olarak değişmekle birlikte 10-15 civarında uygulama ile olgunlaşma sürecindedir. Hidroelektrik sistemlerin 3 farklı tesiste kurulu olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Bu teknoloji hali hazırda büyük oranda potansiyele sahiptir. Arıtma tesislerinde çamur yakma sistemleri son 5 yıl içerisinde gelişmekte olup 4 farklı tesiste farklı teslimatçılar tarafından tamamlanmaya çalışılmaktadır. Arıtma çamuru yakma sistemleri bertaraf ve enerji üretimi açısından iki yönde fayda oluşturacağı öngörülmektedir. Gazlaştırma ve piroliz ise hem mazot üretimi hem doğal gaz üretimi açısından ekonomik getirisi yüksek olması nedeni ile farklı firmalarda teknoloji geliştirilmesi devam etmektedir. Bilhassa arıtma çamurunun termokimyasal dönüşümüne yönelik (yakma, gazlaştırma ve piroliz) teknolojilerin önemli potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Hali hazırda yakma teknolojisi ve uygulamada doğal kullanımı güneş ve/veya atık ısı ile yapılacak kurutma ile birleştirilmesi durumunda ekonomik olarak artan cazibe ile hızla kabul göreceği öngörülebilir. Ayrıca uluslararası literatürde birlikte yakma (co-combustion) olarak anılan teknikler ile farklı tarımsal, orman ve şehir atıklarında oluşan biyokütleler ile arıtma çamurunun birlikte değerlendirilmesi konusunda çalışmalar bulunmaktadır. Ancak, ülkemizde hâlihazırda arıtma çamurunda biyokütleler ile birlikte yakılmasına yönelik herhangi bir pilot ya da benzeri uygulamaya rastlanmamıştır Bunun yanında, ülkemizde en sık rastlanan yenilenebilir enerji kullanımı uygulaması olarak, birçok tesiste biyogaz uygulaması mevcuttur. Ülkemizde, arıtma tesisleri arazisi dâhilinde rüzgâr enerjisi ve ısı pompası uygulama örneği görülmemiştir. Ancak, Su Kanalizasyon İdareleri tarafından, arıtma tesisi dışında ve rüzgâr açısından uygun lokasyonda rüzgâr enerjisi uygulamalarına yönelik girişimler mevcuttur (örneğin BUSKI'nin uygulaması)

İncelenen yenilenebilir enerji kaynakları ve teknolojileri arasında, hidroelektrik ile enerji üretimi, güneş enerjisi ile çamur kurutma ile entegre yakma ve arıtma çamurundan piroliz ile gaz ve



## TUBITAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 16/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

yakıt üretimi, uygulamalarının katma değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu teknolojilerde farklı kentsel atıksular ile birlikte değerlendirme yapılarak pilot uygulama yapılması yaygınlaşma etkisini arttıracaktır. Ayrıca yakma sonrası elde edilen kül içerisindeki değerli maddeleri (fosfor gibi) geri kazanarak kalan kısmının da çimento sektöründe değerlendirilmesi önemli bir pilot çalışma olarak görülmektedir.

Bilhassa gelişmiş ülkelerde atıksu arıtma tesisleri son teknolojiler ile çok düşük enerji tüketimi ile çalışmakta ve güneş enerjisi dâhil tesisi içinde ürettikleri enerji ile öz tüketimlerinin tamamını karşılayarak pozitif enerji dengesini hedeflemektedirler.

Raporun bu ikinci cildinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile arıtma tesislerinin pozitif enerji tesisi olma yolunda potansiyelinin ve alternatif teknolojilerin ortaya konması ve mevcut durum analizi, literatüre bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir enerjinin bölgeler bazındaki potansiyeli başlığı altında, biyokütle enerjisi, biyogaz, güneş enerjisi (kurutma ve elektrik), rüzgâr enerjisi ve hidroelektrik enerji potansiyeli ve bunlara ait teknolojiler sunulmuştur. Öncelikle yenilenebilir enerjinin AAT'lerde kullanımına yönelik uygulamalara ait uluslararası örnekler sunulmuş, ardından sırası ile teknik incelemelerde elde edilen bulgular ve pilot uygulamalara yer verilmiştir. Son olarak, AAT'ler için örnek hesaplamalara, kavramsal tasarımlara ve teşviklere yer verilmiştir.

## 2 YENİLENEBİLİR ENERJİNİN BÖLGELER BAZINDA POTANSİYELİ

### 2.1 Biyokütle

Biyokütle dönüşümü, insan medeniyetinin ısı ve ışık elde etmek için başlattığı bir süreçtir. Biyokütle, yüksek enerji içeriği ile kömür ve petrole nazaran ulaşılabilirlik ve sürdürülebilirlik açısından avantajları ile öne çıkmaktadır. Son yıllarda biyokütlenin gaz, sıvı yakıt (elektrik) ve kimyasallara dönüşümüne yönelik ilgi ve bu yönde araştırmalar devam etmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde uygulamalardaki durum gözden geçirildiğinde biyogaz üretimi ile elektrik eldesi çok sayıda bulunmak ile birlikte son yıllarda arıtma çamuru yakma tesisleri de işletmeye alınmaya başlamıştır.

Bu ilginin üç temel itici faktörü aşağıdaki gibidir.

- Yenilenebilirlik getirileri
- Çevresel getirileri
- Sosyal getirileri

Biyokütlenin kullanımına ait temel sektörler aşağıda özetlenmiştir.

- Kimya sanayinde metanol, amonyak, gübre, sentetik fiber ve diğer kimyasallar
- Enerji sektöründe güç ve ısı üretimi
- Ulaşım sektöründe yakıt olarak benzin ve dizel üretimi
- Çevre koruma sektöründe CO<sub>2</sub> ve kirleticilerin giderimi

Yenilenebilirlik getirileri; kömür, doğalgaz ve petrol güvenilir ve etkin bir şekilde günümüzdeki enerji spektrumunu oluştursa da sınırlı kaynaklar ve yenilenebilir olmamaları yönünde büyük sorun teşkil etmektedir. Biyokütle ise sürdürülebilir olarak tüketimi durumunda yenilenebilir enerji kaynağı olarak artan bir ilgiyi çekmektedir.

Çevresel Getirileri: artan küresel ısınma sorununun insan faaliyetlerine bağlı olduğu bilinmektedir. Biyokütle enerji üretiminin atmosfere kirletici salınımının olmaması nedeni ile bir cazibe ve kazanç oluşturmaktadır. Örneğin bir termik santralin kömür tüketiminin biyokütle ile değiştirilmesi durumunda getirdiği CO<sub>2</sub> kredileri artı gelir oluşturmaktadır.

Sosyal Getiriler: biyokütle yerel ölçüde üretilebilen bir kaynak olması ve ekonomik olarak enerji dönüşüm tesislerinin fizibilitesinin artan bir şekilde yatırımcıları çekmesi nedeni ile yerel

endüstrilerin gelişmesini sağlamaktadır. Biyokütle endüstrisi fosil yakıtlı tesislere nazaran yerel kalkınmaya 5 ila 10 kat daha yüksek katma değer sağlamaktadır. Diğer bir önemli husus ise biyokütle temelli enerji ile yakıtlar veya kimyasallar ile ithale dayalı fosil yakıtlara olan bağımlılık azaltılarak enerji güvenliği artırılmaktadır. Ayrıca enerji bağımlılığı yüksek ekonomilere, güvenilir ve süreklilik sağlayan bir kaynak olarak hizmet edecektir.

Biyokütle; bitkiler ve hayvanlardan sağlanan organik malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Temel biyokütle grupları ve alt grupları Tablo 2.1'de listelenmiştir. Atıkların karıştırılabilmesi açısından uluslararası olarak UNFCCC 2005'e göre "Bitkilerden, hayvanlardan ve mikro organizmalardan kaynaklanan fosilleşmemiş ve biyo bozunabilir organik malzemeler" olarak tanımlanmaktadır. Buna ayrıca, tarımsal, orman kaynaklı ve ilişkili endüstrilere ait ürünler, ara ürünler, artıklar ve atıklar ile fosilleşmemiş ve biyo bozunabilir endüstriyel ve evsel atıklar da dâhildir.

Tablo 2.1 Temel biyokütle grupları ve alt grupları

Birincil Biyokütle	Toprak kökenli	Orman kaynaklı Biyokütle
		Otsu Biyokütle
		Enerji Bitkileri
		Ekinler
	Deniz – Göl kökenli	Yosunlar
		Su Bitkileri
Atık Biyokütle	Şehir Atıkları	Katı Atıklar
		Atıksu kaynaklı biyo katılar
		Katı atık gazı
	Tarımsal Atıklar	Hayvansal atıklar
		Ekin atıkları
	Orman Atıkları	Yapraklar, Taban atıkları
	Endüstriyel Atıklar	Ağaç ve talaş
Atık Yağlar		

## 2.1.1 Biyokütle Potansiyeli

### Hayvansal Biyokütle

Türkiye'de büyükbaş hayvancılık yaygın olarak Doğu Anadolu bölgesinde (%21,38) yapılmaktadır. Doğu Anadolu bölgesini sırası ile İç Anadolu (%18,4), Karadeniz (%15), Ege (%15,11),Marmara (%14), Akdeniz (%8) ve Güneydoğu Anadolu (%8,34) bölgeleri takip etmektedir. Küçükbaş hayvancılıkta %28 ile Doğu Anadolu bölgesi, kümes hayvancılığında ise%38 ile Marmara Bölgesi en yüksek potansiyele sahiptir (TÜİK Hayvancılık İstatistikleri, 2017).

Türkiye’de hayvansal atıklara yönelik en büyük sorun atığın toplanması işlemleridir. Özellikle doğu bölgelerinde uzun otlatma süreleri, atığın toplanmasını neredeyse imkânsız hale getirmektedir. Aynı sorun Karadeniz bölgesinde çayırın fazla olması nedeniyle otlatma yapılması, İç Anadolu bölgesinde ise bozkırların fazla olmasından otlatmanın yaygın olması gibi nedenlerden dolayı bu bölgelerde hayvansal atıkların tespitinde zorluklar mevcuttur. Bu problemlerden dolayı, Türkiye’de hayvanların otlatma yapılmaksızın modern ahırlarda tutulduğu bölgeler de hayvansal atıkların kolaylıkla toplanıp enerji üretimi için değerlendirilmesi daha kolay olacaktır. Yenilebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlasından elde edilen verilere göre yılda yaklaşık 110 milyon ton büyükbaş, 41,5 milyon ton küçükbaş hayvan gübresi ve 12 milyon ton da kanatlı hayvan gübresi potansiyeli tespit edilmiştir. Büyükbaş hayvan atıklarının yıllık 790.105,90 TEP, küçükbaş hayvan atıklarının yıllık 93.862,73 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ve kanatlı hayvan atıklarının ise yıllık 292.229,35 TEP enerji içeriği tespit edilmiştir. Bu potansiyelin il bazında dağılımı Tablo 2.2’de verilmiştir (YEGM, BEPA).

Gübre miktarı ile büyükbaş hayvansal atıklar göz önüne alındığında Kuzeydoğu Anadolu (%13,92), Ege (%15,11), Batı Karadeniz (%11,22) ve Orta Anadolu (%9,87) bölgeleri öne çıkmaktadır. Küçükbaş hayvansal atıklar göz önüne alındığında Güneydoğu Anadolu (%19,20), Ortadoğu Anadolu (%18,03), Ege (%11,19) ve Kuzeydoğu Anadolu (%10,82) bölgeleri öne çıkmaktadır. Kanatlı hayvan atıkları göz önüne alındığında Ege (%29,17), Doğu Marmara (%26,45), Ege (%11,19) bölgelerinin en yüksek potansiyeli barındırdığı tespit edilmiştir (TÜİK Hayvancılık İstatistikleri, 2017).

Tablo 2.2 Hayvansal atıkların il bazında dağılımı (ton/yıl) ve enerji içeriği (TEP/yıl) (YEGM, BEPA).

	Büyükbaş Hayvan Atığı		Küçükbaş Hayvan Atığı		Kanatlı Hayvan Atığı	
	ton/yıl	TEP/yıl	ton/yıl	TEP/yıl	ton/yıl	TEP/yıl
Adana	1.650.950,30	11.817,80	563.545,40	1.140,21	135.123,64	3.268,30
Adıyaman	718.317,63	5.113,36	266.401,09	546,04	13.438,04	325,03
Afyonkarahisar	2.689.293,72	20.501,35	820.728,78	1.944,57	935.197,53	22.620,09
Ağrı	2.019.245,88	12.279,84	1.433.990,83	3.404,60	10.672,82	258,15
Aksaray	1.535.146,56	11.442,16	576.175,50	1.353,79	16.980,37	410,71
Amasya	1.330.231,00	9.153,23	190.813,60	423,89	77.364,81	1.871,26
Ankara	2.651.408,91	18.662,40	1.223.271,58	2.830,22	516.477,90	12.492,31
Antalya	1.260.340,25	9.127,92	994.360,38	1.984,22	27.634,73	668,42
Ardahan	2.061.102,44	13.330,54	78.312,94	186,52	14.395,99	348,2
Artvin	410.825,38	2.801,26	111.857,90	262,97	976,07	23,61



	Büyükbaş Hayvan Atığı		Küçükbaş Hayvan Atığı		Kanatlı Hayvan Atığı	
	ton/yıl	TEP/yıl	ton/yıl	TEP/yıl	ton/yıl	TEP/yıl
Aydın	2.905.399,27	22.161,42	296.480,01	655,44	119.443,51	2.889,04
Balıkesir	4.367.690,92	33.623,63	1.014.695,98	2.330,42	1.028.820,59	24.884,60
Bartın	362.952,17	2.510,87	4.171,22	9,64	31.030,50	750,55
Batman	452.752,75	3.143,39	705.002,61	1.588,43	11.011,87	266,35
Bayburt	607.189,18	4.102,30	50.764,56	119,06	4.792,02	115,91
Bilecik	266.207,82	2.016,17	122.262,96	267,89	66.064,70	1.597,94
Bingöl	932.393,05	6.497,78	567.105,98	1.264,31	52.950,16	1.280,73
Bitlis	447.368,46	3.094,14	681.231,98	1.472,49	4.291,45	103,8
Bolu	1.093.614,10	8.055,48	130.733,88	296,42	898.721,46	21.737,83
Burdur	1.780.283,67	14.117,49	406.833,38	863,44	9.200,94	222,55
Bursa	1.577.544,05	12.059,96	443.207,46	1.002,47	461.916,72	11.172,61
Çanakkale	1.799.749,30	14.016,80	694.476,38	1.528,40	174.618,45	4.223,58
Çankırı	963.431,00	6.867,79	116.684,30	267,88	98.963,35	2.393,68
Çorum	1.640.815,89	11.810,86	206.558,61	467,72	295.128,52	7.138,42
Denizli	2.171.076,58	17.163,03	578.805,69	1.289,00	154.406,66	3.734,71
Diyarbakır	2.736.003,68	18.487,54	1.282.700,52	2.897,42	34.715,00	839,67
Düzce	375.885,76	2.527,14	14.990,92	35,67	208.747,26	5.049,07
Edirne	1.290.562,99	9.950,08	346.535,74	802,24	14.357,18	347,26
Elazığ	1.095.278,13	7.602,28	529.510,61	1.226,99	152.111,15	3.679,19
Erzincan	707.188,23	5.051,99	442.703,76	1.042,93	39.772,12	961,99
Erzurum	4.513.421,37	30.044,88	740.647,78	1.732,29	9.163,01	221,63
Eskişehir	1.062.426,67	7.781,49	796.224,87	1.851,57	165.431,87	4.001,38
Gaziantep	1.395.840,66	10.451,40	457.491,00	978,8	168.924,11	4.085,85
Giresun	586.607,38	3.935,45	93.930,20	215,33	3.558,35	86,07
Gümüşhane	511.901,73	3.619,04	30.852,72	72,06	4.816,27	116,49
Hakkâri	234.907,43	1.466,09	769.293,71	1.756,48	2.000,26	48,38
Hatay	953.289,84	6.796,45	307.676,38	651,49	42.462,23	1.027,06
Iğdır	773.059,05	5.210,56	960.081,40	2.266,73	5.889,39	142,45
Isparta	1.184.952,06	8.770,49	436.800,98	933,52	22.720,82	549,56
İstanbul	643.524,20	4.686,93	115.971,08	269,87	102.628,41	2.482,32
İzmir	4.979.858,16	38.575,67	816.602,46	1.830,06	693.328,95	16.769,89
Kahramanmaraş	1.380.737,15	9.931,52	615.552,43	1.312,12	50.596,14	1.223,79
Karabük	275.595,08	1.754,33	23.226,41	54	44.587,67	1.078,46
Karaman	545.015,44	4.129,54	552.108,12	1.234,66	64.646,12	1.563,63
Kars	3.195.621,72	21.422,13	604.949,18	1.437,21	28.313,19	684,83
Kastamonu	1.847.000,38	13.015,03	97.746,27	217,67	25.323,78	612,52
Kayseri	2.230.768,49	16.062,35	682.886,90	1.603,92	202.281,01	4.892,67
Kırıkkale	355.647,79	2.427,46	115.463,00	264,92	35.530,95	859,4
Kırklareli	1.218.200,46	9.368,62	290.810,83	664,84	15.871,15	383,88
Kırşehir	1.214.634,41	8.849,24	229.648,51	536,37	52.931,38	1.280,28

	Büyükbaş Hayvan Atığı		Küçükbaş Hayvan Atığı		Kanatlı Hayvan Atığı	
	ton/yıl	TEP/yıl	ton/yıl	TEP/yıl	ton/yıl	TEP/yıl
Kilis	84.072,28	603,2	280.138,23	604,82	11.733,13	283,8
Kocaeli	804.123,65	5.652,64	101.388,60	229,46	244.201,61	5.906,63
Konya	6.199.867,37	46.811,75	2.191.343,56	5.125,71	671.269,39	16.236,33
Kütahya	1.405.522,11	10.298,11	471.200,76	1.056,83	75.283,27	1.820,91
Malatya	1.036.677,38	7.374,75	291.133,49	665,99	106.048,44	2.565,05
Manisa	1.604.235,59	11.568,90	915.889,02	2.081,37	1.391.860,51	33.665,63
Mardin	784.673,17	5.233,32	917.894,70	1.985,67	57.781,07	1.397,58
Mersin	791.608,90	5.702,24	1.144.120,97	2.314,06	531.596,15	12.857,98
Muğla	1.754.898,83	13.252,51	380.638,42	772,33	37.618,65	909,9
Muş	2.060.176,44	13.549,41	1.049.300,18	2.417,27	22.664,13	548,19
Nevşehir	604.461,17	4.510,75	128.437,30	303,23	45.346,85	1.096,83
Niğde	1.250.679,80	9.789,01	520.655,34	1.210,50	47.095,10	1.139,11
Ordu	879.366,94	5.952,84	132.285,86	317,28	19.530,26	472,39
Osmaniye	488.586,99	3.459,59	169.834,14	347,23	21.873,97	529,08
Rize	141.403,37	932,69	21.809,12	39,71	1.056,21	25,55
Sakarya	1.134.022,51	8.162,54	59.391,70	133,49	654.413,21	15.828,62
Samsun	2.238.043,86	15.197,38	210.290,37	494,48	149.060,78	3.605,41
Siirt	157.358,25	941,6	963.289,38	2.047,77	4.738,67	114,62
Sinop	660.408,00	4.241,65	104.386,72	240,15	7.408,65	179,2
Sivas	2.055.307,34	14.708,95	484.493,34	1.121,88	36.519,03	883,3
Şanlıurfa	1.655.302,92	10.887,41	1.873.347,90	4.382,90	36.615,27	885,63
Şırnak	243.931,69	1.456,94	506.422,54	1.064,80	7.044,62	170,39
Tekirdağ	1.255.471,52	9.913,59	308.383,39	706,39	43.297,58	1.047,26
Tokat	1.904.907,99	13.090,87	347.623,44	801,03	10.487,10	253,66
Trabzon	853.009,02	5.771,04	133.379,03	312,37	2.716,85	65,71
Tunceli	236.414,88	1.606,93	415.111,22	941,97	2.937,00	71,04
Uşak	1.103.275,10	8.656,81	522.980,76	1.231,79	240.937,42	5.827,67
Van	1.116.063,42	7.183,40	2.822.930,80	6.659,62	22.940,40	554,87
Yalova	79.390,78	572,42	25.263,11	57,39	2.608,01	63,08
Yozgat	1.630.568,88	12.005,94	319.642,54	734,18	39.420,66	953,49
Zonguldak	518.910,64	3.628,05	33.590,22	71,86	185.399,16	4.484,34

## Ormansal Biyokütle

Türkiye 78 milyon hektarlık alanıyla, ekolojik bakımdan zengin bir çeşitliliğe sahiptir. Bu zenginlik içerisinde ormanlar da tür ve kompozisyon olarak önemli bir yer tutmaktadır. 2015 yılı itibarıyla yapılan tespitlere göre ormanlık alanlar, ülke alanının %28,6'sını kaplamaktadır. Bu alanlara ağaçsız orman alanları dahil edilmemiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015).

Tablo 2.3 Türkiye’de ormanlık alanın ülke genel alanına oranı  
(Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015)

Arazi Kullanımı	Alan (ha)	%
Orman	22.342.935	28,6
Diğer*	55.661.709	71,4
Genel Alan	78.004.644	100

(\*Diğer arazi kullanımları; Ağaçsız orman toprağı, yayla, bozkır, kayalık taşlık araziler, kum, bataklık, ziraat, iskan, mezarlık, ocak, mera vb. alanları kapsar.

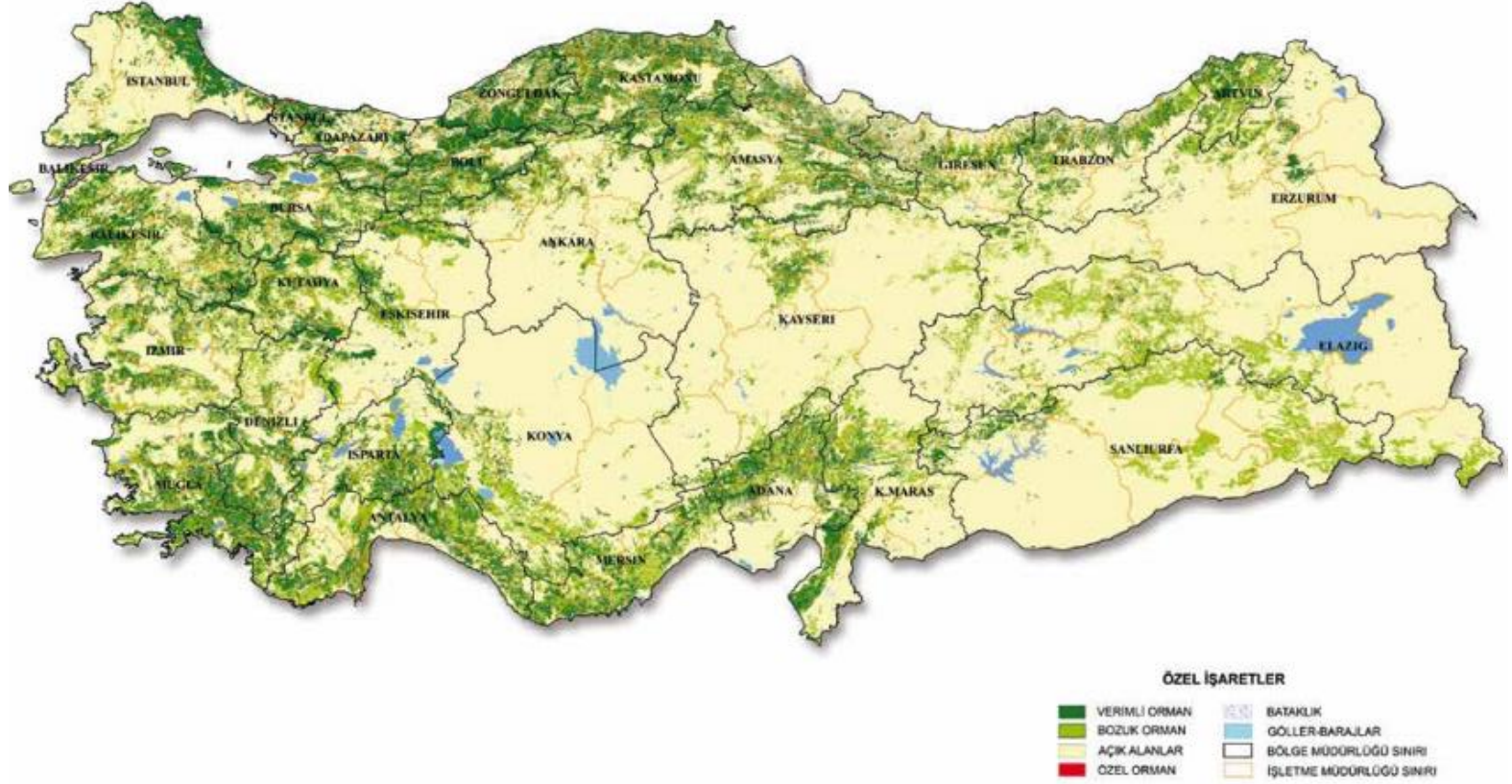
Türkiye’de orman varlığının en üst düzeyde olduğu yer, Doğu Karadeniz’den başlayıp Yıldız Dağları’na kadar devam eden kuzey kuşaktır (Şekil 2.1). Orman alanlarının genişliği bakımından ikinci sırada Akdeniz Bölgesi yer alır. Ege ve Marmara bölgelerinde tarım dışı alanlar genellikle ormanlarla kaplıdır. Orman alanlarının genişliği bakımından Ege Bölgesi Akdeniz’den sonra gelir. Kıyılardan içerilere gidildikçe ormanlık alanların hızla azaldığı görülür (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015).

Türkiye ormanlarından kesilen yıllık ortalama ağaç hacminin 28 milyon m<sup>3</sup> olduğu ve bir ağacın yaklaşık %25’nin dallar, gövde kabuğu ve kesim sonrası arta kalan uç parçalardan oluştuğu düşünülürse Türkiye ormanlarından yılda yaklaşık 7 milyon m<sup>3</sup> kadar kesim artıkları ormanda kalmaktadır. Bunun ise, büyük bir oranının nakliye masraflarını karşılayamadığı için ormanda çürümeye terk edildiği bilinmektedir (Ateş vd, 2007).

Orman atıkları; Yenilebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Potansiyeli Atlası, Orman Bölge Müdürlüklerinde oluşan yıllık atık miktarları 3.908.104 ster ve bu atıkların enerji içerikleri ise yıllık 858.391 TEP olarak Tablo 2.4’te verilmiştir.

Tablo 2.4 Türkiye orman varlığı atıkları (ster/yıl)  
(YEGM, BEPA)

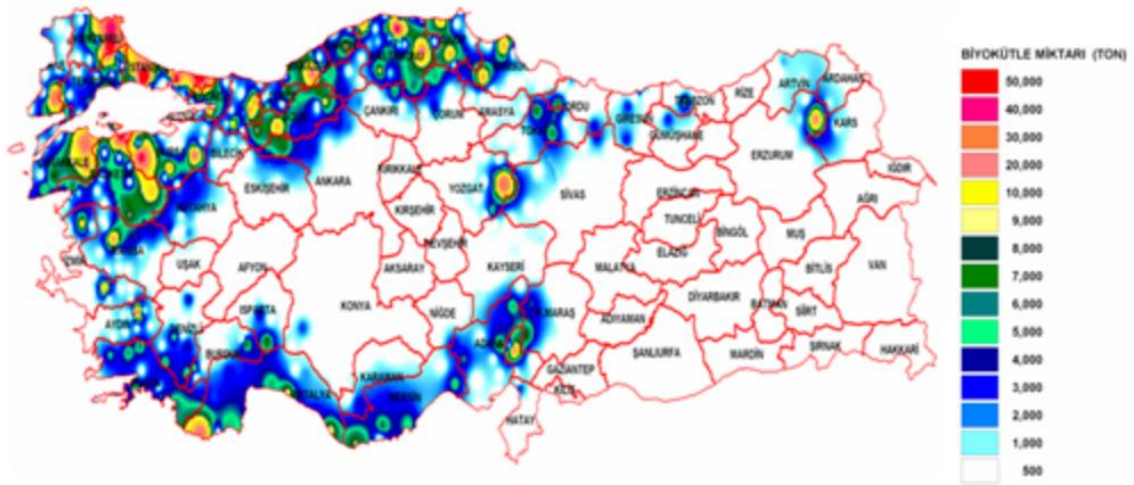
	Orman Varlığı Atıkları		
	Üretim Konu Edilmeyen Üretim Artıkları (ster/yıl)	Süceyrattan Elde Edilebilecek Yıllık Üretim (ster/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)
İstanbul Bölge Müdürlüğü	160.192	26.807	37.867,00
Adapazarı Bölge Müdürlüğü	19.859	2.607	4.549,00
Balıkesir Bölge Müdürlüğü	150.241	21.725	38.204,00
Bursa Bölge Müdürlüğü	135.999	29.365	33.486,00
Bolu Bölge Müdürlüğü	170.000	27.000	43.718,00
Zonguldak Bölge Müdürlüğü	30.541	46.020	15.504,00
Kastamonu Bölge Müdürlüğü	259.227	52.092	68.875,00
Amasya Bölge Müdürlüğü	118.328	1.960	24.358,00
Giresun Bölge Müdürlüğü	23.734	5.487	5.917,00
Trabzon Bölge Müdürlüğü	28.325	3.600	7.102,00
Artvin Bölge Müdürlüğü	25.046	4.000	5.882,00
Erzurum Bölge Müdürlüğü	35.822	351	8.131,00
Elazığ Bölge Müdürlüğü	1.750	0	354
Şanlıurfa Bölge Müdürlüğü	1.000	0	203
Kayseri Bölge Müdürlüğü	29.582	490	6.090,00
Ankara Bölge Müdürlüğü	64.481	0	14.508,00
Eskişehir Bölge Müdürlüğü	37.150	0	8.359,00
Konya Bölge Müdürlüğü	12.166	1.936	3.129,00
Kütahya Bölge Müdürlüğü	28.547	11.857	8.824,00
Denizli Bölge Müdürlüğü	100.425	297	22.662,00
İzmir Bölge Müdürlüğü	56.396	27.260	18.209,00
Muğla Bölge Müdürlüğü	863.667	0	194.325,00
Antalya Bölge Müdürlüğü	209.785	10.706	49.370,00
Mersin Bölge Müdürlüğü	198.800	47.500	54.349,00
Kahramanmaraş Bölge Müdürlüğü	32.456	5.525	8.421,00
Adana Bölge Müdürlüğü	730.000	58.000	175.995,00



Şekil 2.1 Türkiye'nin orman varlığı haritası  
(Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2015)



Kıyı kesimleri orman bakımından zengin olan Türkiye'nin bu ormanlardan elde edilebilecek toplam atık miktarı yaklaşık olarak 4,8 milyon ton yani 1,5 MTEP'dir (Şekil 2.2). Yine ormanlarda kurulabilecek gazlaştırma tesisi kapasitesi ise 600 MW civarındadır. Türkiye'deki orman kaynaklı biyokütle potansiyeli bile tam anlamıyla kullanılacak olursa hâlihazırdaki toplam biyokütle enerjisi kurulu gücünden daha fazla bir kapasiteye ulaşılabilir (YEGM, Biyokütle).



Şekil 2.2 Türkiye orman kaynaklı biyokütle potansiyeli  
(YEGM, Biyokütle)

### Tarımsal Biyokütle:

Türkiye'nin toplam tarımsal alanı, yaklaşık 38,4 milyon hektardır. Bu tarımı yapılan alanların % 40,6'sı ekili alan, % 10,4'ü nadas alanı ve % 10,7'si meyve, sebze, zeytin ve bağ alanıdır (TÜİK, Tarım İstatistikleri).

Türkiye'de tarım alanlarının yaklaşık % 9'luk bölümünde meyve üretilmektedir. 3329 bin hektar alanda yürütülen bağ ve bahçe tarımında budama faaliyetleri ürüne göre değişmekle birlikte genellikle yılda iki defa yapılmakta ve önemli düzeylerde selülozik atıklar oluşturmaktadır. Tablo 2.5'te budama atığı potansiyeli bulunan bağ ve bahçe üretimlerine budama katsayısı değerleri verilmiştir (Bilandzija vd, 2012; TÜİK, Tarım İstatistikleri). Ülkemizde meyve üretim alanlarında oluşan budama atıkları genellikle yakılmakta ya da boş alanlara terk edilmektedir.

Tablo 2.5 Bazı bahçe ürünlerinin budama katsayısı  
(Bilandzija vd, 2012)

Ürün adı	Budama Katsayısı (kg ağaç/yıl)
Fındık	3,050
Zeytin	9,080
Antep Fıstığı	8,800
Ceviz	3,430
Kayısı	5,790
Vişne	5,370
Badem	5,810
Erik	7,340
Elma	2,340
Üzüm	0,890
Armut	2,450
Şeftali	7,230
Kiraz	5,900
İncir	4,580
Portakal	5,300
Mandalina	5,300

TÜİK 2016 yılı verilerinden ve Tablo 2.5'te yer alan bazı bahçe ürünlerine ait budama katsayısı değerlerinden yararlanarak yurdumuzda yetiştirilen bazı bahçe ürünlerinin budama atıkları bölgesel olarak tespit edilmiştir ve bu değerler Tablo 2.6'da verilmiştir (TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2016).

Tablo 2.6 Bölgesel olarak değişen toplam budama atığı  
(Bilandzija vd, 2012; TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2016)

	Bölgesel Toplam Budama Atığı (ton/yıl)
Batı Marmara	198.040
Doğu Marmara	387.232
İstanbul	3.612
Ege	897.171
Batı Anadolu	68.658
Akdeniz	535.190
Orta Anadolu	44.544
Batı Karadeniz	259.750
Doğu Karadeniz	686.021
Kuzey Doğu Anadolu	7.936
Orta Doğu Anadolu	28.087
Güney Doğu Anadolu	473.981
Türkiye Geneli Toplam	3.590.222

Yapılan hesaplamalarla yurdumuzda sıklıkla yetiştirilen bahçe bitkilerinden yola çıkarak 2016 TÜİK verilerinden yararlanarak, 2016 yılında Türkiye genelinde yaklaşık 3,6 milyon ton bahçe bitkisi budama atığı tespit edilmiştir. Bu atığın yaklaşık %25'i Ege Bölgesi'nde,%19'u Doğu Karadeniz'de,%14'ü Akdeniz'de ve %13'ünü Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. TÜİK 2016 yılı verilerinden tarım ürünlerinin yıllık olarak ekilen arazi alanlarından ve bu tarımsal ürünlere ait Tablo 2.7'de yer alan atık üretimi katsayısı değerlerinden yararlanarak yurdumuzda yetiştirilen bazı tarım ürünlerinin oluşturmuş olduğu atık miktarları tespit edilmiştir. TÜİK 2016 verilerine göre 118.382.706 dekar alan ekilmiştir (Tablo 2.8). Bu alanlarda ise yıllık 48.163.559 ton tarımsal atık potansiyeli mevcuttur (Tablo 2.9). Bu üretimin yaklaşık yıllık 7,5 milyon tonu Güneydoğu Anadolu Bölgesine gerçekleştirilmektedir. Oluşan tarımsal atık miktarında Güneydoğuyu yaklaşık 7,4 milyon tonla Batı Anadolu, yaklaşık 6,2 milyon tonla Akdeniz ve yaklaşık 5,9 milyon tonla Orta Anadolu izlemektedir. Diğer bir deyişle yaklaşık %16'sı Güney Doğu Anadolu'da,%15'i Batı Anadolu'da,%12'si Orta Anadolu'da ve %11,8'de Ege Bölgesi'nde yer almaktadır (TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2016; Özer, 2017).

Tablo 2.7 Bazı tarımsal ürünlere ait atık üretimi katsayısı (ton/dekar)  
(Özer, 2017)

Buğday	0,325
Arpa	0,200
Çavdar	0,450
Yulaf	0,434
Mısır	1,480

Tablo 2.8 Bölgesel bazlı tarım ürünlerinin ekilen alanları yıllık (dekar)  
(TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2016)

	Buğday	Arpa	Çavdar	Yulaf	Mısır	Bölgesel Toplam
Batı Marmara	6.773.918	684.451	129.930	544.576	784.254	8.917.129
Doğu Marmara	3.751.442	1.476.575	85.569	288.630	1.135.561	6.737.777
İstanbul	332.827	65.223		35.178	11.354	444.582
Ege	6.292.879	3.526.667	86.523	208.819	1.914.918	12.029.806
Batı Anadolu	13.054.879	6.028.168	164.929	199.918	1.226.642	20.674.536
Akdeniz	7.281.838	1.702.705	26.966	70.965	2.354.893	11.437.367
Orta Anadolu	12.263.442	5.134.833	450.355	249.560	371.518	18.469.708
Batı Karadeniz	7.592.364	1.665.856	12.468	161.351	914.060	10.346.099
Doğu Karadeniz	317.414	171.733	5.449	9.526	210.855	714.977
Kuzey Doğu Anadolu	3.564.241	1.686.229	185.198	88.534	156.695	5.680.897
Orta Doğu Anadolu	3.578.203	1.169.494	4.626	1.514	68.183	4.822.020



	Buğday	Arpa	Çavdar	Yulaf	Mısır	Bölgesel Toplam
Güney Doğu Anadolu	12.068.696	4.126.177	220	3.703	1.909.012	18.107.808
Türkiye Geneli Toplam	76.872.143	27.438.111	1.152.233	1.862.274	11.057.945	118.382.706

Tablo 2.9 Bölgesel bazlı elde edilen bazı tarım ürünlerinin yıllık atık miktarları (ton/dekar)

	Buğday	Arpa	Çavdar	Yulaf	Mısır	Bölgesel Toplamı
Batı Marmara	2.201.523	136.890	58.469	236.346	1.160.696	3.793.924
Doğu Marmara	1.219.219	295.315	38.506	125.265	1.680.630	3.358.935
İstanbul	108.169	13.045	0	15.267	16.804	153.285
Ege	2.045.186	705.333	38.935	90.627	2.834.079	5.714.161
Batı Anadolu	4.242.836	1.205.634	74.218	86.764	1.815.430	7.424.882
Akdeniz	2.366.597	340.541	12.135	30.799	3.485.242	6.235.314
Orta Anadolu	3.985.619	1.026.967	202.660	108.309	549.847	5.873.401
Batı Karadeniz	2.467.518	333.171	5.611	70.026	1.352.809	4.229.135
Doğu Karadeniz	103.160	34.347	2.452	4.134	312.065	456.158
Kuzey Doğu Anadolu	1.158.378	337.246	83.339	38.424	231.909	1.849.296
Orta Doğu Anadolu	1.162.916	233.899	2.082	657	100.911	1.500.464
Güney Doğu Anadolu	3.922.326	825.235	99	1.607	2.825.338	7.574.605
Türkiye Geneli Toplam	24.983.446	5.487.622	518.505	808.227	16.365.759	48.163.559

Dünya Enerji Konseyi Türkiye Milli Komitesi'nin 2007 yılında hazırladığı rapora göre 11,5 milyon ton kullanılabilir tarımsal atık tespit edilmiştir. Tarım ürünleri ve tarımsal üretimden oluşan artıklar, biyokütleden enerji elde edilebilmesi açısından hammadde kaynağı oluşturmaktadır. Tarla bitkileri yıllık atık miktarının toplam ısıl değeri yaklaşık olarak 228 PJ'dür. Bunun içinde en büyük payı %33,4 ile mısır, %27,6 ile buğday ve %18,1 ile pamuk almaktadır (Dünya Enerji Konseyi Türkiye Milli Komitesi, 2007).

Türkiye'de yaklaşık olarak tarla ürünlerinden 11 766 995 ton ve bahçe ürünlerinden de 3 569 040 ton olmak üzere toplam 15 336 035 ton kullanılabilir atık miktarı tespit edilmiştir. Bu atıkların toplam ısıl değerleri ise tarla ürünlerinin 228,4 PJ, bahçe ürünlerinin ise 74,8 PJ olmak üzere toplam 303,2 PJ 'lük bir değer sağlanabilmektedir. Bu rakamlar Türkiye'nin olağanüstü bir biyokütle potansiyeli olduğunu kanıtlar niteliktedir. Ancak Türkiye'de henüz modern teknikler kullanılarak biyokütle enerjisi üretimi gelişme aşamasında olması ve önceliğin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının finansmanına verilmesinden ötürü bu alanda pek fazla ilerleme kaydedilememiştir (YEGM, Biyogaz).

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Potansiyeli Atlasından alınan il bazında yıllık oluşan tüm bitkisel atık potansiyeli ve enerji içeriği değerleri Tablo 2.10'da verilmiştir.

Türkiye genelinde tarla bitkileri atık miktarı 79.913.774,20 ton, bahçe bitkileri atık miktarı 5.409.686,76 ton ve sebze bitkileri atık miktarı ise 11.652.331,69 ton tespit edilmiştir. Ayrıca tarla bitkileri atıklarının ihtiva ettiği enerji içeriği yıllık 32.744.287,19 TEP, bahçe bitkileri atıklarının ihtiva ettiği enerji içeriği yıllık 2.294.208,26 TEP ve sebze bitkileri atıklarının ihtiva ettiği enerji içeriği yıllık 4.023.786,43 TEP 'dir (YEGM BEPA, 2018).

Tablo 2.10 Bitkisel atık miktarlarının ve enerji içeriklerinin olarak il bazında dağılımı  
(YEGM BEPA, 2018)

	Tarla Bitkileri		Bahçe Bitkileri		Sebze Bitkileri	
	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)
Adana	3.269.677,74	1.378.049,55	47.147,00	20.486,35	521.303,07	159.181,73
Adıyaman	626.547,72	267.297,30	72.317,07	31.310,17	56.776,00	17.423,89
Afyonkarahisar	1.462.601,58	608.761,49	14.543,95	6.425,64	97.830,38	34.404,57
Ağrı	345.803,84	146.124,71	40,29	17,83	4.152,86	1.327,11
Aksaray	1.504.092,46	632.653,76	8.483,33	3.698,64	38.223,68	13.738,99
Amasya	1.094.322,76	462.163,96	6.973,89	3.056,11	216.519,66	82.487,62
Ankara	2.367.307,08	1.008.392,52	28.498,02	12.433,04	372.797,67	132.784,52
Antalya	836.250,34	352.407,62	162.350,66	65.821,52	1.736.514,24	605.122,38
Ardahan	21.432,80	9.058,13	30,9	13,42	15	5,86
Artvin	12.979,20	5.201,24	27.965,10	12.071,84	9.166,34	3.364,96
Aydın	2.069.021,28	878.729,40	154.407,02	68.641,43	158.685,58	56.160,85
Balıkesir	3.445.329,48	1.444.654,57	80.318,91	35.825,03	339.972,12	118.246,17
Bartın	371.168,70	157.708,96	18.530,06	7.996,82	13.974,21	5.068,03
Batman	336.133,60	143.978,68	28.101,79	12.221,74	20.834,89	6.134,69
Bayburt	323.311,88	133.981,84	31,04	13,51	1.631,47	619,46
Bilecik	169.852,76	71.936,79	14.163,18	6.201,17	105.643,73	35.193,55
Bingöl	52.425,50	22.350,55	2.987,76	1.291,15	10.237,23	3.408,86
Bitlis	149.134,80	60.034,50	5.508,99	2.368,16	37.379,26	13.398,73
Bolu	417.091,18	173.228,27	6.043,01	2.622,66	15.871,49	5.926,65
Burdur	715.357,58	304.062,78	15.669,29	6.823,22	106.381,40	37.700,00
Bursa	2.022.870,94	856.526,80	86.169,80	38.034,86	908.778,61	326.264,17
Çanakkale	2.202.342,50	913.879,09	59.665,42	26.318,98	319.000,57	117.438,72
Çankırı	380.118,14	160.880,15	3.622,67	1.581,60	43.310,19	13.806,84
Çorum	1.309.265,84	549.275,40	20.893,93	9.076,74	108.364,47	41.715,24
Denizli	1.704.173,80	720.098,52	196.193,50	85.487,40	111.556,01	35.478,14
Diyarbakır	2.207.448,12	944.625,19	98.385,01	42.843,45	138.706,96	42.795,96
Düzce	278.309,90	118.600,08	188.167,83	81.199,81	6.744,49	2.260,74
Edirne	2.173.713,08	881.827,29	11.281,06	4.886,30	44.657,71	13.428,95
Elazığ	366.487,04	154.399,07	61.547,32	26.723,29	58.200,95	20.368,82
Erzincan	351.900,62	147.931,04	5.942,20	2.585,99	54.660,83	19.164,47
Erzurum	813.362,72	337.030,71	934,64	404,53	12.846,35	4.706,08

	Tarla Bitkileri		Bahçe Bitkileri		Sebze Bitkileri	
	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)
Eskişehir	1.337.425,76	566.484,70	5.310,64	2.313,21	137.650,01	51.126,32
Gaziantep	527.395,24	225.237,20	162.156,78	70.361,11	84.856,47	28.487,39
Giresun	36.394,94	15.381,66	351.938,83	151.877,40	14.499,34	5.536,79
Gümüşhane	159.824,60	66.819,16	2.874,77	1.241,68	7.513,74	2.828,22
Hakkâri	33.109,30	13.943,81	4.507,87	1.955,09	15.211,19	5.367,36
Hatay	892.218,64	379.774,41	78.371,11	34.534,72	284.142,80	105.030,98
İğdır	378.868,60	162.149,68	2.946,61	1.267,12	58.237,79	19.311,67
Isparta	500.345,72	208.853,65	47.987,02	20.977,96	70.136,08	25.426,27
İstanbul	362.295,12	152.223,43	7.052,90	3.042,45	25.435,28	8.125,38
İzmir	3.927.773,10	1.667.261,79	149.235,05	66.093,48	766.984,47	272.202,81
Kahramanmaraş	1.255.332,84	533.108,54	94.088,52	40.946,55	84.512,28	30.219,88
Karabük	80.685,30	33.445,75	1.127,98	488,96	8.136,11	2.985,96
Karaman	1.247.981,92	524.133,46	33.208,13	14.518,09	181.193,65	62.011,97
Kars	588.326,26	240.896,10	462,56	195,35	23,75	6,46
Kastamonu	503.255,30	210.901,29	28.614,42	12.358,44	41.462,83	15.648,98
Kayseri	1.479.736,44	621.978,75	41.069,34	17.888,05	30.679,81	10.469,12
Kırıkkale	413.987,20	176.306,91	11.183,36	4.866,66	21.686,23	6.765,74
Kırklareli	1.520.389,72	638.500,32	3.354,25	1.451,79	16.756,71	5.547,68
Kırşehir	598.439,20	253.589,52	5.856,38	2.532,44	12.465,48	4.214,92
Kilis	158.395,74	67.751,31	88.373,97	38.752,27	66.106,45	24.799,32
Kocaeli	397.949,50	168.445,16	27.458,07	11.869,20	39.444,86	13.730,45
Konya	6.616.246,94	2.789.636,61	53.826,70	23.512,95	218.611,02	73.287,96
Kütahya	724.589,24	303.956,63	6.385,00	2.834,40	51.180,98	18.412,00
Malatya	284.216,80	120.303,65	66.635,73	28.365,55	48.355,70	16.542,07
Manisa	1.687.136,66	714.745,34	355.088,82	155.745,56	545.394,92	192.384,80
Mardin	1.584.377,12	678.845,62	145.743,78	63.505,73	89.394,23	27.353,63
Mersin	807.798,88	343.229,63	327.048,39	135.427,14	827.207,14	292.138,82
Muğla	956.521,14	403.666,34	89.610,74	40.023,96	409.983,15	143.353,88
Muş	498.086,26	209.831,63	2.172,42	947,27	35.725,43	10.617,95
Nevşehir	617.214,32	257.708,37	81.827,78	35.619,63	29.822,44	10.386,04
Niğde	1.247.981,92	304.854,22	33.208,13	16.681,41	181.193,65	19.293,14
Ordu	26.503,90	10.891,45	682.002,26	294.309,59	7.627,98	2.890,70
Osmaniye	886.380,56	374.349,97	13.385,63	5.976,68	62.324,53	21.358,13
Rize	343,2	145,4	8.860,75	3.847,67	808,9	307,63
Sakarya	1.478.545,18	630.526,33	246.689,74	106.589,90	89.736,46	32.493,84
Samsun	2.447.934,06	1.012.830,51	283.440,18	122.317,32	498.996,01	181.900,84
Siirt	164.780,86	70.354,05	20.866,63	8.983,09	17.435,17	5.833,61
Sinop	292.127,60	118.982,82	5.832,85	2.516,89	42.022,39	15.006,15
Sivas	1.097.898,50	464.789,70	2.608,08	1.123,27	9.574,53	3.024,50
Şanlıurfa	3.286.530,36	1.404.639,65	94.644,89	40.650,77	286.893,33	99.935,75

	Tarla Bitkileri		Bahçe Bitkileri		Sebze Bitkileri	
	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)	Atık Miktarı (ton/yıl)	Enerji İçeriği (TEP/yıl)
Şırnak	231.790,62	99.791,58	8.531,90	3.716,94	3.950,74	1.135,70
Tekirdağ	2.280.279,14	949.786,17	23.772,39	10.382,60	34.605,97	10.512,50
Tokat	910.360,46	383.731,01	44.722,63	19.447,95	374.682,58	138.019,14
Trabzon	35.652,44	14.358,28	197.251,49	85.127,82	13.673,80	5.038,17
Tunceli	76.045,40	31.533,14	2.416,02	1.041,03	3.235,45	988,01
Uşak	549.210,00	230.383,56	19.560,17	8.503,57	59.752,04	19.320,51
Van	124.949,28	53.706,91	3.125,05	1.349,12	15.604,87	5.489,12
Yalova	13.023,60	5.533,68	4.620,23	2.050,44	15.492,86	5.453,13
Yozgat	1.065.849,64	451.336,22	28.455,67	12.396,05	27.306,76	9.493,16
Zonguldak	121.434,70	51.547,50	72.110,32	31.116,50	13.865,91	5.185,43

## Atıklar

### Ömrünü Tamamlamış Lastikler

Ülkemizde artan nüfusa bağlı olarak, taşıt sayısı da artmaktadır. 2017 yılı Kasım ayına kadar ki TÜİK verilerine göre motorlu taşıt sayısı 22.134.792'dir. Motorlu araçlarla beraber lastik kullanımı da artmaktadır. Motorlu araçlarda kullanılan lastikler belirli bir süre sonra özelliklerini kaybederek ömrünü tamamlamış lastik haline gelmektedir. Günümüzde atık lastikler önemli bir çevresel sorun teşkil etmektedir. Lastik Sanayicileri Derneği (LASDER) verilerine göre her yıl Türkiye'de yaklaşık 300.000 ton ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) ortaya çıkmaktadır. Bugün 30'un üzerinde Lisanslı Geri Kazanım firması olmuş, en az 15 Çimento Fabrikası da ÖTL'yi alternatif yakıt olarak kullanmaktadır. Lastiğin yapısında çoğunlukla yenilenemeyen kaynaklar bulunmakla beraber, doğal kauçuk, sentetik kauçuk, karbon siyahı, çelik, yağlar ve çeşitli kimyasallar da lastiğin bileşenlerini oluşturmaktadır. Atık lastikler, içeriğindeki bu maddeler nedeniyle geri dönüşüm endüstrisinde kullanılabilirler. Böylece hem geri kazanım yapılarak çevreye vereceği zararların önüne geçilmiş olur, hem de son ürünlerin maddi değerinin yüksek olması nedeniyle de ülke ekonomisine katkı sağlar (TÜİK Motorlu Kara Taşıtları, 2017).

### Belediye Atıkları

Belediyelerce toplanıp farklı bertaraf yöntemlerine göre bertaraf edilen toplam atık miktarı güncel TÜİK verilerine göre her geçen yıl artmaktadır. 2016 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre 1397 belediyenin 1390'ının atık hizmeti verdiği tespit edilmiştir. 2016 yılında atık hizmeti veren belediyelerin 31,6 milyon ton atık topladığı belirlenmiştir. Kişi başı toplanan

günlük toplam atık miktarı 1,17 kg olarak hesaplanmıştır. Üç büyük ilimizde ise toplanan kişi başı günlük ortalama atık miktarı İstanbul için 1,30 kg, Ankara için 1,14 kg ve İzmir için 1,32 kg olduğu tespit edilmiştir. Atık toplama ve taşıma hizmeti verilen belediyelerde toplanan 31,6 milyon ton atığın, %61,2'si düzenli depolama tesislerine, %28,8'i belediye çöplüklerine ve %9,8'i geri kazanım tesislerine gönderilirken, %0,2'si açıkta yakma, gömme ve dereye/araziye dökme suretiyle bertaraf edilmiştir (TÜİK Belediye Atık İstatistikleri,2016).

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Potansiyeli Atlasından yararlanarak il bazında yıllık oluşan organik ve kentsel diğer atık miktarları Tablo 2.11'de verilmiştir. Yurdumuzda oluşan yıllık 14.099.326,31 ton organik atık, 17.232.509,95 ton kentsel diğer atık miktarı tespit edilmiştir. Organik atıkların ihtiva ettiği enerji ise yıllık 2.315.413,88 TEP'dir (YEGM BEPA, 2018).

Tablo 2.11 Kentsel katı atıkların il bazında dağılımı ve organik atıkların enerji içeriği (YEGM BEPA, 2018).

	Organik Atık Miktarı (ton/yıl)	Organik Atık Enerji İçeriği (TEP/yıl)	Kentsel Diğer Atık Miktarı (ton/yıl)
Adana	339.926,84	57.787,56	415.466,14
Adıyaman	80.217,60	11.230,46	98.043,73
Afyonkarahisar	136.138,07	19.059,33	166.390,97
Ağrı	71.252,31	9.975,32	87.086,15
Aksaray	58.638,19	8.209,35	71.668,89
Amasya	48.242,84	6.754,00	58.963,47
Ankara	1.124.051,94	191.088,83	1.373.841,27
Antalya	382.465,16	65.019,08	467.457,42
Ardahan	12.921,22	1.808,97	15.792,60
Artvin	24.844,65	3.478,25	30.365,69
Aydın	203.535,58	34.601,05	248.765,71
Balıkesir	227.907,41	38.744,26	278.553,51
Bartın	28.439,90	3.981,59	34.759,88
Batman	75.804,53	10.612,63	92.649,98
Bayburt	13.327,02	1.865,78	16.288,57
Bilecik	41.592,13	5.822,90	50.834,82
Bingöl	35.420,18	4.958,83	43.291,34
Bitlis	44.836,96	6.277,18	54.800,74
Bolu	44.332,13	6.206,50	54.183,71
Burdur	38.641,60	5.409,82	47.228,63
Bursa	590.927,32	100.457,64	722.244,51
Çanakkale	99.036,16	13.865,06	121.044,20
Çankırı	27.182,06	3.805,49	33.222,52
Çorum	78.031,35	10.924,39	95.371,65

	Organik Atık Miktarı (ton/yıl)	Organik Atık Enerji İçeriği (TEP/yıl)	Kentsel Diğer Atık Miktarı (ton/yıl)
Denizli	191.613,54	32.574,30	234.194,33
Diyarbakır	274.809,80	46.717,67	335.878,64
Düzce	54.750,09	7.665,01	66.916,78
Edirne	76.536,09	10.715,05	93.544,11
Elazığ	76.052,87	10.647,40	92.953,51
Erzincan	29.700,60	4.158,08	36.300,74
Erzurum	125.161,95	21.277,53	152.975,72
Eskişehir	130.439,38	22.174,69	159.425,91
Gaziantep	304.813,40	51.818,28	372.549,71
Giresun	65.703,33	9.198,47	80.304,08
Gümüşhane	25.430,93	3.560,33	31.082,24
Hakkâri	35.190,63	4.926,69	43.010,77
Hatay	229.892,27	39.081,69	280.979,44
Iğdır	25.331,95	3.546,47	30.961,27
Isparta	63.169,17	8.843,68	77.206,76
İstanbul	3.112.417,35	529.110,95	3.804.065,65
İzmir	887.958,10	150.952,88	1.085.282,12
Kahramanmaraş	164.475,12	27.960,77	201.025,15
Karabük	35.824,95	5.015,49	43.786,04
Karaman	36.307,30	5.083,02	44.375,59
Kars	38.077,88	5.330,90	46.539,63
Kastamonu	55.721,89	7.801,07	68.104,54
Kayseri	209.819,72	35.669,35	256.446,32
Kırıkkale	41.092,98	5.753,02	50.224,76
Kırklareli	66.912,04	9.367,69	81.781,38
Kırşehir	33.996,05	4.759,45	41.550,73
Kilis	20.198,73	2.827,82	24.687,33
Kocaeli	372.873,33	63.388,47	455.734,07
Konya	333.694,38	56.728,04	407.848,68
Kütahya	109.296,01	15.301,44	133.584,01
Malatya	102.663,48	17.452,79	125.477,58
Manisa	266.159,93	45.247,19	325.306,58
Mardin	117.703,73	20.009,63	143.860,12
Mersin	291.355,19	49.530,38	356.100,79
Muğla	176.006,47	29.921,10	215.119,02
Muş	53.414,23	7.477,99	65.284,06
Nevşehir	43.001,55	6.020,22	52.557,45
Niğde	51.955,76	7.273,81	63.501,48
Ordu	110.955,67	18.862,46	135.612,49
Osmaniye	77.190,52	10.806,67	94.343,97
Rize	48.937,17	6.851,20	59.812,10

	Organik Atık Miktarı (ton/yıl)	Organik Atık Enerji İçeriği (TEP/yıl)	Kentsel Diğer Atık Miktarı (ton/yıl)
Sakarya	198.975,00	33.825,75	243.191,67
Samsun	200.084,65	34.014,39	244.547,90
Siirt	42.398,05	5.935,73	51.819,84
Sinop	30.374,79	4.252,47	37.124,74
Sivas	91.832,44	12.856,54	112.239,65
Şanlıurfa	254.998,39	43.349,73	311.664,70
Şırnak	63.569,74	8.899,76	77.696,35
Tekirdağ	198.145,45	33.684,73	242.177,77
Tokat	89.088,51	12.472,39	108.885,96
Trabzon	115.211,70	19.585,99	140.814,30
Tunceli	10.800,16	1.512,02	13.200,20
Uşak	68.349,97	9.569,00	83.538,85
Van	144.564,97	24.576,04	176.690,51
Yalova	46.044,43	6.446,22	56.276,53
Yozgat	62.240,39	8.713,65	76.071,58
Zonguldak	88.328,99	12.366,06	107.957,65

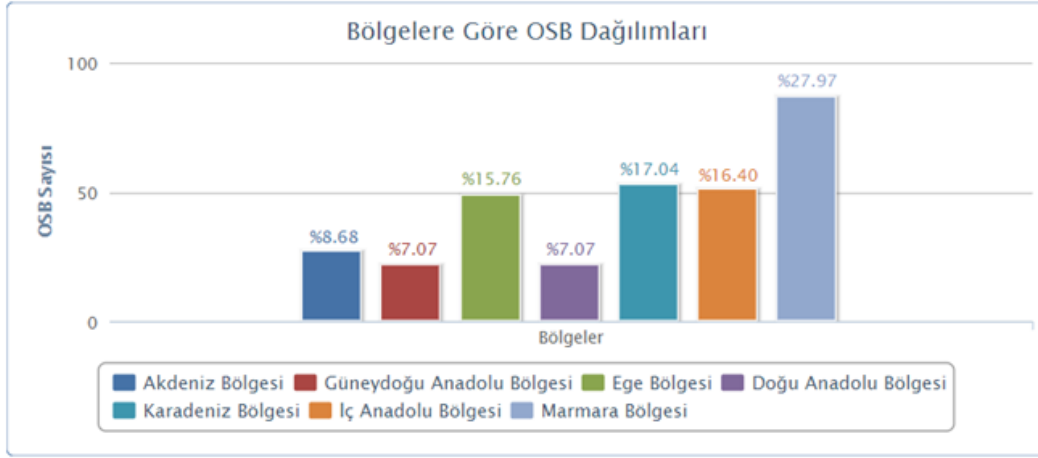
### İmalat Sanayi Atıkları

TÜİK verilerine göre 2016 yılında imalat sanayi işyerlerinde; 1,2 milyon tonu tehlikeli nitelikte olmak üzere toplam 16,3 milyon ton atık oluşmuştur. Toplam atığın %11,9'u tesis bünyesinde geri kazanılmış, %55,1'i satılmış veya lisanslı atık bertaraf ve geri kazanım firmalarına gönderilmiştir. %14,2'si düzenli depolama tesislerinde, %3,7'si çöplüklerde bertaraf edilmiştir. %11,4'ü işyeri sahasında depolanmış, %2,9'u beraber yakma ya da yakma (co-combustion) tesislerinde yakılmış, %0,8'i ise diğer yöntemlerle bertaraf edilmiştir (TÜİK İmalat Sanayi Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2016).

Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) tarafından 2016 yılında 474 bin ton atık toplanmıştır. Toplanan atığın 17,5 bin tonu OSB bünyesinde geri kazanılmış veya geçici depolanmıştır. 157,9 bin tonu OSB dışında geri kazanılmıştır, 298,6 bin tonu ise OSB bünyesinde veya OSB dışında bertaraf edilmiştir. Bertaraf edilen atıkların %58,7'si düzenli depolama tesislerinde, %41,3'ü ise belediye çöplüklerinde bertaraf edilmiştir (TÜİK Organize Sanayi Bölgeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2016).

2017 yılı itibariyle ülkemizdeki OSB sayısı 311 olup bunun 84'ü Marmara Bölgesinde yer almaktadır (Şekil 2.3).





Şekil 2.3 Bölgelere göre OSB dağılımı  
(Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı)

## 2.1.2 Arıtma Tesislerindeki Biyokütle Potansiyeli

### Evsel ve Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri Arıtma Çamurları

Tüm belediyelere, uygulanan 2016 yılı Belediye Atıksu İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre (Tablo 2-10) , 1.397 belediyeden 1.338'si kanalizasyon şebekesi ile hizmet vermektedir. Kanalizasyon şebekesi ile toplanan 4,5 milyar m<sup>3</sup> atıksuyun %40,4'ü denize, %48'i akarsuya, %2,8'i baraja, %1,8'i göl-gölete, %0,5'i araziye ve %6,5'i diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir (TÜİK Belediye Atıksu İstatistikleri).

Kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 4,5 milyar m<sup>3</sup> atıksuyun 3,8 milyar m<sup>3</sup> 'ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmış olup, arıtılan atıksuyun %44,5'ine ileri arıtma, %31,6'sına biyolojik, %23,6'sına fiziksel ve %0,3'üne doğal arıtma uygulanmıştır. Arıtılan atıksuyun %44,9'u denize, %45'i akarsuya, %2'si baraja, %1,4'ü göl-gölete, %0,4'ü araziye ve %6,3'ü diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Atıksu arıtma işlemleri sonucunda 299 bin ton(kuru madde bazında) atıksu arıtma çamuru oluştuğu tespit edilmiştir (TÜİK Belediye Atıksu İstatistikleri).

Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusunun 2016 yılı itibariyle Türkiye nüfusu içindeki payı %84,2 olup, toplam belediye nüfusu içindeki payı ise %89,7 olarak tespit edilmiştir. Atıksu arıtma tesisleri ile hizmet verilen belediye nüfusunun oranı ise Türkiye nüfusu içinde %70,2, toplam belediye nüfusu içinde %74,8 olarak hesaplanmıştır (TÜİK Belediye Atıksu İstatistikleri).

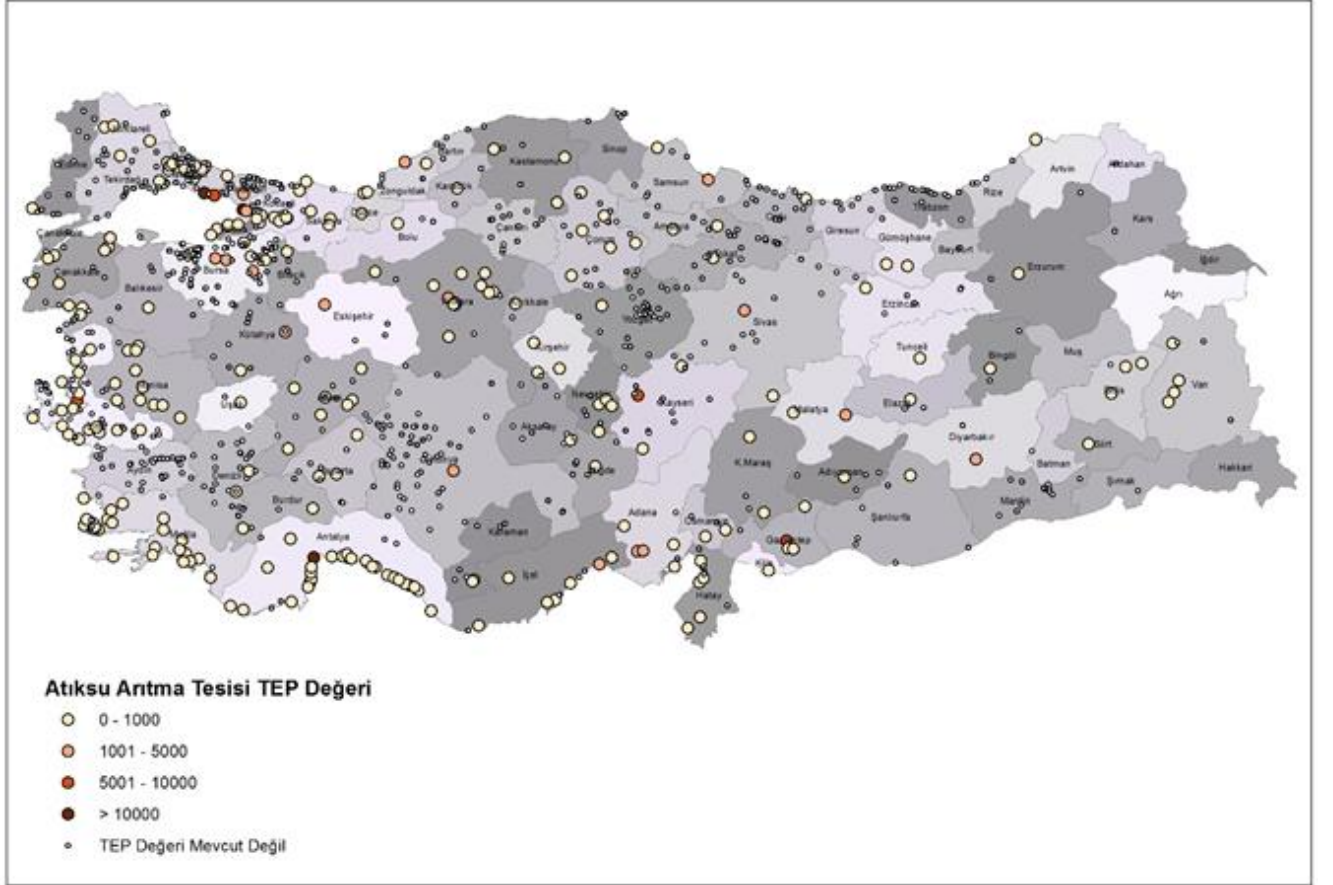
Ülkemizde arıtma tesislerinde arıtılan atıksularla ilgili net bilgiler olmasına karşın, arıtma çamurları ile ilgili olarak henüz tam bir sistematığın oturmamış olmasından dolayı, çamur



üretim miktarları ile ilgili bilgiler kısıtlıdır. 2016 yılı TÜİK verileri dikkate alınarak atıksu arıtma tesisleri ile hizmet verilen nüfus 56.016.738 toplam nüfusa oranı %70,2'dir. Arıtma çamurunun günlük kişi başı ortalama üretim miktarı 40-60g arasında değişmektedir. Bu değer daha yüksek miktarlara ulaşması beklenmektedir (Otero vd, 2003). Kişi başı 50g katı madde/gün miktarı kabul edilerek, TÜİK 2016 yılı atıksu istatistiklerinde 67.227.191 kişiye atıksu arıtma hizmeti verildiği için evsel/kentsel kaynaklı günlük yaklaşık 4033 ton arıtma çamuru oluştuğu tahmin edilmektedir. Dolayısıyla 2016 yılında belediyeler tarafından işletilen atıksu arıtma tesislerinden 1.472.045 ton çamur üretiminin gerçekleştirildiği tahmin edilmektedir.

Oluşan bu çamurların önemli bir miktarı belediye katı atık depolama tesislerinde bertaraf edilmektedir. Arıtma çamurunun düzenli depolanması bertaraf alternatifleri arasında en az karmaşık, uygulaması en kolay ve bazen de en ucuz alternatif olarak değerlendirilmektedir. Evsel/kentsel arıtma çamuru, içeriğindeki değerli besin maddeleri, ısıl değeri gibi özellikleri dikkate alındığında yararlı kullanım alternatifleri olan bir hammaddedir. Ancak düzenli depolama, arıtma çamurunun "kaynak" olarak nitelenen bu özelliklerden faydalanılmasını engellemektedir. Ayrıca hızla azalmakta olan depolama sahaları ve depolama alternatifine karşı vatandaşın tepkisi bu alternatifi çekici olmaktan uzaklaştırmaktadır. Bu unsurlar dikkate alındığında bir hammadde ve enerji kaynağı olarak arıtma çamurunun ülkemiz koşullarına uygun yararlı kullanım alternatiflerinin (ek yakıt olarak kullanılması vb.) belirlenerek ülkemiz ekonomisine kazandırılması önem taşımaktadır.

TÜBİTAK tarafından yürütülmüş olan ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın müşteri kurum olduğu, "Evsel Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi" kapsamında elde edilen veriler ışığında, hali hazırda 245 arıtma tesisinin bilgileri derlenmiş ve bu arıtma çamurlarının 188 000 ton petrole eşdeğer bir enerji içeriği olduğu görülmüştür. Şekil 2.4'te ve Tablo 2.12'de illere göre arıtma çamurunun termal enerji içeriği verilmiştir.



Şekil 2.4 İllerdeki arıtma tesislerine göre arıtma çamurunun enerji içeriği

Tablo 2.12 İllere göre arıtma çamuru enerji içeriği (TEP)

İl	Arıtma Çamuru (TEP/yıl)	İl	Arıtma Çamuru (TEP/yıl)	İl	Arıtma Çamuru (TEP/yıl)
Adana	6384,9	Edirne	0,5	Manisa	1472,1
Adıyaman	162,3	Elazığ	288	Mardin	Veri Yok
Afyonkarahisar	483,6	Erzincan	26,4	Mersin	2344,9
Aksaray	0	Erzurum	210	Muğla	2496,6
Amasya	95,6	Eskişehir	1876,8	Nevşehir	346,5
Ankara	4721,8	Gaziantep	6625,5	Niğde	84,1
Antalya	47809,9	Giresun	Veri Yok	Ordu	864
Ardahan	Veri Yok	Gümüşhane	103,4	Osmaniye	945,3
Artvin	210,3	Hatay	573,6	Rize	Veri Yok
Aydın	87,6	Isparta	787,2	Sakarya	1142,9
Balıkesir	583,4	İstanbul	63765	Samsun	2470,1
Bartın	Veri Yok	İzmir	8003,9	Siirt	175,2
Batman	Veri Yok	Kahramanmaraş	25	Sinop	Veri Yok
Bayburt	Veri Yok	Karabük	15,6	Sivas	1187



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 38/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

İl	Arıtma Çamuru (TEP/yıl)	İl	Arıtma Çamuru (TEP/yıl)	İl	Arıtma Çamuru (TEP/yıl)
Bilecik	4,8	Karaman	34,6	Şanlıurfa	390
Bingöl	18,1	Kars	Veri Yok	Şırnak	Veri Yok
Bitlis	325,4	Kastamonu	23,3	Tekirdağ	Veri Yok
Bolu	58,8	Kayseri	6387	Tokat	363,3
Burdur	45,6	Kırıkkale	54,7	Trabzon	Veri Yok
Bursa	6248,1	Kırklareli	448,6	Tunceli	57,8
Çanakkale	773,6	Kırşehir	481,8	Uşak	600
Çankırı	Veri Yok	Kilis	648	Van	104,5
Çorum	567,9	Kocaeli	4105,1	Yalova	68,1
Denizli	1,4	Konya	3285	Yozgat	114
Diyarbakır	2100	Kütahya	1161,1	Zonguldak	1501,7
Düzce	130,5	Malatya	1738,9		

Tablo 2.13 Belediye atıksu göstergeleri, 1994-2016  
(TÜİK Çevre İstatistikleri, Atıksu İstatistikleri)

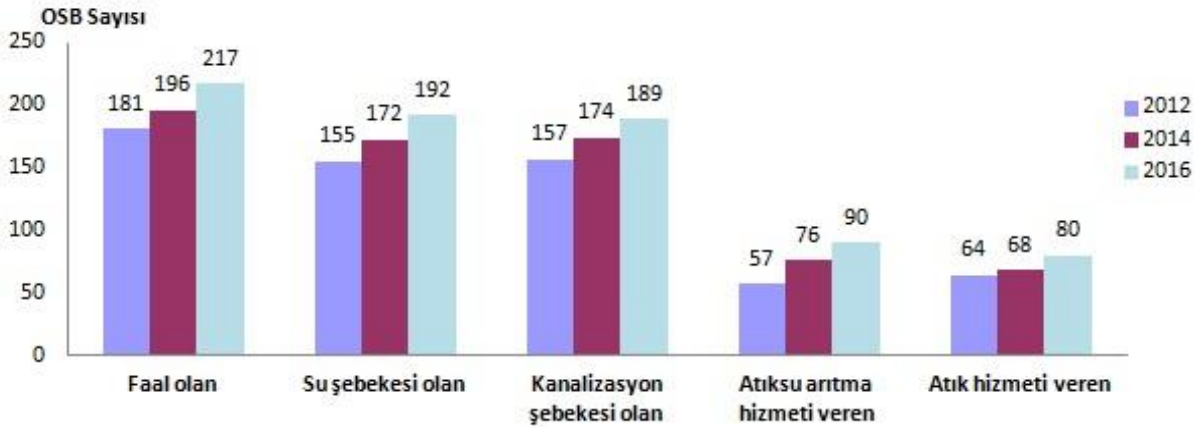
	1994	1995	1996	1997	1998	2001	2002	2003	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016
Türkiye nüfusu	62 810 111	62 810 111	62 810 111	62 810 111	62 810 111	67 803 927	67 803 927	67 803 927	67 803 927	70 586 256	70 586 256	73 722 988	75 627 384	77 695 904	79 814 871
Toplam belediye sayısı	2 740	2 801	2 827	2 835	2 834	3 227	3 227	3 227	3 225	3 225	3 225	2 950	2 950	1 396	1 397
Toplam belediye nüfusu	47 597 657	47 774 543	47 843 698	47 865 511	47 862 511	53 407 613	53 421 379	53 430 733	53 935 050	58 581 515	58 581 515	61 571 332	63 743 047	72 505 107	74 911 343
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye sayısı	1 188	1 347	1 383	1 493	1 646	2 003	2 115	2 195	2 226	2 321	2 421	2 235	2 300	1 309	1 338
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusu	32 696 622	34 225 981	34 246 075	36 652 449	37 189 736	43 034 156	44 342 222	45 202 682	46 149 479	50 856 943	51 673 078	54 017 052	58 754 795	65 071 589	67 227 191
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	52	54	55	58	59	63	65	67	68	72	73	73	78	84	84
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	69	72	72	77	78	81	83	85	86	87	88	88	92	90	90
Alıcı ortamlara göre şebekeden deşarj edilen atıksu miktarı(bin m <sup>3</sup> /yıl)	1 509 651	1 632 534	1 679 239	1 920 322	2 096 714	2 301 152	2 497 657	2 860 980	2 922 783	3 366 894	3 261 455	3 582 131	4 072 563	4 296 851	4 484 075
Denize	556 912	579 814	593 194	599 934	795 402	836 493	885 981	1 173 734	1 178 001	1 522 695	1 458 461	1 498 728	1 843 115	1 915 294	1 812 650
Göl-Gölete	53 082	76 136	63 701	88 223	87 240	37 971	38 403	44 571	43 006	46 415	67 193	76 024	75 116	93 595	78 551
Akarsuya	796 509	864 864	907 290	1 028 470	1 007 213	1 223 002	1 356 297	1 407 402	1 380 516	1 410 614	1 404 164	1 741 078	1 817 352	1 898 895	2 153 123
Araziye	40 702	42 508	50 208	49 773	55 780	41 353	37 013	43 364	40 007	120 525	50 374	35 091	35 770	17 954	20 063
Baraja	58 023	64 254	59 015	62 593	54 409	88 942	96 434	96 267	99 551	121 532	115 405	130 224	114 199	120 781	126 325
Diğer	4 421	4 957	5 830	91 328	96 670	73 390	83 528	95 643	181 702	145 113	165 857	100 985	187 011	250 333	293 363
Atıksu arıtma tesisi sayısı	41	46	55	68	80	126	145	156	172	184	236	326	460	604	881
Fiziksel	3	3	7	10	13	25	28	31	35	26	29	39	57	49	55
Biyolojik	38	43	48	58	67	98	114	121	133	135	158	199	244	345	492
Gelişmiş	-	-	-	-	-	3	3	4	4	23	32	53	70	92	135



## Sanayi Çamurları

Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri Anketi kapsamında faal olan 217 Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğünden elde edilen sonuçlara göre 2016 yılında su şebekesi ile dağıtılmak üzere 175 milyon m<sup>3</sup> su çekilmiştir. Çekilen suyun %48,2'si kuyudan, %11,5'i kaynaklardan, %14,3'ü şehir şebekesinden, %26'sı ise baraj, gölet ve akarsulardan temin edilmiştir (TÜİK Haber Bülteni, Organize Sanayi Bölgeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2016)

OSB atıksu arıtma tesislerinde 2016 yılında toplam 229 milyon m<sup>3</sup> atıksu arıtılmıştır. Arıtılan atıksuyun %56,2'si ileri arıtma, %43,8'ine ise kimyasal ya da konvansiyonel biyolojik arıtma uygulanmıştır (TÜİK Haber Bülteni, Organize Sanayi Bölgeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2016).



Şekil 2.5 Organize sanayi bölgeleri su, atıksu ve atık göstergeleri, 2012-2016  
(TÜİK OSB Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2016)

2008 yılına ait sanayilerden ve belediyelerden alınan verilere istinaden yapılan çalışmalar sonucunda; sanayi tesislerinden 575.000 ton/yıl arıtma çamurunun oluştuğu belirlenmiştir. (Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi,2010). TÜİK 2008 yılı verilerine göre arıtılan atıksu miktarı 165.486.000 m<sup>3</sup>, TÜİK 2016 yılı verilerine göre ise 251.243.000 m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu veriler üzerinden 2016 yılı için yaklaşık 873.000 ton sanayi çamurunun oluştuğu tahmin edilmektedir.

Tablo 2.14 İmalat sanayi atıksu göstergeleri, 2000 – 2016  
(TÜİK Çevre İstatistikleri, Atıksu İstatistikleri, 2016)

	2000	2004	2008	2010	2012	2014	2016
Deşarj edilen atıksu miktarı (bin m <sup>3</sup> /yıl)	746 877	637 756	1 027 838	1 256 195	1 539 818	1 931 282	1 900 355
Deşarj edilen soğutma suyu miktarı	443 484	347 091	711 953	883 651	1 197 421	1 572 229	1 507 291
Soğutma suyu hariç deşarj edilen atıksu miktarı	303 393	290 665	315 885	372 544	342 397	359 053	393 064
Artılarak deşarj edilen toplam atıksu miktarı (bin m <sup>3</sup> /yıl)	235 350	228 440	165 486	164 315	188 577	207 575	251 243
Artılarak deşarj edilen soğutma suyu miktarı	57 289	13 760	10 402	9 804	11 055	9 697	31 434
Soğutma suyu hariç artılarak deşarj edilen atıksu miktarı	178 061	214 680	155 084	154 510	177 521	197 878	219 808
Alıcı ortamlarına göre deşarj edilen atıksu miktarı (bin m <sup>3</sup> /yıl)							
Şehir Kanalizasyonu	79 866	70 375	72 459	80 922	59 459	59 723	58 124
Deniz	438 614	372 334	681 716	c	1 193 937	1 558 816	1 518 126
Göl	9 469	3 760	1 217	239	c	c	c
Akarsu	151 589	156 163	143 346	244 893	148 432	140 321	136 234
Baraj	-	-	2 260	731	c	486	c
Atık barajı	-	-	-	c	c	c	75
Fosseptik	33 878	4 373	4 215	5 446	2 539	2 126	2 347
OSB kanalizasyonu	-	-	93 882	109 326	112 658	121 292	130 337
Diğer <sup>(1)</sup>	33 461	30 751	28 744	28 443	13 683	47 764	52 479
Atıksu arıtma tesisi sayısı	926	1 198	1 431	1 825	2 075	2 096	2 361
Fiziksel /Kimyasal	378	493	458	656	778	878	1 077
Biyolojik	526	648	892	1 089	1 190	1 094	1 177
Gelişmiş	22	57	81	80	107	124	107
Atıksu arıtma tesisi kapasitesi (bin m <sup>3</sup> /yıl)	379 693	438 714	387 967	489 955	555 809	539 453	599 267
Fiziksel /Kimyasal	176 939	193 607	95 435	103 387	159 582	157 153	196 759
Biyolojik	199 995	229 137	248 416	335 505	334 402	318 508	344 537
Gelişmiş	2 759	15 970	44 116	51 062	61 825	63 792	57 970
Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı (bin m <sup>3</sup> /yıl)	221 782	242 906	189 359	244 497	239 647	244 112	285 035
Fiziksel /Kimyasal	104 653	121 774	43 638	54 677	57 797	66 865	100 146
Biyolojik	115 735	111 404	128 652	170 061	151 291	149 822	158 653
Gelişmiş	1 393	9 728	17 069	19 760	30 559	27 425	26 235

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

(1) Köy kanalizasyonu, serbest bölge kanalizasyonu, küçük sanayi sitesi kanalizasyonu, kooperatiflere ait atıksu arıtma tesisleri, DSI kanalı, kuru dere yatağı, işyeri sahası içi veya dışında sulama, ocakçı vb. alıcı ortamlara deşarj edilen atıksu miktarlarını içermektedir.

c Gizli veri  
- Bilgi yoktur

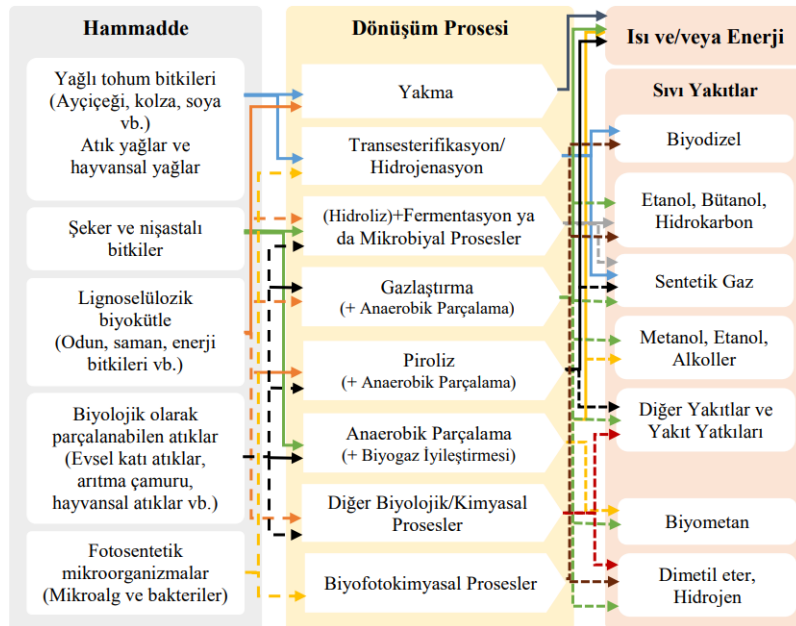
### 2.1.3 Biyokütlenin AAT'lerde Enerji Üretimine Yönelik Kullanım İmkânları

Arıtma tesisinin kurulduğu veya kurulacağı yer göz önünde bulundurularak söz konusu bölgenin hangi biyokütle kaynağı veya kaynaklarınca zengin olduğuna karar verilir. Ardından tesisin enerji sarfiyatını düşürmek veya enerji pozitif çıkarmak için uygun biyokütle kaynağı/kaynakları seçilir.

Biyokütle dönüşümü teknolojileri farklı biyokütlere uygun ve farklı ürünlere doğru iki ana yoldan oluşmaktadır.

- a. Biyokimyasal dönüşüm
- b. Termokimyasal dönüşüm

Biyokütle kaynaklarının homojen olmaması, yüksek su ve oksijen içeriği, düşük yoğunluklu ve düşük ısıl değerli olması yakıt kalitesini olumsuz etkilemektedir. Biyokütlenin bu olumsuz özellikleri boyut küçültme, kırma, öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve biriktirme gibi fiziksel süreçlerle, biyokimyasal ve termokimyasal dönüşüm prosesleriyle ortadan kaldırılabilmektedir. Şekil 2.6'da çeşitli biyokütle hammaddelerinden termokimyasal, kimyasal, biyokimyasal ve biyolojik proseslerle ısı, enerji, sıvı ve gaz yakıtlara dönüşüm süreci ticari (düz çizgiler) ve gelişmekte olan biyoenerji yolları (kesikli çizgiler) ile verilmiştir (IPCC, 2012)



Şekil 2.6 Biyokütleden enerji elde etme yöntemleri (IPCC, 2012)



Biyokimyasal dönüşüm biyogaz üretimi alt başlığı altında değerlendirilmiştir.

### 2.1.3.1 Termokimyasal Dönüşüm

Termokimyasal dönüşüm sistemleri, biyokütlenin farklı ortam koşullarında ısıtılarak gerçekleşen tepkimeler ile ürünlerin elde edilmesi prensibine dayanır. Bu şekilde nihai ya da ara ürünler elde edilir. Elde edilen sentez gazı olarak adlandırılan ara ürün daha sonra farklı reaktörler ile belirlenen nihai kimyasalların eldesi için sentezlenir. Biyokütle içerisindeki kimyasal enerjinin termokimyasal olarak ürünlere dönüştürülmesinin 3 farklı alt teknolojiye incelenmesi mümkündür.

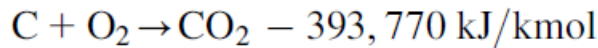
- Yanma
- Gazlaştırma
- Piroliz

Farklı dönüşüm teknolojileri ait reaksiyonlarına yukarıda belirtildiği gibi farklı ortam ve işletme özelliklerine sahiptir. Tablo 2.15 farklı teknolojilerin genel özelliklerini vermektedir.

Tablo 2.15 Termokimyasal teknolojilerin kıyaslaması

Teknoloji	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	Katalizör	Kurutma
Piroliz	300-600	0.1 – 0.5	Yok	Gerekli
Gazlaştırma	500 – 1300	> .1	Değişken	Gerekli
Yakma	700 – 1400	.1	Yok	Artı

Yanma, biyokütlenin yeterli miktarda hava veya oksijen varlığında içerdiği başta karbonun tamamen yakılarak ısı olarak kazanılması prosesidir. Yanma yakıt ve kimyasallar eldesinde belli aşamalarda prosesin ısı ihtiyacını karşılamak amacı ile kullanılmaktadır. Auto termal sistemlerde proses ekipmanı içerisinde, allo termal sistemlerde ise prosteki diğer ekipmanlarda yanma gerçekleşir.

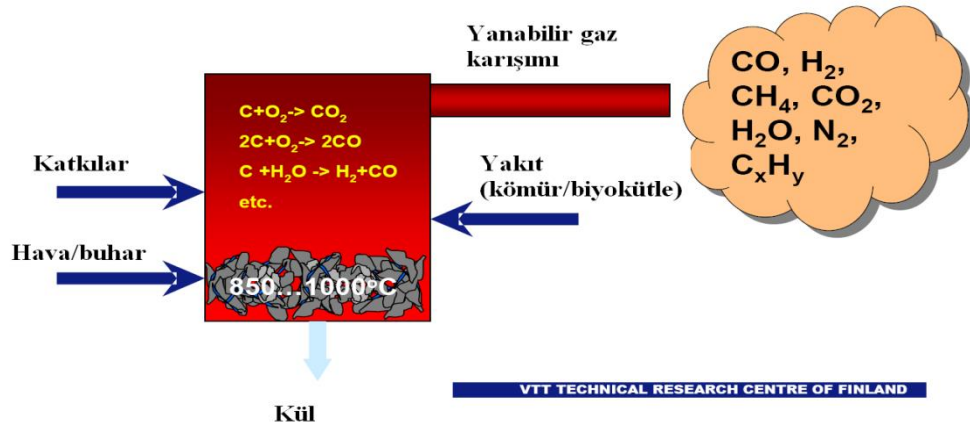


Termokimyasal teknolojiler, düzenli depolama alanları için arazi alan kısıtı ve artan arazi fiyatlarını göz önünde bulundurarak arıtma çamurunun yükselen alternatif kıymetlendirme rotası olarak değerlendirilmektedir. Yanma/Yakma Avrupa'da, özellikle gelişmiş ülkelerde, evsel arıtma çamurları için çok çekici bir bertaraf metodudur. Bu çamurların düzenli depolama

alanlarında depolanması ve tarımsal amaçlı kullanımına ilişkin sıkı limitlerin olması dolayısıyla, uzun vadede yanma/yakma termal prosesinin anahtar bir role sahip olması beklenmektedir. Arıtma çamurunun termal olarak işlenmesinin başlıca amacı; bu çamurla ilgili çevresel etkileri minimize ederek son yıllarda daha düşük limitlere çekilen çevresel standartları sağlarken diğer taraftan da içerdiği enerjinin kullanılmasıdır. Arıtma çamuru yüksek su içeriği (kuru ağırlığın %50'si) ile karakterize edilir. Bu durum termal proseslerde yüksek enerji tüketimine neden olur ve böylece, termal proses öncesi susuzlaştırma/kurutmaya ihtiyaç duyulur. Ancak, termal proses öncesi susuzlaştırma/kurutma sonucu enerji dengeleri ve artan maliyetler olmasına rağmen, termal kıymetlendirme prosesleri genellikle enerjisi kendi kendine yeten prosesler olarak düşünülmektedir. Son yıllarda yakma, çamurun enerjisinin geri kazanılması için kullanılan bir metottür. Japonya'da, yakılan çamur miktarı üretilen çamurun %55'ine ulaşmaktadır. Bu değer; ABD %25, Fransa'da %20, Belçika'da %15 ve Almanya'da %14'tür (Ergene Havzası Arıtma Çamuru Yönetim Planının Hazırlanması Projesi Sonuç Raporu, 2016).

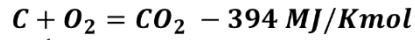
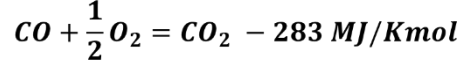
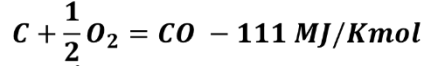
Günümüzde en yaygın kullanılan fırınlar (yakıcılar) çok hücreli, akışkan yataklı ve döner tamburlu fırınlardır.

Gazlaştırma prosesi, katı formdaki yakıtı yanabilir gaz karışımına ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ , vs.) dönüştürme işlemi olarak tanımlanır. Biyokütle bir reaktör içerisinde hava, oksijen, buhar, karbondioksit veya bunların karışımı ile yüksek sıcaklıkta ( $500^\circ C$  ve üstü) ve basınçta reaksiyona girerek sentez gazına dönüşür. Sentez gazı kullanılarak, çeşitli dönüşüm teknikleri ile elektrik, ısı veya çeşitli kimyasallar, sıvı yakıtlar ve hidrojen üretilir.



Şekil 2.7 Gazlaştırma prosesi  
(Basu, 2010).

**Yanma Reaksiyonları**



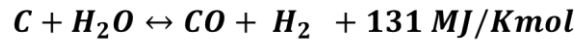
**Boudouard Reaksiyonu**



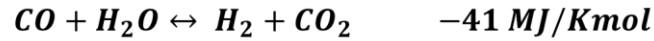
**Metanasyon Reaksiyonu**



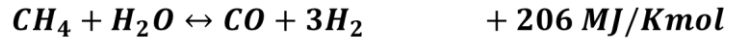
**Su gazı reaksiyonu**



**Karbon monoksit dönüşüm reaksiyonu**



**Metan-Buhar dönüşüm reaksiyonu**

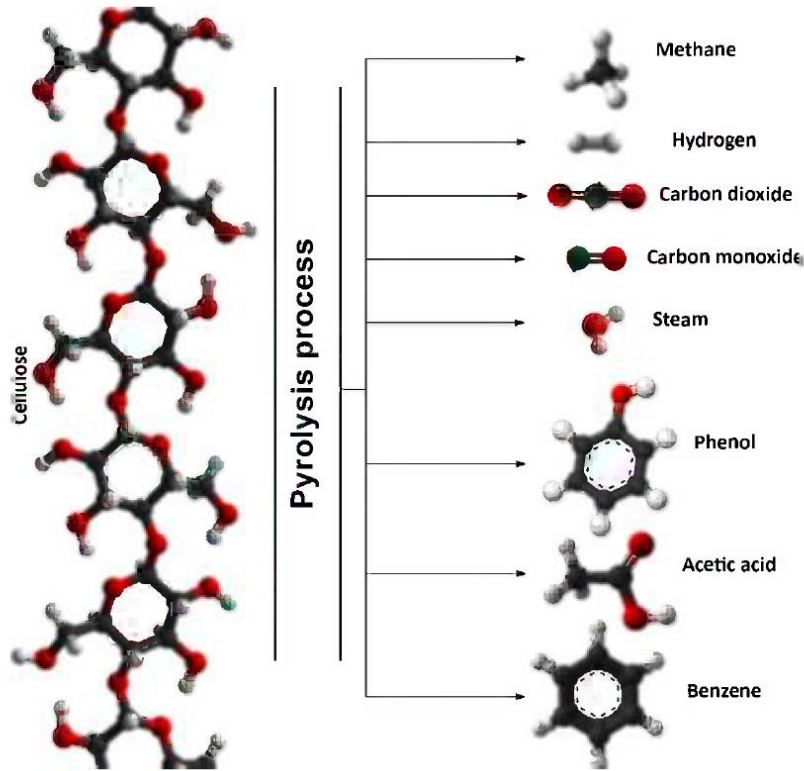
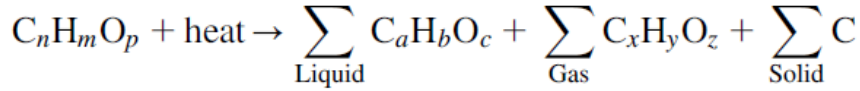


Reaksiyon denklemlerinde görüldüğü üzere katı karbonun % 28 oranında kullanılması durumunda %72 mertebesinde ısı kapasite gaza iletilmiş olacaktır. Kömür ve biyokütle içeriğinde karbonun yanı sıra hidrojen de bulunmaktadır. Hidrojenin miktarına bağlı olarak modern proseslerde yakıt ısısının %75 ila %88 arasındaki kısmının üretilen sentez gazına geçmesi beklenir.

Gazlaştırıcı tipleri aşağıda verilmiştir.

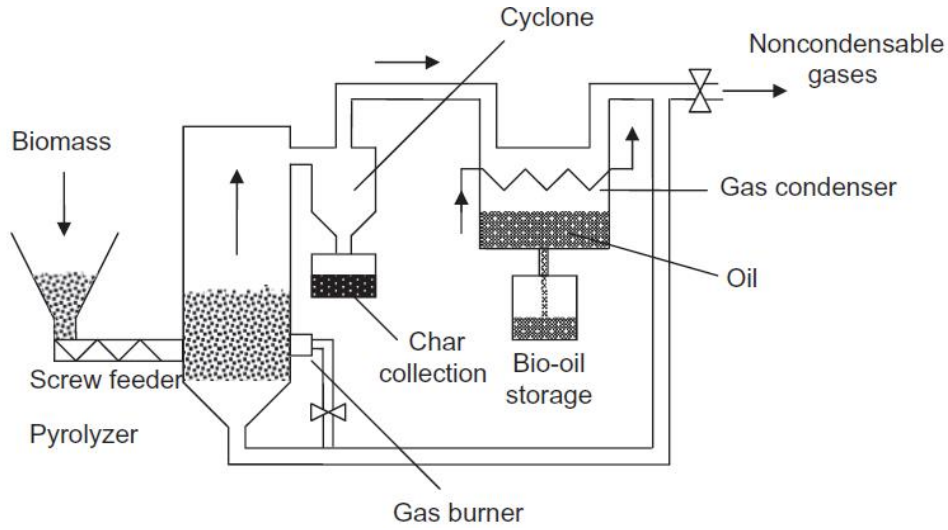
- Sabit Yatak (Fixed bed, moving packed Bed)
- Akışkan Yatak (single solid, multi-solid, directly heated, indirectly heated)
- Sürüklemeli (entrained bed)

Piroliz biyokütle içerisindeki ağır hidrokarbon moleküllerini ısı ile inert bir ortamda daha küçük hidrokarbon moleküllerine parçalayarak, sıvı, gaz ve katı karbon olan çar üretilmesi sürecidir. Tüm benzer proseslerde olduğu gibi sürecin ısı transferi ve hızı çıktı ürünleri etkilemektedir.



Şekil 2.8 Selülozun daha küçük moleküllere kırılarak yeni ürünlerin ortaya çıkması  
(Basu, 2010)

Biyokütle partikülleri piroliz reaktörüne girdikten sonra içerdeki ısı ile ışıınım ve taşınım etkisi altında sıcaklığı artar. Parçacığın içerisindeki inorganikler ve sabit karbon yapılar üzerinde ısı iletimi ve porlar içerisindeki ısı taşınımı ile parçacığın dışardan merkeze doğru ısınması gerçekleşir. Bu şartlar altında kuruma ve uçucu çıkışı gerçekleşmeye başlar ve por yapılarının müsaade ettiği ölçüde yoğuşabilir gazlar (katran) çıkışı tamamlanması ile geriye çar kalmıştır. Bu safhaya ilk de kompozisyon aşaması denir. İkinci safhada ise yoğuşabilir gaz-gaz fazındaki homojen reaksiyonlar ile gaz, sıvı ve çar arasındaki heterojen termal reaksiyonlar ile nihai ürünler oluşur. Piroliz aşaması gazlaştırma içerisinde de başlangıç aşamalarında biri olarak yerini alır. Şekilde basit piroliz tesisi şeması görülmektedir.



Şekil 2.9 Piroliz tesisi  
(Basu, 2010)

Piroliz reaksiyonunda, ısınma hızı eğer biyokütlenin karakteristik piroliz zamanından daha kısa bir sürede gerçekleştiriliyor ise hızlı piroliz olarak adlandırılır. Hızlı pirolizde amaç biyo yakıt üretmektir. Hızlı pirolizde kalma süresi genelde 2 saniye civarındadır. 1 saniye civarında gerçekleşmesi durumunda ise flash piroliz, daha da hızlı (<0.5 saniye) ise ultra hızlı olarak isimlendirilir. Hızlı pirolizde yakıt hedeflenir iken ultra hızlıda ise kimyasallar ve çeşitli gazlar ürün olarak hedeflenir. Bunun yanında metan altında gerçekleştirilen metanopiroliz ve su buharı ortamında hidropiroliz ile de farklı ürünler elde edilmektedir. Şekil 2.10'da piroliz ürünleri görülmektedir.



Şekil 2.10 Atık lastiklerin pirolizinden elde edilen ürünler

Piroliz reaktör tipleri aşağıda verilmiştir:

- Sabit yatak piroliz reaktörü
- Kabarcıklı akışkan yatak piroliz reaktörü
- Dolaşımli akışkan yatak piroliz reaktörü
- Ultra hızlı piroliz reaktörü

### 2.1.3.2 Biyolojik Dönüşüm (Biyogaz)

Biyogaz, organik materyallerin anaerobik şartlarda biyokimyasal fermentasyon ve mikrobiyolojik faaliyet sonucu parçalanması ile elde edilen, başlıca metan (%55-70 CH<sub>4</sub>) ve karbondioksitten (% 30-45 CO<sub>2</sub>) eser miktarlarda ise azot, hidrojen, hidrojen sülfür ve oksijenden oluşur. Yine kullanılan hammaddeye bağlı olarak ilave bileşenler; az miktarlarda amonyak, alkanlar, aromatik hidrokarbonlar, aril halojenür ve kükürt dioksit gibi oksitlenmiş bileşiklerdir. Karışım oranları, biyogaz sistemine ve sistem parametrelerine, kullanılan atığın karakteristiğine ve bekletme sürelerine göre değişiklik göstermektedir. Tablo 2.18'de biyogazın genel karakterizasyonu verilmiştir (Dueblein & Steinhauser, 2008).

Tablo 2.16 Biyogazın genel karakterizasyonu  
(Dueblein & Steinhauser, 2008)

Parametre	Değer
İçeriği	%55-70 CH <sub>4</sub> %30-45 CO <sub>2</sub> Eser miktarda diğer gazlar
Enerji içeriği	6,0-6,5 kWh m <sup>-3</sup>
Yakıt eşdeğeri	0,60-0,65 L yakıt/m <sup>3</sup> biyogaz
Yanma sıcaklığı	650-750°C
Kritik basınç	75-89 bar
Kritik sıcaklık	-82,5 °C
Normal yoğunluk	1,2 kg m <sup>-3</sup>
Molar kütle	16,043 kg kmol <sup>-1</sup>

#### 2.1.3.2.1 Biyogaz Proses Biyokimyası

Biyogaz üretimi, biyokütle bozunumu ve dönüşümünün dört aşaması olan; hidroliz, asidojenez, asetat oluşumu (asetojenez) ve metan oluşumundan (metanojenez) meydana gelen bir biyolojik süreçtir.

**Hidroliz:** Anaerobik çürütmenin ilk aşaması olan hidroliz oldukça yavaş bir süreç olup, hücre dışı enzimler tarafından gerçekleştirilir. Bu aşamada, karbonhidrat, yağ ve protein gibi karmaşık (kompleks) yapıda bileşikler, daha basit yapıları monomerlerine (çözünebilir şekerler, amino asitler, peptidler ve uzun zincirli yağ asitleri) ayrıştırılırlar (Verma 2002; Nadais vd, 2010).

**Asit üretimi (Asidojenez):** İkinci aşama olan asit üretimi fazında, organik maddeler genellikle "asit üreticiler" olarak adlandırılan fakültatif ve mutlak anaerob mikroorganizmaların bir grubu tarafından basit uçucu yağ asitlerine dönüştürülür. Bu ikinci aşamanın ürünleri ağırlıklı olarak organik yağ asitleri ve biyolojik hücrelerin küçük bir bölümünden oluşur. Bu aşamada hiçbir atığın stabilizasyonu sağlanmamasına rağmen, metan üretimi aşaması için uygun substratın (organik maddenin) hazırlanması için ara bir reaksiyon olarak değerlendirilir (Nadais vd, 2010).

**Asetat üretimi (Asetojenez)** Asetat üretimi adımı, asit üretimi kısmında oluşturulan organik asitler asetata ve hidrojene dönüştürülür. Buna ek olarak, mevcut hidrojen ve karbondioksitin bir kısmı homoasetojenik bakteriler vasıtasıyla asetata dönüştürülür (Show vd, 2010).

**Metan üretimi:** Metan üreten mikroorganizmalar (metanojenler) başta asetik asit olmak üzere kısa zincirli yağ asitlerini metabolize ederek metan ve karbondioksit üretirler. Hidrojen kullanan metanojenlerin karbon dioksit ve hidrojeni metana indirgemesinde metan üretiminin bir başka yoludur. Tüm organik madde tükeninceye kadar metan ve karbon dioksit (nihai ürünler) sürekli olarak açığa çıkar (Hassan vd, 2016).

### 2.1.3.2.2 Biyogaz Üretimini Etkileyen Parametreler

Biyogaz üretimi birbirini takip eden bir takım reaksiyonlardan oluştuğu için birçok faktörden etkilenmektedir. Reaksiyonlar çeşitli bakteriler tarafından gerçekleştirildiği için bu bakterileri etkileyen her parametre biyogaz üretimini ve biyogazın içindeki metan miktarını da etkilemektedir.

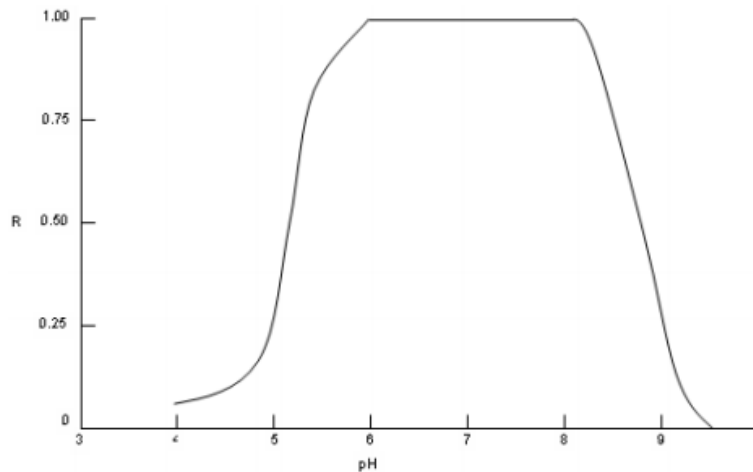
**Sıcaklık:** Sıcaklık artışının biyokimyasal reaksiyonları hızlandırdığı bilinmektedir. Fermantasyon sırasında oluşan olaylar enzimler tarafından kontrol edildiği için enzim aktivitelerini etkileyen parametreler reaksiyonları da etkilemektedirler. Enzimlerin bazıları 40-50 °C arasında zarar görürken bazıları 60 °C sıcaklıkta bile iş görebilmektedir (Yaldız, 2004).

Sıcaklık isteklerine göre bakteriler 3 gruba ayrılmaktadır;

- Sakrofilik bakteriler: 20°C'nin altında sıcaklıkta çalışırlar,
- Mezofilik bakteriler: 20- 45 °C sıcaklık aralığında aktifirler,
- Termofilik bakteriler: 45°C'tan büyük sıcaklıklarda aktif çalışırlar (Yaldız, 2004).

**Hammadde Konsantrasyonu:** Kullanılan hammaddenin kuru madde içeriği biyogaz üretiminde önemli rol oynamaktadır. Yüksek kuru madde konsantrasyonlarının gaz üretimini artırdığı ve üreteç hacmini azalttığı bilinmektedir. Biyogaz fermantasyonunda sabit bir konsantrasyon oranı belirlemek zordur. Bazı kaynaklar %10'u sınır kabul etse bu değer in üstünde yapılmış çalışmalar da mevcuttur (Yaldız, 2004).

**pH:** Anaerobik arıtma sistemlerinde pH'ın değişimi birçok faktörün toksik etkilerini artırabilir veya azaltabilir. Bu sebeple, pH oldukça önemli bir parametredir. Özellikle serbest amonyak azotunun toksik etkisi, pH'ın yüksek olduğu durumlarda daha tehlikeli olmaktadır. Anaerobik arıtmada pH değişimlerine en hassas grup metanojenlerdir. Metanojen mikroorganizmaları için uygun pH aralığı 6,5- 8,5'dur. Genellikle sistem performansı pH düştüğünde düşer ve daha sonra durur. Eğer pH 8'in üzerine çıktığında aktivitede bir yavaşlama oluyorsa bunun nedeni serbest NH<sub>3</sub> konsantrasyonudur (Speece, 1996). Anaerobik arıtmada metanojenlerin aktivitelerinin pH'a bağlı değişimi Şekil 2.16'da gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Metanojenlerin aktivitelerinin pH'a bağlı değişimi (Speece, 1996).

**Karbon/Azot Oranı:** Kullanılan hammaddelerden olabildiğince verimli metan üretebilmek için, mikroorganizmaların optimal besin desteğinin sağlanması gerekir. Mikroorganizmaların



yaşamları için en önemli besin maddeleri karbon (C) ve azot (N)'tur. Karbon biyogaz oluşumu için gerekli iken, azot metabolizmayı gerçekleştiren enzimlerin oluşturulmasında gereklidir. Bunun için kullanılan hammaddenin C/N oranı önemlidir. C/N oranının 20 ile 30 değerleri arasında olması istenmektedir. Bu oran çok yüksek olacak olursa azot, metan bakterileri tarafından protein ihtiyaçlarını karşılamak için hızlıca tüketilir ve malzemenin karbon oranı artar. Karbon oranı fazla olduğunda yetersiz metabolizma nedeniyle varolan karbon tümüyle dönüştürülemez ve bu yüzden verimli bir metan üretimine ulaşılamaz. Böylece biyogaz üretimi sekteye uğrar. Bu oran çok düşük olursa da azot salınır ve amonyak olarak depolanır. Bu durum ortamın pH'ını artırır ve pH 8,5'in üzerine çıkması da metan bakterileri üzerinde toksik etki yapmaya başlar, düşük derişimlerde bile bakterilerin büyümesini engeller ve hatta bütün mikroorganizma nüfusunun tümüyle çökmesine neden olabilir ve kötü kokulu yanmayan bir gaz elde edilir (Abbasi vd, 2012).

**Yükleme Oranı:** Bu parametre sürekli beslemeli sistemlerde önem kazanmaktadır. Yükleme oranı, 1 m<sup>3</sup> lük bir reaktöre günde beslenmesi gereken ham uçucu katı madde miktarıdır. Gereğinden fazla yapılan besleme metan bakterilerinin sindirme kapasitesinden fazla madde girişine neden olur ki bu da ortamın pH'ını düşürür (İlkılıç & Deviren, 2011).

**Karıştırma:** Karıştırma işlemi reaktör içinde daha homojen bir sıcaklık ve bakteri dağılımı sağlanması açısından önem kazanmaktadır. Karıştırma işlemi reaktör içinde üretilen gazın sistemden uzaklaştırılması, yeni eklenen malzemenin bakterilere ulaşımı, yüzeyde oluşan tabakanın dağıtılması ve çökelmenin önlenmesi görevlerini yerine getirmektedir (İlkılıç & Deviren, 2011).

**Hidrolik Bekletme Süresi:** Belli bir miktar organik malzemedan üretilecek olan gazın %80'inin üretilmesi için geçen süredir. Bu süre organik maddenin cinsine ve sıcaklığına göre değişmektedir (İlkılıç & Deviren, 2011).

**Zehirlilik:** Antibiyotikler, dezenfektanlar, çözücü maddeler, herbisitler, tuzlar ya da ağır metaller gaz üretimi, süreç akışını ve mikroorganizma topluluğuna zehirli ve önleyici etki yapmaktadırlar. Bunlar belirli koşullarda çok düşük miktarlarda ayrıca bozunma performansını düşüren ya da zehirli derişimde bozunma sürecini durduran maddelerdir (Türk –Alman Biyogaz Projesi, 2010). Metallerde özellikle demir, nikel ve kobalt düşük oranlarda fermentasyonu hızlandırırken, düşük sıcaklıklarda zehirli etkiye neden olmaktadır (İlkılıç & Deviren, 2011).

### 2.1.3.2.3 Biyogaz ve Biyogaz Üretimi Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları

Biyogaz, çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilerek kullanımı da mümkündür. Ayrıca biyogaz üretimi sonucu ortaya çıkan yan ürünler de çeşitli amaçlarla kullanılabilir (YEGM Biyogaz).

**a) Biyogazın Isıtmada Kullanılması:** Biyogazın yanma özelliği bileşiminde bulunan metan gazından ileri gelmektedir. Biyogaz hava ile 1/7 oranında karıştığı zaman tam yanma gerçekleşir. Isıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan fırın ve ocaklardan yararlanılabileceği gibi termosifon ve şofbenlerde biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir. Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobaların meme çaplarında basınç ayarlaması yapılarak kolaylıkla kullanılabilir. Biyogaz sobalarda kullanıldığında bünyesinde bulunan hidrojen sülfür gazının yanmadan ortama yayılmasını önlemek üzere bir baca sistemi gerekli olmaktadır. Bu nedenle, daha sağlıklı bir ısınma için kalorifer sistemleri tercih edilmektedir (YEGM Biyogaz).

**b) Biyogazın Elektrik Enerjisi Amaçlı Kullanılması:** Biyogaz hem doğrudan yanma hem de elektrik enerjisine çevrilerek aydınlatmada kullanılabilir. Biyogazın doğrudan aydınlatmada kullanımında sıvılaştırılmış petrol gazları ile çalışan lambalardan yararlanılmaktadır. Bu sistemde aydınlatma alevini arttırmak üzere amyant gömlek ve cam fanus kullanılmaktadır. Cam fanus ışığı sabitleştirdiği gibi çıkan ısıyı geri vererek alevin daha fazla olmasını sağlamaktadır (YEGM Biyogaz).

**c) Biyogazın Motorlarda Kullanımı:** Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilir gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılması durumunda belirli oranlarda (% 18-20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir (YEGM Biyogaz).

**d) Yan Ürün Değerlendirme İmkânları:** Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya beton-toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılabilir. Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin temel avantajı anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olmasıdır. Bu özellik kullanılacak olan organik gübrenin yaklaşık %10 daha verimli olmasını sağlar (YEGM Biyogaz).

### 2.1.3.2.4 Türkiye'nin Biyogaz Projeksiyonu ve AAT'lerde Biyokütle Dönüşümü

Yenilebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından, Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlasından elde edilen verilere göre yılda yaklaşık 110 milyon ton büyükbaş, yaklaşık 41,5 milyon ton küçükbaş hayvan gübresi ve yaklaşık 12 milyon ton da kanatlı hayvan gübresi potansiyeli tespit edilerek Tablo 2.2'de yer verilmiştir. Tablo 2.2 ve Tablo 2.17'den yararlanılarak bu potansiyelin il bazında dağılımı Tablo 2.18'de verilmiştir (YEGM BEPA, 2018).

