

Sera Gazlarının Azaltılmasında Biyokütlenin Rolü ve Çözüm Önerileri

Kamil Kaygusuz¹

Özet

Üzerinde yaşadığımız yer kürenin iklimi son yarım yüzyılda atmosfere salınan insan kaynaklı sera gazlarının doğal sera etkisini artırmasından dolayı ısınmaktadır. Sera gazı emisyon salınım senaryolarına dayanan farklı iklim modelleri, 21'nci yüzyılda yaşadığımız yerkürede önemli iklim değişikliklerinin olacağını öngörmektedir. Bu iklim değişikliklerini önlemenin ve bu değişikliklerin, doğal ekosistemler ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmenin en iyi yolu ise, insan kaynaklı sera gazı salınımlarını azaltmak ve ormanlar gibi karbon tutucu ortamları çoğaltmaktır. İnsan kaynaklı sera gazı salınımlarının önemli bir bölümü enerji üretimi ve kullanımıyla ilişkili olduğu için, yeni teknolojilerin çoğu, fosil yakıt yakan sistemlerin verimliliğinin iyileştirilmesine, enerji tasarrufunun artırılmasına ve düşük ya da sıfır karbonlu enerji kaynaklarının geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bu bağlamda başta ormanlar olmak üzere canlılar için hayati öneme sahip tüm biyokütle kaynaklarının etkili ve verimli bir şekilde artırılıp kullanılması sera gazı emisyonlarının azaltılmasında da önemli bir rol oynayacaktır.

1. GİRİŞ

Enerji, canlılar için her zaman vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Günümüzde ihtiyaçların arttığı ve çağın getirdiği yeni alanlara ilişkin tüketim alışkanlıklarının değiştiği bilinmektedir. Yüksek tüketim alışkanlığına dayalı ihtiyaçların üretim yoluyla piyasa tarafından karşılanması önem arz etmektedir. Söz konusu üretimin ise en temel iki girdisi hammadde ve enerjidir. Enerjinin, tükenme tehlikesi altında olan yenilenemeyen enerji kaynakları tarafından üretilmesinin yarattığı çevresel tahribat, sosyo-ekonomik sorunlar ve 1973 Birinci Petrol Krizi olarak tabir edilen enerji darboğazının yıkıcı

1 Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Bölümü, 61080 Trabzon, Türkiye
E-mail: kamilk@ktu.edu.tr

etkileri sonucunda, enerjiye duyulan ihtiyacın karşılanması için dünyada alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Fosil yakıtlara alternatif olabilecek enerji kaynakları arayışı ise zaten çeşitli şekilde kullanılmakta olan ancak fosil yakıtlar ile rekabet edemediğinden arka planda kalan yenilenebilir enerji kaynaklarını tekrar gündeme getirmiştir (Akova, 2008; Acaroğlu, 2013).

Enerji talebinin artması ve beraberinde fosil yakıtların kullanımının arttırılması sonucunda kirletici gazların atmosfere salınımı artmıştır. İklim değişikliği ve sera gazı etkisinin küresel ısınmaya yönelik duyarlılığın arttığı günümüzde uluslararası çerçeve anlaşması Kyoto Protokolünü ve bunu takip eden Paris anlaşmasını imzalayarak karbondioksit ve sera gazı salınımı azaltmayı taahhüt eden ülkeler için en azından üretim aşamasında atmosfere sera gazı emisyonu vermeyen yenilenebilir enerji kaynakları çözüm olarak görülmektedir. Hiçbir üretimin çevreye etkisi olmadan yürütülemeyeceği gerçeğiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının da çevreye etkileri olacağı göz ardı edilmemelidir.

Devletlerin ekonomik büyüme hedefleri, sanayileşme, nüfus artışı, teknolojinin yaygınlaşması ve refah seviyesinin yükselmesi ile doğru orantılı olarak enerji tüketiminde artışın karşılanması amacıyla Türkiye gibi fosil yakıt rezervinin enerji ihtiyacını karşılayamadığı ekonomilerde enerji talebinin ithalat yoluyla giderilmesi gerekmektedir. İthalat ise ödemeler bilançosu üzerinde baskı oluşturmakta ve cari açığa neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ise enerjinin yerleştirilmesi ve enerji güvenliğinin sağlanması noktasında büyük öneme sahip olduğu bilinmektedir (ETKB, 2022).

Günümüzde Türkiye başta olmak üzere küresel ölçekte bütün ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarını ve çeşitliliğini arttırma stratejisi içerisinde. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisi yeryüzünde en yaygın bulunan ve insanlık tarihi kadar eski bir enerji kaynağı durumundadır. Bununla birlikte biyokütle enerji kaynağı materyalleri elektrik, ısı ve yakıt ihtiyacının karşılanması, depolanabilir olması, enerji üretiminde iklimsel koşullardan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha az etkilenmesi ve atıkların bertaraf edilmesi başta olmak üzere diğer birincil enerji kaynaklarına göre birçok üstün tarafı bulunmaktadır (EİGM, 2020 ve 2022).

2. SERA GAZI EMİSYONLARI VE SERA ETKİSİ

Atmosfer çeşitli gazların karışımından oluşur ve buna ek olarak da daha küçük miktarlarda asal gazlar bulunur. Atmosferi oluşturan ana gazlar, Azot

(% 78.08), Oksijen (% 20.95) ve Argondur (% 0.93). Bunlara göre daha küçük bir orana sahip olan diğer bir önemli gaz ise Karbondioksittir (% 0.03). Yeryüzünün termal dengesi için, güneşten aldığı enerji kadar enerjiyi uzaya vermesi gerekir. Güneş enerjisi yeryüzüne kısa dalga boyuna sahip radyasyon (ışınım) olarak ulaşır ve gelen radyasyonun bir bölümü yeryüzünün yüzeyinde, bir bölümü troposferde, bir kısmı ise atmosfer tarafından tekrar uzaya yansıtılır (Güler, 2020).

Atmosferdeki gazlar yeryüzündeki ısının bir kısmını tutar ve yeryüzünün ısı kaybına engel olur. CO₂ havada en çok ısı tutma özelliği olan gazdır. Atmosferin, ışığı geçirme ve ısıyı tutma özelliği vardır. Atmosferin ısıyı tutma yeteneği sayesinde suların sıcaklığı dengede kalır. Böylece nehirlerin ve okyanusların donması engellenmiş olur. Bu şekilde oluşan atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine sera etkisi denir. Atmosfer cam seralara benzer bir özellik gösterir (Güler, 2020).

Atmosfer de ısıyı tutan gazlar, sera gazları olarak adlandırılırlar. Bazı sera gazları doğal olarak oluşur fakat insan faaliyetlerinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenir. Diğer bazı sera gazları ise tamamen insan faaliyetleri sonucu (antropojenik) meydana gelir. Doğal olarak oluşan sera gazlarından bazıları şunlardır:

- Su buharı (H₂O),
- Karbon dioksit (CO₂),
- Ozon (O₃),
- Metan (CH₄),
- Nitrit oksit (N₂O)

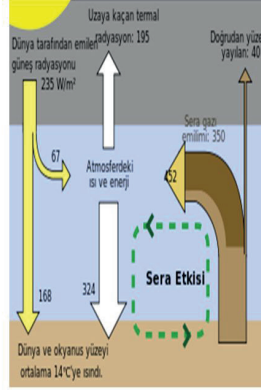
İnsan faaliyetleri sonucu oluşan sera gazları ise; kloroflorokarbon (CFCs), hidrokloroflorokarbon (HCFCs), hidroflorokarbon (HFCs) (hepsine genel olarak halokarbonlar da denir) ve florid bileşiği olan kükürt hekzaflorid (SF₆) gazlarıdır.

Sanayi devrimi ile birlikte, 19. yüzyıl ortalarından itibaren, özellikle fosil yakıtların kullanımı, yanlış arazi kullanımı ya da süregelen arazi kullanımının değişimi, ormansızlaşma, sanayileşme gibi insan kökenli ekinliklerin sonucunda atmosferde sera gazları oranında hızlı bir artış görülmüştür. Küresel bazda ortalama hava sıcaklıkları, geçen yüzyılda 0,4-0,8 °C arasında artmıştır. Bu ısınma geçen 1000 yılın herhangi bir dönemindeki artıştan daha büyük ve dikkat çekicidir. Küresel iklimde gözlenen ısınmanın yanı sıra, en gelişmiş iklim modelleri, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 1990-2100 döneminde 1,4-5,8 °C arasında bir artış olacağını öngörmektedir. Küresel

sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak da, hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir (Nelson, 2011; Güler, 2020; IPCC, 2022).

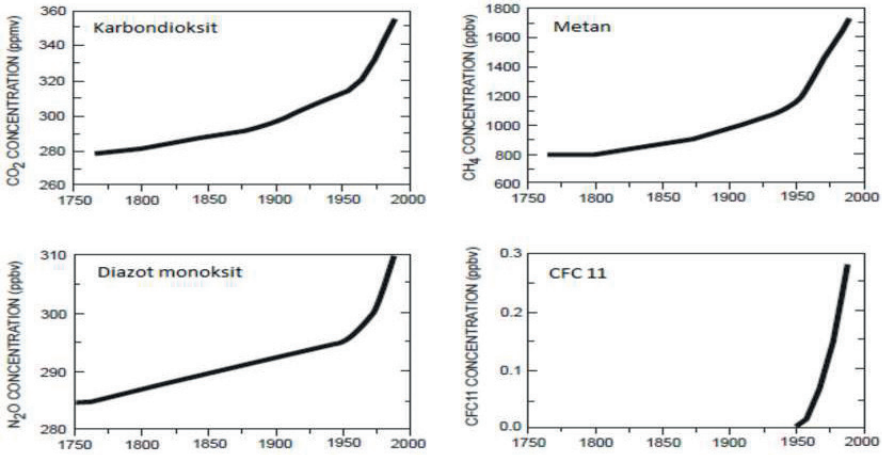
Sera Etkisi

Dünya, üzerine düşen güneş ışınlarından çok, dünyadan yansıyan güneş ışınlarıyla ısınır. Bu yansıyan ışınlar başta karbondioksit, metan ve su buharı olmak üzere atmosferde bulunan gazlar tarafından tutulur, böylece dünya ısınır. Işınların bu gazlar tarafından tutulmasına sera etkisi denir. Atmosferde bu gazların miktarının artması Yerküre'de ısınmayı artırır.



Şekil 1. Sera etkisinin şematik olarak izahı.

Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak da, hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir. Şekil 2 de son 250 yılda bazı sera gazlarının konsantrasyonlarındaki artış görülmektedir.



Şekil 2. Son 250 yıldan itibaren bazı sera gazları konsantrasyonlarındaki artış (IPCC, 2022).

Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak da, hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi dünya ölççeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir. Diğer taraftan, iklimbilimciler tarafından dünyanın ikliminde bir bozulma olduğu kabul edilmektedir ve gerekli tedbirler alınmadan doğal dengenin bozulmasına sebep olan etkinliklerin devam etmesi neticesinde, sonucun dünya için çok olumsuz sonuçlar doğurabileceğini açıkça belirtmektedir. Beşerî nedenlerden dolayı atmosferde sera gazı birikimi ve partikül madde miktarında meydana gelecek olan artışın, küresel ısınma ile sonuçlanacağı düşünülmektedir (Kaygusuz, 2010; Sözen ve diğ. 2017; Güler, 2020; IEA, 2022; Ayan, 2022).

