



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**BİYOKÜTLE TABANLI ENERJİ ÜRETİMİ İÇİN SANTRAL FİZİBİLİTE
ÇALIŞMASI: BİR VAKA ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASİR TÜMAY DOST

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ CEMİL KOYUNOĞLU

**YALOVA
ŞUBAT 2025**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

BİYOKÜTLE TABANLI ENERJİ ÜRETİMİ İÇİN SANTRAL FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI:
BİR VAKA ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASİR TÜMAY DOST
228107013

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ CEMİL KOYUNOĞLU

YALOVA
ŞUBAT 2025

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “BİYOKÜTLE TABANLI ENERJİ ÜRETİMİ İÇİN SANTRAL FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI: BİR VAKA ANALİZİ” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Yasir Tümay DOST



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan, hedefe yürümemde yanımda olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Cemil KOYUNOĞLU'na teşekkür ederim. Her zaman yanımda olduğunu hissettirtirdiği ve benden desteğini hiçbir zaman esirgemediği için sevgili eşime teşekkür ederim.

Şubat – 2025

Yasir Tümay DOST



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ.....	3
2.1. Neden Yenilenebilir Kaynaklar	4
2.1.1. Sıfır karbon hedefi ve taahhütlerimiz	5
2.1.2. Karbon denkleştirme sertifikaları.....	6
2.1.3. Gönüllü yenilenebilir enerji sertifikası (YES) nedir?	8
2.1.4. Ulusal enerji kaynak garanti belgesi-(YEK-G).....	8
2.1.5. Avrupa menşe garantisi -Guarantees of Origin(GO).....	8
2.1.6. Yenilenebilir enerji sertifikası -Renewable Energy Certificates-(REC)	9
2.1.7. Emisyon ticaret sistemi (ETS)	11
2.1.8. Uluslararası yaygınlık	11
2.2. Türkiye de Biyokütle	11
2.2.1. Yatırımcı bazında en büyük kapasiteye sahip biyokütle santralleri.....	12
2.3. Dünyada Biyokütle	16
2.4. Gelecekte Biyokütle.....	17
2.5. Biyokütle Projesi ile İlgili Çed Süreçleri ve Yönetmelikler	18
2.5.1. ÇED uygulanacak projeler	19
2.5.2. ÇED ön inceleme ve değerlendirmeye tabi projeler.....	21
2.5.3. Seçme, eleme kriterine tabi olan projeler.....	23
2.5.4. ÇED kapsam harici olan projeler	24
2.5.5. Entegre projeler.....	25
2.5.6. ÇED süreçleri.....	26
2.6. Biyokütle İçerikleri	27
2.6.1. Tarımsal atıklar	27
2.6.2. Ormansal atıklar	28

2.6.3. Endüstriyel atıklar	28
2.6.4. Atıktan türetilmiş yakıtlar	29
2.6.5. ATY kullanımının avantajları ve standartlar	30
3. BİYOKÜTLE YAKMA TEKNOLOJİLERİ	33
3.1. Genel Tasarım Kriterleri.....	33
3.2. Çoğunlukla Tercih Edilen Teknolojiler.....	34
3.2.1. Hareketli ızgara	34
3.2.2. Silindir ızgara	34
3.2.3. Kademeli eğimli tip ızgara	34
3.2.4. Eğimli karşılıklı dönen tip ızgara	35
3.2.5. Sabit tip ızgara.....	35
3.2.6. Döner fırın.....	35
3.2.7. Akışkan yataklı kazan.....	35
3.3. Kabul Gören Enerji Üretim ve Tüketimleri	35
3.3.1. Su tüketim	36
3.3.2. Hammadde tüketim.....	37
3.4. Birlikte Yakma Teknolojileri	37
3.4.1. Biyokömür üretimi ve yakılması	38
3.4.2. Oksi yanma teknolojisi	38
3.5. Termik Santralde Yakma.....	39
3.6. Kaynaklara Göre Karbon Emisyon Değerleri	41
3.6.1. Tam ve eksik yanma sonucu açığa çıkan emisyonlar	42
4. BİYOKÜTLE TEDARİK ZİNCİRİ	45
4.1. Depolama.....	46
4.1.1. Depolama alanının büyüklüğü	46
4.2. Taşıma	47
4.3. Ormansal Biyokütle Atıklarının Tedariği.....	48
4.3.1. Enerji bitkisi yetiştirme.....	49
4.3.2. Kereste fabrikaları atıkları	49
4.3.3. Şekil verme ve rendeleme atölyelerinde meydana gelen artıklar.....	49
4.3.4. Kaplama ve kontraplak atıkları	50
4.3.5. Testere talaşları.....	50
4.4. Alternatif Biyokütle Atıklarının Tedariği.....	50
4.4.1. Hayvansal atıklar	50
4.5. Belediye Atıkları	51

4.5.1. Arıtma çamurları	51
4.5.2. Ayırıştırma tesis sonrası atıkları	51
4.5.3. Park Bahçe Atıkları	51
4.6. Endüstriyel Atıklar.....	51
4.6.1. Arıtma çamurları	51
4.6.2. Tesis atıkları	52
4.7. Kalorifik Değer nedir?	52
4.7.1. Kullanılabilecek bazı yakıtların kalorifik değerleri.....	53
4.8. Biyokütle Tedarik Şeması.....	54
4.8.1. Biyokütle tedarik bedelleri.....	55
5. YALOVA VE ÇEVRE İLLERİN BİYOKÜTLE YAKIT POTANSİYELİ.....	57
5.1. Proje Lokasyonuna Göre Atık Potansiyeline Ulaşım.....	57
5.2. Lokasyona Dayalı Potansiyel Atıkların Toplamı	58
5.2.1. Lokasyona dayalı potansiyel hayvansal atıklar	59
5.2.2. Lokasyona dayalı potansiyel tarımsal atıklar	60
5.2.3. Lokasyona dayalı potansiyel belediye atıkları	61
5.2.4. Lokasyona dayalı potansiyel ormansal atıklar	61
5.3. Yalova İli Potansiyel Atıkları.....	62
5.3.1. Yalova ili atık potansiyelleri oransal dağılımı	63
5.4. Bursa ili Potansiyel Atıkları.....	64
5.5. Kocaeli ili Potansiyel Atıkları	65
5.6. İstanbul ili Potansiyel Atıkları.....	67
5.7. Sakarya İli Potansiyel Atıkları	68
5.8. Bilecik İli Potansiyel Atıkları	69
5.9. Düzce İli Potansiyel Atıkları.....	70
5.10. Balıkesir İli Potansiyel Atıkları	71
5.11. Eskişehir İli Potansiyel Atıkları.....	72
5.12. Bolu İli Potansiyel Atıkları	73
5.13. Kütahya İli Potansiyel Atıkları.....	74
6. EKONOMİK VE FİNANSAL ANALİZ.....	77
6.1. Biyokütle Proje Uygulama Süreçleri	79
6.2. Teknoloji Karşılaştırılması	79
6.2.1. Kabarcıklı akışkan yataklı reaktör.....	80
6.2.2. Izgaralı sistem su borulu buhar kazanı.....	80
6.3. Kullanılacak Yakıt Analizleri	81

6.4. İşletmesel Varsayımlar	85
6.5. Finansal Analiz Metodolojisi	88
6.5.1. İç verim oranı (IRR)	88
6.5.2. Net bugünkü değer (NBD)	88
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	99



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

°C	: Santigrad
CH ₄	: Metan gazı
CO ₂	: Karbondioksit
E	: Enerji
MJ/kg	: Megajoule/Kilogram
MWe	: Megawatt elektrik
MWh	: Megawatt saat
NaOH	: Sodyum Hidroksit
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ATY	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
ÇED	: Çevre Etki Değerlendirmesi
EECS	: European Energy Certificate System
EPIAŞ	: Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
ESG	: Çevresel ve Sosyal Yönetişim
ETS	: Emisyon Ticaret Sistemi
GGMCF	: Gridded Global Model of Carbon Footprints
GO	: Avrupa menşe garantisi -Guarantees of Origin
GS	: Gold Standard
I-REC	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Sertifikası
IRR	: İç Verim Oranı
NBD	: Net Bugünkü Değer
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
PEF	: İşlenmiş Geliştirilmiş Yakıt- Processed Engineered Fuel
PPF	: Kağıt ve Plastik Fraksiyonlu Yakıt- Paper Plasek Fuel
RDF	: Çöp Türevi Yakıt veya Atıktan Türetilmiş Yakıt- Refused Derived Fuel
REC	: Yenilenebilir enerji sertifikası -Renewable Energy Certificates
REDII	: Yenilenebilir Enerji Direktifi
REF	: İşlenmiş Geliştirilmiş Yakıt- Processed Engineered Fuel
SRF	: Katı Geri Kazanılmış Yakıt- Solid Recovered Fuel
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UEAEP	: Ulusal Emisyon Azaltım Eylem Planı
VCS	: Verified Carbon Standard
VER	: Verified Emission Reduction
WEC	: World Energy Council
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması
YEK-G	: Ulusal Enerji Kaynak Garanti Belgesi
YES	: Gönüllü Yenilenebilir Enerji Sertifikasyonu
YETA	: Yeşil Tarife



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. 2022 yılı biyokütle potansiyeli	14
Tablo 2.2. ATY-Granül yakıtın özellikleri	31
Tablo 3.1. İç ihtiyaç	36
Tablo 3.2. Elektrik üretimi ve şebekeye aktarım oranları.....	36
Tablo 3.3. Kaynaklara göre emisyon değerleri	41
Tablo 3.4. Biyokütleden elektrik enerjisi ürettiği durumda sağlanan tasarruflar.....	43
Tablo 4.1. Kalorifik değer1	53
Tablo 4.2. Kalorifik değer2.....	53
Tablo 4.3. Kalorifik değer3.....	54
Tablo 5.1. Lokasyona dayalı potnsiyel atıklar	58
Tablo 5.2. Lokasyona dayalı hayvansal atıklar	59
Tablo 5.3. Lokasyona dayalı tarımsal atıklar	60
Tablo 5.4. Lokasyona dayalı belediye atıkları	61
Tablo 5.5. Lokasyona dayalı ormansal atıklar	61
Tablo 5.6. Yalova ili atıkları	63
Tablo 5.7. Bursa ili atıkları	64
Tablo 5.8. Kocaeli ili atıkları	66
Tablo 5.9. İstanbul ili atıkları.....	67
Tablo 5.10. Sakarya ili atıkları	68
Tablo 5.11. Bilecik ili atıkları	70
Tablo 5.12. Düzce ili atıkları.....	71
Tablo 5.13. Balıkesir ili Atıkları.....	72
Tablo 5.14. Eskişehir ili atıkları	73
Tablo 5.15. Bolu ili atıkları.....	74
Tablo 5.16. Kütahya ili atıkları	75
Tablo 6.1. 2021 yılına kadarki YEKDEM teşviki	77
Tablo 6.2. Güncel YEKDEM.....	77
Tablo 6.3. Teknoloji karşılaştırılması	79
Tablo 6.4. İşletmsel varsayımlar.....	85
Tablo 6.5. Kullanılan yakıt miktarları	85
Tablo 6.6. Yakıt hesaplama	85
Tablo 6.7. Kullanılan yakıt oranları	85

Tablo 6.8. Fizibilite sonuçları	86
Tablo 6.9. Geri ödeme süresi	87
Tablo 6.10. Ekonomik model finansal varsayımlar	89
Tablo 6.11. Nakit akış	90



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Türk ve Avrupa Birliği bayrağı	5
Şekil 2.2. Karbon ayak izi.....	5
Şekil 2.3. Yeşil bina sertifikasyonları	6
Şekil 2.4. Global karbon sertifikaları	9
Şekil 2.5. YEK-G belgesi kullanım alanları	10
Şekil 2.6. Emisyon ticaret sistemi.....	10
Şekil 2.7. Türkiye de biyokütle	11
Şekil 2.8. Sektördeki kurulu güçler.....	12
Şekil 2.9. Mutlular enerji.....	12
Şekil 2.10. Oltan köleoğlu enerji	13
Şekil 2.11. Eren enerji	13
Şekil 2.12. Global yatırım holding.....	14
Şekil 2.13. Biyokütle üretim miktarları.....	15
Şekil 2.14. Küresel yenilenebilir enerji arzı.....	16
Şekil 2.15. Küresel biyokütle arzı.....	16
Şekil 2.16. Biyokütle kaynaklı ısı üretimi	16
Şekil 2.17. AB ülkelerinde biyokütle bazlı elektrik üretimleri	17
Şekil 2.18. 2050 biyokütle potansiyeli	17
Şekil 2.19. Kaynak türüne göre çed kapsamaları	19
Şekil 2.20. Ek-1 listesinde yer alan projelerin çed süreçleri	21
Şekil 2.21. Ek-2 listesinde yer alan projelerin çed süreçleri	23
Şekil 2.22. Kapsam dışı projelerin çed süreçleri	25
Şekil 2.23. ÇED süreç haritası	26
Şekil 2.24. ÇED yol haritası.....	27
Şekil 2.25. Çeşitli biyokütle atıkları.....	29
Şekil 2.26. Biyokütle atık türleri	30
Şekil 2.27. Atık kodlarına göre biyokütle	32
Şekil 3.1. Biyokütle santrali.....	34
Şekil 3.2. Yakma teknolojileri.....	37
Şekil 3.3. Oksi yanma proje örneği.....	39
Şekil 3.4. Kullanım yerlerine göre enerji kaynakları	41
Şekil 3.5. Tam ve eksik yanma sonucu oluşan emisyon gazları.....	42
Şekil 3.6. Kaynaklara göre CO ₂ miktarı	43
Şekil 4.1. Biyokütle yakıt döngüsü	45

Şekil 4.2. Tarımsal ve ormansal atık döngüsü	47
Şekil 4.3. Tarımsal atık depolama döngüsü	48
Şekil 4.4. Ormansal atıklar	48
Şekil 4.5. Orman ürünleri	50
Şekil 4.6. Pelet örnekleri.....	54
Şekil 4.7. Biyokütle tedarik şeması.....	55
Şekil 5.1. Yalova ili haritası.....	57
Şekil 5.2. Yalova ili potansiyel atık dağılımları	58
Şekil 5.3. Yalova ili potansiyel atık dağılım oranları.....	59
Şekil 5.4. Yalova ili potansiyel hayvansal atık dağılımları.....	59
Şekil 5.5. Yalova ili potansiyel hayvansal atık dağılım oranları	60
Şekil 5.6. Yalova ili potansiyel tarımsal atık dağılımları	60
Şekil 5.7. Yalova ili potansiyel hayvansal atık dağılım oranları	60
Şekil 5.8. Yalova ili potansiyel belediye atıkları dağılımları	61
Şekil 5.9. Yalova ili potansiyel belediye atıkları dağılım oranları	61
Şekil 5.10. Yalova ili potansiyel ormansal atık dağılımları	62
Şekil 5.11. Yalova ili potansiyel ormansalsal atık dağılım oranları	62
Şekil 5.12. Yalova ili haritası	62
Şekil 5.13. Yalova ili potansiyel atık dağılım oranları	63
Şekil 5.14. Yalova ili potansiyel tarımsal atık içerik ve dağılımları	63
Şekil 5.15. Yalova ili potansiyel hayvansal atık içerik ve dağılımları	63
Şekil 5.16. Yalova ili potansiyel belediye atıkları içerik ve dağılımlar	64
Şekil 5.17. Bursa ili haritası	64
Şekil 5.18. Bursa ili potansiyel atıkları oransal dağılımı	65
Şekil 5.19. Bursa ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	65
Şekil 5.20. Kocaeli ili haritası	65
Şekil 5.21. Kocaeli ili potansiyel atıkları oransal dağılımı	66
Şekil 5.22. Kocaeli ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	66
Şekil 5.23. İstanbul ili haritası.....	67
Şekil 5.24. İstanbul ili potansiyel atıkların oransal dağılımları	67
Şekil 5.25. İstanbul ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	68
Şekil 5.26. Sakarya ili haritası.....	68
Şekil 5.27. Sakarya ili potansiyel atıkların oransal dağılımları	69
Şekil 5.28. Sakarya ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	69
Şekil 5.29. Bilecik ili haritası	69

Şekil 5.30. Bilecik ili potansiyel atıkların oransal dağılımları	70
Şekil 5.31. Bilecik ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	70
Şekil 5.32. Düzce ili haritası	70
Şekil 5.33. Düzce ili potansiyel atıkların oransal dağılımları	71
Şekil 5.34. Düzce ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	71
Şekil 5.35. Balıkesir ili haritası	71
Şekil 5.36. Balıkesir ili potansiyel atıkların oransal dağılımları	72
Şekil 5.37. Balıkesir ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	72
Şekil 5.38. Eskişehir ili haritası	72
Şekil 5.39. Eskişehir ili potansiyel atıkların oransal dağılımları	73
Şekil 5.40. Eskişehir ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	73
Şekil 5.41. Bolu ili haritası	73
Şekil 5.42. Bolu ili potansiyel atıkların oransal dağılımları	74
Şekil 5.43. Bolu ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	74
Şekil 5.44. Kütahya ili haritası	74
Şekil 5.45. Kütahya ili potansiyel atıkların oransal dağılımları	75
Şekil 5.46. Kütahya ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları	75
Şekil 6.1. Biyokütle uygulama süreçleri	79
Şekil 6.2. İneva kazan teklifi	80
Şekil 6.3. Teta kazan teklifi	80
Şekil 6.4. Labaratuar analizi1	81
Şekil 6.5. Labaratuar analizi2	82
Şekil 6.6. Labaratuar analizi3	83
Şekil 6.7. Labaratuar analizi4	84

BİYOKÜTLE TABANLI ENERJİ ÜRETİMİ İÇİN SANTRAL FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI: BİR VAKA ANALİZİ

ÖZET

Artan küresel enerji talebi ve CO₂ emisyonlarına bağlı çevresel etkiler, fosil yakıtlara alternatif sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Biyokütle enerjisi, tarımsal, kentsel, ormansal ve endüstriyel atıklardan enerji üretme potansiyeline sahip olup, fosil yakıtların çevresel zararlarını azaltmaya katkı sağlar. Bu çalışmada, Türkiye’de biyokütle enerjisinin mevcut potansiyeli, sürdürülebilir kalkınmaya katkıları ve kaynak çeşitliliği incelenmiştir. Materyal ve metod kapsamında, Türkiye genelinde biyokütle enerji santralleri analiz edilerek, farklı biyokütle kaynaklarının kullanımına yönelik teknik ve ekonomik fizibilite değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmada, biyokütle yakma teknolojileri, enerji verimliliği, çevresel etki ve ekonomik geri dönüş süreleri dikkate alınarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bulgular bölümünde, biyokütle santrallerinin mevcut durumu ve Türkiye’deki uygulanabilirliği karşılaştırılmış, ekonomik analiz sonuçları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Tartışma bölümünde, biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji sistemlerine entegrasyonu ve karbon azaltımı üzerindeki potansiyel etkileri ele alınmıştır. Yalova örneğinde yapılan vaka analizine dayanarak, biyokütle tesislerinin sonuç olarak çevreye olumlu etkileri ve Türkiye’nin enerji güvenliğine katkıları ortaya konulmuştur. Fizibilite analizine göre biyokütle santrallerinin ekonomik sürdürülebilirliği, kullanılan yakıtın kaynağına ve teşvik mekanizmalarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Çalışmaların bulguları, biyokütle enerjisinin stratejik bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle enerjisi, sürdürülebilir kalkınma, çevresel etki, fizibilite, Türkiye Yalova

BIOMASS-BASED ENERGY PRODUCTION PLANT FEASIBILITY STUDY: A CASE ANALYSIS

ABSTRACT

Increasing global energy demand and the environmental impacts associated with CO₂ emissions have heightened interest in sustainable energy sources as alternatives to fossil fuels. Biomass energy, derived from agricultural, urban, forestry, and industrial waste, contributes to reducing the environmental damage caused by fossil fuel usage. This study examines the current state of biomass energy in Turkey, its contributions to sustainable development, and the diversity of its sources. In the Materials and Methods section, biomass power plants in Turkey were analyzed, and technical and economic feasibility assessments were conducted for different biomass resources. The study evaluates biomass combustion technologies, energy efficiency, environmental impact, and economic return periods. The Findings section presents the status of biomass power plants, their applicability in Turkey, economic analysis results, and payback periods. In the Discussion, the integration of biomass energy into renewable energy systems and its potential impact on carbon reduction were analyzed. Based on a case study in Yalova, the results highlight the positive environmental impacts of biomass energy and its contributions to Turkey's energy security. The feasibility analysis suggests that the economic sustainability of biomass power plants varies depending on the fuel source and available incentives. Overall, the study emphasizes the strategic role of biomass energy as a key renewable energy source.

Keywords: Biomass energy, sustainable development, environmental impact, feasibility, Türkiye Yalova

1. GİRİŞ

Son yıllarda dünya genelinde artan nüfus ve teknolojik gelişmeler sebebiyle artış gösteren global enerji talebi bununla beraber açığa çıkan CO₂ emisyonu ile ciddi çevresel bozulmalara neden olan fosil kaynaklı yakıtların kullanımının artması, enerji sektöründe yeşil, yenilenebilir ve sürdürülebilir tabanlı alternatif kaynaklara olan eğilimi hızla artırmıştır. (Wang ve ark., 2020)

Küresel enerji dünyasında gündemi meşgul eden önemli konu başlıkları arasında enerji verimliliği, alternatif yakıt kullanılarak enerji üretim seçeneklerinin uygulanabilirliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması, fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması gibi enerji tüketiminin sebep olduğu çevre sorunlarına ilaç olabilecek çözümler sayılabilir. Bahsedilen tüm konular için Türkiye’de de çeşitli araştırmalar yapılmış, çeşitli makale, kitap ve dergi yayımlanmıştır. (Stöcker, 2008)

Yukarıda anlatılan ve günümüzdeki enerjinin kullanılmasında zamanla önemi anlaşılan biyokütle enerjisi; enerji verimliliği, çevre kirliliği ve sürdürülebilirlik konularında potansiyeli olması açısından uygun bir alternatif olarak sunulmaktadır.

Fosil içerikli kaynaklar tüketilerek yapılan kullanımın havaya ve çevreye verdiği zararlar bilimsel araştırmalarla kanıtlanmış bir olgudur. Bu sebeple, alternatif enerji kaynak arayışı ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ve yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye yönelik çalışmaları arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde kabul edilen biyokütle, dünyada en sık kullanılmakta olan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Biyokütle, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi göz önüne alındığında rüzgardan sonra ikinci en fazla üretim yapan kaynaktır. Tarih boyunca insanların kullanımına gereksinim hissettiği ısınma, elektrik üretimi, yakma yöntemiyle pişirme, hayvan yemi ve araç yakıtı gibi ihtiyaçları biyokütle kaynakları tarafından karşılanabilmiştir. Biyokütleden elde edilen enerji ise, bitkisel atıklar, ormansal atıklar, hayvansal atıklar, endüstriyel atıklar ve kentsel ev atıklardır. Bunlara ek olarak son yıllarda yaygınlaştırılmaya başlayan enerji bitkileri de günümüz teknolojik yöntemler kullanılarak dönüştürülmesi sonucunda enerji üretiminde kullanılmaktadır. (Bereket ve Baş, Z., 2022) Tez çalışmamızda, yenilenebilir kaynaklarla verimli ve sürdürülebilirliğe hizmet eden enerji üretiminin ülkemizde ve dünyada önem kazanmasına destek olmak, gelecek nesillere daha yaşanılır bir dünya bırakmak bununla birlikte gerekli enerji ihtiyacının karşılanmasına da destek olmak amacıyla biyokütle ve biyokütle enerjisi hakkında kaynak araştırması yapılmıştır. Fosil

kaynak rezervlerinin dünyada sınırlı olması ve küresel ısınma gibi çevresel sorunlara alternatif bir çözüm oluşturabilecek biyokütle enerjisi, biyokütle enerjisinin ülkemizde ve dünyadaki potansiyeli değerlendirilmiştir. Ülkemizdeki regülasyon yapısına göre biyokütleden enerji üretiminin durumu, uygulanabilirliği için gerekli süreçler ve lisans alma koşulları incelenmiştir.

Yalova ili başta olmak üzere 250 Km yarıçapında çevre illerin potansiyelleri araştırılmış ve raporlanmıştır. Çevre illerden yakıt getirilmesi durumunda oluşacak lojistik maliyetlerine de ayrıca değinilmiştir. Mali koşullar, tedarik zorlukları düşünülerek optimum bir yakıt reçetesi ve tedarik bölgeleri belirlenmiştir.

Yalova Biyokütle Enerji Santrali projesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırmak ve bölgenin enerji ihtiyacını sürdürülebilir çözümlerle karşılamak amacıyla planlanmıştır. Proje, biyokütle kaynaklarını enerji üretimi için kullanarak bölgesel kalkınmaya katkı sunmayı hedeflemektedir. Bu rapor, projenin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerini özetlemekte ve genel bir değerlendirme sunmaktadır.

Biyokütle kaynaklarından enerji üretimine örnek olarak Yalova ilinde biyokütle kullanarak elektrik ve ısı enerjisi üretimi yapabilecek bir tesisin yatırım fizibilitesi değerlendirilmiştir.

2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Çevremizdeki enerji kaynaklarının depolanabileceği, dönüştürülebileceği ve kullanımımız için çoğaltılabileceği birçok farklı yol vardır. Enerji kaynakları dünyanın geleceğinde önemli bir rol oynayacaktır. Enerji kaynakları üç kategoriye ayrılmıştır: fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar. Fosil yakıt kaynakları kömür, petrol ve doğal gazdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarını saydığımızda içerisinde rüzgar, güneş, hidro, jeotermal ve biyokütle gelmektedir. Nükleer güç kaynakları fisyon ve füzyondur.

Biyokütle, yeryüzündeki tüm canlı maddelere verilen addır. Biyokütle enerjisi yeryüzünde yaşayan tüm biyolojik kökenli organizmaların (bitkiler, ağaçlar, tohumlar vb.), güneş enerjisi yardımıyla gerçekleştirdikleri fotosentez sonucu bünyelerinde depoladıkları organik maddelerin, doğrudan ya da dolaylı olarak oluşturduğu biyokütlelerin (bitkisel atık, hayvan dışkısı vb.), fiziksel ya da kimyasal dönüştürme yöntemleriyle üretilen biyoyakıtlardan elde edilen ve ısınma, elektrik ya da sıvı yakıtlar gibi ihtiyaçların karşılanması amacıyla kullanılan bir enerji türüdür (Ayberk,2024).

Biyokütle enerji kaynaklarına genel olarak bakıldığında, iklim yapsına, coğrafi konumlara, bitki örtülerine ve hatta beslenme alışkanlıklarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bundan ötürü biyokütle enerjisinin ülkelere göre değişkenlik gösteren tanımları ve kalorifik değerleri mevcuttur.

Yakıldığında biyokütleden elde edilen net enerji örneğin yeşil ağaç yaklaşık 8 MJ/kg, iken bitkisel kuru madde 20 MJ/kg dır. Kömür için 27 MJ/kg dır (Yumak, 2024).

Türkiye’de resmi gazetede yayınlanan 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” da belirtildiği üzere “Biyokütle; kentsel atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat atıkları dâhil olmak üzere tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünler ile atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynakları ve sanayi atık çamurları ile arıtma çamurları” olarak tanımlanmaktadır (Anonim).

Biyokütleden elde edilen enerji, kaynakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle değiştirilmesiyle oluşturulan bir enerjidir. Biyokütleden enerji üretmek amacıyla kullanılabilen biyokütle içeriklerini beş kategori de inceleyebiliriz. Bunlar;

- Orman endüstrisi artıkları, çalılar, odun kabukları, dal-budak atıkları vb ormansal artıklar,

- Tarım alanlarında üretilen mısır kabuğu ve sapı, ceviz ve fındık kabuğu yağlı tohum bitkileri, şeker bitkileri (yüksek nem içerikli bitkiler) vb. tarımsal atıklar,
- Tavuk altlığı gibi hayvansal kökenli atıklar
- Deniz ve göllerde bulunabilen yüksek nem içeriğine sahip aynı zamanda büyüme hızı yüksek deniz otları, yosunlar, sazlı bitkiler,
- -Kentsel ev atıkları ve endüstride çıkartılan tesis atıkları. (Çağal, 2009).

Biyokütle kaynakları içerikleri dışında klasik ve modern olarakta kategorize edilebilmektedir. (PwC, 2021).

Ormanlardan çıkartılan odun, günümüzde yakacak olarak ta kullanılabilen bitkisel artıklardan (sap, saman, vb.) klasik kaynaklar olarak adlandırılmaktadır. Enerji bitkisi yetiştiriciliği, mobilya endüstrisi atıklarından ağaç vb., ormansal atıklardan mobilya için kesilen odunlardan kalan kabuklar vb, hayvansal atıklar(tezek,tavuk altlığı vb.) ve evsel atıklar ise modern atıklar olarak adlandırılmaktadır. Klasik olarak adlandırılan biyokütle kaynaklarının bilinçsiz ve kontrolsüz kullanımı biyokütle enerji potansiyeline ve çevreye olumsuz etkiler bırakmaktadır. Modern biyokütle kaynakları büyük bir enerji potansiyeline sahiptir ve bahsedilen kaynakların kullanımının artırılması klasik kaynakların da beraber kullanımına ve kontrolsüz tüketilmemesine imkan tanıyacaktır. (Ayberk,2024).

World Energy Council (WEC)'de bahsedildiği üzere, 2012 yılından beri yenilenebilir enerji kaynaklarının % 77'si biyokütleden oluşmaktadır. Biyokütlenin içerisindeki orman ürünlerinin payı % 87 iken tarımsal ürünlerin payı % 9, evsel ve endüstriyel atıkların payı % 4 tür.

2.1. Neden Yenilenebilir Kaynaklar

Günümüzün pazar koşulları doğrultusunda işletmeler her geçen gün rekabet güçlerini arttırmak için hizmet kalitelerini arttırmaya çalışırken, diğer yandan da enerji giderlerini azaltmaya çalışmaktadırlar.

Tüm dünyada yükselen enerji maliyetleri, küresel ısınma ve azalan fosil yakıtlar yenilenebilir ve sürdürülebilir kaynakların kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Çevre kirliliği yaratan tehlikeli ve tehlikesiz atıkların kalıcı bertarafı için yüksek maliyetli teknolojiler gerekmektedir. Atıkların döngüsel ekonomiye dahil edilerek fosil yakıtlar yerine kullanılmasıyla birlikte sürdürülebilir elektrik, ısı ve soğutma enerjisi üretilmesi mümkündür.

Güneş enerjisinin milyonlarca yıldır var oluşu ve sürdürülebilirliği, taşıma gerekmeysi, herhangi bir vergiye tabi olmayışı, jeopolitik krizlerden bağımsız olması ve ısı üretiminde fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılması en kazançlı ve sürdürülebilir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Arslan, F. ve A. Uzun, 2017).

2.1.1. Sıfır karbon hedefi ve taahhütlerimiz



Şekil 2.1. Türk ve Avrupa Birliği bayrağı

Ülkemiz tarafından onaylanan Paris İklim Anlaşması gereği, ülkesel yükümlülüklerimizin yerine getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca; Yeşil Mutabakat bildirimiyle birlikte, AB İklim Stratejileri' nin ülkemize adaptasyonuna yönelik olarak UNFCCC, Kyo Protokolü kriterlerine de uyulması zorunludur. Küresel bazda bakıldığında sıfır karbona giden yolda en büyük engeli karbon ayak izi oluşturmakta beraber ülkemizde de bu durum paralellik göstermektedir (Avrupa Birliği Başkanlığı, n.d).

2020 yılında Türkiye' de yapılan İklim Değişikliği ve Çevre Sorunları Algısı Araştırması' nda da belirtildiği üzere, ülkemizde her 10 kişiden 7'sinin iklim değişikliği konusunda kaygılarının olduğu, araştırmada görüş belirtilenlerin yarısı ise iklim değişikliğinin Pandemi'nin ülkemizde oluşturduğu etkilerden daha derin etkiler oluşturabileceğini düşünüyorlar.



Şekil 2.2. Karbon ayak izi

Dünya da çoğu ülkede benzerlik gösterdiği üzere ülkemizde de karbon ayak izi önemli ölçüde artış göstermiştir. Elektrik üretim sektöründen gelen CO₂ emisyonları karbon ayak izlerini oluşturmaktadır. (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 2023).

Fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilen enerji ekonomilere olumsuz etki bırakmakla beraber iklim değişikliklerinin en büyük nedeni olan sera gazlarının atmosferimizi kirletmesine sebep olmaktadır. Küresel iklim değişikliğinin tüm dünyayı yaşanılmaz hale getirmesini ancak küresel ısınmayı 1,5C°'nin altında tutarak önleyebiliriz (Masson-Delmotte ve diğ., 2018).

2020 TUİK verilerine göre Ülkemizin Toplam Sera Gazı Emisyonu 523,9 Mt CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Toplam CO₂ emisyonlarının %31,6'sı elektrik üretimi kaynaklı olup bunun dağılımına bakarsak, %85,4'ü enerji ,%14,2'si üretim , %0,4'ü ise tarım ve atık sektörlerinden oluşmaktadır. (Karakoç 2022)

2022 GGMCF (Gridded Global Model of Carbon Footprints) verilerine göre Türkiye'den 6 ilimizden; İstanbul 26. sıradan, Ankara 80. sıradan, Antalya 285. sıradan, Bursa 318. sıradan, Kayseri 385. sıradan ve Gaziantep 454. sıradan dünyada yüksek ölçekte karbon ayak izine sahip ilk 500 şehir arasına girmiştir.

DÜNYADA YAYGIN OLARAK TERCİH EDİLEN YEŞİL BİNA SERTİFİKASYONLARI			
	BREEAM®	Leadership in Energy and Environmental Design	DGNB
SERTİFİKASYON SİSTEMİ	Building Research Establishment Environmental Assessment Method	Leadership in Energy and Environmental Design	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
ORTAK KATEGORİ BAŞLIKLARI	Bina Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Metodu	Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik	Alman Sürdürülebilir Binalar Konseyi
	Enerji (%35)	Enerji (%19)	Enerji (%22,50)
	CO ₂ Emisyonları (%3,6)	CO ₂ Emisyonları (%7,08)	CO ₂ Emisyonları (%5,9)
	Arsa	Arsa	Arsa
	Su	Su	
	Yönetim		Yönetim
SERTİFİKA SAYISI	5	4	4
SERTİFİKA PUAN DAĞILIMLARI	Geçer 30-44 Puan İyi 45-54 Puan Çok İyi 55-69 Puan Mükemmel 70-84 Puan Seçkin 85-110 Puan	Sertifikalı 40-49 Puan Gümüş 50-59 Puan Altın 60-79 Puan Platin 80-110 Puan	Sertifikalı Min. 35 Puan Bronz Min. 50 Puan Gümüş Min. 65 Puan Altın Min. 80 Puan
TOPLAM PUAN	100 Puan + 10 Puan İnovasyon	100 Puan + 6 Puan İnovasyon + 4 Puan Bölgesel Öncelik	100 Puan
AÇIKLAMA	Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinin İlk Örneğidir	Dünyada En Yaygın Kullanılan Değerlendirme Sistemidir	Avrupa Normlarında Hazırlanmış İlk Yeşil Bina Değerlendirme Sistemidir

Şekil 2.3. Yeşil bina sertifikasyonları

Dünyada yaygın olarak tercih edilen Yeşil Bina Sertifikasyon Platformlarında, «Enerji ve Karbon Emisyonu» tüm sertifikasyon sistemlerinde ortak ve en önemli kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Sistemlerinin amacı sürdürülebilir, çevreci ve enerji verimi yüksek binaların teşviki ve belgelendirilmesidir.