Tablo 2.17 Hayvan cinsi bazında üretilebilecek yıllık yaş gübre ve biyogaz miktarları (YEGM Biyogaz)

Hayvan Adedi	Hayvan Cinsi	Yaş Gübre Miktarı(ton/yıl)	1 ton gübreden elde edilecek biyogaz miktarı (m <sup>3</sup> /yıl)
1	Büyükbaş Hayvan	3,6	33
1	Küçükbaş Hayvan	0,7	58
1	Kümes Hayvanı	0,022	78
<b>Hayvan Ağırlığı Bazında Üretilebilecek Günlük ve Yıllık Yaş Gübre Miktarları</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Büyükbaş hayvan canlı ağırlığının % 5-6'sı kg-yaş gübre/gün</li> <li>• Koyun-Keçi canlı ağırlığının % 4-5'si kg-yaş gübre/gün</li> <li>• Tavuk canlı ağırlığının % 3-4'si kg-yaş gübre/gün</li> </ul>			

Tablo 2.18 Hayvansal atıkların il bazında biyogaz potansiyeli (m<sup>3</sup> metan/ yıl)

	Büyükbaş Biyogaz Potansiyeli (m <sup>3</sup> /yıl)	Küçükbaş Biyogaz Potansiyeli(m <sup>3</sup> /yıl)	Kanatlı Hayvan Biyogaz Potansiyeli(m <sup>3</sup> /yıl)
Adana	54.481.359,90	32.685.633,20	10.539.643,92
Adıyaman	23.704.481,79	15.451.263,22	1.048.167,12
Afyonkarahisar	88.746.692,76	47.602.269,24	72.945.407,34
Ağrı	66.635.114,04	83.171.468,14	832.479,96
Aksaray	50.659.836,48	33.418.179,00	1.324.468,86
Amasya	43.897.623,00	11.067.188,80	6.034.455,18
Ankara	87.496.494,03	70.949.751,64	40.285.276,20
Antalya	41.591.228,25	57.672.902,04	2.155.508,94
Ardahan	68.016.380,52	4.542.150,52	1.122.887,22
Artvin	13.557.237,54	6.487.758,20	76.133,46
Aydın	95.878.175,91	17.195.840,58	9.316.593,78
Balıkesir	144.133.800,36	58.852.366,84	80.248.006,02
Bartın	11.977.421,61	241.930,76	2.420.379,00
Batman	14.940.840,75	40.890.151,38	858.925,86
Bayburt	20.037.242,94	2.944.344,48	373.777,56
Bilecik	8.784.858,06	7.091.251,68	5.153.046,60
Bingöl	30.768.970,65	32.892.146,84	4.130.112,48
Bitlis	14.763.159,18	39.511.454,84	334.733,10
Bolu	36.089.265,30	7.582.565,04	70.100.273,88

	Büyükbaş Biyogaz Potansiyeli (m <sup>3</sup> /yıl)	Küçükbaş Biyogaz Potansiyeli(m <sup>3</sup> /yıl)	Kanatlı Hayvan Biyogaz Potansiyeli(m <sup>3</sup> /yıl)
Burdur	58.749.361,11	23.596.336,04	717.673,32
Bursa	52.058.953,65	25.706.032,68	36.029.504,16
Çanakkale	59.391.726,90	40.279.630,04	13.620.239,10
Çankırı	31.793.223,00	6.767.689,40	7.719.141,30
Çorum	54.146.924,37	11.980.399,38	23.020.024,56
Denizli	71.645.527,14	33.570.730,02	12.043.719,48
Diyarbakır	90.288.121,44	74.396.630,16	2.707.770,00
Düzce	12.404.230,08	869.473,36	16.282.286,28
Edirne	42.588.578,67	20.099.072,92	1.119.860,04
Elazığ	36.144.178,29	30.711.615,38	11.864.669,70
Erzincan	23.337.211,59	25.676.818,08	3.102.225,36
Erzurum	148.942.905,21	42.957.571,24	714.714,78
Eskişehir	35.060.080,11	46.181.042,46	12.903.685,86
Gaziantep	46.062.741,78	26.534.478,00	13.176.080,58
Giresun	19.358.043,54	5.447.951,60	277.551,30
Gümüşhane	16.892.757,09	1.789.457,76	375.669,06
Hakkâri	7.751.945,19	44.619.035,18	156.020,28
Hatay	31.458.564,72	17.845.230,04	3.312.053,94
Iğdır	25.510.948,65	55.684.721,20	459.372,42
Isparta	39.103.417,98	25.334.456,84	1.772.223,96
İstanbul	21.236.298,60	6.726.322,64	8.005.015,98
İzmir	164.335.319,28	47.362.942,68	54.079.658,10
Kahramanmaraş	45.564.325,95	35.702.040,94	3.946.498,92
Karabük	9.094.637,64	1.347.131,78	3.477.838,26
Karaman	17.985.509,52	32.022.270,96	5.042.397,36
Kars	105.455.516,76	35.087.052,44	2.208.428,82
Kastamonu	60.951.012,54	5.669.283,66	1.975.254,84
Kayseri	73.615.360,17	39.607.440,20	15.777.918,78
Kırıkkale	11.736.377,07	6.696.854,00	2.771.414,10
Kırklareli	40.200.615,18	16.867.028,14	1.237.949,70
Kırşehir	40.082.935,53	13.319.613,58	4.128.647,64
Kilis	2.774.385,24	16.248.017,34	915.184,14
Kocaeli	26.536.080,45	5.880.538,80	19.047.725,58
Konya	204.595.623,21	127.097.926,48	52.359.012,42
Kütahya	46.382.229,63	27.329.644,08	5.872.095,06
Malatya	34.210.353,54	16.885.742,42	8.271.778,32
Manisa	52.939.774,47	53.121.563,16	108.565.119,78
Mardin	25.894.214,61	53.237.892,60	4.506.923,46
Mersin	26.123.093,70	66.359.016,26	41.464.499,70
Muğla	57.911.661,39	22.077.028,36	2.934.254,70
Muş	67.985.822,52	60.859.410,44	1.767.802,14

	<b>Büyükbaş Biyogaz Potansiyeli (m<sup>3</sup>/yıl)</b>	<b>Küçükbaş Biyogaz Potansiyeli(m<sup>3</sup>/yıl)</b>	<b>Kanatlı Hayvan Biyogaz Potansiyeli(m<sup>3</sup>/yıl)</b>
Nevşehir	19.947.218,61	7.449.363,40	3.537.054,30
Niğde	41.272.433,40	30.198.009,72	3.673.417,80
Ordu	29.019.109,02	7.672.579,88	1.523.360,28
Osmaniye	16.123.370,67	9.850.380,12	1.706.169,66
Rize	4.666.311,21	1.264.928,96	82.384,38
Sakarya	37.422.742,83	3.444.718,60	51.044.230,38
Samsun	73.855.447,38	12.196.841,46	11.626.740,84
Siirt	5.192.822,25	55.870.784,04	369.616,26
Sinop	21.793.464,00	6.054.429,76	577.874,70
Sivas	67.825.142,22	28.100.613,72	2.848.484,34
Şanlıurfa	54.624.996,36	108.654.178,20	2.855.991,06
Şırnak	8.049.745,77	29.372.507,32	549.480,36
Tekirdağ	41.430.560,16	17.886.236,62	3.377.211,24
Tokat	62.861.963,67	20.162.159,52	817.993,80
Trabzon	28.149.297,66	7.735.983,74	211.914,30
Tunceli	7.801.691,04	24.076.450,76	229.086,00
Uşak	36.408.078,30	30.332.884,08	18.793.118,76
Van	36.830.092,86	163.729.986,40	1.789.351,20
Yalova	2.619.895,74	1.465.260,38	203.424,78
Yozgat	53.808.773,04	18.539.267,32	3.074.811,48
Zonguldak	17.124.051,12	1.948.232,76	14.461.134,48
Türkiye Geneli Toplam	3.621.287.977,89	2.405.809.545,94	942.383.030,16

Gübre miktarı ile büyükbaş hayvan atıklarından yaklaşık 3.621.287.977,89 m<sup>3</sup> lük, küçükbaş hayvansal atıklarından ise yaklaşık 2.405.809.545,94 m<sup>3</sup> lük biyogaz elde edilebileceği hesaplanmıştır. Kanatlı hayvan atıkları göz önüne alındığında ise bu rakam yaklaşık 942.383.030,16 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Yurdumuzun büyük çoğunluğunda yetiştirilen tarım ürünlerinin (buğday, arpa, çavdar, yulaf ve mısır) yıllık 48.163.559 ton atık oluşturduğu ve atığın bölgesel dağılımı Tablo 2.9'da verilmiştir. Tablo 2.9 ve Tablo 2.19'dan yararlanarak oluşturulan Tablo 2.20'de bu atıklardan elde edilebilecek metan miktarı verilmiştir. Tablo 2.20'de yurdumuzda yaygın olarak yetiştirilen tarım ürünlerinin metan içeriğinin 35.980.258.716 m<sup>3</sup> ve bunun bölgesel dağılımı yer almaktadır (TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2016, Özer, 2017). Aynı şekilde diğer hububat ürünleri içinde benzer hesaplamalar yapılabilir.

Tablo 2.19 Bazı tarımsal ürünlerin metan üretimi  
(Özer, 2017)

	Atık Üretimi Katsayısı (ton/dekar)	1 ton atıktan elde edilebilecek metan miktarı (m <sup>3</sup> metan)
Buğday	0,325	295,2
Arpa	0,200	351,9
Çavdar	0,450	273,6
Yulaf	0,434	290,5
Mısır	1,480	251

Tablo 2.20 Bazı tarım ürünlerinin atıklarından elde edilebilecek miktarı (m<sup>3</sup> metan/yıl)

	Buğday	Arpa	Çavdar	Yulaf	Mısır	Bölgesel Olarak Elde Edilen Metan Miktarı
Batı Marmara	1.999.660.275	240.857.955	35.588.131	158.199.338	196.847.767	2.631.153.466
Doğu Marmara	1.107.425.996	519.606.742	23.437.318	83.846.733	285.025.763	2.019.342.552
İstanbul	98.250.734	22.952.677	0	10.219.040	2.849.867	134.272.318
Ege	1.857.658.175	1.241.033.413	23.698.436	60.661.620	480.644.479	3.663.696.123
Batı Anadolu	3.853.800.576	2.121.313.022	45.174.022	58.075.903	307.887.114	6.386.250.637
Akdeniz	2.149.598.259	599.181.889	7.386.169	20.615.459	591.078.204	3.367.859.980
Orta Anadolu	3.620.168.396	1.806.948.436	123.352.386	72.497.153	93.251.079	5.716.217.450
Batı Karadeniz	2.241.265.580	586.214.374	3.415.228	46.872.241	229.429.093	3.107.196.516
Doğu Karadeniz	93.701.021	60.433.546	1.492.450	2.767.112	52.924.537	211.318.666
Kuzey Doğu Anadolu	1.052.163.647	593.384.336	50.725.671	25.719.290	39.330.512	1.761.323.456
Orta Doğu Anadolu	1.056.285.548	411.545.290	1.267.243	439.766	17.113.960	1.486.651.807
Güney Doğu Anadolu	3.562.678.877	1.452.000.982	60.257	1.075.653	479.162.052	5.494.977.821
Türkiye Geneli Toplam	22.692.656.182	9.655.470.909	315.596.710	540.990.653	2.775.544.262	35.980.258.716

TÜİK 2016 yılı bitkisel üretim istatistiklerinden, yurdumuzda bulunan bazı bahçe bitkilerinden (fındık, zeytin, antep fıstığı, ceviz, kayısı, vişne, badem, erik, elma, üzüm, armut, şeftali, kiraz, incir, portakal ve mandalina) bölgesel olarak elde edilen budama atığı miktarı Tablo 2.6'da verilmiştir. Seçilen bahçe bitkilerinin yıllık 3.590.222 ton budama atığı oluşturduğu tespit edilmiştir. Biyogaz Kılavuzu'nda 1 ton budama atığından 175 Nm<sup>3</sup> biyogaz elde edilebileceği belirtilmiştir. Tablo 2.21'de budama atığı biyogaz potansiyeli bölgesel olarak verilmiştir. Seçilen bahçe bitkilerinin Türkiye geneli 628.288.850 Nm<sup>3</sup> biyogaz potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir (Türk – Alman Biyogaz Projesi,2010).

Tablo 2.21 Budama atıklarının biyogaz potansiyeli (Nm<sup>3</sup>/Ton)

	Budama Atığı Biyogaz Potansiyeli (Nm <sup>3</sup> )
Batı Marmara	34.657.000,00
Doğu Marmara	67.765.600,00
İstanbul	632.100,00
Ege	157.004.925,00
Batı Anadolu	12.015.150,00
Akdeniz	93.658.250,00
Orta Anadolu	7.795.200,00
Batı Karadeniz	45.456.250,00
Doğu Karadeniz	120.053.675,00
Kuzey Doğu Anadolu	1.388.800,00
Orta Doğu Anadolu	4.915.225,00
Güney Doğu Anadolu	82.946.675,00
Türkiye Geneli Toplam	628.288.850,00

Yurdumuzda her yıl kesilen yıllık ortalama ağaç hacminin 28 milyon m<sup>3</sup> olduğu ve bir ağacın yaklaşık %25'nin dallar, gövde kabuğu ve kesim sonrası arta kalan uç parçalardan oluştuğu düşünülürse, Türkiye ormanlarında çürümeye terk edilen, yılda yaklaşık 7 milyon m<sup>3</sup> kadar kesim artıkları ormanda kalmaktadır (Ateş vd, 2007). Söz konusu orman atıkları biyogaz eldesinde kullanılmak üzere ciddi bir potansiyeli barındırır. Teghammar ve arkadaşları; laboratuvar ölçekli yapmış oldukları çalışmada orman atıklarının metan üretimini 1 kg başına 0,137 Nm<sup>3</sup> olarak bulmuşlardır (Teghammar vd, 2014). Orman atıkları; Yenilebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Potansiyeli Atlası, Orman Bölge Müdürlüklerinde elde edilen yıllık atık miktarları 3.908.104 ster olup Tablo 2.4'te verilmiştir. 1 ster odunun 0,4 ton geleceği kabul edildiğinde 1.563.241,6 ton orman varlığı atığı ve bu atığın bölgesel dağılımı

Tablo 2.22'de verilmiştir. Orman atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyeli ise 214.164.099,20 Nm<sup>3</sup> bulunarak bölgesel dağılımı Tablo 2.22'de verilmiştir.



Tablo 2.22 Orman varlığı atığı bölgesel dağılımı ve elde edilebilecek metan miktarı

	Üretim Konu Edilmeyen Üretim Artıkları (ster/yıl)	Süceyrattan Elde Edilebilecek Yıllık Üretim (ster/yıl)	Toplam Orman Varlığı Atıkları(ster/yıl)	Toplam Orman Varlığı Atıkları(ton/yıl)	Elde Edilebilecek Metan Miktarı(Nm <sup>3</sup> )
İstanbul Bölge Müdürlüğü	160.192	26.807	186.999,00	74.799,60	10.247.545,20
Adapazarı Bölge Müdürlüğü	19.859	2.607	22.466,00	8.986,40	1.231.136,80
Balıkesir Bölge Müdürlüğü	150.241	21.725	171.966,00	68.786,40	9.423.736,80
Bursa Bölge Müdürlüğü	135.999	29.365	165.364,00	66.145,60	9.061.947,20
Bolu Bölge Müdürlüğü	170.000	27.000	197.000,00	78.800,00	10.795.600,00
Zonguldak Bölge Müdürlüğü	30.541	46.020	76.561,00	30.624,40	4.195.542,80
Kastamonu Bölge Müdürlüğü	259.227	52.092	311.319,00	124.527,60	17.060.281,20
Amasya Bölge Müdürlüğü	118.328	1.960	120.288,00	48.115,20	6.591.782,40
Giresun Bölge Müdürlüğü	23.734	5.487	29.221,00	11.688,40	1.601.310,80
Trabzon Bölge Müdürlüğü	28.325	3.600	31.925,00	12.770,00	1.749.490,00
Artvin Bölge Müdürlüğü	25.046	4.000	29.046,00	11.618,40	1.591.720,80
Erzurum Bölge Müdürlüğü	35.822	351	36.173,00	14.469,20	1.982.280,40
Elazığ Bölge Müdürlüğü	1.750	0	1.750,00	700,00	95.900,00
Şanlıurfa Bölge Müdürlüğü	1.000	0	1.000,00	400,00	54.800,00
Kayseri Bölge Müdürlüğü	29.582	490	30.072,00	12.028,80	1.647.945,60
Ankara Bölge Müdürlüğü	64.481	0	64.481,00	25.792,40	3.533.558,80
Eskişehir Bölge Müdürlüğü	37.150	0	37.150,00	14.860,00	2.035.820,00
Konya Bölge Müdürlüğü	12.166	1.936	14.102,00	5.640,80	772.789,60
Kütahya Bölge Müdürlüğü	28.547	11.857	40.404,00	16.161,60	2.214.139,20
Denizli Bölge Müdürlüğü	100.425	297	100.722,00	40.288,80	5.519.565,60
İzmir Bölge Müdürlüğü	56.396	27.260	83.656,00	33.462,40	4.584.348,80
Muğla Bölge Müdürlüğü	863.667	0	863.667,00	345.466,80	47.328.951,60
Antalya Bölge Müdürlüğü	209.785	10.706	220.491,00	88.196,40	12.082.906,80
Mersin Bölge Müdürlüğü	198.800	47.500	246.300,00	98.520,00	13.497.240,00
Kahramanmaraş Bölge Müdürlüğü	32.456	5.525	37.981,00	15.192,40	2.081.358,80
Adana Bölge Müdürlüğü	730.000	58.000	788.000,00	315.200,00	43.182.400,00
Türkiye Geneli Toplam	3.523.519	384.585	3.908.104	1.563.242	214.164.099,20



Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Potansiyeli Atlasından yararlanarak il bazında yıllık oluşan organik ve kentsel diğer atık miktarları Tablo 2.11’de verilmiştir. 1 ton işlem görmemiş, yeni oluşmuş organik belediye atığından 101,5 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmektedir (Achinas vd, 2017). Yurdumuzda yıllık toplam 14.099.326,31 ton organik atıktan elde edilebilecek biyogaz miktarı teorik olarak yıllık 1.431.081.620,47 m<sup>3</sup> hesaplanıp, bu değer in illere göre dağılımı Tablo 2.23’te verilmiştir.

Tablo 2.23 Organik belediye atıklarından elde edilebilecek biyogaz miktarı (m<sup>3</sup>/yıl)

	Organik Atık Miktarı (ton/yıl)	Biyogaz Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> /yıl)
Adana	339.926,84	34.502.574,26
Adıyaman	80.217,60	8.142.086,40
Afyonkarahisar	136.138,07	13.818.014,11
Ağrı	71.252,31	7.232.109,47
Aksaray	58.638,19	5.951.776,29
Amasya	48.242,84	4.896.648,26
Ankara	1.124.051,94	114.091.271,91
Antalya	382.465,16	38.820.213,74
Ardahan	12.921,22	1.311.503,83
Artvin	24.844,65	2.521.731,98
Aydın	203.535,58	20.658.861,37
Balıkesir	227.907,41	23.132.602,12
Bartın	28.439,90	2.886.649,85
Batman	75.804,53	7.694.159,80
Bayburt	13.327,02	1.352.692,53
Bilecik	41.592,13	4.221.601,20
Bingöl	35.420,18	3.595.148,27
Bitlis	44.836,96	4.550.951,44
Bolu	44.332,13	4.499.711,20
Burdur	38.641,60	3.922.122,40
Bursa	590.927,32	59.979.122,98
Çanakkale	99.036,16	10.052.170,24
Çankırı	27.182,06	2.758.979,09
Çorum	78.031,35	7.920.182,03
Denizli	191.613,54	19.448.774,31
Diyarbakır	274.809,80	27.893.194,70
Düzce	54.750,09	5.557.134,14
Edirne	76.536,09	7.768.413,14
Elazığ	76.052,87	7.719.366,31
Erzincan	29.700,60	3.014.610,90
Erzurum	125.161,95	12.703.937,93
Eskişehir	130.439,38	13.239.597,07
Gaziantep	304.813,40	30.938.560,10
Giresun	65.703,33	6.668.888,00
Gümüşhane	25.430,93	2.581.239,40
Hakkâri	35.190,63	3.571.848,95
Hatay	229.892,27	23.334.065,41
İğdır	25.331,95	2.571.192,93
Isparta	63.169,17	6.411.670,76
İstanbul	3.112.417,35	315.910.361,03

	Organik Atık Miktarı (ton/yıl)	Biyogaz Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> /yıl)
İzmir	887.958,10	90.127.747,15
Kahramanmaraş	164.475,12	16.694.224,68
Karabük	35.824,95	3.636.232,43
Karaman	36.307,30	3.685.190,95
Kars	38.077,88	3.864.904,82
Kastamonu	55.721,89	5.655.771,84
Kayseri	209.819,72	21.296.701,58
Kırıkkale	41.092,98	4.170.937,47
Kırklareli	66.912,04	6.791.572,06
Kırşehir	33.996,05	3.450.599,08
Kilis	20.198,73	2.050.171,10
Kocaeli	372.873,33	37.846.643,00
Konya	333.694,38	33.869.979,57
Kütahya	109.296,01	11.093.545,02
Malatya	102.663,48	10.420.343,22
Manisa	266.159,93	27.015.232,90
Mardin	117.703,73	11.946.928,60
Mersin	291.355,19	29.572.551,79
Muğla	176.006,47	17.864.656,71
Muş	53.414,23	5.421.544,35
Nevşehir	43.001,55	4.364.657,33
Niğde	51.955,76	5.273.509,64
Ordu	110.955,67	11.262.000,51
Osmaniye	77.190,52	7.834.837,78
Rize	48.937,17	4.967.122,76
Sakarya	198.975,00	20.195.962,50
Samsun	200.084,65	20.308.591,98
Siirt	42.398,05	4.303.402,08
Sinop	30.374,79	3.083.041,19
Sivas	91.832,44	9.320.992,66
Şanlıurfa	254.998,39	25.882.336,59
Şırnak	63.569,74	6.452.328,61
Tekirdağ	198.145,45	20.111.763,18
Tokat	89.088,51	9.042.483,77
Trabzon	115.211,70	11.693.987,55
Tunceli	10.800,16	1.096.216,24
Uşak	68.349,97	6.937.521,96
Van	144.564,97	14.673.344,46
Yalova	46.044,43	4.673.509,65
Yozgat	62.240,39	6.317.399,59
Zonguldak	88.328,99	8.965.392,49
Türkiye Geneli Toplamı	14.099.326,31	1.431.081.620,47

Ülkemizde atık çamur miktarının, kişi başı 50 g katı madde/gün olduğu kabul edilerek, evsel/kentsel kaynaklı günlük yaklaşık 4033 ton arıtma çamuru üretildiği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla 2016 yılında belediyeler tarafından işletilen atıksu arıtma tesislerinden 1.472.045 ton çamur üretiminin gerçekleştirildiği tahmin edilmektedir.



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 62/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

2008 yılına ait sanayilerden ve belediyelerden alınan verilere istinaden yapılan çalışmalar sonucunda; sanayi tesislerinden 575.000 ton/yıl arıtma çamurunun oluştuğu değerlendirilmektedir (Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi, 2010). TÜİK 2008 yılı verilerine göre arıtılan atıksu miktarı 165.486.000 m<sup>3</sup>, TÜİK 2016 yılı verilerine göre ise 251.243.000 m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu veriler üzerinden 2016 yılı için yaklaşık 873.000 ton sanayi çamurunun oluştuğu tahmin edilmektedir.

1 ton atıksu arıtma çamurundan 47 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmektedir (Achinas vd, 2017). Dolayısıyla, evsel/kentsel ve sanayi atıksu arıtma kaynaklı elde edilen çamurlardan yaklaşık 110.217.115 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmesi mümkündür.

### Ülkemizde biyokütle esaslı elektrik üretimi gerçekleştiren işletmeler

Yurdumuzda 2017 sonu itibariyle faaliyet gösteren 89 biyokütle esaslı çalışan işletmelerimizin dağılımları Tablo 2.24'te verilmektedir. Toplam işletmedeki kapasite 303,028 MWm ve toplam inşa halindeki kapasite 156,343 MWm'dir (EPDK).

Tablo 2.24 Yurdumuzda faaliyet gösteren biyokütle esaslı elektrik üretimi gerçekleştiren işletmeler (EPDK)

İl	Proses	Tesis Sayısı	Kurulu Gücü (MWm)	Kurulu Gücü (MWe)	İnşa Halindeki Kapasite (MWe)	İşletmedeki Kapasite (MWe)
Adana	Belediye (Atıksu arıtma tesisi)	2	1,723	1,603	0	1,603
	Sanayi (Şehir çöpü ve bitkisel atıklar)	2	17,801	17,328	0	17,328
Afyonkarahisar	Sanayi (Hayvansal ve bitkisel atıklar )	4	18,136	17,63	1,413	16,217
Aksaray	Sanayi (Şehir çöpü, hayvansal ve bitkisel atıklar)	2	8,02	7,817	0	7,817
Amasya	Sanayi (Şehir çöpü, tarımsal ve hayvansal atıklar)	2	8,54	8,5	7,5	1
	Belediye (Şehir çöpü)	1	2,464	2,4	1,2	1,2
Ankara	Sanayi (Şehir çöpü, hayvansal atıklar)	6	67,31	62,975	1,586	61,389
	Belediye (Atıksu arıtma tesisi)	1	3,2	3,2	0	3,2
Antalya	Sanayi (Şehir çöpü, hayvansal atık atıklar)	3	10,134	9,904	8,204	1,7
Aydın	Sanayi (Tarımsal ve hayvansal atıklar)	2	17,56	16,8	13,2	3,6
Balıkesir	Sanayi (Tarımsal ve hayvansal atıklar)	3	35,907	35,755	30	5,755
Bilecik	Sanayi (Şehir çöpü)	1	1,654	1,6	1,6	0
Bursa	Sanayi (Tarımsal, gıda ve hayvansal atıklar)	4	22,553	21,804	3,201	18,603
Bolu	Sanayi (Hayvansal atık ve şehir çöpü)	2	16,461	15,631	14,5	1,131
Çorum	Sanayi (Tarımsal atık )	1	5,2	5	0	5
Denizli	Sanayi (Şehir çöpü)	1	0,657	0,635	0	0,635
Düzce	Sanayi (Orman atıkları, tarımsal atıklar)	1	6,66	6,393	2,131	4,262
Ankara	Sanayi (Şehir çöpü)	1	2,9	2,83	0	2,83
Eskişehir	Belediye (Atıksu arıtma tesisi)	1	2,1	2,042	0	2,042
Gaziantep	Belediye (Atıksu arıtma tesisi, Şehir çöpü)	2	7,655	7,314	0	7,314
Hatay	Belediye (Şehir çöpü)	2	8,706	8,478	5,652	2,826
Isparta	Sanayi (Şehir çöpü)	1	2,902	2,826	0	
İstanbul	Belediye (Şehir çöpü)	4	60,009	55,399	2,83	52,569
İzmir	Sanayi (Tarımsal ve hayvansal atıklar)	2	9,34	9,068	9,068	0
Kayseri	Sanayi (Şehir çöpü)	1	5,946	5,782	0	5,782
Konya	Sanayi (Şehir çöpü, tarımsal atık)	4	10,332	10,06	3,2	6,86

İl	Proses	Tesis Sayısı	Kurulu Gücü (MWm)	Kurulu Gücü (MWe)	İnşa Halindeki Kapasite (MWe)	İşletmedeki Kapasite (MWe)
	Belediye (Atıksu arıtma tesisi vb.)	1	2,514	2,436	0	2,436
Kırklareli	Sanayi (Şehir çöpü, Hayvansal ve bitkisel atıklar)	4	23,072	22,38	17,58	4,8
Kocaeli	Sanayi (Şehir çöpü ve bitkisel atıklar)	3	9,867	9,589	0	9,589
	Belediye (Bitkisel ve hayvansal atıklar)	1	0,342	0,33	0	0,33
Karaman	Sanayi (Hayvansal ve bitkisel atıklar)	1	1,5	1,414	0	1,414
Kahramanmaraş	Sanayi (Şehir çöpü)	2	6,16	6,0	0	6,0
Kırıkkale	Sanayi (Şehir çöpü)	1	1,034	1,003	0	1,003
Mersin	Belediye (Atıksu arıtma tesisi)	1	1,9	1,9	0	1,9
Malatya	Sanayi (Şehir çöplerini yakma)	1	4,124	4	4	0
	Belediye (Şehir çöpü)	2	3,696	3,6	3,6	0
İzmir	Sanayi (Şehir çöpü)	2	0,952	0,912	0,912	0
Niğde	Sanayi (Şehir çöpü)	1	2,469	2,395	0	2,395
Osmaniye	Belediye (Katı atık deponi)	1	3,228	3,12	3,12	
Samsun	Sanayi (Şehir çöpü)	2	10,074	9,815	2,4	7,415
Sakarya	Sanayi (Şehir çöpü, tarımsal atık)	2	2,973	2,887	0	2,887
Sivas	Sanayi (Şehir çöpü)	1	2,902	2,826	0	2,826
Şanlıurfa	Sanayi (Tarımsal ve hayvansal atıklar)	2	11,78	11,44	5,2	6,24
Tekirdağ	Sanayi (Atıksu arıtma tesisi ve şehir çöpü)	2	6,968	6,8	0,8	6
Trabzon	Sanayi (Şehir çöpü)	1	2,902	2,826	0	2,826
Yozgat	Sanayi (Şehir çöpü)	1	4,35	4,245	4,245	0

Atıksu arıtma tesislerinde biyokütle dönüşümü, birçok avantajından ve biyogaz/arıtma çamurunun sistem içerisinde var olmasından dolayı enerji, yakıt ve kimyasal üretimi için oldukça cazip bir seçenektir. Bu alanda birçok fizibilite yapılmakta ve bunların bir kısmı projelendirilerek hayata geçmektedir. Bir projenin başarı ile uygulanması için teknolojik riskler içermemesi (Örnek uygulamanın yapılmış olması ve kredilendirilebilir derecede olması), ekonomik olarak kabul edilebilir ve çevresel açıdan uygun olması gerekmektedir. Kısa vadede ulusal ve uluslararası birçok kuruluşun sağladığı teşvik, destek, karbon geliri ve politikalar projenin geliştirilmesi ve bir miktar sürdürülmesini sağlayabilse de ekonomik olarak kabul edilebilir ve sürdürülebilir olması anahtar noktasıdır. Bu durumda projenin konsept aşamasında ekonomik olarak kapsamlı bir analizinin yapılması gereklidir. Bir enerji projesinin belli aşamaları vardır. Bunlar projenin büyüklüğüne göre değişebilir de fonksiyonların bir şekilde yerine gelmesi paydaşlar ve teknoloji süreci için önemlidir. Bir projenin aşamaları aşağıdaki gibi verilebilir.

- Konsept aşaması: Bu aşamada ana yüklenici ve müşteri arasında tesisin teknolojik ve finansal teklifleri görüşülmektedir. Bu aşamada bilhassa kaynağın güvenliği kontratlar ile kayıt altına alınmalıdır. Ayrıca uygulanacak teknolojiye ait yaklaşık kurulum maliyetleri, işletme giderleri, birim ürün bedeli ve tesis operasyonelliği (emre amadelik ve kapasite) sorgulanarak ekonomik öngörüler yapılır. Bu safhada ana akış şeması oluşturularak temel termodinamik denklemler ile ekipmanların temel büyüklükleri kontrol edilmelidir. Ana ekipmanları en çok 1/10 oranında farklı ebattakilerinin fiyat ve işletme bilgileri alınmalıdır. Bu aşamada ayrıca çevresel faktörler ve güvenlik ile ilgili mevzuat gözden geçirilmelidir. Teknoloji sağlayıcısı asgari verim ve çıktı bilgilerini içeren garanti dokümanı da sunulmalıdır. Bu aşama sonunda sistemin mimarisi, ekipmanların genel büyüklükleri ve ekonomik ön görümler kayıt altına alınmıştır.
- Detay tasarım aşaması: Konsept olarak onaylanan proje ilgili makine, metalürji, elektrik, inşaat, otomasyon ve çevre birimlerinin tasarımının yapılması için uzman ekiplere devredilir. Çalışma, konsept tasarımın teknoloji sağlayıcısı tarafından teknik, müşteri tarafından ekonomik olarak koordine edilir. Bu safhada konstrüksiyonlardan reaktörlere, çevresel ekipmanlardan otomasyona tüm sistem tasarlanarak projelendirme gerçekleşir. Gerçekleştirilen projeler ilgili standarda ve mevzuata göre kontrol edilerek imalat sırasında uyulması gereken usul ve testler

belirlenir. Tüm satın alma şartnameleri ve gerçek keşif listeleri hazırlanır. Bu aşamada acil durum eylem planları, iş güvenliği prosedürleri ve patlamadan korunma gibi dokümanlar ve kılavuzlar da hazırlanmalıdır. Ana teslimatçı firmalar tasarım çalışmalarına dahil edilmelidir. Sonuç olarak tesisin inşasına başlanması için tüm dokümantasyon (sözleşme taslakları dahil) ve planlama gerçekleştirilmiştir.

- Tesis inşaat aşaması: Bu aşamada ana yüklenici koordinasyonunda, teknoloji sağlayıcısı gözetiminde, müşteri ve üçüncü taraf kontrolünde ekipmanlar satın alınarak imalatlar gerçekleştirilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli iki husus projede olabilecek gecikmeler ve proje revizyonlarıdır. Sonuç olarak tasarım fiziksel olarak tamamlanmıştır. Tesis alt sistemleri çeşitli testlere maruz bırakılarak tüm sistem içerisinde çalışır olması şarttır
- Devreye alma ve test aşaması: Projenin en sancılı veya en zevkli aşaması olup geri dönüşlerin maliyeti oldukça yüksektir. Önceki yapılan işlerin başarımı bu safhada işlerin düzenlenmesini sağlar. Birçok projede garanti hedeflere belli miktar da uzak kalınması durumunda hukuki prosedürler devreye girmektedir. Bu açıdan uluslararası uzman firmalardan destek alınması uygundur. Devreye alma aşamasında tesisin son ayarları da gerçekleştirilerek müşteriye teslim edilir.

Yukarıda genel olarak bahsedilen aşamalar sırasında öncelikli bilinmesi gereken hususlar aşağıdadır:

- Proje tesisinin öngörülen ömrü boyunca yeterli biyokütle kaynağının mevcut olduğu ve ürüne ait pazarın bu süre zarfında var olduğudur.
- Projenin finansal yapısı: anapara maliyeti, teşvikler ve kredi imkânları ile garantiler
- Tesisin ilk kurulum ve işletme maliyetleri
- Tesisin çevresel etkisi ve onaylama süreçleri

Yukarıdakilerin yanında tesisten elde edilebilecek gelirler ise:

- Isı ve elektrik üretiminin satışı
- Kimyasal madde üretiminin satışı
- Metalürjik madde üretiminin satışı

- Üretilen katı yakıtların birlikte yakma için satışı
- Yakıt maddesi üretiminin satışı

Bu durumda tesisin ticari başarısı işletmenin toplam bedelinin ve harcamalarının, kazandırdığı gelir ile karşılanmasıdır. Eğer tesis, öngörülen geri ödeme süresinde artı değer yakalamıyor ise destek ve teşviklere ihtiyaç duyulmaktadır. Yaşam döngüsü analizi bu açıdan önemli bir çalışma olarak görülmektedir.

Biyokütlenin kabul edilebilir maliyetler ile proje tesisinin öngörülen yaşam döngüsü içerisinde mevcut olma durumu önemli bir parametredir. Bu parametrenin tespiti yerel kaynak olması sebebi ile ancak saha çalışması ile ve yıllara sari istatistiki bilgilere ulaşılarak yapılabilir. Bu açıdan biyokütlenin üretildiği ve toplanması düşünülen saha yerinde görülerek ve yerel otoritelerin görüşleri doğrultusunda ilk raporlar hazırlanmalıdır. Bu çalışmada bölgenin gelişme ve iklim değişimi verileri ile kullanılacak biyokütlenin büyüme ve toplanma bilgileri ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin sahadaki durumu bilinmelidir. Birincil biyokütlenin ekilerek kontrol enerji tarımı yapılması durumunda zirai teknikler ile buna etki eden çevresel faktörler bilinmelidir. Tarım yapılması planlanması durumunda mutlaka ekonomik açıdan rakip ürünlerinde ilerde çiftçi tarafından tercih edilebileceği düşünülerek muhtemel ürünler araştırılmalıdır. Ayrıca bahse konu biyokütlenin kurulabilecek başka tesisler tarafından rekabetçi bir şekilde alınması durumu içinde planlanan tesisler ve hedef biyokütlenin kullanıldığı farklı teknolojiler incelenmelidir. Atıklar hedefleniyor ise yıllarca meydana gelmiş birikimlerinde mutlaka incelenerek birikim ve yıllık üretim miktarları ayrımının yapılması gereklidir. Orman atıkları gibi toplanması zahmetli ürünler için belirlenen bölgede planlanmış ön toplama çalışması yaptırılması toplama maliyeti ve süreci hakkında bilgi sağlayacaktır. Tesisin konsept tasarımı sırasında bölgede bir küçük ölçekli biyokütle depolama alanı oluşturulması ve numunelerin belli aralıklar ile analizi projenin ekonomik değerlendirmesine oldukça büyük ışık tutacaktır. Metodolojik açıdan güneş ve rüzgârda gerçekleştirilen yıllık ölçme bu şekilde yerine getirilmiş olacaktır.

Proje başlatılmadan biyokütlenin mevcudiyeti yanında maliyetinin de incelenmesi gereklidir. Bu maliyete biyokütlenin sahibine ödenen veya tahsil edilen miktar, toplama, taşıma, depolama, analiz, iyileştirme maliyetleri etki eder. Biyokütlenin kendi maliyeti eğer başka bir rekabetçi unsur yok ise genelde sıfırdır. Bazen üreticiler atık olarak kurtulmak zorunda oldukları biyokütleleri para karşılığı deplase etmektedir. Ancak bu durumda atığın sınıfına göre bertaraf çalışması olduğu düşüncesi ile çevre otoriteleri tarafından müsaade edilmemesi

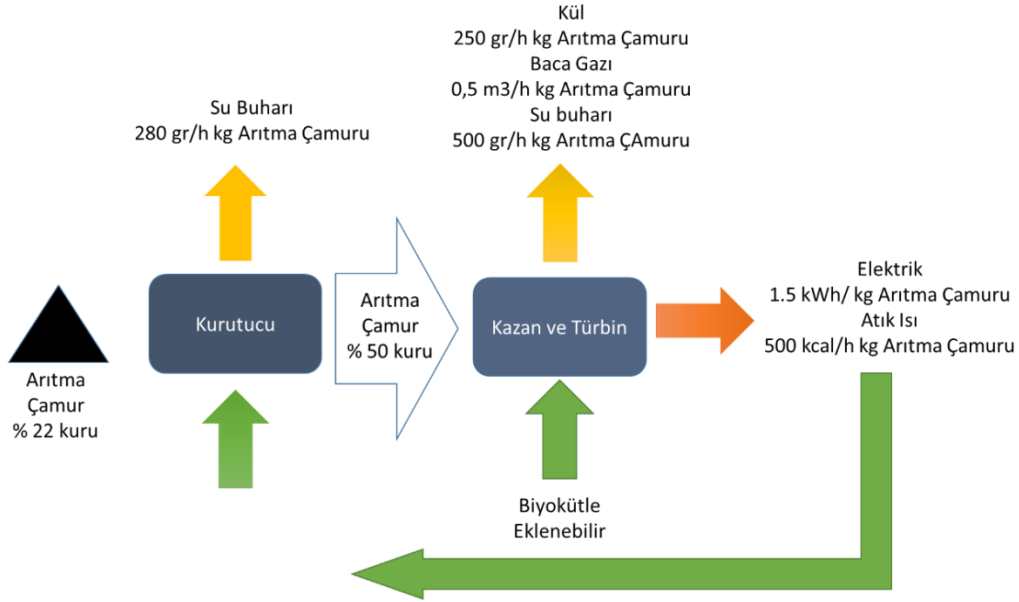


durumu söz konusu olabilir. Toplama ve taşıma maliyeti en önemli maliyet olarak öne gelmesi durumunda çalışılmalıdır. İyileştirme maliyetleri olması durumunda taşıma öncesine alınması önemli bir katma değer oluşturacaktır. Ege bölgesinde gerçekleştirilecek orman atıklarının değerlendirilmesi çalışmasında arazinin avantajı nedeni ile makinalaşmada mümkün iken ve ton maliyeti 20 lira civarında tahmin edilirken, Karadeniz bölgesinde bu rakam 3 katına çıkabilmektedir. Dolayısı ile oldukça değişken olan biyokütle maliyetinin yerel olarak saha çalışması ile çıkarılması önemlidir.

Tesislerin üretimi olan elektrik enerjisi, yakıt ve sıvı/katı kimyasalların satışı geliri oluşturmaktadır. Ayrıca karbon kredisi satışı da gelecekte önemli bir girdi olacaktır. Biyokütle dönüşüm tesislerinin yarattığı katma değer, yerel gelişim ve istihdam nedeni ile farklı teşvikler (elektrik tarife, uygun kredi, satın alma garantisi vb) uygulamaktadır. Ülkemizde biyokütleden elektrik üretiminde tarife avantajı sağlanmıştır. Ayrıca önümüzdeki dönemde kimyasallar ve yakıt üretiminin de, gerek piyasa koşulları gerekse farklı özendirme mekanizmaları ile cazip olabileceği düşünülmektedir.

### Arıtma Çamuru ve Diğer Atıklarla Birlikte Kurutma ve Yakma ile Yardımcı Yakıt Olmadan Elektrik Üretimi

Arıtma çamurunun bertaraf edilmesi sırasında elektrik üretilerek sisteme beslenmesi işleminin, ekonomik olarak uygulanabilirliği sayesinde, bu tesisler hızla yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Hali hazırda, %26 kuruluğun altındaki arıtma çamurlarının bertarafında doğalgaz yardımcı yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu kuruluğa mevcut dekantör sistemleri ile ulaşılamamaktadır. Sisteme, güneş ve/veya atık ısı ile çalışan bir kurutucu eklenmesi durumunda sisteme doğalgaz beslenmeden çalıştırılması ve kuruluk değerine göre değişen oranlarda elektrik üretilmesi mümkündür. Yaklaşık kuru bazda 4000 kcal/kg olan arıtma çamuru %22 kuruluk oranında 1000 kcal/kg altında bir üst ısıl değere sahip olmakta alt ısıl değeri ise sistemi ateşlemeye yetecek miktarı sağlamamaktadır. Bu nedenle ön kurutma ile ısıl değeri yükseltilecek arıtma çamuru 1500 – 2000 kcal/kg arasında bir ısıl değer ile sistemi çalıştırabilecektir. Bu sayede kg arıtma çamuruna karşılık 1 ila 1,5 kWh arasında elektrik üretilmektedir. 400 ton/günlük bir tesiste kurulu güç arıtma çamurunun özelliğine göre (biyogaz üretimi vb.) 4 ila 7 MW arasında gerçekleşecektir. Şekil 2.12'de birim arıtma çamurunun %50 kuruluğa göre temel kütle ve enerji dengesi görülmektedir. Bu türden tesislerde teknolojik problem kurutma mekanizması olup, akışkan yatak veya vidalı kurutucuların geliştirilmesi öngörülmektedir.



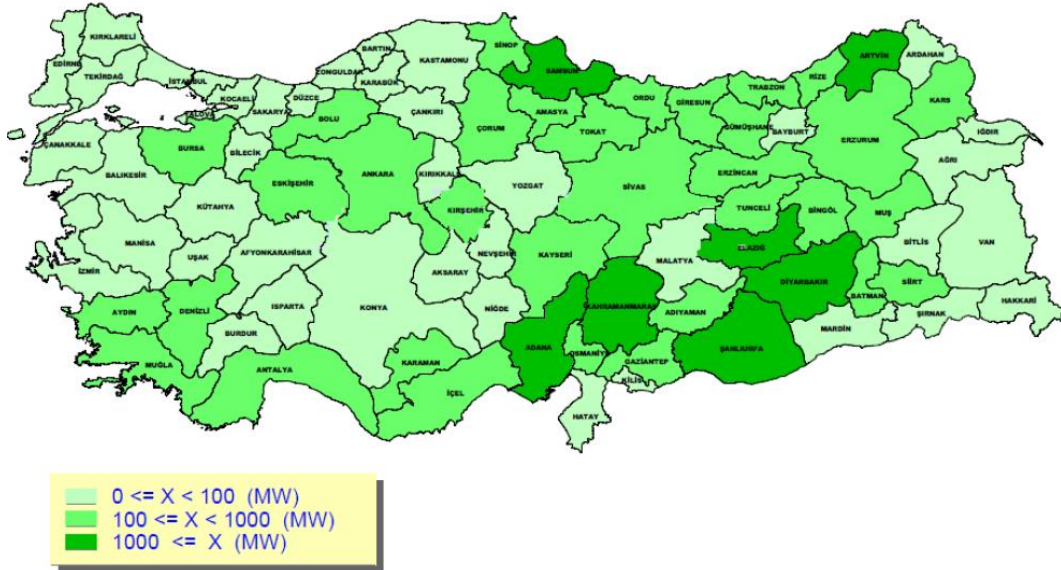
Şekil 2.12 Arıtma çamurunun kurutma ile birlikte yakılarak elektrik üretimi pilot prosesi

Bu tesisin ilk yatırım maliyeti çevre ve emisyon ekipmanları dahil 15 – 20 Milyon ABD Doları olarak öngörülmektedir. Geri ödeme süresinin 4 yıl mertebesinde hesaplanmaktadır. Kurulacak pilot tesisin, çeşitli deneysel çalışmaları yapmaya müsait, 1 ton/gün arıtma çamuru civarında kapasite ile tasarımı ve yerli imalatı planlanmaktadır.

## 2.2 Hidroelektrik

### 2.2.1 Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli

Türkiye'nin ortalama yükseltisi 1131 metre olup, 1000 m'den yüksek alanlar toplam yüzeyin % 55.5'ini oluşturmaktadır. Ülkemizdeki arazilerin % 64'ünün eğimi % 12'nin üzerindedir. Ortalama yükseltinin bir kilometrenin üzerinde olduğu ülkemizde, akarsu eğimleri de fazladır. Sahip olduğu topoğrafik yapı ve hidrolojik koşullar Türkiye'ye hidroelektrik enerji potansiyeli açısından avantaj sağlamaktadır (Yıldız, 2016). Fakat ülkemizin hidroelektrik enerji potansiyeli topoğrafik ve hidrolojik özellik açısından tüm bölgelerde farklılıklar göstermektedir. Bu dağılımda Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri öne çıkmaktadır. Karadeniz Bölgesi'nde çok sayıda orta ölçekli hidroelektrik santral bulunurken, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Keban, Atatürk, Karakaya gibi büyük ölçekli santraller bulunmaktadır. Türkiye'nin hidroelektrik kurulu güç kapasitesinin il bazında dağılımı Şekil 2.13'de verilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).



Şekil 2.13 Türkiye'nin il bazında kurulu güce göre hidrolik enerji haritası  
(Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).

Bir ülkenin hidroelektrik potansiyelinin hesaplanmasında ülke sınırları içerisinde kalan doğal akışların herhangi bir kayıp olmaksızın enerjiye dönüştürülebileceği varsayılmaktadır. Mevcut teknoloji dikkate alındığında, belirlenen ve teorik hidroelektrik potansiyel olarak tanımlanan bu enerjinin tamamının değerlendirilmesi mümkün değildir. Mevcut teknolojiler ile erişilebilecek azami değere teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyel denilmektedir. Bu noktada önem kazanan bir diğer önemli husus teknik açıdan yapılabilir olan bir tesisin ekonomik açıdan da uygun olup olmadığıdır. Teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyelin günümüz ekonomik koşulları ve geleceğe yönelik ekonomik projeksiyonlar ile sosyal ve çevresel yönden etkileri dikkate alınarak hesaplanan uygulanabilir kısmı ise ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyel olarak tanımlanmaktadır (DSİ Faaliyet Raporu, 2016).

Ülkemizdeki hidrolik kaynaklar, mevcut yenilenebilir enerji potansiyeli açısından önemli bir yere sahiptir ve bu kaynakların teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh/yıl'dır. Bu teorik potansiyelin teknik yapılabilir kısmı 216 milyar kWh/yıl olup, ekonomik yapılabilir hidroelektrik enerji potansiyeli ise 140 milyar kWh/yıl'dır. Teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel açısından bakıldığında, ülkemiz dünya potansiyelinin %1,5'ine ve Avrupa potansiyelinin ise %17,6'sına sahiptir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017; DSİ Faaliyet Raporu, 2016).

Türkiye'de 2016 yılı sonu itibarıyla Hidroelektrik Santral (HES)'lerin durumu Tablo 2.25'te verilmiştir. İşletmede bulunan lisanslı ve lisanssız HES sayısı 597'dir. Bu HES'lerin kurulu gücü 26.819 MW olup, toplam kurulu gücün yaklaşık %34'ünü oluşturmaktadır. HES'lerden 2016

yılında 67,3 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Bu değer, toplam elektrik üretimimizin %24,7'sine karşılık gelmektedir. Enerji Bakanlığı'nın strateji eylem planına göre 2019 yılı sonunda hidroelektrik kurulu gücünün 32.000 MW'a, 2023 yılı sonu itibariyle 34.000 MW'a ulaşması hedeflenmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017; Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

Tablo 2.25 Türkiye'nin HES durumu  
(DSİ Faaliyet Raporu, 2016).

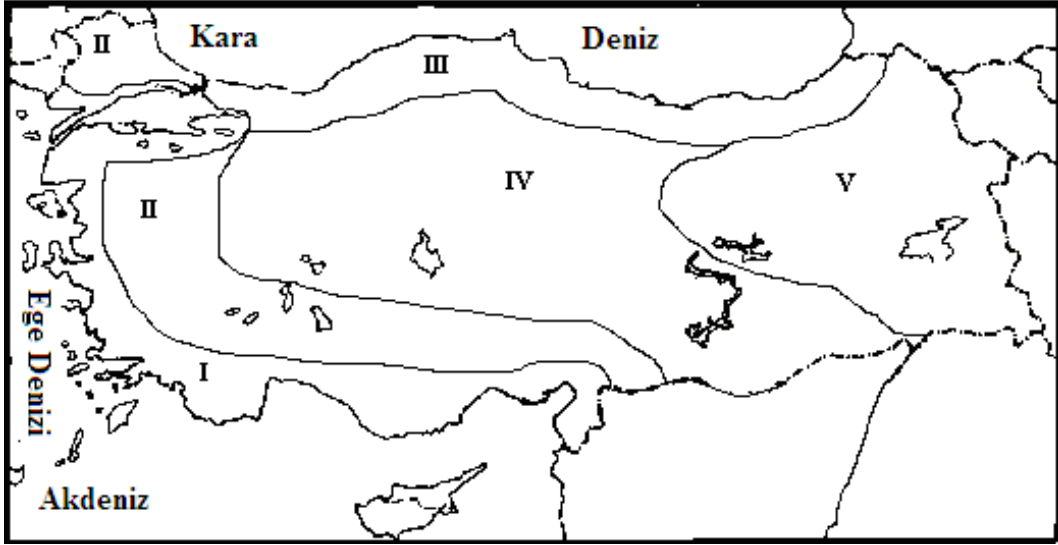
HES Durumu	HES (adet)	Toplam Kurulu Kapasite (MW)	Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Oran (%)
İşletmede	596	26.819	93.653	59
İnşa Halinde	83	5.424	16.508	10
İnşaatı Henüz Başlamamış	639	15.330	48.383	31
<b>Toplam</b>	<b>1319</b>	<b>47.573</b>	<b>158.544</b>	<b>100</b>

### 2.2.1.1 Atıksu Arıtma Tesislerinin Hidrolik Potansiyeli

Atıksu arıtma tesislerinin kurulacağı yerin seçimi bölgenin arazi kullanımı ve imar planı ile sosyal, çevresel ve mühendislik kriterleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Yerleşim bölgeleri ve sanayi tesislerinden toplanan atıksuların kendi cazibesi ile tesise gelebilmesi için tesislerin düşük kotlu bir arazide yapılması tercih edilmektedir. Böylece atıksuların, arıtma tesise ulaşması için pompaların kullanılmaması ve enerji tüketiminin minimize edilmesi hedeflenmektedir.

Bununla birlikte atıksu arıtma tesisleri, mevcut ve planlanan yerleşim yerlerinden olabildiğince uzakta ve gelecekteki gelişmeler göz önünde bulundurularak yeterli büyüklükte bir alana inşa edilmektedir. Tesislerin konumları, arıtılmış atıksuların deşarj edilebilmesi için su kütlesine (akarsu, göl vb.) yakın bölgelerden seçilmektedir. Cazibeli akışa olanak sağlaması için orta derecede eğimli bir saha tercih edilmektedir (OSB, 2012).

Türkiye'nin topoğrafik yapısı göz önünde bulundurulduğunda, iç kesimlerde bulunan yerleşim bölgelerine ait atıksu arıtma tesislerinin çoğunlukla akarsu kenarlarına ve kıyı kesimlerde yer alan yerleşim bölgelerine ait tesislerin ise denize deşarj edilecek şekilde tasarlandığı görülmektedir. Ülkemiz atıksu yönetimi açısından Şekil 2.14'te verildiği üzere 5 farklı bölgeye ayrılmıştır (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Ek 1, 2010).



Şekil 2.14 Türkiye'nin atıksu yönetimi açısından bölgelere ayrılması  
(Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Ek 1, 2010).

Her bölge, sahip olduğu karakteristik özelliklerden dolayı farklı işletme yönetimine sahiptir. Birinci bölge içerisinde yer alan Ege ve Akdeniz kıyıları, ülkemizin önemli turizm bölgelerindedir. Bu sebeple bu bölgelere kurulacak olan arıtma tesislerinin çevreyi olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ege ve Akdeniz bölgelerinin iç kesimlerini kapsayan ikinci bölgedeki arıtma tesisleri, genellikle lagünler, stabilizasyon havuzları, aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtreler ve döner biyolojik diskler tercih edilmektedir. Üçüncü bölgede bulunan Karadeniz kıyısı boyunca uzanan yerleşim alanları için değişik nüfus aralıklarına göre farklı arıtma stratejisi tavsiye edilmektedir. Bu bölgedeki arıtılmış suların deşarjı, bilimsel çalışmalarla ortaya konulmuş, tabakalaşma derinliğine göre belirlenmiş derin deniz deşarjı ile yapılmaktadır. Dördüncü bölgede, stabilizasyon havuzları, lagünler ve yapay sulak alanların uygulanma potansiyeli yüksektir. Beşinci bölgelerde ise lagünler, oksidasyon hendeği veya uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemleri uygulanabilmektedir (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Ek 1, 2010).

Atıksu arıtma tesislerinin kurulacağı yer seçilirken işletme kolaylığı ve ekonomik kriterler dikkate alınarak cazibeli akışın olduğu bölgeler tercih edilmektedir. Bu tip tesislerin kurulumunda, su toplamak amacıyla pompa kurulumundan mümkün olduğunca kaçınılmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde arıtılmış çıkış suyu uygun alıcı ortama deşarj edilmektedir. Deşarj edilen bu suyun hidroelektrik potansiyelinden faydalanarak elektrik üretmek mümkündür. Bu tesislerdeki hidroelektrik potansiyeli, klasik yöntemlerle

belirlenmektedir. Çoğunlukla, hidroelektrik üretimi için kurulan bu tesislerin teknik potansiyeli, suyun debisine ve düşü yüksekliğine bağlıdır (Bousquet vd, 2017).

Atıksu arıtma tesislerinin hidroelektrik potansiyeli teorik olarak, tesisin girişinde ve çıkışında bulunmaktadır. Genellikle hidroelektrik enerji, tesisin çıkışındaki deşarj suyundan üretilmekle birlikte sayıları az da olsa tesis girişindeki suyu kullanarak elektrik üreten konfigürasyonlarda bulunmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde, suyun cazibesinden yararlanarak tesise ulaşması amaçlandığı için tesis girişinde genellikle hidroelektrik enerji üretmek için uygun düşü değerlerine ulaşılammamaktadır. Fakat bu durum bazı bölgelerde değışkenlik gösterebilmektedir. Buna karşın, atıksu arıtma tesislerinin çıkışında bulunduğu bölgenin topoğrafik özelliklerine bağlı olarak, hidroelektrik enerji üretimi için uygun düşü yüksekliklerine ulaşma olasılığı daha yüksektir. Arıtma tesisinin giriş ve çıkışındaki debi değerinin birbirine çok yakın olduğu düşünülürse, seçim kriterini belirleyen unsurun düşü olduğu görülmektedir (Bousquet vd, 2017).

## 2.2.2 Hidroelektrik Enerji Sistemleri

Hidroelektrik sistemler, kanal veya cebri boru yardımıyla yüksek bir yerden alınan suyun akış enerjisini türbin yardımıyla mekanik enerjiye çeviren sistemlerdir. Türbinlerin jeneratör milini tahrik ederek döndürmesiyle elektrik enerjisi üretilmektedir. Ancak, türbin yardımıyla enerji üretimini sağlayacak olan su hızını elde etmek için mutlaka bir düşme yüksekliğinin (hidrolik düşü) ve bu düşüye uygun bir basınç farkının bulunması gerekmektedir. Türbinlerden elde edilen güç, üst ve alt kotlar arasındaki düşey mesafe olan düşüye ve türbinlere birim zamanda verilen su miktarı olan debiye bağlıdır (Brekke, 2001; Tekno Tasarım A.Ş., 2011).

### 2.2.2.1 Hidroelektrik Sistemlerde Kullanılan Türbinler

Türbinler, suyun hidrolik enerjisini döner çarklar (rotorlar) yardımı ile mekanik enerjiye çeviren makinalardır. Hidrolik makinalar, su türbinleri ve su çarkları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Su türbinleri dinamik hidrolik makinalardır, su çarkları ise su ağırlık kuvveti makinalarıdır. Hidrolik türbinlerde, türbin rotorunun kanat aralıklarından geçirilen suyun basınç kuvveti kanatlara çarparak mekanik enerjiye dönüştürülür. Su çarklarında, çark kepçelerine dolan suyun ağırlık tesiri ile oluşan potansiyel enerjinin çarkı döndürmesi ile mekanik enerjiye dönüştürülür (Department of Energy; Özbay ve Gençoğlu, 2009).



Su türbinleri, hidrolik düşüye, türbin çıkış gücüne, türbin mili eksenine ve çalışma prensibine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır (Brekke, 2001; Greenbug Energy Inc; Tekno Tasarım A.Ş., 2011; YEGM, Hidroelektrik Enerji).

- Hidrolik düşüye göre sınıflandırma:
  - Yüksek basınçlı türbinler ( $H > 50$  m)
  - Orta basınçlı türbinler ( $50 \text{ m} > H > 10$  m)
  - Düşük basınçlı türbinler ( $H < 10$  m)
- Türbin çıkış gücüne göre sınıflandırma:
  - Büyük güçlü türbinler ( $> 10$  MW)
  - Orta güçlü türbinler (1-10 MW)
  - Küçük güçlü (mini) türbinler (0.1-1 MW)
  - Çok küçük güçlü (mikro) türbinler ( $< 100$  kW)
- Türbin mili eksenine göre sınıflandırma:
  - Yatay eksenli türbinler
  - Dikey eksenli türbinler
  - Eğik eksenli türbinler
- Çalışma prensibine göre sınıflandırma:
  - Aksiyon (İtme tipi) türbinler (Pelton, Turgo, Banki)
  - Reaksiyon türbinler (Francis, Kaplan, Uskur, Boru)
  - Yerçekimsel türbinler (Arşimet burgusu, su çarkı)

Türbinlerin çalışma prensipleri, atıksu arıtma tesisleri özelinde değerlendirilerek incelenmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda, çalışma prensiplerine göre türbinlerin özellikleri ilerleyen kısımlarda detaylandırılmıştır.

#### i. Aksiyon Tipi Türbinler

Aksiyon tipi türbinler, su hızından yararlanılarak oluşan enerjiyi kullanırlar. Bu türbinlerde akışkan, kepçelere veya çarka atmosfer basıncında girip, yine atmosfer basıncında çıkar. Bu yüzden bu tip türbinler, eş basınçlı türbinler de denilmektedir. Türbinin aşağı tarafında emiş yoktur ve su, çarka vurduktan sonra türbin muhafazasının tabanından dışarı akar. Aksiyon türbinleri yüksek düşülerde ve düşük akışkan hızlarında daha çok tercih edilmektedir (Brekke, 2001; Department of Energy; Greenbug Energy Inc.).

##### a. Pelton Türbinler

Pelton tipi hidrolik türbinler, çok yüksek hidrolik düşümler ve küçük su debileri için kullanılmaktadır. Dikey veya düşey olarak konumlandırılabilirler. Pelton türbinlerinde, cebri boruda bulunan basınçlı su, bir enjektör yardımıyla çark kanatlarına teğetsel olarak püskürtülerek çarkın döndürülmesi sağlanmaktadır. Bu türbinlerde, düşük güçlerde 2 adet enjektör kullanılırken, büyük güçlerde 4 veya 6 adet enjektör kullanılabilir (YEGM, Hidroelektrik Enerji; Yüksel, 2011).

#### b. Turgo Türbinler

Çalışma prensibi olarak, Pelton türbinlerle çok benzer olmasına rağmen, Turgo türbinlerin kepçe yapıları farklıdır. Turgo türbinlerin maliyetleri daha düşük olmasının yanında, aynı büyüklükteki Pelton türbine göre, daha çok su tutabilme ve daha büyük hızlara çıkabilme gibi üstünlükleri vardır (Department of Energy; Tekno Tasarım A.Ş., 2011).

