

İklim Değişikliğine Sebep Olan Sera Gazlarının Azaltılmasında Biyokütlenin Rolü

Kamil Kaygusuz¹

Özet

Dünyamızın iklimi son elli yılda atmosfere salınan insan kaynaklı sera gazlarının doğal sera etkisini artırması yüzünden ısınmaktadır. Sera gazı emisyon salınım senaryolarına dayanan farklı iklim modelleri, 21'nci yüzyılda yaşadığımız yerkürede önemli iklim değişikliklerinin olacağını öngörmektedir. Ön görülen bu iklim değişikliklerini önlemenin ve bu değişikliklerin, sosyoekonomik sektörler, doğal ekosistemler ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmenin en iyi yolu ise, insan kaynaklı sera gazı salınımlarını azaltmak ve ormanlar (biyokütle) 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 çevrimi verimliliğinin iyileştirilmesine, enerji tasarrufunun ve verimliliğinin 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

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

enerji darboğazının yıkıcı 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 [1-4].

Enerji talebinin artması ve beraberinde fosil yakıtların kullanımının artırılması 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 [5].

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 [6-9].

2. SERA GAZI EMİSYONLARI VE SERA ETKİSİ

Atmosfer çeşitli gazların karışımından oluşur ve buna ilave 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 enerjiiyi uzaya vermesi gerekir. Güneş enerjisi yeryüzüne kısa dalga boyuna sahip radyasyon (ısınım) olarak ulaşır ve gelen radyasyonun bir bölümü yeryüzünün yüzeyinde, bir bölümü troposferde, bir kısmı ise atmosfer tarafından tekrar uzaya yansıtılır [1-10].

Atmosferdeki gazlar yeryüzündeki ısının bir kısmını tutar ve yeryüzünün ısı kaybına engel olur. Bu bağlamda, 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 [4-8].

Atmosferde 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:

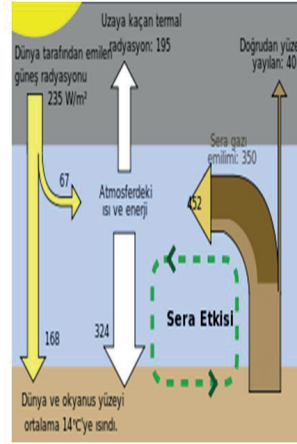
- Su buharı (H_2O),
- Karbon dioksit (CO_2),
- Ozon (O_3),
- Metan (CH_4),
- Nitrit oksit (N_2O)

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 (SF_6) 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 döngününün 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 [3-5]. Şekil 1' de sera etkisinin sematik olarak izahı görülmektedir.

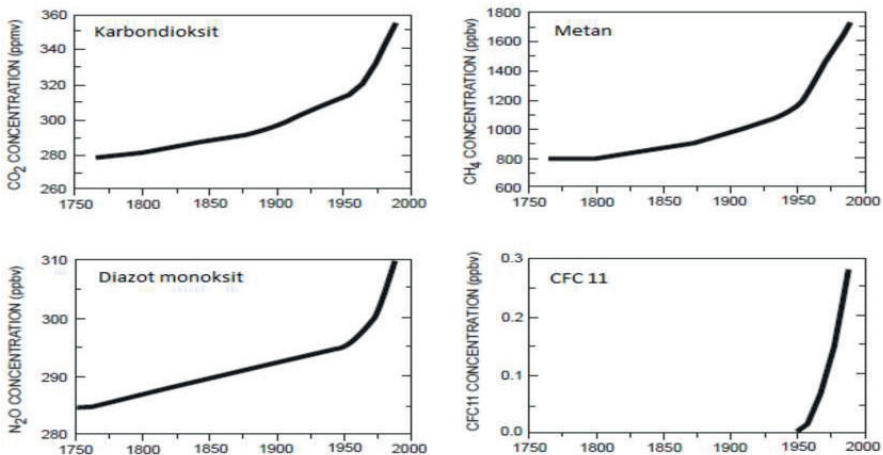
Sera Etkisi

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 izabı.