İklim sistemi için önemli olan doğal etmenlerin başında sera etkisi gelmektedir. Bitki seraları kısa dalgali güneş ışınımını geçirmekte, buna karşılık uzun dalgali yer (termik) ışınımının büyük bölümünün kaçmasına engel olmaktadır. Sera içinde tutulan termik ısınım seranın ısınmasını sağlayarak, hassas ya da ticari değeri bulunan bitkiler için uygun bir yetiştirme ortamı oluşturmaktadır. Benzer şekilde CO₂ örtüsü, yerküreden yansıyan uzun dalga radyasyonunu tutar. Uzun dalga radyasyonunun yakalanması kuantum mekaniği tarafından belirlenir. CO₂'deki Oksijen atomu, merkezde bulunan Karbon atomu ile titreşir ve bu titreşimin frekansı uzun dalga radyasyonunun kızılötesi dalga boylarının bazıları ile çakışır. Dünya

yüzeyindeki ve atmosferdeki radyasyonun frekansı, CO₂ titreşim frekansı ile çakıştığında, radyasyon CO₂ ile emilir ve diğer hava molekülleriyle çarpışarak ısıya dönüştürülür ve daha sonra yüzeye geri verilir. Bu emilimin bir sonucu olarak, giden uzun dalga radyasyonu CO₂'yi arttırarak azaltılır. Net gelen güneş radyasyonunu dengelemek için fazla ısı kaybedilmez. Bu da gezegende fazla ısı olduğu anlamına gelmektedir, yani sistemdeki enerji dengesiz durumdadır. CO₂ zaman içerisinde arttıkça, bu kızılötesi katman kalınlaşmakta ve Dünya bu enerji fazlalığını biriktirmektedir (Güler, 2020).

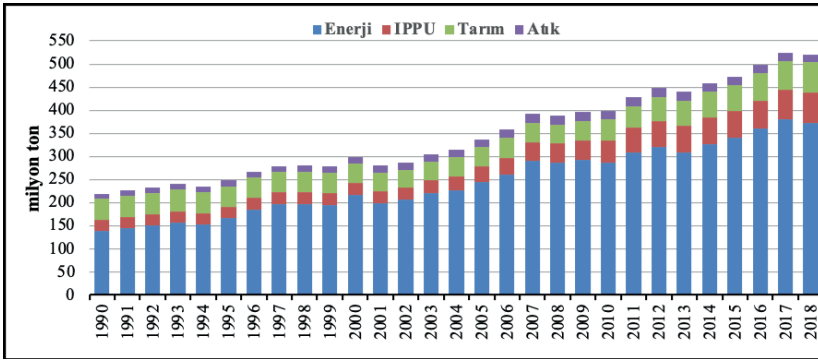
Ortalama koşullarda, uzaya kaçan uzun dalgalı yer ışınımı gelen Güneş ışınımı ile dengede olduğu için, Yerküre/atmosfer birleşik sistemi, sera gazlarının bulunmadığı bir ortamda olabileceğinden daha sıcak olacaktır. Atmosferdeki gazların gelen Güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşı çok daha az geçirgen olması nedeniyle Yerküre'nin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen bu doğal süreç sera etkisi olarak adlandırılmaktadır (Güler, 2020).

Dünyanın enerji dengesindeki değişime küresel ısınma denmektedir. Doğal etmenlerden çok insan faaliyetleri sonucu atmosferdeki miktarları hızla artan sera gazları, küresel ısınma ve buna bağlı olarak da iklim değişikliği problemini önemli hale getirmiştir. Yaklaşık 30 yıl önce, hava kirliliğinden dolayı troposferik ozonun artması ile (NO_x, CO ve diğerleri) bunun önemli bir sera gazı etkisi dönemi olduğu fark edilmiştir. Modern iklim değişikliği, doğal değişkenliğin sınırlarını aşacak kadar büyük olan insan etkileri tarafından kontrol edilmektedir. Özellikle atmosferdeki birikimi ve yaşam süresi dikkate alındığında, bu sera gazları arasında CO₂ öne çıkmaktadır çünkü sera gazları arasında ısıyı en fazla tutma özelliğine sahip olan gaz CO₂'dir (IPCC, 2022).

Sera etkisinin %20'sini meydana getiren diğer bir gaz ise Metandır. Karbondioksit nazaran 20 misli daha ısı tutucu bir rol oynamaktadır. Metan gazı, organik atıkların anaerobik ortamlarda parçalanması sonucu, fosil yakıtların tam olarak yanmaması durumlarında, kömür, doğalgaz ve petrolün üretim ve taşınması sırasında atmosfere salınabilmektedir. Diğer Metan kaynakları ise çöplük, bataklık pirinç tarlası gibi düşük oksijen seviyesine sahip ortamlar ile gübrelerdir. Azot oksitleri içinde en önemlisi diazot monoksittir. Sera etkisinin %15'inin bu gazdan kaynaklandığı düşünülmektedir. N₂O, tarım, enerji, endüstriyel ve atık yönetimi gibi alanlarında, topraktaki ve sudaki biyolojik prosesler ve çeşitli antropojenik faaliyetlerle üretilir (IPCC, 2022).

Diğer taraftan N₂O üreten insan kaynaklı faaliyetler, tarımsal toprak yönetimi, sabit yakma, motorlu taşıtlarda yakma, gübre yönetimi ve nitrik asit üretimidir. Toplam N₂O emisyonları CO₂ emisyonlarından çok daha düşük olmakla birlikte, N₂O, atmosferde oluşabilecek ısınmada CO₂'den yaklaşık 300 kat daha güçlüdür. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), çeşitli sera gazlarının sera etkisi kapasitelerini karşılaştırabilmek amacı ile Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) kavramını geliştirmiştir. Burada referans gaz olarak CO₂ kullanılmaktadır ve GWP ağırlıklı emisyonlar CO₂ eşdeğeri olarak verilmektedir.

Ülkemizde ise TÜİK (2020) verilerine göre 2018 yılında gerçekleşen toplam 521 Metrik ton düzeyindeki sera gazı emisyonu, 1990 yılına göre %138 artış ve 2017 yılına göre %0,5 düşüş gerçekleştiğini işaret etmektedir. 2018 yılında katı yakıtların elektrik üretimindeki payındaki farklılaşma sonucunda emisyonlar, önemli olmayan bir düzeyde azalmıştır. Ayrıca Şekil 1'de görüldüğü üzere 1990 ve 2018 yılları arasında CO₂ emisyonları ile birlikte toplam emisyonlarda da artış eğilimi söz konusuysen, CH₄, N₂O ve Florlu gazların (F-gases) emisyonlarında önemli ölçüde bir değişiklik gözlenmemektedir. Bu durumun yanı sıra 1990 yılı ile karşılaştırıldığında 2018 yılında toplam CO₂ emisyonları %176,7, CH₄ emisyonları %35,8 ve N₂O emisyonları %56,8 düzeyinde artmış göstermiştir. Şekil 3, Türkiye'de sektörlere göre gerçekleşen sera gazı emisyon değerlerini göstermektedir (TÜİK, 2020).



Şekil 3. Türkiye'de sektörlere göre gerçekleşen sera gazı emisyonları (CO₂ eşdeğeri) TÜİK (2020).

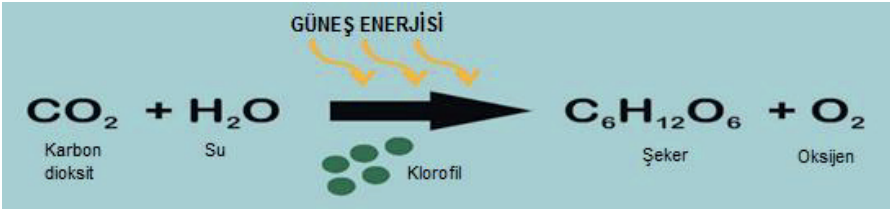
Dünya kadar yenilenebilir enerji yatırımlarının en büyük dejavantajı ilk kurulum maliyetlerinin yüksekliği idi. Fakat son yıllarda maliyetlerdeki düşüş yenilenebilir enerjiden elektrik üretimini fosil kaynaklara göre daha

avantajlı hale getirmiştir. Birde buna çevresel etkiler ilave edildiğinde yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları önümüzdeki yıllarda çok daha önemli ve kullanışlı hale gelecektir. Bu maliyetlerin karşılanmasında finansman ve destekleme mekanizmalarının tercihi önem arz etmektedir. Globalleşen dünyada yenilenebilir enerji kullanım trendi hızlı bir şekilde yükselmeye devam etmektedir. Bu yükseliş trendi özellikle güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyokütle enerjisinde yoğunlaşmıştır.

3. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

3.1. Giriş

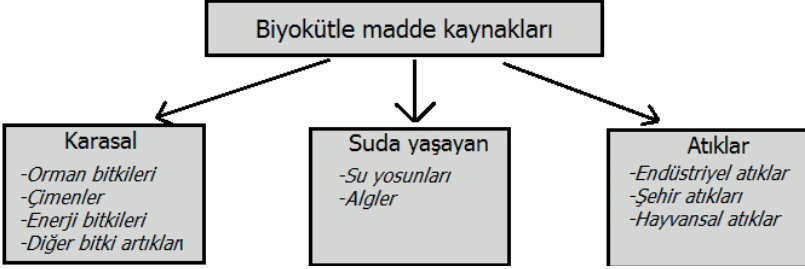
Biyokütle, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemenin genel adıdır. Yüz senelik bir dönemden daha kısa ya da bir insan ömrü süresince kendisini yenileyebilen, içerisinde hidrokarbon barındıran, yetişen bitkiler, tarımsal atıklar, hayvan atıkları, gıda endüstrisi, orman atıkları ve kentsel atıkları içeren tüm organik maddeleri içerir. Güneş ışığı vasıtasıyla fotosentez yapan yeşil bitkilerin ürettikleri kimyasal enerjiyi depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları bitkisel biyokütle olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4'de ürün olarak karbon içerikli şeker oluşumunu veren fotosentez reaksiyonu görülmektedir.



Şekil 4. Şeker oluşumunu gösteren fotosentez reaksiyonu. Bu reaksiyon endotermik (dışarıdan ısı alan) bir reaksiyon olup gerekli enerji güneş tarafından sağlanmaktadır.