#### c. Banki Türbinler

Yapıları basit olan Banki türbinleri, genellikle küçük ve orta güçlü su kuvvetlerinde kullanılmaktadır. Temel olarak; gövde, tambur tipi dönel çark ve yönelticiden meydana gelirler. Devir sayıları 50-200 d/dak arasında, verimleri ise %80 civarındadır (Department of Energy; Greenbug Energy Inc.; Tekno Tasarım A.Ş., 2011).

### ii. Reaksiyon Tipi Türbinler

Reaksiyon tipi türbinler mekanik gücü, suyun basınç ve hareketinin birleşiminden üretirler. Bir başka deyişle, suyun hem kinetik hem de potansiyel enerjisinden yararlanırlar. Bu nedenle türbin girişindeki basınç çıkıştaki basınçtan daha büyüktür. Buna bağlı olarak, suyun kapalı bir kanal ya da boru sisteminin içinde akması gerekmektedir. Reaksiyon türbinleri, aynı su düşü ve debi değerleri için aksiyon türbinlerine göre daha hızlı dönmektedirler. İmalatları aksiyon türbinlerine göre daha zor ve maliyetlidir. Daha verimli çalışmaları için debinin stabil olması gerekmektedir (Brekke, 2001; Department of Energy; Tekno Tasarım A.Ş., 2011; Yüksel, 2011).

#### a. Francis Türbinler:

Francis türbininde su, yönlendirici çarktan dönel çarka dıştan girip, çark kanatları boyunca aşağıya doğru hareket ederek çarkı terk eder. Günümüzde hidroelektrik enerjisi üretmek için en yaygın kullanılan türbin çeşididir. Özellikle büyük ölçekli hidroelektrik santrallerde tercih edilmektedirler. Bu türbinler, çok farklı hidrolik düşümlerde ve su akış seviyelerinde kullanılabilen



çok yönlü türbinlerdir. Francis tipi türbinleri, 600 m düşüye kadar çalışabilmektedir ve 500 MW güçlere çıkılabilmektedir. Ülkemizde en çok kullanılan türbin tipidir (Department of Energy; Tekno Tasarım A.Ş., 2011; Yüksel, 2011).

#### b. Kaplan Türbinler

Kaplan türbinleri yüksek debi ve düşük düşü koşullarında verimli olarak çalışabilen, yüksek hızlara sahip türbinlerdir. Klasik nehir türbinleri olarak da adlandırılırlar. Propeller, Bulb, Tube ve straflo türbinleri, Kaplan türbininin farklı versiyonlarıdır. Yapımları, aksiyon türbinlerine göre daha karmaşıktır ve bu nedenle düşük güçlü sistemlerde çok tercih edilmezler. Değişken debilerde verimlerinin düşük olması diğer bir dezavantajlarıdır (Department of Energy; Tekno Tasarım A.Ş., 2011).

#### iii. Yerçekimsel Türbinler

Yerçekimsel türbin, basit olarak türbinin tepesine giren suyun ağırlığı ve yerçekimi kuvveti ile çalışmaktadır. Çalışma prensipleri gereği düşük devirli makinalardır (Greenbug Energy Inc.).

#### a. Arşimet Burgu Türbini

Küçük ölçekle mikro hidroelektrik sistemlerde en çok tercih edilen türbinlerdendir. Arşimet burgu tribünleri, kütle çekim (ağırlık) prensibi ile çalışır. Her bölümde oluşan su ağırlığı nedeniyle burgunun kanatlarında bir döndürme kuvveti oluşur. Oluşan bu kuvvet sayesinde, kanatların bağlı olduğu mil ve beraberinde jeneratör mili dönerek elektrik enerjisi üretilir (Mikrohes A.Ş.; Mas Hydro).

Arşimet burgu türbini, genellikle su düşüsünün küçük olduğu ve debinin değişkenlik gösterdiği hidroelektrik sistemlerde tercih edilir. Tek bir türbinin kurulu gücü 650 kW'a kadar çıkabilmektedir. Paralel ve/veya seri çalıştırılarak, daha büyük güçler elde edilebilmektedir. Bu türbinler, 100 lt/s ile 10000 lt/s debi aralığı ile 1-10 m arası düşülerde verimli olarak çalışabilmektedir (Mikrohes A.Ş.; Mas Hydro).

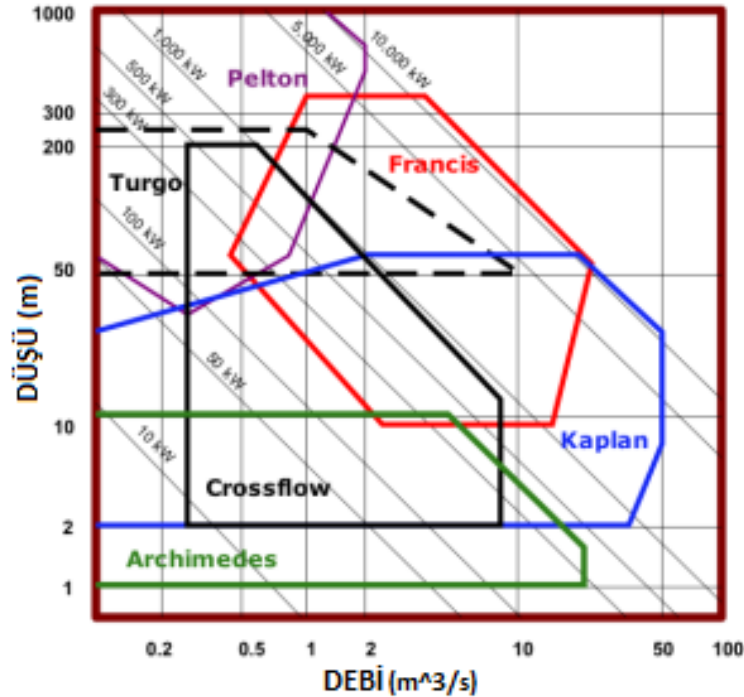
### 2.2.2.2 Türbin Seçim Kriterleri

Hidroelektrik sistemlerde kullanılan türbinlerin düşüye göre sınıflandırılması Tablo 2.26'da verilmiştir.

Tablo 2.26 Türbinlerin su düşüsüne göre sınıflandırılması  
 (Greenbug Energy Inc.)

Düşü	Türbin Tipi		
	Aksiyon	Reaksiyon	Yerçekimsel
Yüksek (> 50 m)	- Pelton - Turgo		
Orta (10-50 m)	- Turgo - Banki - Pelton	- Francis	
Düşük (< 10 m)	- Banki	- Propeller - Kaplan - Francis	- Arşimet burgusu - Su değirmeni

Kurulacak hidroelektrik sisteminin türbin seçimini yapabilmek için öncelikle tesisin debi ve düşü değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra bu iki değer Şekil 2.15'te verilen güç bölgesinde kesiştirilir. Değerlerin kesiştiği nokta ile türbinden elde edilebilecek güç miktarını gösteren doğrunun yaklaşık olarak kestiği noktanın hangi türbin bölgesinde kaldığı tespit edilir. Tespit edilen bu bölgedeki türbin tipi veya tipleri kurulacak olan tesiste verimlilik ve işletme şartları bakımından en uygun tercihler olacaktır (Brekke, 2001; Tekno Tasarım A.Ş., 2011).



Şekil 2.15 Düşü ve debi değerlerine göre türbin tipleri  
 (Greenbug Energy Inc)

Türbin tipi seçiminde, türbin ve jeneratörün hızı da önemli faktördür. Türbin tarafından döndürülen jeneratör, genellikle optimum olarak türbinden daha yüksek bir hızda

çalışmaktadır. Genaratör milinin daha yüksek hıza çıkması için bir kayış kasnak ya da dişli kutusu kullanılmaktadır. Tasarımcılar tarafından, dişli kutusu dönüştürme oranının, verim ve maliyet açısından en fazla 3 katı olması gerektiği tavsiye edilmektedir. Örneğin, 1500 d/dak ile dönen bir jeneratör varsa seçilecek türbinin hızı en az 500 d/dak veya üzeri olmalıdır (Tekno Tasarım A.Ş., 2011).

Türbin seçiminde bir diğer kriter ise, türbinin kısmi debi durumlarında nasıl çalışacağı konusudur. Bütün türbinler, güç-hız ve verim-hız karakteristiğine sahiptir. Pelton ve Banki türbinler, tasarım değerlerinin dışında kalan bölgelerde de verimli çalışabildikleri halde, Francis ve Propeller türbinlerde durum tam tersidir. Bu yüzden, Francis türbinler, büyük hidroelektrik sistemlerde çok fazla kullanılmalarına rağmen, kısmi yüklerdeki davranışından dolayı mikro hidroelektrik tesislerde çok tercih edilmezler (Brekke, 2001; Tekno Tasarım A.Ş. 2011).

### 2.2.2.3 Atıksu Arıtma Tesislerinde Türbin Seçimi

Geleneksel hidroelektrik tesislerin aksine, atıksu arıtma tesislerinde kurulması planlanan hidroelektrik santrallerde, hem düşü hem de debi değerleri daha düşük seviyededir. Bu değerler, her tesis için farklılık göstermektedir. Atıksu arıtma tesislerinde hidroelektrik sistemler, genellikle deşarj edilen suyun potansiyel gücünü değerlendirmek amacıyla, ya deşarj noktasında ya da deşarj edildikten sonra dere yatağının uygun bir noktasında kurulmaktadır. Bu tip sistemler için büyük kurulu güçlerden bahsetmek zordur. Bu yüzden, kurulan sistem, mini veya mikro düzeydedir.

Küçük düşü ve düşük debili sistemlerde, Kaplan veya Arşimet burgu türbinlerin kullanılması uygun seçeneklerdir (Şekil 2.15). Fakat Kaplan türbinleri, debi değişimine bağlı olarak yüksek verim kaybı yaşamaktadır. Bununla birlikte, Kaplan türbini tesis edilmek istendiğinde, tesis maliyetleri artmaktadır. Kapalı yapısı sebebiyle kaplan türbinlerinin bakımları da Arşimet burgusuna kıyasla yüksektir. Bu sebeplerden dolayı, son yıllarda düşük debi ve küçük düşü tesistelerde Arşimet burgu türbinlerinin ön plana çıktıkları görülmektedir (Raza vd, 2013). Ayrıca Arşimet burgu türbinleri, açık şekilde çalıştıkları için suyun içindeki katı maddeler sisteme zarar vermemekte, burgunun dönmesi sırasında suya ilave oksijen katkısı yaptığı için arıtmanın daha sağlıklı yapılmasını sağlamaktadır (Yek Enerji).

Ülkemizde yağmur suyu ile atıksu sistemlerinin birbirinden ayrı olarak işletilememesi, atıksu arıtma tesislerine iri taneli maddelerin taşınmasına neden olmaktadır. Bu durum, hidroelektrik

santralin tesisin girişine inşa edilmesi konfigürasyonunda Arşimet burgusunun kullanımını ön plana çıkartan önemli faktörlerden biridir.

### 2.2.3 Hidroelektrik Enerjinin AAT Enerji Üretimine Yönelik Kullanım İmkânları

Atıksu arıtma tesislerinde kurulması planlanan hidroelektrik santrallerde enerji üretimini, suyun debisi ve düşü etkilemektedir. Atıksu arıtma tesisine gelen atıksu debisi arttıkça, hidroelektrik enerji üretimi artacağı için büyük nüfuslu bölgelere hizmet veren atıksu arıtma tesislerine, hidroelektrik santral kurulması, öncelik olabilir. Diğer bir önemli kriter olan düşü, tamamen tesisin yerleşim topografyasına bağlıdır.

Atıksu arıtma tesislerinden deşarj edilen su, tesisinin kendi çıktılarında biri olması sebebiyle, kontrollü bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir. Deşarj edilen yerin ve sonrasında kanal yapısında yapılacak düzenlemeler ile elde edilebilecek enerji miktarı artırılabilir. Atıksu arıtma tesislerinin topoğrafik yapısı ve günlük debi karakteristikleri göz önüne alındığında, kurulacak hidroelektrik santrali için en uygun türbin tipinin Arşimet burgusu olduğu görülmektedir.

Bir atıksu arıtma tesisinin hidroelektrik potansiyelinin belirlenmesi için yerinde incelemeler yapılarak maksimum düşünün tespit edilmesi ve uzun süreli debi kayıtlarının alınması gerekmektedir. Hidroelektrik tesisten maksimum verim alınabilmek için debi ve düşü değerleri belirlenip, projelendirme aşamasına geçilerek tesise özel uygun tasarımlar yapılmalıdır.

Arıtma tesislerinin deşarj noktasında, Arşimet vidası ile küçük düşülerden ve yüksek debiden elektrik eldesinin yaygınlaştırması önem arz etmektedir. Öte yandan arıtma tesislerinin giriş kısmında kirli su içerisinde de kullanılmasının uygun olduğu ifade edilmektedir. Arşimet vidası, Küçük ölçekte mikro hidroelektrik sistemlerde en çok tercih edilen türbinlerdendir.

Arşimet burgusu genellikle su düşüsünün küçük olduğu ve debinin değişkenlik gösterdiği hidroelektrik sistemlerde tercih edilir. Tek bir türbinin kurulu gücü 650 kW'a kadar çıkabilmektedir. Paralel ve/veya seri çalıştırılarak daha büyük güçler elde edilebilmektedir. Bu türbinler, 100 lt/s ile 10000 lt/s debi aralığı ile 1-10 m arası düşülerde verimli olarak çalışabilmektedir (Mas Hydro; Mikrohes A.Ş.).

Uluslararası örnekler incelendiğinde, hidroelektrik santralin tesisin girişine veya çıkışına kurulabildiği görülmektedir. Buradaki en önemli kriter, en yüksek düşüye hangi noktada ulaşıldığıdır. Eğer en yüksek düşü değeri tesisin girişinde ise, ızgaralar kullanılarak ön temizleme yapılarak atıksu, Arşimet türbini ile elektrik üretiminde kullanılabilir. Diğer

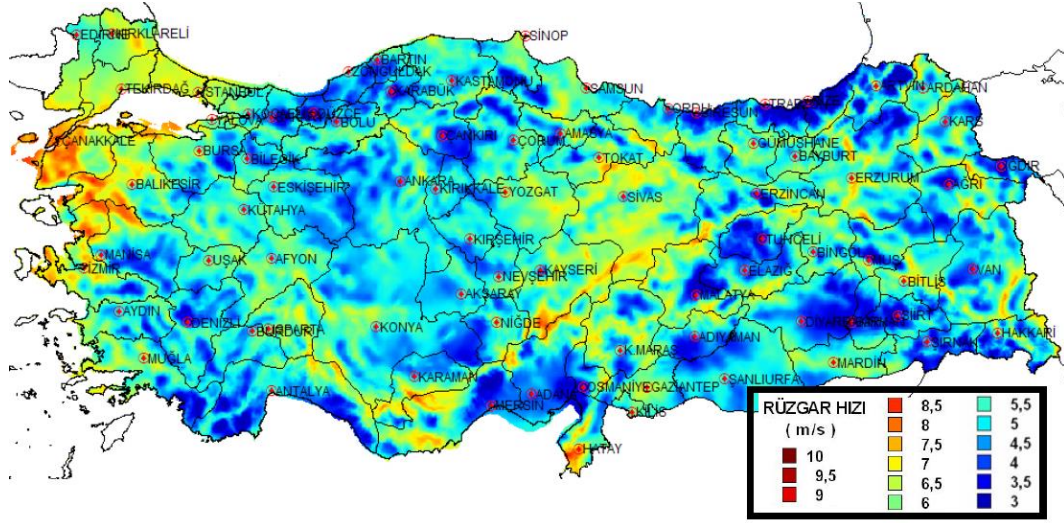
taraftan en yüksek düşüye tesisin çıkışında ulaşılması durumunda, deşarj suyu partikül açısından iyi durumda olduğundan herhangi bir temizleme işlemi yapılmasına gerek olmayacaktır.

## 2.3 Rüzgâr

### 2.3.1 Türkiye Rüzgâr Potansiyeli

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili bir ülke olması nedeniyle rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından önemli bir konumdadır. Ülkemizin rüzgâr kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından 2006 yılında Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Türkiye coğrafyasının tüm kara ve deniz alanlarını kapsayacak şekilde üç ayrı nümerik hava analiz modelinin uzun yıllara ait gerçekleşmiş meteorolojik parametrelerle geriye doğru çalıştırılması sonucu üretilmiş 200mx200m çözünürlüğe sahip ileri tekniklerle gerçekleştirilmiş bir rüzgâr atlasıdır. Bu atlasta verilen detaylı rüzgâr kaynağı haritaları ve diğer bilgiler, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilecek bir alt yapı sağlamaktadır. Rüzgâr enerjisi sektörü aktörleri, yatırımcılar, danışmanlar, planlamacılar, üniversiteler ve rüzgârla doğrudan veya dolaylı olarak ilgisi olan tüm kişi ve kurumlar için hazırlanan atlasın faydalı olacağı düşünülmektedir. Ancak, daha güvenilir rüzgâr verileri elde etmek için istasyon sayısının hızla artırılması gerekmektedir, böylece Türkiye rüzgâr enerji potansiyel atlası (REPA) belli periyotlarda güncellenebilecektir. Bu sayede, ortalama rüzgâr hızları ve rüzgâr güç yoğunlukları, daha doğru belirlenerek yatırımcı şirketlere gerçekçi veriler verilebilecektir (Karagöl ve Kavaz, 2017).

Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgâr potansiyeli değerlerine bakıldığında, en iyi rüzgâr alanları, kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde ya da açık alanların yakınında bulunmaktadır. En şiddetli yıllık ortalama rüzgâr hızları, Türkiye'nin batı kıyıları boyunca, Marmara ve Ege Denizi çevresinde ve Antakya yakınında küçük bir bölgede oluşmaktadır. Orta şiddetteki rüzgâr hızına sahip geniş bölgeler ve rüzgâr gücü yoğunluğu, Türkiye'nin orta kesimleri boyunca mevcuttur. Türkiye geneli 50 m yükseklikte ortalama rüzgâr hız dağılımı Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16 Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA) (50 metre yükseklik için)

Türkiye kara rüzgâr potansiyeli Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılan rüzgâr hız ölçümlerine göre, 6.5 m/s'nin üzerindeki rüzgâr hızları dikkate alındığında 131756.40 MW olarak hesaplanmıştır. Rüzgâr hızının 6.5-7.0 m/s olduğu yerlerdeki rüzgâr potansiyeli ihmal edilip rüzgâr hızının 7.0 m/s'nin üzerinde olduğu bölgeler dikkate alındığında, Türkiye kara rüzgâr potansiyeli, yaklaşık olarak 48000 MW olarak belirlenmiştir (Tablo 2.27). Bir başka deyişle, Türkiye'nin ekonomik rüzgâr potansiyeli 48 GW yani 120 milyar kWh civarındadır. Ayrıca rüzgâr hızının 6.5 m/s'nin üzerinde olduğu alanlarda Türkiye deniz rüzgâr potansiyeli Tablo 2.28'de görüldüğü üzere 17393.20 MW olarak tespit edilmiştir (Akınsal, 2009; Şenel & Koç, 2015).

Tablo 2.27 50 m Yükseklikte Türkiye kara rüzgâr potansiyeli  
(Akınsal, 2009)

Rüzgâr Kaynak Derecesi	Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (W/m <sup>2</sup> )	Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Alan (km <sup>2</sup> )	Rüzgârlı Arazi Yüzdesi	Toplam Potansiyel (MW)
Orta	3	300-400	6.5 – 7.0	16781.39	2.27	83906.96
İyi	4	400-500	7.0 – 7.5	5851.87	0.79	29259.36
Harika	5	500-600	7.5 – 8.0	2598.86	0.35	12994.32
Mükemmel	6	600-800	8.0 – 9.0	1079.98	0.15	5399.92
Sıra dışı	7	> 800	> 9.0	39.17	0.01	195.84
4-5-6-7 Rüzgâr Sınıfı Toplamı				9569.89	1.3	47849.44
3-4-5-6-7 Rüzgâr Sınıfı Toplamı				26351.28	3.57	131756.40



Tablo 2.28 50 m Yükseklikte Türkiye deniz rüzgâr potansiyeli  
(Şenel & Koç, 2015)

Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Potansiyel (MW)
6.5 – 7.0	6929.92
7.0 – 7.5	5133.20
7.5 – 8.0	3444.80
8.0 – 9.0	1742.56
> 9.0	142.72
Toplam	17393.20

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından 10 m yükseklikte yapılan ölçümlere göre Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgâr hızı 2.54 m/s, rüzgâr gücü yoğunluğu ise 24 W/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Ülkemizdeki bölgelere ait 10 m yükseklikte ölçülen ortalama rüzgâr hızları ve rüzgâr güç yoğunlukları Tablo 2.29'da verilmiştir. Buna göre, rüzgâr enerji potansiyeli yüksek olan bölgeler sırasıyla; Marmara, Güneydoğu Anadolu, Ege, Akdeniz, Karadeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi'dir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı 3.29 m/s değeri ile en yüksek Marmara Bölgesi'nde, 2.12 m/s değeri ile en düşük Doğu Anadolu Bölgesi'nde ölçülmüştür. Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgâr hızı 2.58 m/s, rüzgâr enerjisi güç yoğunluğu 25.82 W/m<sup>2</sup> bulunmuştur. Rüzgâr enerjisi uygulamaları için en cazip bölgeler Marmara, Güney Doğu Anadolu ve Ege Bölgesi'dir. Doğu Anadolu Bölgesi, en düşük rüzgâr güç yoğunluğuna sahip bölge olduğundan, bu bölgede işletme halinde herhangi bir rüzgâr enerji santrali bulunmamaktadır (İlkılıç, 2012; Şenel ve Koç, Dünyada ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme, 2015).

Tablo 2.29 10 m yükseklikte bölgesel ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu  
(İlkılıç, 2012)

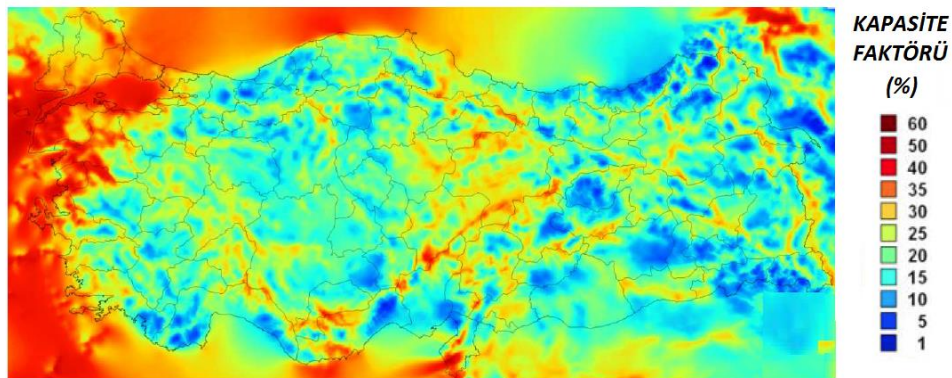
Bölge Adı	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Ortalama Rüzgâr Gücü Yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )
Marmara Bölgesi	3.29	51.91
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	2.69	29.33
Ege Bölgesi	2.65	23.47
Akdeniz Bölgesi	2.45	21.36
Karadeniz Bölgesi	2.38	21.31
İç Anadolu Bölgesi	2.46	20.14
Doğu Anadolu Bölgesi	2.12	13.19
Türkiye Ortalaması	2.58	25.82

Herhangi bir yerdeki rüzgâr gücü aşağıdaki formülle ifade edilmektedir:

$$P = \frac{1}{2} \rho * A * v^3 \text{ [W]}$$

Burada, P rüzgârdan elde edilen güç (Watt),  $\rho$  hava yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ ), A süpürme alanını ( $\text{m}^2$ ),  $v$  rüzgâr hızını (m/s) göstermektedir. Rüzgâr gücü bağıntısından rüzgâr enerjisinin rüzgâr hızının küpüyle orantılı olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak, rüzgâr hızının fazla olduğu yerlerde daha fazla enerji üretilebileceği görülmektedir ve bu yatırımlar daha ekonomik olacaktır. Rüzgâr enerji santrallerinin ekonomik olabilmesi için rüzgâr türbinin kurulacağı arazide 50 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızının 7.0 m/s ve üzerinde, kapasite faktörünün en az %35 olması gerekmektedir. Kapasite faktörü, belirli bir zaman diliminde üretilen enerjinin o zaman diliminde üretilebilecek maksimum enerjiye, yüzde olarak oranını ifade etmektedir. Rüzgâr türbinleri, rüzgâr hızının 7m/s'den küçük olduğu ve kapasite faktörünün %35'in altında olduğu yerlere de kurulabilmektedir. Fakat bu santrallerin geri ödeme süreleri daha uzun olmaktadır ve ekonomik yatırım olarak görülmemektedir (YEGM, REPA).

Türkiye'de 50 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızlarına ve kapasite faktörlerine göre illerin rüzgâr potansiyelleri, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından belirlenmiştir. Rüzgâr potansiyeli yüksek olan iller, Balıkesir, Çanakkale, İzmir, Manisa, Samsun, Muğla ve Tekirdağ olarak tespit edilmiştir (Şekil 2.17). Ayrıca İstanbul, Bursa, Mersin, Edirne, Hatay, Kırklareli, Tokat, Aydın gibi illerin de oldukça iyi rüzgâr potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, rüzgâr enerjisine yönelik yatırım yapacak girişimcilerin özellikle Balıkesir, Çanakkale ve İzmir'e yoğunlaşmasına sebep olmuştur (YEGM, REPA).



Şekil 2.17 Türkiye'nin 50 m yükseklikteki kapasite faktörü haritası (Akınsal, 2009)

Rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücü ülkemizde her yıl artmakta olup, 1998 yılında kurulu güç 8.7 MW iken 2017 yılı Temmuz ayı itibarıyla kurulu güç 6483.9 MW olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizdeki rüzgâr enerji santrallerinin Temmuz 2017 itibarıyla kurulu güç bakımından



bölgelere göre dağılımı incelendiğinde; faaliyette olan rüzgâr enerji santrallerin toplam kurulu gücünün 6483.9 MW, inşa halinde olan RES'lerin toplam kurulu gücünün 808.98 MW ve lisans aşamasında olan RES'lerin toplam kurulu gücünün 2901.5 MW olduğu Tablo 2.30'dan görülebilmektedir (Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu, 2017).

Tablo 2.30 Rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı  
(Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu, 2017)

Bölgeler	İşletmede olan RES'ler		İnşa Halinde Olan RES'ler		Lisansı Alınan RES'ler	
	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güçteki Payı (%)	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güçteki Payı (%)	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güçteki Payı (%)
Ege	2585.85	40	210.85	26	696.00	23
Marmara	2241.50	34	122.00	15	1644.50	56
Akdeniz	888.70	14	115.10	14	33.00	2
İç Anadolu	538.20	8	228.73	29	166.00	6
Karadeniz	184.90	3	84.00	10	352.00	12
G. D. Anadolu	44.75	1	48.30	6	10.00	1
D. Anadolu	-	-	-	-	-	-
Toplam	6483.9	100	808.98	100	2901.5	100

### 2.3.1.1 Türkiye Rüzgar Enerji Potansiyelinin Bölgesel Değerlendirilmesi

Rüzgâr potansiyeli en yüksek bölge Marmara Bölgesi olmasına karşın, Türkiye rüzgâr enerjisi kurulu gücü en fazla olan bölge, % 40'lık bir oranla Ege Bölgesi'dir. Ege Bölgesi'ndeki rüzgâr enerjisi kurulu gücünün ise yaklaşık % 40'ı İzmir il sınırları içerisinde bulunmaktadır. Bölgenin güneyinde yer alan Aydın, Denizli, Muğla illeri de oldukça yüksek rüzgâr potansiyeline sahiptir. Ege Bölgesi, kurulu güç bakımından Türkiye'nin en yüksek bölgesi olmasıyla birlikte yine bölgede tamamlanmayı bekleyen rüzgâr enerji santrali projeleri mevcuttur.

Marmara Bölgesi rüzgâr enerjisi açısından oldukça önemli bir konumdadır. 2017 rüzgâr enerji istatistik verilerine göre, Türkiye'de 6483.9 MW olan rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 2241 MW ile % 34'ünü bulduran Marmara Bölgesi, rüzgâr enerjisi üretiminde Ege Bölgesinden sonra en yüksek ikinci bölgedir. Bölgedeki kurulu gücün büyük bir kısmı ise Güney Marmara'dadır. Marmara ve Ege bölgelerinin kesişim noktasında yer alan Güney Marmara Bölgesi'nin, rüzgâr enerjisi pazarının odak noktasında yer alacağı beklenmektedir. Bununla birlikte Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yapılan çalışmalarda, Trakya Bölgesi'nde Edirne'nin güneyi, Tekirdağ'ın doğusu ve güneyi ile Kırklareli'nin doğusunda rüzgâr santrali için uygun alanlar bulunmaktadır.

Akdeniz Bölgesi rüzgâr enerjisi kurulu gücü ile Türkiye'nin Marmara ve Ege Bölgeleri'nden sonra en yüksek değere sahip üçüncü bölgesidir. Akdeniz Bölgesi'nde Kurulu rüzgâr gücü ve rüzgâr potansiyeli incelendiğinde bölgenin doğu illeri Mersin, Hatay ve Osmaniye'nin öne çıktığı görülmektedir.

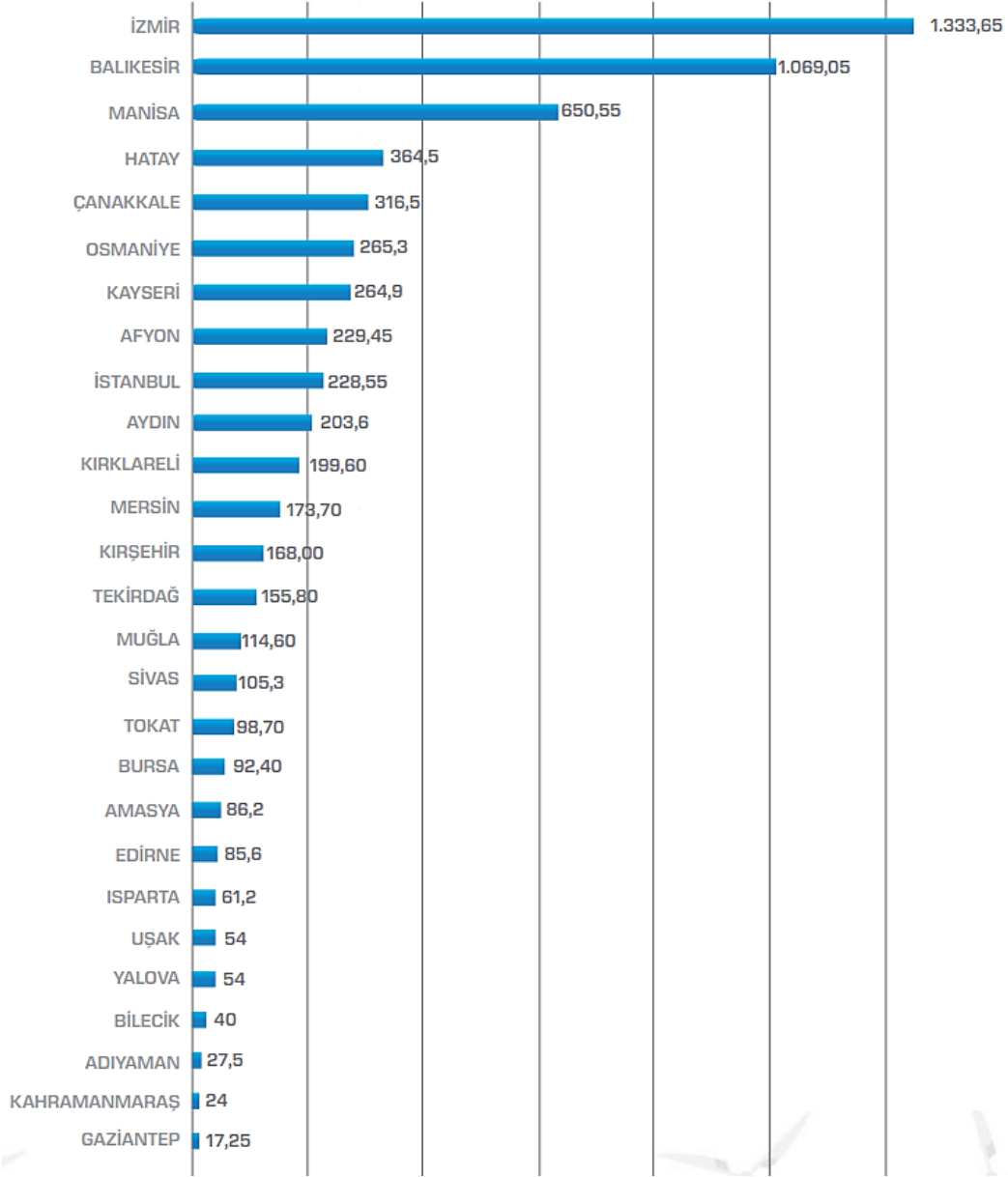
İç Anadolu Bölgesi'nde Kayseri, Sivas, Kırşehir, Konya ve Karaman illeri önemli rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin en büyük kurulu gücüne sahip santrallerinden birisi Kırşehir Mucur'da bulunmaktadır.

Karadeniz Bölgesi, rüzgâr potansiyeli bakımından düşük bölgelerimiz arasında yer almaktadır. Ancak bölgede önemli sayılabilecek yatırımlar da mevcuttur. Rüzgâr potansiyeli bakımından özellikle orta Karadeniz daha elverişlidir. Samsun, Amasya, Çorum, Tokat illeri rüzgâr santrali kurmaya uygun rüzgâr hızlarına ulaşabilen bölgelere sahiptir. Batı ve Doğu Karadeniz bölümünde rüzgâr potansiyeli düşüktür.

Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki rüzgâr enerjisi kaynakları, ülkenin önemli miktarda enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir. Bölge, rüzgâr gücü endeksi %57 ile Marmara Bölgesi'nden sonra ülkenin 2. en güçlü rüzgâr potansiyeline sahip bölgesidir. Bölgede özellikle Gaziantep ilinin kuzeybatı kısmı ve Adıyaman ilinin kuzeydoğu kısmı rüzgâr enerjisi elde etmek için yeterli potansiyele sahiptir. Fakat bölge önemli rüzgâr potansiyeline sahip olmasına rağmen rüzgâr enerji santralleri kurulu gücü bakımından oldukça geride kalmıştır.

Doğu Anadolu Bölgesi, belirli bir potansiyele sahip olmasına karşın yıllık ortalama rüzgâr hızı 2,12 m/s ve yıllık ortalama rüzgâr yoğunluğu 13,19 W/m<sup>2</sup> ile Türkiye'nin en az rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip bölgesidir. YEGM tarafından hazırlanan "Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)" na göre, bölge illerinin rüzgâr enerji potansiyeli ekonomik olarak yüksek olmadığı görülmektedir.

İşletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin illere göre dağılımı Şekil 2.18'de verilmiştir. 2017 yılı Temmuz ayı verilerine göre, rüzgâr enerjisi kurulu gücü yüksek olan iller sırasıyla; İzmir (1333.65 MW), Balıkesir (1069.05 MW), Manisa (650.55 MW), Hatay (364.5 MW), Çanakkale (316.5 MW) ve Osmaniye (265.3 MW)'dir (Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu, 2017). Kurulu gücü yüksek olan bu illerin, rüzgâr enerji potansiyelinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.18 İşletmedeki rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre dağılımı (MW) (Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu, 2017)

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından açıklanan verilere göre, 2019 yılı için rüzgâr enerjisinde 10 bin MW'lık elektrik üretimi gerçekleştirilmesi ve bu rakamın 2023 yılında 20 bin MW'a ulaştırılması hedeflenmektedir. Türkiye'de 2017 yılı itibarıyla, işletmede olan santral sayısı 158, inşa halinde olan santral sayısı 32 ve lisans aşamasında olan santral sayısı 78'dir (Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu, 2017; Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

2001 yılında 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun yürürlüğe girmesinden sonra, çok sayıda gerek yerli, gerekse yabancı yatırımcıların rüzgâr enerjisi üretim sektörüne ilgilerinin artmış olduğu görülmektedir. Elektrik piyasasına ilişkin mevzuatta, rüzgâr enerjisine yatırım yapacak gerçek yatırımcıların önünü açacak yeterli düzenlemeler ancak 2005 yılında yapılabilmektedir. Bu konuda son olarak, 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun 2005 yılında yasalaşması ile yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten üreticilere alım garantisi modeli getirilmiştir. Böylece yüksek kapasite faktörüne sahip rüzgâr enerji projelerinin hayata geçirilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisini serbest piyasadaki satışına ilişkin alternatifler de oluşturulmuştur (Çakır, 2010).

2 Ekim 2013 tarihinde Resmi Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe giren Elektrik Piyasasında Lisanssız Üretim Yönetmeliği'ne göre, 1 MW ve altı kurulu güce sahip olan tesisler, lisans alma ve şirket kurma yükümlüğünden muaf tutulmuştur. Bunun yanı sıra, belediyelerin katı atık tesisleri ile arıtma tesisi çamurlarının bertarafında kullanılmak üzere kurulan üretim tesisleri de şirket kurma yükümlülüğünden muaftır. Lisanssız üretim kapsamında kurulacak enerji üretim tesislerinin ürettikleri enerji kendi tüketimlerinden mahsup edilerek, kalan enerji kaynak bazında belirlenen sabit fiyatlarla bölgedeki dağıtım şirketine satılabilecektir. Özellikle sanayinin yoğun olduğu bölgelerde enerji maliyetlerinin azaltılması için lisanssız elektrik üretimi, önemli bir fırsat doğurmuştur. Ayrıca ilgili yönetmelikte, kurulacak tesiste yerli ürünlerin tercih edilmesine bağlı olarak KDV indirim teşvikleri de bulunmaktadır. Rüzgâr enerjisinde bulunan teşvikler, Bölüm 5'de, detaylı olarak sunulmuştur.

### 2.3.2 Rüzgâr Enerji Sistemleri

Rüzgâr türbinleri, belirli bir hızda hareket eden havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye, sonrasında bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Rüzgâr türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli, düşey eksenli ve eğik eksenli olarak üretilir.

#### 2.3.2.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri, dönme eksenleri rüzgâr yönüne paralel ve kanatları ise rüzgâr yönüne dik vaziyette çalışır. Bu tip rüzgâr türbinleri bir, iki, üç veya çok kanatlı yapılmaktadır. Rotor kanat sayısı azaldıkça, rotor hızı artmaktadır. Verimleri yaklaşık olarak %45 civarındadır. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri; rüzgârın rotora çarpma durumuna göre önden rüzgârlı (up-

wind) veya arkadan rüzgârlı (down-wind) türbin adını alırlar. Rüzgârı önden alan türbinlerin en büyük avantajı, kule gövdesinin arkasında oluşacak rüzgâr gölgeleme etkisine çok az maruz kalmalarıdır. Dezavantajı ise, rotoru rüzgâra döndürmek için yaw mekanizmasına ihtiyaç duymasıdır. Yaw mekanizması, türbinin rüzgârı cepheden almasını sağlamak için türbinin yönünü rüzgârın esme yönüne göre ayarlayan mekanizmadır. Rüzgârı arkadan alan türbinlerin önemli üstünlüğü ise kanatlarının esnek olarak tasarlanabilmesidir ve hem ağırlık hem de makinanın güç dinamiği açısından avantajlıdır. Dezavantajlı olduğu nokta ise, kanatların kule hizasından geçerken oluşan güç dalgalanmasının türbine daha çok zarar vermesidir (Çolak ve Demirtaş, 2008; Nurbay ve Çınar, 2005; YEGM, Rüzgar).

### 2.3.2.2 Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinin dönme eksenleri rüzgâr yönüne dik olup, kanatları düşey vaziyettedir. Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinde, rüzgârın esme yönü değiştiği zaman, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde olduğu gibi herhangi bir pozisyon değişimine gerek yoktur ve bu türbinler rüzgârı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Verimleri yaklaşık %35 civarındadır. Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden, kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgâr hızlarında çalışmak zorunda kalırlar ve Yaw mekanizmasına ihtiyaçları yoktur (Çolak ve Demirtaş, 2008; Nurbay ve Çınar, 2005; YEGM, Rüzgar).

### 2.3.2.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (Wagner)

Dönme eksenleri düşeyle, rüzgâr yönünde bir açı yapan rüzgâr türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır.

### 2.3.2.4 Rüzgâr Türbinlerinin Birbirleri ile Karşılaştırılması ve Kullanım Alanları

Rüzgâr santrali kurulumunda; ciddi kayıplardan kaçınmak için rüzgâr şartları, kurulacak alan ve türbinlerin özellikleri bilinmesi önemlidir. Rüzgâr türbinleri, kanat çeşitleri, rüzgârı alış şekilleri ve kullanım alanlarına göre birkaç farklı çeşitte üretilirler. Türbinlerin birbirleri ile çeşitli özellikleri ve tipleri dikkate alınarak yapılan kıyaslanmalar Tablo 2.31, Tablo 2.32 ve Tablo 2.33'te verilmiştir. Bu tablolarda; türbinin kullanım amacı, bölgedeki rüzgâr ve maddi imkânlarla göre nasıl bir türbin seçimi gerektiği veya kurulmak istenen türbinin özellikleri görülmektedir (Çolak ve Demirtaş, 2008; Nurbay ve Çınar, 2005).

Tablo 2.31 Büyüklüklerine göre türbinlerin karşılaştırılması  
(Nurbay ve Çınar, 2005)

Rüzgâr Türbini Boyutu	Kullanım Alanları	Bir Tek Türbin Gücü	Üretilen Enerjinin Kullanım Şekli	Akü İhtiyacı	Bakım Masrafı	Kurulum Maliyeti
Büyük Rüzgâr Türbinleri	Endüstriyel	50kW-8MW	Şebeke, Arıtma tesisleri	Yok	Var	Yüksek
Küçük Rüzgâr Türbinleri	Evsel/Kişisel	50W-20kW	Çiftlik evleri, Radyo kulesi, Seralar,	Var	Yok	Düşük

Tablo 2.32 Rüzgârı alış yönüne göre türbinlerin karşılaştırılması  
(Nurbay ve Çınar, 2005)

Rüzgârı Alış Yönü	Yaw Mekanizması İhtiyacı	Kanat Malzeme Yapısı	Kuleye Binen Yük	Rüzgârın Türbine Verdiği Zarar
Rüzgârı Önden Alan Türbinler	Var	Sert	Ağır	Az
Rüzgârı Arkadan Alan Türbinler	Yok	Esnek	Hafif	Çok

\* Yaw mekanizması, türbinin rüzgârı cepheden almasını sağlamaktadır.

Tablo 2.33 Kanat çeşitlerine göre türbinlerin karşılaştırılması  
(Nurbay ve Çınar, 2005)

	Yatay Eksenli Türbin				Dikey Eksenli Türbin	
	Tek kanatlı	2 kanatlı	3 kanatlı	Çok kanatlı	Savonius	Darrierus
<b>Maliyet</b>	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
<b>Estetik görünüm</b>	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
<b>Gürültü</b>	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
<b>Çalışma hızı</b>	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
<b>Kule ihtiyacı</b>	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
<b>Kullanım amacı</b>	Elektrik üretimi	Elektrik üretimi	Elektrik üretimi	Elektrik üretimi & su pompalama	Elektrik üretimi & su pompalama	Elektrik üretimi & su pompalama
<b>Günümüzde kullanımı</b>	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az

### 2.3.2.5 Rüzgâr Enerjisinin Üstünlükleri, Dezavantajları ve Çevresel Etkileri

Elektrik üretmek amacıyla kullanılan rüzgâr enerjisinin genel olarak üstünlükleri, dezavantajları ve çevresel etkilerinden bahsetmek mümkündür. Avantajları aşağıda sıralanmıştır (Kıncay vd; Enerji Beş).

- Fosil yakıt kullanan santrallere göre temiz ve emisyonuz bir enerji kaynağıdır. Bu sayede çevreye sera gazı salınımı yapmazlar ve küresel ısınmaya katkı yapmazlar.
- Yakıt maliyeti yoktur ve işletme giderleri düşüktür. Dışa bağımlılık yaratmaz.
- Maliyeti günümüz güç santralleriyle (hidroelektrik, termik, güneş vb.) rekabet edecek düzeydedir.
- Hidroelektrik ve termik santrallere göre kurulum ve işletmeye alma süreci kısadır.
- Güneş enerji santrallerine göre arazi ihtiyacı fazla değildir.

Rüzgâr enerjisinin dezavantajları ve karşılaşılan bazı çevresel sorunları aşağıda sıralanmıştır (Kıncay vd, 2017; Şenel ve Koç, 2016; Enerji Beş).

- Enerji üretimi, rüzgâr hızına bağımlı olduğundan, rüzgârın kesilmesi veya azalması durumunda, enerji kaybı olmaktadır. Hidroelektrik santrallere göre sabit bir enerji üretiminden söz edilemez.
- Kurulum için en az 1 yıllık rüzgâr ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.
- Türbinler sinyal bozucu etkiye sahiptir.
- Ulaşımın olmadığı ya da güç olduğu yüksek arazilere kurulmaktadır.
- Büyük dönel makinalar olduklarından, kuş ölümlerine ve kuşların göç yolu değiştirmelerine neden olmaktadır.
- Oluşturdukları ses şiddeti çevreye gürültü yaymaktadır. Güneş ve hidroelektrik santraller daha sessiz çalışmaktadır.

### 2.3.2.6 Atıksu Arıtma Tesislerinde Rüzgâr Türbini Seçimi

Atıksu arıtma tesislerinde rüzgâr türbini seçimi genel olarak diğer uygulamalarla benzerdir. Günümüzde elektrik üretim amaçlı modern rüzgâr türbinleri 3 kanatlı, yatay eksenli ve önden rüzgârlı rüzgâr türbinleridir.

Yerel yüzey yapısı, bitki örtüsü ve yüksek bina gibi engeller rüzgâr hızını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Türbinler düz tepelerde en yüksek noktaya; vadi, kanyon ve geçitlerde ise hakim rüzgârı alabilecek ve tüketiciden uzak olmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Kanat yerleşiminde, asgari kanatın yerden 3 m yüksekte olması ve kullanım yerinden 40 m uzakta olması, güvenlik ve verim için avantajdır. Bununla birlikte, her bir türbin, rüzgârı en iyi alacak şekilde ve birbirlerinin arkasına, gölgeleme etkisi en az olacak şekilde yerleştirilmesine dikkat edilmelidir.



Rüzgâr türbinleri teorik olarak 3-25 m/s rüzgâr hızı aralığında çalışabilmektedirler (Kıncay vd, 2017). Fakat en verimli 7-12 m/s hız değerlerinde çalışmaktadır. Rüzgâr türbini kurulması planlanan bölgedeki 1 yıllık rüzgâr ölçüm sonuçları incelenerek buna göre türbin ve jeneratör tasarımları yapılmalıdır.

Ülkemizdeki rüzgâr türbini kurulum ve çalıştırılması işlemlerinde, çoğunlukla yabancı ülkelerin üretimi olan türbinler kullanılmaktadır. Yerli rüzgâr türbini üreticisi olarak birkaç firma göze çarpmaktadır, ancak bu firmaların ürünleri henüz yeterli ihtiyacı karşılayamamaktadır. Ülkemizde kurulmaya çalışılan rüzgâr santralleri için yerli üretim türbinlerin ilerleyen yıllarda daha da artması beklenmektedir (Çolak ve Demirtaş, 2008; Nurbay ve Çınar, 2005).

### 2.3.3 Rüzgâr Enerjisinin AAT Enerji Üretimine Yönelik Kullanım İmkânları

Rüzgâr, ülkemizin bazı bölgelerinde güçlü bir enerji kaynağı olarak dikkat çekmektedir. Nispeten sabit ve sürekli bir rüzgâr kaynağı olan bölgeler, rüzgâr enerjisi üretimi için gerekli koşulları sağlayabilmektedir. Atıksu arıtma tesisleri, çoğunlukla düşük kotlu yerleşim yerlerine yapılmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında, arıtma tesisinin kurulduğu bölgede, rüzgâr potansiyelinin düşük olması kuvvete muhtemeldir. Bununla birlikte, tesise yakın mesafede yüksek tepelerin ya da rüzgârı bol alan bölgelerin olması ihtimali de vardır. Böyle durumlarda, rüzgâr potansiyelinin yüksek olduğu düşünülen bölgelerde en az bir yıllık rüzgâr hız ölçümlerinin yapılması, topoğrafik yapının ve arazi yapısının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan ölçümler ve incelemeler sonucunda, bölgenin rüzgâr potansiyeli hesaplanmalıdır. YEGM, ekonomik olarak değerlendirilebilir bir rüzgâr potansiyeli için rüzgâr hızının minimum 7 m/s, kapasite faktörünün en az %35 olması gerektiğini belirtmektedir.

Lisanssız olarak rüzgâr enerjisi kullanarak elektrik üretimi 1 MW'tan az rüzgâr türbinleri için geçerlidir. Teşvik oranı, türbin kapasitesine göre değişiklik göstermez. Rüzgâr türbini gücü ne kadar yüksek olursa (verimli üretim için yeterli rüzgâr hızı mevcutsa) kilowatt başına elektrik üretim masrafı daha az olmaktadır. Örneğin 500 kW rüzgâr türbini fiyatı 2 tane 250 kW rüzgâr türbini fiyatından çoğunlukla daha ucuzdur. 1 MW rüzgâr türbini de 2 adet 500 kW rüzgâr türbininden daha ucuzdur. Fakat burada en önemli nokta kurulum yapılacak bölgedeki rüzgâr hızının bu türbin kapasiteleri için yeterli olmasıdır. Rüzgâr hızı yeterli değilse, yüksek kapasiteli türbin almak doğru bir tercih olmayacaktır. Rüzgâr türbininin verimli elektrik üretebilmesi için düşük rüzgâr hızlarında da çalışabilmelidir. Düşük güçlü rüzgâr türbinleri daha düşük hızlarda çalışabildiği için üretim verimliliği açısından daha avantajlıdır.



Rüzgâr kapasitesi bakımından lisanssız kategoride Türkiye’de en uygun türbin, 250 kW rüzgâr türbini veya 500 kW rüzgâr türbini. 1 MW rüzgâr türbini verimli şekilde çalışmasını sağlayacak rüzgâr potansiyeline sahip bölgeler nispeten daha azdır. Her arazinin şartları farklı olduğu için iyi bir ön analiz yapıлып en doğru yol haritası çizilmelidir.

Rüzgâr santrali kurulumu için güneş enerjisinin de olduğu gibi büyük arazi ihtiyacı bulunmamaktadır. Hem arazi ihtiyacı hem de tesis ekipmanları göz önüne alındığında, yatırım maliyeti açısından az da olsa güneş enerjisinden daha avantajlı olan rüzgâr, işletme maliyeti bakımından güneş enerjisine göre biraz daha pahalıdır.

## 2.4 Güneş

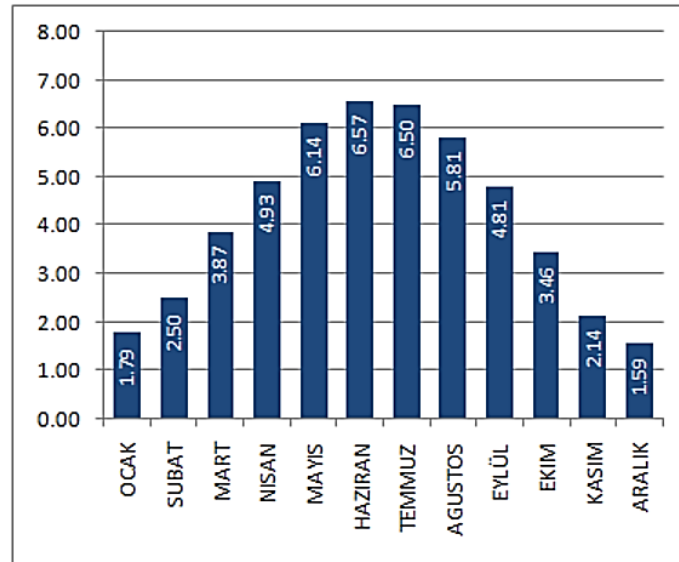
### 2.4.1 Türkiye Güneş Potansiyeli (Elektrik)

Dünyadaki en önemli enerji kaynaklarının başında güneş gelmektedir. Doğal enerji kaynaklarının pek çoğunun kökeni olan güneş enerjisi, özellikle ısıtma ve elektrik elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Güneş enerjisi çevreci ve temiz bir enerji kaynağı olduğundan tükenmekte olan fosil enerji kaynaklarına alternatif olarak görülmektedir. Türkiye, 781.000 km<sup>2</sup> yüzey alanıyla, 36°-42° kuzey enlemleri arasında güneşli bir kuşakta yer almakta ve güneş enerjisi potansiyeli bakımından coğrafi olarak son derece iyi bir konumda bulunmaktadır. ETKB tarafından hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (günlük toplam 4,17 kWh/m<sup>2</sup>)'dir. Türkiye'nin güneşe dayalı yıllık 400 milyar kWh civarı brüt elektrik üretim kapasitesi olduğu, teorik olarak hesaplanmıştır (Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, 2014). Türkiye güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA) Şekil 2.19'da verilmiştir.



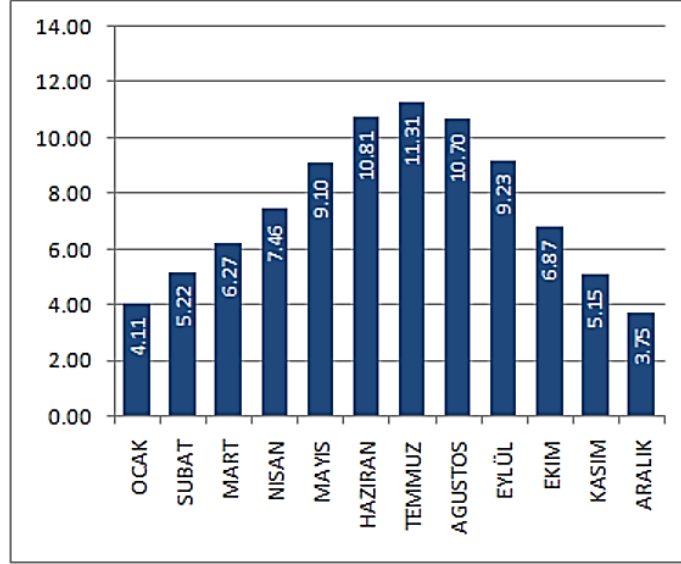
Şekil 2.19 Türkiye güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA) (GEPA, YEGM)

Türkiye genelinde aylara göre ortalama günlük radyasyon değerleri incelendiğinde, 6.57 kWh/m<sup>2</sup>-gün ile Haziran ayı maksimum, 1.59 kWh/m<sup>2</sup>-gün ile Aralık ayı minimum radyasyon potansiyeline sahiptir. Türkiye aylara göre ortalama radyasyon değerleri Şekil 2.20'de verilmiştir (GEPA, YEGM).



Şekil 2.20 Türkiye aylara göre ortalama radyasyon değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-gün) (GEPA, YEGM)

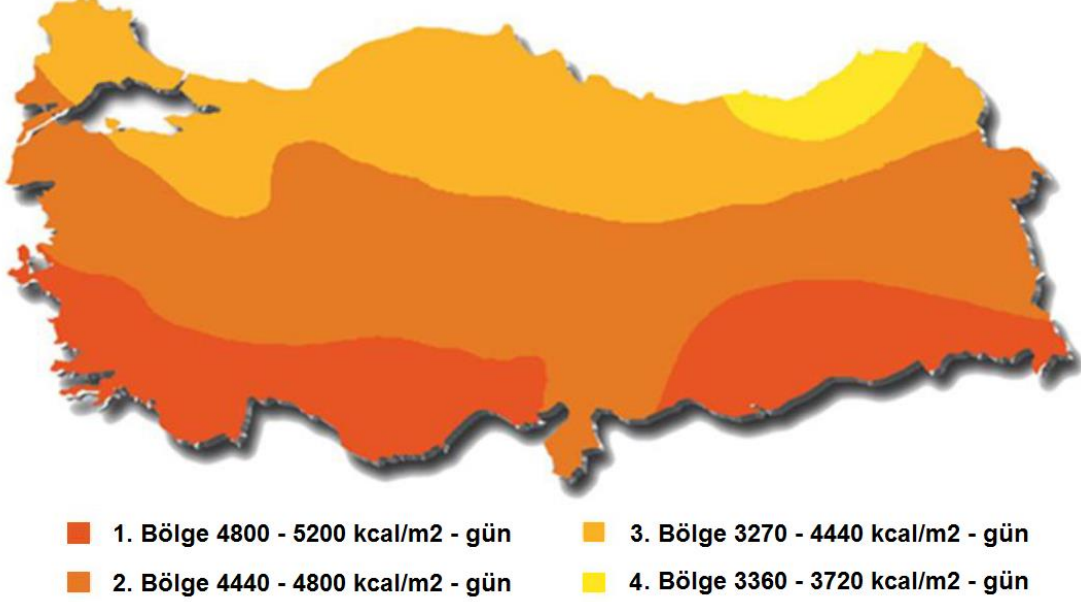
Türkiye genelinde ve bölgeler bazında aylık güneşlenme süreleri incelendiğinde, Temmuz maksimum, Aralık ise minimum güneşlenme olduğu görülmektedir. Türkiye aylara göre güneşlenme süreleri Şekil 2.21'de verilmiştir (GEPA, YEGM).