BREEAM ve LEED Sertifikaları, ülkemizde çoğunlukla tercih edilmektedir.

Belgelendirilmiş Binalar, sürdürülebilirlik döngüsü içerisinde, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının kullanımı ve Karbon Emisyonlarının azaltımı sayesinde; prestij, katma değer, uluslararası uyum ve pozitif ayırım yaratmaktadır.

2.1.2. Karbon denkleştirme sertifikaları

Onaylanmış Emisyon Azaltımı (Verified Emission Reduction); her bir ton CO₂ eşdeğerine sahip bir faaliyetin gerçekleştirdiği Sera Gazı Emisyonu azaltımını tebliğ etmek için kullanılan

emisyön azaltım birimleridir. Karbon denkleştirme sertifikaları olarak adlandırılan karbon kredilerinin asıl amacı, eşdeğer kapasitede sera gazı emisyonu yapan bir faaliyet referans alınarak yapılmaktadır.

Karbon denkleştirme sertifikaları üretim, enerji verimliliğinden kaynaklı yakıt değişimi, ormancılık, tarım, ulaşım, atık bertarafı, yenilenebilir enerji projeleri gibi sera gazlarını (CO₂, CH₄, N₂O vb.) azaltıcı etkiye sahip projelere verilmektedir.

Karbon kredilerinin oluşturulmasına basit bir örnek vermek gerekirse; rüzgar enerji santrali projesi 10 MWe kapasitesiyle elektrik üretimi yaptığını olarak kabul edersek onun yerine 10 MWe elektrik üretimini fosil yakıt yakılarak sağlamış olsaydı bahsedilen elektrik üretiminden 21.111 Ton CO₂ eşdeğeri kadar sera gazı salınımı oluşacaktı. Rüzgar enerji üretim santralinin atmosfere salmadığı emisyon miktarı, bu projenin negatif emisyon miktarı olarak kabul edilmektedir. Sertifikalandırma işlemi her bir negatif ton başına yapılmaktadır. Böylece rüzgar enerji üretim santrali 21.111 adet VER sertifikası kazanır.

Karbon salınımlarımı denkleştirebilir miyim?

Karbon salımı yapan kuruluşların karbon salımlarını denkleştirebilmek için sera gazı protokolünce tanımlanmış kapsamlara göre hesap yapmaları gereklidir. Denkleştirme işlemi içeriğine kapsam-1 ve kapsam-2 emisyon türleri de eklenmelidir. Daha detaylı azaltım politikası üzerinden ilerlemek isteyen tesisler, kapsam-3 emisyonlarını da hesaplamaya katabilirler.

Karbon salınımlarını sıfırlamaya niyetli şirketler, VER Sertifikasına sahip olmuş şirketlerden karbon sertifikası alabilmektedirler. Karbon sertifikalarıyla var olan emisyonlarını nötrleyebilirler. Toplam emisyonlarını kapsayabilecek gibi karbon kredisi satın alabilen şirketler sıfır karbon hedeflerini tamamlamış olurlar.

Nasıl Sertifika alabilirim?

Ülkemizde sera gazı azaltımını yapabilen şirketler, karbon kredilerini Verified Carbon Standard (VCS) ve Gold Standard (GS) ismiyle bilinen kuruluşlar yardımıyla alabiliyorlardı. Fakat VCS ve GS Sertifikasyon kuruluşları 2020 yılı itibariyle ülkemizdeki yeni projelere kapılarını kapattılar.

Diğer sertifikalara göre yeni standart olarak kabul edilen Global Carbon Council (GCC), Türkiye’ de 2016 yılından sonra başlayan yeni projeleri kabul etmekte ve geriye dönük 5 yıl içinde sertifikasyon işlemi geręekleřtirebilmektedirler.

Belirtilen standartlara kayıt yaptırarak yararlanabilmek için standartlara göre farklı tanımlansa da listeleme, kayıt ve verifikasyon aşamalarını tamamlamak gerekmektedir.

2.1.3. Gönüllü yenilenebilir enerji sertifikası (YES) nedir?

1990' lı yılların sonuna doğru avrupa da ve ABD'de uygulanmaya başlayan kendi piyasasını oluşturan sertifikasyon yapısıdır. YES'ler fosil yakıtlı elektrik üretiminden kaynaklanan sera gazı için teminat vermez ve karbon nötrlüğü için kullanılacak birimler değildir. Elektrik piyasasında yer alan son kullanıcıların portföyündeki tercihlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarından olduğunu göstermek için kullanılmaktadır. Piyasada YES sahibi kuruluşlar, genellikle karbon denkleştirme sertifikalarıyla karıştırılmaktadır. Her iki sertifika da şirketlere sera gazı emisyonlarını denkleştirebilme imkanı sağlamış olsada karbon denkleştirmesi ve yenilenebilir enerji sertifikaları ticareti farklı amaçlarla kullanılabilen iklim değişikliğini azaltmaya yarayan araçlardır.

2.1.4. Ulusal enerji kaynak garanti belgesi-(YEK-G)

Avrupa Birliği Standartları'na uygunluk kazanmak amacıyla 2020 yılında yayınlanan yasal düzenlemeyle, her 1 MWh enerji için uygulanması ön görülen, yerli ve milli yenilenebilir enerji sertifika programıdır. YEK-G Sertifikaları'nın Türkiye' nin AB ülkelerine ihraç ettiği ürünlere uygulanacak olan Sınırdaki Karbon Vergisi'nden muafiyet sağlayacağı yada etkisini en aza indireceği ön görülmektedir. YEK-G' den yararlanmak isteyen piyasadakiler, sisteme EPIAŞ tarafından kurulması ve işletilmesi planlanan kayıt sistemi yardımıyla katılabileceklerdir. YEK-G Sertifikaları 2020 tarihinden itibaren uygulamaya konulan gönüllülük esasına dayanan Yeşil Tarife (YETA) uygulamasında tüketicilerin kullandıkları enerjinin yenilenebilir kaynaklardan geldiğinin tüketicilere kanıtlanmasında kullanılacaklardır.

2.1.5. Avrupa menşe garantisi -Guarantees of Origin(GO)

Avrupa Birliği'nin 2009/28/EC sayılı Yenilenebilir Enerji Direktifi kapsamında uygulamaya alınan Garanti Belgesi (GO - Guarantee of Origin), yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin kaynağını belgeleyen bir sertifikadır. Bu belge, Avrupa Birliği ülkelerinde tüketilen elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilip edilmediğini şeffaf bir şekilde kanıtlamak amacıyla geliştirilmiştir.

Başlangıçta, gönüllülük esasına dayalı bir mekanizma olarak tasarlanan GO sistemi, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmeyi amaçlıyordu. Ancak, 2018 yılında yürürlüğe giren İkinci Yenilenebilir Enerji Direktifi (RED II) ile birlikte yenilenebilir enerji kullanımına dair

daha katı düzenlemeler getirilmiştir. Bu kapsamda, Avrupa Birliği'ndeki elektrik tedarik şirketlerine, GO sertifikaları aracılığıyla belirli bir yenilenebilir enerji kotasına uyma zorunluluğu getirilmiştir.

GO sertifikalarının alım ve satımı, Avrupa Enerji Sertifikası Sistemi (EECS) üzerinden güvenli ve standart bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu sistem, sertifikaların doğruluğunu ve izlenebilirliğini sağlarken, enerji tüketicilerine de yeşil enerji kullanımı konusunda güvenilir bir altyapı sunar.

Bu düzenleme, bireylerin ve şirketlerin yenilenebilir enerji tercihlerinde bulunmalarını kolaylaştırmanın yanı sıra Avrupa Birliği'nin karbon emisyonlarını azaltma ve sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşma çabalarına da önemli katkılar sunmaktadır.

2.1.6. Yenilenebilir enerji sertifikası -Renewable Energy Certificates-(REC)

REC (Yenilenebilir Enerji Sertifikası), ABD ve Kanada'da geliştirilmiş, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin niteliğini belgeleyen bir sistemdir. Bu sertifikalar, I-REC (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Sertifikası) platformu üzerinden alınıp satılabilir hale getirilerek uluslararası bir boyut kazanmıştır.

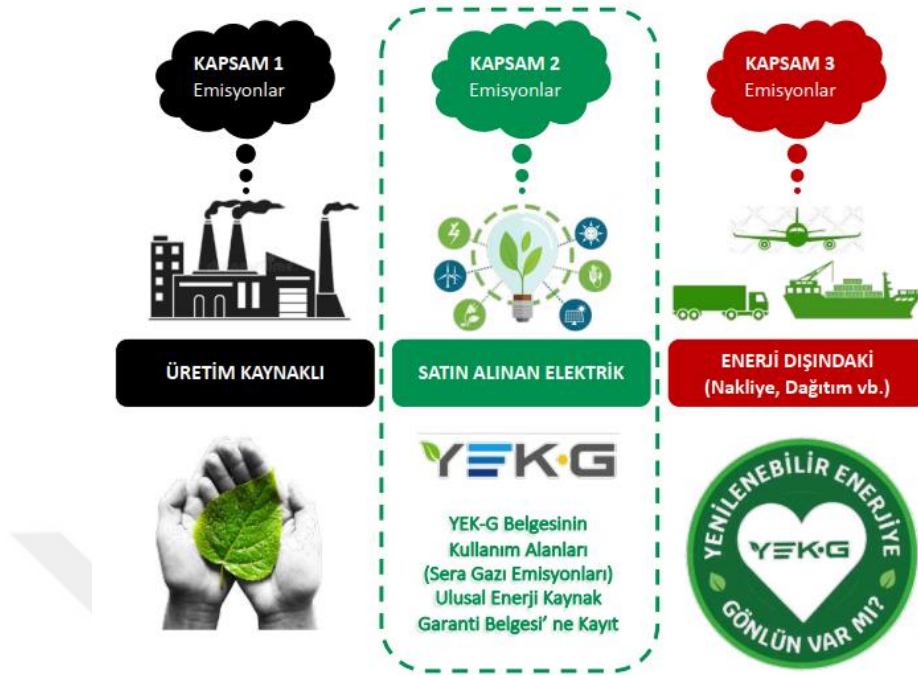
I-REC, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji üretiminin takibini ve belgelendirilmesini sağlamak için geliştirilmiş küresel bir sertifikasyon sistemidir. Bu belge, kullanılan enerjinin çevre dostu ve sürdürülebilir kaynaklardan elde edildiğini doğrular ve işletmelerin çevresel sorumluluklarını destekler.

Yakın gelecekte, enerji tüketiminde yeşil enerji kullanımıyla ilgili belgeler sunmayan uluslararası şirketlerin, sınırda karbon vergisi gibi yaptırımlarla karşılaşması beklenmektedir. Bu nedenle REC ve I-REC sertifikaları, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda ekonomik gereklilikler için de stratejik bir öneme sahiptir.

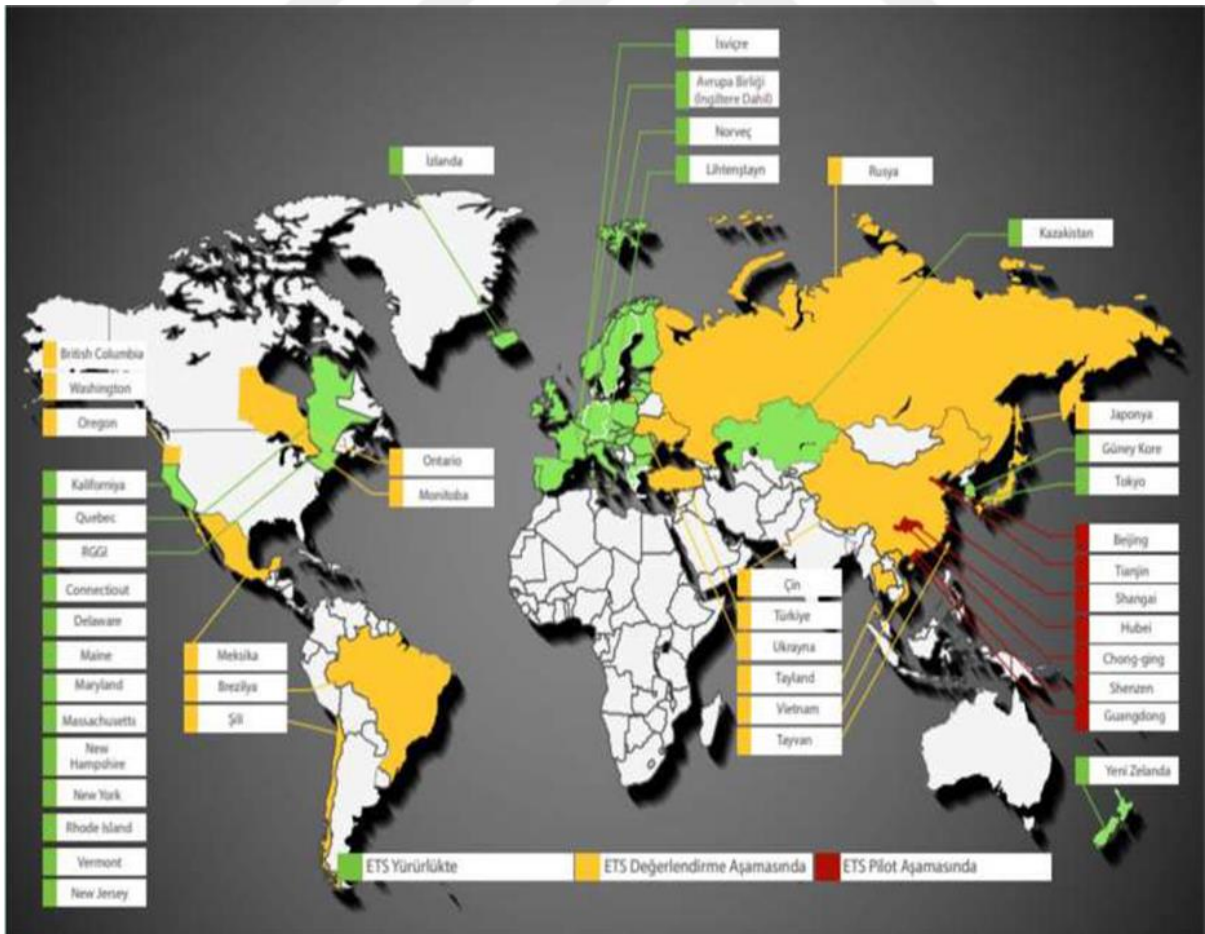


Şekil 2.4. Global karbon sertifikaları

YEK-G Belgesinin kullanım alanları



Şekil 2.5. YEK-G belgesi kullanım alanları



Şekil 2.6. Emisyon ticaret sistemi

2.1.7. Emisyon ticaret sistemi (ETS)

Emisyon azaltımlarının maliyet odaklı yapılmasını hedefleyen, piyasa istikrarı, tahsisat fiyat ve maliyetler arasında denge sağlayabilecek kuralların oluşturulduğu mekanizmanın adıdır.

2.1.8. Uluslararası yaygınlık

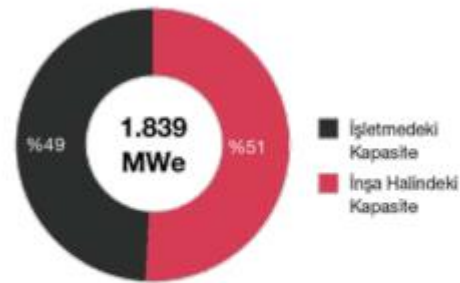
Yeşil Renk ile belirtilmiş olan ülkelerde yürürlükte olup, Kırmızı Renk ile belirtilmiş ülkelerde pilot uygulama aşamasında, Sarı Renk ile belirtilmiş ülkelerde değerlendirme aşamasındadır.

2.2. Türkiye de Biyokütle

Sektördeki En Büyük Oyuncuların Lisanslı Kapasiteleri (MWe, Şubat 2021)

Şirket	Lisanslı Kapasite
ITC Türkiye	143
Biotrend	118
Oltan ve Köleoğlu	99
İSTAÇ	90
Ortadoğu Enerji	88
Bientaş	63
Gülsan Holding	61
İstanbul Enerji	52
Bemka Enerji	45
Panab Enerji	44
Global Yatırım Holding	41
Mutlular Enerji	41
Eren Holding	34
Era Çevre Teknolojileri	28
Arel Enerji	25

Lisanslı Kapasitenin Dağılımı (% Şubat 2021)



Şubat 2021 itibarıyla, toplam lisanslı kurulu güç 1.839 MWe seviyesindeyken, 893 MWe işletmedeki kapasite, 946 MWe ise inşa halindeki kapasiteyi ifade etmektedir.

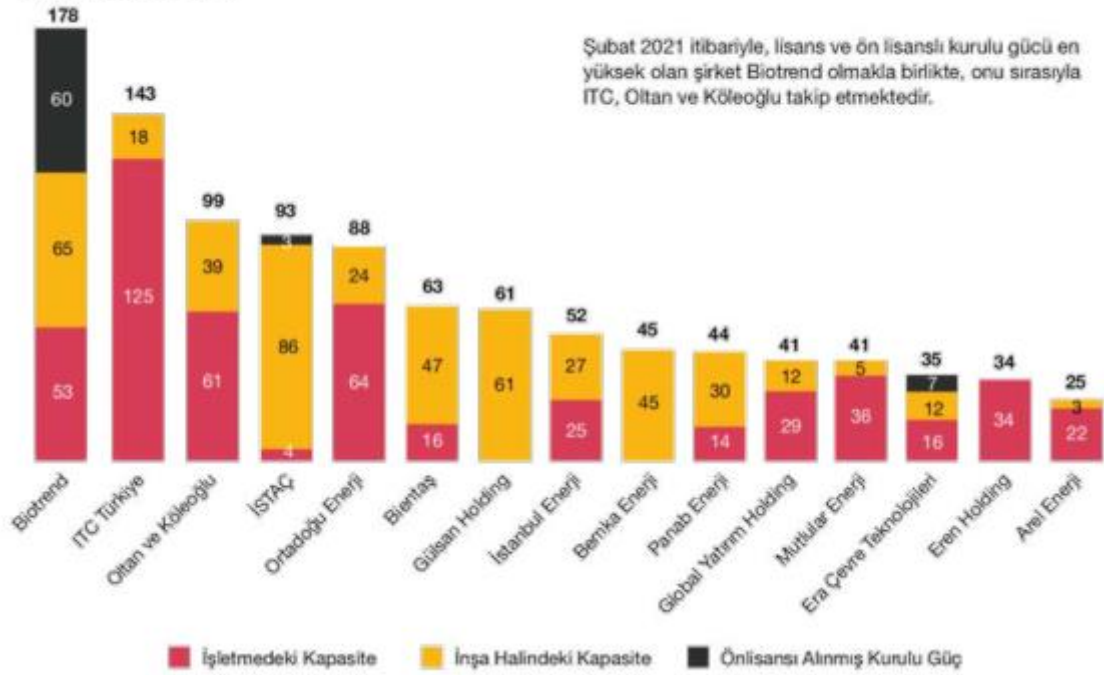
1994 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bir iştiraki olarak kurulan İSTAÇ, 1995 yılında ilk düzenli depolama alanı ve tıbbi atık toplama ve yakma tesisleri ile birlikte sektörde faaliyet göstermeye başlatan ilk kurum olmuştur.

Türkiye'de biyokütle sektöründe faaliyet gösteren en büyük 15 şirket, toplam lisanslı kurulu gücün yansından fazlasını oluştururken, şubat 2021 itibarıyla lisanslı kurulu güç bakımından en büyük şirketler ITC Türkiye, Biotrend ve Oltan Köleoğlu olarak gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, Biotrend en fazla üretim tesisine sahip şirket olmuştur.

Kaynak: EPDK, Halka Açık Kaynaklar

Şekil 2.7. Türkiye de biyokütle

Sektördeki Önemli Oyuncuların Kurulu ve Planlanan Kurulu Güç Dağılımı (MWe, Şubat 2021)*



Şekil 2.8. Sektördeki kurulu güçler

2.2.1. Yatırımcı bazında en büyük kapasiteye sahip biyokütle santralleri



Şekil 2.9. Mutlular enerji

Oltan ve Köleoğlu Enerji	
Konumu:	Trabzon
Lisanslı Üretim Tesisi Sayısı:	4
Kurulu Güç (MW)*:	90
Toplam Lisanslı Kurulu Güç İçerisindeki Pay:	%5,4

Faaliyet Alanları

- Tarımsal Atık
- Ommanasal Atık

Lisanslı Üretim Tesisleri



Karadeniz Bıyıklıda Enerji Santrali (40 MW)*
En Büyük Santral

*Sığa hacmindeki kapasite de dahil edilmiştir
Kaynak: Halkın Açık Veriler (Şubat 2021 itibarıyla)

Şekil 2.10. Oltan köleoğlu enerji

Eren Holding	
Konumu:	İstanbul
Lisanslı Üretim Tesisi Sayısı:	2
Kurulu Güç (MW)*:	34
Toplam Lisanslı Kurulu Güç İçerisindeki Pay:	%1,8

Faaliyet Alanları

- Ommanasal Atık
- Evsel Atık

Lisanslı Üretim Tesisleri



Tekirdağ Orman Kaynaklı Yan Ürünlerden Enerji Üretim Tesisi (25 MW)*
En Büyük Santral

*Sığa hacmindeki kapasite de dahil edilmiştir
Kaynak: Halkın Açık Veriler (Şubat 2021 itibarıyla)

Şekil 2.11. Eren enerji

Global Yatırım Holding

Konumu	İstanbul
Lisanslı Üretim Tesisi Sayısı	3
Kurulu Güç (MW)*	41
Toplam Lisanslı Kurulu Güç İçerisindeki Pay	%2,3

Faaliyet Alanları

- ☐ Tarımsal Atık
- ☐ Hayvansal Atık
- ☐ Ormansal Atık

Lisanslı Üretim Tesisleri



Şekil 2.12. Global yatırım holding

Tablo 2.1. 2022 yılı biyokütle potansiyeli

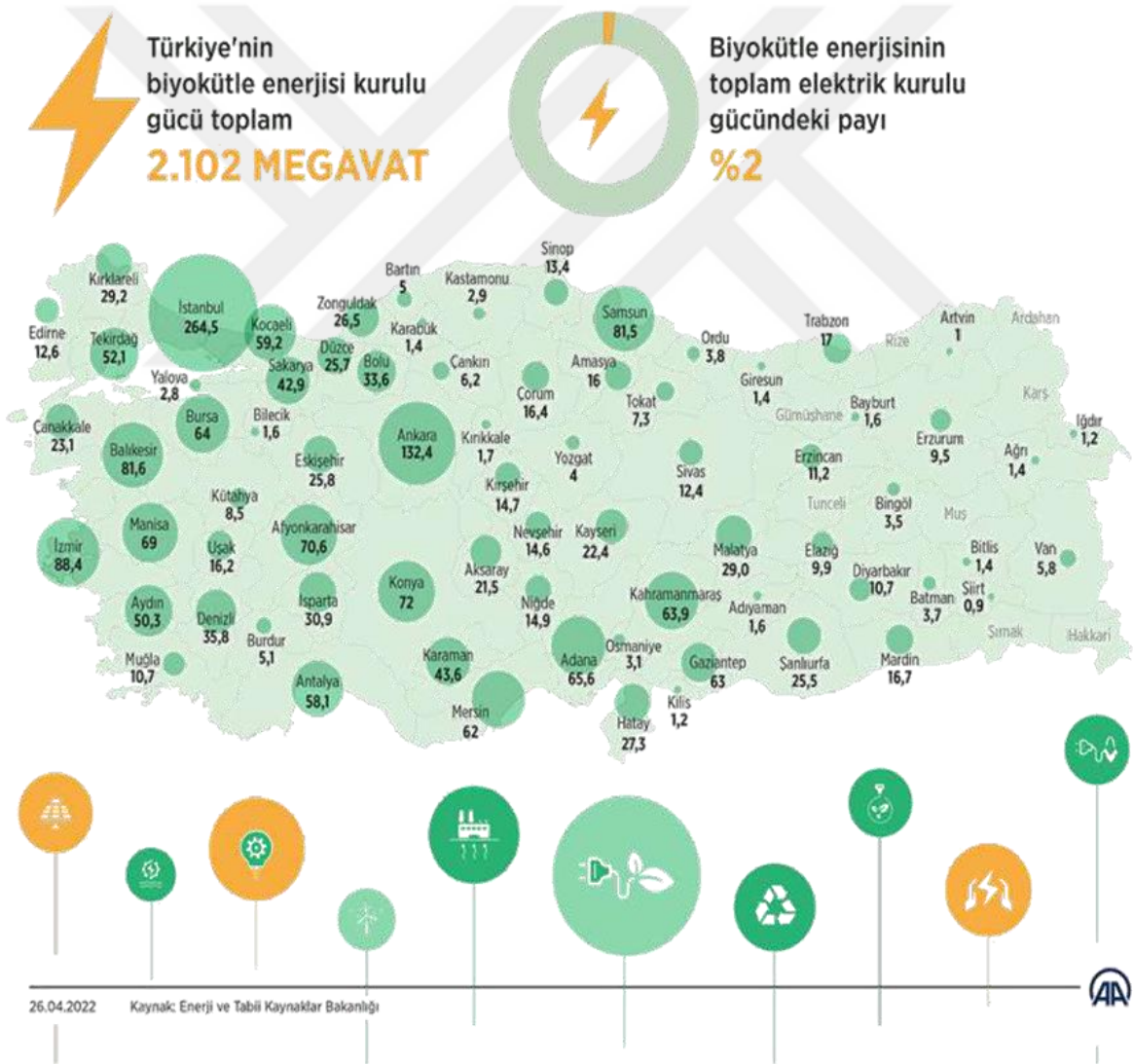
Atıklar	Değerler
Hayvan Sayısı (adet)	422832374
Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl)	193878079
Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	4385371
Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1084506
Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl)	171399002
Bitkisel Atık Miktarı (ton/yıl)	62206754
Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	25384268
Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1462159
Belediye Atıkları Miktarı (ton/yıl)	32170975
Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl)	3373111
Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl)	485858
Orman Varlığı Artıkları (ster/yıl)	3914904
Orman Varlığı Artıklarının Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	859899
Biyodizel İşleme Lisansı Sahibi Firmalar	8
Biyoteanol İşleme Lisansı Sahibi Firmalar	5
Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santral Sayısı	199
Atıkların Toplam Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	34002549
Atıkların Toplam Enerji Eşdeğeri (GWh/yıl)	394.43
Biyokütle Kaynaklarından Elektrik Üretimi (GWh)	7.501

20.12.2022 Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası verilerine göre;

01.01.2022- 15.12.2022 Tarihleri arasında üretilen elektrik enerjisinin %2,4' ü Biyokütle Santrallerinde üretilmiştir.

Türkiye' nin Teorik Potansiyeli: 394.430 GWh Teorik Biyokütle potansiyeline göre, mevcut üretimden 52 Kat daha fazla üretimle, güncel enerji üretimimizin tamamının, Biyokütle kaynaklardan üretilmesi teorik olarak mümkündür.

Türkiye'nin 73 şehrinde biyokütleden elektrik üretiliyor



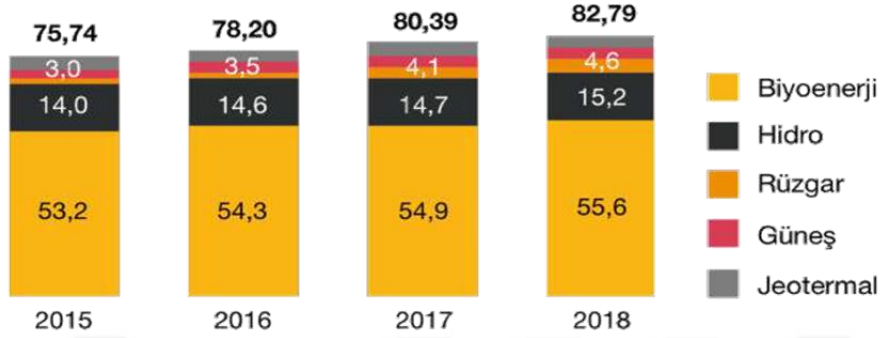
Kaynak: 26.04.2022 T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

Şekil 2.13. Biyokütle üretim miktarları

2.3. Dünyada Biyokütle

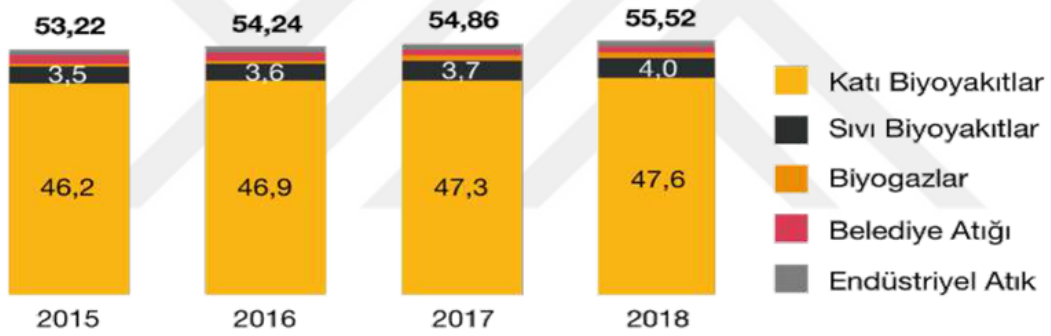
Dünyada Biyokütle kaynaklı enerji ve üretimi hakkındaki çeşitli yılları içeren grafikler aşağıda verilmiştir.

Küresel Toplam Birincil Yenilenebilir Enerji Arzı
(EJ, 2015-2018)



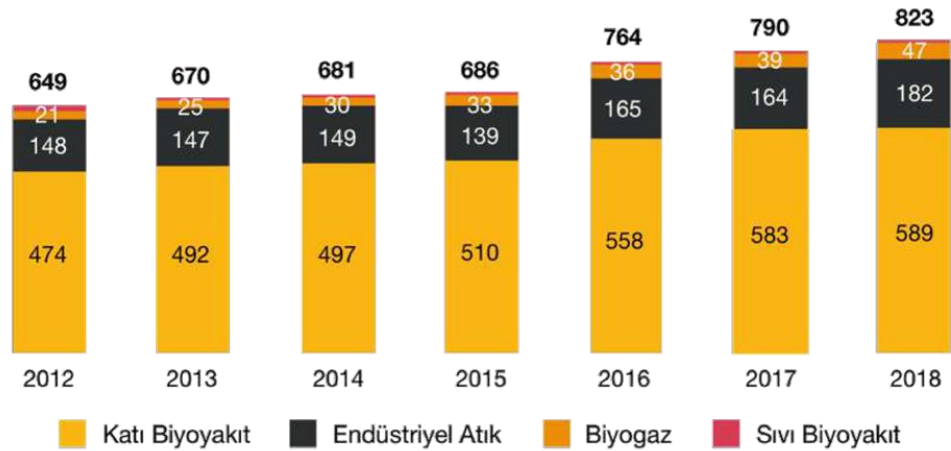
Şekil 2.14. Küresel yenilenebilir enerji arzı

Küresel Biyokütle Arzı (EJ, 2015-2018)



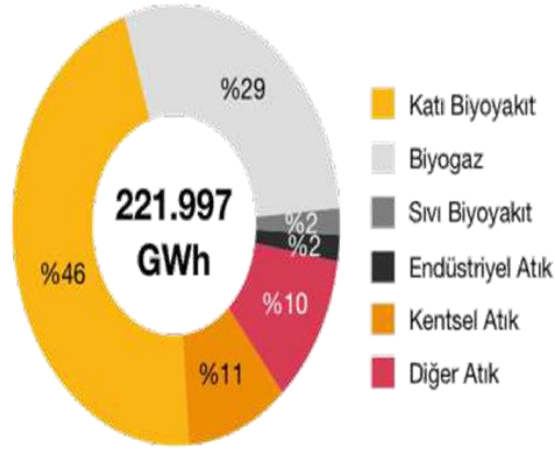
Şekil 2.15. Küresel biyokütle arzı

Biyokütle Kaynaklı Isı Üretimi (PJ, 2012-2018)

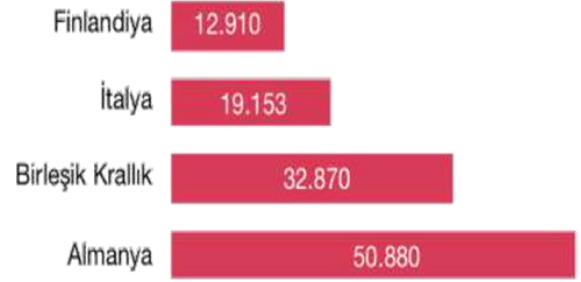


Şekil 2.16. Biyokütle kaynaklı ısı üretimi

AB-28 Toplam Biyokütle Bazlı Elektrik Üretimi Kaynak Kırılımı (% , 2019)



Seçilmiş Ülkelerde Biyoenerji Bazlı Elektrik Üretimi (GWh, 2018)



Almanya 2018 verilerine göre AB-28'de en yüksek elektrik üretimi gerçekleştirmiş ülkelerdendir.

Şekil 2.17. AB ülkelerinde biyokütle bazlı elektrik üretimleri

2.4. Gelecekte Biyokütle

Gelecekte biyokütlenin nerelere gelebileceği hakkında öngörüler aşağıda verilmiştir.