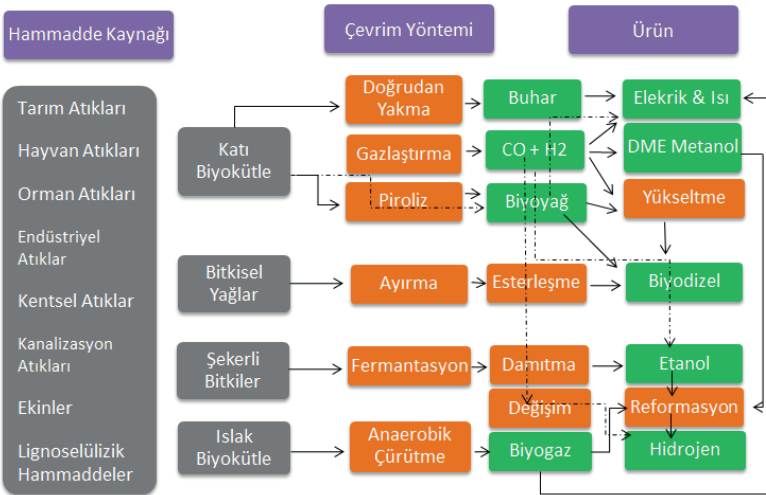
Biyokütle; biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kütesidir. Biyokütlenin kimyasal içeriğinde karbonun yanı sıra hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve daha küçük oranlarda alkali, alkali toprak ve ağır metaller içeren atomlar vardır. Ana bileşenleri, karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biyokütle enerjisi olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle, yüzyıllık dönemden daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan artıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler biyokütle olarak

tanımlanabilir. Biyokütle madde kaynakları çok çeşitli olmakla beraber genel anlamda karasal, su kaynaklı ve atıklar olmak üzere üç farklı kategoride sınıflandırılabilirler. Şekil 5’de biyokütle hammaddelerinin sınıflandırılması gösterilmiştir (Sözen ve diğ., 2017).



Şekil 5. Biyokütle madde kaynaklarının sınıflandırılması.

Biyokütle, gelişmekte olan ülkeler için uygulama alanının geniş olması ve yerel bazlı kaynaklar içerisinde yer almasından ötürü enerji ihtiyacı konusunda dışa bağımlılığı azaltabilecek önemli bir unsurdur. Biyokütle, sadece yenilenebilir enerji kaynağı olması değil, aynı zamanda hammaddenin her yerde yetiştirilebilmesi, çevrenin korunumuna destekte bulunması, sosyo-ekonomik gelişim sağlaması ve özellikle motorlu taşıtlar için yakıt eldesi vermesi nedeniyle de önem arz etmektedir. Biyokütle canlıların yaşamında hayati öneme sahiptir. Şekil 6’da biyokütleden enerji üretiminde alternatif yöntemler gösterilmektedir.



Şekil 6. Biyokütleden enerji üretiminde alternatif yöntemler (Acaroğlu, 2013).

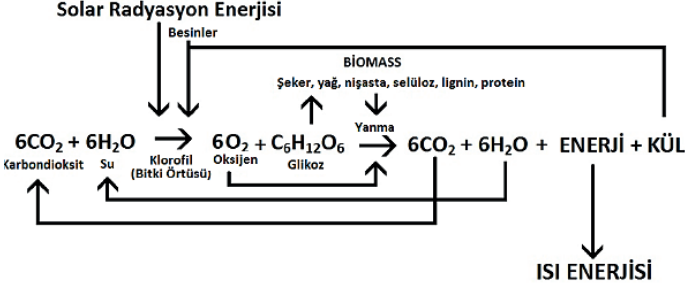
Biyokütle; biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kütesidir. Biyokütlenin kimyasal içeriğinde karbonun yanı sıra hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve daha küçük oranlarda alkali, alkali toprak ve ağır metaller içeren atomlar vardır. Ana bileşenleri, karbonhidrat bileşikler olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biyokütle enerjisi olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle, yüzyıllık dönemden daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan artıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler biyokütle olarak tanımlanabilir. Ayrıca 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'da "Organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat artıkları dahil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen katı, sıvı ve gaz halindeki yakıtlar olarak" da tanımlanmıştır (Tırınk, 2022).

Biyokütle enerjisi güneş ve rüzgâr gibi kesintili değil, sürekli enerji sağlayan tükenmez bir enerji kaynağıdır. Her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyal ve ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağıdır. Biyokütle madde kaynakları çeşitli olmakla beraber genel kapsamda karasal, su kaynaklı ve atıklar olmak üzere üç farklı kategoride sınıflandırılabilirler (Ayan, 2022).

Biyokütle doğrudan yakılarak veya çeşitli süreçlerle yakıt kalitesi artırılıp mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyoyakıtlar (biyodizel, etanol, biyogaz) elde edilerek enerji teknolojisinde değerlendirilmektedir. Biyokütleden elde edilen yakıtlardan en çok kullanılanı biyodizel; kanola, ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların ya da hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol ya da etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilirler. Karıştırma oranı 2005 yılında %2 olarak gerçekleşirken, 2030 yılına kadar %30'a çıkarılması hedeflenmiştir. Ayrıca ülkemizde 16.06.2017 tarihli ve 30098 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğin 5. Maddesinde "Dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolmuş üniteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en az %0,5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biodizel'in harmanlanmış olması zorunludur." ibaresine yer verilmiş olup, söz konusu tebliğ 01.01.2018 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Resmî Gazete, 2017; EPDK, 2018).

3.2. Biyokütle Enerjisi Oluşumu

Bitkiler doğal denge ve ekosistemin yaşamsal döngüsü içerisinde besin, enerji ve endüstriyel hammadde kaynağıdır. Yeşil bitkiler her daim bir enerji kaynağıdır.



Şekil 7. Yarı açık bir ekosistemde biyokütle den enerji üretimi (TOB, 2021).

Yeşil bitkiler ekosistemdeki yaşamsal döngünün sağlanması, her daim besin, endüstriyel hammadde ve enerji kaynağı olarak kullanılması Şekil 7'de görüldüğü gibi güneş yardımı ile ışık enerjisinin kimyasal enerjiye veya organik maddeye dönüşümü ile gerçekleştirilmektedir. Bu dönüşüm sırasında gerçekleşen tepkime ise fotosentez tepkimesidir. Fotosentez tepkimesi ile oluşan organik yapıları moleküller üretilirken, solunum için zorunluluk durumundaki O₂ atmosfere salınır. Biyokütle enerji kaynağı materyallerin büyümesi ve gelişimini sürdürebilmesi için ışık miktarı ve klorofil katalizörü başta olmak üzere birçok parametre önemli etki göstermektedir. Güneş ışığının biyoenerji kaynağı materyal tarafından tutulma miktarı maksimum %1 düzeyinde olduğu öngörülmektedir (Ayan, 2022). Biyokütle, organik madde yapıları tanecikleri kapsayan bir terim olarak kullanılır. Biyokütle tanımı ormansal atıklar, tarımsal atıklar, kentsel atıklar, endüstriyel atıklar, su içinde veya toprakta yetişen bütün bitkiler, enerji ormanları ve enerji bitkiler vb. organik yapıları maddeler ve atıklar bu tanımlamanın içerisinde yer alır. Biyokütle enerji kaynağı envanter ve atıkların hepsinin ortak özelliği yüz seneden daha az bir zaman diliminde tekrardan yenilenebilir olmasıdır. 150 yıl öncesine kadar en önemli biyokütle enerjisi kaynağı odun olmuştur. 19. yy. da biyokütle enerjisinden yararlanma sadece odun, çalı-çırpı yakılması ile sınırlanmaktaydı. Sanayi devrimi ile 20. yy. ortalarında biyokütle enerji kaynağı olarak odunun yanında şeker pancarı, mısır başta olmak üzere birçok tarımsal ürünlerden de yararlanılmıştır. Günümüzde ise biyokütle enerji kaynakları elektrik, yakıt ve ısınma ihtiyacının karşılanması noktasında gerekli

modern dönüşüm teknolojilerinde gerçekleşen çevirim teknikleri yardımı ile gerçekleştirilmektedir (Toklu, 2017; Kandemir ve Sarptaş, 2022).

3.3. Biyokütle Enerji Kaynakları

Biyokütle, bir canlı türüne ait veya ayrışık canlı türlerinden meydana gelen bir topluma mensup hayatını devam ettiren organizmaların muayyen bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak ifade edilir (ETKB, 2022). Biyokütle enerjisini oluşturan organik etmenler bitkisel ve hayvansal kökenli moleküllerden oluşan etmenlerdir. Bu biyokütle enerjisini oluşturan materyaller ormanlardaki ağaçlar, zirai, kentsel ve endüstriyel kökenli atıklar başta olmak üzere birçok bitkisel ve hayvansal kökenli organik yapıllı bileşiklerden biyokütle enerjisi üretilmektedir (Toklu, 2017; Yıldırım ve Koçer, 2022).

Literatürde yapılan bütün tanımlamalara bakıldığında bitkilerin fotosentez yapması neticesinde dolaylı veya doğrudan oluşan organik karbon yapısına sahip özlerin olduğu ifade edilebilir. Bitkisel ve hayvansal materyaller doğrudan oluşan biyokütle enerji kaynağı olarak örnek gösterilebilir. Biyokütle enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları arasında dünyada her noktada bulunabilen çok geniş bir yayılış alanı olan enerji kaynaklarıdır.

Biyokütle enerjisinin en küçük ve basit metotlarla kullanımını yemek pişirmek, evlerin sıcak su ihtiyacını karşılamak hedefiyle yakılan ateşlerdir. Ortaya çıkan klasik teknoloji yapıllı biyokütle enerjisini daha etkin ve verimli bir biçimde kullanabilmek için çevirim ve dönüşüm teknolojileri bulunmaktadır. Bu modern dönüşüm ve çevirim teknolojilerinin etkin ve verimli kullanılması sonucunda hem daha fazla enerji üretimi hem de havaya bırakılacak sera gazları miktarında önemli ölçüde bir azalış ön görülmektedir (Rosillo-Calle et al., 2007).

3.3.1. Bitkisel Kökenli Biyokütle Enerji Kaynaklar

Bitkisel kökenli biyokütle enerji kaynağı materyalleri şu şekildedir;

- Yağ değeri yüksek tohumlu bitkiler (ayçiçeği, çığıt, soya, yarfıstığı, v.b.)
- Şeker değeri yüksek ve nişasta bazlı bitkiler (bakla, piriç, şeker pancarı patates mercimek v.b.)
- Lif değeri oldukça yüksek elyaf bitkileri (pamuk, keten, kenevir, jüt, rami Hindistan cevizi v.b.)
- Biyokütle enerji kaynağı protein bitkileri (karabuğday bezelye, mercimek, kinoa v.b.)

- Bitkisel kökenli ve tarımsal biyokütle enerji potansiyeli yüksek atıklardır (saman, gübre, yaprak, ot vb.).

3.3.2. Orman Biyokütle Kaynakları

Odun ve odun dışı orman ürünlerinden elde edilen kaynaklardır. Bu kaynaklar ağaç ve ormanda yapılan silvikültürel işlemler sonucu ortaya çıkan atıklardır (biyokütle enerji potansiyeli yüksek ağaçlar, biyokütle enerjisi yüksek özellikle oluşturulan ormanlar ve enerji bitkileri).