Şekil 2.21 Türkiye aylara göre güneşlenme süreleri (saat)  
(GEPA, YEGM)

#### 2.4.1.1 Güneş Enerji Potansiyelinin Bölgesel Değerlendirilmesi

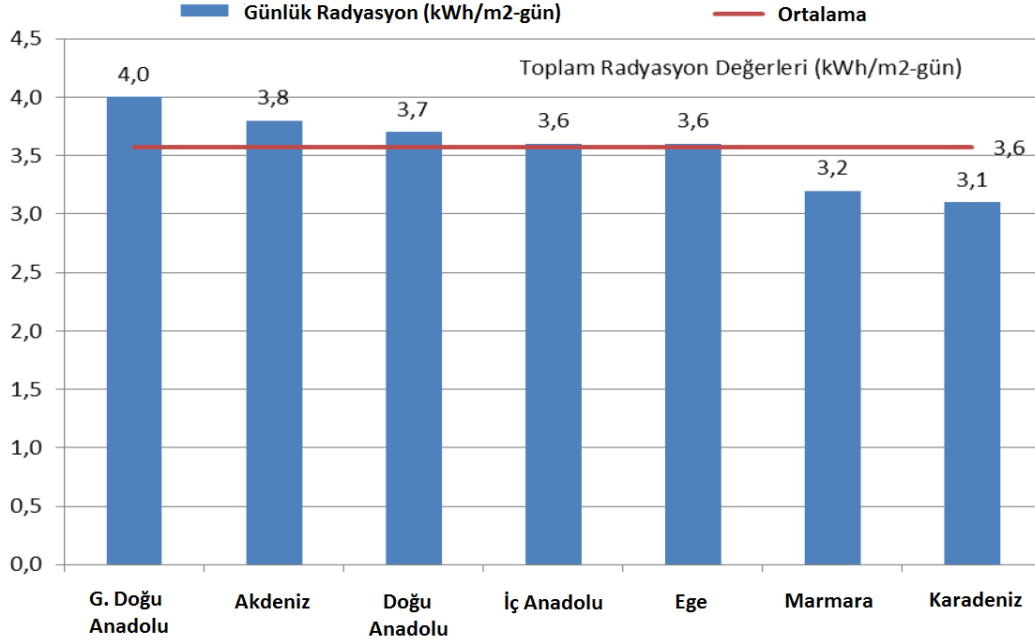
Türkiye, bulunduğu coğrafi konumu bakımından, dünyadaki birçok ülkeye göre daha yüksek güneş enerji potansiyeline sahiptir. Ülkemizde, Güney Doğu Bölgesi ışınım değerleri en iyi olan bölgemizdir. Sert ve soğuk iklime sahip olan bu bölge, kışın en fazla ışınım alan bölge olup, bölgenin rakımı yüksektir. Havadaki su buharı, yağmur ve kar şeklinde yağmaktadır ve atmosfer daha berrak olduğundan ışınımın engellenmesi en az seviyededir. Diğer taraftan, hem matematik konumundan hem de rutubetli olmasından dolayı en az ışınım alan bölge, Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'dir. Atmosferdeki fazla su buharının ışınımın perdelenmesine neden olduğu bilinmektedir. Bu yönden, Marmara ve Kuzey Ege Bölgesi, Karadeniz'e göre biraz daha iyi durumdadır. Güney Ege, Batı Akdeniz ve Orta Anadolu Bölgeleri orta derecede ışınım almaktadır. Bununla birlikte, Doğu Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi, ışınım değerleri iyi olan bölgelerimizdir. Türkiye'nin güneş ışınım değerlerine göre 4 bölgeye (kuşak) ayrılmış olup, bu bölgeler Şekil 2.22'de verilen haritada gösterilmiştir (Aksungur vd, 2013). Ayrıca, Tüm bölgelerimize ait toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri Tablo 2.34'te ve Türkiye'nin bölgelere göre ortalama günlük radyasyon değeri Şekil 2.23'te verilmiştir.



Şekil 2.22 Türkiye güneş kuşağı atlası  
(Aksungur vd, 2013)

Tablo 2.34 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı  
(Çakır, 2010)

BÖLGELER	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
G. DOĞU ANADOLU	1460	3016
AKDENİZ	1390	2923
DOĞU ANADOLU	1365	2726
İÇ ANADOLU	1314	2712
EGE	1304	2693
MARMARA	1168	2528
KARADENİZ	1120	1966



Şekil 2.23 Bölgelere göre günlük ortalama güneş radyasyonu (GEPA, YEGM)

Güneş enerjisi potansiyeli en yüksek olan coğrafi bölgemiz Güneydoğu Anadolu Bölgesidir. Bölge 1,460 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük ortalama 4 kWh/m<sup>2</sup>) güneş enerjisi değeri ve 3016 saat/yıl (günlük ortalama 8,2 saat) gün ışığı süresiyle Türkiye ortalamasının oldukça üzerinde değerlere sahiptir. Güneşlenme süreleri ve radyasyon değerleri bu kadar elverişli olmasına rağmen bölgede güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi çok düşüktür. Bölgede yaklaşık olarak 15 MW kurulu güç vardır (Enerji Atlası).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden sonra en çok güneş enerjisi potansiyeline sahip olan bölge Akdeniz Bölgesidir. Bölgedeki iller, güneş enerjisi yatırımı açısından oldukça uygun değerlere sahiptir. Akdeniz Bölgesi'nde yıllık gün ışığı süresi 2923 saat/yıl ve toplam güneş enerji değeri 1390 kWh/m<sup>2</sup>-yıl olup, Türkiye ortalama değerlerinin üzerinde yer almaktadır. Bölgede, yaklaşık olarak 40 MW kurulu gücünde güneş enerji santralleri bulunmaktadır (Enerji Atlası).

Doğu Anadolu Bölgesi güneş enerjisi bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Bölge, güneşlenme ve radyasyon değerleri bakımından Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri'nden sonra 3. sıradadır. Bölge genelinde güneşlenme süresi ortalama 2726 saat/yıl ve toplam güneş enerjisi 1365 kWh/m<sup>2</sup>-yıl ile Türkiye ortalamasının üzerindedir. Ancak bölge, sahip olduğu bu potansiyeli yeterince değerlendirilmemek birlikte, 50 MW'a yakın kurulu güç bulunmaktadır.

Ülkemizin en geniş düzlük alanları İç Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin geniş yatırım arazilerine ihtiyaç duyması ile birlikte, gerektiğinde bu yatırımların genişleyebilmesi düşünüldüğünde, santrallerin buldukları arazilerin yerleşim yerlerinden uzakta oldukları görülmektedir. Bununla birlikte güneş enerjisi yatırımları açısından İç Anadolu Bölgesi orman veya tarım arazisi vasfında olmayan, turistik değeri bulunmayan alanları çok olduğu için oldukça uygundur. Ayrıca, 1314 kWh/m<sup>2</sup>-yıl güneş enerjisi değeri ve 2712 saat/yıl (günlük ortalama 7,4 saat) gün ışığı süresiyle oldukça iyi bir güneş potansiyeline sahip olması sebebiyle, İç Anadolu Bölgesi güneş enerjisi yatırımları için uygun bir bölgedir. Özellikle arazi bakımından en büyük ve en az dağlık alanlara sahip olan Konya, Karaman ve Kayseri illerinde güneş radyasyonu değeri oldukça yüksektir.

Ege Bölgesi, özellikle güney kesimi yüksek güneşlenme süresi ile ciddi bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Matematik konumu gereği Güney Ege'nin yıllık güneşlenme süresi ve radyasyon değerleri Türkiye ortalamasının üstündedir. 40 MW'ın üzerinde kurulu güce sahip olan Ege Bölgesi, güneş yatırımları için oldukça uygundur (Enerji Atlası).

Marmara Bölgesi, yıllık gün ışığı süresi 2528 saat/yıl ve toplam 1168 kWh/m<sup>2</sup>-yıl güneş enerji değerleriyle Türkiye ortalamasının altındadır. Yılda ortalama 2430 saat güneşlenme süresi ile güneş enerjisi üretiminde Dünya lideri olan Almanya ortalamasının 1,5 katından fazla güneş almaktadır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda Marmara Bölgesinde de güneş enerjisi yatırımlarının yapılabileceği anlaşılmaktadır. Yatırım amortisman süresi güney bölgelere kıyasla daha uzun olmasına rağmen, yine de yatırım yapılabilir aralıktadır. Marmara bölgesinde 10 MW'a yakın güneş enerjisi kurulu gücü bulunmaktadır (Enerji Atlası).

Karadeniz Bölgesi'nde güneş enerjisi potansiyeli, diğer bölgelere kıyasla, daha düşüktür. Bölgenin yıllık ortalama güneşlenme süresi 1966 saat olup, radyasyon değeri 1120 kWh/m<sup>2</sup>-yıl'dır. Bölgede güneş enerjisinden faydalanma oldukça sınırlıdır. Karadeniz Bölgesi'nde güneş enerjisi kısmen ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça iyi bir konumda olduğu görülmektedir (Şekil 2.22). Bununla birlikte, YEGM ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından 1992 yılından bu yana güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi ve mevcut değerlerin güncellenmesi amacıyla güneş potansiyeli ölçümleri yapılmaktadır. Devam etmekte olan ölçüm çalışmaları sonuçlandığında, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin Tablo 2.34'teki değerlerden %20–25 daha fazla olması beklenmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, ülkemizin güneş enerjisi konusunda ne kadar verimli bir konumda olduğunu



göstermektedir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009; Çakır, 2010; Türkiye Enerji Görünümü, 2017).

Türkiye'nin elektrik üretiminde güneş enerjisi teknik potansiyeli 189 GWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin teknik açıdan bu denli yüksek bir potansiyele sahip olmasındaki en büyük etkenlerin başında, coğrafi konumu gereği yıl içindeki güneşli gün sayısının fazla olması gelmektedir. Türkiye'nin 2014 yılında, yaklaşık 40 MW olan güneşe dayalı kurulu güç kapasitesi, 2015 yılı itibarıyla yüzde 519 artarak 249 MW'a yükselmiştir. 2017 yılı ilk çeyreği itibarıyla ise 832.5 MW seviyesine ulaşmıştır. Böylece, güneş enerjisinin toplam kurulu güç kapasitesi içindeki payı, yaklaşık %1 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de 2010 yılı öncesine kadar, güneş enerjisi genellikle binaların çatılarında termal güneş sistemleri olarak, su ısıtma amacıyla kullanılırken, 2010 yılından sonra, fotovoltaik güneş paneli sistemlerinde, bir büyüme eğilimi gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak, güneş enerjisinden elektrik üretimi çalışmaları, hız kazanmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından açıklanan verilere göre, 2019 yılı için güneş enerjisinde 3 bin MW'lık elektrik üretimi gerçekleştirilmesi ve bu rakamın 2023 yılında 5 bin MW'a ulaştırılması hedeflenmektedir. Türkiye'de 2017 yılı itibarıyla, 12 tanesi lisanslı, 508 tanesi lisansız olmak üzere toplam 520 adet aktif güneş enerji santrali bulunmaktadır (Enerji Atlası; Karagöl ve Kavaz, 2017; Türkiye Enerji Görünümü).

Türkiye güneş potansiyeli bakımından son derece elverişli bir konumda bulursa da güneş enerjisinden faydalanma noktasında birtakım zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu zorlukların en başında finansal ve teknolojik kısıtlar gelmektedir. Yerli üretimin artırılması adına farklı teşvik sistemlerine ihtiyaç duyulmakla birlikte, finansal şartlar iyileştirilmelidir. Bankaların teminat koşullarını, sigorta şirketlerinin ise poliçe koşullarını düzenlemelerine ihtiyaç vardır. Ayrıca sektörde yaşanan bürokratik işlemlerden kaynaklı sıkıntıların giderilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan sektörde kalifiye iş gücüne ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda çeşitli çalışmalar ve eğitimler yapılmalıdır. Bu bağlamda, Türkiye'de 2001 yılından itibaren çıkarılan kanun ve mevzuatlar ile enerji sektöründe yeniden yapılanma ve liberalleşme süreci başlamıştır. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine teşvik amaçlı ve bu üretilen enerjinin verimli ve etkin bir şekilde kullanılması adına birçok düzenleme yapılmıştır. Bu düzenlemelerin ana hedefi, enerjide dışa bağımlılığın azaltılarak yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretimi desteklemektir. Bu doğrultuda 2023 yılına kadar, özellikle elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların oranının en az %30'lara çıkarılması hedeflenmektedir (Enerji Atlası; Karagöl & Kavaz, 2017; Türkiye Enerji Görünümü).

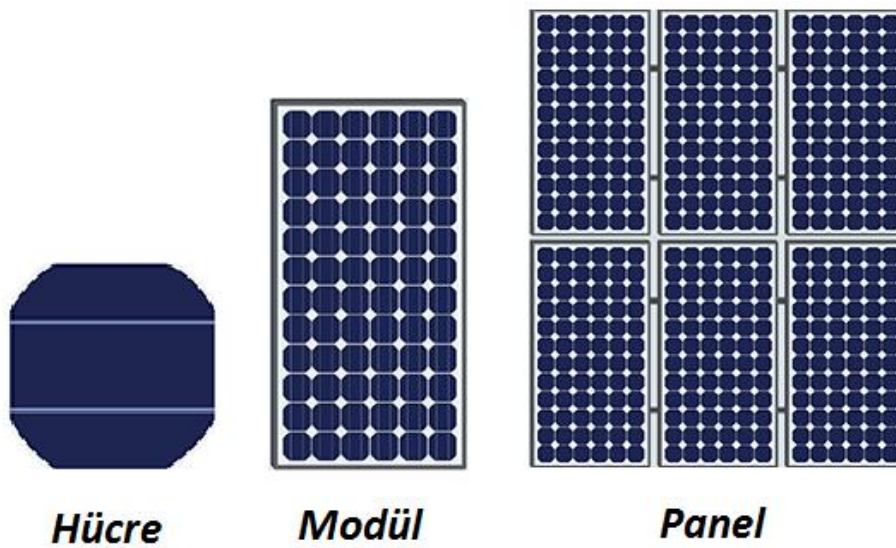
## 2.4.2 Güneş Enerji Sistemleri

Fotovoltaik, güneşten gelen fotonları yarı iletken düzenekler kullanarak doğrudan elektrik enerjisine çeviren teknolojiye verilen isimdir. Üzerlerine düşen güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren yarı iletken malzemelere fotovoltaik hücre ya da güneş pili denilmektedir. Günümüzde güneş pillerinin geniş kullanım alanları mevcuttur.

### 2.4.2.1 Fotovoltaik Hücreler

Fotovoltaik hücreler (güneş pilleri), fotovoltaik etki ile yüzeylerine gelen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde ve genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,1- 0,4 mm arasındadır. Tipik bir güneş pili, iki ya da daha fazla ince yarı iletken katmandan oluşmaktadır (YEGM, GEPA).

Güneş hücreleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak %5-40 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Daha fazla güç çıkışı elde etmek için çok sayıda güneş hücresi, birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş hücresi modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak, bir kaç Watt'tan MEGA Watt'lara kadar panel sistemini oluşturur (YEGM, GEPA). Şekil 2.24'te fotovoltaik hücre, modül ve panel gösterilmiştir.



Şekil 2.24 Fotovoltaik hücre, modül ve panel



Fotovoltaik hücreler, pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Fotovoltaik hücreler teknolojik olarak yapıldıkları malzemeye göre katı kristalize silikon hücreler, ince film hücreler, amorf silikon hücreler, bakır indiyum diselenit hücreler ve diğer hücreler olmak üzere beş ana başlık altında incelenebilirler (Oğuz vd, 2015). Katı kristalize silikon hücreler, güneş pili piyasasının yaklaşık olarak %90'ını, diğer hücrelerde %10'unu oluşturmaktadır (Zimmer, 2014).

#### i. Katı Kristalize Silikon Hücreler

Silisyum, katı kristalize yapılu pillerin en önemli hammaddesidir. Doğada oksijenden sonra en çok bulunan element silisyumdur. Silisyum, doğada saf halde bulunmaz. Güneş pillerinin yapısında silisyumun kullanılabilmesi için saflaştırılması gerekmektedir. Saflaştırma işleminin yapılması için, silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) bileşiğinin yüksek sıcaklıkta ısı işlem uygulanarak bileşenlerinden ayrılması gerekmektedir. Silisyumun saflaştırılmasının sebebi; saf silisyum atomunun optik, yapısal ve elektriksel özelliklerinin uzun süre, 20-30 yıl, değişmemesidir. Bu sebeple, silisyum güneş pili üretiminde en çok kullanılan elementtir (Upadhyaya vd, 2006; Zimmer, 2014). Kristal silikon güneş pilleri, tasarımlarında faydalanan hücrelerin kullanım durumu bakımından monokristal ve polikristal pil olmak üzere ikiye ayrılır (Oğuz vd, 2015).

##### a. Monokristal güneş pilleri

Monokristal güneş pili üretim teknikleri arasında en eski ve en pahalı yöntemdir. Monokristal güneş pili sistemlerinin diğer güneş pili türlerinden en ayırt edici özelliği; verimlilik açısından en yüksek ticari pil türü olmasıdır. %18'e varan verimlilik oranıyla bu güneş pilleri, günümüzde farklı pek çok alanda performans açısından öncelikli tercih sebebidir. Monokristal güneş paneli, tek kristalli silikon çubuklar üzerinden çekilen fotovoltaik hücreler ile meydana getirilir. Bu sistemle tüm hücrelerin tek bir yöne bakacak şekilde hizalanmaları sağlanır. Panel üzerindeki hücrelerin böyle bir mantık üzerinden dizilmesi ise; güneş ışınlarının panel üzerine düşmeye başlamasıyla birlikte oldukça verimli bir şekilde çalışmalarına olanak verir. Monokristal güneş panelinin Polikristal güneş paneli modelinden daha iyi olmasının bir başka nedeni de; her iki güneş panelinde yer alan hücrelerin birebir güçte olmalarına rağmen, hücre büyüklüğü açısından Monokristal güneş panelinde yer alan hücrelerin çok daha küçük boyutlarda bulunmasıdır. Bu özellikleri ile Monokristal paneller, Polikristal güneş panellerine göre daha az bir alan kaplayarak, yerden tasarruf edebilirler. Fakat bu yer farkı, daha çok büyük ölçekli

üretim tesislerinde ön plana çıkmaktadır (Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; Zimmer, 2014).

b. Polikristal güneş pilleri

Polikristal güneş pilleri, farklı kristal parçacıklarının bir araya gelmesiyle ortaya çıkan hücrelerin birleşiminden oluşur. Bu kristallerin birleşim yerlerinde oluşan verim kayıplarından dolayı monokristal güneş pilleri kadar verimli değildir. Fakat polikristal güneş pilleri, farklı açılardan gelen ışıkları daha yüksek oranda elektriğe çevirdiği için bu verim kayıplarını büyük ölçüde telafi ederler.

Monokristal veya polikristal güneş pillerinde verim, daha küçük bir alanda aynı kurulu güce sahip olmalarıyla ölçülür. Yani 100 W gücündeki monokristal güneş pili ile 100 W gücündeki polikristal güneş pilinin üreteceği elektrik neredeyse aynıdır. Ancak monokristal güneş pilleri daha verimli oldukları için daha küçük alan kaplayacaklardır.

Polikristal güneş panellerinin farklı kristallerden oluştuğu gözle görülür bir şekilde bellidir. Aynı zamanda rengi de daha koyu (siyah) olan monokristal güneş panellerinden daha mavidir. Polikristal güneş panelleri, dikdörtgen yapıda olmasına karşın, monokristal güneş panellerinin köşeleri kesiktir.

Polikristal güneş panellerinin atık silikonları ve ısı toleransı monokristal güneş panelinden düşüktür. Polikristal güneş panellerinde silisyum yapmak için tercih edilen yöntem çok daha basit ve az maliyetlidir. Bu yüzden polikristal güneş paneli, fiyat olarak monokristal güneş panellerinden biraz daha avantajlıdır (Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; Zimmer, 2014).

ii. İnce Film Hücreler

Absorbsiyon özellikleri iyi olan maddelerden yapıldıkları için daha ince yapıdadırlar. İnce film hücreler, yarı iletken malzemelerin geniş yüzeyler üzerine kaplanmasıyla oluşturulmaktadır. Böylelikle farklı özelliklere sahip yarı iletken kullanılarak, farklı karakteristik özelliklere sahip piller üretilmiştir. İnce film güneş pillerinde, çoğunlukla amorf silisyum, kadmiyum ve tellür elementlerinde meydana gelen bileşikler kullanılmaktadır. İnce film güneş pillerinde güneş ışınlarını soğurma oranları çok yüksek olmasına karşın çıkış akımları çok düşüktür. Bu yüzden, çıkış voltajları kristal silisyumlu pillere göre yaklaşık 2-3 kat daha fazla iken akımları bir o kadar düşüktür. İnce film malzeme, birçok malzeme üzerine istenilen boyutta kaplanabilirken,

silisyum pillerin boyutları kristalin boyutları ile sınırlıdır. Modül ve panel yapımında ince film malzeme kullanımı daha kolay ve uygundur. Verimleri %5 ile %8 arasında değişmektedir (Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; Zimmer, 2014). Düşük verimleri sebebiyle alan ihtiyacı daha yüksektir. Verim maliyet bakımından incelendiğinde, oldukça düşük bir performansa sahiptirler. Bu yüzden ticari olarak en az tercih edilen fotovoltaik hücre türündendir (YEGM, Güneş).

### iii. Amorf Silikon Hücreler

Amorf silikon güneş pillerin silikonları çok ince tabakalardan oluşmaktadır. Bu pilleri oluşturmak için gerekli ısı, kristal silikon piller için gerekli ısıdan çok daha düşüktür. Bu yüzden, amorf silikon hücreleri üretmek çok daha ucuzdur. Laboratuvar ortamında bu pillerin verimlilikleri %10 civarında iken, piyasada kullanılan pillerde bu verimlilik %5 ile %7 arasında değişmektedir ve bu tip hücreler enerji ihtiyacı çok fazla olmayan yerlerde tercih edilir. Günümüzde en çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılırlar. En önemli kullanım alanı ise binalarda entegre olarak yarı saydam cam yüzeyler, binanın dış cepheleridir. Maliyetleri düşük olmasına karşın verimlilikleri düşüktür (Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; Zimmer, 2014).

### iv. Bakır İndiyum Selenit Piller

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grup elementlerin en az üçünün bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşik yarı iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır, indiyum ve selenyumdan yapılan üçlü bileşik (CuInSe), yarı iletkenle başlayan bu grup CIGS veya CIS güneş pilleri olarak anılır. Laboratuvar ortamında en yüksek %20 verim seviyelerine ulaşılmıştır. 900 cm<sup>2</sup> yüzey alana sahip modüllerin verimlilikleri %15 civarındadır (Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; Zimmer, 2014).

### v. Diğer

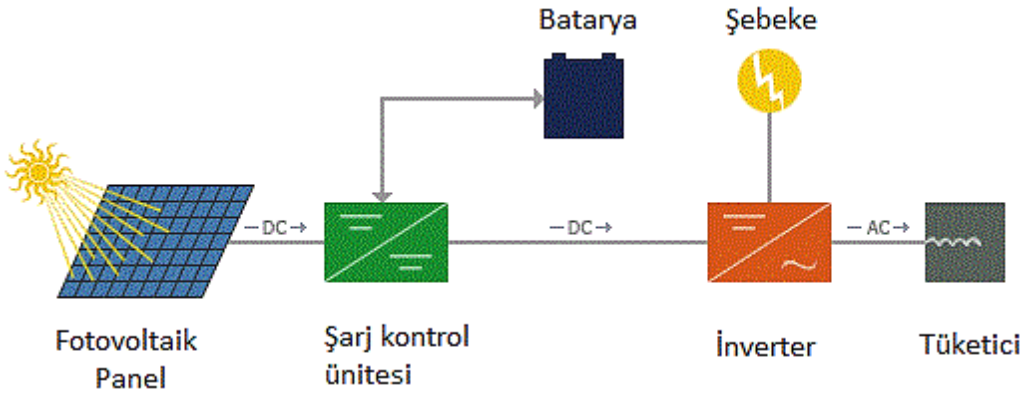
Son yıllarda silisyum güneş hücreleri ile aynı verime sahip, ancak üretim teknolojisi daha kolay olan hücreler üzerinde çalışılmıştır. Organik fotovoltaik hücreler, esnek, saydam güneş panelleri, ardışık katmanlı (tandem) fotovoltaik hücreler ve kuantum kuyulu fotovoltaik hücreler geliştirilmekte olan yeni nesil fotovoltaik hücrelerden olup henüz ticarileşme aşamasındadırlar

(Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; YEGM, Güneş; Zimmer, 2014).

#### 2.4.2.2 Fotovoltaik Sistemler

Güneş hücreleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Fotovoltaik modüller uygulamaya bağlı olarak, aküler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir fotovoltaik sistemi oluştururlar. Bu sistemler, geçmiş zamanlarda sadece yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan bölgelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırken, artık şebeke bağlantısı olan yerleşim yerlerinde de kullanımı oldukça yaygındır. Bununla birlikte, boş arazi bulunan organize sanayi bölgelerinde ve arıtma tesislerinde kullanımı giderek artmaktadır (Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; YEGM, Güneş; Zimmer, 2014).

Fotovoltaik sistem, istenilen akım ve gerilimi sağlayacak adette fotovoltaik panelin ve tamamlayıcı malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşmaktadır. Şekil 2.25'te fotovoltaik sistemin temel çalışma prensibi gösterilmiştir.

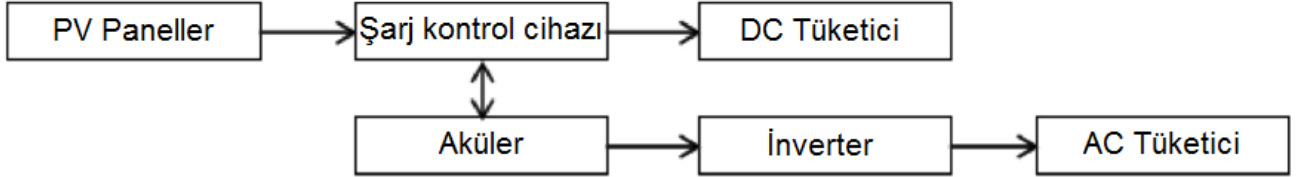


Şekil 2.25 Fotovoltaik sistemin temel çalışma prensibi

##### i. Off-Grid Sistemler

Elektrik dağıtım şebekelerinden bağımsız olarak çalışan sistemlerdir. Şebekeden bağımsız çalışan sistemlerde, yeterli sayıda fotovoltaik modül sistemin enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere sistemde aküler bulundurulur. Fotovoltaik modüller, gün boyunca elektrik enerjisi üreterek, bu enerjiyi akülerde depolar, yüke gerekli olan enerji aküden alınır (Oğuz vd,

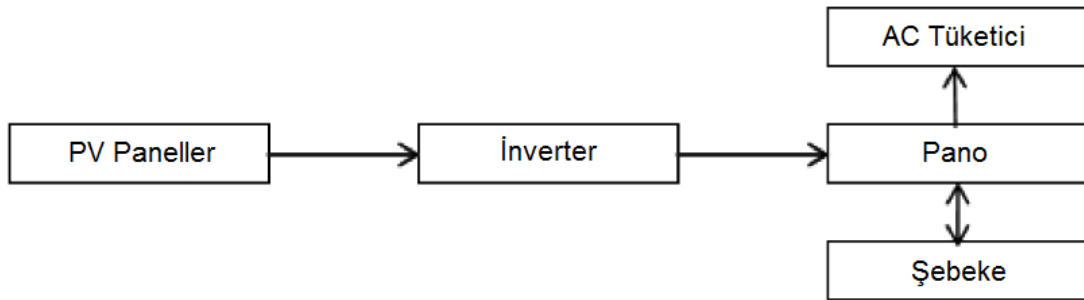
2015; Sarıkaya; YEGM, Güneş). Off-grid sistemin genel şematik gösterimi Şekil 2.26'da verilmiştir.



Şekil 2.26 Off-grid sistem genel şematik gösterimi  
(Oğuz vd, 2015)

## ii. On-Grid Sistemler

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler yüksek güçte, santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi çoğunlukla binalarda düşük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir tesisin elektrik gereksinimi karşılanırken, çift yönlü sayaç sayesinde üretilen fazla enerji elektrik şebekesine verilir, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise, şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebekeyle uyumlu çalışması yeterlidir (Oğuz vd, 2015; Sarıkaya; YEGM, Güneş). On-grid sistemin genel şematik gösterimi Şekil 2.27'de verilmiştir.

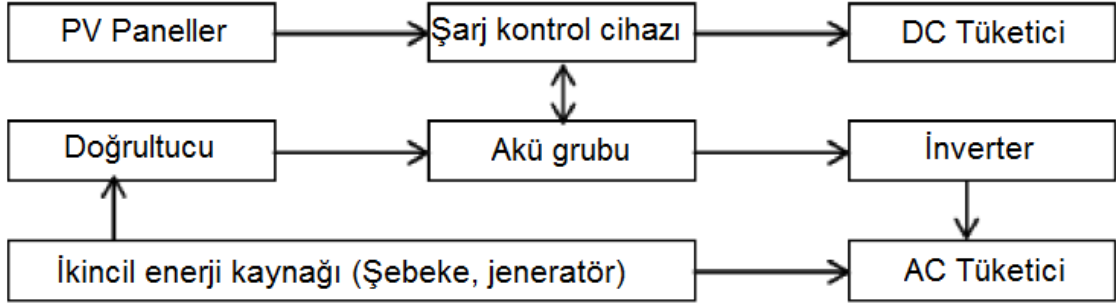


Şekil 2.27 On-grid sistem genel şematik gösterimi  
(Oğuz vd, 2015)

## iii. Hibrit Sistemler

Fotovoltaik panellere ek olarak bir ya da birden fazla elektrik üretim sistemin birleşimi sonucu oluşan sistemlere, hibrit sistemler denir. Hibrit sistemlerde ilk enerji üreticisi fotovoltaik panellerdir. İkincil veya daha sonraki enerji kaynağı yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr

enerjisi olabileceği gibi dizel jeneratörler ve şebeke de olabilir (Oğuz vd, 2015; Sarıkaya; YEGM, Güneş). Hibrit sistemin genel şematik gösterimi Şekil 2.28'de verilmiştir.



Şekil 2.28 Hibrit sistem genel şematik gösterimi  
(Oğuz vd., 2015)

### 2.4.2.3 Termal (Isıl) Güneş Teknolojileri

Termal sistemlerde elde edilen ısı kullanılan sistemin amacına bağlı olarak direk olarak kullanılabilirdiği gibi elektrik üretimi maksatlı da kullanılabilir. Güneş termal güç santralleri, birincil enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanmakta ve temelde aynı yöntemle çalışmaktadırlar. Ancak güneş enerjisini toplamak için kullanılan kolektörler bakımından farklılık gösterirler. Termal güneş enerji sistemleri düşük ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak iki grupta incelenmektedir (Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Sarıkaya; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; YEGM, Güneş; Zimmer, 2014).

#### i. Düşük Sıcaklık Sistemleri

Düşük sıcaklık uygulamalarının bilinen en yaygın örneği, düzlemsel güneş kolektörleridir. En çok evlerde sıcak su ısıtma amacı ile kullanılan bu sistemler, güneş enerjisini toplayarak bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerde üretilmektedir. Basitliği ve ucuzluğu sebebiyle en yaygın kullanılan güneş enerjisi uygulamalarındandır. Bu sistemler içerisinde dolaşan akışkan 70-80 °C, vakumlu düzlemsel toplayıcılarda ise 120 °C sıcaklığa kadar çıkabilmektedir. Bu sistemler, çoğunlukla ürün kurutma ve seralarda ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Başlıca düşük sıcaklık uygulamaları aşağıda listelenmiştir (YEGM, GEPA):

- Düzlemsel Güneş Kolektörleri
- Vakumlu Güneş Kolektörleri
- Ürün Kurutma ve Seralar

- Güneş Havuzları
- Güneş Bacaları
- Su Arıtma Sistemleri
- Güneş Mimarisi

## ii. Orta ve Yüksek Sıcaklık Sistemleri (Yoğunlaştırıcı Sistemler)

Güneş enerjisi uygulamalarında daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı kolektör sistemler kullanılmaktadır. Kolektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana 'açıklık alanı' ve güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye 'alıcı yüzey' denir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kolektörlerde ise alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçüktür.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran kolektörlerde en önemli kavramlardan biri 'yoğunlaştırma oranı'dır. Açıklık alanının, alıcı yüzey alanına oranı olarak tarif edilmektedir. Bu oran iki boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik oluk) 300, üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik çanak) 40000 mertebesindedir (YEGM, GEPA).

Yoğunlaştırıcı sistemler, direk güneş ışınımından yararlanarak yüksek sıcaklıkta buhar üretirler ve bu buhar elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Yoğunlaştırıcı sistemler noktasal ve doğrusal yoğunlaştırıcılar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Noktasal yoğunlaştırıcılar; iki boyutta güneşi izleyip yoğunlaştırma yapan ve daha yüksek sıcaklıklara ulaşan sistemlerdir. Doğrusal yoğunlaştırıcılar; orta derecede sıcaklık isteyen uygulamalarda kullanılmaktadır ve güneş enerjisi bir doğru üzerinde yoğunlaştırıldığından tek boyutlu hareket ile güneşi izlemektedir (Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Sarıkaya; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; YEGM, Güneş; Zimmer, 2014).

### 2.4.2.4 Güneş Enerjisinin Üstünlükleri, Dezavantajları ve Çevresel Etkileri

Elektrik üretmek amacıyla kullanılan güneş enerjisinin üstünlükleri, dezavantajları ve çevresel etkilerinden bahsetmek mümkündür. Avantajları aşağıda sıralanmıştır (Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı).

- Yenilenebilir, tükenmeyen ve bedava bir enerji kaynağıdır.
- Gaz, duman, toz, karbon veya kükürt gibi çevreye zararlı maddeleri içermediği için doğaya ve çevreye dost bir enerji türüdür.



- Herhangi bir yan etkisi yoktur, sağlığa zararlı değildir.
- Ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını azaltabilir/ortadan kaldırabilir.
- Yatırım maliyetleri rüzgâr enerjisiyle yaklaşık aynı seviyelere gelmiştir.
- Rüzgâr gibi yükseltisi fazla, zor araziler gerekmez, her türlü arazi yapısında kullanılabilir. Özellikle tarıma elverişsiz araziler güneş enerji uygulamasıyla değerlendirilebilir.
- Rüzgâr türbinleri gibi gürültü ve sinyal bozucu etkileri yoktur.

Güneş enerjisinin dezavantajları ve karşılaşılan bazı sorunları aşağıda sıralanmıştır (Bagher vd, 2015; Oğuz vd, 2015; Sarıkaya; Solarevi; Upadhyaya vd, 2006; YEGM, Güneş; Zimmer, 2014):

- Hidroelektrik enerjiye göre, güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli değildir.
- Üretilen enerji sabit ve kararlı bir yapıda değildir. Hava şartlarından etkilenmektedir.
- İklim ve arazi koşullarından direkt etkilenir.

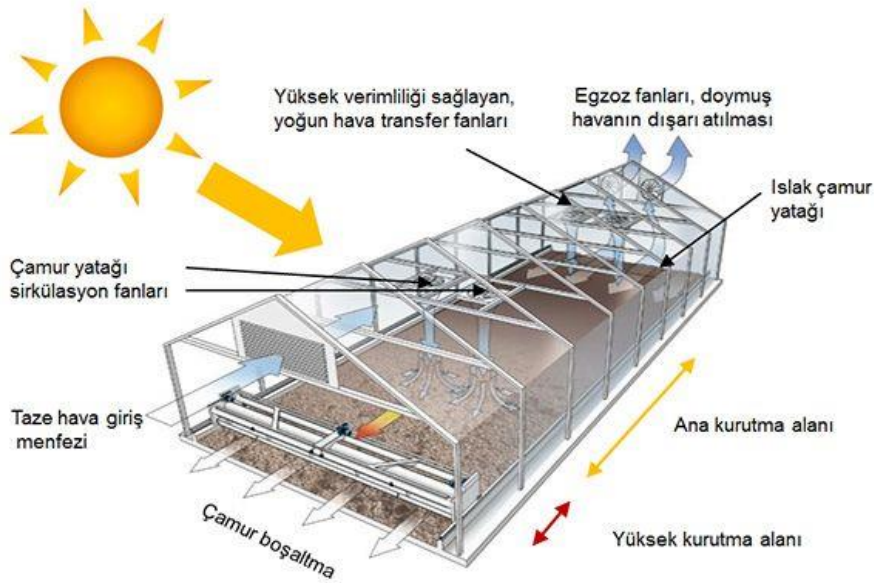
TÜİK'in 2017 yılında yayınlamış olduğu 1990-2015 sera gazı emisyon istatistikleri raporu sektörler bazında incelendiğinde; enerji sektörü 340,1 Mton (%71,6) CO<sub>2</sub> eşdeğeri ile ilk sırada yer almaktadır. 2015 yılı toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun %86,1'i enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Enerji sektörü içerisinde elektrik üretimi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyon değeri 116,76 Mton'dur. Rapor incelendiğinde, fosil yakıt kaynaklı (doğalgaz, kömür ve petrol) CO<sub>2</sub> salınımı değerlerinin yıllar içerisinde arttığı görülmektedir (TÜİK, Sera Gazı Emisyon istatistikleri 1990-2015).

Türkiye şartlarına göre üretilen 1 kWh enerji için havaya salınan ortalama sera gazı eşleniği 0.534 kg civarındadır. Elektrik enerjisinin güneşten üretilmesiyle doğaya salınan CO<sub>2</sub> miktarında önemli azalmalar kaydedilmektedir. Bu sayede çevreye duyarlı, sürdürülebilir ve temiz enerji üretilebilir (TÜİK, Sera Gazı Emisyon istatistikleri 1990-2015).

### 2.4.3 Güneş ile Kurutma

Arıtma tesislerinden kaynaklanan, mekanik olarak susuzlaştırılmış çamurun bertaraf yöntemine ve nihai kullanımına göre kurutulması hayati bir öneme sahiptir. Çamur bertarafı ne şekilde olursa olsun, düşük nem oranına sahip kurutulmuş çamur, nakliye maliyetlerini ciddi oranda azaltmaktadır ve Kalorifik değeri arttığı için yanma verimini de artırır. Kurutma ayrıca çamurda bulunan zararlı mikroorganizmaların aktifliğinin azaltılmasında etkili olduğu için çamur stabilizasyonu da sağlar. Genel olarak termal ve güneşle kurutma olmak üzere temelde

iki tip çamur kurutma yöntemi vardır. Termal kurutma yüksek miktarda enerji girişi ve yüksek işletme maliyeti oluşturduğundan, güneşle kurutma bir alternatif çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (Chen vd, 2002; Chen vd., 2006; Kurt, 2014). Ancak, herhangi bir yardımcı ısı olmadan sadece güneşle kurutma ile genellikle %95 kuruluk oranlarına çıkılması mümkün değildir. Öte yandan, yenilenebilir bir enerji kaynağı ve kolayca uygulanabilirliği olduğundan, işletmeler tarafından enerji maliyetlerini azaltmak için başvurulan yöntemlerin başında gelir. Geleneksel güneşle kurutma yöntemi açık yataklarda asfalt ya da beton gibi düz bir zemin üzerine kurutulacak malzemelerin serilerek güneşe maruz bırakılmasıdır. Bu yöntemle çamurda bulunan suyun %20-30 arasında uzaklaştırılması mümkündür. Ancak, güneşte kurutma iklim koşullarına bağlı olduğu için yatağın kalınlığı ve etkili bir kuruluk oranına ulaşmak için gereken kurutma süresi bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Kurutma verimini arttırmak ve güneş radyasyonundan en yüksek seviyede yararlanabilmek için uygun modifikasyonların yapılması gerekmektedir. Genellikle tünel tipi tasarıma sahip güneşle kurutma seraları ışık geçirimsizliği yüksek şeffaf polikarbonat örtülü ve alt yüzeyi beton kaplamalı olmaktadır (Salihoğlu & Pınarlı, 2007). Çamur kurutmada, sera içindeki nem oranını stabil seviyelerde tutulması ve uçucu organik bileşiklerin kontrollü olarak uzaklaştırılması için havalandırma fanları ile homojen bir kuruluk sağlamak için mekanik karıştırıcılar tasarımın olmazsa olmaz unsurlarındandır. Güneşte kurutma örneği Şekil 2.29'da gösterilmiştir.



Şekil 2.29 Güneşte kurutma örneği  
(Arasya Atıksu)

Güneş ile kurutmanın avantajları arasında, düşük enerji kullanımı, kolay kurulum ve devreye alma, düşük işletme maliyeti, tam otomasyonlu olarak tasarlanabilmesi ve yüksek kurutma verimi yer almaktadır. Başlangıç kurulum oranına ve güneşlenme gün sayısına bağlı olarak ılıman iklim koşullarında küçük ve orta; sıcak iklim koşullarında ise büyük ölçekli arıtma tesislerinde çamur bertarafı için harcanan enerji maliyetlerini azaltmakta önemli rol oynayacağı öngörülmektedir.

Güneş ile çamur kurutma teknolojisinin dünyanın pek çok yerinde örnekleri bulunmaktadır. Bu alanda en büyük payı Avrupa, özellikle Almanya ve Fransa tutmaktadır. İspanya De Mallorca'da 20 000 m<sup>2</sup> alanda kurulu ve 30 000 t/yıl kapasitesiyle, dünyanın en büyük solar çamur kurutma tesislerinden biri bulunmaktadır. Seraya %20-30 kurulum oranında giren çamur, %60-80 oranında kuruluğa ulaştıktan sonra kamyonlarla tesisin yakınlarında bulunan atık yakma tesislerinde yakıt olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.30).



Şekil 2.30 İspanya'da bulunan solar çamur kurutma tesisi  
(Ritterbusch, 2012)

Atıksu arıtma tesislerinde atık ısı entegrasyonu ile solar+termal kurutma sistemleri bulunmaktadır. Güneş ve atık ısının kullanıldığı kurutma tesislerine örnek olarak Almanya'nın Bayreuth şehrinde bulunan ve aynı zamanda Avrupa'nın otomatik besleme ve boşaltma olarak en büyük ikinci tesisi örnek verilebilir. %72 nem içeriğine sahip giriş çamurunun işlem sonrasında %75 kurulum oranında çıktığı, 7000 m<sup>2</sup> alanda kurulu olan tesisin genel görüntüsü Şekil 2.31'de gösterilmiştir.



Şekil 2.31 Almanya-Bayreuth solar çamur kurutma serası  
(Huber)

Güneş kurutma seralarının yalnızca Avrupa'da değil, dünyanın dört bir yanında yaygın uygulamaları mevcuttur. 2010 yılında işletmeye alınan ve yıllık 26 000 m<sup>3</sup> çamur üretme kapasitesiyle Amerika kıtasının en büyük tesisi olma özelliğini taşıyan Nikaragua Solar Kurutma Tesisi'nde %28'den %70 kuruluk oranına, 3 hafta kurutma sonucu ulaşılırken, kurutma süresinin 30 güne çıkarılması durumunda kuruluk oranının %87'ye kadar çıkabildiği belirtilmektedir (Scharenberg & Pöppke, 2010).

Normal şartlarda 1000 litre suyu buharlaştırmak için 720 kWh enerjiye ihtiyaç duyulurken, piyasada bulunan aktif solar çamur kurutma teknolojilerinde bu rakam 20-40 kWh mertebesindedir. Ayrıca, çamurda bulunan suyun uzaklaştırılmasında gereken enerji ihtiyacının büyük ölçüde güneşten karşılanması, CO<sub>2</sub> salınımının azaltılmasında da olumlu bir etkiye sahiptir.

Ülkemizde de solar çamur kurutma teknolojisi son yıllarda gelişme göstermiş ve bu alanda pek çok yeni güneş kurutma seraları kurulmuştur. 2015 yılında yapımı tamamlanan ve 8100 m<sup>2</sup>'lik alan üzerine 5 adet sera olarak kurulan Eskişehir OSB solar kurutma tesisi, Türkiye'nin alan olarak en büyük tesisi olma özelliğini taşımaktadır (Arasya Atıksu Çözümleri, 2017). Tesise giriş çamuru %37 kurulukta iken çıkan çamur %80 kuru madde içeriğine sahiptir. Şekil 2.32'de tesisin genel görünümü gösterilmektedir.



Şekil 2.32 Eskişehir OSB solar aktif çamur kurutma tesisinden bir görünüm  
(Arasya Atıksu Çözümleri, 2017)

Eskişehir'in yanı sıra Antalya, Çanakkale, Fethiye, Mersin ve İzmir'de, AAT bünyelerinde hali hazırda kurulu bulunan solar çamur kurutma tesislerine yakın zamanda Manisa ili de katılmıştır. Manisa'daki Merkez AAT'de solar kurutma tesisi kurulumunu tamamlanmış olup, 2018 yılında tesis ön işletmeye alınması planlamaktadır (Manisa Büyükşehir Belediyesi, 2017).

Güneşle kurutma temiz enerji ve çevreci bir çözüm olması nedeniyle fosil yakıtlara gereksinimi ortadan kaldırarak CO<sub>2</sub> salınımı azaltmaktır. Ancak, bulunulan coğrafik konuma göre güneşle kurutma için gereken alan da değişiklik göstermektedir (Salihoğlu, 2016). Yeterli kurutma alanı olmayan bölgelerde birim yüzeye düşen enerji yoğunluğu arttırmak ve yüksek kuruluk oranlarına ulaşabilmek için hava ve güneş kolektörleri veya güneş paneli destekli kurutma seraları geliştirilmektedir (Salihoğlu, 2016).

#### **2.4.4 Güneş Enerjisinin AAT Enerji Üretimine Yönelik Kullanım İmkânları**

Atıksu arıtma tesislerinin enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanması ülkemizin su, çevre ve enerji politikalarına yönelik doğru bir yaklaşım olarak görülmektedir. Güneşin AAT'lerde enerji kaynağı olarak kullanılması seçeneği; yeni yapılacak olan tesislerde proje aşamasında sisteme dâhil edilebileceği gibi, iyi bir ön inceleme sonrasında mevcut tesislere de uygulanabilmektedir.

Güneş enerji santrali kurulumu için geniş arazi ihtiyacı vardır. Ortalama 1 MW güç üretebilecek bir sistem için yaklaşık olarak 16-18 dönüm arazi kullanılmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri genellikle şehrin dışında ve geniş araziler üzerine kurulmuştur. Ayrıca atıksu arıtma





## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 112/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

tesislerindeki binaların çatıları ve havalandırma havuzlarının üstü güneş enerji santrali kurulumu için büyük alanlar sunmaktadır. Bununla birlikte, etrafı güneş ışınlarının gelmesini engellemeyecek açıklıkta ve düz bir bölgededir. Bu yüzden, atıksu arıtma tesisleri genellikle güneş enerjisinden elektrik üretmek için uygun fiziksel şartlara sahiptir. Ulusal ve uluslararası örnekler incelendiğinde, atıksu arıtma tesislerinde güneş panellerinin genelde boş arazi üzerine monte edildiği görülmektedir. Bunun yanında sayıları az da olsa, panellerin tesis binalarının çatılarının ve havalandırma havuzlarının üzerine konulduğu görülmektedir. Kurulacak güneş enerji santralinin büyüklüğüne bağlı olarak yer ihtiyacı belirlenmektedir. Eğer kurulmak istenen santral düşük güçte ise, binaların çatıları veya havalandırma havuzlarının üzeri tercih edilebilir. Özellikle havalandırma havuzlarının üzerine yapılan uygulamalar, hem ekstra arazi kullanımı gerektirmeden elektrik üretebilmek hem de dışarı salınan kokuyu azaltmak için tercih edilmektedirler. Bu tip uygulamalarda, arazi maliyeti olmayacaktır fakat burada havalandırma havuzundan çıkan gazların panellere ve panellerin sabitlendiği metal yapıya zarar verme ihtimali vardır. Eğer çıkan gazların korozif ve aşındırıcı etkisi var ise havalandırma havuzlarının üzerine panel yerleştirmek tercih edilmemelidir. Ayrıca panellerin montajının yapılabilmesi için metal profillerin kullanılması gerekmektedir. Bu kurulum maliyetlerini artırmaktadır. Bununla birlikte, havuzların üzerinin panellerle kaplanması havuzların içerisinde arıtma proseslerinde kullanılan cihazlara erişimi zorlaştıracaktır için bu cihazların rutin bakımları veya arızalanmaları durumlarında müdahalelerde kısıtlanmalara sebep olacaktır. Panel yerleşimleri bu durum göz önünde bulundurularak yapılsa cihazlara erişim konusunda yaşanabilecek sorunların önüne geçilebilmektedir.

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için santralin kurulacağı bölgenin yıllık ortalama güneş ışınım değeri ve güneşlenme süresi en önemli parametrelerdir. Türkiye, güneş enerji potansiyeli bakımından iyi bir konumda olmakla birlikte, her bölgede güneş ışınım değerleri yüksek değildir. Bulutlu gün sayısı fazla olan ve bol yağış alan bölgelerde, güneş potansiyeli daha düşüktür. Atıksu arıtma tesislerinde güneş enerjisinden faydalanmak için öncelikle potansiyeli yüksek olan bölgelerdeki tesisler düşünülmelidir. Potansiyelin düşük olduğu bölgelerde dikkatli ölçümler yapılmalıdır. Bu ölçüm sonuçlarına göre, maliyet hesaplamaları yapılarak fayda-zarar analizi oluşturulmalıdır. Analiz sonucuna göre güneş santralının kurulup kurulmaması gerektiği kararı verilmelidir. Diğer taraftan, güneş enerjisi, elektrik enerjisi üretimi için kullanılabilen gibi termal ısı kaynağı olarak da kullanılabilir. Termal ısı kaynağı olarak kullanılmasının en önemli avantajları yüksek verimli ve düşük maliyetli olmasıdır. Atıksu



## TUBITAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 113/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

arıtma tesislerinde özellikle atık çamurun kurutulmasında kullanılması, çamurun susuzlaştırılmasına ciddi katkı sağlayabilmektedir.



### 3 YENİLENEBİLİR ENERJİNİN AAT'LERDE KULLANIMINA YÖNELİK ULUSAL ve ULUSLARARASI UYGULAMA ÖRNEKLERİ

#### 3.1 Biyokütle

Teknik olarak incelenen tesislerde, arıtma çamurunun kuru bazda kalorisi 3200 ila 4000 kcal/kg arasında değişmekte ancak kuruluğu %22'ye kadar düşmektedir. Bu nedenle yardımcı yakıt (doğalgaz) ile kullanan tesisler imal edilmiştir. Bursa'da 2 adet (biri kentsel AAT, diğeri OSB AAT), Çerkezköy'de 1 adet (OSB AAT), Kocaeli'nde 2 adet (ikisi de kentsel AAT) ve Gaziantep'te 2 adet (biri kentsel AAT, diğeri OSB AAT) tespit edilmiştir. Doğal kullanımının ortadan kaldırılması durumunda hızla yaygınlaşması öngörülmektedir. Alınan bilgiler çerçevesinde %26 kurulukta enerji olarak dengeye geldiği belirtilmiştir. Bursa Doğu AAT çamur yakma ünitesinin uzaktan görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Bursa Doğu Arıtma Tesisleri çamur yakma tesisi

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Yakma Tesisi, üç farklı arıtma tesisinden gelen arıtma çamurunun bertarafına yönelik olarak Ekim 2012 tarihinden itibaren kullanılmaktadır. Tesiste günlük olarak 180 ton arıtma çamuru kurutulmakta ve akışkan yataklı kazanda günde 300 tona kadar kurutulmuş çamur toz kömür ilavesi ile yakılmaktadır. Gerçekleştirilen tam otomasyonlu tesiste yakılan arıtma çamurdan 2,25 MW gücünde elektrik üretiminin mümkün olduğu teknik raporla belgelenmiştir. Biyolojik olarak tehlikeli olan atık çamuru kararlı yapıya (kül) dönüştürülmektedir. Çevresel ve biyolojik olarak tehlikeli olan çamurun yanmasıyla oluşan kül,

çimento, beton ve asfalt yapımında katkı maddesi olarak kullanılabilir. Atık kütle miktarı %90 azaltılmaktadır (Teknoloji Ödülleri; Mennan Makine Teknik Rapor, 2013).

Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'nde (DOSAB), 2015 yılında arıtılan 15.690.657 m<sup>3</sup> atıksuyun; % 96,61'i endüstriyel, % 3,39'u evsel atıksudur. DOSAB'ta 2014 yılında Akışkan Yataklı Yakma yöntemi ile ilgili Pilot Tesisi çalışmaları başlamıştır. Pilot tesis çalışmalarının olumlu sonuçlanması neticesinde ilk olarak 33 ton/gün kapasiteli I. Ünite, 2015 yılı Temmuz ayında devreye girmiştir. 2016 yılı Nisan ayı itibariyle de 60 ton/gün kapasiteli II. Ünite'nin devreye alma çalışmaları başlamıştır (İspa, 2016). 2016 yılı Temmuz ayında II. Ünite devreye alınmıştır. Tesise ait veriler Tablo 3.1'de ve görüntüler Şekil 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi arıtma çamuru yakma tesisi verileri (İspa, 2016).

Atık türü	Arıtma Çamuru	
Atık Miktarı (ton/gün)	90	
Kalorifik Değer (kcal/kg)	4100	
Kuruluk Değeri (%)	%25	
<b>Giren Enerji</b>		
Çamur	Toplam Çamur Miktarı	90 ton/gün
	Gün Saat	24 saat
	Kuru Madde Miktarı	%25
	Saatlik Çamur Miktarı	3,75 ton/saat
	Çamur Kaynağı	Arıtma çamuru
	Çamur Üst Isıl Değeri	4100 kcal/kg
<b>Üretilen Buhar Miktarı</b>		
Buhar Üretimi	Buhar Basıncı	12 bar
	Buhar Sıcaklığı	188°C
	Islak Buhar Özgül Isısı	2785 kJ/kgK
	Giren Su Sıcaklığı	103 °C
	Su Özgül Isısı	439 kJ/kgK
	Üretilecek Buhar Miktarı	5984,66 kg/saat
<b>Üretilen Elektrik</b>		
Üretilen Elektrik Miktarı	787,01 kWh	



Şekil 3.2 Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Çamuru Yakma Tesisi (İspa,2016).

***Uluslararası uygulamalara ait bilgiler aşağıda özetlenmiştir.***

Almanya Ruhr Bölgesinde yer alan, 1 340 000 PE (kişi eşdeğeri) kapasiteli Bottrop Atıksu Arıtma Tesisi'nde her biri saatte 7 ton kapasiteli iki akışkan yatak yakma ünitesi bulunup, yıllık 60 000 ton çamur bertaraf edilmektedir (Schmelz, 2011). Ayrıca akışkan yatağa arıtma çamuru ile birlikte %20-25 dolaylarında partikül büyüklüğü 0-2 mm arasında olan pülverize kömür ilavesi yapılmaktadır. Yakma ünitesinde yıllık 28 000 MWh elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir (AB Çevre Genel Müdürlüğü, 2015; Emschergenossenschaft LV, 2016; Schmelz, 2011). Bottrop Atıksu Arıtma Tesisi Şekil 3.3'te verilmiştir.





Şekil 3.3 Almanya, Bottrop atıksu arıtma tesisi  
(Emschergenossenschaft LV, 2016).

Şekil 3.4'te verilen Almanya Hamburg'da limanın ortasında yer alan Köhlbrandhöft Atıksu Arıtma Tesisi 2,1 Milyon nüfusa hizmet vermektedir. Tesiste Köhlbrandhöft ve Dradenau Atıksu Arıtma Tesislerinin çamurunun bertarafı için yıllık ortalama 150.000 ton kapasiteli üç akışkan yatak gazlaştırıcı faaliyet göstermektedir. Tesisin yatırım maliyeti 97 Milyon Avro'dur. Yakma tesisinden yıllık 69 053 MWh'lik elektrik enerjisi üretilmektedir. Ayrıca yakma ünitesinden açığa çıkan ısıyla tesis civarındaki binaların ısınması gerçekleştirilmektedir (Hamburg Wasser; Laurich, 2013).



Şekil 3.4 Almanya,Hamburg-Köhlbrandhöft atıksu arıtma tesisi  
(Laurich, 2013).



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 118/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

Gut Großlappen 1926'dan beri faaliyet gösteren ve Münih'te kurulan ilk atıksu arıtma tesisidir. Tesiste yılda 160 milyon m<sup>3</sup> atıksu arıtımı gerçekleştirilmektedir. Tesiste bulunan çamur yakma ünitesinin yapımına 1994'te başlanmış tesis 1998'de faaliyete geçmiş olup, Gut Großlappen ve Gut Marienhof atıksu arıtma tesisleri tarafından kullanılmaktadır. Tesis, 70 Milyon Avro 'ya mal olmuştur. Tesiste her biri saatte 3 ton kapasiteli iki adet akışkan yatak fırın vardır. Fırın öncesinde çamurun su giderimi için saatte 50 m<sup>3</sup> kapasiteli dörtlü santrifüj kurutucu kullanılmaktadır (Münchner Stadtentwässerung, 2013).

Almanya Karlsruhe Atıksu Arıtma Tesisinde yılda ortalama 34 000 000 m<sup>3</sup> atıksu arıtımı gerçekleştirilmektedir. 1981 yılında kurulan ilk yakma tesisi günlük 120 ton kapasiteye sahiptir. Tesise ikinci akışkan yatak yakma ünitesi 1992'de inşa edilmiştir. 850°C'de çalışan akışkan yataktan elde edilen enerjinin, %60'ı beslenen arıtma çamurunun %27 olan kuruluşunu %42'ye çıkartmak için geri döngü olarak sisteme beslenerek kullanılırken, %40'ı elektrik üretmek için kullanılmaktadır (City of Karlsruhe, 2010).

İngiltere Yorkshire bölgesinde arıtma çamuru bertarafı için dört tane akışkan yatak yakma tesisi vardır. Bunlar Aralık 1988'de devreye alınan Bradford, Esholt atıksu arıtma tesisinde yıllık kapasitesi 18 000 ton; şubat 1990'da devreye alınan Sheefield, Blackburn Meadows atıksu arıtma tesisinde yıllık kapasitesi 15 000 ton; kasım 1992'de devreye alınan Huddersfield, Calder Valley atıksu arıtma tesisinde yıllık kapasitesi 24 000 ton ve Nisan 1997'de devreye alınan Leeds, Knostrop atıksu arıtma tesisi ise yıllık 26 400 ton kapasitelidir (Abbott vd, 2003). Knostrop atıksu arıtma tesisi yakma ünitesine ait bir görsel Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 İngiltere, Leeds, Knostrop atıksu arıtma tesisi yakma ünitesi  
(Abbott vd, 2003).

İsviçre Zürih'te 2015 yılında devreye alınan akışkan yatak yakma ünitesi, yaklaşık 70 tane atıksu arıtma tesisinin arıtma çamurunun bertarafının yapıldığı yerdir. Tesisin yıllık kapasitesi 100 000 tondur. Başlangıç aşamasında doğalgazın kullanıldığı tesis, diğer süreçlerde ise kendini idame ettirmektedir (Morf, 2012; Outotech, 2016).

Hollanda Amsterdam Batı Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan yakma ünitesinde arıtma çamuru ile birlikte aynı zamanda belediye atıklarının bertarafı yapılarak enerji sağlanmaktadır. 1 000 000 nüfus eşdeğer kapasiteli olan tesis, 2005 yılında faaliyete geçmiştir. Kapasite olarak yılda 100 000 ton arıtma çamuru ve 1 400 000 ton belediye atığının bertarafı gerçekleştirebilmektedir. Şekil 3.6'da verilmiş olan tesiste yıllık 1000 GW elektrik enerjisi ve yıllık 250 000 GJ ısı enerjisi elde edilmektedir (Nieuwenhuijzen, 2009; Value from waste, 2006; Simoës, 2013).