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

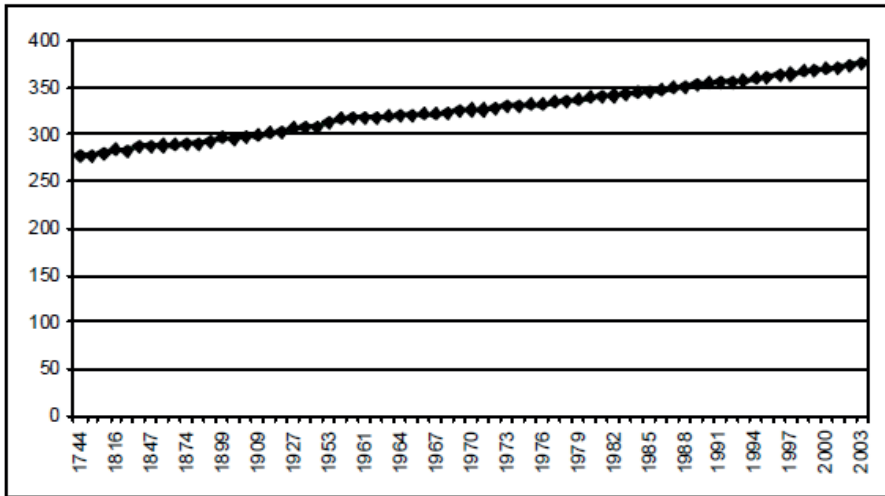
Küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak da, hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi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

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 [6-9]. 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 [7].

Ortalama koşullarda, uzaya kaçan uzun dalgali 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 dalgali 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 [6].

Dünyanın enerji dengesindeki değişime Küresel Isınma denmektedir ve bu süreç Dünya'nın karşı karşıya olduğu büyük bir sorunun göstergesi olarak kabul edilmektedir. Doğal etmenlerden çok insan faaliyetleri sonucu atmosferdeki miktarları hızla artan sera gazları, günümüzde küresel ısınma ve buna bağlı olarak da küresel iklim değişikliği problemini çevre sorunları arasında üst sıralara taşımıştır. 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 [7]. Modern iklim değişikliği, doğal değişkenliğin sınırlarını aşacak kadar büyük olan insan etkileri tarafından kontrol edilmektedir [8]. Atmosferdeki insan kaynaklı sera gazı birikimlerinde sanayi devriminden beri gözlenen artış sürmektedir. Özellikle atmosferdeki birikimi ve yaşam süresi dikkate alındığında, bu sera gazları arasında CO₂ öne çıkmaktadır [6] çünkü sera gazları arasında ısıyı en fazla tutma özelliğine sahip olan gaz CO₂'dir.

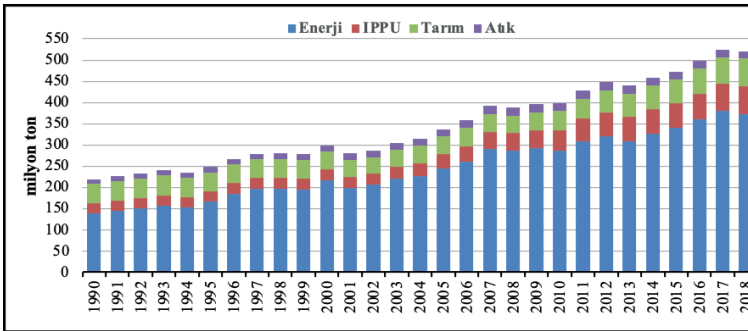
Sera etkisinin %20'sini meydana getiren diğer bir gaz ise Metandır. Karbondioksit nazarın 20 misli daha ısı tutucu bir rol oynamaktadır [4]. Metan gazı, organik atıkların anaerobik ortamlarda parçalanması sonucu, fosil yakıtların tam olarak yanmaması durumlarında, kömür, doğalgaz ve petrolün üretim ve taşınması sırasında atmosfere salınabilmektedir. Diğer Metan kaynakları ise çöplük, bataklık pirinç tarlası gibi düşük oksijen seviyesine sahip ortamlar ile gübrelerdir. Şekil 3. Atmosferdeki CO₂ konsantras-yonunu (ppmv) biriminde vermektedir [9].