3.3.3. Hayvansal Biyokütle Enerji Kaynakları

Hayvansal kökenli biyokütle enerji kaynağı sağlayan materyaller elektrik ve ısı ihtiyacını karşılanması noktasında oldukça önemli yer tutmaktadır. Büyükbaş hayvan dışkıları, küçükbaş hayvan dışkıları ve kümes hayvanlarının dışkıları, mezbahane atıkları vb. atıklar hayvansal kökenli biyokütle enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (EİGM, 2022).

3.3.4. Atıklardan Elde Edilen Biyokütle Enerji Kaynakları

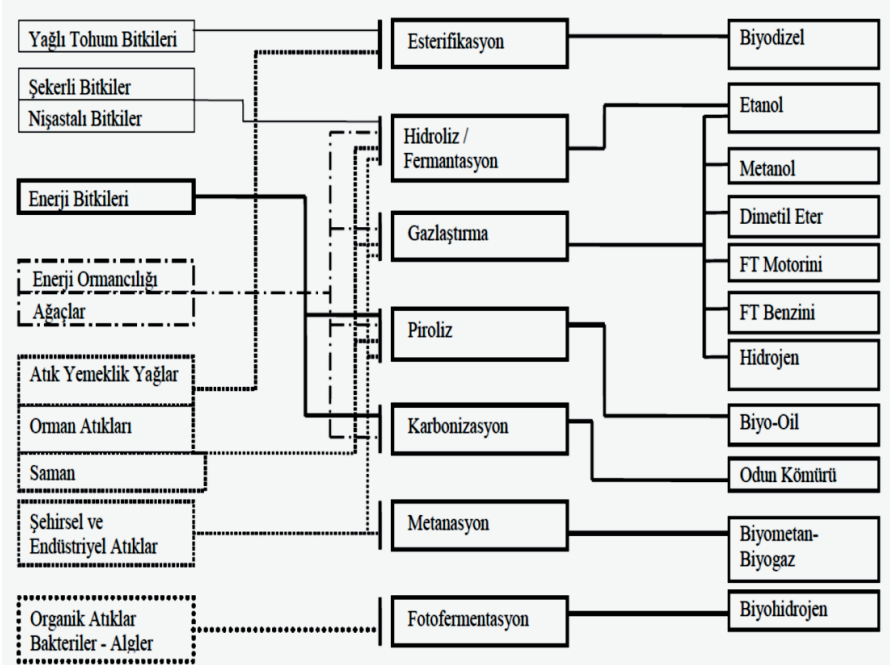
Plastikler, karışık kağıt, mukavva kanalizasyon atıkları, dip çamurları, sanayi ve gıda sanayi atıkları, makinelerden arta kalan yağlar, cüruf ve maden atıkları, belediyeye ait tesislerin atıkları ve büyük ölçekli sanayi tesislerine ait atıklar örnek olarak gösterilebilmektedir (EİGM, 2022).

3.4. Biyokütle Enerji Teknolojileri

Elektrik, ısı ve yakıt üretimi amaçlı kullanılan biyokütle, kullanım yeri ve misyonuna göre, klasik ve modern biyokütle olarak ikiye ayrılır. Klasik biyokütle, yemek pişirmek, evlerin sıcak su ihtiyacını karşılamak gibi insanın temel ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde çok daha yaygın biyokütle enerjisi üretim yöntemidir. Modern biyokütle enerjisi gerekli dönüşüm ve çevirim teknolojileri ile daha büyük ölçekte kullanılan, ortaya çıkan enerjiyi daha etkin ve verimli kullanılmasını sağlayan biyokütle enerji üretim yöntemleridir (Ayan, 2022). Bunlar orman atıkları, tarımsal atıklar, şehirsal atıklar, enerji bitkileri, endüstriyel atıklar ve biyogaz gibi biyoyakıtları kapsar. Ayrıca son zamanlarda trend olan modern biyokütle enerjisi üretim kaynaklarından birisi de uygulamalarda, odun ve atıkların yanı sıra “enerji bitkileri” olarak adlandırılan enerji üretimi misyonuyla hasat edilen bitkileri de kapsamaktadır (Karayılanlar ve diğ. 2011; Basu, 2011; Acaroğlu, 2013).

Geleneksel olarak biyoenerjiden faydalanma neredeyse insanlık tarihinin başlangıcı olarak kabul edilen çağlara kadar gitmektedir. İnsanlığın ateşi

bulduğu süreçten sonra ısınmak ve yemek pişirmek için biyokütle enerjisi kaynağı olan odunu kullanmışlardır. Modern biyoenerji üretimi anlamında Pers İmparatorluğunun ve Asurluların yıkanma yerlerinin ısıtılmasında biyogaz biçiminde biyokütle enerjisinden faydalandığı bilinmektedir (Akavo, 2008). Büyük Britanya’da 1800’lü yıllarda lağım gazlarının cadde ve sokakların ışıklandırılmasında değerlendirildiği belirtilmektedir (Basu, 2011).



Şekil 8. Biyokütle Dönüşüm Teknolojileri (İllez, 2020).

Biyoenerji kaynakları, biyokütle enerjisi çevirim ve dönüşüm prosesleri ve son ürün olarak elde edilen biyoyakıtlar yukarıdaki Şekil 8’de detaylı olarak belirtilmiştir. Modern dönem biyoyakıt teknolojileri ile üretilip kullanıma hazır hale getirilen bu yakıtlar arasında en geniş kapsama sahip ve ticari olanlar; biyodizel, biyogaz, bioetanol ve odun hammaddesi kaynaklı kömürdür. Şekil 8’de görüldüğü gibi atık yağ oranı yüksek yemelik yağlardan ve soya, ayçiçeği, çığıt gibi yağ oranı yüksek tohumlu bitkilerden esterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmektedir. Glikoz oranı yüksek bitkiler, kentsel ve endüstriyel atıklar, orman atıkları, saman, enerji bitkileri, niştasta içeriği yüksek bitkiler, enerji ormanlığı vb. biyokütle enerjisi kaynaklardan fermantasyon veya hidroliz ile bioetanol üretilmektedir. Kentsel atıklar ve endüstriyel

atıklardan ekzotermik bir reaksiyon olan metanlaştırma ile biyometan ve biyogaz üretilmektedir. Biyokütle enerji kaynağı olarak yetiştirilen enerji bitkileri kuvvetli asit çözeltilisinden geçirilip ısının etkisini kullanarak yakma yani karbonizasyon yöntemi ile odun kömürü elde edilmektedir. Algler, biyobozunur atıklar ve bakterilerin biyohidrojen üretimi için kullanılan fotofermantasyon ile biyolojik kökenli yakıtlar elde edilebilmektedir.

Birbirinden farklı biyoenerji kaynaklarının rutubet, kül ve göreceği ısı işlem değerlerinin farklılık göstermesi, biyokütlenin enerjiye çevirim ve dönüşüm proseslerinde zamansal kayıplar başta olmak üzere birçok problem ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Biyoenerjinin çevirim ve dönüşümünde fiziki olarak ortaya konulan fırına sürme, fiziki form küçültme, yoğunlaştırma ve kurutma vb. işlemlerin, termokimyasal reaktör ve dönüşüm veya biyoürün oluşumu için mikrobiyal çevirim prosesleri öncesinde gerçekleştirilmesi gerçekleşen dönüşüm işlemlerinin uygulanabilirliğini kolaylaştırmaktadır (Karaca, 2009; Avcıoğlu, 2011).

Biyoenerjiden elde edilecek enerjinin niceliğini çoğaltmak için biyokütle kaynağından nemi büyük ölçüde kaldırma yani kurutma işlemine bazı durumlarda ihtiyaç duyulabilmektedir. Biyokütleden nemi büyük ölçüde kaldırma işlemi bulutsuz bir günde güneş ışıklarının desteği ile düşük maliyetlerle yapılabileceği gibi; çok yüksek ısıya sahip fırınlar ile endüstriyel kurutma proseslerinde çok kısa zaman diliminde, daha etkin ve verimli bir biçimde de yapılabilmektedir (Kaputhan, 2014; Demir, 2017; Ayan, 2022).

Biyoenerjinin yakıt formu olarak değerlendirilmesinde, pelet ve briketlerin üretilmesinde fiziki olarak form küçültme hemen hemen her zaman gereksinim duyulan bir metottur. Biyokütle enerji kaynaklarının boyutlarının küçültülmesinin depolama boyutu ve taşıma maliyetlerinin azaltılmasına da olumlu etkisi bulunmaktadır (Işık ve Yavuz, 2022).

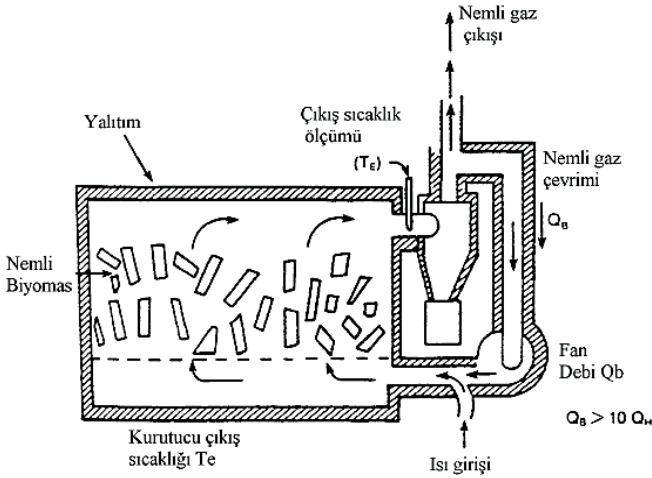
3.4.1 Biyokütle Dönüşüm İşlemleri ve Teknolojileri

Biyokütle yeryüzünde bulunan en yaygın yenilenebilir enerji kaynağıdır. Modern çevirim ve dönüşüm teknolojileri ile biyokütle ısı, elektrik ve yakıt ihtiyacını karşılama noktasında daha etkin ve verimli olarak kullanılabilir. Günümüzde biyokütle dönüşüm işlemleri ve teknolojileri ile modern biyokütle enerji üretimi anlayışına katkı sunmaktadır. Bu prosesler fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler ve biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşmaktadır (Ayan, 2022).

3.4.1.1. Fiziksel Prosesler

Bu prosesler öğütme, kurutma, pelletleme ve biriktleme işlemlerini kapsamaktadır.

1. Kurutma: Kurutmanın temel hedefi, biyoenerji kaynağının çürümeden veya enerji değerini kaybetmeden uzunca bir zaman dilimince saklanabilir ve depolanabilir olmasına imkan sağlamaktır. Biyokütle enerji kaynağını kurutma işlemi; sıcak hava ile kurutma, güneşte ışınları ile belirli bir zaman diliminde biyokütle enerji kaynağının kurumasını bekleme ve vakum ile kurutma gibi fiziksel bir proses olarak da uygulanabilir. Endüstriyel fırın, mikrodalga, rotari kurutma gibi modern teknolojiler ile biyokütle enerji kaynağının fiziksel olarak nemini alarak yapılan kurutma metotları da vardır (Üçgül & Akgül, 2010).