Şekil 3.6 Hollanda Amsterdam atıksu arıtma tesisi yakma ünitesi (Simoës, 2013).

### 3.2 Biyogaz

Ülkemizde birçok arıtma tesisinde (Kayseri, Ankara, Gaziantep vd.) biyogaz reaktörleri ile elektrik üretilmektedir. Geri ödeme süreleri sistemin büyüklüğüne bağlı olarak 3 ila 4 yıla kadar inmektedir. Kayseri Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Kayseri Atıksu Arıtma tesisi 20 Şubat 2004'te devreye alınmış olup, çamur deponi alanı dahil yaklaşık 350 ha alana kurulmuştur. İlk kademedede 800.000 eşdeğer nüfus ve 110.000 m<sup>3</sup>/gün debiye göre dizayn edilmiştir. Arıtma tesisinde karbon oksidasyonu, nitrifikasyon-denitrifikasyon ve biyolojik fosfor giderimi yapılmaktadır. Tesiste ön çökeltme tankından alınan ham çamur, içerisindeki lif, fiber vb. atıkların alınması amacıyla çamur ızgara presinden geçtikten ve ön çamur yoğunlaştırma tankında yoğunlaştırıldıktan sonra çürütme tankında beslenmekte olup havasız ortamda mezofilik şartlarda (yaklaşık 37 °C sıcaklıkta) çürütülmektedir. Çürütülmüş çamur son yoğunlaştırıcı tankında beslenmektedir. Üretilen gaz ise çürütücü tankını ısıtma amacıyla kullanmakta ve gaz depo tankında geçici olarak depolanmaktadır. Depolanamayacak olan fazla biyogaz, gaz meşalesi tarafından yakılmaktadır. Biyogazdan elektrik üretilmekte ve tesisin elektrik ihtiyacının bir kısmı buradan karşılanmaktadır. Elde edilen ısı enerjisinden kış aylarında tesisteki binaların ısıtılması sağlanmakta ve tesiste sürekli sıcak su kullanılmaktadır. Tesiste yaklaşık olarak 7.500 m<sup>3</sup>/gün gaz üretilmekte ve elde edilen elektrik enerjisi yaklaşık



11.000 kWh/gün mertebelerindedir (Bayrak vd, 2014). Tesise ait görüntü Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Kayseri biyogaz tesisi

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 2013 faaliyet raporuna göre; 2013 yılında Merkez Atıksu Arıtma Tesisinde günde ortalama 260.000 m<sup>3</sup>/gün atıksu arıtılmıştır. Atıksuların arıtılmasıyla ortaya çıkan çamurun, çamur çürütme ünitelerinde çürütülmesiyle günde ortalama 13.000 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmiştir. Bu gazın değerlendirildiği kojenerasyon ünitesinde ise 2013 yılında 6,9 GW elektrik üretilmiş ve bu üretim tesiste kullanılarak 2.070.000 TL tasarruf sağlanmıştır (GASKİ Faaliyet Raporu, 2013).

Muğla ovası Düden mevkiinde 5,8 hektar alanda yer alan Muğla Atıksu Arıtma tesisinde günde yaklaşık 23.800 m<sup>3</sup> atıksu arıtılmaktadır. Aktif çamur prosesi ve anaerobik çamur çürütmeyi içeren atıksu arıtma tesisidir. Biyolojik koku giderim ünitesi de olan tesiste, biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi normal şartlarda 360 konutun 1 aylık enerjisini karşılayabilir niteliktedir. Sahip olduğu teknoloji itibarıyla Türkiye'de belediyeler tarafından yapılan en modern arıtma tesisidir. Tesisin günlük elektrik ihtiyacı 10.136 kWh/gün olup, biyogazdan elde edilen kazanç ise 5.328 kWh/gün 'dür. Tesis elektrik maliyetinin %52'si biyogazdan karşılanmaktadır (Bayrak vd, 2014).

Konya Büyükşehir Belediyesi, Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 2016 faaliyet raporuna göre; Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nde 2016 yılında 62.610.591 m<sup>3</sup> atıksu arıtılmıştır. Atıksu arıtımından kaynaklanan arıtma çamurlarının stabilizasyonu amacıyla uygulanan anaerobik çamur çürütme prosesi sonrası ortaya çıkan biyogazın kojenerasyon ünitesinde elektrik enerjisine dönüştürülmesi sonucunda, 2016 yılında toplam 7.505.145 kWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Tesisin elektrik tüketimi ise toplam 17.059.353 kWh olmuş ve

elektrik geri dönüşüm oranı %44 olarak gerçekleşmiştir (KOSKİ Faaliyet Raporu, 2016). Tesise ait görüntü Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi  
(KOSKİ Faaliyet Raporu, 2016).

Mersin Büyükşehir Belediyesi, Mersin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 2016 faaliyet raporuna göre; Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi birincil, ikincil arıtım, çamur prosesi ve kojenerasyon ünitesinin olduğu günde ortalama 189.523 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtıldığı bir tesistir. Atıksu arıtımı sırasında ortaya çıkan atıksu çamuru da arıtılarak kurutulmakta ve tesisten uzaklaştırılmaktadır. Çamurun arıtılması sırasında ortaya çıkan biyogaz ile elektrik enerjisi üretilmekte ve bu enerji ile tesisin elektrik enerjisinin büyük kısmı karşılanmaktadır. Tesiste 2016 yılında toplam 46.291.552 m<sup>3</sup> su arıtılmış olup, toplamda 3.349.560 kWh/yıl enerji üretilmiştir (MESKİ Faaliyet Raporu, 2016). Tesise ait görüntü Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 Mersin Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi  
(MESKİ Faaliyet Raporu, 2016).

Adana Büyükşehir Belediyesi, Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 2016 faaliyet raporuna göre; Seyhan (Batı Adana) Atıksu Arıtma Tesisinde 2016 yılında 79.208.883 m<sup>3</sup> atıksu tesise alınarak arıtılmış, bu arıtma sonucunda 41.979 m<sup>3</sup> çamur oluşmuştur. Oluşan çamurdan üretilen metan gazıyla 11.984.433 kW elektrik enerjisi elde edilmiş ve tesisin yıllık kullandığı enerjinin %74,16'sı tesisin kendisi tarafından karşılanmıştır. Yüreğir Atıksu Arıtma Tesisinde ise 2016 yılında 28.659.182 m<sup>3</sup> atıksu arıtılarak 19.090 m<sup>3</sup> çamur oluşmuştur. Oluşan çamurdan 4.310.058 kW elektrik enerjisi elde edilmiş ve tesisin yıllık kullandığı enerjinin %57,75'i tesisin kendisi tarafından karşılanmıştır (ASKİ Faaliyet Raporu, 2016). Tesise ait görüntü Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 Seyhan (Batı Adana) Atıksu Arıtma Tesisini  
(ASKİ Faaliyet Raporu, 2016).

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 2016 yılı faaliyet raporuna göre; Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde 138.322.739 m<sup>3</sup> atıksu arıtılmıştır. Bu arıtma sonucunda oluşan çamurdan 7.449.133 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmiştir. Bunun neticesinde 45.069.830 kWh yıllık elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde 81.145.436 m<sup>3</sup> atıksu arıtılmıştır. Bu arıtma sonucunda oluşan çamurdan da 3.842.611 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmiştir. Bunun neticesinde 33.636.332 kWh yıllık elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Tuzla İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde 131.332.694 m<sup>3</sup> atıksu arıtılmıştır. Bu arıtma sonucunda oluşan çamurdan 3.757.125 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmiştir. Bunun neticesinde 33.130.200 kWh yıllık elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir (İSKİ Faaliyet Raporu,2016). Tesise ait görüntü Şekil 3.11'de gösterilmiştir.





Şekil 3.11 Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi  
(İSKİ Faaliyet Raporu,2016).

İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 2016 faaliyet raporuna göre; Çiğli Atıksu Arıtma tesisinde oluşan atıksu çamurlarının bertaraf edilmesi amacıyla kurulan Çamur Çürütme-Kurutma Ünitesi'nde 2016 yılında yaklaşık 14.000 ton arıtma çamuru keki kurutulmuş ve  $9.027.652 \text{ m}^3$  biyogaz elde edilmiştir. Kurutulmuş çamur ise ek yakıt olarak çimento fabrikalarında kullanılmaktadır (İZSU Faaliyet Raporu, 2016).

Biyogaz ünitesi; 30 m çapında, 29 m yüksekliğinde her biri  $625 \text{ m}^3/\text{gün}$  kapasiteli 4 adet çürütme tankından oluşmaktadır. 27 m çapında, 14 m yükseklikte her biri  $5.000 \text{ m}^3$  hacimli 2 adet biyogaz toplama tankından her biri 200 ton/gün çamur keki işleme kapasiteli 4 adet kurutucudan oluşmaktadır (İZSU Faaliyet Raporu, 2016). Tesise ait görüntü Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12 Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi  
(İZSU Faaliyet Raporu, 2016).

Tokat Evsel Atıksu Arıtma Tesis; tamamen fiziksel ve biyolojik arıtma ünitelerinden oluşup, anaerobik (oksijensiz) çürütücülerde üretilen biyogazdan elde edilecek elektrik enerjisi ile işletme maliyetlerinde önemli bir tasarruf elde edilmektedir. Tesiste bulunan gaz motoru ile sistemin atık ısıyı tümüyle sıcak su üretmek için kullanılmakta ve üretilen sıcak su çürütme ünitelerinde ve gaz çıkışını hızlandırmak amacıyla değerlendirilmektedir. Sistemden çıkan biyogazla üretilen tüm elektrik ve ısı, arıtma tesisinin kendi ihtiyacı için tamamen tüketilmekte, bu suretle kojenerasyon tesisi en verimli şekilde kullanılabilir. Aralık 2011'de elektrik üretimine geçen tesisin Ağustos 2013 elektrik üretimi 48,8 MW'tır. Üretilen elektrik, toplam elektrik tüketiminin % 47'sini karşılamaktadır (Bayrak vd, 2014).

***Uluslararası örnekler aşağıda özetlenmiştir.***

Fransa La Feyssine Atıksu Arıtma Tesisinde anaerobik ortamda gerçekleştirilen gazlaştırma sonucu günlük 4187 Nm<sup>3</sup> gaz elde edilmektedir. Biyogaz kaynaklı üretilen ısı enerjisi 1400 kW'tır (BM Çevre Programı Akdeniz Eylem Planı, 2010; Suez).

Almanya Buchenhofen Atıksu Arıtma Tesisinde 1940'larda ve 1950'lerde işlenmiş artıma çamurundan elde edilen biyogaz motorlu taşıtlarda kullanım amacı ile satılmakta iken 1954'ten sonra tesiste kullanılmaya başlanmış ve atık ısı da ısıtma sistemleri için değerlendirilmeye başlanmıştır. 1998'de gazdan ısı ve elektrik üretimi için mevcut tesis daha kompakt sistemle değiştirilmiştir. 2013 itibarıyla de daha yüksek elektrik verimi olan yeni üniteyle değiştirilmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen 10 Milyon kWh'lık enerjinin bir kısmı biyogazdan elde edilmektedir (Wupperverband, 2012).

Bottrop Atıksu Arıtma Tesis Almanya'nın en büyük arıtma tesislerinden biridir. Tesiste biyogaz üretimi için 45 m yüksekliğinde her biri 15000 m<sup>3</sup> hacimli, toplam hacmi 60 000 m<sup>3</sup> olan dört tane çamur çürütücü tank vardır. Elde edilen biyogaz kojenerasyon ünitesinde kullanılarak elektrik ve bölgesel merkezi ısıtmada değerlendirilmektedir (AB Çevre Genel Müdürlüğü, 2015; Emschergenossenschaft LV, 2016).

Köhlbrandhöft Atıksu Arıtma Tesisinde, Mart 2011'de devreye alınan biyometan eldesi tesisinin yatırım maliyeti 2,7 Milyon Avro olup, tesiste yıllık 16000 MWh elektrik enerjisi üretilmektedir (Laurich, 2013).

Avusturya Viyana Atıksu Arıtma Tesisinde, 2015 yılında başlayan yenileme çalışmalarıyla yıllık ortalama 20 Milyon m<sup>3</sup> metan üretilmesi planlanmakta ve bundan da 78 GWh'lik elektrik ve 82 GWh'lik ısı çıkışı sağlanacağı öngörülmektedir. Toplam maliyeti 250 Milyon Avro olan projenin

2020 yılı itibarıyla tamamlanması amaçlanmakta ve elde edilecek 20 Milyon m<sup>3</sup> gaz ile tesisin ihtiyaç duyduğu enerjinin %100'nü yenilenebilir enerjiden elde edileceği bildirilmektedir (Ebswien EOS; Hayward, 2016; Langergraber & Weissenbacher, 2014).

Balkanlar'daki en büyük atıksu arıtma tesislerinden Bulgaristan Kubratova Atıksu Arıtma Tesisi 1984 yılında devreye alınmıştır. 60 hektarlık alana kurulu tesis, her gün yaklaşık 500 000 m<sup>3</sup> atıksuyun arıtıldığı bir tesistir. 2009 yılında inşa edilen kojenerasyon sistemiyle tesisten elde edilen biyogaz kullanılmaya başlanarak yenilenebilir enerji eldesine gidilmiştir. Kojenerasyon ünitesi, her birinin gücü 1063 kW elektrik ve 1088 kW ısıtma gücü olan üç tane üniteden oluşmaktadır. Tesiste elde edilen yüksek kalorifik değerli biyogazdan, kojenerasyonla, tesisin elektrik ve ısıtma ihtiyacı karşılanmaya çalışılmaktadır. Tesis, 2015 yılında biyogazdan 19.9 MWh enerji elde ederek tesisin ihtiyaç duyduğu enerjinin %107.4'ünü karşılamıştır (CESME Proje Raporu; Sofiyska Voda AD, 2015 Faaliyet Raporu).

Almanya Gut Marienhof Atıksu Arıtma Tesisinde yılda yaklaşık 80 Milyon m<sup>3</sup> su arıtımı gerçekleştirilmektedir. Tesiste her biri 11800 m<sup>3</sup> kapasiteli ve 15 m'si yeraltında olan toplam 25 m yüksekliğinde olan üç adet çamur çürütücü tank vardır. Saatte 1100 m<sup>3</sup> metan üretilmektedir. Elde edilen biyogazın elektrik enerjisine dönüşümü ile pompalarda kullanılmasıyla tesisin enerji ihtiyacının üçte ikisi karşılanmaktadır (Münchener Stadtentwässerung, 2006). Tesise ait görüntü Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13 Almanya Gut Marienhof atıksu arıtma tesisi  
(Münchener Stadtentwässerung, 2006).

Almanya Gut Großlappen Atıksu Arıtma Tesisinde, 2008'e kadar 6 tane yumurta şeklinde her birinin kapasitesi 6500 m<sup>3</sup> olan, 37 yüksekliğinde 21 m çapında çamur çürütücü tank bulunmaktaydı. Bu tanklara ek olarak, 2008 yılında 63 milyon Avro'ya her biri 14500 m<sup>3</sup> kapasiteli, 31,5 m dışarıda 13,5 m'si yer altında olan dört adet çamur çürütücü tank ilavesi yapılmıştır. Tesiste saatte 1600 m<sup>3</sup> metan üretilmektedir (Münchner Stadtentwässerung, 2013).

220 000 PE kapasiteli Danimarka Marselisborg Atıksu Arıtma Tesisinde biyogaz üretimi gerçekleştirilirken, 3,19 milyon Avro 'ya revizyon yapıp, yıllık yaklaşık 1GWh'lik enerji üretimi için kapasite artırılmıştır. Yeni ısı değiştiricilerle bölgesel ısıtmada yıllık 2GWh'lik enerji elde edilmiştir. 2015 yılında Marselisborg tesisinin elektrik üretimi 9,628MWh iken aynı yıl tükettiği elektrik miktarı ise 6,311MWh'tir. Tesiste 2016 yılına kadar 4,8 GWh'lik bir elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir ve bunun 3,15 GWh'lik kısmı tesis tarafından harcanmıştır. Böylelikle tesis %53 fazlasına ulaşmıştır (EBC Raporu, 2016; Steel, 2017).

ABD, Massachusetts eyaleti Boston'da bulunan Deer Island Atıksu Arıtma Tesisinde her birinin kapasitesi 3 milyon galon (11 356,2 m<sup>3</sup>) olan 12 tane çamur özümleyici tank vardır. Tesiste saatte yaklaşık 5380 m<sup>3</sup> biyogaz üretimi gerçekleşmektedir (David vd., 2013).

Kanada, Ravensview Atıksu Arıtma Tesisi, günlük ortalama 73 000 m<sup>3</sup> suyun arıtıldığı tesis olup, tesiste günlük ortalama 1900 m<sup>3</sup> biyogaz üretimi gerçekleşmektedir. Tesisten 117 kW 'lık elektrik ve 132 kW 'lık net ısı çıkışı sağlanır. Günde 327 000 m<sup>3</sup> suyun arıtıldığı Humber atıksu arıtma tesisinde, ortalama biyogaz üretimi 25 000 m<sup>3</sup>/gün 'dür. Tesiste 1,5 MW'lık elektrik üretimi ile birlikte 1,9 MW'lık ısı enerjisi üretimi gerçekleşmektedir. Kanada'nın en büyük atıksu arıtma tesislerinden biri olan Ashbridges Bay atıksu arıtma tesisinin günlük kapasitesi ise 677 000 m<sup>3</sup>tür. Tesiste üretilen biyogaz miktarı ise günlük ortalama 48 600 m<sup>3</sup>tür. Tesiste 3,1 MW'lık elektrik üretimi ve 4 MW'lık ısı güç elde edilir (Karan vd, 2007).

Ürdün'de 267 000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli As Samra Atıksu Arıtma Tesisinde her birinin kapasitesi 15900 m<sup>3</sup> olan dört özümleyici tankta saatte 3000 Nm<sup>3</sup> üretilen biyogaz ikisi 5000 m<sup>3</sup>, ikisi 4000 m<sup>3</sup> kapasiteli olmak üzere dört depolama tankında depolanır. Biyogaz motorunda elektrik üretimi için kullanılmadan önce H<sub>2</sub>S uzaklaştırılır. Tesiste üretilen biyogazdan ise 5,375 MW'lık elektrik üretimi gerçekleştirilir (Lazarova vd, 2012).

Hollanda, Alpedron Atıksu Arıtma Tesisinde saatte 12 000 m<sup>3</sup> su arıtılmaktadır. Tesiste yıllık 60 000 000 m<sup>3</sup> biyogaz üretilmektedir. Bu sayede tesiste yıllık 9,5 GWh elektrik ve yıllık 60 000



GJ ısı enerjisi elde gerçekleştirilmektedir. Tesisin yıllık elektrik tüketimi ise 9 GWh'tir (Frijns & Uijterlinde, 2010).

ABD, Michigan Eyaleti'nde bulunan Şekil 3.6'da verilen Sheboygan atıksu arıtma tesisinde günlük 40 000 m<sup>3</sup> su arıtılmaktadır. Tesiste günlük 500 000 ft<sup>3</sup> ( 14158,4 m<sup>3</sup>) biyogaz elde edilmektedir. Tesiste günlük 16 500 kWh elektrik enerjisi ve günlük 58 GJ ısı enerjisi elde edilmektedir. Tesis yıllık harcadığı elektrik enerjisinin %90'ını ve ısı enerjisinin %85'ini kendisi karşılamaktadır (Sheboygan AAT, 2012). Tesise ait görüntü Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14 ABD, Michigan Eyaleti'nde bulunan Sheboygan atıksu arıtma tesisi (Sheboygan AAT, 2017).

### 3.3 Hidroelektrik

Hidroelektrik, ülkemizde oldukça önemli bir potansiyel olarak belirlenmiştir. Teknolojinin yerleşme oranı da dikkate alındığında katma değeri yüksektir. Atıksu arıtma tesislerinin giriş ve çıkışında uygulanabilir olduğu bildirilmektedir. Ülkemizde, Ankara ve Gaziantep'te başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisinin çıkışında kurulan HES yaklaşık olarak 9 metrelik bir kot farkıyla çaya deşarj edilen su üzerine tesis edilmiş her biri 250 kW olan 4 adet Arşimet burgusu ile saatte 1 MW'lık enerji üretebilmektedir. Geri ödeme süresi 3,5 yıl civarındadır. Şekil 3.15'te Ankara Tatlar AAT'de bulunan Arşimet vidası uygulaması verilmiştir.



Şekil 3.15 Ankara Tatlar AAT deşarj noktasında bulunan 1 MW'lık Arşimet vidası

Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi (GASKİ), Merkez Atıksu Arıtma Tesisinin çıkışına Arşimet burgusu türbin sistemli hidroelektrik santrali kurmuştur. Bu sistem ile toplam 85 kWh ile 170 kWh elektrik enerjisi, yıllık toplam 1 milyon 500 bin kilowatt/saat enerji üretebilmektedir. Geri ödeme süresi 4-6 yıl civarındadır.

***Uluslararası yapılan uygulamalar aşağıda özetlenmiştir.***

Almanya Buchenhofen Atıksu Arıtma Tesisinde mikrohes 1966'den beri kullanılmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen 10 Milyon kWh'lık enerjinin bir kısmı mikrohesten elde edilmektedir (Wupperverband, 2012). Tesis Şekil 3.16'da görüldüğü üzere büyük bir arazide kurulmuştur.



Şekil 3.16 Almanya Buchenhofen atıksu arıtma tesisi  
(Wupperverband, 2012).

Avusturya Viyana’da bulunan atıksu arıtma tesisi normal koşullarda 680 000 m<sup>3</sup>/gün, yağışlı günlerde 1 600 000 m<sup>3</sup>/gün kapasitelidir. Topoğrafik olarak Viyana’nın en düşük bölgelerinden biri olma özelliğini taşıyan tesise, atıksuyun büyük bölümü cazibe ile gelmekte, dolayısıyla kullanılan pompa enerjisi minimum seviyelerdedir. Tesis bünyesinde gerçekleştirilen yenilenebilir enerji yatırımları ve proses optimizasyonları ile 2020 yılının sonunda tesisin harcadığı enerjinin tamamının karşılanması öngörülmektedir. Tesis bünyesinde gerçekleştirilen projelerden ilki 2006 yılında başlayan “Yenilenebilir Enerjiden Elektrik (SternE)” ile ilk aşamada enerji verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar yürütülmüş olup, tesiste var olan yenilenebilir enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, 2009 yılında arıtılan suyun enerjisinden yararlanmak üzere deşarj noktasına Kaplan tipi türbin kurulmuş ve yılda yaklaşık 1,3 GWh’lik elektrik üreterek tesisin %2’lik enerji ihtiyacını karşılaması hedeflenmiştir. Öte yandan, 2013 yılından itibaren işletmeye alınan Arşimet vidası ise yıllık 500 000 kWh elektrik üreterek, tesisin harcadığı enerjisi yaklaşık %1 oranında azaltmıştır (Ebswien SternE). Tesiste bulunan türbinler Şekil 3.17’de gösterilmektedir.





Şekil 3.17 Viyana Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan Kaplan ve Arşimet türbinleri (Ebswien SterneE).

ABD, Massachusetts eyaleti Boston, Deer Island Atıksu Arıtma Tesisinde 2002'den beri her biri her biri 1MW 'lık iki hidroelektrik jeneratörü ile yıllık 6 GW elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir (Massachusetts Water Resources Authority).

Avustralya North Head atıksu arıtma tesisi günde 300 000 m<sup>3</sup> suyun arıtıldığı tesis olup, tesiste 60 m düşüye sahip 4,5 MW 'lık mikrohesle tesiste elektrik üretilmektedir (Patel, 2010).

Ürdün'de buluna As Samra Atıksu Arıtma Tesisi 267 000 m<sup>3</sup>/gün ve 2,2 Milyon eşdeğer nüfus kapasitesine sahiptir. Tesisin 80 m düşüye sahip giriş kısmında kullanılan Şekil 3.9'da verilen 830 kW kapasiteli iki Pelton türbin ile yıllık 12,5 GWh elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Çıkış kısmında ise 42 m düşüyle, Şekil 3.10'da verilen 807 kW kapasiteli iki Francis türbin ile yıllık 8,6 GWh elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir (Lazarova vd, 2012; Bachelery, 2017). Tesisde bulunan türbinler Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da gösterilmektedir.



Şekil 3.18 Ürdün As Samra Atıksu Arıtma Tesisi, beş nozullu 2 Pelton türbin (Bachelery, 2017).



Şekil 3.19 Ürdün As Samra Atıksu Arıtma Tesisi, 2 Francis türbin (Bachelery, 2017).

Avusturya, Seefeld Zirl, The Plobb Seefeld Atıksu Arıtma Tesisinde 2005 yılında 2,2 milyon Avro yatırım bedeliyle devreye alınmıştır. Brüt düşü 625 m olup, tesisin çıkış kısmında Inn nehrine deşarj olduğu noktada bulunur. 1192 kW'lık kapasiteyle yıllık 5,5 GWh'lik enerji elde edilir (SHAPES Project, 2010).

İsviçre Nyon Atıksu Arıtma Tesisinde deşarj noktasında, arıtılmış sudan elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Yaklaşık 20 yıl önce kurulan tesis deşarj noktası olan Lake Geneva'dan 110 m yüksekte bulunur. Pelton türbinin kullanıldığı tesiste brüt düşü 94 m'dir. Tesiste yıllık 700 000 kWh'lik elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir (SHAPES Project, 2010).

700 000 eşdeğer nüfus kapasiteli İngiltere / Esholt Atıksu Arıtma Tesisinde, 2009'da devreye alınan her birinin kapasitesi 90 kW olan ve Şekil 3.20'de görüldüğü üzere birbiri ardına yerleştirilen iki Arşimet vidası kullanılarak elektrik üretimi gerçekleştirilir. Tesisin ihtiyaç duyduğu enerjinin yaklaşık %5'i buradan karşılanır (British Hydropower Association; Marsden, 2010).



Şekil 3.20 İngiltere, Esholt Atıksu Arıtma Tesisinde Arşimet vidası  
(Spaan Babcock Ltd., 2010)

### 3.4 Rüzgâr

Ülkemizde bulunan atıksu arıtma tesisleri, genellikle şehrin en düşük kotunda yer almaktadır. Bu noktalar da çoğunlukla rüzgâr hızının düşük olduğu konumlardır. Bu sebeple AAT'lerin bulunduğu arazilerde rüzgâr tribünlerinden enerji eldesi, fızıbl bir yöntem olarak



görülmemektedir. AAT'lerde rüzgâr tribünleri kurulumuna ilişkin uluslararası örnekler mevcuttur. Bu tip örneklerde AAT'ler çoğunlukla deniz kenarında veya rüzgâr hızı yüksek bölgelerde yer almaktadır.

Almanya Dradenau Atıksu Arıtma Tesisinde Kasım 2010'da tamamlanan rüzgâr türbini projesinin yatırım maliyeti 8.9 Milyon Avro'dur. Her biri 2,5 MW kurulu güce sahip iki adet rüzgâr türbini mevcuttur. Şekil 3.21'de bir tanesi görülen rüzgâr türbinlerinin direkleri 140 m olup, kanat çapları 100 m'dir. Yıllık üretilen enerji 14 000 MWh'dir (Hamburg Wasser; Laurich, 2013).



Şekil 3.21 Almanya, Hamburg-Dradenau Atıksu Arıtma Tesisini  
(Hamburg Wasser)

Avusturya Viyana Atıksu Arıtma Tesisine 2011 yılında yerleştirilen 10 kW güce sahip rüzgâr türbini 23 m uzunluğundadır. Şekil 3.22'de gösterilen türbin kapasite olarak küçük olmasına karşın tesisin bodrumunda bulunan 3 500 m uzunluğundaki ve 420 000 m<sup>2</sup>'lik alana sahip kanalizasyon geçiş yolunun aydınlatmasında kullanılmak üzere enerji üretmektedir (Ebswien SternE).





Şekil 3.22 Viyana Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan rüzgâr türbini  
(Ebswien SternE)

ABD, New Jersey eyaleti Atlantik City’de bulunan ACUA (Atlantic City Utilities Authority) Atıksu Arıtma Tesisinde her birinin direk uzunluğu 390 feet (118,9 m) olan, Şekil 3.23’te verildiği üzere 1,5 MW’lık beş adet rüzgâr türbini ile 7,5 MW’lık kurulu güce sahiptir. Yıllık üretilen enerji ortalama 1000 MWh’tir. Günlük ortalama 2,5 MW enerjinin kullanıldığı tesiste artakalan enerji yerel şebekeye satılmaktadır. Projenin yatırım maliyeti 12,5 milyon dolardır (Spellman, 2013).



Şekil 3.23 ABD, Atlantik City’de bulunan ACUA (Atlantic City Utilities Authority) Atıksu Arıtma Tesis (Waugh, 2015)

ABD, Browning Montana atıksu arıtma tesisinde bulunan direk uzunluğu 100 feet olan dört tane 10-kW'lık Bergey Excel rüzgâr türbini ile tesisin enerji ihtiyacının üçte biri karşılanmaktadır (Spellman, 2013).

ABD, Fargo şehri, North Dakota'da bulunan atıksu arıtma tesisinde 1,5 MW'lık kurulu güce sahip rüzgâr türbini ile tesisin yıllık kullandığı enerjinin %85'i karşılanmaktadır. Projenin yatırım maliyeti 2,4 milyon dolar ve yıllık yaklaşık 203 000 dolar kazanç elde etmektedir (Spellman, 2013).

ABD Boston'da, ortalama 1.4 M m<sup>3</sup>/gün (365 M galon) kapasitesi olan Şekil 3.24'te verilen Deer Island Atıksu Arıtma Tesisinde kasım 2009'dan beri her biri 600 kW'lık kurulu güce sahip direk uzunluğu 190 feet (57,9 m) olan iki rüzgâr türbini vardır. Yıllık yaklaşık 2 000 MWh'lik elektrik üretilir. Ayrıca tesiste bir tane 100 kW'lık FloDesign prototip türbin vardır (Massachusetts Water Resources Authority).



Şekil 3.24 ABD, Massachusetts - Deer Island Atıksu Arıtma Tesis  
(Massachusetts Water Resources Authority)

### 3.5 Güneş

Ülkemizde faaliyet gösteren arıtma tesislerinde güneş enerjisi uygulamaları; Bursa, Antalya, Kocaeli, Nevşehir, İzmir de kurulu AAT'lerde bulunmaktadır. Bu uygulamaların geri ödeme

süresi 4 ila 7 yıl arasında olup, bu süre konstrüksiyon ve güneşlenmeye bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3.25'te Nevşehir ve İzmir'de bulunan güneşten elektrik ve kurutma sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 3.25 Sırası ile Nevşehir ve İzmir'de bulunan güneşten elektrik ve kurutma sistemleri Nevşehir Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde 2 bin m<sup>2</sup>'lik bir alana kurulu olan GES, 700 güneş panelinden oluşmaktadır. Faaliyete geçirilen GES, yılda 240 bin kWh elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahiptir (Nevşehir Belediyesi, 2016).

İzmir Menderes-Havza AAT'de 1600 m<sup>2</sup>'lik bir alana kurulan solar çamur kurutma ünitesi günde 5.5 ton, yılda 2 bin ton kapasitelidir. 2014 yılında faaliyete geçirilen sera tipi kurutma ünitesi ile en az %80 kurulukta çamur elde edilmektedir (İZSU Faaliyet Raporu, 2015).

Kocaeli Başiskele Kullar İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde havuzların üzeri GES panelleri ile kapatılmıştır. Kullar AAT'de havuzların üzerine uygulanan GES panelleri Şekil 3.26'da gösterilmektedir. 19 bin m<sup>2</sup>'lik bir alana kurulan paneller, yıllık 1.35 GWh enerji üretim kapasitesine sahiptir.





Şekil 3.26 Kullar AAT’de havuzların üzerine uygulanan GES panelleri

Antalya OSB Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi bünyesinde yer alan solar çamur kurutma ünitesi bir adet seradan oluşmaktadır. Solar kurutma ünitesine getirilen susuzlaştırma işlemleri sonucunda %40-50 kuru madde içeriğine sahip çamur, kurutma sonrasında % 85 ve üzeri kuruluğa çıkarılmaktadır. 40 ton/gün kek işleme kapasitesine sahip olan üniteye, güneş radyasyonunun az geldiği kış aylarında kullanılmak üzere doğalgaz ile çalışan alttan ısıtma sistemi de eklenmiştir (Kayhan, 2016).

Uluslararası ölçekte yapılan uygulamalardan ise aşağıda bahsedilmiştir.

Almanya Hamburg’da limanın ortasında yer alan Köhlbrandhöft Atıksu Arıtma Tesisinde 2010 Haziran’da devreye alınan 175.000 Avro yatırım bedeliyle yapılan güneş panelleriyle yıllık 60 MWh elektrik enerjisi üretilmektedir (Laurich, 2013).

Buchenhofen Atıksu Arıtma Tesisinde güneş panelleri 2008’den beri kullanılmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen 10 Milyon kWh’lık enerjinin bir kısmı güneşten elde edilmektedir (Wupperverband, 2012). Şekil 3.27’de tesiste bulunan panellere ait bir resim paylaşılmıştır.



Şekil 3.27 Almanya Buchenhofen atıksu arıtma tesisi  
(ATBEST Projesi, 2015)

Fransa La Feysine Atıksu Arıtma Tesisi'nde 220m<sup>2</sup>'lik alan güneş panelleri ile kaplanmış olup, yıllık 22 MWh'lik elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir (Suez).

Bottrop Atıksu Arıtma Tesisinde 36 072 m<sup>2</sup>'lik Şekil 3.28'de verilen üç bölmeden oluşan alanda atık çamurun güneş enerjisi ile kurutulması gerçekleştirilmektedir (Emschergenossenschaft LV, 2016).



Şekil 3.28 Almanya-Bottrop atıksu arıtma tesisi güneşte kurutma  
(ATBEST Projesi, 2015)

Avusturya Viyana Atıksu Arıtma Tesisinde, 60 m<sup>2</sup>'lik alana yerleştirilen güneş panelleri ile yıllık 10 500 kWh elektrik enerjisi üretilerek tesis içindeki elektrikli araç ve bisikletlerin şarj edilmesinde kullanılmaktadır. Tesiste, ayrıca ofis ve yönetim binaların çatısına kurulan 88

kW'lık termal güneş sistemi ile ofislerin sıcak su ihtiyacının yaklaşık %25'lik kısmı güneşten sağlanmaktadır (Ebswien SternE).

ABD, New Jersey eyaleti Atlantik City'de bulunan ACUA (Atlantic City Utilities Authority) Atıksu Arıtma Tesisinde 2006'da devreye alınan, 2700 güneş paneli iki dizisi çatıya, iki dizisi yere ve bir dizisi tente şeklinde olmak üzere beş dizinden oluşmaktadır. New Jersey'deki en büyük ikinci güneş enerjisi sistemine sahip olan tesisteki güneş panelleriyle, tesisin yıllık ihtiyaç duyduğu enerjinin yaklaşık %3'ü karşılanır. Projenin toplam maliyeti yaklaşık 3,9 milyon dolardır. Tesis 500 kW'lık kurulu güce sahiptir (Spellman, 2013). Şekil 3.29'da çatı üzerine monte edilmiş güneş panelleri görülmektedir.



Şekil 3.29 ABD, Atlantik City atıksu arıtma tesisindeki güneş panelleri  
(Post, 2016)

ABD, Kaliforniya Oroville Atıksu Arıtma Tesisinde 520 kW kurulu güce sahip 5184 güneş panelinden oluşan Şekil 3.30'da görülen güneş enerjisi sistemi vardır. Tesisin enerji masrafları sistemin devreye girmesiyle %80'e yakın düşmüştür. Sistemin yatırım maliyeti 4,83 milyon dolardır (Spellman, 2013).





Şekil 3.30 ABD, Kaliforniya Oroville Atıksu Arıtma Tesisi güneş panelleri  
(Spellman, 2013)

Deer Island Atıksu Arıtma Tesisinde güneş enerjisi sistemlerinin kullanımı, 2008'de 100 kW'lık kurulu güçle başlayıp, 2009 yılında 180 kW ve 2011 yılında da 456 kW'lık kurulu gücün eklenmesiyle 736 kW'lık güce ulaşmıştır. Yıllık 850 MW elektrik enerjisi üretilmektedir (Massachusetts Water Resources Authority).

ABD, New Jersey Eyaleti'nde bulunan günlük 265 0000 m<sup>3</sup> kapasiteli Canal Road Atıksu Arıtma Tesisinde 2800 panelden oluşan güneş enerjisi sistemi mevcuttur. Sistem 502 kW kurulu güce sahiptir (Water Technology).

ABD, Kaliforniya Eyaleti'nde bulunan Moorpark Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan 1,1 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi sistemiyle üretilen yıllık 2235 MWh'lik enerjiyle tesisin enerji ihtiyacının %75'i karşılanır (Pickerel, 2013).

### 3.6 Teknik İncelemeler

#### 3.6.1 Kocaeli (İSU Genel Müdürlüğü ve İSAŞ)

##### HES Projeleri

İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSU) Genel Müdürlüğü bünyesinde 22 tane atıksu arıtma tesisi, 12 tane içme suyu arıtma tesisi bulunmaktadır. İçme ve atıksu arıtma tesisleri yıllık enerji maliyeti 40-45 milyon TL/yıl olarak gerçekleşmektedir. Hali hazırda isale hatları üzerine 10 ayrı

HES kurma projesi bulunmaktadır. Kandıra/Namazgah santrali yaklaşık 10 milyon TL yatırımla devreye alınmıştır. Kandıra / Namazgah santralinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

- 2 adet Spiral Kaplan tipi türbin ile yıllık toplam 2.43 GWh enerji üretme kapasitesinde.
- Toplamda  $3.5 \text{ m}^3/\text{s} \times 2 \text{ adet} = 7 \text{ m}^3/\text{s}$  debi geçirme kapasitesi.
- Depolama hacmi 25 Milyon  $\text{m}^3$ .

İdare bünyesinde devam eden ve Soğukpınar HES projeleri olarak adlandırılan çalışmalar sürdürülmektedir. Bunlar sırası ile;

- HES-1 yıllık 1.82 GWh,
- HES-2 yıllık 6.62 GWh,
- HES-3 yıllık 2.9 GWh,
- HES-4 yıllık 1.85 GWh

HES-1, HES-2 ve HES-4 ihaleleri yapılmıştır. HES-3 ise inşaat aşamasında devam etmektedir.

### **Kullar İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi – GES Projesi**

Mevcut tesisin azot ve fosfor giderimi yapan ileri biyolojik atıksu arıtma tesisine dönüştürülmesi çalışmaları devam etmektedir. Proje tamamlandıktan sonra mevcut 42 Evler Atıksu Arıtma Tesisi kapatılarak, bölgedeki arıtma suları Kullar Atıksu Arıtma Tesisinde arıtılacaktır.  $64 \text{ 000 m}^3/\text{gün}$  olan mevcut kapasite  $144 \text{ 000 m}^3/\text{gün}$  olarak arttırılacaktır. Azot ve fosfor giderimi yapan ileri atıksu arıtma tesisine dönüştürülmesi için Kullar İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi sözleşme maliyeti 80.962.160,00 TL'dir.

Havuzların üzeri koku probleminden dolayı kapatılarak yaklaşık  $20.000 \text{ m}^2$ 'lik kapalı alan elde edilmesi hedeflenmektedir. Böylelikle kapatılan alanlar ile 1 MW'lık GES için yeterli alan sağlanmış olacaktır. Polikristal panellerin kullanılacağı tesiste, GES'ten yıllık 1.35-1.40 GW enerji üretileceği öngörülmektedir. Bu tesiste yer alacak 1 MW'lık güneş enerjisi için yaklaşık 1 000 000 Avro'luk maliyet hedeflenmektedir. Güneş enerjisinden üretilecek enerji, tesis içinde kullanılmayıp satılması öngörülmektedir. GES tesisinin kendini amorti etmesi süresi 4.71 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu hesaba havuzların üzerini kapatma maliyeti dahil edilmemiştir. Çünkü, havuzların üzerinin koku probleminden dolayı zaten kapatılacağı, bu yatırımın GES Projesinden bağımsız olarak yapılacağı varsayılmaktadır.

Kullar İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çalışmalarının Kasım 2017 itibariyle tamamlanması ve devreye alınması beklenmektedir.

### **Yakma Tesisleri-BES Projeleri**

Mevcut durumda arıtma tesislerinden çıkarılan çamur, yakılması için Nuh Çimento'ya gönderilmektedir. Nuh Çimento'ya verilen çamurun nakliye hariç yakma bedeli 147 TL/ton olarak gerçekleşmektedir. Arıtma çamurunun bertarafının İSU'ya yıllık maliyeti yaklaşık olarak 11 Milyon TL olarak gerçekleşmektedir. İSU'ya ait 22 adet arıtma tesisinde yıllık toplam 72.000 m<sup>3</sup> arıtma çamuru oluşmaktadır. Gebze ve Kullar Arıtma Tesislerine 2 adet yakma ünitesi planlanmıştır. Tasarım ve ihaleleri yapılmış durumda olup mekanik montaj devam etmektedir. Kullar Çamur Yakma ve Enerji Üretim Tesisi'nin maliyeti 17 milyon TL, Gebze Çamur Yakma ve Enerji Üretim Tesisi maliyeti 18 Milyon TL civarındadır. Azami kapasitesi 2x120 ton/gün olarak tasarlanan her iki tesisin, 2x100 ton/gün çamuru yakması öngörülmektedir. Tesiste, kurutma ünitesi düşünülmemiş olup sadece yakma ünitesinden oluşmaktadır. 2x960 kWh buhar türbinlerinin kullanılacağı tesislerde, yıllık 2x7.68 GWh/yıl enerji üretileceği öngörülmektedir. 2 MW güç ile yıllık 4.2 Milyon TL gelir elde edilmesi planlanmaktadır. Bu tesiste, doğalgaz ile yakma ısı sağlanacaktır. Arıtma çamuru analiz sonuçlarına göre; tasarım değerlerinde kalorifik değer 3.400-3.600 kcal/kg ve kuruluk oranı ise %22 olarak alınmıştır. "İSU 2017 Yılı Kurumsal Mali Durum ve Beklentiler Raporuna" göre Gebze ve Kullar Çamur Yakma Tesislerinin 2017 yılı sonu itibarıyla tamamlanması öngörülmektedir.

### **İzmit Su A.Ş. İçme Suyu Arıtma Tesisi Ziyareti: Yuvacık HES Projesi**

Arıtma tesisine su temin eden mevcut ham su boru hattı üzerine kurulan HES, İZEYDAŞ tarafından yaptırılmış olup, işletmesi ve bakım hizmetleri İzmit Su A.Ş.'ye aittir. Maksimum su kapasitesinde her biri 1.15 MW olan iki adet yatay eksenli Francis türbinleri ile toplam 2.3 MW kurulu güce sahiptir. Türbin tasarımı Temsan'a ait olup jeneratör yurtdışından temin edilmiştir. Tesisin sözleşme bedeli 10 Milyon TL, amortisman süresi 5 yıldır. Tesiste Eylül 2015'ten bu yana enerji üretilip satılmaktadır. 2 yılda toplam 16 600 000 kWh enerji üretilip satılmıştır.

### **3.6.2 Bursa – BUSKİ Genel Müdürlüğü**

BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesislerinde yeni devreye alınan yakma tesisi, HES ve GES projeleri yerinde incelenmiştir.

Doğu Atıksu Arıtma Tesisi 240.000 m<sup>3</sup>/gün atıksu kapasiteli olup Bursa'da oluşan atıksuyun %80'si bu tesiste arıtılmaktadır. Diğer taraftan bu ilinde bulunan Batı Arıtma Tesisi 87.500 m<sup>3</sup>/gün atıksu kapasiteli olup, 2006 yılından bu yana işletilmektedir. Çamur kapasiteleri:

- Doğu Atıksu Arıtma Tesisi 220 m<sup>3</sup>/gün
- Batı Atıksu Arıtma Tesisi 70-80m<sup>3</sup>/gün

Tesislerde 2006-2017 yılları arasında çıkan arıtma çamuru yaklaşık olarak 170 dönüm alanda depolanmıştır Sorunun çözümü için önce solar kurutma düşünülmüş ve 2 yıl süren çalışma yürütülmüştür. Ancak, Bursa'nın güneş potansiyeli ile geniş alan ihtiyacından dolayı, güneşle kurutmanın fizibil olmadığı sonucu çıkmıştır. Çamurun, tarımda toprağa katkı maddesi olarak kullanımı ve termal kurutma ise değerlendirilen diğer seçeneklerdendir. Nihai karar, arıtma çamurunu yakarak bertaraf ederken elektrik üretimi de sağlayan bir tesisin inşa edilmesi yönünde olmuştur.

### **Arıtma Çamuru Yakma Tesisi:**

Arıtma çamuru yakma ve enerji üretimi tesisi ihale süreci 2013 yılında başlamış ve yaklaşık olarak 2 yıl sonunda ihale tamamlanmıştır. Tesis, enerji/elektrik üretimi esaslı olarak kurulmuştur ve 2.5 MW/h enerji üretimi hedeflenmektedir. İhale bedeli; yapım ve 2 yıllık işletme bedeli olarak 68 Milyon TL'dir. Ekim 2017'de performans testlerinin başlamasıyla tesis maksimum kapasiteye çıkarılacaktır. Çok değişkenlik göstermesine rağmen Doğu Atıksu Arıtma Tesisi'nde dekantörden çıkan çamur yaklaşık %21 kurulukta; Batı Atıksu Arıtma Tesisinde yaklaşık %22 kuruluktadır. Kuru bazdaki çamur kalorifik değeri 3800 kcal/kg olup çamur kuruluğu ile ilgili 3 farklı durum mevcuttur. Prosesin doğalgaz tüketimi de aşağıdaki kuruluk oranlarına göre değişkenlik göstermektedir.

- %22 kurulukta 3000-3200 cal/g
- %24 kurulukta 3600-3800 cal/g
- %26 kurulukta 4000 cal/g (Doğalgaz tüketiminin olmadığı, ototermik nokta.)

Kuruluğu arttırmak için dekantörde 35°C'ye kadar ısıtma planlanmaktadır. Yakma tesisi iki ayrı çamur hattı ve kazanı, tek buhar türbini ve bacadan oluşmaktadır. Tesis 2x200 ton çamur/gün kapasitelidir. Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmeliğe göre; fırında 850°C'de 2 s kalma zorunluluğu olmasına rağmen tesiste bu değer 5 s'ye çıkarılarak imalatlar yapılmıştır. Yanma koşulları 868°C'de; 5 s olarak verilmektedir (Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik, 2010). Yakma tesisi prosesi; yakma sonrası baca gazı birincil ısı eşanjörüne gelir; giren hava burada ısıtılmaktadır. Daha sonra atık ısı kazanına gelen baca gazı 41 bar basınçta, 450°C'de 12 ton/h buhar üretimi için kullanılmaktadır. Atık ısı kazanını terk eden baca gazı partikül tutulması amacıyla 81 adet siklondan oluşan multisiklona iletilmektedir. Multisiklonda %80'e yakın kül tutulmaktadır. Multisiklon çıkışında baca gazına aktif karbon ve kireç dozlaması yapılarak ağır



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 145/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

metaller ve SO<sub>2</sub>, dioksin ve furanlar tutulmaktadır. Bu aşamadan sonra gaz 352 adet torbadan oluşan torba filtreye girmektedir. Torba filtreden sonra emniyet amaçlı olarak yıkama kulesinde kostik yıkama yapılmaktadır. Baca gazı sıcaklığı 140°C olarak görülmektedir. Tasarıma göre 400 ton çamur/gün yakıldığında 35 ton/gün kül çıkmaktadır. Ancak mevcut durumda tam kapasite çalıştırılmadığı için bu değer yaklaşık 25 ton/gün seviyelerinde gerçekleşmektedir. Tesis 1.2-1.3 MW gücünde çalışmakta olup amortisman süresi 10 yıldır. Tesis anlatımının yer aldığı video: <https://www.youtube.com/watch?v=drOX-vqgl9M> adresinde yayınlanmaktadır.

### **Devreye Alınan Enerji Üretim Tesisleri:**

#### **D0 HES**

Net düşü yüksekliği 30 m ve 1.98 m<sup>3</sup>/s debiye sahip olan D0 HES projesinin kurulum maliyeti 2.200.000 TL'dir. Kurulu gücü 500 kW ve yıllık üretim kapasitesi 2.500.000 kWh olan santral, devreye alındığı Ocak 2015 tarihinden itibaren toplam 6.670.000 kWh enerji üretmiştir.

#### **D13 HES**

Kurulum maliyeti 4.590.000 TL olan D13 HES projesi, 1200 kW'lık kurulu güce sahiptir. Debi değeri 1,7 m<sup>3</sup>/s ve net düşü yüksekliği 78 m olan santral, yıllık 6.000.000 kWh enerji üretim kapasitesine sahiptir. Devreye alındığı Aralık 2016 tarihinden itibaren toplam 3.100.000 kWh enerji üretmiştir.

#### **D46 250 kW GES**

960 adet 260 kW gücünde panelden oluşan D46 250 kW GES projesinin kurulu gücü 250 kW olup yıllık yaklaşık 350.000 kWh enerji üretmesi beklenmektedir. 890.000 TL'ye mal olan tesis, devreye alındığı Nisan 2016'dan itibaren toplam 570.000 kWh enerji üretmiştir.

#### **130 kW Batı Atıksu Arıtma GES**

Batı AAT'de kurulan 130 kW kurulu güce sahip güneş enerjisi santrali ile yıllık yaklaşık 178.000 kWh enerji üretimi beklenmektedir. Kurulum maliyeti 427.000 TL olan tesis, 520 adet 250 W gücünde panelden oluşmaktadır. Devreye alındığı Haziran 2014'ten itibaren toplam 516.000 kWh enerji üretmiştir.



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 146/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

### **Doğu Atıksu Arıtma 30 kW GES**

115 adet 260 W gücünde panelden oluşan GES'in kurulum maliyeti 149.000 TL'dir. Tesisin toplam kurulu gücü 30 kW olup, yıllık yaklaşık 40.000 kWh enerji üretmesi beklenmektedir. Kasım 2016'dan beri 30.000 kWh enerji üretmiştir.

### **D12-2 HES**

Net düşü yüksekliği 70 m ve 0,99 m<sup>3</sup>/s debiye sahip olan D12-2 HES projesinin kurulum maliyeti 3.678.000 TL'dir. Kurulu gücü 650 kW ve yıllık tahmini üretim kapasitesi 3.000.000 kWh olan santral, Ekim 2017 tarihinde devreye alınmıştır.

### **Planlanan Enerji Üretim Tesisleri:**

#### **Rüzgâr Elektrik Santrali**

Mudanya Tepedevrent su deposu yanına kurulması planlanan rüzgâr elektrik santralinin, yıllık üretim kapasitesi 650.000 kWh'tir. Ortalama rüzgâr hızının 6 m/s olduğu ve 36m kule yüksekliğine sahip türbinin kurulum maliyeti 1.470.000 TL'dir. 300 kW güce sahip olan türbin test üretim aşamasındadır.

#### **Güneş Projeleri**

3 adet güneş enerji üretim tesisi planlanmıştır. Bunlardan ilki 250 kW kurulu güce sahip ve yıllık 350.000 kWh üretim kapasiteli D12-2 GES projesidir. Şubat 2018 itibariyle devreye alınmıştır. Diğer bir proje olan Yenişehir AAT'de kurulması hedeflenen 500 kW'lık güneş enerji santralinin yıllık 700.000 kWh enerji üretmesi beklenmektedir. Öte yandan, Doğancı Barajında kurulu gücü 1000 kW olan GES ise etüt aşamasındadır. Yıllık enerji üretiminin 1.400.000 kWh olacağı öngörülmektedir.

#### **İnegöl HES Projeleri:**

Fizibilite çalışmaları tamamlandı. Proje çalışmaları devam ediyor. Proje kapsamında 850 kW, 710 kW ve 670 kW olmak üzere üç adet HES tesisi kurulması planlanmaktadır. Tesisler, İnegöl içme suyu isale hattı üzerinde Ulupınar Deresi Elmaçayır Köyünden başlayıp 7 km kuzeydoğudaki Tuluk Kayası mevkiisi arasında bulunacaktır. Fizibilite raporuna göre yıllık yaklaşık 10.000.000 kWh enerji üretilmesi planlanmaktadır.



### 3.6.3 Ankara - ASKİ Genel Müdürlüğü

Ankara Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin bir iştirakı olan Belka A.Ş. tarafından işletilmekte olan Tatlar AAT ziyaret edilerek incelenmiştir. ASKİ bünyesinde 16 tane büyük ölçekli, geri kalanı küçük kapasitelerde toplam 27 tane AAT bulunmaktadır. 1997 yılında hizmete girmiş olan Tatlar AAT, ortalama 765 000 m<sup>3</sup>/gün atıksu debisine sahip olarak yaklaşık olarak 3.5 milyon nüfusa hizmet vermektedir. Topografik olarak Ankara'nın en düşük kotuna sahip olan tesise, atıksu cazibeyle ulaşmakta ve taşınmasında pompa kullanılmamaktadır. Tesise ulaşan atıksuyun yaklaşık olarak %85'i evsel, %15'i endüstriyel niteliktedir.

Arıtma tesisi günlük enerji tüketimi toplam 90.000 kWh mertebesindedir. Günlük tüketimi 60.000-65.000 kWh mertebelerinde olan havalandırma tankları tesisin en yoğun olarak enerji tüketen birimidir. Bu değer, arıtma tesisinin toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak %70'ine denk gelmektedir.

#### Biyogaz ve Çamur Bertarafı

Her biri 11 250 m<sup>3</sup> hacme sahip toplam 8 adet çamur çürütücü tank bulunmaktadır. Anaerobik çürütme sonrasında temizlenen gaz, 4000 m<sup>3</sup> kapasiteli 2 adet biyogaz depolama tankında toplanmaktadır. Oluşan biyogazın içeriği %65-70 CH<sub>4</sub>, %30-35 CO<sub>2</sub>'dir.

Her biri 1.65 MW gücünde 2 adet gaz motoru sayesinde tesiste üretilen biyogaz elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Önceleri, biyogaz tüketilen enerjinin %80'lik kısmını karşılarken günümüzde tesisin kapasitesi arttığından dolayı daha az bir yüzdesini karşılamaktadır. Bu sebeple 2 adet 1.5 MW'lık yeni biyogaz motoru daha alınması hedeflenmiştir. Biyogazdan elde edilen enerji veriminin düşmesinin bir diğer nedeni ise biyogaz içeriğinde eser miktarda bulunan ve gaz motorlarında korozif etkisi olan H<sub>2</sub>S oranının zaman zaman yüksek çıkmasıdır. Bu sebeple tesise desülfürizasyon ünitesi kurulmuştur. Bu ünite sayesinde H<sub>2</sub>S konsantrasyonunun 400-500 ppm mertebelerinde tutulması öngörülmektedir. Deneme çalışmaları tamamlanan ünite, devreye alınma çalışmaları devam etmektedir.

Santrijüj dekantörler yardımıyla %25-30 kuruluğa sahip çamur, Çadırtepe mevkiine kamyonlarla taşınarak vahşi depolama yapılır. Ortalama 250 ton/gün çamur çıkan tesiste, çıkan çamurun çok az bir yüzdesi park ve bahçelerde gübre olarak kullanılırken, geriye kalan büyük çoğunluğu 12 yıldır vahşi depolamaya gönderilmektedir.



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 148/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

### HES

Son çöktürme havuzlarından bekletilen atıksu Ankara Çayı'na deşarj edilmektedir. Yaklaşık olarak 9 metrelik bir kot farkıyla çaya deşarj edilen su üzerine kurulu her biri 250 kW olan 4 adet Arşimet burgusu ile saatte 1 MW'lık enerji üretilmektedir. Aralık 2016 yılından itibaren faaliyette olan HES'in maliyeti 9 milyon TL ve tesis geri ödemesi 3.5 yıl olarak öngörülmektedir. Ekosistem açısından doğaya en az zararı olan türbin tipi olan Arşimet burgusu, deşarj edilen suyun bir kere daha havalandırılmasını da sağlamaktadır.

## 4 ARITMA TESİSLERİ İÇİN ÖRNEK HESAPLAMALAR

### 4.1 Güneşten Elektrik Üretimi İçin Örnek Hesaplama

#### Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi Güneş Enerji Sistemi Ön Fizibilite İncelemesi

Atıksu arıtma tesislerine güneş enerji santrali kurulurken teknoloji seçimi, lisans muafiyeti, şebeke bağlantı tipi ve trafo gücü kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır. Tatlar AAT güneş santrali için ticari olarak satılan ürünlerden hem yaygın kullanımı, hem verimi, hem de maliyet avantajından dolayı polikristal hücreler tercih edilmiştir. Polikristal hücrelerin verimi hesaplamalarda %14 alınmıştır. Ülkemizde güneşe dayalı lisanslı elektrik üretimi yapılabilmesi için izlenmesi gerekli süreçler oldukça uzun zaman almaktadır. Bundan dolayı lisanssız üretim tercih edilmiştir. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik kapsamında lisanssız üretim yapan bir gerçek ya da tüzel kişilik toplam gücü 1 MW olacak şekilde şebekeye bağlı GES kurabilmektedir. Bu yüzden kurulacak güneş enerji santrali kapasitesi 1 MW seçilmiştir. Kurulacak santral şebekeye bağlı olacaktır. Bağlantı Tatlar AAT'nin bağlı olduğu mevcut trafo üzerinden yapılacaktır. Santral tesis içerisindeki boş araziye kurulacaktır.

Güneş enerji santrallerinin ürettikleri enerji miktarı kuruldukları bölgelerin güneşlenme süreleri, coğrafik ve meteorolojik koşullarına göre farklılık göstermektedir. En önemli meteorolojik veriler ışınım şiddeti ve ortam sıcaklığıdır. Aynı ile bağlı ilçelerde büyük farklar olmamakla birlikte, bu veriler arasında değişimler olmaktadır.

Proje için geliştirilen hesaplama uygulaması kullanılarak elde edilen, Tatlar AAT'nin konumunun en iyi eğim açısına karşılık gelen yıllık toplam radyasyon değeri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Tatlar AAT yıllık toplam radyasyon değeri

	En İyi Eğim Açısında Gelen Yıllık Toplam Güneş Radyasyonu (kWh/m <sup>2</sup> yıl)
Yıllık Toplam	1681

Tablo 5.1'de görüldüğü üzere Tatlar AAT Bölgesinde metrekare (m<sup>2</sup>) başına yıllık toplam radyasyon değeri 1681 kWh/m<sup>2</sup> çıkmıştır. Yıllık radyasyon değerini kullanarak yıllık üretililecek enerji miktarı aşağıdaki (1) formülasyonu ile hesaplanmaktadır.

$$E = A \times r \times H \times PR \quad (1)$$

Burada; E: Enerji (kWh), A: Toplam panel yüzey alanı (m<sup>2</sup>), r: Panel verimi (%), H: Yıllık ortalama güneş ışınımı (kWh/m<sup>2</sup>), PR = Performans oranı, kayıp çarpanıdır.