Biyokütle	Açıklama	2050 Teknik Potansiyeli (EJ/yıl)
Tarım atıkları	Hem birincil (hasattan elde edilen tahıl samanı gibi) hem de ikincil (pirinç öğütme işleminden elde edilen pirinç kabuğu gibi) artıkları olan gıda/yem üretimi ve işlemesiyle ilişkili yan ürünler.	15-70
Fazla tarım arazisinde özel biyokütle üretimi	Yağ bitkileri, odunlu selülozik otlar, kısa rotasyonlu baltalıklar ve ağaç dikimleri dahil olmak üzere hem geleneksel tarım ürünlerini hem de özel biyoenerji bitkilerini içerir. Sadece gıda, yem veya diğer tarımsal emtia üretimi için gerekli olmayan arazinin biyoenerji için uygun olduğu varsayılmaktadır.	0-700
Marjinal arazilerde özel biyokütle üretimi	Ormansızlaştırılmış, bozulmuş veya geleneksel tarım için uygun olmadığı ancak bazı biyoenerji şemaları için uygun olduğu düşünülen (yeniden ağaçlandırma gibi) marjinal alanlarda biyokütle üretimini ifade eder.	0-110
Orman Biyokütlesi	Hem budama ve kesim gibi birincil kalıntıları hem de ağaç işlemeden talaş ve ağaç kabuğu gibi ikincil kalıntıları içeren orman sektörü yan ürünlerini içerir. Ayrıca, doğal rahatsızlıklardan kaynaklanan ölü odun ve öngörülen biyomateriyal talebini (kesilmiş odun, kağıt ve karton gibi) karşılamak amaçlı endüstriyel odun üretimi için gerekli olmayan doğal/yanı doğal ormanlardaki biyokütle büyümesi de bu kategoride ele alınır.	0-110
Gübre	Hayvan gübresinde nüfus gelişimi, beslenme düzeni ve hayvansal üretim sistemleri kritik belirleyicilerdir.	5-50
Organik atıklar	Ev, restoran ve belediyelerdeki organik atık, kağıt ve ahşap ürünler gibi malzemelerin kullanımıyla ilişkili biyokütleyi ifade eder. Uygulanması kullanım oranlarına ve toplama sistemlerine bağlıdır.	5-50

Kaynak: Bioenergy, 2011-In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University Press

Şekil 2.18. 2050 biyokütle potansiyeli

2.5. Biyokütle Projesi ile İlgili Çed Süreçleri ve Yönetmelikler

29 Temmuz 2022 tarihli ve 31907 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği, Türkiye'nin Yeşil Kalkınma Hedefleri doğrultusunda önemli yenilikler içermektedir.

Bu düzenlemeler, çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutarak projelerin çevreye olan etkilerini daha etkin bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Bu yönetmelik projelerin çevre üzerindeki olası etkilerinin önceden değerlendirilmesini, bu etkilerin en aza indirilmesi veya önlenmesi için gerekli önlemlerin alınmasını sağlamayı hedefler.

Bu yönetmeliğin kapsamında ÇED süreci, enerji, madencilik, sanayi, altyapı, tarım, ormancılık, turizm gibi birçok sektörde planlanan projeler için geçerlidir. Yönetmelik, hangi projelerin ÇED sürecine tabi olduğunu ve hangi projelerin bu kapsam dışında değerlendirileceğini açıkça belirler.

Proje sahipleri, planladıkları projeler için ÇED sürecini başlatmak amacıyla Bakanlığa veya yetkilendirilmiş mercilere başvuruda bulunmalıdır.

Süreç, "ÇED Gerekli Değildir" veya "ÇED Gereklidir" kararlarına göre ilerler.

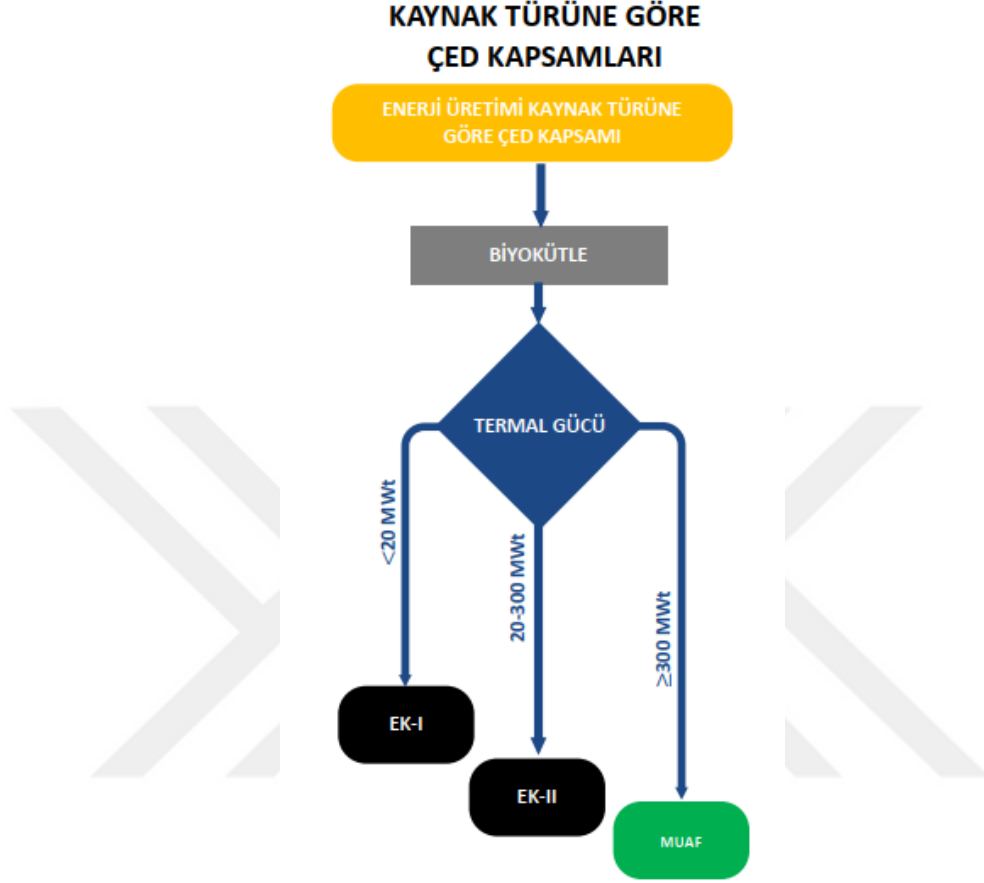
Yönetmelik, projelerle ilgili halkın bilgilendirilmesi ve görüşlerinin alınmasını zorunlu kılar. Bu kapsamda, halkın katılım toplantıları düzenlenir. ÇED süreci olumlu sonuçlanan projelerde, uygulama aşamasında belirlenen çevresel önlemlerin alınıp alınmadığı Bakanlık tarafından izlenir ve denetlenir (ÇED, 2023).

Bu yönetmelikle birlikte Sıfır Atık Planı, Sera Gazı Azaltımı Planı, İklim Değişikliğine Etkiler, Çevre İzleme Planı ve Çevresel ve Sosyal Yönetim Planı gibi birçok planın, "Sürdürülebilirlik Planı" başlığı altında ÇED raporlarında yer alması zorunlu hale getirilmiştir (ÇED, 2023).

Ek-1 listesinde yer alan projeler için, projeden etkilenen veya etkilenebilecek paydaş gruplarını tanımlamak, katılım yöntemlerini ve süreçlerini belirlemek amacıyla Paydaş Katılım Planı hazırlanması ve ÇED süreci boyunca bu planın uygulanması ve güncellenmesi yükümlülüğü getirilmiştir.

Ek-1 ve Ek-2 listelerinde yer alan projelerin tamamı için kümülatif etki değerlendirmesi yapılması, çevresel ve sosyal eylem planı, sürdürülebilirlik ve çevre izleme planı hazırlanması zorunlu hale getirilmiştir (ÇED, 2023).

Bu yenilik, projelerin çevreye ve topluma olan etkilerinin daha bütüncül bir perspektiften ele alınmasını sağlayarak, sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle daha uyumlu bir planlama sürecine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.



Şekil 2.19. Kaynak türüne göre çed kapsamı

2.5.1. ÇED uygulanacak projeler

ÇED Yönetmeliği'nin EK-1 listesi, çevre üzerinde önemli etkiler yaratma potansiyeli olan ve ÇED sürecine tabi tutulması gereken projeleri kapsamaktadır. Bu projeler, faaliyet alanlarına göre belirlenmiş ve detaylandırılmıştır. İşte ÇED uygulanacak başlıca proje türleri;

Enerji üretimi ve dağıtımı;

- Termik santraller, hidroelektrik santraller (belli bir kapasite üzerindeki projeler),
- Rüzgar ve güneş enerji santralleri (belirlenen eşik değerler üzerinde),
- Elektrik iletim hatları ve doğal gaz boru hatları.

Madencilik Faaliyetleri;

- Kömür, altın, gümüş gibi madenlerin açık veya yer altı işletmeleri,
- Petrol ve doğal gaz çıkarma ve işleme projeleri,
- Çimento, kireç ve alçı üretimi için taş ocakları.

Sanayi tesisleri;

- Petrokimya tesisleri ve kimyasal üretim fabrikaları,
- Metal işleme ve eritme tesisleri,
- Büyük ölçekli tekstil ve deri üretim tesisleri.

Altyapı ve ulaşım;

- Otoyol, demiryolu ve havaalanı projeleri,
- Büyük ölçekli liman ve marina inşaatları,
- Barajlar, göletler ve su rezervuarları.

Atık yönetimi ve depolama;

- Katı atık düzenli depolama sahaları,
- Tehlikeli atık bertaraf tesisleri,
- Atık su arıtma tesisleri (belirli bir kapasitenin üzerindeki projeler).

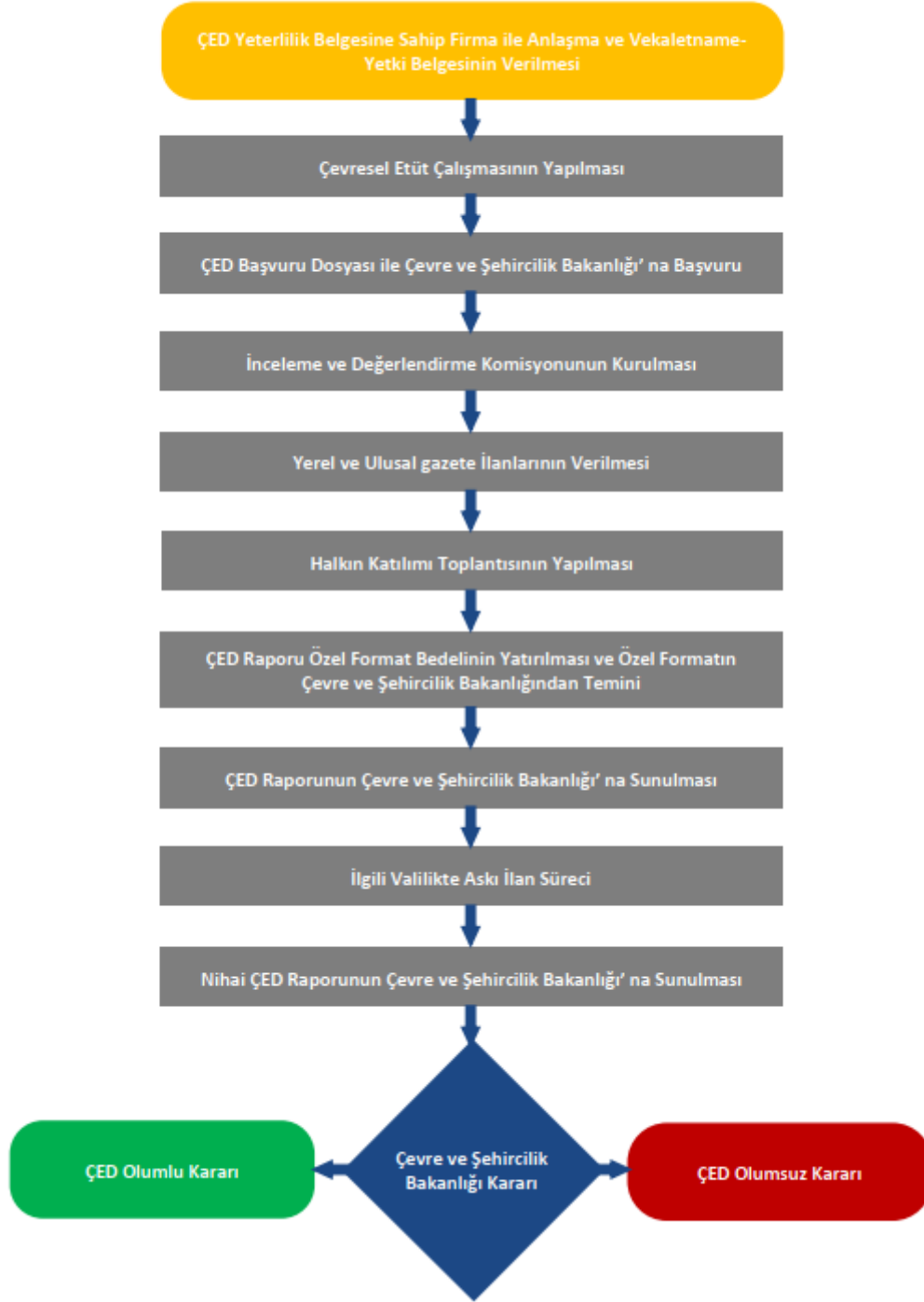
Kentsel ve tarımsal gelişim;

- Büyük ölçekli konut projeleri ve alışveriş merkezleri,
- Tarımsal sulama projeleri ve drenaj sistemleri,
- Endüstriyel hayvancılık ve balık çiftlikleri

Diğer olarak kabul edebileceğimiz Askeri ve savunma sanayi tesisleri, Büyük ölçekli turistik tesisler, Nükleer enerji tesislerdir.

Bu projeler, çevre üzerinde yüksek etkiler yaratma potansiyeline sahip oldukları için detaylı ÇED süreçlerinden geçmek zorundadır. Sürecin amacı, bu projelerin çevresel etkilerinin önceden tespit edilmesi ve bu etkilerin minimize edilmesi için gerekli önlemlerin alınmasını sağlamaktır.

EK-1 LİSTESİNDE YER ALAN PROJELERİN ÇED SÜRECİ



Şekil 2.20. Ek-1 listesinde yer alan projelerin çed süreçleri

2.5.2. ÇED ön inceleme ve değerlendirmeye tabi projeler

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği'nin EK-2 listesi, çevresel etkilerinin boyutu bakımından daha düşük seviyede değerlendirilen ancak yine de ön inceleme ve değerlendirme süreçlerinden geçmesi gereken projeleri kapsamaktadır. Bu projeler,

çevreye olan etkilerinin detaylı olarak incelenmesi için daha hızlı ve basitleştirilmiş bir ÇED sürecine tabi tutulur. İşte bu kategoriye giren başlıca projeler

Enerji ve elektrik üretimi;

- Küçük ölçekli hidroelektrik santralleri (barajsız veya kapasitesi daha düşük olanlar),
- Rüzgar ve güneş enerjisi projeleri (belirli eşik değerlerin altında kalanlar),
- Jeotermal enerji tesisleri (düşük kapasitedeki tesisler).

Madencilik Faaliyetleri;

- İnşaat amaçlı taş ocakları ve kum-çakıl işletmeleri,
- Kireçtaşı, mermer ve benzeri malzeme çıkarımı yapan ocaklar (küçük ölçekli projeler),
- Altın veya metal dışı minerallerin arama çalışmaları.

Sanayi ve üretim tesisleri;

- Orta ölçekli tekstil, deri işleme ve kağıt üretim tesisleri,
- Gıda üretim tesisleri (örneğin, büyük ölçekli mezbahalar veya süt işleme tesisleri),
- Orta büyüklükteki kimyasal üretim tesisleri.

Altyapı ve ulaşım;

- Bölgesel veya ilçe bazında otoyol ve yol projeleri,
- Demiryolu ve karayolu bağlantı yolları,
- Yerel havaalanları veya küçük ölçekli liman projeleri.

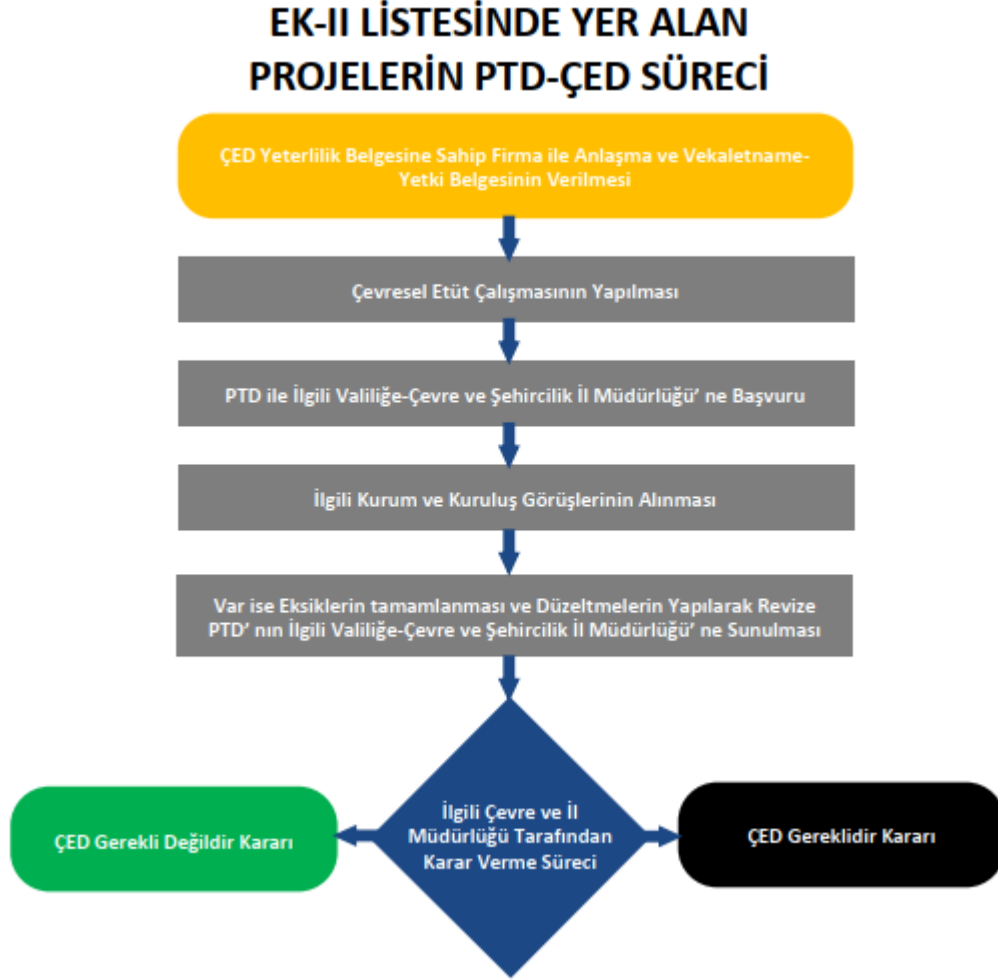
Tarımsal ve hayvancılık faaliyetleri;

- Orta büyüklükteki tarımsal sulama ve drenaj projeleri,
- Hayvancılık tesisleri (örneğin, büyükbaş ve küçükbaş hayvan çiftlikleri),
- Orta ölçekli balık çiftlikleri.

Atık yönetimi ve çevresel hizmetler;

- Küçük ölçekli atık bertaraf ve geri dönüşüm tesisleri,
- Atık su arıtma projeleri (kapasitesi daha düşük olanlar),
- Düzenli depolama alanlarının genişletilmesi.

ÇED Ön İncelemesi Neden Gereklidir? EK-2 kapsamındaki projeler, çevresel etkilerinin düşük veya orta derecede olması nedeniyle detaylı ÇED sürecine gerek duyulmayabilir. Ancak ön değerlendirme yapılması, çevre üzerindeki olumsuz etkilerin belirlenmesi ve bu etkileri en aza indirecek önlemlerin alınması açısından önemlidir. Bu süreç, projelerin hem çevresel sürdürülebilirlik hem de yerel topluluklarla uyum içinde gerçekleştirilmesini sağlar.



Şekil 2.21. Ek-2 listesinde yer alan projelerin çed süreçleri

2.5.3. Seçme, eleme kriterine tabi olan projeler

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği kapsamında, Seçme ve Eleme Kriteri listesi, çevresel etkilerinin boyutu ve niteliği belirli eşik değerlerin altında olan projeler için uygulanır. Bu süreç, projelerin tam bir ÇED raporu hazırlamadan önce çevresel etkilerinin değerlendirilip değerlendirilmemesi gerektiğine karar vermeyi amaçlar.

ÇED Yönetmeliğinin Ek-2 listesinde bulunan projeler ile kapsam dışı değerlendirilen projelere ilişkin kapasite artırımı ve/veya genişletilmesinin planlanması halinde, mevcut

proje kapasitesi ve kapasite artışları toplamıyla birlikte projenin yeni kapasitesi Ek-2 listesinde belirtilen projeler Seçme, Eleme Kriterlerine tabidir.

Seçme Eleme Kriterine tabi projeler için proje tanıtım dosyası hazırlanmak suretiyle Bakanlığa başvurulmakta ve sonrasında yapılan değerlendirme sonucunda eksik bilgi ve belge taşımadığı tespit edilen başvurular hakkında "ÇED Gereklidir" ya da "ÇED Gerekli Değildir" yazısı verilmektedir. "ÇED Gereklidir" yazısı verilen projeler için ÇED Raporu zorunlu hale gelmektedir.

Bu süreçte projelerin büyüklükleri, kapasiteleri ve çevresel etkileri önceden belirlenir. Eğer çevresel etkiler önemli bir düzeyde bulunursa, proje detaylı bir ÇED raporu hazırlamak zorunda kalır. Aksi durumda, çevresel etkilerin düşük olduğu kanaatine varılırsa proje, daha hızlı ve basit bir değerlendirme süreciyle uygulanabilir.

Bu süreç, özellikle küçük ve orta ölçekli projelerin çevreyle uyumlu bir şekilde yürütülmesini sağlar ve çevresel dengeyi koruma amacını destekler.

2.5.4. ÇED kapsam harici olan projeler

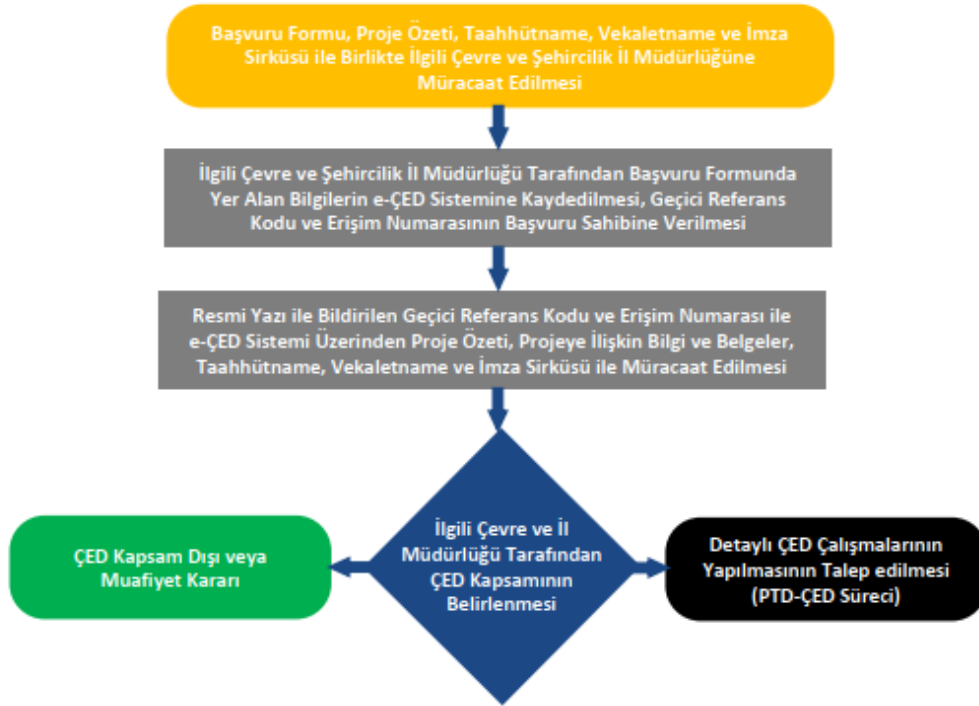
07.02.1993 tarihi Çevresel Etki Değerlendirme yönetmeliğinin ilk yayın tarihidir. Bu tarihten önce işletmeye başladığını belgeleyen projeler Çevresel Etki Değerlendirme kapsamı dışında kalmış olarak değerlendirilir (Ekoloji Kollektifi Derneği, 2023).

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği'ne göre, çevresel etkileri çok sınırlı veya önemsiz kabul edilen belirli projeler, ÇED sürecinden muaf tutulmaktadır. Bu projeler, genellikle küçük ölçekli, yerel düzeyde çevre üzerinde ciddi bir etki yaratmayacağı öngörülen faaliyetlerden oluşur.

Bu projeler, çevresel etkilerinin sınırlı veya yerel olması nedeniyle daha karmaşık bir ÇED sürecine tabi tutulmamaktadır. Ancak bu durum, projelerin tamamen denetimsiz olduğu anlamına gelmez; gerektiğinde yerel otoriteler tarafından kontrol edilebilirler. Bu muafiyetler, küçük ölçekli faaliyetlerin gereksiz bürokrasiyle engellenmesini önlemeyi ve çevresel etkisi minimal olan projelerin daha hızlı hayata geçirilmesini amaçlar.

Bunların yanı sıra istisna da mevcuttur. Kamu yatırım programına 23.06.1997 tarihinden önce alınmış olan, işletmeye 29.05.2013 tarihi itibarıyla başlamış olan projeler ve tesisler Çevresel Etki Değerlendirme kapsamı dışındadır.

KAPSAM DIŞI PROJELERİN ÇED-MUAFİYET SÜRECİ



Şekil 2.22. Kapsam dışı projelerin çed süreçleri

2.5.5. Entegre projeler

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği kapsamında, entegre projeler, birden fazla faaliyet alanını kapsayan ve çevresel etkileri açısından birbiriyle bağlantılı projeler olarak ele alınmaktadır.

Entegre projelerde, her bir faaliyet tek tek değil, proje bütünlüğü içinde değerlendirilir. Böylece, farklı faaliyetlerin çevresel etkilerinin toplamda nasıl bir etki yarattığı analiz edilir.

Entegre projeler için ayrı ayrı ÇED süreçleri yürütmek yerine, tüm faaliyetleri kapsayan tek bir ÇED raporu hazırlanır. Bu yaklaşım, değerlendirme sürecini kolaylaştırırken, faaliyetler arası etkileşimlerin gözden kaçmasını engeller.

Entegre projelerde, tüm faaliyetlerin bölgesel ve çevresel etkileri bir bütün olarak ele alınır. Özellikle su, hava, toprak gibi doğal kaynakların kullanımı ve etkilenme durumları detaylı bir şekilde incelenir.

Bu madde, entegre projelerin çevreye olan etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde ele alınmasını ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde planlanmasını amaçlamaktadır.

İlgili danıştay kararı sonrasında yapılan 26 Mayıs 2017 tarihli değişiklikler sonrasında , entegre projeler için tek ÇED başvurusu hazırlanması gerekliliği , Bakanlığın inisiyatifinden çıkarılarak zorunlu duruma geçmiştir.

2.5.6. ÇED süreçleri



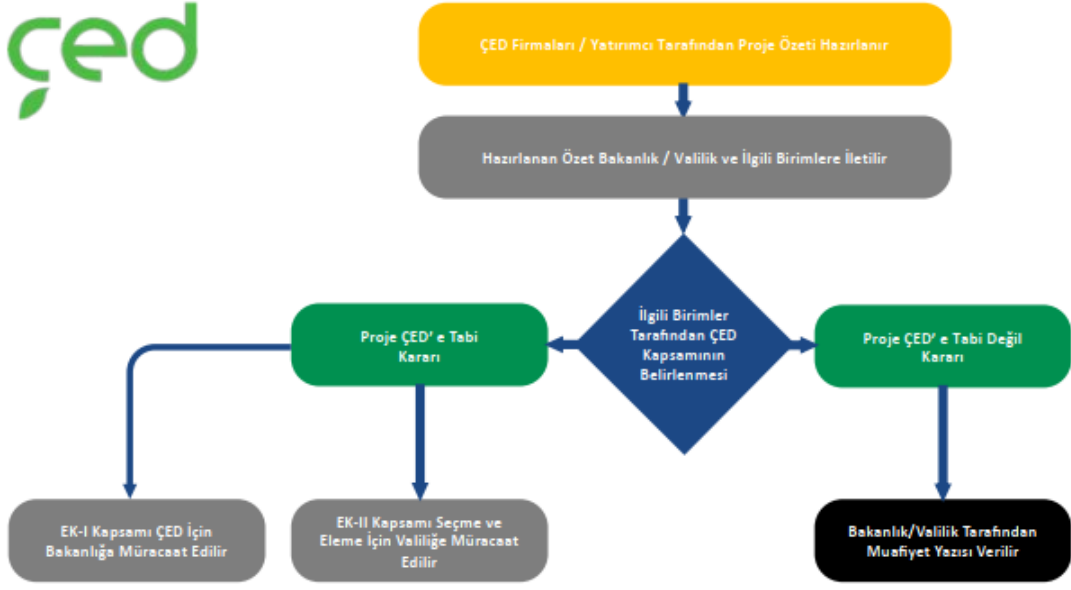
Şekil 2.23. ÇED süreç haritası

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), projelerin çevresel faktörler üzerindeki etkilerini belirlemek ve değerlendirmek amacıyla yürütülen bir süreçtir. ÇED, doğrudan bir karar verme mekanizması olmamakla birlikte, karar verme süreçlerini destekleyen ve daha sağlıklı kararlar alınmasına yardımcı olan bir araç olarak kabul edilmektedir. Bu süreçte, projelerin çevresel etkilerinin yanı sıra geçici veya kalıcı sosyal etkileri ile bu etkilerin çözüme kavuşturulması için alınabilecek önlemler de analiz edilir (Gökmoğol, 2024)

ÇED'in temel amacı, ekonomik ve sosyal kalkınmayı engellemeden, çevresel değerleri korumak ve bu değerlerin ekonomik politikalar karşısında savunulmasını sağlamaktır. Bu süreç, projelerin potansiyel olumsuz çevresel etkilerini önceden tespit ederek, bu etkilerin minimize edilmesi için gerekli tedbirlerin alınmasını mümkün kılar (Gökmoğol, 2024)

ÇED'in en önemli işlevlerinden biri, karar vericilere projelerin çevresel etkileri hakkında kapsamlı bilgi sunarak daha bilinçli kararların alınmasını sağlamaktır. Bu, projelerin çevre üzerindeki olumlu ve olumsuz tüm etkilerinin detaylı bir şekilde ortaya konmasıyla gerçekleştirilir.

ÇED uygulamaları, 1969 yılında ABD'de yürürlüğe giren Ulusal Çevre Politikası Kanunu (National Environmental Policy Act) ile başlamış ve bugün Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere pek çok yerde etkin bir çevresel değerlendirme aracı olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de ise ÇED süreci, 7 Şubat 1993 tarihinden itibaren uygulanmaya başlanmıştır ve çevresel değerlerin korunmasında önemli bir role sahiptir (Gökmoğol, 2024)



Şekil 2.24. CED yol haritası

Şekil 2.25 te de gösterildiği üzere bir projenin Çevresel Etki Değerlendirmesi (CED) Yönetmeliği'ne tabi olup olmadığını belirlemek için ilk olarak proje özeti, ilgili Bakanlık veya Valilik tarafından incelenir. Bu inceleme sonucunda verilen karara göre süreç şu şekilde ilerler:

- Eğer proje CED sürecine tabi değilse, ilgili Bakanlık veya Valilik tarafından proje sahibine CED Muafiyeti Yazısı verilir.
- Eğer proje CED sürecine tabi ise, uygulanacak süreç projenin kapsamına göre farklılık gösterir:
 - CED EK-I kapsamındaki projeler için Bakanlığa başvuruda bulunulur.
 - CED EK-II kapsamındaki projeler için seçme ve eleme kriterlerine göre değerlendirme yapılması amacıyla Valiliklere müracaat edilir (Dölek, 2021).

Bu süreç, projelerin çevresel etkilerinin uygun şekilde değerlendirilmesini sağlamak amacıyla düzenlenmiştir.

2.6. Biyokütle İçerikleri

2.6.1. Tarımsal atıklar

Ülkemizde 28 milyon hektar ekilebilir tarım arazisi içerisinde yılda 62 milyon ton biyokütle üretim içerikleri arasında buğday ve arpa samanı, mısır türevleri, pamuk sapı, pamuk kozası, pamuk kabuğu, ayçiçeği posası ve sapı, şeker pancarı posası, fındık kabukları, yulaf ve çavdar samanı, meyve posaları, zeytin çekirdeği, pirinç çeltiği, bağ-bahçe budama

ve hasat artıkları vb. bulunmaktadır. Biyokütle olarak değerlendirilmesi mümkün olan söz konusu tarımsal atıkların kullanımı artmakta, bölgesel olarak hasat ve tedarik yapılanmalarına rastlanmaktadır. Tarımsal biyokütle ülkemizin önemli yerli kaynağı olan linyitlerden fazla ısı değere sahiptir. Linyitlerin ortalama ısı değerinin 2000-2500 kcal/kg olduğu ülkemizde, fındık kabuğu 4226 kcal/kg, çam peleti 4452 kcal/kg, mısır sapı 3275 kcal/kg ısı değere sahiptir. (ETKB, 2022)

2.6.2. Ormansal atıklar

Ormanlarda yapılan kesim sonucu ağaç endüstrisinde ve ısınma yakıtı olarak değerlendirilemeyen ve ormanda bırakılan kök, dipte kalan kütük, kesilen gövdenin kalan ucu, üst ve ince yan dallar, kesim sonrası yapılan devrilme işlemi sonucunda ya da taşınma sırasında ortaya çıkan parçalanmış ağaç ve kabukları, ormanlarda birikmiş olan kuru yapraklar, kozalaklar, ormanlarda yapılan dudama bakımları sonucunda orman sahasından toplanan ince materyal ile ormanda ekonomik olarak değer görmeyen ağaç, orman gülü, sandal ağacı, kocayemiş gibi çalılar, orman artığı olarak kabul edilmektedir.

Bahsedilen atıklar taşıma ve parçalanma işlemi sonucunda Biyokütle yakan Enerji Üretim Santrallerinde kullanılabilir (TÜBA , 2022).

2.6.3. Endüstriyel atıklar

Yapılan mevzuat değişiklikleriyle arıtma çamurları, organik hayvan artıkları ve dışkıları Biyokütle sınıfına dahil edilerek YEKDEM den yararlanma fırsatı tanınmıştır. Ayrıca Biyokütle sınıfına giren ve atık yakma mevzuatına uygun olan yakılabilir endüstriyel atıkların kullanımı da mümkündür. Bu kapsamda Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) kullanımı alternatif bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yıllarda ülkemizde yakıt olarak kullanılabilecek enerji bitkilerinin yetiştiriciliği, üretimi ve yaygınlaştırılması konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Söz konusu enerji bitkileri kısa sürede büyüme-hasat sağlayabilen nitelikte olup dünyada enerji üretimine yönelik özellikle yetiştirilerek kullanılmaktadır. Söz konusu bitkiler, karma yakıt üretiminde kullanıma uygundur. (Taşdoğan, 2022).