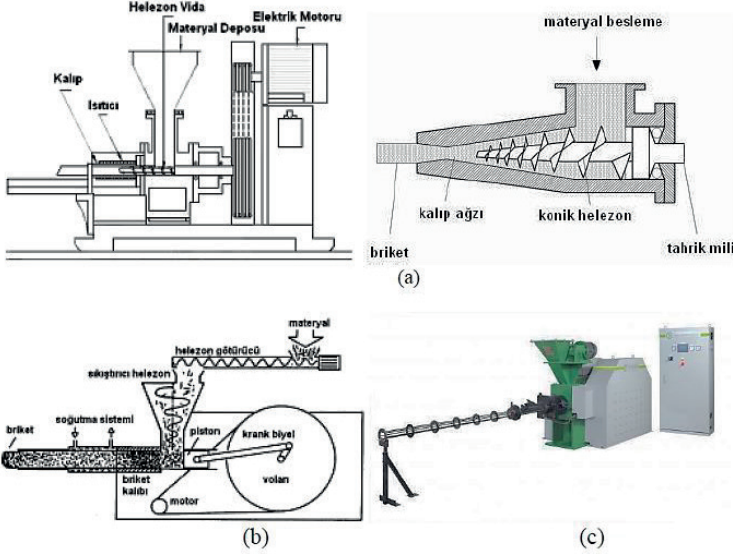


Şekil 9. Biyokütle Kurutma Sistemi (MMO, 1999).

Odunun gazlaştırıcı sistemde kullanılabilmesi için odun içindeki nem miktarının ayarlanması gerekir. Bu da ancak kurutma işlemi ile gerçekleşir. Enerji yoğunluğunu birim hacim başına artırmak için biriktleme işlemi yapılır. Böylece daha kolay taşıma ve stoklama sağlanır. Şekil 9'da basit bir biyokütle kurutma sistemi verilmiştir. Burada kapalı bir hacimde bulunan biyokütle parçalarının üzerine sıcak hava gönderilerek biyokütlenin kurutulması sağlanmaktadır (OGM, 2020).

2. Öğütme: Kuru biyoenerji kaynağının tanecik boyutu, kullanıldığı proses öncesinde amaçlanan şekil ve boyuta getirilene kadar miller, bıçaklar, bilyeler vb. yöntemlerle kırılarak prosese hazır hale getirilme işlemidir.

3. Pelletleme ve Biriketleme: Pellet, ormansal biyokütle enerji kaynağı olan odun artıklarının içindeki nem miktarının klasik veya modern biyokütle enerjisi yöntemleri ile talaş halini alıncaya kadar kırılıp yüksek basınçla sıkıştırılması ile oluşturulan maddedir. Boyutları 6-10 mm arasında bir çapa sahiptir. Briket ise yine aynı uygulamalarla oluşturulan pelletten çok daha büyük boyutlarda çapa sahip maddelerdir. Boyutları 5-20 cm arasındadır. Tarım ve orman artıklarının heterojen olmaları ve boyutları itibari ile çok fazla yer kaplamaları sebebiyle doğrudan yakıt ihtiyacının karşılanması şeklinde değerlendirilmesi oldukça zordur. Bu sorun, bu tür biyoenerji kaynaklarının boyutlarının küçültülüp ve sistematik bir biçimde madde yoğunluğunun fazlalaştırılmasıyla çözülebilir. Bir başka ifade ile biriket veya pellet uygun boyut değerlerine getirilmesiyle biyokütle enerji kaynağı olarak etkin ve verimli bir biçimde kullanılmış olabilmektedir. Tarım ve orman artıklarının istenen biriket veya pellet boyutlarına piston yardımı ile yüksek basınç altında presslenmesi, bu fiziksel prosesin temel ilkesini oluşturmaktadır. Odun pelletleri direkt olarak yüksek basınca maruz bırakılarak meydana getirilir. Bu işlem sırasında kimyasal bağlayıcı kullanılmaz. Biyoenerji kaynağı içerisinde bulunan başta reçine olmak üzere kendiliğinden bulunan moleküller bağlayıcı işlevi de görmektedir. Pellet veya biriket haline dönüştürülmüş tarım ve orman artıklarından yakılarak ısınma amaçlı da faydalanılabilmektedir (Üçgül & Akgül, 2010). Yakacak oduna kıyasla odun briketi eşit ağırlıkta olacak şekilde yakıldığında çevreye daha fazla ısı veren bir kaynak oluşturmaktadır. Aynı zamanda yakacak çevreyi daha az kirletir ve daha uzun zaman dilimi boyunca yanar (Ayan, 2022).



Şekil 10. Helezon (a) Ve Piston Presli (b) Ve Hidrolik (c) Biriketleme Makinası (TOB, 2021).

Şekil 10'da farklı tipteki biriketleme işlemi yapan teknolojik makinalar görülmektedir. Briketleme fiziki prosesi ile; biyoenerji kaynağının karakteristik özelliklerinde olumlu yönde değişim, boyutsal ısı değerinde artış, transport ücretlerinde düşüş, saklama maliyetlerinde azalma, boyutsal olarak küçüldüğünden dolayı sobalarda rahatlıkla yakılabilme olmak üzere birçok avantaja sahiptir (Ayan, 2022). Yeryüzüne yayılan tanecik emisyonları azalmakta ve aynı zamanda hacimsel formu itibari ile yakıt elde edilmektedir. Yaşadığımız zaman diliminde biyoenerji kaynaklarının briketlenmesi amacıyla helezon tipi biriketleme, piston tipi biriketleme ve hidrolik tip biriketleme teknolojileri kullanılmaktadır (Ayan, 2022).



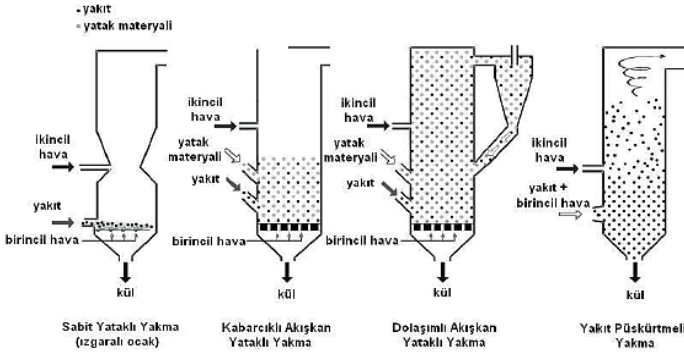
Şekil 11. Diş Kalıplı (a) Ve Çember Kalıplı (b) Pelletleme Teknolojisi (TOB, 2021).

Modern pelletleme teknolojileri olarak düz ve çember biçimli basınçlı pelletleme teknolojisi kullanılmaktadır (Şekil 11). Düz biçimli basınçlı pelletleme teknolojisinde disk üzerinde arka arkaya birden çok sıkıştırma silindiri bulunmaktadır. Bu sıkıştırma silindirleri 2 m/s ile 3 m/s hızında dönme hızına sahiptir. Diskler sayesinde biyokütle enerji materyali deliklerinde sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan biyoenerji kaynağı istenen pelletleme boyutunun şeklini almaktadır. Çember biçimli pelletleme teknolojisinde delikli çemberin çevresinde iki veya üç tane sıkıştırma silindiri mevcuttur. Bu silindirler devamlı hareket halinde olup biyokütle enerji materyallerini istenen kalıpta sıkıştırarak elde etmiş olur (Ayan, 2022).

3.4.1.2. Termokimyasal Prosesler

Termokimyasal proseslerin başlıcaları yakma, piroliz (ön ısıtma, yavaş piroliz ve hızlı piroliz) ve gazlaştırma ve hidrotermal proseslerden oluşmaktadır.

1. Yakma: Biyoenerji kaynağından enerji üretmek amacıyla kullanılan en eski çevirim metodudur. Teknolojinin gelişmesi ile enerji üretmek amacıyla en eski termokimyasal proses olan yakma ısı, yakıt ve elektrik üretiminde kullanılması için uygulanan dönüşüm teknolojisidir. Termokimyasal dönüşüm teknolojisi olan yakma işlemi yüksek ısıl randıman sağlama ve etkin ve randımanlı bir yanma ile ısının geri kazandırılması başta olmak üzere birçok avantaja sahiptir. Modern yakma teknolojileri sadece ağaç kabukları gibi ormansal ve tarımsal katı biyoenerji kaynaklarının yakmanın ötesinde, kentsel atıkların ve endüstriyel atıkların yakılabileceği yönünde geliştirilmiştir (Tırınk, 2022). Orman kaynaklı biyokütle enerji kaynakları, termokimyasal yakma işlemi sonucunda ortaya çıkan enerji miktarı ile petrol ve kömüre oranla daha düşüktür. Bundan dolayı ormansal biyoenerji kaynakları diğer yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları ile karıştırılarak da yakılabilmektedir. Orman kaynaklı biyokütle enerji kaynakları kömür, tarımsal ve kentsel atıklar başta olmak üzere karıştırılıp yakılarak istenen enerji değerini elde etmesi amaçlanmaktadır. Orman kaynaklarının diğer enerji kaynakları ile beraber yakma proseslerinin en temel amacı yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının oluşturduğu başta NO_x, SO_x ve CO₂ gazlarının atmosfere salınımlarını azaltmaktır (Kandemir ve diğ., 2022).



Şekil 12. Biyokütle Enerjisi Yakma Teknolojileri (Karaca, 2009).

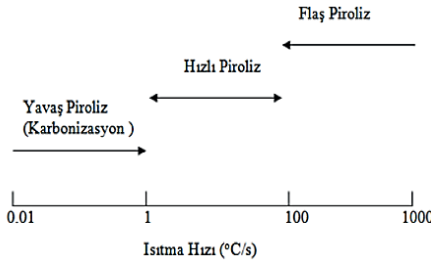
Sabit yataklı yakma, kabarcıklı akışkan yataklı yakma, dolaşımli akışkan yataklı yakma ve yakıt püskürtmeli yakma prosesleri Şekil 12’de detaylı olarak gösterilmiştir. Sabit yataklı yakma teknolojileri ızgaralı ocaklar ve alttan yakıt beslemeli proseslerdir. Sabit bir yatak boşluğundan birincil hava akışı sağlanmaktadır. Bu yatakta yanma, biyokütle enerji kaynağının nemini alma, ve gazlaştırma işlemleri gerçekleşmektedir. Gerçekleştirilen işlemde sonra yanma karakteristik özelliği yüksek olan gazlar sekonder hava ilave edilmesi sürecinin ardından yanma işlemi gerçekleşmiş olur. Akışkan yatak yakma termokimyasal biyokütle enerjisi teknolojilerinde biyoenerji kaynağının yakıtı, gazın kendi bileşiminin içinde ve yanma gazının dip kısımdan prosese giren katı biyokütle enerji materyali içinde yanar. Sıvılaştırma hızına göre, dolaşımli akışkan yataklı termokimyasal biyokütle enerji teknolojisi veya kabarcıklı akışkan yataklı termokimyasal biyokütle enerji teknolojisi yakma teknolojisi uygulanmaktadır. Boyutu 2 mm’den ufak tanecikler için yakıt püskürtmeli yakma biyokütle termokimyasal enerji teknolojisi kullanılır. Yakıt bileşimi yanma odasına aktarılır. Bununla birlikte primer yanma havası da yanma odasına aktarılır. Daha sonrasında sekonder havanın ortama girişi ile yanma işlemi gerçekleşir (Karaca, 2009). Biyokütle termokimyasal yakma işleminin ardında kalan katı atıklar yüksek sıcaklık altında eritilip bertaraf edilebilir. Yine yakma işleminin ardında kalan atıklar çimento kullanarak, çeşitli kimyasal maddeler kullanarak bertaraf edilebilir.