Tatlar AAT'ye lisanssız üretim için 1 MW gücünde santral kurulması planlanmıştır. Formülasyonun içerisindeki " A x r " ifadesi panel yüzey alanı ile panel veriminin çarpımını yada kurulu gücü yani 1 MW ifade etmektedir. Performans oranı, kayıp çarpanı için 0.73 değeri hesaplanmıştır. Kayıpları hesaplamak için aşağıdaki Tablo 5.2'den yararlanılmıştır.

Tablo 4.2 Kayıplar

Inverter kayıpları (%6-15)	10%
Sıcaklık kayıpları (%5-15)	9%
Kablo kayıpları (%2-6)	4%
Gölgelenme (%1-40)	3%
Kirlenme kayıpları (%3-7)	4%

$$\text{Performans oranı (Kayıp çarpanı)} = (1-0.1)*(1-0.09)*(1-0.04)*(1-0.03)*(1-0.04) \\ = 0.73 (\%73)$$

Bu değerler formülasyonda yerine konulduğunda;

$$E = 1000 \times 1681 \times 0.73 = 1.227.130 \text{ kWh yıl bulunmaktadır.}$$

Bu bilgiler eşliğinde Tatlar AAT'de kurulması önerilen 1 MW kapasiteli fotovoltaik güneş enerji santralinden elde edilebilecek yıllık teorik elektrik miktarı 1.227.130 kWh olarak kabul edilebilir.

## Maliyet Analizi

Maliyet analizinde kullanılacak değerlerin belirlenebilmesi maksadıyla elektrik üretim miktarına karşılık gelen güneş enerji santrali kurulum bedelleri ve yıllık işletme giderleri açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler piyasa araştırması şeklinde yapılarak Tablo 4.3'te verilmiştir. Fiyatlar firmalara göre değişiklik gösterebilmektedir. Hesaplamalar ortalama fiyat üzerinden yapılmıştır.

Tablo 4.3 Piyasa araştırması ortalama değerleri

	Yıllık Elektrik Üretimi (kWh)	GES Anahtar Teslim Kurulum Bedeli (USD)	Birim GES Anahtar Teslim Kurulum Bedeli (USD/kW)	Yıllık İşletme Bakım Onarım ve Sigorta Tutarı (USD)	Birim İşletme Bakım Onarım ve Sigorta Tutarı (USD/kW)
Firma 1	1.227.130	1.000.000	0.81	18.000	0.014
Firma 2	1.227.130	900.000	0.73	18.000	0.014
Ortalama	1.227.130	950.000	0.77	18.000	0.014

## İlk Yatırım Maliyeti

Tatlar AAT' de kurulması önerilen GES' in ilk yatırım maliyet hesabında dikkate alınması gereken kalemler ve yaklaşık miktarları Tablo 4.4'te verilmiştir. Kurulması planlanan GES için ihtiyaç duyulan alan yaklaşık olarak 18-20 dönüm civarındadır. Tatlar AAT'nin içerisinde yeterli boş alan olduğu için arazi kalemi sıfır alınmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 13/12/2017 tarihli toplantısında; ilgili şebeke işletmecisi tarafından Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in 31 inci maddesinin ikinci fıkrası gereğince, 2018 yılı için tahsil edilebilecek başvuru bedelinin 596 TL olması kararlaştırılmıştır. Proje için KDV istisnası teşviki alınacağı varsayılarak KDV sıfır alınmıştır. İlk yatırım maliyeti için belirlenen rakamlara güvenli tarafta kalabilmek maksadıyla güneş enerji santralinin anahtar teslim kurulum fiyatının %1'i oranında öngörülemeden bedeller eklenmiştir.

Tablo 4.4 İlk yatırım maliyet kalemleri

Yatırım Kalemleri	Tutar (USD)
GES Anahtar teslim kurulum bedeli	950.000
Arazi	0
Çeşitli öngörülemeden giderler	9.500
Dağıtım şirketi başvuru bedeli	160
KDV	0
<b>Toplam</b>	<b>959.660</b>

Yukarıda yapılan hesaplamalar ve kabuller eşliğinde; Tatlar AAT'ye kurulması planlanan güneş enerji santralinin ilk yatırım maliyeti 959.660 USD olarak belirlenmiştir. Kurulması önerilen GES'in üretilen birim elektrik maliyeti işletme maliyeti hariç 0,78 USD/kW olarak hesaplanmıştır.

## İşletme Maliyeti

Tatlar AAT' ye kurulması önerilen GES' in yıllık işletim bedeli bileşenleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Yıllık işletme maliyet kalemleri

Yıllık İşletme Gideri Kalemleri	Tutar (USD)
Bakım, onarım ve sigorta bedeli	18.000
Personel gideri	8.000
Dağıtım şirketi yıllık işletim bedeli	440
Çeşitli öngörülemeyen giderler	1.800
<b>Toplam</b>	<b>28.240</b>

Yapılan piyasa araştırması sonucunda bakım onarım ve sigorta kalemleri için ortalama 18.000 USD bedel belirlenmiştir. Güneş santrali işletmesi için tam süreli personele ihtiyaç duyulmamaktadır. Santralin arıtma tesisi sahası içerisinde olduğu için ekstra güvenlik bulundurulmasına gerek duyulmamıştır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğu zaman santralin işletilmesi için 1 adam/yıl personel gücü yeterli olması ön görülmüştür. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 13/12/2017 tarihli toplantısında; elektrik dağıtım şirketlerinin Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in 31 inci maddesinin ikinci fıkrası gereğince tahsil edebileceği yıllık sistem işletim bedelinin 2017 yılı için 1.667,98 TL olması kararlaştırılmıştır. GES'in yıllık işletim bedelleri için belirlenen rakamlara güvenli tarafta kalabilmek amacıyla bakım, onarım ve sigorta bedelinin %1'i oranında öngörülemeyen bedeller ilave edilmiştir.

Yukarıda yapılan hesaplamalar ve kabuller eşliğinde; Tatlar AAT'ye kurulması önerilen güneş enerji santralinin yıllık işletme gideri 28.240 USD olarak belirlenmiştir.

## İlk Yatırım Maliyetini Geri Ödeme Süresi

Üretilen enerjinin tamamının şebekeye satılması durumu için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda dolar kurunun sabit kalacağı öngörülmüştür.

Güneş enerji santralinde üretilen aylık toplam elektrik miktarının tüketilen aylık toplam elektrik miktarından fazla olması durumunda üretici ürettiği kW başına 13,3 US-Dolar cent desteğini almakta, az olması durumunda aradaki fark kadar faturalandırılmaktadır.

Dolar kuru 1 USD = 3.80 TL alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

1 cent = 0.038 TL

13.3 cent = 0.5054 TL

Yıllık üretilen toplam enerji = 1.227.130 kWh





## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 153/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

Yıllık toplam satış = 1.227.130 X 0.5054 = 620.191,5 TL

İlk yatırım maliyeti = 959.500 X 3.80 = 3.646.100 TL

Amortisman süresi = İlk yatırım maliyeti / yıllık toplam satış = 3.646.100 / 620.191,5  
= 5,87

Yapılan hesaplardan anlaşılacağı üzere ilk yatırım amortisman süresi 5,87 yıl çıkmıştır. Güneş santralının her yıl yaklaşık %1 üretim kaybı yaşayacağı ve işletme maliyetleri de göz önünde bulundurulduğunda 6. yılın başında kendini amorti ettiği görülmektedir. Önerilen GES'in ortalama ömrünün 20-25 yıl arasında olacağı düşünülürse 6 yıldan sonraki yıllarda AAT'ye para kazandıracaktır.

Not: Yapılan hesaplamalar örnek olması için ortalama değerler ve kabuller ile yapılmıştır. Kesin değerler için daha detaylı hesaplamalar yapılmalıdır.

## 4.2 Hidroelektrikten Elektrik Üretimi İçin Örnek Hesaplama

### Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi Hidroelektrik Enerji Sistemi Ön Fizibilite İncelemesi

Atıksu arıtma tesislerine hidroelektrik enerji santrali kurulurken türbin seçimi, lisans muafiyeti, şebeke bağlantı tipi ve trafo gücü kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır. Tatlar AAT hidroelektrik santrali için hem düşük debi ve küçük düşümlü tesislerde istikrarlı çalışabilmeleri, hem verimi, hem de maliyet avantajından dolayı Arşimet burgusu tercih edilmiştir. Ülkemizde hidroelektriğe dayalı lisanslı elektrik üretimi yapılabilmesi için izlenmesi gerekli süreçler oldukça uzun zaman almaktadır. Bundan dolayı lisanssız üretim tercih edilmiştir. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik kapsamında lisanssız üretim yapan bir gerçek ya da tüzel kişilik toplam gücü 1 MW olacak şekilde şebekeye bağlı HES kurabilmektedir. Bu yüzden kurulacak hidroelektrik enerji santrali kapasitesi 1 MW (4 x 250 kW) seçilmiştir. Santral 250 kW gücünde 4 üniteden oluşacaktır. Kurulacak santral şebekeye bağlı olacaktır. Bağlantı Tatlar AAT'nin bağlı olduğu mevcut trafo üzerinden yapılacaktır. Santral tesis çıkışındaki su deşarj noktasına kurulacaktır.

Hidroelektrik enerji santrallerinin ürettikleri enerji miktarı kuruldukları noktadaki su debisine ve suyun düşüsüne bağlıdır. Debi ve düşü değerleri kullanarak üretilebilecek elektrik gücü miktarı aşağıdaki (1) formülasyonu ile hesaplanmaktadır.

$$P = Q \times \rho \times g \times H \times \eta \quad (1)$$

Burada; P: Elektrik gücü (W), Q: Suyun debisi (m<sup>3</sup>/sn), ρ: Suyun özgül ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>), g: Yerçekimi ivmesi (m/s<sup>2</sup>), H: Net düşü yüksekliği (m), η : Toplam verimi (%) ifade etmektedir.

η (Toplam verim) = Türbin verimi x Dişli kutusu verimi x Generator verimi x Trasformatör verimi

$$= 0.84 \times 0.9 \times 0.92 \times 0.95 = 0.661$$

Toplam verimi hesaplamak için Tablo 4.6'dan faydalanılmıştır.

Tablo 4.6 Verim tablosu

Türbin (%70-88)	84%
Dişli kutusu (%70-95)	90%
Generator (%80-98)	92%
Transformatör (%85-98)	95%
<b>Toplam verim</b>	<b>66.1%</b>

Tatlar AAT deşarj noktası ile Ankara çayı arasında 9 metre düşü vardır. Yine, Tatlar AAT'den yaklaşık 15 m<sup>3</sup>/sn atıksu arıtılarak deşarj edilmektedir. Yerçekimi ivmesi 9,81 m/s<sup>2</sup>, suyun özgül ağırlığı 1000 kg/m<sup>3</sup> alınmıştır. Bu değerler formülasyonda yerine konulduğunda;

$$P = 15 \times 1000 \times 9,81 \times 9 \times 0,661 = 875,3 \text{ kW bulunmaktadır.}$$

Bu bilgiler eşliğinde Tatlar AAT'de kurulması önerilen 1 MW kapasiteli hidroelektrik enerji santralinden elde edilebilecek yıllık teorik elektrik miktarı:

$$E = 875,3 \times 24 \times 365 = 7.667.628 \text{ kWh olarak hesaplanmıştır.}$$

## Maliyet Analizi

Maliyet analizinde kullanılacak değerlerin belirlenebilmesi maksadıyla elektrik üretim miktarına karşılık gelen hidroelektrik enerji santrali kurulum bedelleri ve yıllık işletme giderleri açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler piyasa araştırması şeklinde yapılarak Tablo 4.7'de verilmiştir. Fiyatlar debi ve düşü miktarına göre değişiklik göstermektedir. Tablo 4.7'de verilen fiyatlar 4 x 250 kW (toplam 1 MW) için firmaların vermiş olduğu anahtar teslim bedellerdir. Hesaplamalar ortalama fiyat üzerinden yapılmıştır.

Tablo 4.7 Piyasa araştırması ortalama değerleri

	Yıllık Elektrik Üretimi (kWh)	HES Anahtar Teslim Kurulum Bedeli (USD)	Birim HES Anahtar Teslim Kurulum Bedeli (USD/kW)	Yıllık İşletme Bakım Onarım ve Sigorta Tutarı (USD)	Birim İşletme Bakım Onarım ve Sigorta Tutarı (USD/kW)
Firma 1	7.667.628	2.400.000	0.31	20.000	0.0026
Firma 2	7.667.628	2.800.000	0.36	20.000	0.0026
Ortalama	7.667.628	2.600.000	0.335	20.000	0.0026

## İlk Yatırım Maliyeti

Tatlar AAT' de kurulması önerilen HES' in ilk yatırım maliyet hesabında dikkate alınması gereken kalemler ve yaklaşık miktarları Tablo 4.8'de verilmiştir. Kurulması planlanan HES için ihtiyaç duyulan alan yaklaşık olarak 18-20 dönüm civarındadır. Tatlar AAT'nin içerisinde yeterli boş alan olduğu için arazi kalemi sıfır alınmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 13/12/2017 tarihli toplantısında; ilgili şebeke işletmecisi tarafından Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in 31 inci maddesinin ikinci fıkrası gereğince 2018 yılı için tahsil edilebilecek başvuru bedelinin 596 TL olması kararlaştırılmıştır. Proje için KDV istisnası teşviki alınacağı varsayılarak KDV sıfır alınmıştır. İlk yatırım maliyeti için belirlenen rakamlara güvenli tarafta kalabilmek maksadıyla hidroelektrik enerji santralının anahtar teslim kurulum fiyatının %1'i oranında öngörülemez bedeller eklenmiştir.

Tablo 4.8 İlk yatırım maliyet kalemleri

Yatırım Kalemleri	Tutar (USD)
HES Anahtar teslim kurulum bedeli	2.600.000
Arazi	0
Çeşitli öngörülemez giderler	26.000
Dağıtım şirketi başvuru bedeli	160
KDV	0
<b>Toplam</b>	<b>2.626.160</b>

Yukarıda yapılan hesaplamalar ve kabuller eşliğinde; Tatlar AAT'ye kurulması planlanan hidroelektrik enerji santralının ilk yatırım maliyeti 2.626.160 USD olarak belirlenmiştir. Kurulması önerilen HES'in üretilen birim elektrik maliyeti işletme maliyeti hariç 0,342 USD/kW olarak hesaplanmıştır.

### İşletme Maliyeti

Tatlar AAT' ye kurulması önerilen HES' in yıllık işletim bedeli bileşenleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9 Yıllık işletme maliyet kalemleri

Yıllık İşletme Gideri Kalemleri	Tutar (USD)
Bakım, onarım ve sigorta bedeli	20.000
Personel gideri	8.000
Dağıtım şirketi yıllık işletim bedeli	440
Çeşitli öngörülemez giderler	2.000
<b>Toplam</b>	<b>30.440</b>

Yapılan piyasa araştırması sonucunda bakım onarım ve sigorta kalemleri için ortalama 20.000 USD bedel belirlenmiştir. Hidroelektrik santrali işletmesi için tam süreli personele ihtiyaç duyulmamaktadır. Santralin arıtma tesisi sahası içerisinde olduğu için ekstra güvenlik bulundurulmasına gerek

duyulmamıştır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğu zaman santralin işletilmesi için 1 adam/yıl personel gücü yeterli olması ön görülmüştür. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 13/12/2017 tarihli toplantısında; elektrik dağıtım şirketlerinin Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in 31 inci maddesinin ikinci fıkrası gereğince tahsil edebileceği yıllık sistem işletim bedelinin 2017 yılı için 1.667,98 TL olması kararlaştırılmıştır. HES'in yıllık işletim bedelleri için belirlenen rakamlara güvenli tarafta kalabilmek maksadıyla bakım, onarım ve sigorta bedelinin %1'i oranında öngörülemez bedeller ilave edilmiştir.

Yukarıda yapılan hesaplamalar ve kabuller eşliğinde; Tatlar AAT' ye kurulması önerilen hidroelektrik enerji santralının yıllık işletme gideri 30.440 USD olarak belirlenmiştir.

### **İlk Yatırım Maliyetini Geri Ödeme Süresi**

Üretilen enerjinin tamamının şebekeye satılması durumu için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda dolar kurunun sabit kalacağı öngörülmüştür.

Hidroelektrik enerji santralinde üretilen aylık toplam elektrik miktarının tüketilen aylık toplam elektrik miktarından fazla olması durumunda üretici ürettiği kW başına 7,3 US-Dolar cent desteğini almakta, az olması durumunda aradaki fark kadar faturalandırılmaktadır.

Dolar kuru 1 USD = 3.80 TL alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

1 cent = 0.038 TL

7.3 cent = 0.2774 TL

Yıllık üretilen toplam enerji = 7.667.628 kWh

Yıllık toplam satış = 7.667.628 X 0.2774 = 2.127.000 TL

İlk yatırım maliyeti = 2.600.000 X 3.80 = 9.880.000 TL

Amortisman süresi = İlk yatırım maliyeti / yıllık toplam satış = 9.880.000 / 2.127.000

= 4,6

Yapılan hesaplardan anlaşılacağı üzere ilk yatırım amortisman süresi 4,6 yıl çıkmıştır. İşletme ve bakım maliyetleri de göz önünde bulundurulduğunda 5. yılın başında kendini amorti ettiği görülmektedir. Önerilen HES'in ortalama ömrünün yaklaşık 50 yıl olacağı düşünülürse 5. Yılın başından sonra AAT'ye para kazandıracaktır.

Not: Yapılan hesaplamalar ortalama değerler ve kabuller ile yapılmıştır. Kesin değerler için daha detaylı hesaplamalar yapılmalıdır.

### 4.3 Rüzgârdan Elektrik Üretimi için Örnek Hesaplama

#### Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi Rüzgâr Enerji Sistemi Ön Fizibilite İncelemesi

Atıksu arıtma tesislerine rüzgâr enerji santrali kurulurken teknoloji seçimi, lisans muafiyeti, şebeke bağlantı tipi ve trafo gücü kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır. Tatlar AAT rüzgâr santrali için ticari olarak satılan ürünlerden hem yaygın kullanımı, hem verimi, hem de maliyet avantajından dolayı 3 kanatlı, önden rüzgâr alan türbin tercih edilmiştir. Ülkemizde rüzgâra dayalı lisanslı elektrik üretimi yapılabilmesi için izlenmesi gerekli süreçler zaman aldığından dolayı lisanssız üretim tercih edilmiştir. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik kapsamında lisanssız üretim yapan bir gerçek ya da tüzel kişilik toplam gücü 1 MW olacak şekilde şebekeye bağlı RES kurabilmektedir. Bu yüzden kurulacak rüzgâr enerji santrali kapasitesi 1 MW seçilmiştir. Kurulacak santral şebekeye bağlı olacaktır. Bağlantı Tatlar AAT'nin bağlı olduğu mevcut trafo üzerinden yapılacaktır. Santral tesis içerisinde rüzgâr hızı en çok olan noktaya kurulacaktır.

Rüzgâr enerji santrallerinin ürettikleri enerji miktarı kuruldukları bölgelerin rüzgâr hızına göre farklılık göstermektedir. Rüzgâr hızı yükseltiyeye bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden santral AAT arazisi içerisinde en yüksek noktaya kurulacaktır.

Bir bölgeden üretilebilecek rüzgâr enerji miktarını hesaplamak için en az bir yıllık rüzgâr hızı ölçümleri yapılmalıdır. Bununla birlikte Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Bu atlasta, verilen detaylı rüzgâr kaynağı haritaları ve diğer bilgiler rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilir bir alt yapı sağlamaktadır.

REPA verileri kullanılarak hazırlanan hesaplama uygulamasından Tatlar AAT'nin 50 metredeki ortalama rüzgâr hızının 4.8 m/s olduğu anlaşılmaktadır. Bu rüzgâr hızı ekonomik yatırım için düşük bir hızdır.

Yıllık ortalama rüzgâr hızı kullanarak bir alandan yıllık üretilebilecek rüzgâr gücü aşağıdaki (1) formülasyonu ile hesaplanmaktadır.

$$P = \frac{1}{2} \rho \times A \times V^3 \quad (1)$$

Burada; P: Rüzgâr gücü (W),  $\rho$  : Havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ), A: Kanatların süpürme alanı ( $\text{m}^2$ ), V: Rüzgâr hızını (m/s) ifade etmektedir. Anlaşılacağı üzere, rüzgâr gücü hesaplanırken rüzgâr hızının küpüyle çarpıldığı için rüzgâr hızı çok önemlidir. Rüzgâr türbininin 3 kanatlı yapısı göz önüne alındığında süpürme alanında ki rüzgâr gücünün tamamının mekanik enerjiye çevrilemeyeceği görülmektedir. Bu yüzden formülasyona  $C_p$  (Beltz limiti) dahil olmaktadır. Beltz limiti rüzgâr gücünün

ne kadarının mekanik güce aktarılabilceğini ifade etmektedir. Bu oran maksimum 16/27 yani 0.59 dur. Beltz limiti dahil edilmiş rüzgâr gücü formülasyonu aşağıda verilmiştir.

$$P = \frac{1}{2} C_p \times \rho \times A \times V^3 \quad (2)$$

Mekanik enerjiye dönüştürülen rüzgâr gücü belirli elektriksel ve mekanik kayıplardan sonra elektrik enerjine dönüştürülmektedir. Toplam elektriksel çıkış gücü (3) formülasyonunda verilmiştir.

$$P = \frac{1}{2} C_p \times \rho \times A \times V^3 \times \eta \quad (3)$$

Burada;  $\eta$  ortalama verimi ifade etmektedir.

Tatlar AAT'ye lisanssız üretim için 1 MW gücünde rüzgâr santrali kurulması planlanmıştır. 1 MW gücündeki rüzgâr türbinlerinin kanat uzunluğu ortalama 30 m dir. Süpürme alanı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$A = \pi r^2 = 2827 \text{ m}^2$$

Toplam verimi hesaplamak için aşağıdaki Tablo 4.10'dan yararlanılmıştır.

Tablo 4.10 Verim tablosu

Kanatlar (%60-85)	80%
Dişli kutusu (%70-95)	90%
Generator (%80-98)	92%
Transformatör (%85-98)	95%
<b>Toplam verim</b>	<b>62.9%</b>

Havanın yoğunluğu 1,23 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Bu değerler formülasyonda yerine konulduğunda;

$$P = \frac{1}{2} \times 0,59 \times 1,23 \times 2827 \times (4,8)^3 \times 0,629 = 71,4 \text{ kW}$$

Bir yılda üretilebilecek enerji;

$$E = 71,4 \times 24 \times 365 = 625.464 \text{ kWh/yıl}$$

Dikkat edilirse yukarıdaki hesaplamalarda rüzgâr santralının bir yıl boyunca hiç durmadan çalışacağı ön görülerek hesaplama yapılmıştır. Fakat rüzgâr hızının düşük olduğu durumlarda santral çalıştırılmayacağı da dikkate alınmalıdır. Bu durumu formülasyona eklemek için kapasite faktörü kullanılmaktadır. Kapasite faktörü, belirli bir zaman aralığında üretilen enerjinin yine aynı zaman diliminde üretilebilecek maksimum enerjiye oranıdır. YEGM kapasite faktörüyle ilgili harita yayınlamaktadır. Tatlar AAT nin koordinatları dikkate alınarak haritaya bakıldığında, kapasite faktörünün % 30 civarında olduğu görülmektedir. Yine YEGM'in belirttiği üzere ekonomik bir yatırım için kapasite faktörünün en az %35 olması gerekmektedir. Kapasite faktörü göz önünde bulundurularak bir yılda üretilebilecek enerji miktarı;



$$E = 625.464 \times 0.3 = 187.640 \text{ kWh/yıl}$$

olarak hesaplanmıştır. Tatlar AAT'de kurulması önerilen 1 MW kapasiteli rüzgâr enerji santralinden elde edilebilecek yıllık enerji miktarı 187.640 kWh olarak kabul edilebilir.

## Maliyet Analizi

Maliyet analizinde kullanılacak değerlerin belirlenebilmesi maksadıyla elektrik üretim miktarına karşılık gelen rüzgâr enerji santrali kurulum bedelleri ve yıllık işletme giderleri açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler piyasa araştırması şeklinde yapılarak Tablo 4.11'de verilmiştir. Fiyatlar firmalara göre değişiklik gösterebilmektedir. Hesaplamalar ortalama fiyat üzerinden yapılmıştır.

Tablo 4.11 Piyasa araştırması ortalama değerleri

	Yıllık Elektrik Üretimi (kWh)	RES Anahtar Teslim Kurulum Bedeli (USD)	Birim RES Anahtar Teslim Kurulum Bedeli (USD/kW)	Yıllık İşletme Bakım Onarım ve Sigorta Tutarı (USD)	Birim İşletme Bakım Onarım ve Sigorta Tutarı (USD/kW)
Firma 1	156.366	1.000.000	6.39	20.000	0.128
Firma 2	156.366	950.000	6.07	20.000	0.128
Ortalama	156.366	975.000	6.23	20.000	0.128

## İlk Yatırım Maliyeti

Tatlar AAT' de kurulması önerilen RES' in ilk yatırım maliyet hesabında dikkate alınması gereken kalemler ve yaklaşık miktarları Tablo 4.12'de verilmiştir. Kurulması planlanan RES için ihtiyaç duyulan alan yaklaşık olarak 1 dönüm civarındadır. Tatlar AAT'nin içerisinde yeterli boş alan olduğu için arazi kalemı sıfır alınmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 13/12/2017 tarihli toplantısında; ilgili şebeke işletmecisi tarafından Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in 31 inci maddesinin ikinci fıkrası gereğince 2018 yılı için tahsil edilebilecek başvuru bedelinin 596 TL olarak kararlaştırılmıştır. Proje için KDV istisnası teşviki alınacağı varsayılarak KDV sıfır alınmıştır. İlk yatırım maliyeti için belirlenen rakamlara güvenli tarafta kalabilmek maksadıyla rüzgâr enerji santralinin anahtar teslim kurulum fiyatının %1'i oranında öngörülemez bedeller eklenmiştir.

Tablo 4.12 İlk yatırım maliyet kalemleri

Yatırım Kalemleri	Tutar (USD)
RES Anahtar teslim kurulum bedeli	975.000
Arazi	0
Çeşitli öngörülemez giderler	9.750
Dağıtım şirketi başvuru bedeli	160
KDV	0
<b>Toplam</b>	<b>984.910</b>

Yukarıda yapılan hesaplamalar ve kabuller eşliğinde; Tatlar AAT'ye kurulması planlanan rüzgâr enerji santralinin ilk yatırım maliyeti 984.910 USD olarak belirlenmiştir. Kurulması önerilen RES'in üretilen birim elektrik maliyeti işletme maliyeti hariç 6,3 USD/kW olarak hesaplanmıştır.

### İşletme Maliyeti

Tatlar AAT' ye kurulması önerilen RES' in yıllık işletim bedeli bileşenleri Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13 Yıllık işletme maliyet kalemleri

Yıllık İşletme Gideri Kalemleri	Tutar (USD)
Bakım, onarım ve sigorta bedeli	20.000
Personel gideri	8.000
Dağıtım şirketi yıllık işletim bedeli	440
Çeşitli öngörülemez giderler	2000
<b>Toplam</b>	<b>30.440</b>

Yapılan piyasa araştırması sonucunda bakım onarım ve sigorta kalemleri için ortalama 20.000 USD bedel belirlenmiştir. Rüzgâr santrali işletmesi için tam süreli personele ihtiyaç duyulmamaktadır. Santralin arıtma tesisi sahası içerisinde olduğu için ekstra güvenlik bulundurulmasına gerek duyulmamıştır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğu zaman santralin işletilmesi için 1 adam/yıl personel gücü yeterli olması ön görülmüştür. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 13/12/2017 tarihli toplantısında; elektrik dağıtım şirketlerinin Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'in 31 inci maddesinin ikinci fıkrası gereğince tahsil edebileceği yıllık sistem işletim bedelinin 2017 yılı için 1.667,98 TL olarak kararlaştırılmıştır. RES'in yıllık işletim bedelleri için belirlenen rakamlara güvenli tarafta kalabilmek maksadıyla bakım, onarım ve sigorta bedelinin %1'i oranında öngörülemez bedeller ilave edilmiştir.

Yukarıda yapılan hesaplamalar ve kabuller eşliğinde; Tatlar AAT' ye kurulması önerilen rüzgâr enerji santralinin yıllık işletme gideri 30.440 USD olarak belirlenmiştir.

### İlk Yatırım Maliyetini Geri Ödeme Süresi

Üretilen enerjinin tamamının şebekeye satılması durumu için aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda dolar kurunun sabit kalacağı öngörülmüştür.

Rüzgâr enerji santralinde üretilen aylık toplam elektrik miktarının tüketilen aylık toplam elektrik miktarından fazla olması durumunda üretici ürettiği kW başına 7,3 US-Dolar cent desteğini almakta, az olması durumunda aradaki fark kadar faturalandırılmaktadır.

Dolar kuru 1 USD = 3.80 TL alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

1 cent = 0.038 TL



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 161/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

7.3 cent = 0.2774 TL

Yıllık üretilen toplam enerji = 187.640 kWh

Yıllık toplam satış = 187.640 X 0.2774 = 52.051 TL

İlk yatırım maliyeti = 984.910 X 3.80 = 3.742.658 TL

Amortisman süresi = İlk yatırım maliyeti / yıllık toplam satış = 3.742.658 / 52.051

= 71.9

Yapılan hesaplardan anlaşılacağı üzere ilk yatırım amortisman süresi 71.9 yıl gibi çok uzun bir süre çıkmıştır. Tatlar bölgesinin rüzgâr hızının ve kapasite faktörünün çok düşük olmasından dolayı yapılacak yatırımın ekonomik bir yatırım olmayacağı görülmektedir. YEGM ekonomik bir yatırım için rüzgâr hızının en az 7 m/s ve kapasite faktörünün en az 0,35 olması gerektiğini belirtmektedir.

Not: Yapılan hesaplamalar ortalama değerler ve kabuller ile yapılmıştır. Kesin değerler için daha detaylı hesaplamalar yapılmalıdır.

### 4.4 Arıtma Çamuru Yakma İçin Örnek Hesaplama

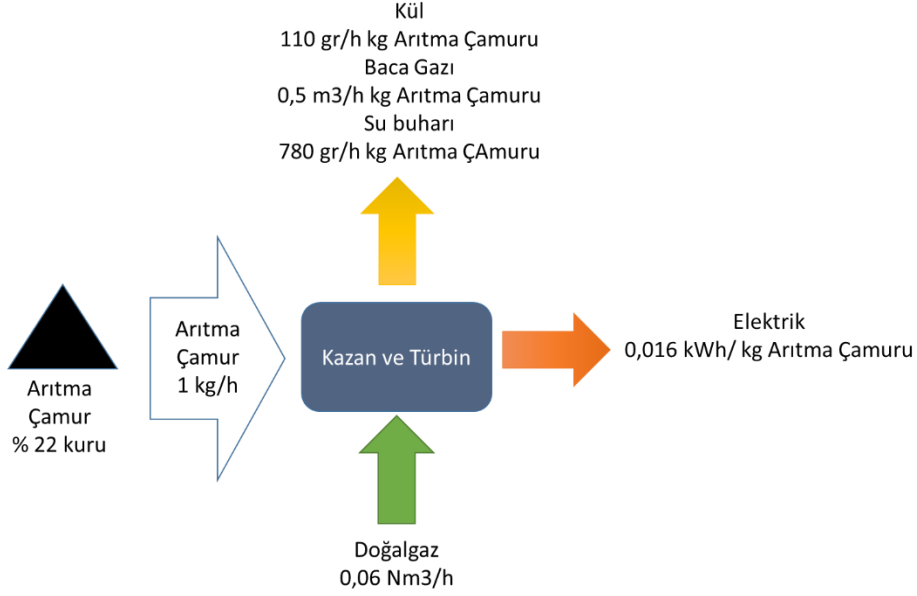
#### Ankara Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Yakma Sistemi Ön Fizibilite İncelemesi

Ankara Büyükşehir Belediyesine ait Tatlar arıtma tesisi yerinde incelenmiştir. Tesise günlük yaklaşık 800.000 m<sup>3</sup> atıksu ulaşmaktadır. Bu suyun arıtılması sonucunda ise yaklaşık 300 ton/gün arıtma çamuru açığa çıkmaktadır. Ortaya çıkan arıtma çamuru, yaklaşık % 22-24 kurulukta olup depolama alanlarına gönderilmektedir.

Elde edilen çamurun, hiç kurutulmadan %22 kuru madde oranı ile yakılarak elektrik üretilmesi durumu birinci senaryo olarak tarif edilmiştir. İkinci senaryoda ise tesisteki atık çamurun, atık ısı ile %50 kuruluğa ulaştırılarak elektrik üretimi gerçekleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu durumda iki sistem için geri ödeme süresine ön fizibilite yapılmıştır.

#### Senaryo 1

Tesiste 300 ton arıtma çamuru 365 gün boyunca üretilmektedir. Bu arıtma çamuru kuru bazda ortalama 16.500 kJ/kg olarak analiz edilmiştir. Aynı arıtma çamuru yapılan analizlerde kuru bazda % 50 civarında kül, %25 civarında karbon içeriği tespit edilmiştir. Sırası ile kuru bazda hidrojen, azot, kükürt, oksijen ise %5, %9, %1 ve %10 olarak görülmüştür. Yıllık çamur miktarı %22 kuru madde oranı ile 100.000 ton civarında alınmıştır. Bu durumda, yıllık 78.000 ton civarında bir su, sisteme dahil olması nedeni ile yakma ünitesi içerisinde buhar fazına geçerek uzaklaştırılacaktır. Kurulacak prosesin akış şeması Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Senaryo 1 için tesis akış şeması

Bu tesise ait değerlendirmede benzer iki tesisin maliyetleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu tesislerin maliyeti günlük arıtma çamuru bertaraf göz önüne alınarak incelenmiştir. Bu tesislerden birincisi 200 ton/gün arıtma çamuru yakma kapasiteli yaklaşık 5.800.000 Dolar yatırım maliyetli (29.000 Avro/ton arıtma çamuru) olarak verilmiştir. İkinci tesis kapasitesi 400 ton/gün olup yatırım maliyeti 14.000.000 Dolar olarak görülmektedir. (35.000 Avro /ton arıtma çamuru). İki tesisin ortalama yatırım maliyeti yaklaşık 33.000 Dolar/ ton Arıtma çamuru bu tesis için geçerli yaklaşım olarak kabul edilmiştir. Bu durumda tesisin ilk yatırım maliyeti 10.000.000 Dolar olacaktır (arazi bedelleri ve yasal izinler hariç). Tablo 4.14 ve Tablo 4.15'te yapılan hesaplama için girdiler verilmiştir.

Tablo 4.14 Arıtma çamuru bilgileri

Arıtma Çamuru Hakkında Bilgiler		
Arıtma Çamurunun Miktarı	100000	ton/yıl
Arıtma Çamurunun Alt Isıl Değeri (kuru bazda)	16500	kJ/kg
Arıtma Çamurunun Nem Miktarı	78	%
Arıtma çamuru Kül Miktarı (kuru bazda)	50	%
Arıtma Çamuru Karbon İçeriği (kuru bazda)	25	%
Arıtma Çamuru Hidrojen İçeriği (kuru bazda)	5	%
Arıtma Çamuru Azot İçeriği (kuru bazda)	9	%
Arıtma Çamuru Kükürt İçeriği (kuru bazda)	1	%
Arıtma Çamuru Oksijen İçeriği (kuru bazda)	10	%

Tablo 4.15 Tesisin ana fizibilite değerleri

Tesis Emreամadeliik* Saati	7500	
Doğalgaz Bedeli	0,7	TL/Nm <sup>3</sup>
Elektrik Bedeli	0,13	YEKDEM 13.3 Cent

\*Emmreamadelik: Yıllık devrede olma süresi.

Tablo 4.16 Senaryo 1 için yakma dengesi

Yakma Dengesi						
Girdiler	Tgiriş (°C)	Debi	Birim	Isıl değeri kJ/kg	Entalpi (MJ/h)	Güç (MWt veya MWe)
Kuru Madde	25	2933,3	kg/h	16500	48400,0	13,44
Nem	25	10400,0	kg/h			
Hava	25	12414,5	Nm3/h			
				Toplam	48400,0	13,4
Çıktılar	Tçıkış(°C)	Debi	Birim	Isıl değeri kJ/kg veya kJ/Nm3	Entalpi (MJ/h)	Güç (MWt veya MWe)
Baca Gazı	850	13251,9	Nm3/h	1,2958	14166,7	3,94
Çamurun Nemi (Buhar Fazda)	850	10400,0	kg/h	2794	29057,6	8,07
Kül	850	1466,7	kg/h	0,84	1016,4	0,28
Yanmamış Karbon		58,7	kg/h	32750,0	1921,3	0,53
Yakma Nemi (Hidrojenden)	850	1320,0	kg/h	2794	3688,1	1,02
Isı Kayıpları					4985,0	1,38
				Toplam	54835,1	15,2
				Fark	-6435,1	-1,8
				Doğal Gaz kullanımı	<b>Evet</b>	
				Kullanılacak DG Miktarı	780,01	Nm3/h
				Kullanılacak DG Bedeli	546,01	TL/h
				Birim Çamur Başına DG Maliyeti	<b>40,95</b>	TL/Ton

Tablo 4.17 Senaryo 1 için elektrik dengesi

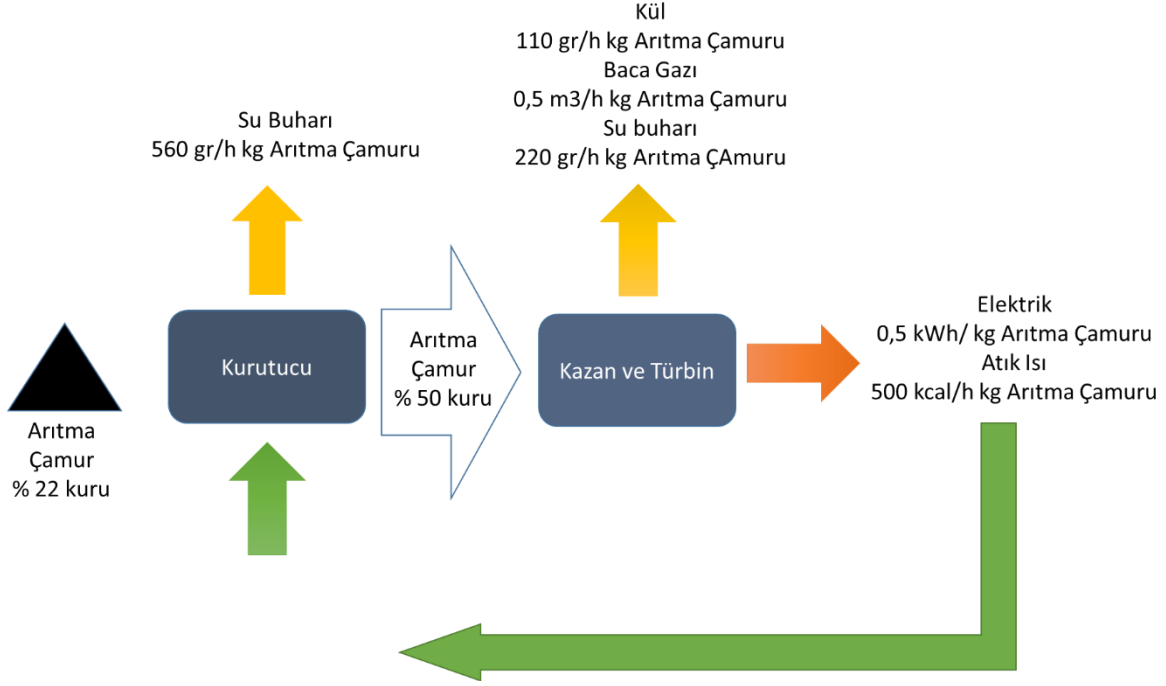
Elektrik Üretim Dengesi						
Girdiler	Tgiriş (°C)	Debi	Birim	Isıl değeri kJ/kg	Entalpi (MJ/h)	Güç (MWt veya MWe)
Baca Gazı	850	13251,9	Nm3/h	1,30	14166,7	3,9
Çamurun Nemi (Buhar Fazda)	850	10400,0	kg/h	2904	29057,6	8,1
Yakma Nemi (Hidrojenden)	850	1320,0	kg/h	2904	3688,1	1,0
					46912,4	13,0
Çıktılar	Tçıkış(°C)	Debi	Birim	Isıl değeri kJ/kg veya kJ/Nm3	Entalpi (MJ/h)	Güç (MWt veya MWe)
Baca Gazı	250	13251,85	Nm3/h	1,2958	3863,6	1,07
Çamurun Nemi (Buhar Fazda)	250	10400,00	kg/h	3106	32302,4	8,97
Yakma Nemi (Hidrojenden)	250	1320,00	kg/h	3106	4099,9	1,14
Isı Kayıpları					4026,6	1,12
Türbin (Verim %30) ile üretilen elektrik					785,9	0,22
					0,0	
				Toplam	46912,4	12,5
				Elektrik Satış kazancı		24,7 USD / Saat

Buradan da görüleceği üzere diğer maliyetler hariç (işçilik, bakım vb.) üretilen elektrik saatlik kazancı 24,7 ABD doları olarak gerçekleşecek olup buna karşılık saatlik 145 Dolar civarında bir doğalgaz tüketilecektir. Ayrıca bu tesis kurulmadan önce nakliye bedelleri hariç (başka bir belediyeden alınan çimento tesisinde yakma bedeli) 40 Dolar/ ton arıtma çamur olan bertaraf bedeli de tasarruf hanesine yazılacaktır. Bu durumda saatlik marjinal kazanç 556.7 Dolar olup doğalgaz tüketimi düşüldüğünde 400 Dolar civarında oluşmaktadır. Bu durumda işletme maliyetleri dikkate alınmadan yapılabilecek ön fizibilite neticesinde 3,3 sene civarında geri ödemesi beklenmektedir. İşletme maliyetleri dikkate alındığında bu süre 5 yıl civarında gelecektir. Ancak bertaraf için herhangi ödeme yapmadan vahşi depolama alanına dökülmesi durumunda herhangi bir geri ödeme gerçekleşmesi olmamaktadır.

## Senaryo 2

Tesiste üretilen günlük 300 ton %22 Kuru madde oranına sahip arıtma çamurunun atık ısı veya güneş ile kurutulması sonucu %50 kurulukta yakma sistemine beslenmesi bu senaryo için temel alınmıştır. Arıtma çamurunun tüm değerleri bir önceki senaryo ile birebir bir aynıdır. Bu durumda yıllık 56.000 ton civarında bir su sisteme dahil edilmeden, bir ön kurutucu ile daha düşük sıcaklıkta uzaklaştırılacaktır. Kurulacak prosesin akış şeması Şekil 4.2'de verilmiştir.





Bu tesise ait değerlendirmede benzer iki tesisin maliyetleri göz önüne alınarak ilk yatırım maliyeti 10.000.000 Dolar ve kurutucu bedeli eklenerek incelenmiştir (arazi bedelleri ve yasal izinler hariç). Yapılan incelemede 2 farklı belediye için kurulan tünel ve akışkan yatak tip benzer kapasitedeki kurutma sistemlerinin 2.000.000 Dolar civarında olduğu görülmüştür. Bu durumda kurutma sistemi dahil üretilecek sistem bedeli 12.000.000 Dolar civarında olacaktır.

Tablo 4.18 ve Tablo 4.19'da yapılan hesaplamalar için girdiler verilmiştir.

Tablo 4.18 Arıtma çamuru bilgileri

Arıtma Çamuru Hakkında Bilgiler		
Arıtma Çamurunun Miktarı	<b>100000</b>	ton/yıl
Arıtma Çamurunun Alt Isıl Değeri (kuru bazda)	<b>16500</b>	kJ/kg
Arıtma Çamurunun Nem Miktarı	<b>78</b>	%
Arıtma çamuru Kül Miktarı (kuru bazda)	<b>50</b>	%
Arıtma Çamuru Karbon İçeriği (kuru bazda)	<b>25</b>	%
Arıtma Çamuru Hidrojen İçeriği (kuru bazda)	<b>5</b>	%
Arıtma Çamuru Azot İçeriği (kuru bazda)	<b>9</b>	%
Arıtma Çamuru Kükürt İçeriği (kuru bazda)	<b>1</b>	%
Arıtma Çamuru Oksijen İçeriği (kuru bazda)	<b>10</b>	%

Tablo 4.19 Tesisin ana fizibilite değerleri

Tesis Emre Adedlik Saati	<b>7500</b>	
Doğalgaz Bedeli	<b>0,7</b>	TL/Nm <sup>3</sup>
Elektrik Bedeli	<b>0,13</b>	YEKDEM 13.3 Cent

Tablo 4.20 Senaryo 2 için yakma dengesi

Yakma Dengesi						
Girdiler	Tgiriş (°C)	Debi	Birim	Isıl değeri kJ/kg	Entalpi (MJ/h)	Güç (MWt veya MWe)
Kuru Madde	25	29333,3	kg/h	16500	484000,0	134,44
Nem	25	29333,3	kg/h			
Hava	25	124145,2	Nm <sup>3</sup> /h			
				Toplam	484000,0	134,4
Çıktılar	Tçıkış(°C)	Debi	Birim	Isıl değeri kJ/kg veya kJ/Nm <sup>3</sup>	Entalpi (MJ/h)	Güç (MWt veya MWe)
Baca Gazı	850	132374,5	Nm <sup>3</sup> /h	1,2958	141513,0	39,31
Çamurun Nemi (Buhar Fazda)	850	29333,3	kg/h	2794	81957,3	22,77
Kül	850	14666,7	kg/h	0,84	10164,0	2,82
Yanmamış Karbon		586,7	kg/h	32750,0	19213,3	5,34
Yakma Nemi (Hidrojenden)	850	13200,0	kg/h	2794	36880,8	10,24
Isı Kayıpları					28972,8	8,05
				Toplam	318701,3	88,5
				Fark	165298,7	45,9
				Doğal Gaz kullanımı	<b>Hayır</b>	
				Kullanılacak DG Miktarı	0,00	Nm <sup>3</sup> /h
				Kullanılacak DG Bedeli	0,00	TL/h
				Birim Çamur Başına DG Maliyeti	<b>0,00</b>	TL/Ton

Tablo 4.21 Senaryo 2 için elektrik dengesi

Elektrik Üretim Dengesi						
Girdiler	Tgiriş (°C)	Debi	Birim	Isıl değeri kJ/kg	Entalpi (MJ/h)	Güç (MWt veya MWe)
Baca Gazı	850	132374,5	Nm3/h	1,30	141513,0	39,3
Çamurun Nemi (Buhar Fazda)	850	29333,3	kg/h	2904	81957,3	22,8
Yakma Nemi (Hidrojenden)	850	13200,0	kg/h	2904	36880,8	10,2
					260351,1	72,3
Çıktılar	Tçıkış(°C)	Debi	Birim	Isıl değeri kJ/kg veya kJ/Nm3	Entalpi (MJ/h)	Güç (MWt veya MWe)
Baca Gazı	250	132374,52	Nm3/h	1,2958	38594,5	10,72
Çamurun Nemi (Buhar Fazda)	250	29333,33	kg/h	3106	91109,3	25,31
Yakma Nemi (Hidrojenden)	250	13200,00	kg/h	3106	40999,2	11,39
Isı Kayıpları					17070,3	4,74
Türbin (Verim %30) ile üretilen elektrik					21773,4	6,05
					0,0	
				Toplam	260351,1	58,2
				Elektrik Satış kazancı	683,7	USD / Saat

Buradan da görüleceği üzere diğer maliyetler hariç (işçilik bakım vb.) üretilen elektrik saatlik kazancı 683,7 ABD doları olarak gerçekleşecek olup buna karşılık bir doğalgaz tüketimi olmayacaktır. Ayrıca bu tesis kurulmadan önce nakliye bedelleri hariç (başka bir belediyeden alınan çimento tesisinde yakma bedeli) 40 Dolar/ ton arıtma çamur olan bertaraf bedeli de tasarruf hanesine yazılacaktır. Bu durumda saatlik marjinal kazanç 1215 Dolar civarında oluşmaktadır. Bu durumda işletme maliyetleri dikkate alınmadan yapılan ön fizibilite neticesinde 1,3 sene civarında geri ödemesi beklenmektedir. İşletme maliyetleri dikkate alındığında bu süre 2-3 yıl civarında gelecektir. Ancak bertaraf için herhangi ödeme yapmadan vahşi depolama alanına dökülmesi durumunda sadece elektrik bedeli üzerinden bir geri ödeme oluşması durumunda basit geri ödeme süresi işletme giderleri hariç 2-3 sene civarında gerçekleşecektir.

Birinci ve ikinci senaryo değerlendirildiğinde kurutma miktarının sistemin fizibilitesinde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Yatırım için daha fazla numune ile analizler yapılarak deneysel sonuçları da içerecek şekilde ayrıntılı fizibilite yapılması gereklidir.

## 5 TÜRKİYE'DE UYGULANAN YENİLENEBİLİR ENERJİ TEŞVİKLERİ

Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları; çevre dostu olması, ülkelerin tasarruflarını arttırması, yerli kaynaklara yönelmeyi sağlaması, gelişen teknolojilere paralel olarak daha düşük maliyetle yatırım imkânına sahip olması açısından, fosil kökenli enerji kaynaklarına göre çok büyük avantajlara sahiptir. Türkiye bulunduğu coğrafi ve matematiksel konum itibariyle, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından birçok gelişmiş ülkeden daha zengin durumdadır. Buna karşın gerekli yasa ve mevzuatların düzenlenmesindeki süreçler, vatandaşların yenilenebilir enerji hakkında yeteri kadar bilinçlendirilmemesi, dış ülkelerle uzun vadeli yapılan fosil yakıt anlaşmaları Türkiye'nin önündeki engeller olarak durmaktadır.

Türkiye enerji sektörü, 2001 yılından bu yana doğru reformlarla çok ciddi bir yapılanma sürecinden geçmiştir. Piyasalara ilişkin gerekli yasalar çıkartılmış, ikincil mevzuat düzenlemeleri de büyük oranda tamamlanmıştır. Buna bağlı olarak, rekabetçi ve şeffaf bir enerji piyasası için gerekli adımların büyük çoğunluğu atılmıştır (Yazar, 2010).

Türkiye'de 2005 yılından itibaren yenilenebilir enerjiyi teşvik edici politikalar uygulanmaya başlamıştır. Türkiye Devleti, 5346 sayılı yenilenebilir enerji kanunu (YEK) ile birlikte yenilenebilir enerji için yerli kaynakların kullanımının arttırılmasını amaçlamış, bu doğrultuda yatırımcılar için belirli teşvik uygulamalarına gitmiştir. Fakat bütün yenilenebilir enerji kaynakları için 5-5,5 \$ cent olarak eşit sabit fiyat garantisi belirlenmesi özellikle güneş enerjisinden elektrik üretimi açısından sıkıntı yaratmıştır. Nitekim 2010 yılında yapılan yeni düzenlemelerle birlikte her bir yenilenebilir enerji kaynakları için farklı sabit fiyat garantisi belirlenmiş, yerli katkı ilavesi getirilmiştir. Bunun sonucunda yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar ivme kazanmıştır. Türkiye'de mevcutta uygulanan teşvikler sabit fiyat garantisi, lisanssız üretim hakkı ve yatırımları özendirmeye yönelik teşvikler olarak incelenebilmektedir.

### 5.1 Sabit Fiyat Garantisi

Dünya'da ve Türkiye'de en yaygın biçimde kullanılan destek ve teşvik mekanizmalarının başında sabit fiyat garantisi gelmektedir. Bu mekanizmada, her bir yenilenebilir enerji kaynağı için farklı miktarlarda sabit fiyat garantisi planı uygulanmaktadır. Gerçek veya tüzel kişiler, ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjilerini dağıtım sistemine vermeleri halinde 6094 sayılı Kanun'da verilen (I) sayılı cetveldeki fiyatlardan 10 yıl süre ile yararlanabilmektedir. Tablo 5.1 incelendiğinde; hidroelektrik ve rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi için uygulanan sabit fiyat garantisi 7,3 cent iken, jeotermal enerjiye dayalı üretim tesisi için 10,5 cent, biyokütle ve güneş enerjisine dayalı üretim için 13,3 cent sabit fiyat garantisi uygulandığı görülmektedir (29/12/2010 tarihli 6094 Sayılı Kanun).

Tablo 5.1 Türkiye’de yenilenebilir enerji için uygulanan sabit fiyatlar

<b>(I) Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)</b>	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Lisans sahibi gerçek veya tüzel kişilerin, 31.12.2020 tarihinden önce işletmeye giren üretim tesislerinde yararlanılan mekanik veya elektro- mekanik aksamın yurt içinde üretilmesi halinde, bu tesislerden elde edilip iletim ve dağıtım sistemine gönderilen elektrik enerjisi için, (I) sayılı cetvelde sunulan fiyatlara, (II) sayılı cetvelde yer alan yerli katkı ilavesi eklenmektedir. Tablo 5.2’de görüldüğü üzere, hidroelektrik üretim tesisinde yurt içinde gerçekleştirilen türbin ve jeneratör güç elektriği imalatı için toplam 2,3 cent yerli katkı ilavesi uygulanırken, rüzgâr üretim tesisinde yurt içinde gerçekleştirilen kanat, jeneratör ve güç elektriği, türbin kulesi ve Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamının imalatı için toplam 3,7 cent yerli katkı ilavesi uygulanmaktadır. Fotovoltaik (PV) enerjiye dayalı üretim tesisinde yurt içinde gerçekleştirilen imalat için toplam 6,7 cent, yoğunlaştırılmış enerjiye dayalı üretim tesisinde yurt içinde gerçekleştirilen imalat için toplam 9,2 cent, biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisinde yurt içinde gerçekleştirilen imalat için toplam 5,6 cent son olarak jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisinde yurt içinde gerçekleştirilen imalat için toplam 2,7 cent yerli katkı ilavesi uygulanmaktadır (29/12/2010 tarihli 6094 sayılı Kanunun).

Tablo 5.2 Türkiye’de teknoloji bazında sabit alım fiyat garantisi ve yerli katkı ilavesi

(II) Sayılı Cetvel		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
A- Hidroelektrik üretim tesisi	1- Türbin	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
B- Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Kanat	0,8
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3- Türbin kulesi	0,6
	4- Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3
C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2- PV modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvörtör	0,6
	5- PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme	0,5
D- Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Radyasyon toplama tüpü	2,4
	2- Yansıtıcı yüzey levhası	0,6
	3- Güneş takip sistemi	0,6
	4- Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	5- Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	6- Stirling motoru	1,3
	7- Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği	0,6
E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2,0
	5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7- Kojenerasyon sistemi	0,4
F- Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Buhar veya gaz türbini	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	0,7
	3- Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7

## 5.2 Lisanssız Üretim Hakkı

Lisanssız üretim hakkı, sabit fiyat garantisi sisteminden sonra yatırımcıları yenilenebilir enerji piyasasına çekmek için kullanılan önemli bir teşvik ve destekleme mekanizması olarak görülmektedir. Lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurulu gücü 500 kW’tan 1 MW’a çıkartılmış ayrıca rekabetin gelişmesi ve arz güvenliğinin sağlanması açısından yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisinin kurulu gücü Bakanlar



Kurulu tarafından 5 kata kadar (5 MW) arttırılması kararlaştırılmıştır (YEGM, Destek Mekanizması). Bununla birlikte Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik Madde 5-f'te belirtilen "Belediyelerin katı atık tesisleri ile arıtma tesisi çamurlarının bertarafında kullanılmak üzere kurulan üretim tesisleri" ve Madde 5-g'de belirtilen "Sermayesinin yarısından fazlası doğrudan veya dolaylı olarak belediyeye ait olan tüzel kişilerce, belediyeler tarafından işletilen su isale hatları ile atıksu isale hatları üzerinde teknik imkanın olması ve DSİ tarafından uygun bulunması halinde kurulan üretim tesisleri" maddeleri uyarınca kurulu güç sınır değerinden (1MW) bağımsız olarak lisans alma ve şirket kurma muafiyeti uygulanmaktadır.

### 5.3 Türkiye'de Yeni Yatırımları Özendirmeye Yönelik Teşvikler

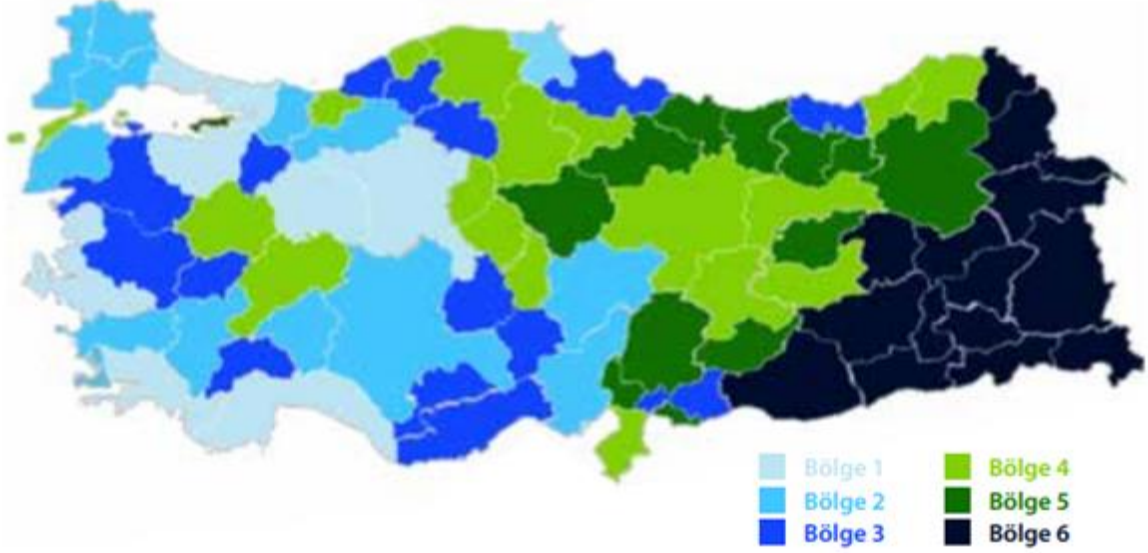
Sabit fiyat garantisi ve lisanssız üretim teşvik mekanizmalarından sonra 2012 Nisan ayında açıklanan ve Haziran ayında yürürlüğe giren yeni yatırım teşvik programının sağladığı destekler, 1 Ocak 2012'den beri geçerlidir ve 4 ana bileşenden oluşmaktadır:

#### 5.3.1 Genel teşvik uygulamaları

Teşvik edilmeyen yatırım konuları arasında yer almayan, öngörülen asgari yatırım tutarını sağlayan tüm yatırım türleri için geçerlidir. Genel teşvik uygulamaları kapsamında desteklenen yatırımlar için, KDV istisnası ve Gümrük Vergisi Muafiyeti destekleri sağlanmaktadır (Akdeniz İhracatçı Birlikleri, 2015).