Şekil 2.25. Çeşitli biyokütle atıkları

2.6.4. Atıktan türetilmiş yakıtlar

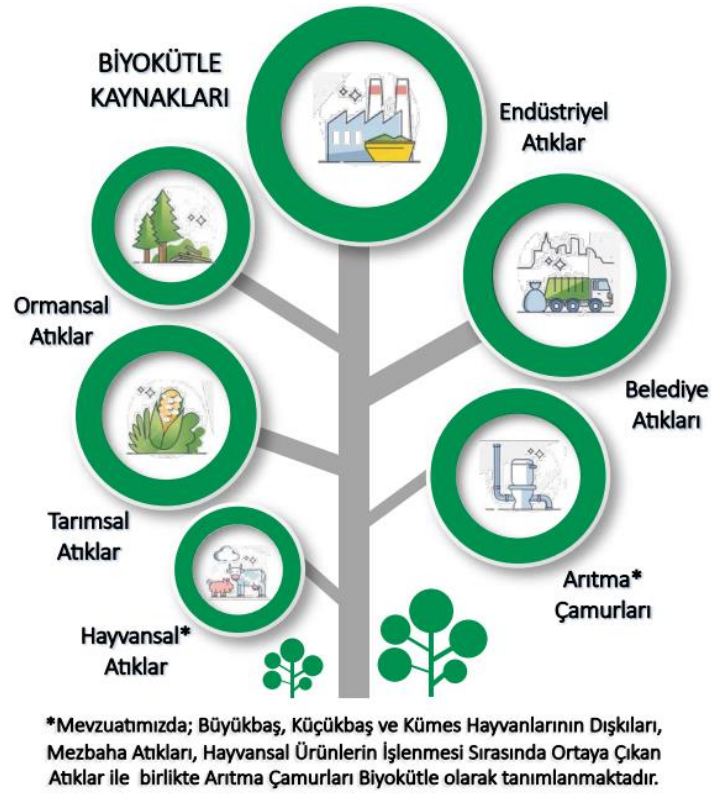
Yenilenebilir ısı ve elektrik enerjisi üretimi bileşenlerinin ihtiyacı olan yakıtın Biyokütle tabanlı atıklardan elde edilmesi ön görülmüştür. Biyokütle sınıfına giren atıklar ilgili mevzuat ve yönetmeliklerde belirtilmiştir. Biyokütle kullanılarak üretilen enerjiler ulusal ve uluslararası platformlarda yeşil ve yenilenebilir enerji statüsünde değerlendirilmektedir.

Kullanılması öngörülen Biyokütle kaynakların sürdürülebilirliği, kalorifik değeri, nem oranı, ebatları, kısa nakliye mesafesi ve temin maliyetleri önem arz etmektedir.

Yakıt sürdürülebilirliğinin ve çeşitliliğinin uygun maliyetlerle sağlanması adına, Biyokütle Biyokütle tabanlı atıkların karma yakıt haline getirilerek kullanılması, akılcı bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sayede tesisin ihtiyacı olan yakıtın, farklı bir lokasyonda Granül haline getirilerek işletmenin kullanımına sunulması, yakıtın sürdürülebilirliği, kalitesi, verimli kullanımı, nakliye kolaylığı ve tedarik maliyetleri açısından standardizasyon yaratacağı düşünülmektedir. (Taşdoğan, 2022).

Sistem ve teknoloji seçiminde üretim değerlerinden ödün vermeksizin, farklı nitelik ve özellikteki yakıtların eş zamanlı olarak kullanılmasına imkan tanınmasına dikkat edilmelidir.

Kullanılması ön görülen kaynaklar, bu kapsamda ATY (Atıktan Türetilmiş Yakıt) / Granül-Pelet haline getirilerek ve/veya hazır- kullanılabilir Biyokütle yakıt olarak, Hizmet Sağlayıcılar tarafından yapılabilecek olan uzun süreli tedarik sözleşmeleri ile kurulacak tesisin kullanımına sunulması mümkün görülmektedir.



Şekil 2.26. Biyokütle atık türleri

2.6.5. ATY kullanımının avantajları ve standartlar

Dünyada atıktan türetilmiş yakıtlar ile ilgili aşağıda verilen terimler kullanılmaktadır;

- Katı Geri Kazanılmış Yakıt (SRF- Solid Recovered Fuel)
- Geri Kazanılmış Yakıt (REF- Recycled Fuel)
- Kağıt ve Plastik Fraksiyonlu Yakıt (PPF- Paper Plastic Fuel)
- İşlenmiş Geliştirilmiş Yakıt (PEF- Processed Engineered Fuel)

SRF, REF, PDF, PPF ve PEF gibi ATY ler tekrar geri kazanılması mümkün olmayacak kadar kirlenmiş olan, plastik ve kağıt gibi kentsel atığın yanabilir nitelikte ve kurumuş kısımlarını ifade etmektedir.

Evsel katı atıkların içerisinde yakıt olarak kullanılabilecek olanlarla ilgili terimler aşağıda verilmiştir;

- Atıktan Türetilmiş Yakıt (RDF-Refuse Derived Fuel)
- Geri Kazanılmış Yakıt (REF- Recovered Fuel)
- Katı Geri Kazanmış Yakıt (SRF- Solid Recovered Fuel)

- Ambalaj Yakıt (PDF- Packaging Derived Fuel)
- Kağıt ve Plastik Fraksiyonu (PPF- Paper and Plastic Fraction)
- İşlenmiş Geliştirilmiş Yakıt (PEF- Processed Engineered Fuel) vb.

Bahsedilen atıklar karma yakıtlara göre nem oranı ve kül miktarı daha az ve ısı kapasitesi daha yüksektir. Belirtilen durum verimliliğini de artırıcı yönde etki yaratmıştır.

Tablo 2.2. ATY-Granül yakıtın özellikleri

Parametre	Birim	Sınır Değer
Kalorifik Değer	kcal/kg	>2.500
Tane Boyutu	mm	<50 (1)
Nem Oranı	%	<35
Klor İçeriği	%	<1 (2)
Hg	µg/MJ	<330
Ağır Metal Toplamı	Mg/MJ	<2.500
PCB	ppm	<50
Solvent İçeriği	%	<15

Tablo 2.2 de belirtilen özellikler içerisinde tane boyutu Bakanlık nezdinde ATY kullanmayı düşünen tesisler için uygun görülmesi halinde arttırılabilir (1).

Klor içeriği parametresi by-pass hatı bulunan tesisler için üç katına kadar Bakanlık tarafından uygun bulunulması durumunda arttırılabilir (2).

Granül yakıt;

Depolama sahalarının daha uzun süre kullanıma imkan sağlar,

Kaynak kullanımının azalmasını sağlar,

Kalorifik değeri düşük materyaller ayrıştırıldığı için prosese yalnızca yüksek enerjili yanabilir maddeler girer,

Stabil yanma imkanı sağladığı için yanma prosesin ihtiyacı olan havanın daha uniform olmasını sağlar,

Depolaması kolaydır,

Proses transferi kolaydır,

Granül olarak kullanıldığı durumda yanma sonucu oluşan toz-kül gibi çıktılar azalır,

Granül tanecik boyutları mevzuat çerçevesinde değiştirilebilir,

Her işletme kendi atığının %40'lık bölümünü kullanabilir.

Atık Kodlarına Göre Biyokütle Sınıfları

10.05.2005 tarihinde yayınlanan 5346 Sayılı kanunun 3. Maddesinin 9. Fıkrasında «Biyokütle» olarak belirlenen atıklar.

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI
02 01 06	Ayrı toplanmış ve saha dışında işlem görecektir hayvan dışkı, idrar ve tezek (ve bunlarla temas etmiş saman dahil), akan sıvılar
02 02 01	Yıkama ve temizlemeden kaynaklanan çamurlar
02 02 04	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
02 03 05	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan atıklar
02 04 03	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
02 05 02	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
02 06 03	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
02 07 04	Tüketime ya da işlenmeye uygun olmayan maddeler
02 07 05	İşletme sahası içerisindeki atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
03 01 01	Ağaç kabuğu ve mantar atıkları
03 03 01	Ağaç kabuğu ve odun atıkları
03 03 07	Atık kâğıt ve kartonun hamur haline getirilmesi sırasında mekanik olarak ayrılan ıskartalar
03 03 08	Geri dönüşüme gitmek üzere sınıflandırılan kâğıt ve kartondan kaynaklanan atıklar
03 03 10	Mekanik ayırma sonucu oluşan elyaf ıskartaları, elyaf, dolgu ve yüzey kaplama maddesi çamuru
03 03 11	03 03 10 dışındaki saha içi atık su arıtımından kaynaklanan çamurlar
04 01 01	Sıyırma ve kireçleme ile deriden et sıyırma işleminden kaynaklanan atıklar
04 01 06	Saha içi atık su arıtımından kaynaklanan krom içeren çamurlar
04 01 07	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan krom içermeyen çamurlar
04 02 20	04 02 19 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
05 01 10	05 01 09 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
05 01 13	Kazan besleme suyu çamurları (8)
06 05 03	06 05 02 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
06 13 03	Karbon siyahı
07 01 12	07 01 11 dışındaki saha içi atık su arıtımından kaynaklanan çamurlar
07 02 12	07 02 11 dışındaki saha içi atık su arıtımından kaynaklanan çamurlar
07 03 12	07 03 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
07 04 12	07 04 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
07 05 12	07 05 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
07 06 12	07 06 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
07 07 12	07 07 11 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
10 01 21	10 01 20 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
10 12 13	Saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamur
19 05 01	Belediye ve benzeri atıklarının kompostlanmamış fraksiyonları
19 05 03	Standart dışı kompost
19 06 04	Belediye atıklarının anaerobik arıtımından kaynaklanan posalar
19 06 06	Hayvansal ve bitkisel atıkların anaerobik arıtımından kaynaklanan posalar
19 08 05	Kentsel atık suyun arıtılmasından kaynaklanan çamurlar
19 08 09	Yağ ve su ayrışmasından kaynaklanan sadece yenilebilir yağlar içeren yağ karışımları ve gres
19 08 12	19 08 11 dışındaki endüstriyel atık suyun biyolojik arıtılmasından kaynaklanan çamurlar
19 08 14	19 08 13 dışındaki endüstriyel atık suyun diğer yöntemlerle arıtılmasından kaynaklanan çamurlar
19 11 06	19 11 05 dışındaki saha içi atıksu arıtımından kaynaklanan çamurlar
20 01 08	Biyolojik olarak bozunabilir mutfak ve kantin atıkları
20 01 25	Yenilebilir sıvı ve katı yağlar
20 02 01	Belediye bahçe ve park atıkları – Biyolojik olarak bozunabilir atıklar
20 03 01	Karışık belediye atıkları
20 03 02	Pazarlardan kaynaklanan atıklar
20 03 04	Fosseptik çamurları
20 03 06	Kanalizasyon temizliğinden kaynaklanan atıklar

Şekil 2.27. Atık kodlarına göre biyokütle

3. BİYOKÜTLE YAKMA TEKNOLOJİLERİ

3.1. Genel Tasarım Kriterleri

Tesis tasarlanırken kullanılacak teknolojiye göre değişmekle beraber aşağıdaki özelliklere göre karar verilmesi beklenir :

Atık kabul , taşıma, depolama

Yanma odası tasarımı,

Kazan tipi(akışkan yatak,ızgaralı vb.),

Yanma sonucu ortaya çıkan emisyon bertaraf sistemleri,

Dip cüruf bertarafı,

Emisyon izleme sistemi (OTB, 2022)

Tasarlanan işletmelerde işlem görmemiş atıklar ya da işlem görmüş olarak tabir edilen atıklardan atıklar ATY yakılması mümkündür. Santral sahası dizaynı sisteme beslemek için kullanılacak yakıt çeşitliliğine göre değişiklik gösterebilmektedir. Öncelikle yanma için alınan yakıtlar atık toplama vasıtası yardımıyla işletmeye getirilmekte ve silolara boşaltılarak harmanlanmaktadır. Kazana beslenen yakıtın ısı değerinin sabit olabilmesini sağlanması amacıyla atığın harmanlanması için karıştırmak gereklidir. Ayrışma işlemine tabi tutulmamış evsel atıklar 8-11 MJ/kg enerji değerine sahip olurken atıktan türetilmiş yakıtlar 12-17 MJ/kg enerji değerine sahiptir.

Yakıtların içerisindeki organik maddeler olması gereken tutuşma sıcaklığına ulaştığında ve oksijenle temas ettiğinde yanma gerçekleşmektedir. Yanma prosesi gaz fazında meydana gelmekte olup yakıt ve oksijen beslenmesiyle beraber yeterli ısı değerine ulaştığında enerjisi serbest kalmaktadır. Bahsedilen proses termal bir reaksiyona ve devamlı olarak sürdürülebilen yanma prosesine sebebiyet vermektedir.

Evsel atık ve ATY nin yanması sonucu elde edilen enerji, enerjinin dönüşümüne göre yanma prosesi sonucu oluşan ısının buhar üretmek amacıyla kazan içerisinde geçirilmek suretiyle kullanılmasını ifade etmektedir. Yakılan atıktaki kullanılabilir enerjinin %80'i yanma sonucu kazandan çıkan buharın enerjisine dönüşmektedir. Buhar, türbin vasıtasıyla enerji üretimi için kullanılabileceği gibi, ısıtma ve endüstriyel tesis üretim proseslerinde de kullanılabilir. Hem elektrik hemde ısı üreten bir enerji tesisine Kombine Çevrim tesisi olarak ismi verilmektedir. Kombine çevrim santralinde buhar kazanı vasıtasıyla yakıtın

yanması sonucu buhardan elde edilen enerjinin ısı ve elektrik üretim amacıyla kullanılması yönünden en verimli seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.1. Biyokütle santrali

3.2. Çoğunlukla Tercih Edilen Teknolojiler

3.2.1. Hareketli ızgara

Hareketli ızgaralı kazanlar tarımsal atık ve ATY lerde yaygın olarak kullanılan kazan yakma sistemidir. Yakıt, hareket etmekte olan ızgaralar aracılığıyla belirli hızda yanma odasından geçer. Kazanın bir tarafından yakıt girişi sürekli olarak yapılırken, öteki tarafından kül boşaltılması sürekli olarak yapılmaktadır. Yakıt kazan içerisindeki hareketine devam ederken yanma prosesi tamamlanmaktadır. Yanma optimizasyonunu sağlamak ve yakıtların tam yanmasını sağlamak amacıyla proses şartları sürekli kontrol altındadır. Izgaranın sonunda, yanmamış yanma kalıntılarının hızla soğutulma gereksinimini suyla tamamlanmaktadır. (OTB, 2022)

Tarımsal atıklar ve ATY lerin genelde kullandığı hareketli ızgaralı yakma sistemlerinin çeşitleri aşağıdaki verilmiştir.

3.2.2. Silindir ızgara

Bu ızgara türü kademeli olarak tasarlanmış birbirlerine bitleştirilmiş tambur ya da silindirler içerir.

3.2.3. Kademeli eğimli tip ızgara

Bu ızgara türünde yakıtların aşağı hareketini sağlamak suretiyle çubuk, sallama düzenekleri ya da titreşim mekanizmaları kullanılmaktadır.

3.2.4. Eğimli karşılıklı dönen tip ızgara

Bu ızgara türünde çubuklar yakıtları karıştırmak ve ızgara üzerindeki yanma prosesi tamamlanana kadar yakıtın eğimli olan ızgaradan aşağıya düşmesinin önüne geçmek amacıyla geriye dönmektedir.

3.2.5. Sabit tip ızgara

Bu ızgara türünde yakıtın bir piston tarafından hareket ettirilmek istendiği sıra sıra kademedan yapılmaktadır. İlk aşama kurutma ve yanmaya başlama aşamasıdır. İkinci aşama da kalan yanma prosesi gerçekleşir. Son aşamada yanma tamamlanma aşamasıdır.

3.2.6. Döner fırın

Döner fırınlar, endüstride sıklıkla tercih edilen bir sistemdir. Bu tür fırınlar, iki aşamalı bir yanma sürecine sahiptir. İlk aşama, yakıtın beslendiği ve yanmanın başladığı fırın kısmıdır. Fırın, genellikle yakıt giriş noktasından aşağı doğru eğimli bir yapıya sahiptir. İkinci aşama ise, yanmanın tamamlandığı ikincil bir yanma odasından oluşur. Döner hareket mekanizması sayesinde, yakıtın fırın içinde eşit bir şekilde hareket etmesi ve böylece ısı ile oksijenle homojen bir şekilde etkileşime girmesi sağlanır.

3.2.7. Akışkan yataklı kazan

Katı atıkların akışkan yatak teknolojisiyle yakılması, yanma öncesinde atıkların metal ve benzeri materyallerden ayrıştırılarak sınıflandırılmasını ve işlenmesini amaçlayan bir süreçtir. Bu işlem sırasında, atıkların boyutlarını küçültmek için kırıcılar kullanılır. Yanma işlemi, kalın taneli kum, silika veya yanma üzerinde etkisi olmayan diğer maddelerden oluşan kabarcıklı bir yatak yapısına sahip özel bir odada gerçekleştirilir.

Bu yatak, yüksek debili bir hava akışı ile “akışkan” hale getirilir ve baca gazı geri kazanımıyla seyreltilir. Akışkanlaşan yakıt, hava ile karışarak kazan içinde yükselirken yanma işlemi gerçekleşir. Ancak, yatakta havadan ağır olan parçalar kalır. Bu durum, zamanla yatak malzemesinin (örneğin, kumun) değiştirilmesini gerektirir, bu da sürecin önemli dezavantajlarından biri olarak öne çıkar.

3.3. Kabul Gören Enerji Üretim ve Tüketimleri

Yanma prosesi, mekanik ayrıştırma, yanma havasının ön ısıtılması, pompalar, fanlar ve baca gazı arıtma sistemleri için enerji gereksinimi vardır. Verimli tesisler yanma havasının ön ısıtma işlemini yanmış gaz ile ısı transferi yapan sistemlerle gerçekleştirebilirler. Santralin ton başına

beirtilen elektrik ihtiyacı, ısı ihtiyacı ve toplam ihtiyacı aşağıdaki iç ihtiyaç tablosunda belirtilmektedir.

Tablo 3.1. İç ihtiyaç

Enerji	Birimler	Asgari	Ortalama	Azami
ELEKTRİK (Mutlak)	MWhe/ton Atık	0.062	0.142	0.257
	GJe/ton Atık	0.223	0.511	0.925
ISI (Mutlak)	MWhe/ton Atık	0.021	0.433	0.935
	GJe/ton Atık	0.076	1.559	3.366
TOPLAM(Eşdeğer)	MWhe/ton Atık	0.155	0.575	1.116
	GJe/ton Atık	0.558	2.070	4.018

Kaynak: BREF WI

Kazanda yanma sonucu elde edilen buhar enerjisi buhar türbini sistemi elektrik enerjisine dönüşmektedir.enerjinin bir bölümü ilgili iç ihtiyaçlar için kullanılmakta olup kalan kısmı şebekeye aktarılmaktadır. Enerji üretim oranı yakıtın ısıl değerine, tesisin boyutuna, sonucunda elde edilmek istenen buhar parametrelerine göre değişmektedir. Örnek verecek olursak Katı Atık Yakma Tesislerinde bir ton kentsel atık ile yaklaşık olarak 400-700 kWh arasında elektrik üretilebilmektedir. Katı atıktan ton başına elektrik üretimi ve şebekeye verilme oranları aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.2. Elektrik üretimi ve şebekeye aktarım oranları

Elektrik	Birimler	Asgari	Ortalama	Azami
Üretim	MWhe/ton atık	0.415 (%12.9)	0.546 (%18)	0.644 (%22)
	GJe/ton atık	1.494	1.966	2.319
Dışa Aktarım	MWhe/ton atık	0.279 (%8.7)	0.396 (%13)	0.458 (%18)
	GJe/ton atık	1.004	1.426	1.649

Kaynak: BREF WI

3.3.1. Su tüketim

Su en fazla baca gazı arıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Baca gazı arıtma teknolojilerinden kuru, ıslak ya da yarı ıslak yöntemine göre tüketim oranı geniş bantta değişim göstermektedir. Bir katı atık yakma tesisinde ortaya çıkan atıksu miktarı ıslak yıkama ile arıtılan atığın tonu başına yaklaşık 250 kg'dır. Arıtılan suyun sistemde tekrar kullanılması yöntemiyle su tüketim oranını azaltılabilmesi mümkündür. Suyun tekrar kullanımı su içinde bir miktar tuz birikme sorunu sebebiyle bir dereceye kadar gerçekleşebilmektedir.

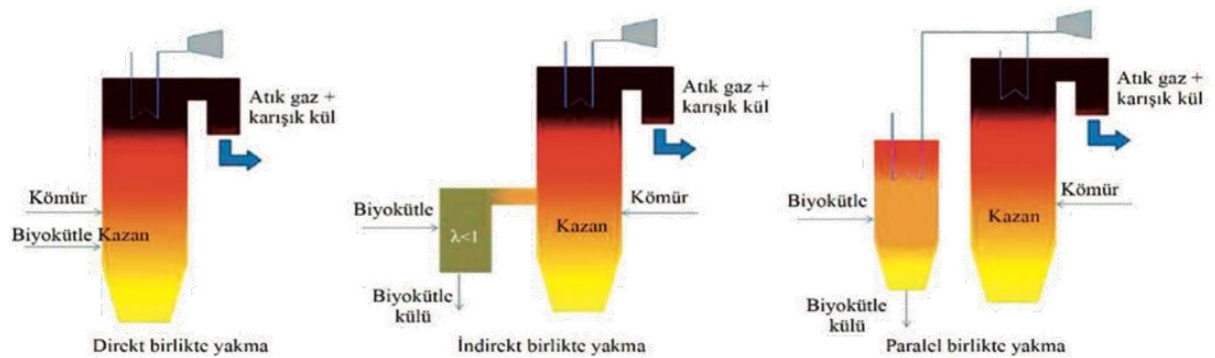
3.3.2. Hammadde tüketim

Yanmış baca gazının içerisinde bulunan asitlerin nötrleştirme işlemi amacıyla NaOH, kalsiyum oksit ya da sodyum bikarbonat kullanılabilmektedir. Baca gazı arıtma teknolojilerine ve diğer değişkenlere bağlı olarak tesiste bir ton atık başına 6-22 kg kalsiyum oksit yada 7.5-33 kg NaOH tüketilebilmektedir.

3.4. Birlikte Yakma Teknolojileri

Biyokütle yakma sistemleri ile elektrik üretiminde verimin çok yüksek olmaması kurulu kapasite ile ilgili bir husus olup bu güç aralığında kullanılan buhar türbinlerinin verimleri büyük güçlü buhar türbinlerine kıyasla daha düşüktür. Mevcut kömür santrallerinde biyokütlenin kömürle birlikte yakılması (co-firing) biyokütleden elektrik enerjisi üretimi için uygun maliyetli bir enerji dönüşüm çözümüdür. Bu yaklaşımda kömür santralinin mevcut alt yapısı kullanılarak kömüre biyokütle katılmaktadır. Böylece daha az yatırımla aynı sistemde bu yakıtlar yakılacağı için CO₂, SO₂ emisyonlarını düşürmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca mevcut büyük ölçekli kömür santrallerinin daha yüksek verimli olması önemli bir avantaj olup daha az fosil kökenli kömür tüketilebilmektedir.

Üç farklı birlikte yakma teknolojisi vardır. Direkt birlikte yakma ticari bir uygulamadır. Burada kömür ve biyokütle aynı kazanda ve belirli bir karışım oranında birlikte yakılmakta ve elde edilen buhar türbinden geçirilerek elektrik enerjisi üretilmektedir. İndirekt (dolaylı) uygulamada ise biyokütle önce gazlaştırılmakta elde edilen gaz bir gaz temizleme sistemine gerek duyulmadan (katran ve partikül) kömür kazanının yanma odasına gönderilmekte ve kömürle birlikte yakılarak buhar üretilmektedir. Paralel yakma uygulamasında ise kömür ve biyokütle kazanları ayrı ayrı çalıştırılmakta elde edilen buharlar birleştirilerek tek bir buhar türbini ile elektrik üretilmektedir. (TÜBA, 2022).



Şekil 3.2. Yakma teknolojileri

Bu sistemlerde biyokütle katkısı sınırlı olup %5-10 oranında kömüre biyokütle katılabilmektedir. Daha yüksek oranda biyokütle katkısı biyokütlenin yakıt özelliklerinin kömürden farklı olması nedeniyle çok kolay değildir.

Ancak yakıt özelliklerinde iyileştirmeler ile mümkün olabilmektedir. Bu kapsamda biyokömürleştirme (torefaction) ile yakıt özelliklerini iyileştirmek mümkündür.

3.4.1. Biyokömür üretimi ve yakılması

Biyokömürleştirme, biyokütleyi daha kaliteli bir yakıta dönüştüren termal bir proses olup oksijensiz ortamda 250-300°C bandında, 10-60 dakika arasındaki bekleme sürelerinde gerçekleştirilmektedir. Yukarıda belirtilen işlemler sonucu elde edilen biyokömürler nemi düşük, nem almayan, öğütülebilme özelliğine sahip, kalorifik değeri yükseltilmiş ve depolanması kolay katı bir yakıt haline gelmektedir. Enerji üretim santrallerinde ve çimento sektöründe kömür ile birlikte yakılabilmektedir olup ayrıca gazlaştırma sistemlerinde yakıt olarak kullanılabilir. Biyokütle santrallerinde de biyokütle yakıtlarıyla birlikte yakılabilmektedir. Bahsedilen özellikleri nedeniyle büyük miktarlarda ve uzun süreli depolama imkânı sağlanır, kömür santrallerinde kömüre daha yüksek oranda katılabilir ve yanma sisteminde verim artışı ile daha düşük emisyonlara neden olur. TÜBİTAK destekleri kapsamında tamamlanmış bir projenin amacı ve yapısı aşağıda bilgi amaçlı paylaşılmıştır. (TÜBA, 2022).

3.4.2. Oksi yanma teknolojisi

Oksi-yanma teknolojisi son yıllarda gelişen ve kömürün yakılması ile CO₂'in tutulmasını birlikte gerçekleştirmeye imkân veren en önemli teknolojilerden birisidir. Bu teknolojiye kömür, atmosferik veya basınçlı akışkan yataklarda ve oksijence zengin (O₂/CO₂) ortamında yakılmaktadır. Ortaya çıkan yanma gazları %90'lara varan oranlarda CO₂ içermektedir. Bu da CO₂'nin daha kolay ve ekonomik bir şekilde tutulmasını sağlamaktadır. Oksi-yanma teknolojisinin avantajları şöyle sıralanabilir. N₂'siz bir baca gazı elde edilir. Dolayısıyla ilave bir prosese ihtiyaç duymadan CO₂ tutulabilir. Hava ile yanmaya göre daha düşük emisyon üretilir. Baca gazının geri döndürülmesiyle özellikle NO_x emisyonlarında azalma meydana gelir. Baca gazındaki NO_x emisyonları tekrar yanma ortamına döndürüldüğünde, NO_x oluşum mekanizmaları tersine işler ve NO_x'un bir kısmı ayrışır. Baca gazının debisinin düşük olması nedeniyle kazan sonrası ekipmanların (baca gazı temizleme sistemleri) boyutları hava ile yanma sistemlerine göre daha düşük olur. Oksi yanma çalışmalarının büyük bir kısmı pulverize kömür yakma ile ilgilidir. Akışkan yatak yanma çalışmaları son on yılda hız kazanmıştır. Ancak bu

çalışmaların büyük bir kısmında atmosferik basınçta çalışan akışkan yataklar kullanılmaktadır. Oksi basınçlı akışkan yatak çalışmaları ise yeni başlamıştır. Aşağıda TÜBİTAK kapsamında tamamlanmış bir projeye ait kısa bilgiler verilmiştir.



Dolaşimli Akışkan Yatak Yakma Sisteminde Linyit ve Biyokömürün Oksijençe Zengin Ortamda Yakılması Projesi (Olgun ve Kutlu, 2021)

Şekil 3.3. Oksi yanma proje örneği

3.5. Termik Santralde Yakma

Biyokütle bazlı termik santrallerdeki yakma işlemi biyokütle kaynaklarının yanabilir ürünlerinde sıcaklığın etkisi ve oksijenle teması sonucu kimyasal tepkime yöntemiyle oluşur. Kullanılan yakıtlar tarımsal, ormansal, hayvansal yakıt olabileceği gibi endüstriyel de olabilir. Ürün bazlı homojen karışım şeklinde de olabilir. Yakıt reçeteleri kazan dizaynına uygun şekilde yapılmalıdır. Örneğin karışımlarda belediyelerin arıtma çamuru için %10 oranından fazlası

kullanılmaz. Karışım yakıtlara %1'e kadar %90 oranında kurutulmuş çamur beslenmesi halinde tesiste değişiklik yapmaya gerek yoktur. Kömür bazlı termik santrallerde yapılan yakıt karışım örneklerine göre çamur ağırlıkça %3 ila %10 oranında kömürle karıştırılarak yakıldığı takdirde baca gazlarında önemli bir değişiklik saptanmamıştır. Baz alınan en önemli parametre baca gazları ve külün içerisinde yer alan organik maddeler sınır değerlerini aşmamalıdır.

Arıtma çamuru yakma prosesinde önemli parametrelerden biri de atık çamurun nemidir. %50-70 nem içeriğine sahip atık çamuru kendi kendine yani ilave yakıt gereksinimi olmadan yakılabilmektedir. %70-80 nem içeriğindeki atık çamurunu yakabilmek için ise ilave yakıt gereksinimi oluşur. Bu sebeple yakma prosesi öncesi atık çamurunun nemi mekanik susuzlaştırma veya termal yöntemlerle kurutma işlemi vasıtasıyla azaltılması önerilmektedir.

Avrupadaki örneklere değinmek gerekirse örneğin Almanya'da arıtma çamuru, kömür veya evsel atıklarla birlikte yakılabilmektedir. İsveç ve Finlandiya da ise arıtma çamuru, ağaç kabuğu veya odun bazlı ürünlerle beraber yakılabilmektedir. Birlikte yakma tesislerinin enerji verimliliğini çamurla beraber yakılacak diğer ürünlerin kimyasal özelliklerine bağlı değişmekle beraber yaklaşık %70-85'dir. Birlikte yakmadaki çamur oranının %5-15 arasında olması ve %20'yi geçmemesi beklenir.

Genel Tespitler;

Birlikte yakma teknolojilerinde kazanda kömür yakma ile kıyaslandığında uçucu kül miktarına ve uçucu kül içerisindeki ağır metallerle bakılmalıdır.

Termik santralde atık çamuru yanması için gerekli yanma oadası sıcaklığı tamamlamak için 850 °C olmalı ve hava-yakıt karışımı iyi yapılmalıdır. (OTB, 2022).

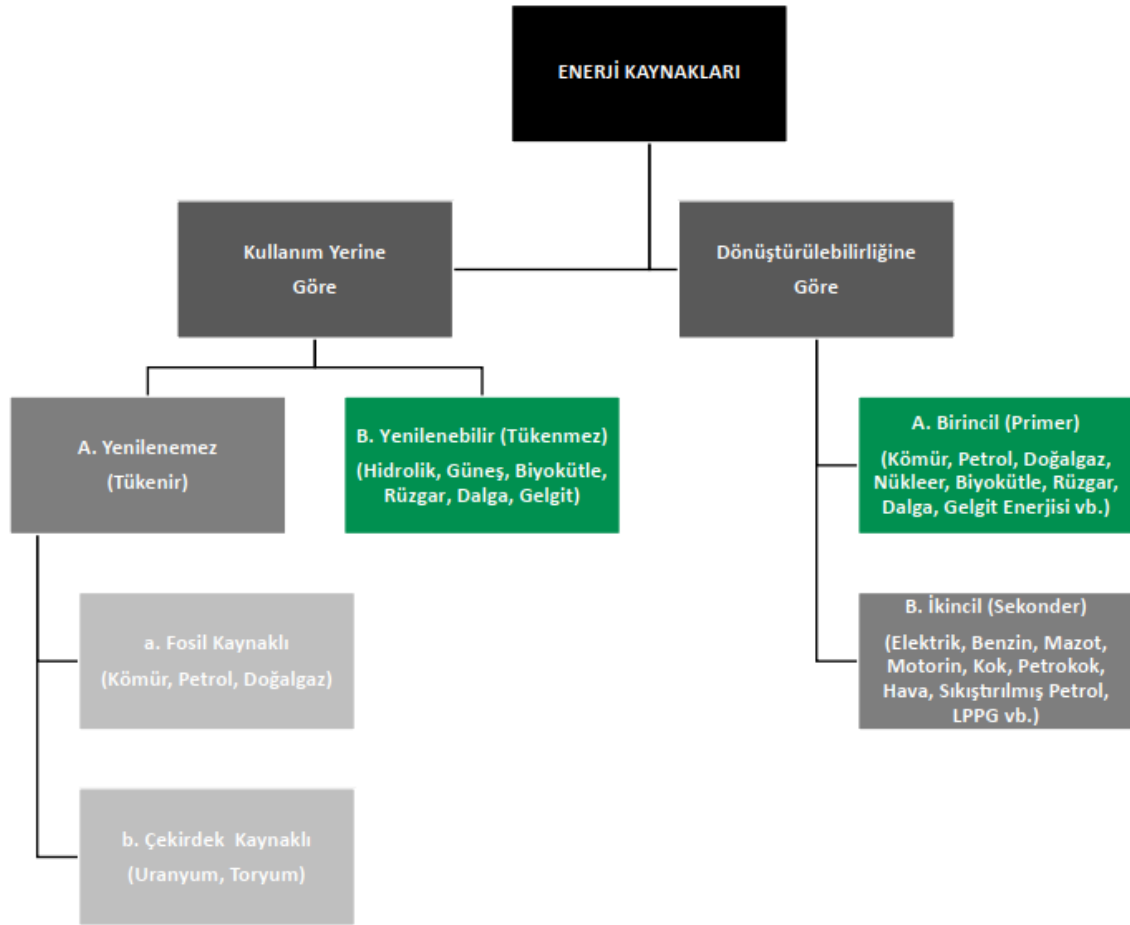
Kazan içi sıcaklığı, kazan basıncı, primer ve sekonder hava debisi ve sıcaklıkları , CO ve O₂ ölçümleri ve ızgara hızı kritik yanma parametreleri olup bu parametreleri izlemek için sistemler kurulmalıdır.

Yanma sonucu oluşan kül ve dip cürufunda yanmamış karbon oranı , %3'den fazla olmamalıdır. Kül çimento sektöründe ürün olarak kullanılabilir. CE sertifikası alıp ürün olarak satılabilmesi için yanmamış karbon oranının %5 ten düşük olma zorunluluğu vardır.

Atık çamuru ile birlikte yakma sağlanan termik santrallerde çamur besleme sisteminin kurulması gereklidir.

Kullanılacak yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre kazan dizaynı , yakıt besleme sistemi ve depolama alanının büyüklüğüne karar verilmesi gerekecektir.

3.6. Kaynaklara Göre Karbon Emisyon Değerleri



Şekil 3.4. Kullanım yerlerine göre enerji kaynakları

Elektrik Enerjisi Üretimi için gerekli yakıtın yanması sonucu oluşan emisyon değerleri aşağıda Tablo 3.3 te verilmiştir.