2. Piroliz: Piroliz (Pyrolysis) sözcüğü etimolojik olarak yunanca bir sözcük olup pyr sözcük karşılığı olarak ateş; olysis sözcüğü meydana gelmek anlamını taşımaktadır. Piroliz, biyoenerji kaynaklarının anaerobik ortamda organik moleküllerin ayrışıp gaz haline dönüştürme işlemidir. Organik maddeler anaerobik ortam koşullarında 600 °C’a kadar yapılan termal ısıtmada; odun kömürü, gaz partikülleri ve kül gibi maddeler açığa çıkar.



Şekil 13. Piroliz Reaktörü Ve Kurutucu Ünite (Üçgül & Akgül, 2010).

Piroliz prosesinin gerçekleştirildiği piroliz çevirim ünitesi reaktör ve kurutma ünitesinin tam donanımlı bir şekilde görünüşü Şekil 13’de verilmiştir. Odun kömürü üretimi dünya üzerinde en çok bilinen piroliz işlemidir. Piroliz işleminin neticesinde katı, sıvı ve gaz halinde maddeler elde edilir. Dünya üzerinde günümüzde piroliz işlemi ile biyoenerji kaynağı organik maddeler sıvılaştırılarak biyolojik kökenli yağlara dönüştürülmektedir. Yakıt türü, reaksiyonun gerçekleşme zaman dilimi, sıcaklık, press, ısıtma hızı, vb. parametrelerin bir araya gelmesiyle meydana gelen ürünün niceliği ve çeşidi de etkilemektedir. Piroliz termokimyasal prosesi sonucunda meydana gelen ürünün randımanı ve kompozisyonu; sıcaklık tolerans değerleri, piroliz reaktöründe geçirilen zaman dilimi, tanecik fiziksel formu, maruz kaldığı basınç gibi parametrelere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Piroliz reaktöründe düşük ısıtma hızında meydana gelen çar miktarı fazlalır. Bu proses yavaş piroliz olarak isimlendirilir. Piroliz reaktöründe ise sıvı ürün meydana gelmesi ve miktarının fazlalaşması yüksek ısıtma hızı ile doğru orantılıdır (Ulu, 2011).



Şekil 14. Isıtma Hızına Dayalı Piroliz Çeşitleri (Ayan, 2022).

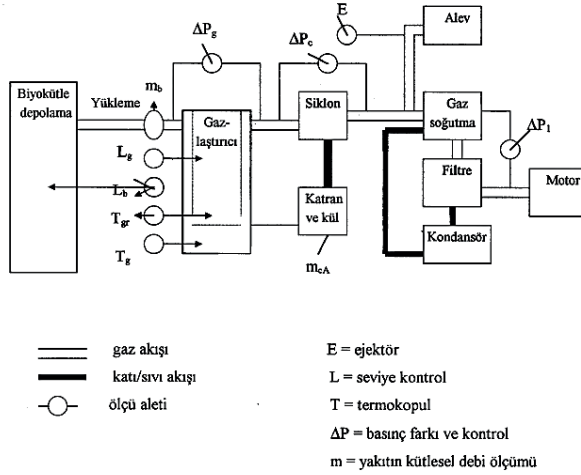
Şekil 14’de organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtma hızına bağlı olarak gerçekleştirilen karbonizasyon, hızlı piroliz ve flaş piroliz çeşitleri

gösterilmektedir. Odun kömürü ve turba başta olmak üzere organik yapılı maddeler anaerobik koşullar altında ve termokimyasal biyokütle sabit yatak reaktörlerinde, 300 °C düzeyindeki ortam şartlarında, uzun ısıtma süresi boyunca yavaş piroliz yöntemiyle katı ve sıvı maddelere çevirimi gerçekleşmektedir. Akışkan yatak reaktörlerde hızlı piroliz yöntemi ile biyoenerji kaynağı, yüksek sıcaklıklarda çok hızlı bir biçimde maddenin gaz haline getirilmektedir. Meydana gelen gaz, akışkan yatak reaktörünün reaksiyon sistemi yardımı ile uzaklaştırılır. Daha sonrasında akışkan yatak reaktöründe oluşan gaz soğutulur. Isısı düşen gaz yoğunlaşarak yoğunluğu akışkan olmayan bir sıvı oluşturur. Bu sıvı, aldehydler, fenol, halojen ve halojenli bileşikler vb. yapıdaki maddelerce oldukça zengindir.

3. Gazlaştırma ve Hidrotermal Prosesler: Gazlaştırma çok eski dönemlerden beri kullanılan bir teknolojidir. Gazlaştırma tekniğinin biyoenerji kaynakları üzerinde uygulanması, klasik biyokütle enerjisi üretim yöntemlerine göre daha az doğaya zararlı, daha temiz ve farklı amaçlar için kullanılabilen gaz üretimi olduğu için günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Biyoenerji kaynağının termokimyasal olarak gazlaştırılması, ıslak (gübre, meyve sanayi atıkları vb.) ve kuru (nemli olmayan kütük, ağaç kabukları) biyoenerji kaynağı için uygulanan bir işlemdir. Organik madde 800–900 °C tolerans değerindeki sıcaklıklarda gerçekleşen yüksek sıcaklıktaki bölümsel yükseltgenme tepkimesi ile yanıp maddenin gaz formuna dönmesi sağlanmaktadır. Kuru olmayan biyoenerji kaynağı en az 220 atm basınçta ve en az 300°C sıcaklıkta termokimyasal işleme tabii tutulursa gazlaşma işlemi gerçekleşmiş olur (Üçgül & Akgül, 2010). Bu yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen kısmi oksidasyon tepkimesi sonucu büyük miktarda CO ve H₂ elde edilirken, kısmi düzeyde CH₄, CO₂ ve su buharı elde edilmektedir. Bununla birlikte hızlı piroliz termokimyasal prosesi ile üretilen kömür, gazlaştırma tekniği kullanılarak da maddenin gaz haline dönüştürülebilmektedir (Kalaycı, 2011). Böylece başta ıslak ve kuru biyoenerji kaynakları da maddenin gaz haline dönüştürülerek enerji kaynağı olarak kullanımına olanak sağlamaktadır (Ayan, 2022).

Biyokütle termokimyasal prosesinin gazlaştırma işlemini gerçekleştiren bileşenler; biyoenerji kaynağının uygun ortamda saklanması, biyokütle enerji kaynağının neminin alınması, biyoenerji kaynağının gazlaştırma işleminin yapıldığı ortama aktarılması, katran ve külün gazlaştırma işleminin yapıldığı mekanizmadan alınması, gazın prodesten alınması, gazın temizlenmesi, gazın yakılması, yakıtın kütle debi miktarının değeri, basınç farkı ve kontrol ünitesi Şekil 15’de verilmiştir ve aynı zamanda komple gazlaştırıcı özelliği de taşımaktadır. Zaman zaman gaz kaçakları ve sıvı sızıntıları sebebiyle biyoenerji kaynağı materyalinin gazlaştırma işleminin yapılacağı üniteye

aktarılması esnasında sorunlar oluşabilmektedir. Sanayi atıkları ve tarımsal katı yakıtların gazlaştırma işleminin yapılacağı prosese aktarımı için titreştirici, biyokütle enerji kaynaklarını birleştirici, taraklı ve dişli mekanizmalar tercih edilir. Biyoenerji kaynağı materyalin standart atmosfer basıncı koşullarında bekletilmesi ve kapalı depolarda korunması gerekmektedir. Biyokütle enerji kaynağı materyali her türlü dış faktör ve yağıştan korunması sağlanmalıdır (Basu, 2011).



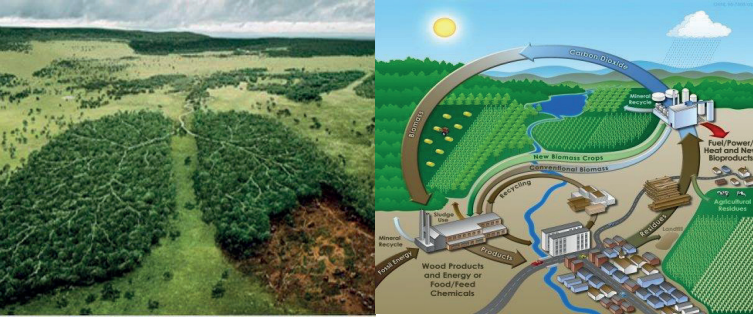
Şekil 15. Gazlaştırıcı Sistem Ünitesinin Şematik Görünüşü (MMO, 1999).

Diğer taraftan, gücü 10 kW'dan küçük gazlaştırıcı reaktörlerde yakıtın aktarılması el ile transfer edilebilir. Otomatik aktarılma tekniği küçük ölçekli sistemlerde uygulanmaz. Daha büyük gazlaştırma teknolojilerinde biyokütle düzensiz bir aktarımla yüklemeye hunisinden aşağı yavaşça ilerler. Biyoenerji kaynağı organik madde yakıtı bitişik veya dikey olarak bir kayış veya dişli taşıma düzeneği ile hareket ettirilebilir. Gazlaştırma işlemi hava ile gazlaştırma, oksijen ile gazlaştırma, buhar ile gazlaştırma başta olmak üzere birçok farklı teknikte kullanılmaktadır. Hava ile gazlaştırma maliyet açısından uygun ve aynı zamanda en yaygın yöntemdir. Oksijen üretmek zorunda kalmadığı için çok yüksek çevirim verimi imkanı sunmaktadır. Reaktör tepkimesi sonucunda 4–6 MJ/Nm³ ısıl değere sahip ürünler ortaya çıkmaktadır (Basu, 2011). Oksijen ile gazlaştırma hava ile gazlaştırmaya göre daha kaliteli gaz üretimi gerçekleştirmektedir. Reaktör sıcaklığında 1000–1400 °C sıcaklığı arasında olup ısıl değeri 10–15 MJ/Nm³ değerleri arasındadır. Pahalıdır ve güvenlik açısından büyük sorunlara da sebebiyet verebilmektedir. Buhar ile gazlaştırma işleminde ise H₂, CH₄ ve kömür

başta olmak üzere reaktörden ürünler elde edilebilmektedir. Dezavantajı ise zehirlenme vakalarının yaşanmasıdır. Buharla gazlaştırmada temel hedef hidrojen elde etmektir (Ayan, 2022).