#### 5.3.2 Bölgesel teşvik uygulamaları

Bölgesel teşvik uygulamalarının temel gayesi; bölgeler arası gelişmişlik seviyesini minimuma indirerek bölgeleri yakın seviyelere getirmektir. Farklı yatırımlar için asgari yatırım miktarları belirlenmiş, asgari yatırım miktarları 1. ve 2. Bölgeler için 1 milyon TL, 3, 4, 5 ve 6. Bölgeler için 500.000 TL'dir. İlaveten, yalnızca 6. Bölge için %38'lik ek bir işgücü maliyeti indirimi uygulanmaktadır. Teşvik bölgeleri Şekil 5.1'de verilmiştir (YEGM, Destek Mekanizması).



Şekil 5.1 Teşvik planına göre Türkiye'nin bölgeleri  
(YEGM, Destek Mekanizması)

### 5.3.3 Büyük ölçekli yatırımların teşviki

Büyük ölçekli yatırımların teşvikinde temel amaç, AR-GE ve teknoloji açısından Türkiye'nin mevcut kapasitesini artırma ve uluslararası rekabet gücünü sağlamak olarak belirlenmiştir (Akdeniz İhracatçı Birlikleri, 2015).

### 5.3.4 Stratejik yatırımların teşviki

Stratejik yatırımların teşvikinde temel amaç, özellikle yurt içi üretim kapasitesinin dış alımdan daha az olduğu ara malların veya ürünlerin üretimini yaygınlaştırmaktır. Sabit yatırım tutarı minimum 50 milyon TL tutarındaki yatırımlar bu uygulamadan yararlanabilmektedir (Akdeniz İhracatçı Birlikleri, 2015).

## 6 SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde faaliyet gösteren atıksu arıtma tesislerinin enerji tüketimi açısından verimli hale getirilmesi ve enerji verimli teknolojilere geçiş amacıyla, atıksu arıtma tesislerinde kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin araştırılması ve pilot uygulama yapılabilecek alternatiflerin belirlenmesi ve kavramsal tasarımlarının yapılmasıdır. Bu raporda, atıksu arıtma tesislerinde üretilen/tüketilen enerji dengesini olumlu yönde geliştirilmesi amacı ile alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının (HES, güneş, rüzgar ve biyokütle) kullanımı ve arıtma çamurlarından termal yöntemlerle enerji elde edilmesi konuları mevcut ulusal ve uluslararası tesisler/teknolojiler ile ilgili açık literatürde verilen bilgiler ve yerinde incelemeler sonucunda elde edilen bulgular ışığında derlenmiştir.

Türkiye’de atıksu arıtma tesislerinde, yenilenebilir enerji teknolojileri arasında hidroelektrik ile enerji üretimi, güneş enerjisi ile elektrik üretimi ve çamur kurutma, arıtma çamurundan termokimyasal ve biyolojik çevrimler ile elektrik üretimi uygulamaları potansiyel ve ekonomik açıdan katma değeri yüksek seçenekler olarak tespit edilmiştir. Entegre arıtma çamuru kurutma ve yakma sistemleri ve hidroelektrik sistemleri uygulamalarında, nispeten az sayıda örnek bulunması nedeni ile bu konularda gerçekleştirilecek çalışmaların (pilot uygulamaların, rehberlerin geliştirilmesi çalışmalarının vb.) desteklenmesinde fayda görülmektedir. Proje kapsamında, atıksu arıtma tesisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik, web tabanlı bir hesap aracı geliştirilmiştir. Web tabanlı hesap aracı kullanılarak, hidroelektrik enerji ile bölgesel olarak güneş ve rüzgar için yıllık olarak üretilebilecek enerji miktarı hesaplanabilmektedir. Hesaplamalar, bölgesel güneş ve rüzgar potansiyelleri ve haritaları kullanılarak yapılmaktadır ve ortalama yansıtacağı unutulmamalıdır. Örneğin, tesiste güneş panellerin konmasının planlandığı alanda, yüksek bina ve/veya dağ gibi güneş almanın engellenebileceği durumlar, lokal ve tesis konumuna özel olarak ayrıca değerlendirilmelidir. Bununla birlikte, atıksu arıtma tesisi işletmecilerinin, söz konusu yenilenebilir enerji teknolojilerini uygulamak istemeleri durumunda, mevcut mevzuat kapsamında ilgili ölçüm ve analizleri yapması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, literatür bilgileri ve proje kapsamında gerçekleştirilen çalıştay sonucunda ortaya çıkan teknoloji karşılaştırma tablosunu (Tablo 6.2) ön fikir açısından değerlendirmeye alabilirler.

Atıksu arıtma tesisleri uygulamaları açısından, her bir bölgenin enerji potansiyeli (-il bazında değerlendirilmiş ve sonuçları

Tablo 6.1’de verilmiştir. Enerji potansiyelinin karşılaştırılması için, arıtma çamuru, güneş ve rüzgardan elde edilebilecek enerji miktarları, TEP (Ton Eşdeğer Petrol) cinsinden ifade edilmiştir. Burada, 1 TEP, 1 ton petrolün yakılması ile elde edilecek enerjiye eşittir.

Buna göre, aynı il için yenilenebilir enerji kaynaklarının birbirine kıyasla potansiyelleri ile iller arasında farklı yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilecek enerji potansiyelleri karşılaştırılabilir.

Hidroelektrik enerji potansiyeli ise, bölgesel özelliklere değil, arıtma tesisi özelliklerine bağlıdır (örn. düşü yüksekliğinin bulunup bulunmadığı ve/veya hangi debiye sahip AAT'de ne kadar düşü yüksekliğinin bulunduğu vb.). Bu nedenle, bölgesel bir enerji potansiyelinden değil, tesis bazında bir potansiyelden bahsetmek söz konusudur. Bunun için, proje kapsamında geliştirilen, web tabanlı hesap aracı kullanılabilir. Güneş ve rüzgar enerjisi uygulamalarında, enerji potansiyelini belirleyen en önemli parametrelerden birisi, kurulacak yenilenebilir enerji tesisinin kapasitesidir. Bu doğrultuda, güneş kaynaklı enerji potansiyelinin tahmin edilebilmesi için, her bir atıksu arıtma tesisinde ortalama 1.000 m<sup>2</sup> güneş paneli kurulacağı, rüzgâr kaynaklı enerji potansiyelinin tahmin edilebilmesi için ise, her bir atıksu arıtma tesisinde 50 m kanat çapına sahip bir adet türbin (1962,5 m<sup>2</sup> süpürme alanı) kurulacağı kabul edilmiştir. Arıtma tesislerinde kurulacak güneş paneli alanı ve türbin sayısı, çapı vb. arttıkça, enerji potansiyeli artacaktır. Ancak burada da, tesis bünyesinde ve civarında yeterli alanın bulunup bulunmadığı, yeterli güneşlenmenin sağlanıp sağlanmadığı (örn. güneşlenmeyi etkileyebilecek dağ ya da yüksek bina vb. bulunup bulunmadığı) gibi parametreler ve finansal fizibilite limitleyici olacaktır ve noktasal olarak değerlendirilmelidir.

Toplam enerji potansiyeli değerlendirildiğinde, arıtma çamuru ve güneş kaynaklı enerji potansiyelinin, rüzgar kaynaklı enerji potansiyeline kıyasla daha yüksek olduğu söylenebilir.

Tablo 6.1 İllere göre arıtma çamuru, güneş ve rüzgar enerji içeriği (TEP/yıl)

İller	Arıtma Çamuru	Güneş*	Rüzgar**
Adana	6384,9	1116,5	18,8
Adıyaman	162,3	798,6	19,0
Afyonkarahisar	483,6	2049,2	118,6
Aksaray	veri yok	1664,3	54,6
Amasya	95,6	657,0	34,5
Ankara	4721,8	2432,4	97,7
Antalya	47809,9	5231,9	118,8
Ardahan	veri yok	123,5	4,0
Artvin	210,3	104,7	2,6
Aydın	87,6	5635,6	226,2
Balıkesir	583,4	2497,9	258,3
Bartın	veri yok	643,8	35,6
Batman	veri yok	157,0	1,8
Bayburt	veri yok	139,7	7,4
Bilecik	4,8	673,5	29,1
Bingöl	18,1	433,8	15,0
Bitlis	325,4	581,1	36,6
Bolu	58,8	381,7	14,3
Burdur	45,6	946,0	22,3
Bursa	6248,1	11421,9	708,3

İller	Arıtma Çamuru	Güneş*	Rüzgar**
Çanakkale	773,6	2317,2	285,7
Çankırı	veri yok	2004,5	80,8
Çorum	567,9	2733,3	110,9
Denizli	1,4	4352,3	117,8
Diyarbakır	2100,0	310,0	8,4
Düzce	130,5	374,3	6,2
Edirne	0,5	1806,3	183,5
Elazığ	288,0	457,4	20,0
Erzincan	26,4	993,9	32,9
Erzurum	210,0	410,0	15,0
Eskişehir	1876,8	570,0	19,4
Gaziantep	6625,5	796,3	48,0
Giresun	veri yok	980,7	22,2
Gümüşhane	103,4	384,5	16,4
Hatay	573,6	1728,4	86,6
Isparta	787,2	1539,0	82,4
İstanbul	63765,0	9498,7	1051,8
İzmir	8003,9	10134,8	878,9
Kahramanmaraş	25,0	628,4	15,2
Karabük	15,6	385,5	10,2
Karaman	34,6	1262,4	58,8
Kars	veri yok	129,4	12,4
Kastamonu	23,3	894,8	41,4
Kayseri	6387,0	2222,8	138,2
Kırıkkale	54,7	287,7	12,5
Kırklareli	448,6	1716,3	146,4
Kırşehir	481,8	294,3	10,7
Kilis	648,0	162,5	10,6
Kocaeli	4105,1	2678,9	181,5
Konya	3285,0	9857,9	467,2
Kütahya	1161,1	1558,4	79,1
Malatya	1738,9	309,9	5,7
Manisa	1472,1	2303,4	116,2
Mardin	veri yok	1900,6	102,5
Mersin	2344,9	1981,4	66,5
Muğla	2496,6	4819,4	301,0
Nevşehir	346,5	1185,1	47,1
Niğde	84,1	1233,1	36,5
Ordu	864,0	2032,4	113,8
Osmaniye	945,3	619,6	25,4
Rize	veri yok	425,8	7,4
Sakarya	1142,9	636,2	26,4

İller	Arıtma Çamuru	Güneş*	Rüzgar**
Samsun	2470,1	1365,0	82,2
Siirt	175,2	155,1	2,1
Sinop	veri yok	498,4	50,9
Sivas	1187,0	2255,8	165,1
Şanlıurfa	390,0	1136,0	27,3
Şırnak	veri yok	154,6	3,1
Tekirdağ	veri yok	2561,2	264,4
Tokat	363,3	2968,0	210,7
Trabzon	veri yok	1718,4	49,7
Tunceli	57,8	149,6	1,9
Uşak	600,0	457,3	22,2
Van	104,5	1052,3	19,4
Yalova	68,1	667,9	66,1
Yozgat	114,0	4666,1	375,9
Zonguldak	1501,7	771,8	21,4
<b>Genel Toplam</b>	<b>188210,7</b>	<b>139185,4</b>	<b>8285,7</b>

\* Her bir atıksu arıtma tesisinde 1.000 m<sup>2</sup> güneş paneli bulunduğu kabulü yapılmıştır.

\*\* Her bir atıksu arıtma tesisinde 50 m kanat çapına sahip bir adet türbin (1962,5 m<sup>2</sup> süpürme alanı) bulunacağı kabulü yapılmıştır.

Ön plana çıkan diğer bir önemli husus ise; arıtma tesislerinde enerji verimliliğinin artırılması yönünde gerçekleştirilecek çalışmalardır. Ülkemizde faaliyet gösteren arıtma tesislerinde önemli miktarda enerji verimliliği potansiyeli bulunmaktadır. Kullanılan enerjinin uygun teknoloji ve işletme yöntemleri ile azaltılmasına yönelik çalışmalar incelendiğinde, arıtma tesisinde tüketilen enerjinin %75'ine tekabül eden elektrik motorları ve pompalar üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Motorların verimli sınıftan seçilmesi, devir kontrolü, pompa kanatlarının kaplanması, pompa dizayn değişiklikleri bunlara örneklerdir. Bunun için öncelikli olarak, AAT'lerde farklı kriterlerin (atık su özellikleri, arıtma tipi, topoğrafya vb.) enerji verimliliğine ne kadar etki ettiğini tespit üzere enerji üretim / tüketim taraması (ölçüm ve etüt) yapılması ve daha sonra verimlilik ve yenilenebilir enerji kullanım potansiyellerinin ortaya konması faydalı olacaktır. Bu doğrultuda, elde edilecek veriler kullanılarak, geliştirilecek bir web tabanlı mukayese (benchmarking) aracı ile atıksu arıtma tesislerinde bir öz değerlendirme ve farkındalık oluşturulması, geliştirilmeye ihtiyaç duyulan aşamaların belirlenmesine ve enerji tasarrufuna katkı sağlayacaktır. Bu nedenle, enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik mevcut durumun değerlendirilebileceği ve çeşitli araçların geliştirilebileceği projelerin desteklenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, halihazırda kurulu durumda olan birçok tesiste, gerek tasarım sırasında ön görülen atıksu miktarı ve karakterizasyonunun gerçekleşen değerlerin çok üstünde kalması, gerekse de ekipman seçimi sırasında emniyetli tarafta kalmak için yapılan kabuller sebebiyle, ihtiyaçtan çok büyük kapasiteli ekipmanların seçildiği görülmektedir. Bu büyük kapasiteli ekipmanları spesifik enerji tüketimleri olması gerekenin oldukça üstünde olduğu görülmektedir. Enerji verimliliği,



ekipman seçimi/yenilemesi sürecinde, tasarım ve kurulum aşamasında, bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışma kapsamında yapılan tarama ve incelemelerde, arıtma tesislerinde farklı teknolojileri ve büyüklükleri içeren kapsayıcı enerji verimliliği kriterlerine ait bilgiler, ülkemiz için tespit edilememiştir. Tesislerin enerji tüketimlerinin iç dağılımı ise farklı tesislerden farklı yöntemler ile ifade edilmektedir. Bu durumda toplam enerji tüketiminin, arıtılan su miktarına oranı üzerinden gidilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu durum, tesisler arasında kıyaslamada sorunlar oluşturmakta ve model projelerin oluşmasına veya yaygınlaşmasına engel teşkil etmektedir.



Bu tesislerin ve birkaç tesisin, ilaveten ölçüm sistemleri ile incelenerek enerji dengelerinin ortaya çıkarılmasının gerekliliği en önemli tespit olarak ifade edilebilir. Bu veriler ışığında, farklı kriterlerin (atıksu özellikleri topoğrafya, teknoloji vd.) ne kadar etki ettiği tespit edilerek ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile birleştirilerek ortaya bir benchmarking (kıyaslama) aracı oluşturulması bir çok açıdan faydalı olacaktır. Ayrıca seçilecek belli sayıda kritere bağlı olarak belirlenecek örnek tesislerde, enerji taraması (ölçüm ve etüt dâhil) yapılarak, verimlilik ve yenilenebilir enerji kullanım potansiyellerinin ortaya koyulması uygun olacaktır. Elde edilen veriler, düzenlenecek geniş katılımlı ve kriterleri içeren anketler ile birleştirilerek, her bir kullanıcıya özel açık bir benchmarking aracının oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu aracın, web üzerinden ulaşılabilir olması, öz değerlendirme ve farkındalık oluşturması açısından önem arz etmektedir. Ayrıca ortaya konacak etiketleme sistemi ile arıtma tesislerinin enerji tüketimi açısından geliştirilmesi sağlanabilir.

AAT'lerde önemli bir enerji tasarrufu potansiyeli mevcut görünmekte olup, bu potansiyelin harekete geçirilmesinde üstünde durulması önerilen çalışma konuları şu şekildedir:

- Arıtma çamuru ve diğer atıklar ile birlikte kurutma ve yakma ile yardımcı yakıt olmadan elektrik üretimi
- Arıtma tesislerinde giriş kısmında Arşimet vidası ile elektrik üretimi
- Arıtma tesislerinde enerji etiketleme ve benchmarking aracı
- Arıtma çamurundan doğalgaz ve sıvı yakıt üretimi
- Arıtma tesislerinde üretilen malzemelerden değerli madde geri kazanım



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 178/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

Arıtma çamurunun, kuru madde içeriğinde % 50 mertebesine kadar ulaşan ve çoğu (%70-80) düşük sıcaklıkta buharlaşan organik maddeler bulunmaktadır. Bu yapı literatürde verilen bilgiler ve deneysel çalışmalar ışığında hidrotermal veya piroliz prosesleri ile gaz ve sıvı yakıtlara dönüştürülerek daha yüksek katma değer oluşturulabilmektedir. Elde edilen gaz ve sıvı yakıtlar çevresel açıdan fosil yakıtlara nazaran daha kabul edilebilir olmakta ve belli iyileştirme prosesleri sonucunda doğalgaz dağıtımını veya araçlarda kullanılması uygun olarak değerlendirilmektedir. 10 kg arıtma çamurundan 1-1,2 litre yeşil dizel üretilmesi şu anki teknoloji ile mümkündür. Bu teknoloji üzerinde pilot sistemler ile çalışılarak, operasyonel iyileştirmeler ile şu anki fiyatlar ile rekabet edebilir teknolojiler geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet kalemleri sistemin tipine ve kurulum yeri özelliklerine göre değişmek ile birlikte; Güneşte ana maliyet unsurları güneş paneli, arazi, güç sevk ve idare sistemleri, Rüzgarda kule, kanatlar ve generatör, Hidroda inşaat, türbinler ve generatör, Arıtma çamurunda ise kazan ve baca gazı arıtma elemanlarıdır

Ayrıca enerji ile doğrudan alakalı görülmesi de arıtma tesislerinde üretilen malzemelerden değerli madde geri kazanımı önemli bir pilot proje olarak nitelendirilebilir.

Yenilenebilir enerji uygulamalarının yanı sıra, yukarıda belirtilen uygulamalar ile ülkemizde bulunan arıtma tesislerinde sağlanacak enerji verimliliği sayesinde, pozitif enerji konseptine uygun tesislerin olabileceği ve %40 ile %50 arasında mevcut duruma göre kaynak kullanımında azalma sağlanabileceği öngörülmektedir.

Tablo 6.2 Yenilenebilir enerji teknoloji karşılaştırmaları

	Hidroelektrik	Güneş Elektrik	Güneş Kurutma	Rüzgar	Arıtma Çamurundan Enerji Üretimi	Biyokütle	Biyogaz
<b>Geri ödeme süresi</b>	4-6 Yıl	4-7 Yıl	3-12 <sup>1</sup>	7-15 Yıl <sup>2</sup>	6-8 Yıl <sup>3</sup>	6-8 Yıl	4-8 Yıl
<b>Yerli Teknoloji</b>	Evet ancak ithal komponentler kullanılmaktadır.	Yerleşme devam etmektedir.	Evet	Yerleşme devam etmektedir.	Evet ancak ithal komponentler kullanılmaktadır	Evet ancak ithal komponentler kullanılmaktadır	Ana maliyet unsularından ithal ürün bulunmaktadır.
<b>Yatırım Maliyeti</b>	2000 – 3000 USD/kW	1500-3500 USD/kW	1650-3300 USD /Ton	2500 – 5000 USD /kW	3500-6000 USD/kW	3500-6000 USD/kW	2500-6000 USD/kW
<b>Uygulama kolaylığı</b>	Orta - Demo tesisler belli sayıda var	Kolay Demo tesisler fazla	Orta - Demo tesisler var	Orta Demo tesisler AATlerde az	Teknik bilgi ihtiyacı var ve demo tesis az	Teknik bilgi ihtiyacı var ve demo tesis az	Orta Demo tesisler fazla
<b>İşletme kolaylığı</b>	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay	Orta	Orta	Kolay-Orta
<b>Çevresel etki</b>	Az	Orta	Az	Orta	Orta	Orta	Orta
<b>Finansman</b>	Mevcut	Mevcut	Uygulama yok	Mevcut	Destekler ve Özkaynaklar	Orta	Mevcut
<b>CO<sub>2</sub> Azaltımı</b>	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek

<sup>1</sup> Güneşlenme süresi ve miktarına göre bölge bazında değerlendirilmelidir.

<sup>2</sup> Arıtma Tesisinin lokasyonu genelde çukur alanlarda olduğunda rüzgar yönünden zengin bölgelerde kurulması durumunda ekonomik olarak yapılabilir olduğu görülmüştür.

<sup>3</sup> Güneşle kurutma ile entegre olur ise geri ödeme süresi azalmaktadır. Kuru madde oranı ve içeriği oldukça etkilemektedir.

	Hidroelektrik	Güneş Elektrik	Güneş Kurutma	Rüzgar	Arıtma Çamurundan Enerji Üretimi	Biyokütle	Biyogaz
<b>Entegrasyon</b>	Kolay iç tüketime yönelik	Orta <sup>4</sup>	Kolay	Orta	Kolay	Kolay	Kolay
<b>Verim artış miktarı</b>	Orta	Orta	Yüksek	Az	Yüksek	Yüksek	Orta
<b>Dikkat edilecek hususlar</b>	Sistemin kurulacağı yerde gerçekçi ölçümler yapılmalıdır	Hücre teknolojisi doğru seçilmeli, inşaat ve konstrüksiyon gereken yerlerde maliyetlerin artacağı öngörülmelidir. Ayrıca çevre koşullarının da etkisi değerlendirilmelidir.	Güney illerde daha yüksek yapılabirlik bulunmaktadır.	Arıtma tesisi içerisindeki rüzgar hızları genelde düşük olmakta ancak idareler yakın bölgelerde türbinler yerleştirebilmektedir.	Demo tesisler az olmakla birlikte hızla artmaktadır. Ön kurutma oldukça önem arz etmektedir. İlgili direktifin dikkatle incelenerek emisyon önlemlerinin baştan dikkate alınması gereklidir.	Biyogaz tesisi arıtma çamuru, içerisindeki karbon içeriğini azaltmaktadır. Yakma tesisi kurulacak yerlerde tekrar değerlendirilmelidir.	

<sup>4</sup> İç tüketim için kolay olmakla birlikte satılması istenmesi durumunda trafo kapasitesi problem olabilmektedir.

## 7 KAYNAKLAR

AB Çevre Genel Müdürlüğü. (2015). Yeşil Avrupa Başkenti, Essen (European Green Capital Essen, 2017): [http://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2015/06/09\\_Application-EGC-2017\\_Waste-Water-Management\\_ESSEN.pdf](http://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2015/06/09_Application-EGC-2017_Waste-Water-Management_ESSEN.pdf) Erişim Tarihi: 11 Aralık 2017.

Abbasi, T.; Tauseef, S. M.; & Abbasi, S. A. (2012). Biogas Energy. Springer, New York, ABD.

Abbott, J.; Judge, D.; & Fairfax, T. (2003). Yorkshire Water to upgrade 4 sites by December 2005, UK Water Projects [http://www.waterprojectsonline.com/case\\_studies/2003/Yorkshire\\_Incinerators\\_2003.pdf](http://www.waterprojectsonline.com/case_studies/2003/Yorkshire_Incinerators_2003.pdf) Erişim Tarihi: 27 Kasım 2017.

Achinas, S. , Achinas, V. , Euverink, G.J.W. , (2017). A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. Engineering 3: 299-307.

Akdeniz İhracatçı Birlikleri (2015). Yeni Teşvik Sistemi & Yatırımlarda Devlet Yardımı. Nisan 9, 2015

Akınsal, A. (2009). Rüzgâr Enerjisi Ve Türkiye Rüzgâr Potansiyeli Rüzgâr Enerjisinde Değişken ve Sabit Fiyat Tarifeleri ve Enerji Depolama Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Aksungur, M. K.; Kurban, M., Filik, Ü. B. (2013). Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli.

Arasya Atıksu. (2017). <http://www.arasyaatiksu.com.tr/HUBER-Solar-Aktif-Kurutucu-SRT-i47> Erişim Tarihi: 10 Ekim 2017.

Arasya Atıksu Çözümleri. (2017). <http://www.arasyaatiksu.com.tr/Eskisehir-OSB-Solar-Aktif-camur-Kurutma-Tesisleri-p1> Erişim Tarihi: 2 Kasım 2017.

ASKİ Genel Müdürlüğü, 2016 Faaliyet Raporu. <http://www.adanaaski.gov.tr/images/2016faaliyet.pdf> Erişim Tarihi: 09 Ocak 2018.

ATBEST Projesi. (2015). Biogas and Energy Production in Wastewater Treatment Plant: <http://www.atbest.eu/FileStore/May2015Files/Fileupload,506940,en.pdf> Erişim Tarihi: 30 Ekim 2017.

Ateş, S.; Akyıldız, M. H.; Vurdu, H.; Akgül, M. (2007). Türkiye'de Orman Kesim Artıkları ve Değerlendirilmesi. Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 7(1), s. 93-103.

Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik. Resmi Gazete Sayı: 27721. Tarihi: 06.10.2010. Erişim Tarihi: 20 Aralık 2017.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği EK-1. Resmi Gazete Sayı: 27527, Tarihi: Mart 2010

Bachelery, P. (2017, Mayıs 15). As-Samra Project: A major asset for Jordan. SFK Konferansı, Ürdün: <https://www.partager-le-savoir.org/wp-content/uploads/2017/06/15-6-2-2017-SKF-Water-recycling-and-Energy-production-in-As-Samra-Samra-080517.pdf> Erişim Tarihi: 25 Aralık 2017.

Bagher, A. M.; Vahid, M. M. A.; & Mohsen, M. (2015). Types of solar cells and application. American Journal of Optics and Photonics, 3 (5), 94-113.

- Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis - Practical Design and Theory. Oxford, UK: Elsevier Inc.
- Bayrak E. H.; Yokuş S.K.; & Pehlivan E. (2014). Ülkemizde evsel atıksu arıtma çamurlarından biyogaz üretimi, Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırma Dergisi (EJOİR) (2) (1).
- Bilandzija, N.; Voca, N., Kricka, T., Matin, A., Jurisic, V. (2012). Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. Spanish Journal of Agricultural Research, 10(2), 292-298.
- Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2017). OSB Bilgi Sitesi: <https://osbbs.sanayi.gov.tr> Erişim Tarihi: 27 Ekim 2017.
- BM Çevre Programı Akdeniz Eylem Planı. (2010). Inventory of municipal wastewater treatment plants of coastal Mediterranean cities with more than 2,000 inhabitants.: <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/2175/retrieve> Erişim Tarihi: 21 Aralık 2017.
- Bousquet, C.; Samora, I., Manso, P. (2017). Assessment of hydropower potential in wastewater systems and application to Switzerland 2017. Renewable Energy, 113, 64-73.
- Brekke, H. (2001). Hydraulic Turbines Design, Erection and Operation.
- British Hydropower Association. (2017). [http://www.british-hydro.org/installations/e/esholt\\_sewage\\_treatment\\_works.html](http://www.british-hydro.org/installations/e/esholt_sewage_treatment_works.html) Erişim Tarihi: 24 Kasım 2017
- Cesme Proje Raporu. (2017). <http://www.cesme-book.eu/book/circular-economy-policies-and-framework> Erişim Tarihi: 15 Ocak 2018.
- Chen, G.; Yue, P. L.; & Mujumdar, S., A. (2002). Sludge dewatering and drying. Drying Technology, 20(4-5), 883-916.
- Chen, G.; Yue, P. L.; & Mujumdar, S., A. (2006). Dewatering and drying of wastewater treatment sludge. Handbook of Industrial Drying. (s. 887-903). içinde Boca Raton, FL: CRC Press.
- City of Karlsruhe. (2010). The urban wastewater management of Karlsruhe [https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/tiefbau/entwaesserung/entwaesserungsgebuehr/HF\\_sections/content/ZZk9uVuzOo24XJ/ZZm8pZe22iOIdt/Brosch%C3%BCre\\_2010\\_Englisch\\_2015.pdf](https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/tiefbau/entwaesserung/entwaesserungsgebuehr/HF_sections/content/ZZk9uVuzOo24XJ/ZZm8pZe22iOIdt/Brosch%C3%BCre_2010_Englisch_2015.pdf) Erişim Tarihi:12 Aralık 2017.
- Çakır, M. (2010). Türkiye'nin Rüzgâr Enerji Potansiyeli ve AB Ülkeleri İçindeki Yeri. Politeknik Dergisi, Cilt 13, Sayı 4, s. 287-293.
- Çolak, İ., Demirtaş, M. (2008). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Türkiye'deki Gelişimi. TÜBAV Bilim Dergisi, Sayı 2, 55-62.
- David, D.; O'Brien, D.; Donovan, J. F.; & Spargimino, E. (2013). Co-Digestion at Deer Island Treatment Plant. North East Residuals and Biosolids Konferansı, New Hampshire, ABD <https://static1.squarespace.com/static/54806478e4b0dc44e1698e88/t/54861aa4e4b09d7a30e1e335/1418074788819/Donovan%26Duest-DeerIslandCodigestion-30Oct13.pdf> Erişim Tarihi: 22 Kasım 2017.
- Department of Energy (2017). <https://energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines> Erişim Tarihi: 26 Ekim 2017.
- DSİ Faaliyet Raporu. (2016). <http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2016-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2> Erişim Tarihi: 30 Ekim 2017.





## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 183/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (2009). Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi: <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/GUNES.pdf>

Dünya Enerji Konseyi Türkiye Milli Komitesi. (2007). Hidrolik ve Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu, Biyokütle Enerjisi Alt Çalışma Grubu Raporu. Ankara: Dünya Enerji Konseyi Türkiye Milli Komitesi.

EBC Raporu, (2016). 2016 Water and Wastewater Benchmark Public Report "Learning from International Best Practices": <https://www.ib-net.org/wp-content/uploads/2017/02/EBC2016-WEB-3.pdf> Erişim Tarihi: 26 Aralık 2017.

Ebswien EOS. (2017). <https://www.ebswien.at/en/wastewater/energy/project-e-os/> Erişim Tarihi: 20 Aralık 2017.

Ebswien SternE. (2017). <https://www.ebswien.at/en/wastewater/energy/sterne/> Erişim Tarihi: 6 Aralık 2017.

Emschergenossenschaft LV. (2016, Kasım). Bottrop Wastewater Treatment Plant: [http://www.eglv.de/fileadmin/user\\_upload/FL\\_KA\\_Bottrop\\_englisch\\_2016.pdf](http://www.eglv.de/fileadmin/user_upload/FL_KA_Bottrop_englisch_2016.pdf) Erişim Tarihi: 11 Eylül 2017.

Enerji Atlası. (2017). Güneş Enerji Santralleri <http://www.enerjiatlası.com/gunes/> Erişim Tarihi: 3 Ekim 2017.

Enerji Beş. (2017). Temiz Enerji Portalı: <http://www.enerjibes.com/ruzgar-enerjisinin-avantajlari-ve-dezavantajlari/> Erişim Tarihi: 12 Ekim 2017.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik> Erişim Tarihi: 30 Ekim 2017.

EPDK. Enerji Piyasası Denetleme Kurulu Elektrik Piyasası Üretim Lisansları: <http://lisans.epdk.org.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretim/elektrikUretimOzetSorgula.xhtml> Erişim Tarihi: 1 Aralık 2017.

Ergene Havzası Arıtma Çamuru Yönetim Planının Hazırlanması Projesi Sonuç Raporu (2016). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Namık Kemal Üniversitesi, Cilt 2. <http://csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=webmenu&Id=425> Erişim Tarihi: 02 Ocak 2018.

Filibeli, A. (2005). Arıtma çamurlarının işlenmesi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.

Frijns, J.; & Uijterlinde, C. (2010). Energy efficiency in the European water industry: A compendium of best practices and case studies: <http://www.stowa.nl/upload/publicaties/STOWA%202010-44%20European%20report%20100208%20-%20update.pdf> Erişim Tarihi: 30 Kasım 2017.

Greenbug Energy Inc. (2017). Türbin tipleri: <http://greenbugenergy.com/get-educated-knowledge/types-of-turbines#prettyPhoto> Erişim Tarihi: 26 Ekim 2017.

GASKİ Genel Müdürlüğü, 2013 Faaliyet Raporu. <https://gantep.bel.tr/files/2013-faaliyet-raporu-3.pdf> Erişim Tarihi: 04 Ocak 2018.

Hamburg Wasser. (2017). <https://www.hamburgwasser.de/privatkunden/unser-wasser/der-weg-des-wassers/abwasserreinigung/klaerwerk-hamburg/energieerzeugung/> Erişim Tarihi: 12 Aralık 2017.

Hassan, M.; Ding, W.; Shi, Z.; & Zhao, S. (2016). Methane enhancement through co-digestion of chicken manure and thermo-oxidative cleaved wheat straw with waste activated sludge: AC/N optimization case. *Bioresource Technology*, 211, 534-54.

Hayward, K. (2016). Vienna's journey to wastewater energy self-sufficiency. *Aqua Strategy*. <https://www.aquastrategy.com/article/vienna%E2%80%99s-journey-wastewater-energy-self-sufficiency> Erişim Tarihi: 20 Aralık 2017.

Huber. <http://www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/sludge-treatment/largest-solar-sewage-sludge-drying-site-in-southern-germany-fully-equipped-by-huber.html> Erişim Tarihi: 2 Kasım 2017

İlkılıç, C. (2012). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 165-1173.

İlkılıç, C.; & Deviren, H. (2011). Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Parametreler, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.

IPCC. (2012). Intergovernmental Panel on Climate Change . Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Summary For Policymakers And Technical Summary: [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf) Erişim Tarihi: 15 Ocak 2018.

İSKİ Genel Müdürlüğü, 2016 Yılı Faaliyet Raporu. [http://www.iski.gov.tr/web/assets/SayfalarDocs/faaliyetraporlari/faaliyetraporu/pdf/2016\\_Faaliyet\\_Raporu.pdf](http://www.iski.gov.tr/web/assets/SayfalarDocs/faaliyetraporlari/faaliyetraporu/pdf/2016_Faaliyet_Raporu.pdf) Erişim Tarihi: 05 Ocak 2018.

İspa, M. (2016). DOSAB Arıtma Çamuru Yönetimi, 4. OSB Çevre Zirvesi, Bursa. <http://docplayer.biz.tr/20590530-Dosab-aritma-camuru-yonetimi.html> Erişim Tarihi: 22 Ocak 2018.

İZSU Genel Müdürlüğü, Yılı Faaliyet Raporu (2015). <http://www.izsu.gov.tr/siteitems/documents/FaaliyetRaporlari/2015YiliFaaliyetRaporu.pdf> Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2018.

Karagöl, E., & Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji, SETA Sayı 197. İstanbul: Turkuvaz Haberleşme ve Yayıncılık A.Ş.

Karan, K.; Wheeldon, L. C.; Caners, C.; Peppley, B. (2007). Utilization of biogas generated from Ontario wastewater treatment plants in solid oxide fuel cell systems: a process modeling study. *International Journal of Green Energy*, 4, 221-231.

Kayhan, S. (2016). Organize Sanayi Bölgeleri Üst Kurulu, 4. OSB Çevre Zirvesi, Bursa: [http://osbuk.org/wp-content/uploads/2017/04/sema\\_kayhan-antalya\\_osb-sunum.pdf](http://osbuk.org/wp-content/uploads/2017/04/sema_kayhan-antalya_osb-sunum.pdf) Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2018.

Kıncay, O.; Yumurtacı, Z.; Bekiroğlu, N. (2017). Rüzgâr Enerjisi. [http://www.ozhan.sakarya.edu.tr/sites/ozhan.sakarya.edu.tr/file/Ruzgar\\_enerjisi.pdf](http://www.ozhan.sakarya.edu.tr/sites/ozhan.sakarya.edu.tr/file/Ruzgar_enerjisi.pdf) Erişim Tarihi: 12 Ekim 2017.

KOSKİ Genel Müdürlüğü, 2016 Faaliyet Raporu. [http://www.koski.gov.tr/ekler/koski\\_faaliyet\\_2016.pdf](http://www.koski.gov.tr/ekler/koski_faaliyet_2016.pdf) Erişim Tarihi: 10 Ocak 2018.

Kurt, M. (2014). Çamurun güneşle kurutma tekniklerinin maliyet ve alan ihtiyacı üzerine değerlendirilmesi. Ankara: Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Langergraber, Weissenbacher, (2014). Energy Optimisation Sludge treatment (EOS) at the Vienna main wastewater treatment plant: [http://www.ecosan.at/ssp/issue-21-sludge-treatment/SSP-21\\_Oct2014\\_4-6.pdf/at\\_download/file](http://www.ecosan.at/ssp/issue-21-sludge-treatment/SSP-21_Oct2014_4-6.pdf/at_download/file) Erişim Tarihi: 20 Aralık 2017.

Lastik Sanayicileri Derneği. (2017). <http://www.lasder.org.tr/otl-2/otl/> Erişim Tarihi: 16 Ekim 2017 adresinden alındı

Laurich, F. (2013). Wastewater treatment in Hamburg, German American Chambers of Commerce, Chicago, ABD. [http://www.gaccmidwest.org/fileadmin/ahk\\_chicago/2013\\_EVENTS/2013\\_EKR\\_Wasser/2013\\_PPTs\\_EKR\\_Wasser/Hamburg\\_Wasser\\_-\\_Frank\\_Laurich.pdf](http://www.gaccmidwest.org/fileadmin/ahk_chicago/2013_EVENTS/2013_EKR_Wasser/2013_PPTs_EKR_Wasser/Hamburg_Wasser_-_Frank_Laurich.pdf) Erişim Tarihi: 12 Eylül 2017.

Lazarova, V.; Choo, K.; Cornel, P. (2012). Water-Energy interactions in water reuse, IWA Publishing. Londra: Birleşik Krallık.

Manisa Büyükşehir Belediyesi. [http://www.manisa.bel.tr/Haberler/14299\\_merkez-aatde-solar-camur-kurutma-unitesi-hazir.aspx](http://www.manisa.bel.tr/Haberler/14299_merkez-aatde-solar-camur-kurutma-unitesi-hazir.aspx) Erişim Tarihi: 7 Kasım 2017.

Marsden, A. (2010, Nisan 16). Efficiency harnessed at Esholt. <https://www.edie.net/library/Efficiency-harnessed-at-Esholt/5377> Erişim Tarihi: 24 Kasım 2017.

Mas Hydro. (2017). Archimedes Screw Turbine: [http://www.all-energy.co.uk/\\_\\_novadocuments/79984?v=635628846429330000](http://www.all-energy.co.uk/__novadocuments/79984?v=635628846429330000) Erişim Tarihi: 27 Ekim 2017.

Massachusetts Water Resources Authority. (2017). <http://www.mwra.state.ma.us/03sewer/html/renewableenergydi.htm> Erişim Tarihi: 22 Kasım 2017.

Mennan Makine, Teknik Rapor (2013). <http://www.mennanmakina.com.tr/delfpanel/images/teknik-rapor.pdf> Erişim Tarihi: 19.01.2018.

Mert, I. K. (2016). Güneş enerjisinin atıksu arıtma tesislerinde enerji kaynağı olarak kullanılması. Uzmanlık Tezi, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

MESKİ Genel Müdürlüğü, 2016 Faaliyet Raporu. [http://www.meski.gov.tr/files\\_upload/belgemenu/1497962168.pdf](http://www.meski.gov.tr/files_upload/belgemenu/1497962168.pdf) Erişim Tarihi: 10 Ocak 2018.

Mikrohes A.Ş. (2017). Arşimet Burgu Türbini: <http://www.mikrohes.com.tr/> Erişim Tarihi: 27 Ekim 2017.

Morf, L. (2012). Phosphorus from sewage sludge - The strategy of the Canton of Zurich and Switzerland. Conference: 45. Essner Tagung für Abfall- und Wasserwirtschaft. Essen, Almanya.

Münchener Stadtentwässerung. (2006). Wastewater Treatment Plant Gut Marienhof: [https://www.muenchen.de/rathaus/dam/jcr:50bafc85-2c01-4e8b-bb5a-2c5088adbee3/KW2\\_Broschuere\\_e\\_pdf.pdf](https://www.muenchen.de/rathaus/dam/jcr:50bafc85-2c01-4e8b-bb5a-2c5088adbee3/KW2_Broschuere_e_pdf.pdf) Erişim Tarihi: 14 Eylül 2017.

Münchener Stadtentwässerung. (2013). Wastewater treatment plant Gut Marienhof Münih, Almanya: [https://www.muenchen.de/rathaus/dam/jcr:50bafc85-2c01-4e8b-bb5a-2c5088adbee3/KW2\\_Broschuere\\_e\\_pdf.pdf](https://www.muenchen.de/rathaus/dam/jcr:50bafc85-2c01-4e8b-bb5a-2c5088adbee3/KW2_Broschuere_e_pdf.pdf) Erişim Tarihi: 11 Eylül 2017.

Nadais, M. H. G., Capela, M. I. A., Arroja, L. M. G., Hung, Y. T. (2010). Anaerobic treatment of milk processing wastewater. The Handbook of Applications of Environmental Biotechnology and Bioengineering (s. 555-627). içinde New Jersey, ABD: The Humana Press.

Nevşehir Belediyesi (2016). Nevşehir Belediyesi Güneş Panelleri İle Elektrik Üretiyor, [http://www.nevsehir.bel.tr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2357:nevsehir-belediyesi-guenes-panelleri-ile-elektrik-ueretiyor&catid=53:2015-haber-arsivi-2&Itemid=255](http://www.nevsehir.bel.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=2357:nevsehir-belediyesi-guenes-panelleri-ile-elektrik-ueretiyor&catid=53:2015-haber-arsivi-2&Itemid=255) Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2018.

Nieuwenhuijzen, A. F. (2009). Wastewater Treatment Plant Amsterdam West: New, Large, High-Tech and Sustainable. IWA Publishing, London, UK.

Nurbay, N., & Çınar, A. (2005). Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin.

Oğuz, Y., Karakan, A.; ve Uslu, B. (2015). Afyonkarahisar'da Kurulu Olan Monokristal, Polikristal ve İnce Film Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi. Tesisat Mühendisliği, 149, 149, s. 47-58.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı (2015). Türkiye Orman Varlığı. Ankara: Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Yayın No: 115. Erişim Tarihi: 4 Ekim 2017.

OSB, Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi. (2012). Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.

Otero, M.; Rozada, F.; Calvo, L.F.; Garcia, A.I.; & Moran, A. (2003). Elimination of organic water pollutants using adsorbents obtained from sewage sludge. Dyes and Pigments, 57: 55 - 65.

Outotech. (2016). [https://www.outotec.com/globalassets/products/energy-production/ote\\_outotec\\_sustainable\\_sewage\\_sludge\\_incineration\\_for\\_zurich\\_canton\\_eng\\_w eb.pdf](https://www.outotec.com/globalassets/products/energy-production/ote_outotec_sustainable_sewage_sludge_incineration_for_zurich_canton_eng_w eb.pdf) Erişim Tarihi: 27 Kasım 2017.

Özbay, E.; & Gençoğlu, M. (2009). Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (s. 108-115). Diyarbakır: EMO Diyarbakır Yayınları.

Özcan, M.; Öztürk, S.; & Yıldırım, M. (2011). Türkiye'nin farklı kaynak tiplerine göre biyogaz potansiyellerinin belirlenmesi. VII. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK'2011) (s. 243-247). Kocaeli: EMO.

Özer, B. (2017). Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey. Energy, 139, 1144-1152.

Öztürk, İ. (1999). Anaerobik biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları. İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

Patel, S. (2010). Australia gets hydropower from wastewater. Power. [http://www.powermag.com/renewables/hydro/Australia-Gets-Hydropowerfrom-Wastewater\\_2789.html](http://www.powermag.com/renewables/hydro/Australia-Gets-Hydropowerfrom-Wastewater_2789.html) Erişim Tarihi: 20 Kasım 2017.

Pickerel, K. (2013). REC Solar dedicates 1.1-MW system at wastewater treatment plant. Solar Builder: <https://solarbuildermag.com/news/rec-solar-dedicates-1-1-mw-system-at-wastewater-treatment-plant/> Erişim Tarihi: 28 Kasım 2017.

Post, M. B. (2016). Sea wall around ACUA plant one of many projects awaiting bill signing. The Press of Atlantic City: [http://www.pressofatlanticcity.com/news/breaking/sea-wall-around-acua-plant-one-of-many-projects-awaiting/article\\_0aa17d10-504d-11](http://www.pressofatlanticcity.com/news/breaking/sea-wall-around-acua-plant-one-of-many-projects-awaiting/article_0aa17d10-504d-11) Erişim Tarihi: 20 Kasım 2017.

Raza, A.; Xu, D.; Mian, S., A.; & Ahmed, J. (2013). Micro Hydro Power Plant for Distributed Generation using Municipal Water Waste with Archimedes Screw. Multi Topic Conference (INMIC) s. 66-71. Lahor, Pakistan: IEEE.

Reimann, D. O. (1999). Problems about sewage sludge incineration. European Commission, Workshop on problems around sludge, Italy; s. 173-183. <http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/workshoppart4.pdf> Erişim Tarihi: 12 Ocak 2018.

Ritterbusch, S. (2012). With the power of sun. Inside acat, 12, 1-3. With the power of sun. Basın bildirisi.

Salihoğlu. (2016, Mayıs). Arıtma çamurlarının yönetimi. Organize Sanayi Bölgeleri Üst Kurulu, 4. OSB Çevre Zirvesi, Bursa: [http://osbuk.org/wp-content/uploads/2017/04/doc%CC%A7.dr\\_.n.kamil\\_sall%CC%87hog%CC%86lu-uludag%CC%86\\_u%CC%88ni.-\\_27.5.2016.pdf](http://osbuk.org/wp-content/uploads/2017/04/doc%CC%A7.dr_.n.kamil_sall%CC%87hog%CC%86lu-uludag%CC%86_u%CC%88ni.-_27.5.2016.pdf) Erişim Tarihi: 7 Kasım 2017.

Salihoğlu, N. K. (2007). Atıksu arıtma çamurlarının kapalı yataklarda güneş enerjisiyle kurutulması. İTÜ Dergisi, Su Kirlenmesi Kontrolü, 17(1), 3-14.

Sarıkaya, S. Güneş Enerjisi Sektörel Analiz Raporu. Van: Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı.

Scharenberg, U.; & Pöppke, M. (2010). Large-scale solar sludge drying in Managua/Nicaragua. Wasser und Abfall, 12, 26-27.

Schmelz, K. G. (2011). Sludge handling in Bottrop. EC and Baltic Sea Region Programme PURE Project. Workshop on Sustainable Sludge Handling: [http://www.purebalticsea.eu/index.php/pure:presentations\\_from](http://www.purebalticsea.eu/index.php/pure:presentations_from) Erişim Tarihi: 12 Aralık 2017.

SHAPES Project. (2010). Energy recovery in existing infrastructures with small hydropower plants. Multipurpose schemes – overview and examples.: [http://www.infrawatt.ch/sites/default/files/2010\\_06\\_07\\_Mhyllab%20&%20ESHA\\_Energy%20recovery%20in%20existing%20infrastructures%20with%20small%20hydropower%20plants\\_0.pdf](http://www.infrawatt.ch/sites/default/files/2010_06_07_Mhyllab%20&%20ESHA_Energy%20recovery%20in%20existing%20infrastructures%20with%20small%20hydropower%20plants_0.pdf) Erişim Tarihi: 24 Kasım 2017.

Sheboygan AAT. (2012). Sheboygan Regional Wastewater Treatment Facilities Sheboygan, Wisconsin, ABD. <http://www.sheboyganwwtp.com/files/2012/pdf/Treatment%20Plant%20Brochure%202012.pdf> Erişim Tarihi: 11 Kasım 2017.

Sheboygan AAT. (2017). <http://www.sheboyganwwtp.com/index.php> Erişim Tarihi: 30 Kasım 2017.

Show, K. Y.; Tay, J. H.; & Hung, Y. T. (2010). Ultrasound Pretreatment of Sludge for Anaerobic Digestion. T. J. Wang L. içinde, Environmental Bioengineering. Handbook of Environmental Engineering, vol 11. (s. 53-73). New Jersey, ABD: Humana Press.

Simoës, P. (2013). Energy from waste - Amsterdam. Bioenergy seminar Beijing AEB. [https://www.rvo.nl/sites/default/files/CN-NL%20Bioenergy%20WS%208%20May%202013%20\(Waste%20incineration%20Amsterdam%20Peter%20Simoës%20AEB\).pdf](https://www.rvo.nl/sites/default/files/CN-NL%20Bioenergy%20WS%208%20May%202013%20(Waste%20incineration%20Amsterdam%20Peter%20Simoës%20AEB).pdf) Erişim Tarihi: 27 Kasım 2017.

Sofiyska Voda AD, 2015 Faaliyet Raporu. (2016). <https://www.sofiyskavoda.bg/SVDocuments%20English/Consolidated%20Fiancial%20statment%202015EN.pdf> Erişim Tarihi: 14 Aralık 2017.

Solarevi. Güneş Pilleri: <https://solarevi.com/gunes-paneli> Erişim Tarihi: 20 Eylül 2017.



Spaan Babcock Ltd. (2010). Hydro Power using Waste Water at Esholt WwTW: [https://cms.esi.info/Media/documents/54053\\_1316689157666.pdf](https://cms.esi.info/Media/documents/54053_1316689157666.pdf) Erişim Tarihi: 24 Kasım 2017.

Speece, R. E. (1996). Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Archae Press, Nashville TN.

Spellman, F. R. (2013). Water & Wastewater Infrastructure: Energy Efficiency and Sustainability. CRC Press.

Steel, W. (2017). Self Sufficient Wastewater Treatment - Sharing Denmark's Sustainability Blueprint. Waste Water Treatment International. <http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-32/issue-2/technology-case-studies/self-sufficient-wastewater-treatment-sharing-denmark-s-sustainability-blueprint.html> Erişim Tarihi: 11 Eylül 2017.

Suez. [https://www.suezwaterhandbook.com/content/download/5677/90947/version/2/file/la\\_Feyssine\\_EN\\_A4.pdf](https://www.suezwaterhandbook.com/content/download/5677/90947/version/2/file/la_Feyssine_EN_A4.pdf) Erişim Tarihi: 21 Aralık 2017.

Şenel, M., Koç, E. (2015). Dünyada ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme. Mühendis ve Makina, 56(663), s. 46-56.

Şenel, M., & Koç, E. (2016). Rüzgâr Türbinlerinde Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi. Rüzgâr Enerjisi Dergisi, s. 11-14.

Teghammar, A.; Forgács, G.; Horváth, I. S.; & Taherzadeh, M., J. (2014). Techno-economic study of NMMO pretreatment and biogas production from forest residues, Applied Energy 116:125-133.

Tekno Tasarım A.Ş. (2011). Hidroelektrik Enerji ve Türbinler. Bursa: Tekno Tasarım.

Teknoloji Ödülleri, 11. Dönem. <http://teknoloji.org.tr/arsiv/11-donem/odul-kazananlar/polyspin-makina-san-tic-a-s> Erişim Tarihi: 19.01.2018,

TÜİK Belediye Atıksu İstatistikleri. (2016). Merkezi Dağıtım Sistemi: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24875> Erişim Tarihi: 27 Ekim 2017,

TÜİK İmalat Sanayi Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, (2016). <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24878> Erişim Tarihi: 11.01.2018,

TÜİK Organize Sanayi Bölgeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri (2016). <http://www.tuik.gov.tr/HbPrint.do?id=24872> Erişim Tarihi: 11.01.2018,

TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri. (2016). <https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul> Erişim Tarihi: 6 Ekim 2017,

TÜİK OSB İstatistikleri. (2014). <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18780> Erişim Tarihi: 27 Ekim 2017,

TÜİK, Belediye Atık İstatistikleri. (2017). Merkezi Dağıtım Sistemi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=119&locale=tr> Erişim Tarihi: 27 Ekim 2017,

TÜİK, Çevre İstatistikleri. (2017). [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1019](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019) Erişim Tarihi: 27 Ekim 2017,

TÜİK, Haber Bülteni. (2017). <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24603> Erişim Tarihi: 27 Ekim 2017,



TÜİK Haber Bülteni, Motorlu Kara Taşıtları, Kasım 2017  
<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27639> Erişim Tarihi: 10 Aralık 2017,

TÜİK, Hayvancılık İstatistikleri. (2017). <https://biruni.tuik.gov.tr/hayvancilikapp/hayvancilik.zul>  
Erişim Tarihi: 19 Ekim 2017,

TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri 1990-2015. (2015).  
<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24588> Erişim Tarihi: 26 Eylül 2017,

TÜİK, Tarım İstatistikleri. (2017). [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1001](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001) Erişim Tarihi:  
27 Ekim 2017,

Türkiye Enerji Görünümü, (2017). TMMOB Makina Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu  
ve ODTÜ MD Enerji Komisyonu.

Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu (2017). Ankara: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği  
(TÜREB).

Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi (2010). Atık Sektörü  
Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi  
Genel Müdürlüğü.

Türk – Alman Biyogaz Projesi (2010).Biyogaz Kılavuzu, Üretimden Kullanıma  
[http://www.biyogaz.web.tr/files/docs/biyogaz\\_kilavuzu.pdf](http://www.biyogaz.web.tr/files/docs/biyogaz_kilavuzu.pdf) Erişim Tarihi: 22 Aralık 2017.

Upadhyaya, A., Yelundur V., Rohatgi, A.. (2006). High efficiency mono-crystalline solar cells  
with simple manufacturable technology. 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference  
and Exhibition. Dresden. USA: Georgia Institute of Technology.

Value from waste. (2006). Afval Energie Bedrijf, City of Amsterdam.:  
[http://www.aebamsterdam.com/media/1501/grote-hr-brochure-engels\\_v2006-small.pdf](http://www.aebamsterdam.com/media/1501/grote-hr-brochure-engels_v2006-small.pdf) Erişim  
Tarihi: 27 Kasım 2017.

Verma, S. (2002). Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes.  
Yüksek Lisans Tezi. New York, ABD: Columbia University, Department of Earth  
&Environmental Engineering.

Water Technology. (2017). Canal Road Wastewater Treatment Plant, The Elizabeth Water  
Company, New Jersey, USA.: [http://www.water-technology.net/projects/canal\\_road/](http://www.water-technology.net/projects/canal_road/) Erişim  
Tarihi: 27 Kasım 2017.

Waugh, R. (2015). How ACUA is preparing their wastewater treatment plant for the next storm?  
Inframanage. <https://inframanage.com/how-acua-preparing-wastewater-treatment-plant-for-the-next-storm/>  
Erişim Tarihi: 20 Kasım 2017.

Wupperverband. (2012). Buchenhofen Wastewater Treatment Plant.  
[https://www.wupperverband.de/internet/mediendb.nsf/gfx/med\\_IWER-94FHJH\\_4735FA/\\$file/2013\\_klw\\_buchenhofen\\_flyer\\_en\\_web.pdf](https://www.wupperverband.de/internet/mediendb.nsf/gfx/med_IWER-94FHJH_4735FA/$file/2013_klw_buchenhofen_flyer_en_web.pdf) Erişim Tarihi: 13 Eylül  
2017.

Yaldiz, O. (2004). Biyogaz Teknolojisi. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Basım Evi.

Yazar, Y. (2010). Türkiye'nin Enerjideki Durumu ve Geleceği. Seta | Siyaset, Ekonomi ve  
Toplum Araştırmaları Vakfı (31), 4.

YEGM BEPA (2018). Türkiye Biyokütle Potansiyeli Atlası, 2018 <http://bepa.yegm.gov.tr/>  
Erişim Tarihi: 30 Ocak 2018

YEGM Tarımsal Biyokütle Potansiyeli. (2017).  
[http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/tur\\_tar\\_biyopot.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/tur_tar_biyopot.aspx) Erişim Tarihi: 11 Ekim 2017.



## TÜBİTAK MAM EE

Proje Adı: Enerji Verimli Ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi  
Sayfa: 190/191

Güncelleştirme Sayısı: 00

- YEGM, Biyogaz. (2017). <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> Erişim Tarihi: 19 Ekim 2017
- YEGM, Biyokütle. (2017). [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/tur\\_or\\_kay\\_biyo\\_pot.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/tur_or_kay_biyo_pot.aspx) Erişim Tarihi: 11 Ekim 2017.
- YEGM, Destek Mekanizması (2015). Yenilenebilir Enerji Destek Mekanizması. <http://www.yegm.gov.tr/Yenilenebilir/Yekdem.Aspx> Erişim Tarihi: 22.03.2018
- YEGM, GEPA. (2017). Güneş enerjisi: <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> Erişim Tarihi: 3 Ekim 2017.
- YEGM, Güneş. (2017). [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx) Erişim Tarihi: 20 Eylül 2017.
- YEGM, Hidroelektrik Enerji. (2017). [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h\\_hidrolik\\_nedir.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx) Erişim Tarihi: 26 Ekim 2017.
- YEGM, REPA. (2017). [http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru\\_01.html](http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html) Erişim Tarihi: 10 Ekim 2017.
- YEGM, Rüzgâr. (2017). Rüzgâr enerjisi: [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar\\_enerjisi.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx) Erişim Tarihi: 10 Ekim 2017.
- Yek Enerji. (2017). Arşimet burğu türbin: <http://www.yekenergy.com/neler-yapiyoruz/arsimet-burgusu/> Erişim Tarihi: 30 Ekim 2017.
- Yıldız, D. (2016). Suyla gelen enerji: hidroelektrikte son durum. <http://www.hidropolitikakademi.org/wp-content/uploads/2016/07/Suyla-Gelen-Enerji-H%C4%B0DROELEKTR%C4%B0K.pdf> Erişim Tarihi: 30 Ekim 2017.
- Yüksel, S. (2011). Hidroelektrik Santrallerde Elektromekanik Teçhizat, Yardımcı Elektrik Sistemleri ve Hidromekanik Teçhizat. Ankara: Enerji Merkezi.
- Zimmer, T. (2014). Photovoltaic Cell Types. University of Bordeaux, Fransa. [http://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/en06/Chapter\\_6\\_UB\\_zimmer.pdf](http://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/en06/Chapter_6_UB_zimmer.pdf) Erişim Tarihi: 20 Eylül 2017.