Tablo 3.3. Kaynaklara göre emisyon değerleri

Kaynak	Min-Max Sera gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)	Ortalama Sera gazı Emisyonu (ton-CO ₂ /GWh)
Linyit	790 - 1.372	1054
İthal Kömür	756 - 1.310	888
Taş Kömürü	756 - 1.310	888
Fuel-Oil	547 - 935	733
Doğalgaz	362 - 891	499
Nükleer	2 - 130	66
Jeotermal	2 - 130	38
Biyokütle	10 - 101	26
Hidroelektrik	2 - 237	26
Güneş	13 - 731	23
Rüzgar	6 - 124	10

3.6.1. Tam ve eksik yanma sonucu açığa çıkan emisyonlar

ÇIKAN BİLEŞEN	TAM YANMA	EKSİK YANMA	AÇIKLAMA
CO ₂	X		Tüm biyokütle türlerinin yakılması sonucunda oluşan en önemli yanma ürünüdür ve karbondan oluşmaktadır. Biyokütle yakılmasından kaynaklanan CO ₂ emisyonlarının sera etkisine katkısı yoktur.
NO _x	X		Biyokütle yakılmasından kaynaklanan NO _x emisyonları yakıtta bulunan azotun tam oksidasyonu sonucunda oluşur. Fosil yakıt yakılması halinde ise, havadan gelen azot da NO _x oluşumuna katkıda bulunur. NO _x oluşumu hem gaz fazdaki yanma sırasında, hem de carın yanması sırasında meydana gelir. NO (nitrik oksit) başlıca azot oksit olup, atmosferde NO ₂ 'ye dönüşmektedir.
SO _x	X		Yakıttaki kükürdün tam oksidasyonu sonucunda oluşurlar. % 95'den fazlası SO ₂ , % 5'den azı ise düşük sıcaklıklarda oluşan SO ₃ 'den oluşur. Yakıttaki kükürdün tamamı SO _x 'e dönüşmez; bir kısmı külde kalırken küçük bir kısmı da K ₂ SO ₄ tuzu veya H ₂ S şeklinde salınır. Danimarka'da, saman yakılan iki ayrı yakma sisteminde ölçülen sonuçlara göre, kükürdün % 57-65'i baca gazı ile salınırken geriye kalanı külde kalmaktadır. SO ₂ emisyonları, kireç veya kireçtaşı ilavesi gibi birincil önlemler ile ya da ikincil bazı önlemler ile azaltılabilmektedir.
HCl	X		Yakıtta bulunan klorun bir bölümü HCl şeklinde salınmaktadır. Odunsu biyokütlelerin klor içeriği oldukça düşüktür. Miskantus, çimen ve saman gibi bazı biyokütle türlerinde yüksek oranda klor bulunması nedeniyle önemli miktarda HCl oluşumu söz konusudur. Yakıtta bulunan klorun tamamı HCl'ye dönüşmez. Ana fraksiyon K ve Na ile tepkime sonucunda oluşan KCl ve NaCl tuzları şeklinde tutulur. Bir miktar dioksin ve klor içeren organik bileşikler de oluşmaktadır. Yakıtın yıkanması ile HCl emisyonları azaltılabilmektedir. Özellikle bu yöntem yüksek klor içeriğine sahip saman için uygulanmaktadır. Ayrıca, ikincil emisyon azaltma yöntemleri de uygulanabilmektedir.
AĞIR METAL	X		Taze biyokütlelerin her çeşidi belli oranda ağır metal içerir. En yaygın ağır metaller bakır, kurşun, kadmiyum ve cıvadır. Bunlar, Külde kalabilirler, Buharlaşabilirler, Atmosfere atılan partiküllere yapışabilirler, Fly-ash içerisinde kalabilirler. Yakıtın karbon içeriğinin CO ₂ 'ye dönüşmesi, farklı reaksiyonların gerçekleştiği birkaç adımla meydana gelir. CO en önemli ara üründür. Yeterince oksijen varsa CO ₂ 'ye oksitlenir. CO'nun CO ₂ 'ye oksitlenme hızı sıcaklığa bağlıdır. CO, yanma kalitesinin güzel bir göstergesidir. Büyük ölçekli yakma sistemlerinde kontrolün daha etkin yapılması nedeniyle CO emisyon seviyesi küçük ölçekli sistemlere göre daha azdır.
CO		X	Yakıtın karbon içeriğinin CO ₂ 'ye dönüşmesi, farklı reaksiyonların gerçekleştiği birkaç adımla meydana gelir. CO en önemli ara üründür. Yeterince oksijen varsa CO ₂ 'ye oksitlenir. CO'nun CO ₂ 'ye oksitlenme hızı sıcaklığa bağlıdır. CO yanma kalitesinin güzel bir göstergesidir. Büyük ölçekli yakma sistemlerinde, kontrolün daha etkin yapılması nedeniyle, CO emisyon seviyesi küçük ölçekli sistemlere göre daha azdır.
CH ₄		X	Metan doğrudan bir sera gazı olduğu için diğer hidrokarbonlardan farklı bir öneme sahiptir. Biyokütlelerin yakılmasında, karbonun CO ₂ 'ye hidrojenin de H ₂ O'ya dönüşümünde önemli bir ara üründür. CO gibi CH ₄ emisyonları da, düşük yanma sıcaklığı, kısa bekleme süresi ve eksik oksijen durumunda artmaktadır. Hidrokarbonlar genel olarak CO'dan önceki ara ürünlerdir. Bu nedenle emisyon seviyeleri daha düşüktür.
NM VOC		X	NM VOC, metan dışında kalan tüm hidrokarbonları, PAH (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar) ve kondanse olarak partikül emisyonlarını oluşturan diğer ağır hidrokarbonları kapsar. Düşük yanma sıcaklıkları, kısa bekleme süreleri ve oksijen eksikliği durumunda bu emisyonların konsantrasyonları artış göstermektedir. Kanserojen etkilerinden dolayı PAH' lar diğer hidrokarbonlardan ayrı tutulur.
NH ₃		X	Piroliz / gazlaştırma işleminden oluşan NH ₃ 'ün tam olarak yanmaması nedeniyle az miktarda NH ₃ emisyonu oluşabilir. Yakma sıcaklığı düşük ise emisyonları oluşur. NH ₃ enjekte edilmesini içeren ikincil NO _x azaltma önlemi de ilave NH ₃ emisyonu oluşmasına yol açar.
O ₃		X	CO, CH ₄ , NM VOC ve NO _x içeren fotokimyasal atmosferik reaksiyonlardan oluşan ikincil bir yanma ürünüdür. Ozon doğrudan bir sera gazıdır. Lokal ve bölgesel çevreyi etkiler. Biyokütle yakma sistemlerinin en istenmeyen yan ürünlerindendir. O ₃ emisyonları eksik yanma sonucu oluşan emisyonların indirgenmesi yoluyla ve NO _x giderme amacıyla uygulanan birincil ve ikincil önlemler sayesinde azaltılabilmektedir.

Şekil 3.5. Tam ve eksik yanma sonucu oluşan emisyon gazları

Biyokütle ile enerji üretiminin diğer enerji kaynaklarından enerji üretimine karşılık oluşan sera gazı emisyonlarında bazı avantajları mevcuttur.

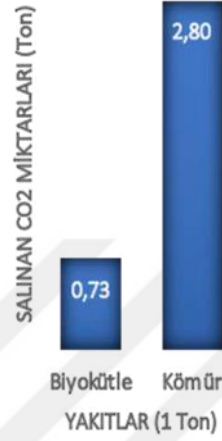
Sürdürülebilir kalkınma sadece çevresel kaygıları içermemektedir. Sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) olmak üzere üç boyutu vardır. ESG gelecekteki şirketlerin finansal performanslarında belirleyici olacaktır (Çolakoğlu ve diğ., 2021).

Sürdürülebilirlik ve ESG şirketler için potansiyel değerine ulaşmasına imkan sağlayacaktır. Fosil yakıtları terk eden ve yeşil enerjiden gelirlerini elde etmeye başlayan şirketler, ileriki yıllarda finansal performanslarını arttırarak ESG uygunluğunun hissedar getirilerini pozitif yönde etkilediğini göstermektedir. Yapılan çalışmalara göre CO₂ salınımını 4.750.000 ton azaltmak 3 milyon ton kömür yerine 5 milyon ton biyokütle kullanmamız gerekmektedir.

Türkiye'nin CO₂ emisyonlarını azaltmadaki nihai yolu düşünüldüğünde bahsedilen miktarın çevre müzakerelerine önemli bir katlı sağlayacağı aşikardır. Başta kömür kullanımı olmak üzere

enerji üretiminde fosil bazlı kaynak kullanımının bırakılması yönündeki çalışmalar Ulusal Emisyon Azaltım Eylem Planı (UEAEP) için önemli bir adımdır. (PwC, 2021)

Literatür araştırmalarına göre 40-250 m³ sera gazı yaklaşık bir ton kentsel atıktan oluşmaktadır. Karma depolama alanlarında ise 1 ton atıktan yaklaşık olarak 300 kg CO₂ eşdeğeri sera gazı, düşük organik içerikli atıklardan ise 70 kg CO₂-eşdeğeri sera gazı açığa çıktığı literatür araştırmalarında karşımıza çıkmıştır.



Şekil 3.6. Kaynaklara göre CO₂ miktarı

Şekil 3.6 da görüleceği üzere ortalama 2,8 ton CO₂ salınım değerine bir ton taş kömürü yakarak ulaşabiliriz. Bir ton ormansal biyokütle yakıtı yakıldığında ise atmosfere 0,73 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3.4. Biyokütleden elektrik enerjisi ürettiği durumda sağlanan tasarruflar

Kapasite	Karbon tasarrufu	CO ₂ Eş değeri	Ağaç sayısı
5 MWe	~16.750 Ton/Yıl	~61.416 Ton/Yıl	~149.285 Adet
10 MWe	~33.500 Ton/Yıl	~122.833 Ton/Yıl	~298.570 Adet
20 MWe	~67.000 Ton/Yıl	~245.666 Ton/Yıl	~597.140 Adet
30 MWe	~100.500 Ton/Yıl	~368.499 Ton/Yıl	~895.710 Adet
40 MWe	~134.000 Ton/Yıl	~491.332 Ton/Yıl	~1.194.280 Adet
50 MWe	~150.750 Ton/Yıl	~614.165 Ton/Yıl	~1.492.850 Adet

50 cm yarıçapında bir kızılçam ağacının Biyokütlesi 220 Kg'dır. Kızılçam ağacı 50 cm yarıçapına ulaşınca kadar;

220 Kg x 0,51 (Ağacın Karbon Konsantrasyonu) = 112,2 Kg karbonu atmosferden temizler.

Bu durum ;

$112,2 \times (44/12)$ (Karbonu Karbondioksit'e Çevirme Katsayısı) = 411,4 Kg CO₂ değerine eşdeğerdir (Ünsal, 2007).

Kullanılmadığı durumda, 1m³ Doğal Gaz yaklaşık 2,1857 Kg CO₂ salınımını engeller.
Güneşten üretilen 1 kWh Elektrik Enerjisi, yaklaşık 0,6 Kg CO₂ salınımını engeller.

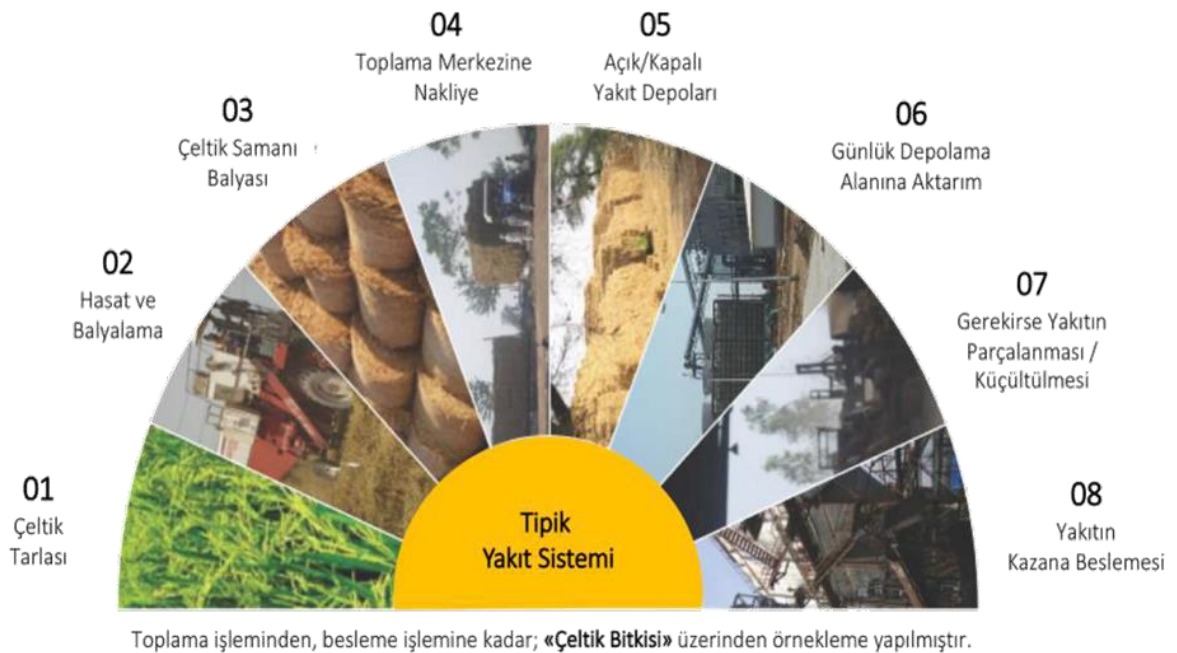


4. BİYOKÜTLE TEDARİK ZİNCİRİ

Biyokütle kaynaklarından maximum enerji elde edilebilmesi için biyokütle tedarik zinciri büyük önem taşımaktadır. Biyokütle kaynaklı enerji üretiminde kullanılan teknolojiler, hammadde çeşitliliği, hasat ve toplama işlemleri, depolama yöntemleri, nakliye yöntemleri mekanik kırma işlemleri ve çeşitli sektör kullanımları gibi konular tedarik zincirine esneklik sunabilmekte ve maliyetlerin düşürülmesinde önemli parametrelerdir. (TÜBA, 2022).

Biyokütle tedarik zincirlerindeki birinci aşama, yakıtın yerinde hasat edilmesi ve yerinde toplanmasıdır. Ormansal atıkların kullanımında yakıttan yüksek derecede enerji elde etmek istendiği durumda, yabancı maddelerin ayrıştırılması (toprak, taş, çakıl vb.) önem taşımakla birlikte tedarik zincirindeki oluşabilecek engelleri önlemekte ve maliyeti aşağıya çekmektedir. Tarımsal biyokütlelerde ise durum biraz farklıdır. Ormansal biyokütle kaynaklarına rahat erişilebilen alanlarda yapılmakla birlikte tarımsal biyokütle kaynakları tarım sektörünün mevsimsel değişimlere göre farklılık göstermektedir (Biyoenerji Dergisi, 2024).

Biyokütle ürünlerinin yerinde hasatı ve sonrasında toplanması işleminde saf yakıt ve yüksek kalorifik değer sağlamak amacıyla ön ayrıştırma işlemi uygulanmaktadır. Ön ayrıştırma işlemleri sonrası taşıma ve depolama kolaylaşmaktadır. Böylece daha saf ve ucuz biyokütle oluşturulmaktadır. Yakıt miktarlarına, türlerine ve nakliye maliyetlerine göre taşımacılık durumu değişiklik göstermektedir. Taşımacılıkta karayolu, demiryolu ve denizyolu gibi çeşitli taşıma türleri kullanılmaktadır (Biyoenerji Dergisi, 2024).



Şekil 4.1. Biyokütle yakıt döngüsü

4.1. Depolama

Biyokütle yakıtları santrallere yakılmaya gelmeden önce tedarik zincirinin bir aşaması olan depolama işlemine tabi tutulmaktadır. Isınma ve elektrik ihtiyacı bölgesel, mevsimsel farklılık gösterebilir. Orman ürünlerinde yıl boyunca tedarik sağlanabilir. Yakıt tedariğinde süreklilik büyük öneme sahiptir bu sebeple biyokütle tedariğini kesintisiz sağlamak ve ihtiyacı istenen her durumda karşılayabilmek için yeterli miktarda depolama çok önemlidir. (TÜBA, 2022).

Yakıtın verimliliği için en önemli parametrelerden biri kuruluğudur. Yağmur ve yeraltı suları en büyük sorunlardır. Depolama yapabilmek için çeşitli tasarımlara ihtiyaç vardır. Bunlar içerisinde yer altı ve yer üstü yapılar, nakliye konteynırları, yakıtı özel hazırlanmış prefabrik yapılar gibi farklı ve mevcut duruma göre uyarlanabilmiş depolama çözümleri de bulunmaktadır.

4.1.1. Depolama alanının büyüklüğü

Depolama alanlarının boyutları çok önemlidir. Depolama alanının büyüklüğü her zaman için tesislere yüksek miktarlarda yakıt alımı bundan kaynaklı mevsimsel uygun zamanda düşük maliyette ürün tedariği sağlama avantajı verebilir. Planmayı rahatlatır. Büyük kapalı depolama tesisinin ilk yatırım maliyeti ve arsa payı düşünülerek yıllar içerisinde getireceği faydanın hesaplanması çok önemlidir.

Depolama alanlarında önemli konulardan biri de drenaj sistemleridir. Yakıtta kuruluşun verimlik açısından çok önemli olduğu yukarıda belirtmiştik. Bu sebeple yer üstü ve yer altı depolama tesislerine suyun girmesi durumunda yakıtları ıslatmadan tahliyesi ve alanın temizlenmesi gerekmektedir. Drenaj yer altı depolama sistemlerine göre yer üstü depolama sistemlerinde yapılması kolay ve daha ucuzdur. (TÜBA, 2022).

Depolama tesislerinde önemli bir başka parametre de havalandırma. Biyokütle bozulan küflenmiş özelliğe sahip ürünler olmasından kaynaklı yeterli havalandırma yapılamaması durumunda tüm ürüne sirayet edebilir. Nemli olan ürünlerin kurutulmasında da havalandırma önem arz etmektedir.

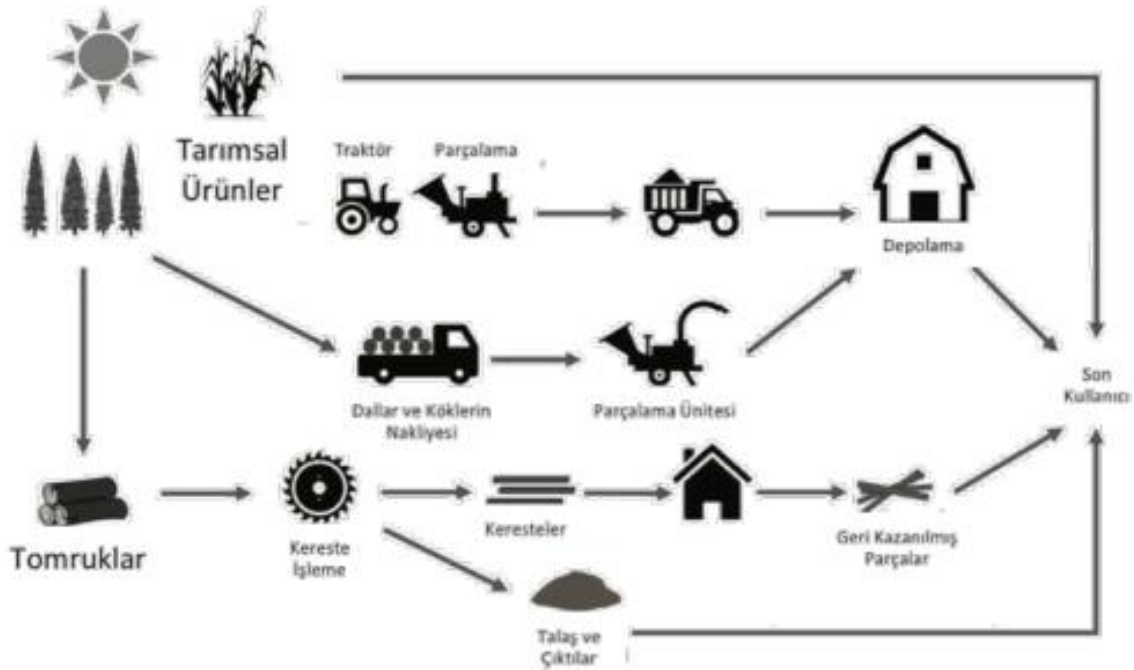
Depolama tesislerinde önemli diğer parametre de nemli yakıttır. Arıtma çamuru ve sıvı biyoyakıtlar gibi nemli yapıda biyokütle yakıtları , tanklarda depolanmakta ve boru hatları vasıtasıyla pompalanmaktadır.

4.2. Taşıma

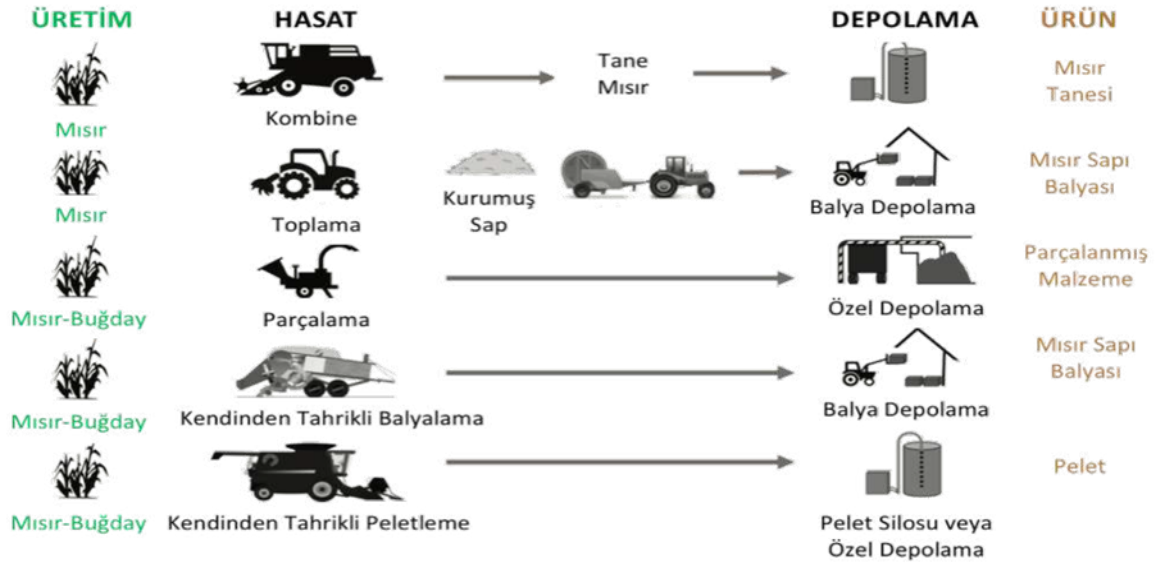
Biyokütle yakıt ürünleri çoğunlukla enerji tesislerine maliyet kaynaklı yakın konumlarda bulunmaktadır. Yakın konumlarda bulunulmayan tesislerde taşıma işlemi bu sebeple büyük öneme sahip olmuştur. Biyokütle kaynaklarının genellikle şekil olarak düzensiz ve düşük enerji kapasitesinde olması, taşıma koşullarını zorlaştırmakta ve bununla birlikte maliyetini de arttırmaktadır. Maliyeti azaltmaya yönelik taşıma miktarını artırma ve düzensizliği bertaraf amacıyla odun yongası yapılması, balya yapılması ve hatta pelet yapılması gibi seçenekler kullanılabilir.

Biyokütle yakıtının taşınması için en uygun taşıma şeklini seçmek maliyet avantajı oluşturur. Taşıma seçenekleri yakıtın türü, taşınma şekli, taşıma mesafesi, coğrafi durumlar ve altyapı koşulları gibi değişkenlere bağlılık göstermektedir.

Biyokütle yakıtlarının taşınmasının lojistik maliyetlerini belirleyen parametreler, taşıma için gereken hacim, ürünün kırılabilirliği, bozulabilirliği, araçların boyutu ve yükleme ile boşaltmada harcanan süre gibi birçok faktör maliyetin belirlenmesinde gereklidir.



Şekil 4.2. Tarımsal ve ormansal atık döngüsü



Şekil 4.3. Tarımsal atık depolama döngüsü

4.3. Ormansal Biyokütle Atıklarının Tedariği



Şekil 4.4. Ormansal atıklar

Devlet Orman Ürünlerinin Satış Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik'te belirtilene göre ürünlerin satış işlemlerine ilişkin kurallar belirlenmiştir. İlk olarak orman ürünlerinin bedeli tespit edilmelidir. Bunları belirleyen ise ürünün maliyet bedeli ve muhammen bedelleridir. Orman ürünlerindeki satış koşullarına göre orman ürünleri satışları açık artırmalı satışlar veya tahsisli olarak tabir edilen satışlar şeklinde gerçekleşir. Açık arttırma yapılacak veya pazarlık usulu yapılacak satışlarda ilgili satışa yönelik ihale ilanları yayınlanmaktadır.

Orman ürününün tahmin olunan ya da oranlanarak belirlenen satış bedeline muhammen bedel denilmektedir. Benzer türdeki orman ürünleri için belirlenen muhammen bedeller ise satış yapılan yerlerinin transfer edilecek yere olan mesafesi ve aynı zamanda pazarın gerekleri düşünülerek belirlenmektedir. Açık arttırma ve pazarlık ile yapılacak orman ürünü satışları ise orman müdürlüğünce oluşturulan satış komisyonu tarafından yürütülür. Piyasada oluşan fiyat ihale ile satılan ürünlerin ağırlıklı ortalama satış fiyatını ifade eder. Açık arttırma ihalesi ile satılamayan ve satılma imkanı olmadığına kanaat getirilen acil satılması gereken her türlü

orman ürünü, tahsisli satış yöntemiyle satılır. Biyokütle kaynakları kullanarak elektrik enerjisi üretmek üzere kurulmuş olan tesislere kesim artıkları ve kökler tahsisli satış yöntemiyle satılabilir. Tahsis fiyatı orman ürününün türü, yaşı, sınıfı ve boyutu göz önüne alınarak açık artırmalı son satışlarının ortalamasına göre bölge orman müdürlüklerince yapılmaktadır. Tahsisli fiyat uygulaması özel durumlarda gerek görülen ürünlerde piyasa şartlarına ve satış gereksinimlerine göre de Genel Müdürlükçe yapılmaktadır. Biyokütle Santralleri için öncelikli tahsisler de verilebilmektedir (TOB, 2022).

Ayrıca, Ormansal Endüstriyel Atıkların kullanımı ve ekonomiye yeniden kazandırılması Biyokütle tedarik zinciri içerisinde değerlendirilebilecek yöntemlerden biridir.

4.3.1. Enerji bitkisi yetiştirme

Biyokütlenin modern yöntemlerle değerlendirilmesi, bu alandaki yetiştiriciliği büyük ölçüde ilerletmiştir. Enerji üretimine yönelik biyokütle tarımı kapsamında, enerji ormanları ve enerji tarımı önemli bir yer tutmaktadır. Şeker kamışı, okaliptüs ve kara kavak gibi enerji açısından zengin bitkilerin yanı sıra, farklı iklimlerde yetişebilen saz kanarya otu, saz çimi ve kenger otu gibi bitkiler de dikkat çekmektedir. Ayrıca, suda yetişen biyokütle kaynakları (yosun ve algler gibi) ile gıda dışı yağ tohumları (örneğin *Jatropha*) gibi alternatif hammaddeler de öne çıkmaktadır. Bu geniş çeşitlilik, biyokütle enerjisi üretiminde yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler sunmaktadır (IEA,FAO, 2021).

4.3.2. Kereste fabrikaları atıkları

Kereste fabrikalarında, ağaç tomruklarının işlenerek kereste üretilmesi sırasında çeşitli boyutlarda atıklar oluşur. Bu atıklar arasında kabuklu veya kabuksuz kapak tahtaları, yan kesimden kaynaklanan çıtalar, uç kesimden oluşan takozlar, testere talaşı ve kabuklar yer alır. Ortaya çıkan atık miktarı; kullanılan ağaç türüne, kesim yöntemine, ekipmanın özelliklerine, tomruğun çap ve boyuna, üretilmek istenen ürünün boyutlarına ve operatörün dikkatine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.

4.3.3. Şekil verme ve rendeleme atölyelerinde meydana gelen artıklar

Kerestenin çeşitli amaçlar için rendelendiği ve şekil verildiği mobilya ve doğrama fabrikası atölyelerinde meydana gelen artıklardır. Bahsedilen atık miktarı küçümsenmeyecek miktardadır ve artık miktarı kereste hacminin %30'una kadar yükselebilmektedir.

4.3.4. Kaplama ve kontraplak atıkları

Kaplama ve kontraplak fabrikalarında oluşan atıklar, ağaç tomruklarının kesme makinalarında soyma ve kesme işlemi sonucu meydana gelen odunsu atıklardır. Ortaya çıkan atık miktarı, tomruğun yarıçapına ve boyuna, kalitesine ve uygulanabilecek teknolojiye bağlı olarak değişmektedir. Bahsedilen atık miktarı küçümsenmeyecek miktardadır ve tomruk hacminin %50 sine kadar yükselebilmektedir.

4.3.5. Testere talaşları

Kereste fabrikalarında, ağaç tomruklarının biçilmesi ve yan ile baş alma işlemleri sırasında önemli miktarda talaş oluşur. Talaş miktarı, kullanılan testere levhasının kalınlığı, çapraz miktarı, ürünün kalınlığı ve elde edilmek istenen ürünün uzunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir.



Şekil 4.5. Orman ürünleri

4.4. Alternatif Biyokütle Atıklarının Tedariği

4.4.1. Hayvansal atıklar

Biyogaz Tesislerinde hayvan çiftlikleri atıkları yakın coğrafyadan temin edilebilecek diğer organik atıklarla desteklenmektedir. Söz konusu hayvansal atıklar, hayvan dışkıları ve mezbaha atıkları vb. et işleme tesisleri üretim artıkları olarak sıralanabilir. Hayvansal dışkıları seçilecek teknolojiye bağlı olarak bağımsız yada karma yakıt içeriklerinde kullanılabilirler.

Hayvansal atık ve tarımsal atık kullanan Biyogaz tesislerinde üretim sonrası arta kalan yüksek nem oranlı seperatör altlıkları da yakılabilir potansiyel Biyokütle yakıt niteliğindedir.

Ülkemizde Büyükbaş hayvan ve tavuk çiftliklerinde dışkıların toplanma ve bertaraf yöntemlerinde standart organizasyon yapıları gelişmediği için yakıt tedariği konusunda ilgili çiftliklerle yapılacak tedarik anlaşmalarıyla ilerlenmesi mümkündür.

Hayvansal atıklar tarımda gübre niteliğinde kullanılmakta, fazlası taşıma ve gömme maliyetleri karşılanarak üretim noktalarından uzaklaştırılmaktadır. Bu çerçevede proje lokasyonuna yakın mesafede bulunan Yetiştirme Çiftliği yada Entegre Et İşleme Tesisleri atıkları ve Biyogaz Tesisi seperatör altlık malzemeleri yalnızca ödenebilecek taşıma maliyetleriyle tedarik edilmesi mümkün görülmektedir.

4.5. Belediye Atıkları

4.5.1. Arıtma çamurları

Belediyelerin Biyolojik Arıtma Tesislerinde çökelti çamurlar oluşmakta, söz konusu çamurlar planlı bertaraf programlarına uygun olarak biyogaz eldesinde kullanılabilir. Farklı olarak oluşan çamurlar ilave maliyetlerle kurutularak farklı amaçlarla değerlendirilmektedir. Ancak yukarıdaki sayılan yöntemler, ülkemizde yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, söz konusu çamurların gömülme suretiyle bertarafı ya da bertaraf bedelleri ödenerek uzaklaştırılmaları çoğunlukla tercih edilmektedir. Yakın Belediye Arıtma Tesisleriyle anlaşarak ilgili çamurların üzerine alınabilecek bertaraf bedelleriyle sağlanması mümkün olabilmektedir. Atık çamurların nem oranları dikkate alınarak seçilecek uygun teknoloji ile Biyokütle tesislerinde yakılması ve bertarafının gerçekleştirilmesi mümkündür.

4.5.2. Ayrıştırma tesis sonrası atıkları

Belediyelerin çöp ayrıştırma tesislerinde oluşan organik tabanlı ve Biyokütle niteliğindeki atıklar, yapılabilecek anlaşmalarla tedariği sağlanarak karma yakıt içeriğinde kullanılabilirler. Söz konusu atıklar yine bertarafı gereken ve üzerine yine bertaraf bedeli alınabilecek atıklardır.

4.5.3. Park Bahçe Atıkları

Belediyeler tarafından bakımı gerçekleştirilen yeşil alanların budama veya kaldırma sonucunda ortaya çıkan bitkisel atıklar olup çöp tesislerine sevkiyat öncesinde veya sonrasında ayrıştırma işlemleri sırasında temin ve tedariği mümkün görülmektedir.

4.6. Endüstriyel Atıklar

4.6.1. Arıtma çamurları

Organize Sanayi Bölgelerinin Biyolojik Arıtma Tesislerinde çökelti çamurlar oluşmakta, söz konusu çamurlar planlı bertaraf programlarına uygun olarak biyogaz eldesinde kullanılabilir. Ya da oluşan çamurlar ilave maliyetlerle kurutularak farklı amaçlarla

değerlendirilmektedir. Ancak yukarıdaki sayılan yöntemler, ülkemizde yaygın olarak kullanılmamakta, söz konusu çamurların gömülmek suretiyle bertarafı ya da bertaraf bedelleri ödenerek uzaklaştırılmaları çoğunlukla tercih edilmektedir. Yakın OSB Arıtma Tesisleriyle anlaşarak ilgili çamurların üzerine alınabilecek bertaraf bedelleriyle sağlanması mümkün görülmektedir. Çamurların nem oranları dikkate alınarak seçilecek uygun teknoloji ile yakılması ve bertarafının gerçekleştirilmesi mümkündür.

4.6.2. Tesis atıkları

İşletme ve tesislerin yakılabilir nitelikte olan artık ahşap, paketlenme atıkları, palet, yan ürünler vb. atıkları ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar uzaklaştırma ve bertaraf bedelleri karşılığında içeriğine göre merkezi ve bağımsız olarak faaliyet gösteren şirketlerce toplanmaktadır. Özellikle kalorifik değeri yüksek ve Biyokütle niteliğine girebilecek söz konusu atıklar, ilgili tesis ya da toplayıcı firmalarla anlaşarak seçilecek uygun teknoloji ile yakılması mümkündür. Ayrıca ilgili atıklar karma yakıt içeriğinin oluşturulmasında kullanılabilirler.

4.7. Kalorifik Değer nedir?

Yakıt tedariki yalnızca kömür, fuel-oil, biyokütle veya doğal gazın teminiyle sınırlı bir konu değildir. İşletmelerin asıl ihtiyacı yakıtın kendisinden ziyade ısı enerjisidir. Isı enerjisi, yakıt türüne göre değişiklik gösterir ve kullanılan yakıttan elde edilen enerji, kazan, fırın veya tesisteki diğer ekipmanların verimleriyle doğrudan ilişkilidir.