4. ORMANLARIN SERA GAZI AZALTIMINDAKİ ROLÜ

Yapılan bilimsel çalışmalara göre dünyadaki ormanlar tüm CO₂ emisyonlarının %30'unu emmektedir. Ormansızlaşma, bu doğal karbon yutağını aşındırır ve ormanlarda depolanan karbon, ağaçlar öldüğünde salındığı için emisyonların artmasına neden olur. 2019-20 yılları arasında tropik orman kaybı, 570 milyon arabanın yıllık emisyonlarına eşdeğer 2,6 milyar metrik ton CO₂ yaydı. Küresel Orman Finansmanı Taahhüdü, 12 ülkenin ormanları korumak ve restore etmek için 2021 – 2025 yılları arasında 12 milyar dolarlık kamu fonu oluşturma taahhüdünü içeriyor. Buna ek olarak, 7,2 milyar dolarlık özel sektör yatırımı harekete geçirilecek. Finansman taahhüdü veren 12 ülke; Birleşik Krallık, Norveç, Kore Cumhuriyeti, Hollanda, Belçika, Danimarka, Japonya, Fransa, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, AB ve Almanya'dan oluşuyor. Şekil 7 de ormanlar insan akciğerine benzetilmiştir.



Şekil 16. Bir ülkenin orman kaynağı demek onun akciğerleri demektir.

Ormanlar üzerinde radikal önlemler alınmadan küresel ısınma artışını 1,5°C'nin altında tutulması mümkün değil. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'ye göre, bu yüzyılda ısınmayı 2°C ile sınırlamaya yönelik tüm senaryolar, ormansızlaşma ve orman bozulmasının azaltılmasına dayanıyor. Ayrıca, mevcut ormanları korumanın, küresel iklimi stabilize etmenin yeni ağaçlar dikmekten daha hızlı, daha iyi ve daha ucuz bir yol olduğunu ortaya koyuyor. Ormanlar aynı zamanda yerel ve bölgesel hava düzenlerini düzenleyerek iklim değişikliğine karşı bir tampon görevi görüyor. Dünyanın en yoksul kesimlerinin %90'ından fazlası geçimlerini ormanlardan sağlıyor (IPCC, 2022).

Orman Mutabakatı, ormansızlaşmayı durdurmak üzere önemli bir küresel çabayı temsil ediyor. Bu anlaşma, ormanlarımızı korumaya yönelik önemli ilk adım niteliği taşıyor ve ormansızlaşmadan arındırılmış temin zincirlerinin günümüzde norm haline gelmesi gerekliliğine işaret ediyor. Uluslararası camia, uzun vadeli çözümler geliştirirken, orman ekosistemleri içerisinde ve çevresinde yaşayan insanların sosyo-ekonomik ihtiyaçlarının ve taleplerinin karşılanmasını da ele almalı. Küresel ısınmayı 1.5°C ile sınırlandırmayı öngören bir gelecek, ancak ormanların korunmasını ve doğanın restorasyonunu kapsadığı koşulda mümkün görünmektedir. Birleşmiş Milletler Paris İklim Değişikliği Konferansı, 2015 yılında Paris'te gerçekleşti. İklim Zirvesi sonucunda üzerinde mutabık kalınan metin olan Paris Anlaşması, herhangi bir bağlayıcılık taşımamakla birlikte hükümetlerin, iklim değişikliğini önümüzdeki dönemde sıklıkla gündem edeceği anlamına geliyor. Ülkemizde 2021 yılının son aylarında bu anlaşmayı imzaladı. En son İngiltere de yapılan iklim zirvesi 2050 yılına kadar emisyonların tamamen yok edilmesini (yani sıfır emisyon) hedeflemektedir (IPCC, 2020).

İklim değişikliği ile mücadele süreci birçok sektör gibi ormancılığı da küresel ölçekte hareketlendirmiştir. Bu süreçte ormancılık, hem yeni proje tipleri, hem diğer sektörlerle entegrasyon, hem de kapsam bakımından zenginleşmiştir. İklim değişikliği ile mücadelede ormancılığın önemi yüksek oranda karbon tutma ve iklim değişikliğinin etkilerine uyum bakımından sağladığı pozitif etkilerdir. Dahası ormanların azaltım ve uyum kapasiteleri bazı iyi yönetim uygulamaları ile artırılabilir. İklim değişikliğinin ve iklim değişikliği ile mücadelenin ekonomi genelinde etkileri söz konusu olmakla beraber her sektörü aynı derecede etkilediği veya etkileyeceği söylenemez. Ormancılık ve tarımın, doğaya açık işletme şekilleri olmaları ve atmosferik olaylarla doğrudan ilişkileri nedeniyle diğer sektörlerle nazaran daha çeşitli ve ciddi risklere maruz kalmaları olasıdır.

Öte yandan iklim değişikliği ile mücadelede genellikle sadece ağaçlandırma çalışmalarının gündeme geliyor olması sektör ve sektör dışında konunun yeterince bilinmediği gerçeğini ortaya koymaktadır. İklim değişikliği ile ormancılık sektörünü uyumlulaştırmaya dönük kavramlardan birisi "iklim destekli ormancılık" olup ormanlardan ve ormancılık sektöründen iklim değişikliği ile mücadele sürecinde diğer ekosistem hizmetleri ile sinerji yaratacak şekilde daha fazla katkı sağlamayı hedefleyen, Avrupa Ormancılık Enstitüsü (EFI) tarafından da desteklenen yeni bir yaklaşımdır. Bu kapsamda uyum ve karbon tutma kapasitesi yüksek orman ekosistemleri geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ormancılık sektörüne yeni bir motivasyon kaynağı olma potansiyeline sahip bu kavram üç temel dayanak üzerine yapılmaktadır. Bunlar; (1) sera gazlarının tutumu veya salımının azaltılması, (2) iklim

değişikliğinin etkilerine karşı daha adaptif ve dirençli ormanlar oluşturmaya yönelik planlama ve yönetim, (3) karbon dahil tüm ekosistem hizmetlerini artırmaya yönelik aktif veya adaptif ormancılık. Kısaca azaltım ve uyumu ön plana çıkarmaya yönelik, bunun yanında diğer ekosistem hizmetlerini de dikkate alan bir ormancılık konseptinden söz edilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, insanların yaşamındaki ihtiyaçlarının karşılanması ve yaşamın sürdürülebilirliği için hem yerel hem küresel ölçekte en önemli vazgeçilmez gereksinimler arasındadır. Sanayi devriminden sonra yaşanan hızlı teknolojik gelişmeler, teknolojinin insan yaşamında daha etkin kullanılmaya başlanması ve hızlı nüfus artışı ile her geçen gün bireyler ve ülkeler için enerjiye olan gereksinim artarak devam etmektedir. Fosil yakıtların doğaya vermiş olduğu zararlar ve yakın gelecekte de tükenme ihtimali, enerji gereksiniminin yenilenebilir kaynaklardan karşılama anlayışını günümüzde geçerli kılmıştır. Türkiye ve diğer ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılama noktasında enerji temin kaynaklarını çeşitlendirmeye, yenilenebilir kaynaklardan enerji gereksinimini karşılamaya ve enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltma stratejisi izlemektedir. Tam da bu noktada biyokütle enerjisi insanlık tarihi kadar eski ve yeryüzünde en yaygın bulunan enerji kaynağı olma özelliği ile dikkat çekmektedir. Biyokütle enerjisi sadece ısınma amaçlı değil, elektrik üretimi, yakıt olarak kullanımı ve aydınlatma gereksiniminin karşılaması sebebi ile çok yönlü kullanılabilen birincil enerji türüdür. Kentsel, hayvansal, ormansal ve tarımsal atıklar başlıca biyokütle enerji kaynakları arasındadır.

Günümüzde biyokütle enerji teknolojileri yemek pişirme, soba ateşinde ısınma gibi geleneksel yöntem ve çeşitli dönüşüm teknolojileri ile elektrik, yakıt ve ısınma ihtiyacın karşılanmasında yararlanılan modern yöntem olmak üzere biyokütleden enerji elde edilmesinde iki temel yöntem bulunmaktadır. Modern biyokütle dönüşüm işlem ve teknolojileri; fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler, biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşmaktadır. 2019 yılında küresel ölçekte yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimi en fazla biyokütle enerjisinden sağlanmıştır. Biyokütle, biyoyakıt ve atıklardan üretilen enerji değeri 56,539 EJ değerindedir. Biyokütle enerji materyallerinin depolanabilir olması, her zaman temin edilebilir olması ve aynı zamanda yeryüzünde en yaygın bulunan yenilenebilir enerji kaynağı olması sebebi ile en fazla enerji üretimi, ithalatı ve ihracatı gerçekleşen yenilenebilir enerji kaynağı pozisyonundadır. 1980 ile 2000 yılları arasında dünya birincil enerji kaynakları tüketimindeki payı %10,5 düzeyindeyken 2000'li yıllardan sonra azalışa geçmiş olup 2018 yılındaki payı %9,5 olarak belirlenmiştir. 2035 yılında ise bu payın %9,3'e ineceği ön görülmektedir. Bu azalışın başlıca sebepleri

modern biyokütle enerjisi teknolojisindeki gelişmeler, diğer yenilenebilir enerji yatırım ve teknolojilerinde olan gelişmeler ve aynı zamanda küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin getirdiği sonuçlar olduğu öngörülmektedir. Küresel ölçekte birincil enerji kaynakları tüketimi kapsamında biyokütle kaynaklı enerji tüketim miktarı günümüze kadar sürekli artmış olup, gelecekte 2035 projeksiyonuna kadar da artacağı öngörülmektedir.

Türkiye dört mevsimi belirgin bir şekilde yaşayan, genç nüfusu oldukça fazla, biyoçeşitlilik açısından zengin kaynaklara sahip, Akdeniz, Karadeniz ve karasal iklimin hüküm sürdüğü zengin biyokütle enerjisi materyaline sahip ülke durumundadır. Çeşitli kaynaklarda yapılan çalışmalarda Türkiye'nin enerjisi potansiyeli 14 MTEP ile 32 MTEP arasında olduğu belirtilmiştir. Bu farklılığın sebebi hesaplama yönteminin farklılık göstermesi ve biyokütle enerjisi potansiyelinde görülebilecek materyal seçimindeki farklılıklar başta gelen nedenler arasındadır. Tahıl üretim ve çeşitliliği açısından Türkiye'nin İç Anadolu bölgesi oldukça zengin olup biyokütle enerji potansiyeli 8 Milyar kWh düzeyinin üzerindedir. Benzer şekilde Türkiye'nin Marmara, Güney Ege, Güney Anadolu'nun doğusu ile Akdeniz'in doğusu biyokütle enerji potansiyeli açısından zengin özellikler taşımaktadır. Türkiye her geçen yıl biyokütle enerji santralleri kurulu gücünü ve elektrik üretim miktarını arttırmıştır. 2020 yılında Türkiye'nin biyokütle enerjisi kurulu güç miktarı 1.485 MW düzeyindedir. 2020 yılında yenilenebilir atık ile atık ısıdan toplam 5.736,6 GWh elektrik üretmiş olup toplam elektrik üretimindeki payı %1,87 düzeyinde gerçekleşmiştir.