Yakıtların enerji değerlerini karşılaştırmak için laboratuvarlarda ölçülen "Kalorifik Değer" kullanılır. Kalorifik değer, bir kilogram veya benzeri birim yakıttan elde edilebilecek enerji miktarını ifade eder. İki tür kalorifik değer vardır: "Alt Kalorifik Değer" ve "Üst Kalorifik Değer". Laboratuvar testlerinde birim yakıtın yanmasıyla açığa çıkan ısı genellikle 20 °C ortam sıcaklığında ölçülür. Yanma sırasında birçok yakıt, su buharı haline dönüşen hidrojen içerir. Yanma gazı 20 °C'ye soğutulduğunda, su buharı sıvı hale geçerken buharlaşma gizli ısıyı ortaya çıkar. Bu yöntemle yapılan ölçümler, "Üst Kalorifik Değer"i verir. Ancak, uygulamada yanma gazları yüksek sıcaklıkta tutulur ve buharın gizli ısıyı açığa çıkarmaz. Bu durumda elde edilen ısı, "Alt Kalorifik Değer" olarak ifade edilir.

Endüstriyel uygulamalarda baca gazı belirli bir sıcaklıkta tutulmalı, bu sayede ekipmanlarda korozyona yol açabilecek yoğunlaşma ve asit oluşumu önlenmelidir. Yanma süreçlerinde açığa çıkan enerji, yakıtın alt kalorifik değerine dayanır. Alt ve üst kalorifik değerler arasındaki fark,

yakıtın içerdiği hidrojen miktarına bağlıdır. Örneğin, hidrojen oranı düşük olan taş kömüründe bu fark oldukça küçükken, hidrojen oranı yüksek olan doğal gazda fark oldukça büyüktür.

Biyokütle yakıtlarının yanma özellikleri ise birbirinden farklıdır. Tutuşma sıcaklıkları 343-441 K, yanma süreleri 40-70 dakika, maksimum yanma hızları ise 4.3-10.7 mg/dk arasında değişir ve bu hız genellikle 436-534 K sıcaklık aralığında gerçekleşir. Biyokütlenin uçucu madde, sabit karbon, ekstraktif madde ve holoselüloz içerikleri, yanma özelliklerini belirleyen temel parametrelerdir.

Biyokütlenin yanması sonucu oluşan kül atıkları çeşitli alanlarda değerlendirilebilir. Örneğin, bu kül toprak ıslahında gübre olarak, çimento üretiminde dolgu maddesi olarak ve yeraltı madenciliğinde kullanılabilir.

4.7.1. Kullanılabilecek bazı yakıtların kalorifik değerleri

Tablo 4.1. Kalorifik değer1

Atıklar	Kalorifik değer
Odun Islak	2.500 KCal/Kg
Fındık Kabuğu	4.226 KCal/Kg
Çay Tozu	4.758 KCal/Kg
Ay Çiçeği Sapı	4.040 KCal/Kg
Kolza Sapı	4.087 KCal/Kg
Mısır Sapı	4.275 KCal/Kg
Mısır Koçanları	4.415 KCal/Kg
Buğday Sapı	4.110 KCal/Kg
Arpa Sapı	3.970 KCal/Kg
Çavdar Sapı	4.050 KCal/Kg
Yulaf Sapı	4.050 KCal/Kg
Pamuk Sapları	3.950 kCal/Kg
Çeltik Sapı	3.629 KCal/Kg
Çeltik Kavuzu	3.275 KCal/Kg

Tablo 4.2. Kalorifik değer2

Atıklar	Kalorifik değer
Kümes Atıkları	3.800 KCal/Kg
Yiyecek Atıkları	1.111 KCal/Kg
Kağıt	4.000 KCal/Kg
Karton	3.889 KCal/Kg
Plastik	7.778 KCal/Kg
Tekstil	4.167 KCal/Kg
Lastik	5.556 KCal/Kg
Deri	4.167 KCal/Kg
Bahçe Atıkları	1.556 KCal/Kg
Tahta	4.445 KCal/Kg
Cam	33 KCal/Kg
Metaller	167 KCal/Kg
Kül ve Diğer Safsızlıklar	1.667 KCal/Kg
Miscanthus Sinensis	3.940 KCal/Kg

Tablo 4.3. Kalorifik değeri

Atıklar	Kalorifik değeri
Ot Peletleri	3.873 KCal/Kg
Pirinç Kabuğu Peletleri	3.828 KCal/Kg
Pirinç Samanı Peletleri	4.215 KCal/Kg
Mısır Sapı Peletleri	4.241 KCal/Kg
Buğday Samanı Peletleri	4.228 KCal/Kg
Fıstık Kabuğu	5.119 KCal/Kg
Çin Köknar Peletleri	4.587 KCal/Kg
Çam Peletleri	4.552 KCal/Kg
Kavak Peletleri	4.286 KCal/Kg
İnek Gübre Peletleri	2.779 KCal/Kg
Yakacak Odun Peletleri	4.003 KCal/Kg
Ağaç Yaprağı Peletleri	3.502 KCal/Kg
Fasulye Pole Peletleri	3.862 KCal/Kg
Sorgum Sapı Peletleri	3.601 KCal/Kg



Şekil 4.6. Pelet örnekleri

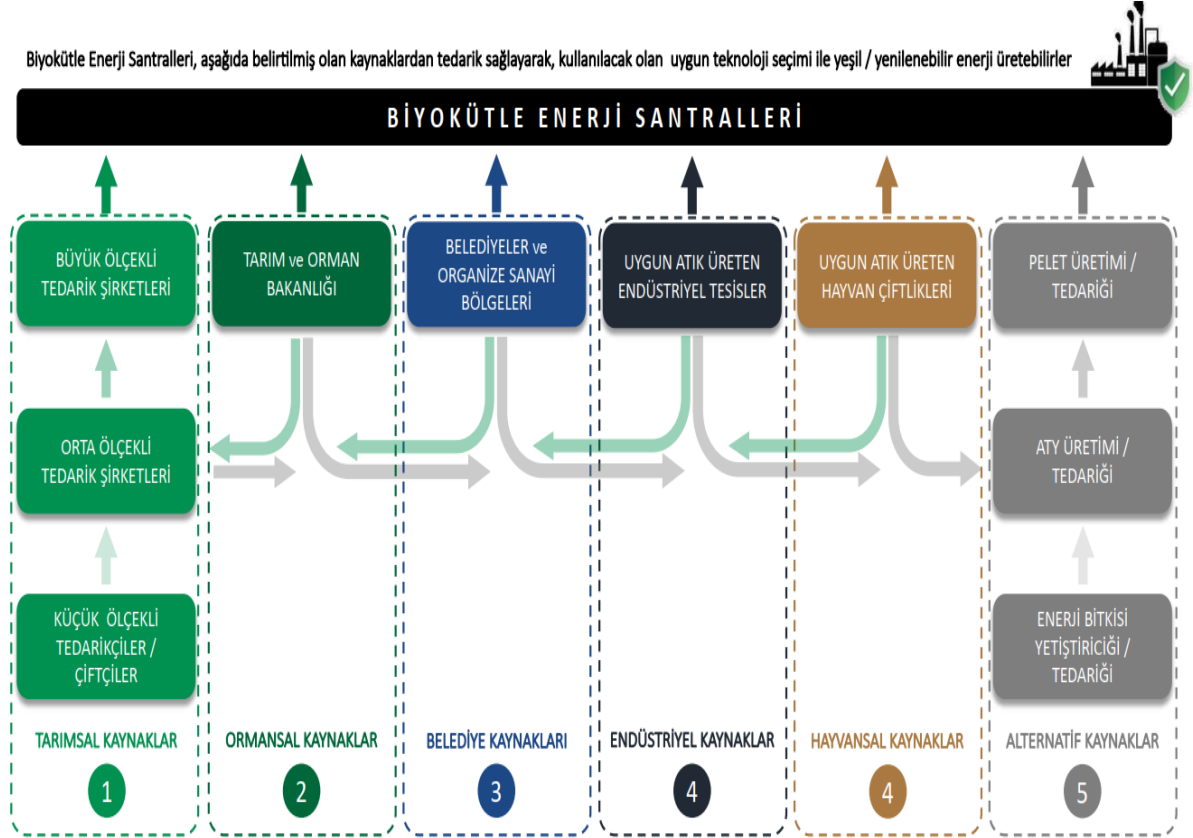
4.8. Biyokütle Tedarik Şeması

Müşteri talep ve tercihlerine bağlı olarak, atıklar parçalanmış, balyalanmış yada dökme, standart kalorifik değeri ve nem oranında nakliye dahil yada hariç şekilde sağlanabilmektedir.

Tarımsal ve ormansal atıkların hasat ve toplama zamanları önem arz etmektedir. Enerji tesisinin ihtiyacı olan yakıtların sağlanması zamanlamasına dikkat edilmesi, yakıtın bu süreler önemsinerek stoklanması önerilmektedir.

Özellikle tarımsal ürünlerin hasat dönemleri farklı lokasyonlar için değişkendir. Örneğin Urfa’da mısır hasadı, Konya’da 1 ay sonra başlamaktadır. Tesiste tarımsal atık kullanılacaksa, yıllık gereksinim ve hasat dönemleri dikkate alınarak tedarik programı yapılmalıdır.

Ormansal atıklar, örnekleri verilen benzeri tedarik şirketleri tarafından, Orman Bölge Müdürlükleri tarafından düzenlenen orman ıslahı veya kesimi ihaleleri alınarak tomruk harici dal parçaları ve köklerin toplanması ve işlenmesi sonucu sağlanmaktadır. Söz konusu ihaleler ve ihaleyi kazanan Şirketler ilgili Orman Bölge Müdürlükleri tarafından ilan edilmektedir.



Şekil 4.7. Biyokütle tedarik şeması

4.8.1. Biyokütle tedarik bedelleri

Aşağıda belirtilen tedarik ve taşıma maliyetleri, yol gösterici olmak amacıyla sunulmuştur. Farklı Tedarikçiler ve Taşıma Şirketleri ile görüşülerek ilgili maliyet kalemleri optimize edilebilir.

Şirketlerin hizmet alanları ve çalışma yöntemleri farklılık göstermektedir. Müşteri talep ve tercihlerine bağlı olarak, atıklar parçalanmış, balyalanmış yada dökme, standart kalorifik değer ve nem oranında sıkıştırılarak ara depolarda toplanmak suretiyle taşıma maliyetleri optimize edilebilir.

Biyokütle tedarik bedelleri ihtiyaç anındaki ürünlerin ve hammaddelerin fazlalığına veya azlığına taşıma maliyetleri ise akaryakıt bedellerine endeksli olarak değişkenlik göstermektedir. Ayrıca taşıma güzergahının merkezi ve karşılıklı sirkülasyon olan rotalarda olduğu durumlarda taşıma maliyetleri düşebilmektedir. Orman ürünlerine dayalı Biyokütle hammaddelerinin vb.

Yakılabilir atık ürünlerin ithal edilerek sağlanmasına yönelik olarak uygulanmakta olan genel mevzuat ayrıca paylaşılacaktır. Yatırım öncesinde, söz konusu ürünlerin yurt dışından teminine yönelik maliyet çalışmasının yapılması önerilir.

Güncel Biyokütle-Atık Tedarik Maliyetleri Aşağıdaki Gibidir;

Mısır Atığı: 35 USD/Ton Konya, Adana bölgesinde yerinde fiyatı + 35 USD/Ton Nakliye

Tavuk altlığı 15 USD/Ton Doğu ve Güney Marmara yerinde fiyatı + 25 USD Ton Nakliye

Orman Kök Atığı: 50 USD/Ton Doğu Marmara yerinde fiyatı + 25 USD/Ton Nakliye

Orman Dal-Parça Atığı: 60 TL/Ton Doğu Marmara yerinde fiyatı + 25 USD/Ton Nakliye

Portakal Atığı: 80 USD/Ton Doğu Akdeniz yerinde fiyatı + 35 USD/Ton Nakliye

Endüstriyel Atık: 40 USD/Ton Doğu Marmara yerinde fiyatı + 25 USD/Ton Nakliye

Güncel Taşıma-Nakliye Maliyetleri Aşağıdaki Gibidir;

10 veya 20 Ton Ürün 10 Km' ye kadar = 200 USD Taşıma Bedeli

10 veya 20 Ton Ürün 30 Km' ye kadar = 200 USD Taşıma Bedeli

10 veya 20 Ton Ürün 50 Km' ye kadar = 200 USD Taşıma Bedeli

10 veya 20 Ton Ürün 100 Km' ye kadar = 300 USD Taşıma Bedeli

10 veya 20 Ton Ürün 150 Km' ye kadar = 350 USD Taşıma Bedeli

10 veya 20 Ton Ürün 200 Km' ye kadar = 400 USD Taşıma Bedeli

10 veya 20 Ton Ürün 250 Km' ye kadar = 500 USD Taşıma Bedeli

10 veya 20 Ton Ürün 250 Km'den sonrası = 500 USD + 250 KM sonrası KM başına 1,5

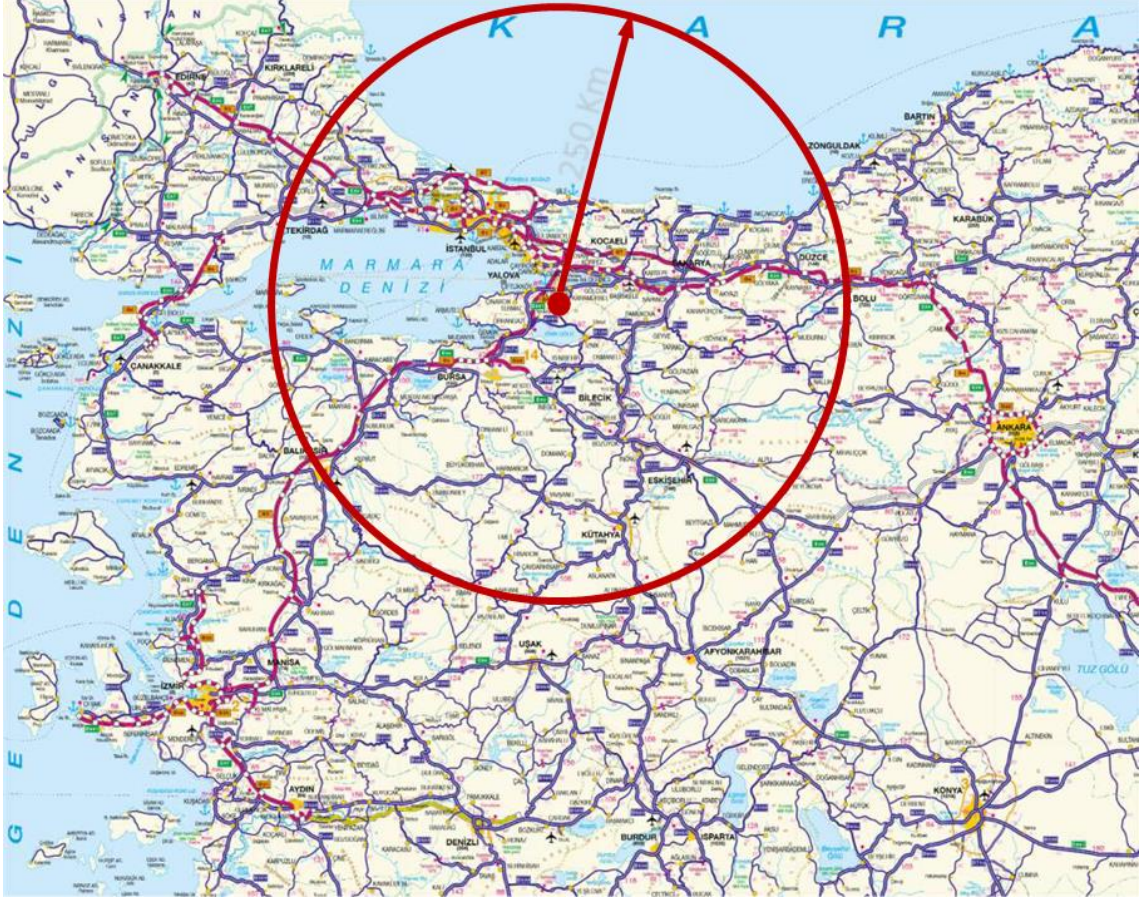
USD Taşıma Bedeli

Kaynak: Orion Geri kazanım A.Ş

5. YALOVA VE ÇEVRE İLLERİN BİYOKÜTLE YAKIT POTANSİYELİ

Yalova ilinde yapılması düşünülen biyokütle santralinin yalova ilindeki ve çevre illerdeki atık potansiyelleri incelenmiştir.

5.1. Proje Lokasyonuna Göre Atık Potansiyeline Ulaşım



Şekil 5.1. Yalova ili haritası

Proje yapılması düşünülen il olan Yalova ilinin lokasyona göre belirlenen çemberde olan merkezlere uzaklıklar belirtilmiştir.

Proje Uygulama Noktasından uzaklığı maksimum 250 Km olan İl Merkezleri ve uzaklıkları aşağıdaki gibidir;



Yalova Merkez 21 Km,

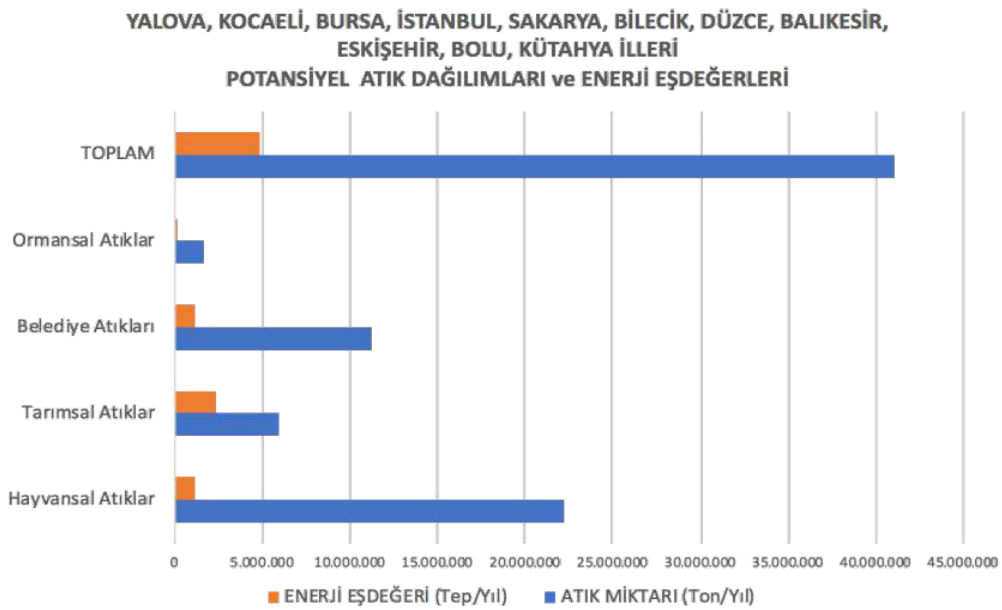
Kocaeli Merkez 67 Km,

Bursa Merkez 75 Km,
İstanbul Merkez 85 Km,
Sakarya Merkez 113 Km,
Bilecik Merkez 121 Km,
Düzce Merkez 188 Km,
Balıkesir 218 Km,
Eskişehir Merkez 222 Km,
Bolu Merkez 231 Km,
Kütahya Merkez 254 Km.

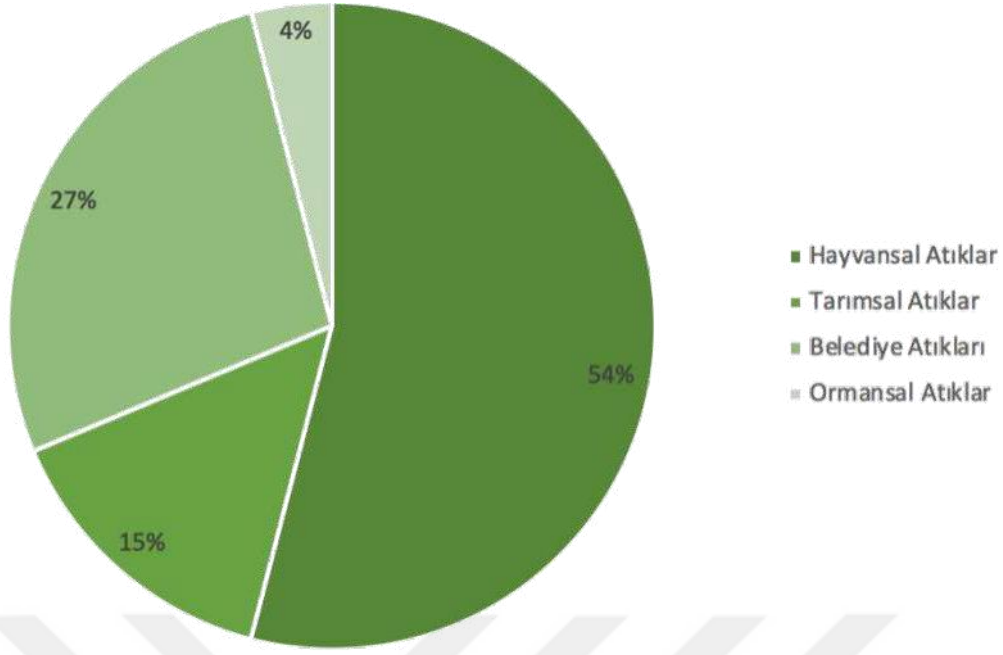
5.2. Lokasyona Dayalı Potansiyel Atıkların Toplamı

Tablo 5.1. Lokasyona dayalı potnsiyel atıklar

Yakılabilir Atıklar	Atık miktarı (Ton/Yıl)	Enerji eşdeğeri (Tep/Yıl)
Hayvansal Atıklar	22.173.447	1.151.047
Tarımsal Atıklar	6.006.439	2.364.856
Belediye Atıkları	11.213.647	1.200.177
Ormansal Atıklar	1.642.698	175.007
TOPLAM	41.036.230	4.891.087



Şekil 5.2. Yalova ili potansiyel atık dağılımları

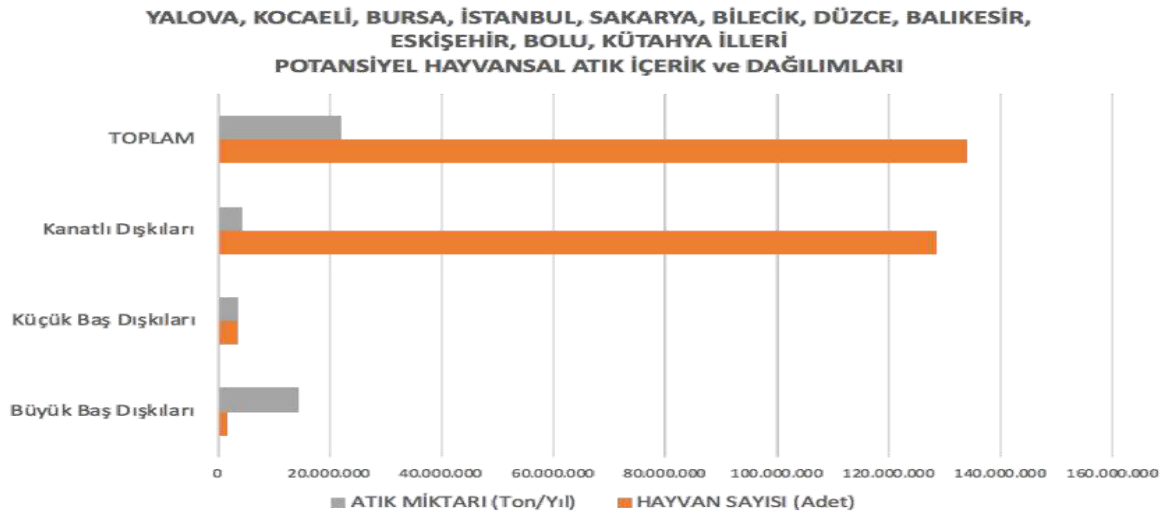


Şekil 5.3. Yalova ili potansiyel atık dağılım oranları

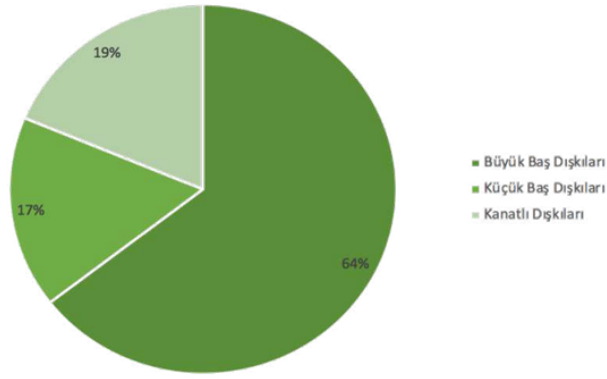
5.2.1. Lokasyona dayalı potansiyel hayvansal atıklar

Tablo 5.2. Lokasyona dayalı hayvansal atıklar

Hayvansal Atıklar	Hayvan sayısı (Adet)	Atık miktarı (Ton/Yıl)	Enerji eşdeğeri (Tep/Yıl)
Büyük Baş Dışkıları	1.795.586	14.300.542	106.587
Küçük Baş Dışkıları	3.617.548	3.730.269	8.616
Kanatlı Dışkıları	128.511.833	4.142.636	1.035.844
TOPLAM	133.924.967	22.173.447	1.151.047



Şekil 5.4. Yalova ili potansiyel hayvansal atık dağılımları

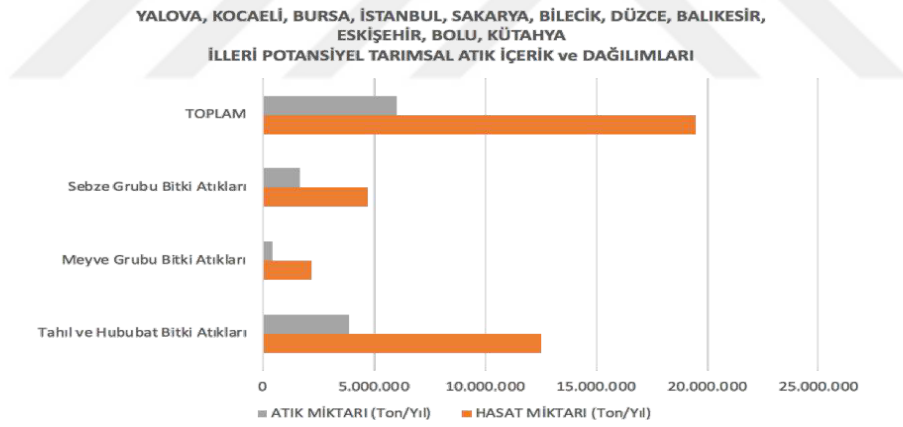


Şekil 5.5. Yalova ili potansiyel hayvansal atık dağılım oranları

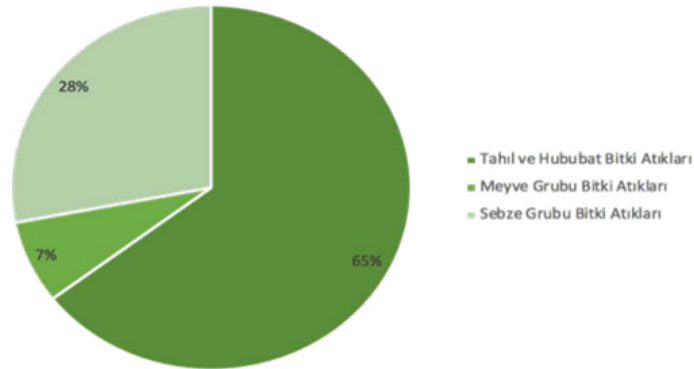
5.2.2. Lokasyona dayalı potansiyel tarımsal atıklar

Tablo 5.3. Lokasyona dayalı tarımsal atıklar

Tarımsal atıklar	Hasat miktarı (Ton/Yıl)	Atık miktarı (Ton/Yıl)	Enerji eşdeğeri (Tep/Yıl)
Tahıl-Hububat Bitki Atıkları	12.511.350	3.878.327	1.520.738
Meyve Grubu Bitki Atıkları	2.226.618	441.541	182.624
Sebze Grubu Bitki Atıkları	4.727.200	1.686.571	661.495
TOPLAM	19.465.168	6.006.439	2.364.856



Şekil 5.6. Yalova ili potansiyel tarımsal atık dağılımları

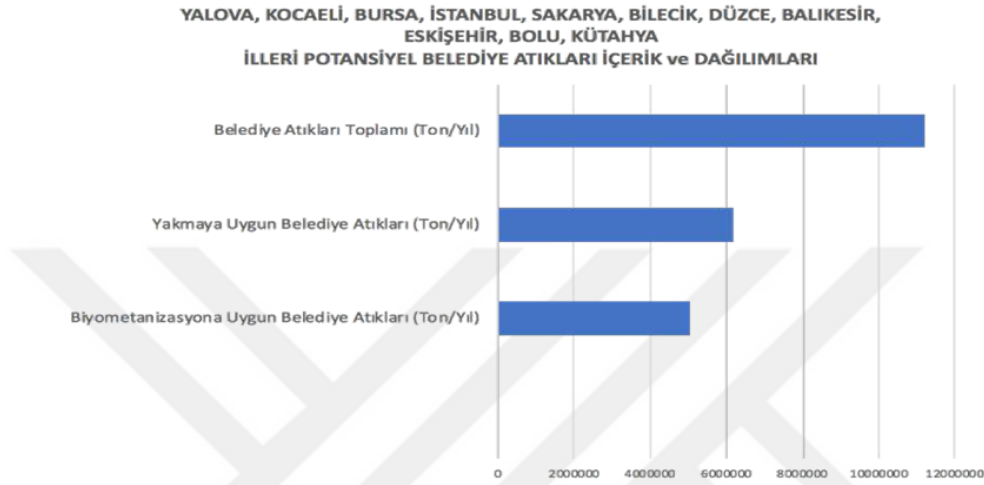


Şekil 5.7. Yalova ili potansiyel hayvansal atık dağılım oranları

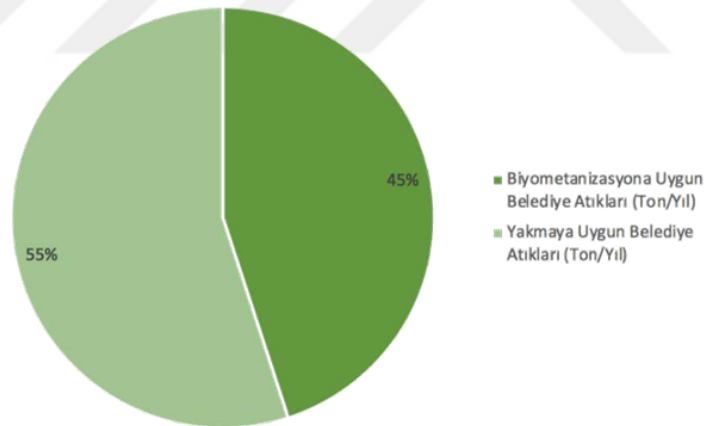
5.2.3. Lokasyona dayalı potansiyel belediye atıkları

Tablo 5.4. Lokasyona dayalı belediye atıkları

Belediye atıkları	Biyometanizasyona Uygun Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	Yakmaya Uygun Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	Belediye Atıklarının Toplamı (Ton/Yıl)
Belediyeden Sağlanabilecek Atıklar	5.046.141	6.167.506	11.213.647



Şekil 5.8. Yalova ili potansiyel belediye atıkları dağılımları



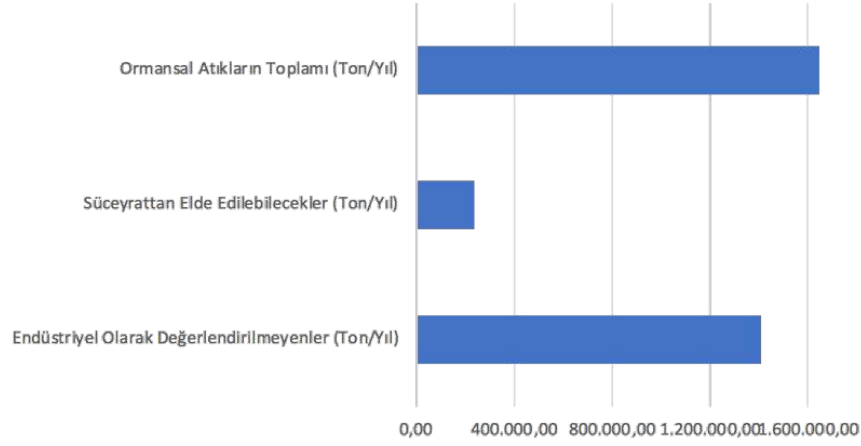
Şekil 5.9. Yalova ili potansiyel belediye atıkları dağılım oranları

5.2.4. Lokasyona dayalı potansiyel ormansal atıklar

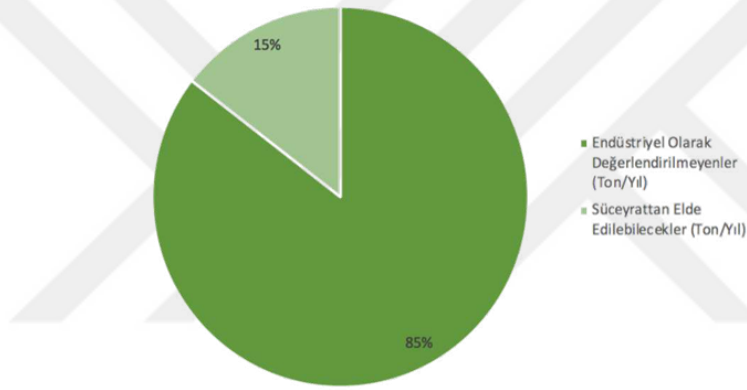
Tablo 5.5. Lokasyona dayalı ormansal atıklar

Ormansal atıklar	Endüstriyel Olarak Değerlendirilmeyenler (Ton/Yıl)	Süceyrattan Elde Edilebilecekler (Ton/Yıl)	Ormansal Atıkların Toplamı (Ton/Yıl)
Orman ve Budama Atıkları	1.403.976,00	238.722	1.642.698

BURSA-YALOVA-BİLECİK / KOCAELİ-SAKARYA / İSTANBUL-KIRKLARELİ-TEKİRDAĞ-
EDİRNE / ÇANAKKALE-BALIKESİR / DÜZCE-BOLU /
ESKİŞEHİR-AFYONKARAHİSAR / KÜTAHYA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜKLERİ
POTANSİYEL ORMAN ATIKLARI İÇERİK ve DAĞILIMLARI



Şekil 5.10. Yalova ili potansiyel ormansal atık dağılımları



Şekil 5.11. Yalova ili potansiyel ormansalsal atık dağılım oranları

5.3. Yalova İli Potansiyel Atıkları

Projenin yapılması öngörülen yalova ili ve çevre illerin sağlanabilecek potansiyel atık miktarları ve içerikleri aşağıda verilmiştir.



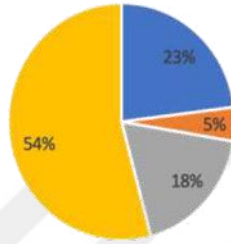
Şekil 5.12. Yalova ili haritası

Tablo 5.6. Yalova ili atıkları

Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	140.573
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	28.167
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	111.030
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	330.728
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	610.498

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

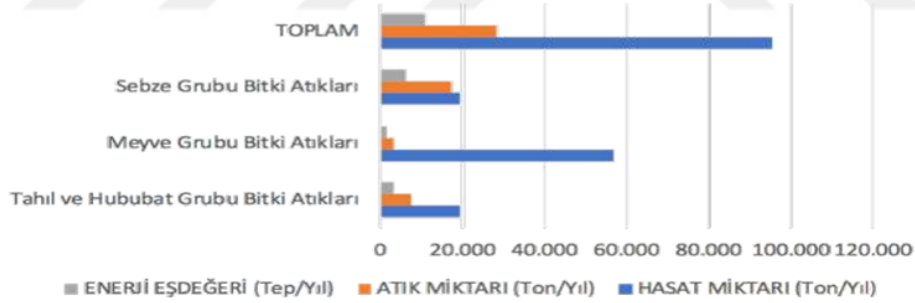
■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.13. Yalova ili potansiyel atık dağılım oranları

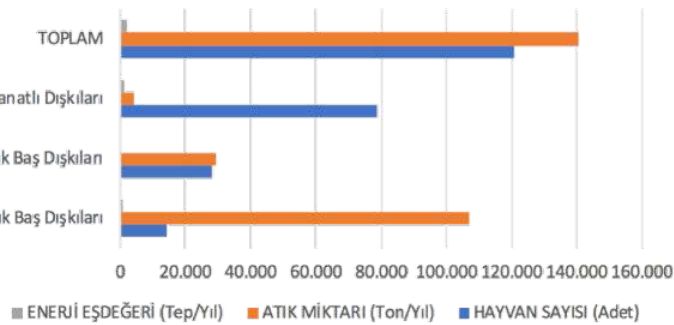
5.3.1. Yalova ili atık potansiyelleri oransal dağılımı

YALOVA İLİ POTANSİYEL TARIMSAL ATIK İÇERİK ve DAĞILIMLARI



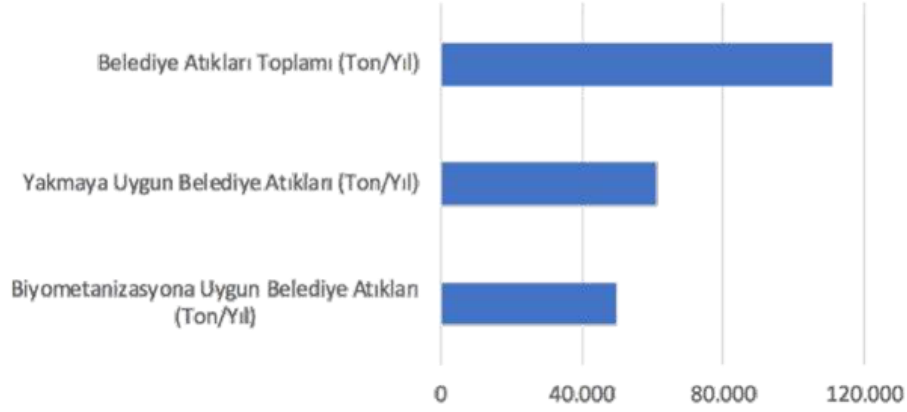
Şekil 5.14. Yalova ili potansiyel tarımsal atık içerik ve dağılımları

YALOVA İLİ POTANSİYEL HAYVANSAL ATIK İÇERİK ve DAĞILIMLARI



Şekil 5.15. Yalova ili potansiyel hayvansal atık içerik ve dağılımları

YALOVA İLİ POTANSİYEL BELEDİYE ATIKLARI İÇERİK ve DAĞILIMLARI



Şekil 5.16. Yalova ili potansiyel belediye atıkları içerik ve dağılımları

5.4. Bursa ili Potansiyel Atıkları

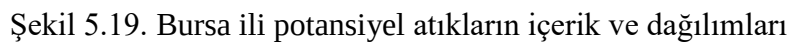


Şekil 5.17. Bursa ili haritası

Tablo 5.7. Bursa ili atıkları

Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	3.004.654
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	1.512.527
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	1.355.320
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	330.728,00
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	6.203.229

■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



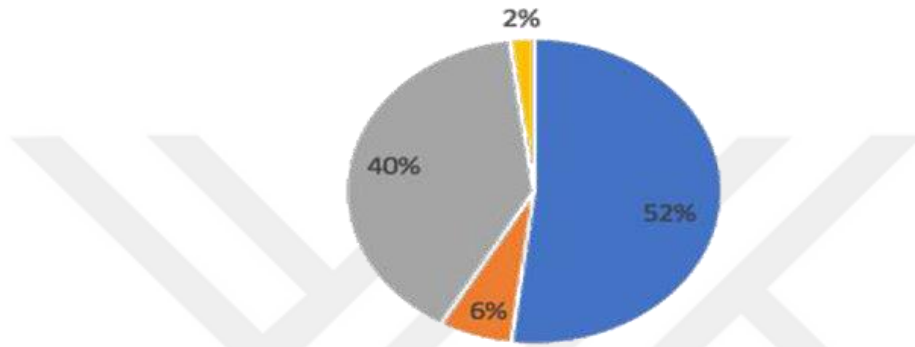
65

Tablo 5.8. Kocaeli ili atıkları

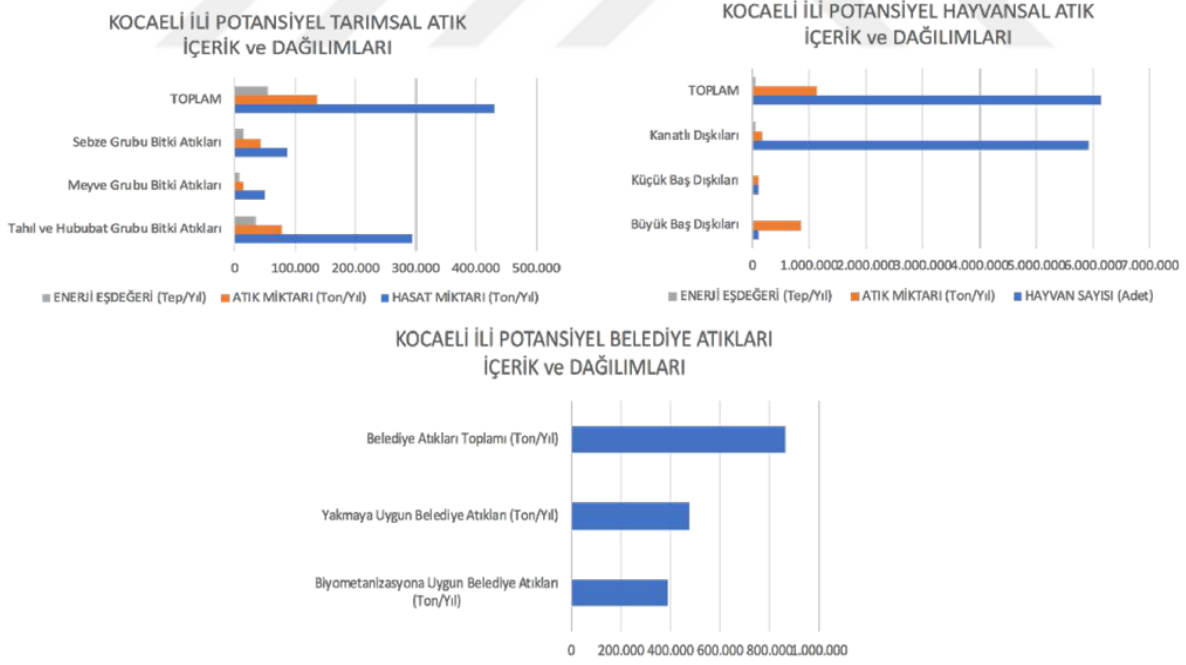
Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	1.129.883
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	137.229
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	862.832
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	44.932
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	2.174.876

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.21. Kocaeli ili potansiyel atıkları oransal dağılımı



Şekil 5.22. Kocaeli ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları

5.6. İstanbul ili Potansiyel Atıkları



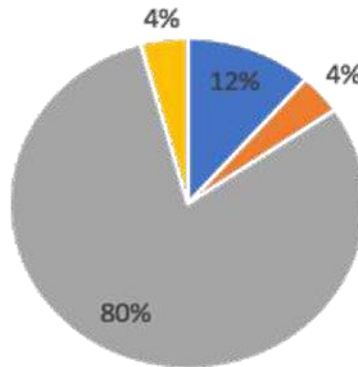
Şekil 5.23. İstanbul ili haritası

Tablo 5.9. İstanbul ili atıkları

Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	1.005.108
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	345.644
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	7.039.641
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	373.998
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	8.764.390

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

- Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.24. İstanbul ili potansiyel atıkların oransal dağılımları



Şekil 5.25. İstanbul ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları

5.7. Sakarya İli Potansiyel Atıkları



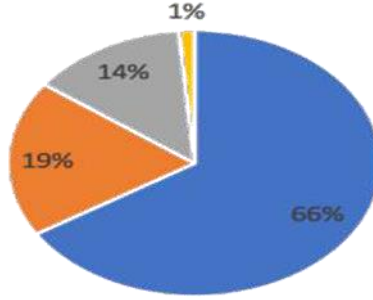
Şekil 5.26. Sakarya ili haritası

Tablo 5.10. Sakarya ili atıkları

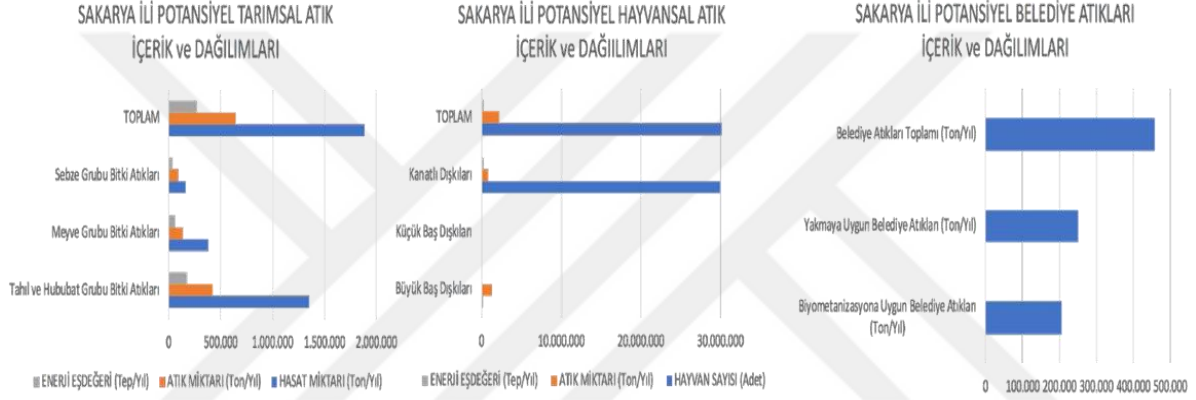
Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	2.230.375
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	643.710
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	457.443
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	44.932
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	3.376.460

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.27. Sakarya ili potansiyel atıkların oransal dağılımları



Şekil 5.28. Sakarya ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları

5.8. Bilecik İli Potansiyel Atıkları



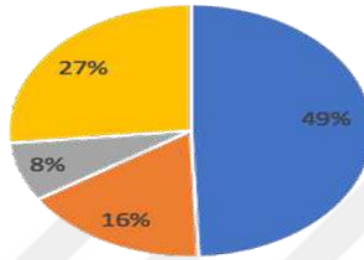
Şekil 5.29. Bilecik ili haritası

Tablo 5.11. Bilecik ili atıkları

Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	614.736
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	205.589
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	94.608
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	330.728
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	1.245.661

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.30. Bilecik ili potansiyel atıkların oransal dağılımları



Şekil 5.31. Bilecik ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları

5.9. Düzce İli Potansiyel Atıkları



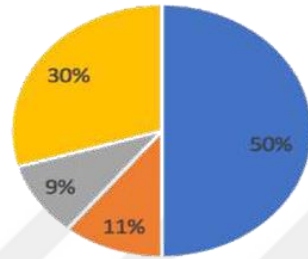
Şekil 5.32. Düzce ili haritası

Tablo 5.12. Düzce ili atıkları

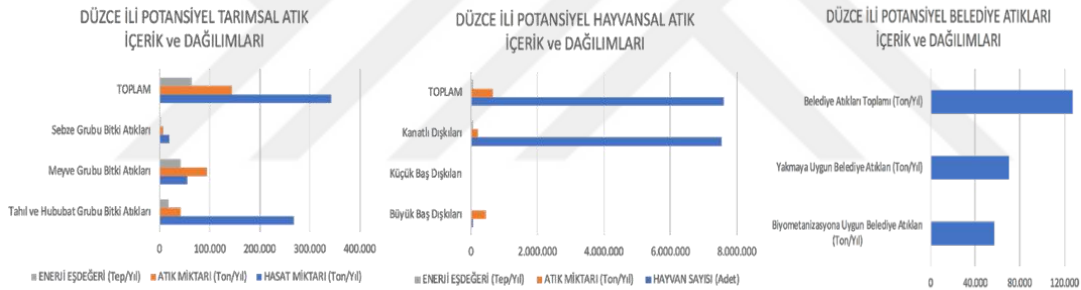
Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	665.486
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	143.880
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	127.407
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	394.000
Toplam atık (Ton/Yıl)	1.330.774

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.33. Düzce ili potansiyel atıkların oransal dağılımları



Şekil 5.34. Düzce ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları

5.10. Balıkesir İli Potansiyel Atıkları



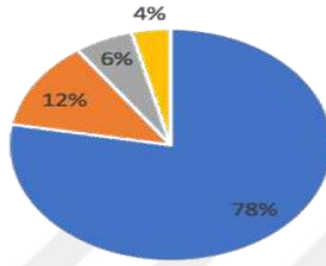
Şekil 5.35. Balıkesir ili haritası

Tablo 5.13. Balıkesir ili Atıkları

Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	6.885.873
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	1.096.117
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	519.332
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	343.932
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	8.845.254

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.36. Balıkesir ili potansiyel atıkların oransal dağılımları



Şekil 5.37. Balıkesir ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımlar

5.11. Eskişehir İli Potansiyel Atıkları



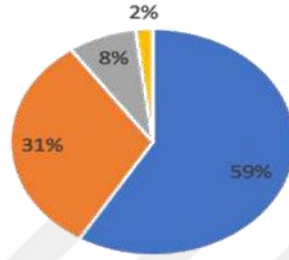
Şekil 5.38. Eskişehir ili haritası

Tablo 5.14. Eskişehir ili atıkları

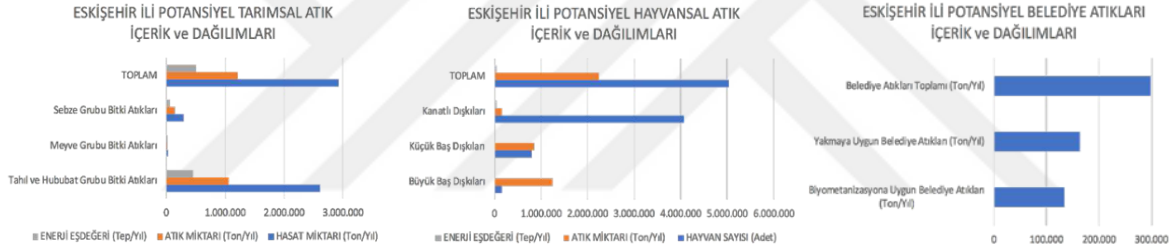
Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	2.247.290
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	1.212.084
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	298.905
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	74.300
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	3.832.578

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.39. Eskişehir ili potansiyel atıkların oransal dağılımları



Şekil 5.40. Eskişehir ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları

5.12. Bolu İli Potansiyel Atıkları



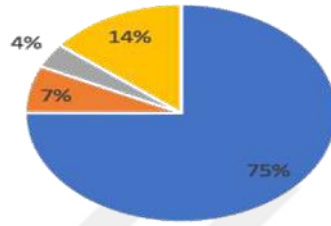
Şekil 5.41. Bolu ili haritası

Tablo 5.15. Bolu ili atıkları

Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	2.080.590
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	194.708
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	102.429
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	394.000
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	2.771.728

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.42. Bolu ili potansiyel atıkların oransal dağılımları



Şekil 5.43. Bolu ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları

5.13. Kütahya İli Potansiyel Atıkları



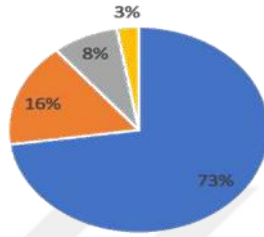
Şekil 5.44. Kütahya ili haritası

Tablo 5.16. Kütahya ili atıkları

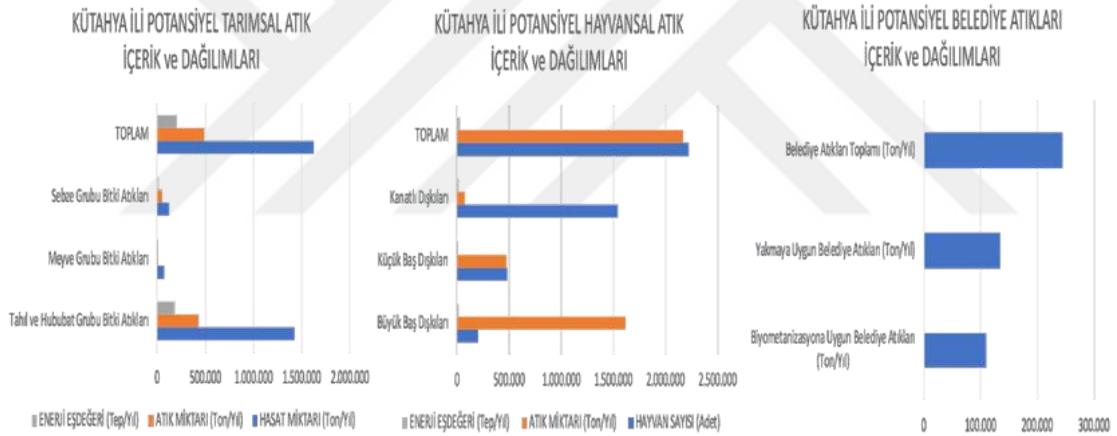
Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl)	2.168.879
Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)	486.784
Belediye Atıkları (Ton/Yıl)	244.700
Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)	80.808
TOPLAM ATIK (Ton/Yıl)	2.981.171

POTANSİYEL ATIKLARIN ORANSAL DAĞILIMLARI

■ Hayvansal Atıklar (Ton/Yıl) ■ Tarımsal Atıklar (Ton/Yıl)
■ Belediye Atıkları (Ton/Yıl) ■ Ormansal Atıklar (Ton/Yıl)



Şekil 5.45. Kütahya ili potansiyel atıkların oransal dağılımları



Şekil 5.46. Kütahya ili potansiyel atıkların içerik ve dağılımları



6. EKONOMİK VE FİNANSAL ANALİZ

Enerji sektörüne sağlanan kredilerin ve özel sektör enerji yatırımlarının büyümesinde önemli bir rol oynayan dolar bazlı YEKDEM garanti fiyat mekanizması, Temmuz 2021 itibarıyla sona ermiştir. Bunun yerine, yılın ikinci yarısında yeni bir YEKDEM mekanizması devreye alınmıştır. Bu yeni mekanizma kapsamında TL bazlı bir yapı öngörülmekte olup, finansman modellerinde özkaynak/kredi oranı ve vade koşullarında değişiklik yapılması beklenmektedir.

1 Temmuz 2021 tarihinden itibaren işletmeye alınan veya alınacak lisanslı üretim tesisleri ile 21 Haziran 2018 sonrası bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu almayı hak eden lisanssız üretim tesisleri artık YEKDEM kapsamında döviz kredisi kullanamamaktadır. Bununla birlikte, YEKDEM dışında kalan firmalar için döviz geliri olmaksızın döviz kredisi kullanımına imkân tanıyan bazı istisnalar geçerliliğini korumaktadır. Bu istisnalar arasında 15 milyon dolar üzeri risk bakiyesine sahip olunması, Genelge'ye uygun Yatırım Teşvik Belgesi'nin bulunması ve holding bünyesinde döviz kredisi kullanımına dair Geçici 1. madde hükümlerinin sağlanması yer almaktadır. Bu istisnaların kapsamını belirleyen hükümler ise halen yürürlükte dir.

Tablo 6.1. 2021 yılına kadarki YEKDEM teşviki

Tesis türü (30.06.2021'e kadar devreye giren santraller)	Garantili fiyat(dolar cent/KWh)	Yerli aksam teşviki (dolar cent/KWh)
Hidroelektrik üretim tesisi	7,3	1,0 – 2,3
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3	0,6 – 3,7
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5	0,7 – 2,7
Biyokütleye dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3	0,4 – 5,6
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3	0,5 – 6,7

Tablo 6.1'de gösterildiği üzere, 30 Haziran 2021 tarihine kadar devreye alınan tesisler için eski YEKDEM uygulamalarına devam edilecektir. Biyokütle tesisleri, 10 yıl boyunca 13,3 dolar cent/kWh alım garantisinden yararlanmaya devam edecek olup, yerli aksam teşvikleri için sağlanan destek süresi ise 5 yıl olarak belirlenmiştir.(Karakaya E. ve B. Çakırlar, 2022),

Tablo 6.2. Güncel YEKDEM

01.07.2021'den sonra devreye giren santraller	Fiyat kuruş/KWh	Yerli katkı kuruş/KWh	Yeni üst sınır dolar cent/KWh
Hidroelektrik üretim tesisi	40	8	6.4
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	32	8	5.1
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	54	8	8.6
BES - Çöp Gazı/Atık Lastik	32	8	5.1
BES - Biyometanizasyon	54	8	8.6
BES - Termal Bertaraf	50	8	8
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	32	8	5.1

Tablo 6.2'de belirtilen güncel YEKDEM uygulamasında, teşvikler TL bazlı olarak hesaplanmaktadır. 1 Temmuz 2021 itibarıyla devreye alınan biyokütle tesisleri için teşvik süreleri aynı kalmakla birlikte, alım garantileri farklılaşmıştır. Çöp gazı tesisleri için 32 kuruş/kWh, biyometanizasyon tesisleri için 54 kuruş/kWh ve termal bertaraf tesisleri için 50 kuruş/kWh olarak belirlenmiştir. Yerli katkı teşvikleri ise 8 kuruş/kWh olarak sabitlenmiştir. Bu yeni düzenleme, sektöre yeni giren firmalar için geçmişteki avantajlı alım garantilerinin olmadığı bir piyasa ortamı yaratmaktadır.

Finansal sürdürülebilirlik, biyokütle sektöründeki yatırımcıların karşılaştığı en temel sorunlardan biridir. Biyokütle yatırımlarının incelenmesi sonucunda, en büyük riskin işletme döneminde ortaya çıktığı görülmektedir. Bu riskler, kaynak bulma ve doğrulama süreçleri ile proje geliştirme aşamalarıyla doğrudan ilişkilidir. Özellikle proje geliştirme sürecinde yapılan hatalar, tesislerin işletme döneminde finansal sürdürülebilirliği ciddi şekilde etkileyebilmektedir. (Taşdoğan, 2022).

Çözüm arayışları sıklıkla elektrik alım garantilerine odaklanmaktadır, ancak bu yaklaşım çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Tartışmaların YEKDEM alım garantisi çerçevesinde yoğunlaşması, biyokütle enerji kaynaklarının ekonomik sürdürülebilirliği için yeterli bir çözüm sunmamaktadır. Çok disiplinli bir yapıya sahip olan biyokütle enerji sektörü, yalnızca YEKDEM destekleriyle ve elektrik alım garantileriyle uzun vadede sürdürülebilir olamayacaktır.

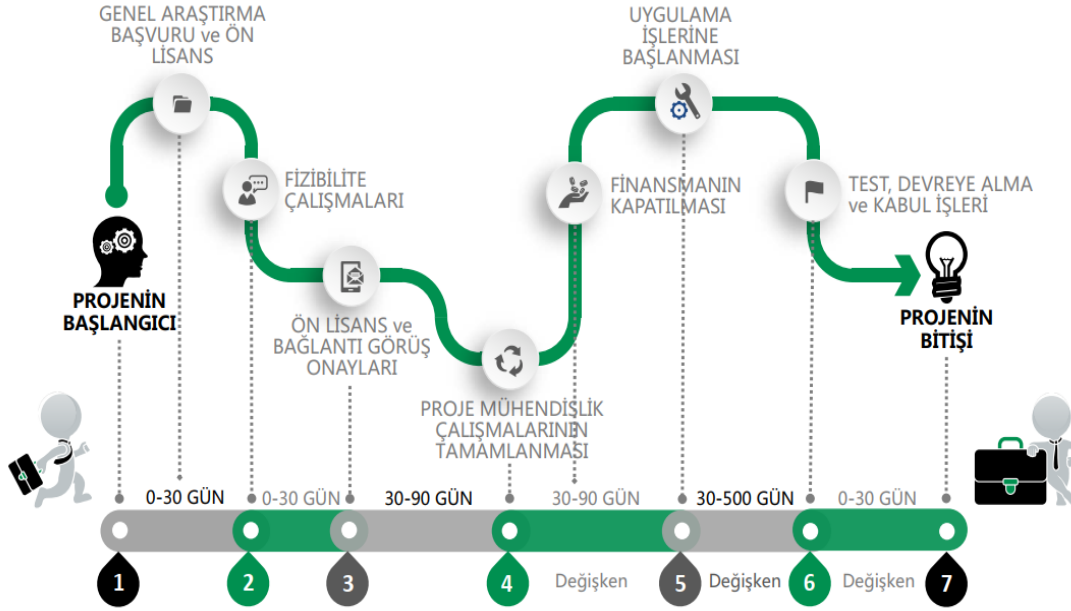
Son 10 yılda özellikle güneş enerjisi sektöründe gözlemlenen yatırım maliyeti düşüşleri, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına sağlanacak desteklerin birbiriyle uyumlu bir şekilde planlanması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu sorunların aşılması, atık bertaraf hizmetlerinin hak ettiği değeri bulması ve yüksek standartlarda yan ürünlerin elde edilmesi ile mümkün olacaktır. Döngüsel ekonomi ilkeleri, proje geliştirme süreçlerinde öncelikli olarak ele alınmalı ve planlama çalışmalarında etkili bir şekilde uygulanmalıdır.

Yapılması planlanan projenin ekonomik ve finansal analizlerinde Biyokütle Enerji Tesisinin yakıt çeşitliliğinde tarımsal atıklar, ormansal atıklar ve tavuk altlığı düşünülmüştür. İlgili yakıtların yakılması suretiyle enerji üretilmesi çerçevesinde ekonomik model oluşturulmuştur.

Yapılan fizibilite çalışması 34 MWe brüt elektrik üretim kapasitesine sahip bir biyokütle enerji üretim santralinin fizibilite senaryosu esas alınmıştır.

6.1. Biyokütle Proje Uygulama Süreçleri

Bir Biyokütle Santrali projesi yapılabilmesi için tasarlanan uygulama adımları Şekil 6.1 de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Biyokütle uygulama süreçleri

6.2. Teknoloji Karşılaştırılması

Yapılması öngörülen proje için teklif alınan 2 farklı teknolojiye sahip firmaların karşılaştırılmaları aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.3. Teknoloji karşılaştırılması

DEĞERLENDİRİLEN TEKNOLOJİLER	KURULUM ve UYGULAMA	ISI ÜRETİMİ	SOĞUTMA ÜRETİMİ	ELEKTRİK ÜRETİMİ	EMİSYON ÜRETİMLERİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİ	Arazi ve Mevcut Yapı İçerisine Uygulama	☉ Sıcak Su ve Buhar Üretimi	☼ Opsiyonel	⚡ Opsiyonel	Ulusal Limit> {-%68-99}
BİYOKÜTLE YAKMA SİSTEMİ	Arazi Uygulama	☉ Sıcak Su ve Buhar Üretimi	☼ Opsiyonel	⚡ Opsiyonel	Ulusal Limit> {-%68-99}

Her iki teknolojiye de yakma işlemi sonrasında ortaya çıkan ısı-buhar enerjisi ile elektrik, soğutma enerjilerinin eş zamanlı olarak üretilmesi mümkündür. Her iki teknolojinin ürettiği emisyon değerleri ulusal limitlerin altında olup Biyokütle tabanlı yakıtlar kullanılarak sistemler yardımıyla üretilen tüm enerjiler, ulusal ve uluslararası platformlarda yenilenebilir enerji olarak tanımlanabilmektedir.

Mevzuatımızda biyokütle olarak büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının dışkıları, mezbaha atıkları, hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar ile birlikte arıtma

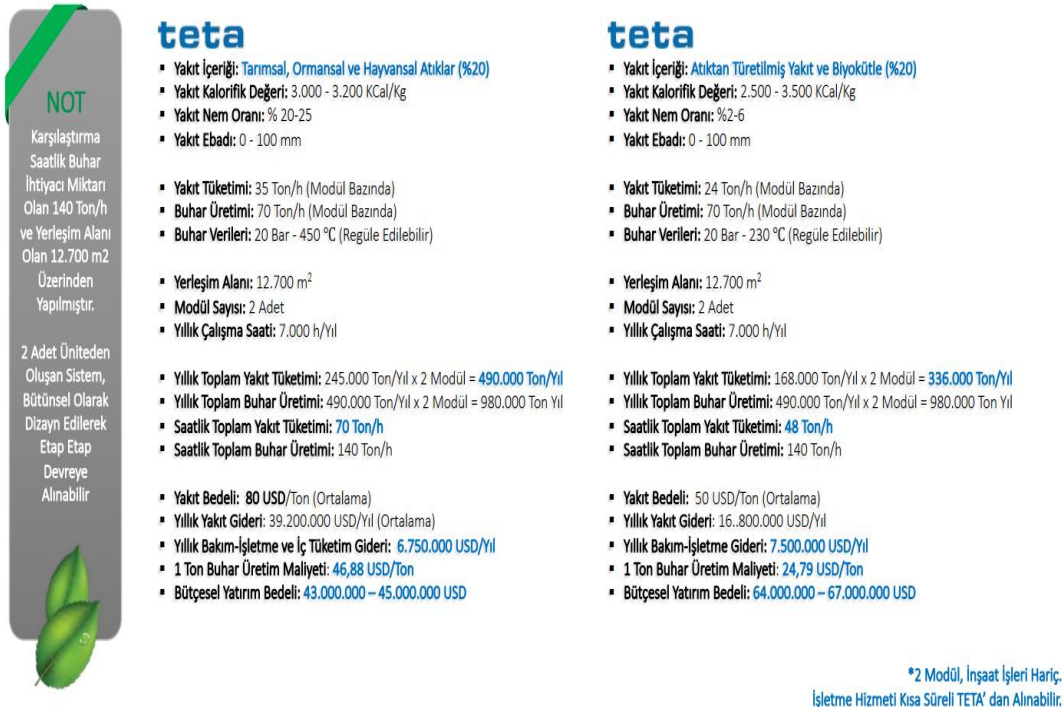
çamurları tanımlanmaktadır. Her iki teknolojinin tasarımı da Tarımsal ve Ormansal atıkların yanı sıra ilgili atıkları da yakabilecek şekilde dizayn edilebilmektedir.

6.2.1. Kabarcıklı akışkan yataklı reaktör



Şekil 6.2. İneva kazan teklifi

6.2.2. Izgaralı sistem su borulu buhar kazanı



Şekil 6.3. Teta kazan teklifi

6.3. Kullanıcak Yakıt Analizleri


**EKİN KİMYA
LABORATUVARI**
Karacaoğlu Mah. 6170 Sok. No:11/Z-40 İşikkent Bornova İZMİR
http://ekinkimyalab.com
info@ekinkimyalab.com
Telefon: 0232 472 19 89 | Fax: 0232 472 19 90
Katı Yakıt Laboratuvarı Analiz Raporu
Test Report of the Solid Fuel Laboratory


TÜRKAK
AB-0777-T
22/KY-00642
08/22

Rapor Numarası Report No	:22/KY-00642
Rapor Tarihi Date of the Report	:29.08.2022
Müşteri Adı / Adresi Customer Name	:BİRTAY TAVUKÇULUK ENERJİ GIDA TAŞ. İNŞ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ. - Ören 75. Yıl Cumhuriyet Mah. Ören ,Turgutlu Cad. No:88/A Kemalpaşa / İZMİR
Numune Cinsi Type of the Sample	:Tavuk Çeltiği Pelleti
Numune Miktar/Birim Amount of the Sample	:1,5/Kg
Numunenin Laboratuvara Ulaşma Tarihi Date of Receipt of the Sampling to the Laboratory	:26.08.2022
Analizlerin Yapıldığı Tarih Aralığı Date of the Analysis	:26.08.2022 - 29.08.2022

Türk Akreditasyon Kurumu(TÜRKAK) deney raporlarının tanınırlığı konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği(EA) ile Çok Taraflı Anlaşma ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği(ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır.
Turkish Accreditation Agency (TURKAK) is a signatory to the European co-operation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement (MLA) and to the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) Mutual Recognition Arrangement (MRA) for the recognition of test reports.

Deney ve /veya ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri (olması halinde) ve deney metotları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.
The test and/or measurement results, the uncertainties (if applicable) with confidence probability and test methods are given on the following pages which are part of this report.

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir. Sonuçlar sadece deneyi yapılan numunelere aittir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid. The results belong to the testing sample.