Biyokütle enerji santrallerinin ilk yatırım maliyeti 4.114 \$/kW düzeyinde gerçekleşmektedir. Diğer yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarına göre ortalama bir ilk yatırım maliyetine sahiptir. Sabit işletme maliyeti anlamında biyokütle enerji santralleri tüm enerji kaynakları arasında 105,63 \$/kW ile yıllık en fazla maliyete sahip enerji kaynağı durumundadır. Bununla birlikte değişken işletme maliyeti olarak da 5,26 \$/MWh ile en fazla maliyete sahip enerji santrali yine biyokütle enerji santralleridir. Bu yüksek maliyetlerin azaltılması için biyokütle enerji santrallerinde kullanılacak makinelerin ve ekipmanların Türkiye'de yerli olarak üretilmesi çalışmalarına hız verilmelidir. İlk yatırım maliyetini azaltmak için enerji santralinin kurulacağı saha çok daha hassas bir şekilde incelenmeli ve tüm fizibilite çalışmaları dikkatli bir biçimde yapılmalıdır. İlk yatırım maliyetini arttıracak gereksiz harcamalardan kaçınılmalıdır. Periyodik yenileme gerektiren makine ve ekipman değişimi zamanında yapılmalıdır. Bununla birlikte bakım gerektiren işlemler zamanında yapılarak enerji santralinde meydana gelecek arızaların ve arıza süresinin işletmeyi zarara uğratmasının önüne geçilmelidir. Bununla birlikte enerji santraline saha tahsisi, makine ve ekipman alımı ile birlikte

her türlü harcama için teşvik, vergi indirimi, vergi muafiyeti imkanı ve nakdi destek miktarları arttırılmalıdır. Ekonomik ömrü diğer yenilenebilir enerji kaynaklı santrallere ortalamasının üzerinde olan ve teknik ömrü en uzun ikinci yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerji santralleri için her türlü ömrünü uzatacak tedbirler ve destek donatılarının satın alınması, işletmenin karı ve üretecek enerji miktarı açısından oldukça önemli kriterler olup dikkat edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde ülkeler baltalık orman işletme şekline kuru orman işletme şekline geçiş sürecini hızlandırmıştır. Bu kapsamda Türkiye’de 2000’li yılların başından itibaren bu politikayı uygulamaya hız vermiştir. Böylelikle ağaç endüstrisi ve enerji hammaddesi elde edilmesinde daha etkin, verimli ve sürdürülebilir bir strateji izlemiştir. Türkiye 2005 yılında 1.439.595 ha baltalık orman alanına ve 5.749.152 ha kuru ormanına sahipken 2020 yılında 1.276.634 ha baltalık ormanına ve 21.656.366 ha kuru ormanına sahiptir. Bu anlayış değişikliği ile birlikte Türkiye’nin de orman alanı artmış olması karbon ayak izi miktarının azaltılmasında önemli rol oynamıştır. Son on yılda orman ve orman endüstrisinden elde edilen atık miktarı artış göstermiştir. Bu veriler doğrultusunda Türkiye’nin verimliliği oldukça düşük makilik ve çalılık alanların enerji bitki yetiştiriciliğinde değerlendirilmesine, ormansal kaynaklı biyokütle materyalinden enerji üretim miktarının arttırılmasına, ormansal kaynaklı atıkların sınıflandırılmasının detaylandırılmasına, ormansal kaynaklı atık miktarının arttırılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler, kimyasal prosesler ve biyolojik prosesler ile orman biyokütlesi elektrik, konut ısınması ve yakıt ihtiyacının karşılanması noktasında önemli rol oynamaktadır. Bazı biyokütle kaynakları ve kömürün ısı değerleri, odunun ısı değeri materyalin kaynağına göre 10 MJ/kg ile 20 MJ/kg, bağ bozumu ile ortaya çıkan kalıntılarda 14 MJ/kg ile 18 MJ/kg, pirinç kabuğunda 12 MJ/kg ile 14 MJ/kg değerleri arasındadır. Talaşın ısı değeri 12 MJ/kg, ahşap peletlerin 20 MJ/kg, yosunun ise 33 MJ/kg değerine sahiptir. Odun peletinin enerji yoğunluğu kömüre göre daha az olmasına karşın bir aile için yıllık maliyeti daha düşük olup atmosfere bırakılan zararlı gaz miktarı daha az durumdadır. Bu yüzden Türkiye’de odun peleti üretimi oldukça az miktardadır. Türkiye’de odun peleti üretiminin arttırılmasına, ormanda kalan biyokütle enerji materyallerinin üretim sahasından çıkarılıp pelet halinde üretilip ısınma ihtiyacının karşılanmasında önemli rol oynaması oldukça önemlidir. Bununla birlikte karasal ve deniz kaynaklı yosundan enerji üretimi çok daha yeni kavram durumundadır. Türkiye bu konuda gereken arge çalışmalarına ayrıca hız vermesi yararlı olacaktır. Giderek artan sera gazı emisyonlarının azaltılması için bazı çözüm önerileri aşağıda verilmektedir:

- Enerjeyi tasarruflu ve verimli kullanmak;

- Elektrikli taşıtların kullanımını yaygınlaştırmak;
- Binalarda ısı yalıtımı uygulamak;
- Mevcut ormanların korunması ve yeniden ormanlaştırmanın artırılması;
- Ormansızlaşmanın ve meraların yok edilmesinin önlenmesi;
- Bozulan tarım arazilerinin ve çayır/meraların onarılması;
- Tarımsal ormancılığın özendirilmesini içeren gelişmiş orman, çayır/mera ve tarım arazisi yönetiminin desteklenmesi;
- Ürün ve hayvan artık ve atıklarının değerlendirilmesi;
- Toprak ve bitki gereksinimini dikkate alan azotlu gübre kullanımının sağlanması;
- Geviş getiren hayvanların ıslahı ve yem kalitesinin iyileştirilmesi;
- Yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanımının artırılması;
- Bilimsel ve teknolojik gelişmelere yönelik olumlu değişikliklerinin desteklenmesi
- Toplu ısıtma ve soğutma sistemlerinin teşvik edilmesi.
- Alternatif Yakıtların Kömür Yerine Kullanılması.
- Mevcut Konutlarda Enerji Verimliliği Standardının Arttırılması.
- Kamu Aydınlatmasının Kalitesinin ve veriminin Arttırılması.
- Akıllı Enerji Uygulamalarının yaygınlaştırılması
- Belediye binalarında enerji verimliliğinin arttırılması
- Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi
- Atık yönetimi için yeni teknolojilerden yararlanılması
- Büyükbaş hayvan çiftliklerinde metan emisyonlarını azaltmak amacıyla biyogaz tesislerinin kurulmasını yaygınlaştırmak.
- Atık su arıtma tesisleri ve çamur yakma tesisinin enerji verimliliğinin arttırılması
- Belediyelerin su temini yapısında enerji verimliliğinin arttırılması
- Karbondioksitten kimyasallar üreten tesisleri yaygınlaştırmak.

Teşekkür: Bu bölümün yazılmasında maddi katkılarından dolayı Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) ya teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Acaraoğlu, M. 2013. Alternatif Enerji Kaynakları. 3. Baskı, Nobel Yayınları, Ankara.
- Akavo, İ. 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Ankara: Nobel Yayınları.
- Avcıoğlu, AO (Editör). 2011. Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler ve Biyoyakıtlar. Nobel Yayınları, Ankara.
- Ayan, A. 2022. Biyokütle enerjisinin Türkiye’deki kullanım olanaklarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran, 2022.
- Basu, P. 2011. Biomass gasification, pyrolysis, and torrefaction: practical design and theory. Second Edition, Elsevier/AP, Oxford.
- Demir, M. 2017. Kars ilinin biyokütle enerji potansiyeli ve kullanılabilirliği. Türk Coğrafya Dergisi, 31-41.
- Enerji Atlası. (2019). Türkiye’nin En Büyük Biyokütle, Biyogaz, Enerji Atlası. <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz/> adresinden alındı
- EİGM, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2020). Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası. <https://bepa.enerji.gov.tr/> adresinden alındı
- EİGM, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2022). Biyokütle Enerji Kaynakları. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle>
- EPDK, Enerji Piyasası Denetleme Kurulu. 2018. Elektrik Enerjisi istatistikleri. Ankara.
- ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2022. Enerji İstatistikleri, Ankara.
- Güler, Y. 2020. Sera Gazları, İklim Değişikliğinde Sera Gazı Emisyonlarının Rolü ve Emisyon Ticareti. Academic Platform. <http://www.ishad.info>
- IEA, International Energy Agency. 2022. World Energy Outlook 2022, IEA, Paris.
- İllez, B. 2020. Türkiye’de Biyokütle Enerjisi. Biyokütle Dergisi; 2: 23-36.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. IPCC, available from www.ipcc.ch
- Işık, S., ve Yavuz, S. 2022. Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlara genel bir bakış. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 193-201.
- Kalaycı, I. 2011. Türkiyenin Biyokütle Enerji Potansiyeli. Nobel Yayınları, Ankara.
- Kandemir, A., ve Sarptaş, H. 2022. Toprak Üstü Biyokütle Potansiyelinin CBS ve Uzaktan Algılama ile Belirlenmesi – Yeni Bir Yaklaşım. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi.
- Kaputhan, E. 2014. Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: biyokütle enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki kullanım durumu. Marmara Coğrafya Dergisi, 97-125.

- Karaca, C. 2009. Çukurova Bölgesindeki Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri Anabilim Dalı Doktora Tezi.
- Karataş, H. 2019. Karabaş H. Sakarya İlinin Bitkisel Biyokütle Açısından Atık Miktarının ve Enerji Potansiyelinin Araştırılması. . Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 35-43.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çubuk, Y., & Kurt, R. 2011. Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 63-75.
- Kaygusuz, K. Climate Change and Biomass Energy for Sustainability. Energy Sources, Part B; 2010: 5 (2):133-146.
- Nelson, V. Introduction to Renewable Energy. CRC Press, Boca Raton, FL, 2011.
- MMO, Makina Mühendisleri Odası. 1999. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi. İzmir.
- OGM, Orman Genel Müdürlüğü. 2020. Ormancılık İstatistikleri . OGM, Ankara.
- Resmi Gazete. 2019. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği.
- Rosillo-Calle, F, de Groot., Hemstock, SL., Woods, J. The Biomass Assessment Handbook: Bioenergy for a Sustainable Environment. EARTHSCAN, London, 2007.
- Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D., Güngör, E. 2017. Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Haziran 2017; 19: 148-160.
- TOB, Tarım ve Orman Bakanlığı. 2021. Üretim artıkları enerjiye dönüşüyor. <https://www.ogm.gov.tr/tr/haberler/uretim-artiklari-enerjiye-donusuyor>
- Tırınk, S. 2022. Hayvansal atıkların biyogaz üretim potansiyelinin hesaplanması: Iğdır İli Örneği. Journal of the Institute of Science and Technology; 8: 3-77.
- Toklu, E. 2017. Biomass energy potential and utilization in Turkey. Renew Energy, 235-244.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. 2020. Türkiyenin Sera Gazı Emisyonları. Ankara.
- Üçgül, İ ve Akgül, G. 2010. Biyokütle Teknolojisi. Yekarum. <https://dergipark.org.tr/>
- Yıldırım, A., ve Koçer, N. 2022. Diyarbakır İli Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27-40.