P.22-FR.01/Rev.05/06.03.2020

1 / 2

Şekil 6.4. Labaratuar analizi1



EKİN KİMYA LABORATUVARI

Karacaoğlan Mah. 6170 Sok. No:11/Z-40 İplikent Bornova İZMİR
http://ekinkimyalab.com
info@ekinkimyalab.com
Telefon: 0232 472 19 89 | Fax: 0232 472 19 90

Katı Yakıt Laboratuvarı Analiz Raporu Test Report of the Solid Fuel Laboratory



TÜRKAKK
TS EN ISO 17025
AB-0777-T

AB-0777-T

2207-00647

08/22

Katı Yakıt Analiz Sonuçları Sample Analysis Results

Parametre Parameter	Birim Unit	Metot Method	Orijinal Baz As Received	Kuru Baz Dry Basis
Toplam Nem Total Moisture	%	TS 1632 EN ISO 665 / ISO 771	15,12	-
Kül Ash	%	ISO 749	12,37	14,57
Uçucu Madde Volatile matter	%	TS EN 15402	64,89	76,44
Toplam Kükürt (S) Total Sulfur (S)	%	TS EN ISO 16994/TS EN ISO 10304-1	0,24	0,28
Alt Isıl Değer Net Calorific Value	Kcal / Kg	TS EN 15400	3363	4060
Üst Isıl Değer Gross Calorific Value	Kcal / Kg	TS EN 15400	3693	4351

- Bu analiz raporu, sadece numunenin laboratuvara teslim edildiği andaki halini temsil eder ve başka bir amaçla kullanılamaz.
- Numune müşteri tarafından alınmış ve laboratuvarımıza teslim edilmiş ise, numune alımından ve numune hakkında sağlanan bilgiden kaynaklı analiz sonuçlarını etkileyecek her türlü sapmadan müşteri sorumludur.
- Kontrol numune saklama süresi 6 (altı) aydır.
- Kimyasal, mikrobiyolojik ve fiziksel açıdan bozulan veya tehlike arz eden numuneler, numune saklama süresinin bitimi beklenmeden imha edilir.
- Numune alımından laboratuvarımıza teslimine kadar olan prosedürlerin ve bakılması istenen grup ve parametrelerin belirlenmesinde teknik ve hukuki sorumluluk numuneyi alana aittir.
- Laboratuvara müşteri tarafından getirilen numuneler metoduna uygun alınmış kabul edilir ve hatalı alınan numunelerden Ekin Kimya Laboratuvarı sorumlu tutulamaz.
- Laboratuvar, bu raporu, müşterinin izni olmadan üçüncü şahıslara gösteremez ve çoğaltamaz.
- Numune ile ilgili kişi ve kurumlar yukarıda belirtilen hususları kabul etmiş sayılır.
- Rapor numarasının sonunda yer alan "R" harfi raporun revize olduğunu belirtir.
- T.E. :Tespit Edilemedi.
- Bu rapor çevre mevzuatına ilişkin resmi işlemlerde kullanılamaz.

Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir. Sonuçlar sadece deneyi yapan numunelere aittir.
This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature are not valid. The results belong to the testing sample.
P.22-FRL.01/Rev.05/06.03.2020

2 / 2

Şekil 6.5. Laboratuvar analizi2

Laboratory for testing of solid biofuels and compost	
 4000 Plovdiv, 140 Ruski Blvd, fl. 4, phone: +359 893 558 649, fax: +359 32/625 754 e-mail: biofuels-lab@eap-save.eu, http://www.eap-save.eu Certificate of Accreditation, Reg. No. 192 LI / 08.02.2023 valid until 07.01.2024, issued by EA BAS, in accordance with the requirements of standard BDS EN ISO/IEC 17025:2018	
TEST REPORT № 32-L-PI-1765 / 28.03.2023	
CUSTOMER <i>(customer's name and information)</i> ENAMA SERVIZI SRL 00159 Roma - Italia, Via Venafro 5 Stefano D'Andrea	
Boomerang Enerji, Yatirim Sanay ve Ticaret AS. <i>(name of the certified company / ENplus® ID number)</i>	
SOLID BIOFUELS - WOOD PELLETS <i>(sample name - type)</i>	
32-03-1765 / 28.02.2023 <i>(number of the request)</i>	
28.2.2023 <i>(sample receiving day in the laboratory)</i>	
1765, wood pellets, 1 pcs., plastic bag, 10 kg, PT028UR-A1, 1256237 <i>(sample number, type, identification, pcs, quantity, other information about sample)</i>	
SAMPLING CERTIFICATE for ENplus® certification, from 24.02.2023 <i>(number and date of sampling report and sampling plan)</i>	
TEST METHODS ISO 17829:2015 ISO 18134-2:2015 ISO 18122:2015 ISO 17831-1:2015 ISO 18846:2016 ISO 18125:2017	ISO 17828:2015 ISO 16948:2015 ISO 16994:2016 EN ISO 21404:2020 ISO 16968:2015 ISO 18847:2017
28.02 - 28.03.2023 <i>(sample test performing period)</i>	
Laboratory for testing of solid biofuels and compost <i>(location of the test)</i>	
TEST REPORT № 32-L-PI-1765 / 28.03.2023 p. 1 from 2	

Edizione 02 / Revision 01 / 10.01.2023

Şekil 6.6. Labaratuar analizi3

Laboratory for testing of solid biofuels and compost

4000 Plovdiv, 140 Ruski Blvd, fl. 4, phone: +359 893 556 649, fax: +359 32/625 754
e-mail: biofuels-lab@eap-save.eu, http://www.eap-save.eu

Certificate of Accreditation, Reg. No. 192 LI / 08.02.2023 valid until 07.01.2024, issued by EA BAS, in accordance with the requirements of standard BDS EN ISO/IEC 17025:2018

TEST RESULTS

Sample number, type, identification: 1765, wood pellets, PT02BUR-A1, 1256237

№	PARAMETER	UNIT	TEST STANDARD	TEST RESULTS	LIMITS ¹⁾			TEST CONDITION
					ENplus® A1	ENplus® A2	ENplus® B	
1	2	3	4	5	6			7
1	Diameter	mm	ISO 17829:2015	6,14 ± 0,03	6 ± 1 or 8 ± 1			T 22,4 °C RH 36 % ²⁾
2	Length	mm	ISO 17829:2015	9,52 < L ≤ 28,56	3,15 < L ≤ 40 ¹⁾			
3	Share of pellets with a length <10mm	w-% ⁵⁾	ISO 17829:2015	6,7 ± 0,2	-			
4	Moisture	w-% ⁶⁾	ISO 18134-2:2015	7,23 ± 0,03	≤ 10			T 105 °C ²⁾
5	Ash content	w-% ⁶⁾	ISO 18122:2015	0,64 ± 0,02	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2	T 550 °C ²⁾
6	Mechanical durability	w-% ⁶⁾	ISO 17831-1:2015	98,9 ± 0,2	≥ 98,0 ⁶⁾	≥ 97,5 ⁶⁾		T 22,6 °C
7	Bulk density	kg/m ³ ^{5,5)}	ISO 17828:2015	692 ± 2	600 ≤ BD ≤ 750			RH 37 % ²⁾
8	Particle density	g/m ³ ⁶⁾	ISO 18847:2017	1,20 ± 0,10	-			T 21,3 °C
9	Coarse fines (3,15 mm ≤ FR ≤ 5,6 mm)	w-% ⁶⁾	ISO 18846:2016	3,0 ± 0,1	-			RH 40 % ²⁾
10	Fines (<3,15 mm)	w-% ⁶⁾	ISO 18846:2016	0,038 ± 0,004	≤ 1,0 ¹⁾ (≤ 0,5 ¹⁰⁾)			
11	Net calorific value	kWh/kg ⁶⁾	ISO 18125:2017	4,812 ± 0,005	≥ 4,6 ¹¹⁾			
12	Gross calorific value	kWh/kg	ISO 18125:2017	5,28 ± 0,03	-			T 23,9 °C RH 40 % ²⁾
13	Additives	%		≤ 1%	≤ 2 ¹²⁾			
14	Nitrogen	w-% ⁶⁾	ISO 16948:2015	0,2189 ± 0,0005	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	T 950 °C ⁶⁾
15	Sulfur	w-% ⁶⁾	ISO 16994:2016	0,00123 ± 0,00002	≤ 0,04	≤ 0,05		T 23,4 °C
16	Chlorine	w-% ⁶⁾	ISO 16994:2016	0,0189 ± 0,0003	≤ 0,02	≤ 0,03		RH 38 % ²⁾
17	Ash deformation Temperature ⁴⁾	°C	EN ISO 21404:2020	1300 ± 8	≥ 1200	≥ 1100		
18	Arsenic	mg/kg ⁶⁾	ISO 16968:2015	< 0,5 ¹³⁾	≤ 1			T 23,8 °C RH 40 % ²⁾
19	Cadmium	mg/kg ⁶⁾	ISO 16968:2015	< 0,1 ¹³⁾	≤ 0,5			
20	Chromium	mg/kg ⁶⁾	ISO 16968:2015	0,75 ± 0,08	≤ 10			
21	Copper	mg/kg ⁶⁾	ISO 16968:2015	1,30 ± 0,02	≤ 10			
22	Lead	mg/kg ⁶⁾	ISO 16968:2015	< 1,0 ¹³⁾	≤ 10			
23	Mercury	mg/kg ⁶⁾	ISO 16968:2015	< 0,05 ¹³⁾	≤ 0,1			
24	Nikel	mg/kg ⁶⁾	ISO 16968:2015	1,02 ± 0,04	≤ 10			
25	Zinc	mg/kg ⁶⁾	ISO 16968:2015	16,2 ± 0,3	≤ 100			

Notes:

The test report or extracts from the test report may not be reproduced without written consent of the testing laboratory.

The laboratory is not responsible for the data and information provided by the customer, which may affect the validity of the results.

The sample is supplied by the customer and the Laboratory is not responsible for the activities performed by the customer.

1) The information in column 6 correspond to the requirements of ENplus® Handbook, Part 3 - Pellet Quality Requirements (Version 3.0, August 2015)

2) Test conditions (temperature and relative humidity) in the laboratory

3) Test conditions according to the requirements of the used standards

4) ash is produced at 815 °C

5) as received

6) dry basis

7) a maximum of 1% of the pellets may be longer than 40mm, no pellets longer than 45mm are allowed.

8) at the loading point of the transport unit (truck, vessel) at the production site

9) at factory gate when loading truck for deliveries to end-users (Part Load Delivery and Full Load Delivery)

10) at factory gate, when filling pellet bags or sealed Big Bags.

11) equal to 16,5 MJ/kg as received

12) the amount of additives in production shall be limited to 1,5 w-%, the amount of post-production additives (e.g. coating oils) shall be limited to 0,2 w-% of the pellets.

13) The limit is determined by the scope of the method. The limit of quantification method LOQ is determined experimentally by repeated analysis of the blank and calculation of the standard deviation SDblank. LOQ = 10 * SDblank * dilution factor

RESPONSIBLE FOR THE TESTS:

TEST REPORT

№ 32-L-P-1765 / 28.03.2023

biofuels-lab@eap-save.eu | 110.81.5335

Notes:

The last report or extracts from the test report may not be reproduced without written consent of the testing laboratory.

The laboratory is not responsible for the data and information provided by the customer, which may affect the validity of the results.

The sample is supplied by the customer and the Laboratory is not responsible for the activities performed by the customer.

1) The information in column 6 correspond to the requirements of ENplus® Handbook, Part 3 - Pellet Quality Requirements (Version 3.0, August 2015)

2) Test conditions (temperature and relative humidity) in the laboratory

3) Test conditions according to the requirements of the used standards

4) ash is produced at 815 °C

5) as received

6) dry basis

7) a maximum of 1% of the pellets may be longer than 40mm, no pellets longer than 45mm are allowed.

8) at the loading point of the transport unit (truck, vessel) at the production site

9) at factory gate or when loading truck for deliveries to end-users (Part Load Delivery and Full Load Delivery)

10) at factory gate, when filling pellet bags or sealed Big Bags.

11) equal ≥ 16,5 MJ/kg as received

12) the amount of additives in production shall be limited to 1,5 w-%, the amount of post-production additives (e.g. coating oils) shall be limited to 0,2 w-% of the pellets.

13) The limit is determined by the scope of the method. The limit of quantification method LOQ is determined experimentally by repeated analysis of the blank and calculation the standard deviation SDbblank. LOQ = 10 * SDbblank * dilution factor

RESPONSIBLE FOR THE TESTS:

Şekil 6.7. Labaratuar analizi4

6.4. İşletmesel Varsayımlar

Tablo 6.4. İşletmsel varsayımlar

Parametreler	Değerler
Kazan Üretim (t)	135
Türbin (MW)	34
Kazan Yakıt	30
İç iht. (t)	2
YEKDEM	2788.4
Çalışma Saati (saat)	8000
Kur (USD/TL)	35
Yakıt Mly (USD/yıl)	9200000
Elektrik Satış Gelir (USD/yıl)	20835817
Bakım + İşçilik (USD/yıl)	2000000
EBITDA (USD)	11038817

Tablo 6.5. Kullanılan yakıt miktarları

Yakıtlar	Değerler
Yıllık Yakıt Üretim (ton)	240000
Ormamsal (ton)	40000
Tarımsal (ton)	40000
Tavuk Altlığı (ton)	160000

Tablo 6.6. Yakıt hesaplama

Yakıt Hesaplama	
Tarımsal (ton)	5
Ormamsal (ton)	5
Tavuk Altlığı (ton)	20
Yakıt Miktarı (ton)	30

Tablo 6.7. Kullanılan yakıt oranları

Yakıtlar	Yüzde yakıt oranı	Kalorifik değer (kcal/kg)	Fiyat (\$)	Oranlanmış kalorifik değer (kcal/kg)	Oranlanmış fiyat(\$)
Ormamsal	17%	2800	50	984	8
Tarımsal	17%	3000	60	891	10
Tavuk Altlığı	67%	2700	30	949	20
Total	100%			2824	38.33

İşletmsel varsayımlar tablosuna girdi olarak kullanılacak yakıt tipi, bu yakıtların oranları ve kalorifik değerleri, maliyeti girdilerinden elektrik üretimiyle ilgili parametreler hesaplanmıştır.

Kazan dizaynı ve kapasitesine göre elektrik üretimine ve satılabilecek elektriğin belirlenmesi sonucunda da işletmenin yıllık elektrik geliri kolaylıkla hesaplanmaktadır. Tesis gelirlerinin hesaplanması sonrasında çalışma saatine göre kullanılacak yakıtın maliyeti ve bakım içilik giderleri belirlenmiştir.

Proje konusu biyokütle tesisi özelinde geliştirilen ekonomik model ve fizibilite çıktıları aşağıdaki şekil ve tablolarda gösterilmiştir.

Ekonomik modelin sonuçlarına göre İç Verim Oranı (IRR) % 10 olarak hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak yatırım geri dönüş süresi 17 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların nasıl yapıldığına dair detaylar fizibilite sonuçları tablosunun altında gösterilmiştir. Yapılan fizibilite detayında, işletmesel varsayımlarda yapılabilecek değişikliklerle daha farklı sonuçlara gidilebilir.

Tablo 6.8. Fizibilite sonuçları

Parametreler	Değerler
İç Verim Oranı (IRR)	10%
Geri Ödeme Süresi	17 yıl
Net Bugünkü Değer (25 yıl)	16.380.000 ABD Doları

Geri Ödeme Süresi: Bu sonuçlara göre yatırımın ne kadar sürede geri döneceği net akışı ile hesaplanmıştır.

$$\text{Geri Dönüş Süresi} = T + \frac{\text{Kalan Yatırım Maliyeti}}{T \text{ yılındaki İndirgenmiş Nakit Akışı}} \quad (6.1)$$

T: Yatırım maliyetinin indirgenmiş nakit akışlarının toplamıyla karşılandığı tam yıl.

Kalan Yatırım Maliyeti: Toplam yatırım maliyetinden T yılına kadar kümülatif indirgenmiş nakit akışlarının toplamı çıkarılarak hesaplanır.

T yılındaki İndirgenmiş Nakit Akışı: T yılındaki nakit akışının IRR'ye göre indirgenmiş değeri.

Her yılın nakit akışını $r=10\%$ indigeme oranına göre bugünkü değerine indirgenmiş hale getiririp;

$$\text{İndirgenmiş Nakit Akışı} = \frac{\text{Nakit Akışı } (C_t)}{(1 + r)^t} \quad (6.2)$$

İndirgenmiş nakit akışlarının kümülatif toplamaları alınarak yatırım maliyetini karşıladığı yıl olan T değeri belirlenir. Kalan maliyet T yılındaki indirgenmiş nakit akışına bölünerek geri dönüş süresi bulunur.

Biyokütle santrali yatırımı için kullanılması planlanan makina ve ekipman satın alım maliyetleri, inşaat maliyetleri ve her santralin bulunduğu konuma, yakıta olan uzaklığına ,depolama alanı büyüklüğü için gerekli arsa bedellerine göre incelendiğinde sermayesi ve yatırım maliyeti yüksek bedeller gerektirmektedir. Geçmiş yıllardaki regülasyonlarda YEKDEM desteği olan elektrik alım garantisinin biyokütle kaynaklı enerji santralleri için teşvik oluşturmamasından dolayı, yatırımların geri dönüş süreleri kısalmaktaydı. Şuanki regülasyonlarda YEKDEM elektrik satış teşviği kaldırılması ve sadece yerli ekipman kullanımında verilmesi kaynaklı geri dönüş süresleri uzamıştır. IRR'ye göre yapılmış olan hesaplamalar doğrultusunda yatırım geri ödeme süresi 17 yıl olarak hesaplanmıştır. Yatırımın geri dönüş süresi geri ödeme süresinin 12 yıl da paranın zaman değerinden bağımsız artıya geçmesinin nakit akış tablosuna yansması aşağıdaki tablo 6.9'de verilmiştir.

Tablo 6.9. Geri ödeme süresi

Yıl	Nakit Akışı (ABD Doları)	Kümülatif Nakit Akışı (ABD Doları)
0	-30.000.000	8.200.000
1	0	-9.800.000
2	-30.000.000	-13.500.000
3	11.000.000	-36.000.000
4	11.000.000	-42.700.000
5	11.000.000	-48.400.000
6	11.000.000	-46.400.000
7	11.000.000	-37.500.000
8	11.000.000	-28.700.000
9	11.000.000	-19.800.000
10	11.000.000	-11.000.000
11	11.000.000	-2.100.000
12	11.000.000	6.700.000

Yukarıdaki tablolara göre özet yapmak gerekirse projenin yatırım bedeli 60.000.000 USD olarak belirlenmiştir. Başlangıçta ve 2.Yılda 30.000.000 USD olacak şekilde projeye para aktarılmıştır. İşletmenin yıllık 2.000.000 USD işletmeve bakım giderleri mevcuttur.3. yılından itibaren faaliyete geçtiği varsayımıyla yaklaşık net nakit giderleriyle paranın zaman değerinden bağımsız 12. Yılın içinde sermayenin tamamı geri kazanılmış olacaktır. Yılda 11.000.000 USD net girdisi olan bir işletme tabloya göre gözükmektedir.

6.5. Finansal Analiz Metodolojisi

6.5.1. İç verim oranı (IRR)

Bir yatırımın karlılığını ölçmek için kullanılan finansal bir metriktir. IRR, bir yatırımın net bugünkü değerini (NPV) sıfıra eşitleyen iskonto oranıdır. Bu oran, yatırımın getirilerini zaman değeri dikkate alınarak ifade eder ve genellikle proje seçimlerinde ya da yatırım kararlarında kullanılır. Bu değerlendirme sayesinde yatırımın paranın zaman değerine göre kaç yılda döneceği hesaplanmaktadır.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad (6.3)$$

NPV: Net Bugünkü Değer

C_t: Yatırımın t dönemindeki net nakit akışı

IRR: İç Verim Oranı (hesaplanacak değer)

t: Zaman periyodu (genellikle yıl bazında)

n: Toplam dönem sayısı

Projemiz yukarıda verilen formüle göre hesaplama yapıldığında IRR oranı %10 olarak belirlenmiştir.

6.5.2. Net bugünkü değer (NBD)

Bir yatırımın bugünkü değerini hesaplayan ve karar süreçlerinde kullanılan önemli bir finansal metriktir. NBD, bir yatırımın gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerlerinin toplamından başlangıç maliyetini çıkartarak hesaplanır.

NBD, bir projenin kârlılığını ölçer ve genellikle sıfırdan büyük olması durumunda yatırımın kabul edilebilir olduğu kabul edilir.

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (6.4)$$

NBD: Net Bugünkü Değer

C_t: Yatırımın t dönemindeki net nakit akışı

C₀: Başlangıç yatırımı (genellikle negatif bir değerdir)

r: İskonto oranı veya alternatif maliyet oranı

t: Zaman periyodu (genellikle yıl olarak ifade edilir)

n: Toplam dönem sayısı

Biyokütle santrali NBD si % 7,13 enflasyon varsayımıyla hesaplanmıştır. Yapılması planlanan projenin ekonomik ömrü 25 olarak kabul edilmiştir. Biyokütle Santrali yatırımının finansal yönden yapılabilir yatırım olarak kabul edilebilmesi için ;

NBD>0: Yatırım kârlıdır ve yapılması önerilir.

NBD=0: Yatırımın getirisi, alternatif maliyet ile eşittir. Kabul edilebilir.

NBD<0: Yatırım zarar edecektir, yapılmaması önerilir.

Biyokütle santrali finansal olarak Net Bugünkü Değeri 16.380.000 ABD Doları olarak hesaplanmıştır. NBD verilerine göre 0 dan büyük bir değeri ifade etmekte ve karlı bir yatırım olarak gözükmektedir. Finansal analiz sonucunda oluşan değere göre Biyokütle santrali projesi finansal yönden bugünkü regülasyonlarla kar marjı düşük bir yatırımdır.

Biyokütle Enerji Santrali projesinde yapılan fizibilite çalışması ekonomik modelinde kullanılan finansal varsayımlar aşağıdaki Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10. Ekonomik model finansal varsayımlar

Finansal varsayımlar	Birim	Değer
Kur	ABD doları/TL	35
Kredi kullanılacak tutar	ABD doları	60.000.000
Kredi vadesi	yıl	8
Faiz oranı(%)	%	9,50%
Ödemesiz dönem	ay	42
İnşaat dönemi	ay	36
Kurumlar vergisi	%	25
Amortisman süresi	yıl	17

Tablo 6.11. Nakit akış

Yıl	Yatırım Harcamaları (Mio USD)	Arazi Bedeli (Mio USD)	Kredi Geri Ödemesi (Mio USD)	Kredi Faizi (Mio USD)	Vergi (Mio USD)	Toplam Nakit Çıkışı (Mio USD)	Ebitda (Mio USD)	Kredi Girişi (Mio USD)	Teşvik	Karbon Vergisi	Toplam Nakit Girişi (Mio USD)	Net Nakit Akışı (Mio USD)	Kümülatif Nakit Akışı (Mio USD)	Finansman Hariç Nakit Akışı (Mio USD)	Finansman Hariç Kümülatif Nakit Akışı (Mio USD)
2024	15.0	5.0				21.8		30.0			30.0	8.2	8.2	-20.0	-20.0
2025	15.0					18.0					30.0	-18.0	-9.8	-35.0	-35.0
2026	15.0					33.7						-3.7	-13.5	-35.0	-35.0
2027	15.0					33.6						-22.6	-36.1	-35.0	-35.0
2028			13.3	4.1	1.1	17.6	11.0				11.0	-6.6	-42.7	-5.1	-55.1
2029			13.3	2.9	1.5	16.7	11.0				11.0	-5.7	-48.4	-9.3	-45.6
2030			13.3	1.6	17.6	9.1	11.0				11.0	2.9	-45.5	8.9	-36.3
2031			6.7	0.3	22.0	2.2	11.0				11.0	8.9	-36.6	8.9	-27.4
2032					22.0	2.2	11.0				11.0	8.9	-27.7	8.9	-18.5
2033					22.0	2.2	11.0				11.0	8.9	-18.8	8.9	-9.6
2034					22.0	2.2	11.0				11.0	8.9	-9.9	8.9	-0.8
2035					22.0	2.2	11.0				11.0	8.9	-2.1	8.9	8.1
2036					22.0	2.2	11.0				11.0	8.9	7.9	8.9	16.9
2037					22.0	2.2	11.0				11.0	8.9	16.8	8.9	25.8
2038					22.0	2.2	11.0				11.0	8.9	24.5	8.9	34.7
2039					22.0	2.2	11.0				11.0	8.9	34.6	8.9	43.5

Projenin karlılığını hesaplarken, projenin tüm kredi geri ödemesi, kredi faizi, vergi, arazi bedeli gibi gelir ve gider kalemlerinin gösterildiği nakit akışı tablosu yukarıda verilmiştir. Tabloya göre 15 yıllık dönemi içeren bu fizibilete de tesisin yapılmaya başlanması faaliyetini kapsayan dönem olan 0. yıl olarak kabul edilmiş devamında 15 yıl süresince Ebitta ve kredi geri ödemeler gösterilmiştir. Tesisin 11. Yılıının sonunda para kazanmaya başladığı görülmektedir. Tesis ekonomik ömrü 25 yıl olarak planlanmıştır.





7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji, mal ve hizmet üretiminde vazgeçilmez bir girdi olup, ülkelerin refah düzeyinin artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda, ülkelerin kalkınma seviyesini belirleyen temel göstergelerden biri olarak değerlendirilmektedir. Eğitim, ulaşım, altyapı ve sağlık hizmetlerinin sağlanmasında; sanayi ve işlenmiş tarımsal ürünlerin üretiminde; ekonomide verimliliğin yükseltilmesinde; ayrıca beslenme, barınma ve ısınma gibi temel ihtiyaçların karşılanmasında sunduğu imkanlarla enerjinin önemi açıkça görülmektedir.

Günlük yaşamın her alanında kendine kullanım alanı bulan enerji, kimyasal, nükleer, potansiyel, kinetik, termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar ve elektrik enerjisi gibi farklı türlerde karşımıza çıkmakta ve uygun methodlarla birbirlerine dönüştürülebilmektedir.

Enerji kaynakları, kullanım şekillerine göre yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları, yakın bir gelecekte tükenme riski taşıyan ve fosil veya çekirdek kaynaklı olarak iki şekilde sınıflandırılan kaynaklardır. Buna karşılık, yenilenebilir enerji kaynakları, tükenmeden kendini yenileyebilen ve oldukça uzun bir süre boyunca kullanılabilir olan enerji kaynaklarını ifade etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, yerli olmaları, düşük yakıt maliyetleri ve çevre dostu özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Bu kaynaklar, sürdürülebilir olmaları, çevreye minimum zarar vermeleri, işletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması ve ulusal enerji güvenliği açısından sundukları avantajlarla hem dünya hem de ülkemiz için büyük önem taşımaktadır.

Dünya nüfusunun artması ve teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artış göstermektedir. Bu durum, yeni enerji kaynaklarının keşfedilmesini zorunlu hale getirmiştir. Toplumların ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte, enerjinin elde edilme yöntemleri ve kullanım alanları da değişim ve gelişim göstermiştir. Bu bağlamda, mevcut enerji kaynaklarına ek olarak biyokütle enerjisi üretimi son yıllarda bu ihtiyaca yönelik alternatif bir çözüm olarak dikkat çekmektedir.

Biyokütle enerjisi, çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji üretimi sağlamasının yanı sıra, çevre yönetimine katkı sunan ve kalkınmayı destekleyen özellikleriyle dünya genelinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Bu nedenle, Türkiye'de biyokütlenin enerji üretiminde kullanımının artması giderek daha önemli hale gelmiştir.

Yalova da kurulması planlanan Biyokütle Enerji santrali ekonomik analiz raporuna göre 17 yılda dönen bir projedir. Ticari kaygılarla bakıldığında mevcut regülasyonlarla kar marjı düşük bir yatırım gibi gözüksede çevresel sürdürülebilirlik, Paris İklim Anlaşması hedeflerine katkı sağlamak ,sıfır karbon hedefi, ve enerji güvenliği gibi stratejik faydaları göz önünde bulundurursak uzun vadeli bir enerji çözümü sunmaktadır.

Yalova Biyokütle Enerji Santrali projesi, çevreye duyarlı, ekonomik açıdan faydalı ve sosyal etkileri olumlu olan bir yatırım olarak değerlendirilmiştir. Projenin başarıyla uygulanabilmesi için ;

Biyokütle tedarik zincirinin sürdürülebilir bir yapıda yürütülmesi için çiftçiler ve tedarikçilerle etkin iş birliği kurulmalıdır.

Proje kapsamında yerel çevre ve enerji kurumlarıyla ortak çalışmalar geliştirilmelidir.

Teknolojik gelişmeler yakından takip edilerek santral verimliliği ve çevresel performansı sürekli iyileştirilmelidir.

Biyokütle atık kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak için tedarik zincirindeki paydaşlarla birlikte uzun vadeli planlamalar yapılmalıdır.

Toplumsal faydayı artırmak için santral çevresinde sosyal sorumluluk projeleri geliştirilmeli, çevre bilinci ve sürdürülebilirlik eğitimleri düzenlenmelidir.

Yalova Biyokütle Enerji Santrali, yenilenebilir enerji alanında bölgeye öncül bir rol oynayarak Türkiye'nin sürdürülebilir enerji hedeflerine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Arslan, F., & Uzun, A. (2017). Yenilenebilir enerji yatırımlarının sosyal kabul boyutu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 51, 105–106.
- Avrupa Birliği Başkanlığı. (n.d.). Fasıl 27: Çevre. https://www.ab.gov.tr/fasil-27-cevre_92.html (Erişim Tarihi: 19 Haziran 2023)
- Ayan, Ayberk.(2024) *Biyokütle enerjisinin Türkiye’deki kullanım olanaklarının değerlendirilmesi*. Maltepe Üniversitesi.
- Bereket-Baş, Z., (2022), Biyokütlenin Yenilenebilir Enerji ve Tarımdaki Hukuksal Durumunun Analizi, 11-13 Mayıs 2022 Biyoküttele Risk ve Finansman Çalıştayı, İzmir.
- Biyoenerji Dergisi. (2024). Ana sayfa. <https://biyoenerjidergisi.com> (Erişim Tarihi: 2 Aralık 2024)
- Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası (BEPa). (2022). Ana sayfa. <https://bepa.enerji.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 12 Ekim 2024)
- Çağal, Fahriye Enda. (2009). *Biyokütle enerjisi potansiyelinin türkiye açısından değerlendirilmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). BMİDCS ve Türkiye. <https://iklim.csb.gov.tr/bmidcs-ve-turkiye-i-4376> (Erişim Tarihi: 11 Mayıs 2023)
- Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED). (2023). Yeni ÇED yönetmeliği Resmî Gazete’de yayımlandı. <https://ced.csb.gov.tr/yeni-ced-yonetmeliği-resmî-gazetede-yayimlandi.-haber-272356>
- Dölek, E. (2021). *Uluslararası ve ulusal çevresel ve sosyal etki değerlendirmelerinde kültürel miras* Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Biyokütle enerjisi hakkında bilgi merkezi. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle-2022> (Erişim Tarihi: 12 Kasım 2024)
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2024). Ana sayfa. <https://www.epdk.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 2 Kasım 2024)
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2022). Yenilenebilir enerji kaynakları: Biyokütle. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle>
- Ekoloji Kollektifi Derneği. (2023). Ana sayfa. <https://www.ekolojikollektitifi.org/> (Erişim Tarihi: 13 Aralık 2024)
- ETKB, (2019-2023) Stratejik Planı, https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Planı.pdf, Erişim Tarihi, 28.11.2024
- EÜAŞ, 2020 Yılı Faaliyet Raporu, <https://www.euas.gov.tr/yillik-raporlar>, Erişim Tarihi: 10.04.2024.

- EÜAŞ, 2022 Yılı Faaliyet Raporu, <https://www.euas.gov.tr/yillik-raporlar>, Erişim Tarihi: 10.04.2024.
- Gökmoğol, M. R. (2024). *Ankara Ticaret Borsası mezbaha işletmesinde çevre yönetim sistemleri uygulamasına göre Ankara ili ve ilçelerinde çevre kirliliği yaratan kimi mezbaha atıklarının geri kazanımı üzerine bir araştırma*. Ankara Üniversitesi.
- IEA,FAO, (2021). International Energy Agency.,Food and Agriculture Organization of the United National: [http://fao.org.](http://fao.org;); <http://iea.org.>;
- Karakaya E. ve B. Çakırlar, (2022), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Sürdürülebilir Finans, 11-13 Mayıs 2022 Biyokütlede Risk ve Finansman Çalıştayı, İzmir.
- Karakoç, A. (2023). *Yerel yönetimler için Karbon Ayak İzinin hesaplanması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi
- M.Çolakoglu.,S.Aslan.,E.Kumdereli. (2021). Biyokütle ve biyokütle sektörlerine genel bakış. PWC
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H. O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., ... & Waterfield, T. (2019). Global Warming of 1.5 C. IPCC Special Report 2018. Intergovernmental Panel on Climate Change.Jenkins, C. N. & Joppa, L. (2009). Expansion of the global terrestrial protected area system. Biological Conservation, 142: 2166–2174. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.04.016.
- Ordu Ticaret Borsası. (2022). Ordu ili biyokütle enerji tesisi ve tedarik zinciri kurulması fizibilitesi projesi. <https://www.ordutb.org.tr> (Erişim Tarihi: 18 Mayıs 2023)
- Öktem, B. (2021). *Stratejik Rekabet Amacına Yönelik Çevre Maliyetlerinin Rolü*, Marmara Üniversitesi
- PwC, (2021), Biyokütle ve Biyoenerji Sektörlerine Genel Bakış, www.pwc.com.tr, Erişim Tarihi, 11.11.2024
- Resmî Gazete. (2005, Mayıs 18). Karar metni. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050518-1.html> (Erişim Tarihi: 13 Temmuz 2023)
- SBB, (2019), On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf>, Erişim Tarihi: 10.04.2022
- Stöcker, M. (2008). Biofuels And Biomass-To-Liquid Fuels In The Biorefinery: Catalytic Conversion Of Lignocellulosic Biomass Using Porous Materials. Angewandte Chemie International Edition, 47(48), 9200-9211The Economist. (2004). The Rise of the Green Building, Accessed on 10 Dec 2017, available online at: http://economist.com/PrinterFriendly.cfm?Story_ID=3422965
- Taşdoğan, C. (2022). Biyokütlenin Yenilenebilir Enerji ve Tarımdaki Hukuksal Durumunun Analizi. 11-13 Mayıs 2022 Biyokütlede Risk ve Finansman Çalıştayı, İzmir.
- Tarım ve Orman Bakanlığı,(2022), 2019-2023 Stratejik Plan, <https://www.tarim-orman.gov.tr/SGB/Belgeler/stratejikplan.pdf>, ErişimTarihi: 10.12.2024

Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA). (2022). TÜBA biyokütle enerjisi raporu (M. H. Alma, Ed.). Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
<https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/TUBA-978-625-8352-01-6.pdf>

Ünsal, A. (2007). *Adana Orman Bölge Müdürlüğü Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğü Kızılçam biyokütle tablolarının düzenlenmesi*. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Wang, C., Wood, J., Wang, Y., Geng, X., & Long, X. (2020). CO₂ emission in transportation sector across 51 countries along the Belt and Road from 2000 to 2014. *Journal of Cleaner Production*, 266, 122000

Yumak, T. (2024). *Çeşitli Biyokütlelerden hidrotermal karbonizasyon yöntemi ile biyokömür eldesi ve karakterizasyonu*. Ankara Üniversitesi.





ÖZGEÇMİŞ

İlk ,orta ve lise öğrenimini Yalova’da tamamladı. 2004 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden 2009 yılı şubat ayında mezun oldu. 2010 yılından beri Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yapmaktadır. Yalovada faaliyet gösteren Aksa Akrilik Kimya Sanayii A.Ş’de 2010 yılından itibaren çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Koyunoğlu, C., & Dost, T. (2024). Biyokütle tabanlı enerji üretimi için santral fizibilite çalışması. *4rd International World Energy Conference*, 06-08 Aralık 2024, Kayseri, Türkiye. ISBN: 978-625-378-043-2.