Şekil 3. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu [ppmv] [10].

Azot oksitleri içinde en önemlisi diazot monoksittir (N_2O). Sera etkisinin %15'inin bu gazdan kaynaklandığı düşünülmektedir [10]. Yani, N_2O gazı tarım, enerji, endüstriyel ve atık yönetimi gibi alanlarında, topraktaki ve sudaki biyolojik prosesler ve çeşitli antropojenik faaliyetlerle üretilir. N_2O üreten ana antropojenik faaliyetler, tarımsal toprak yönetimi, sabit yakma, motorlu taşıtlarda yakma, gübre yönetimi ve nitrik asit üretimidir. Toplam N_2O emisyonları CO_2 emisyonlarından çok daha düşük olmakla birlikte, N_2O , atmosferde oluşabilecek ısınmada CO_2 'den yaklaşık 300 kat daha güçlüdür [10]. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), çeşitli sera gazlarının sera etkisi kapasitelerini karşılaştırabilmek amacı ile Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) kavramını geliştirmiştir. Burada KIP'de referans gazı olarak CO_2 kullanılmaktadır ve KIP ağırlıklı emisyonlar CO_2 eşdeğeri olarak verilmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2018 yılında gerçekleşen toplam 520,9 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 4'de görüldüğü üzere 1990 ve 2018 yılları arasında CO_2 emisyonları ile birlikte toplam emisyonlarda da artış eğilimi söz konusuysen, CH_4 , N_2O ve Florlu gazların (F-gases) emisyonlarında önemli ölçüde bir değişiklik gözlenmemektedir. Bu durumun yanı sıra 1990 yılı ile karşılaştırıldığında 2018 yılında toplam CO_2 emisyonları %177, CH_4 emisyonları %35,8 ve N_2O emisyonları %56,8 düzeyinde artmış göstermiştir [10].



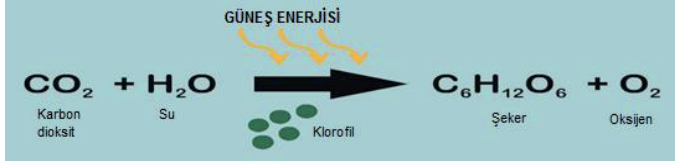
Şekil 4. Türkiye'de sektörlere göre gerçekleşen sera gazı emisyonları (CO_2 eşdeğeri) [10].

Dünya kadar yenilenebilir enerji yatırımlarının en büyük dezavantajı 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.

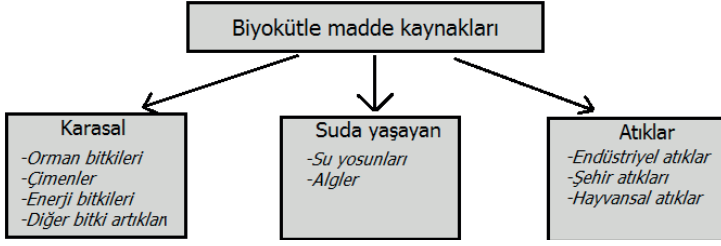
3. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

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 5'de ürün olarak karbon içerikli şeker oluşumunu veren fotosentez reaksiyonu görülmektedir.



Şekil 5. 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 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. Biyokütle madde kaynakları çok çeşitli olmakla beraber genel anlamda karasal, su kaynaklı ve atıklar olmak üzere üç farklı kategoride sınıflandırılabilirler. Şekil 6'da biyokütle hammaddelerinin sınıflandırılması gösterilmiştir [9].

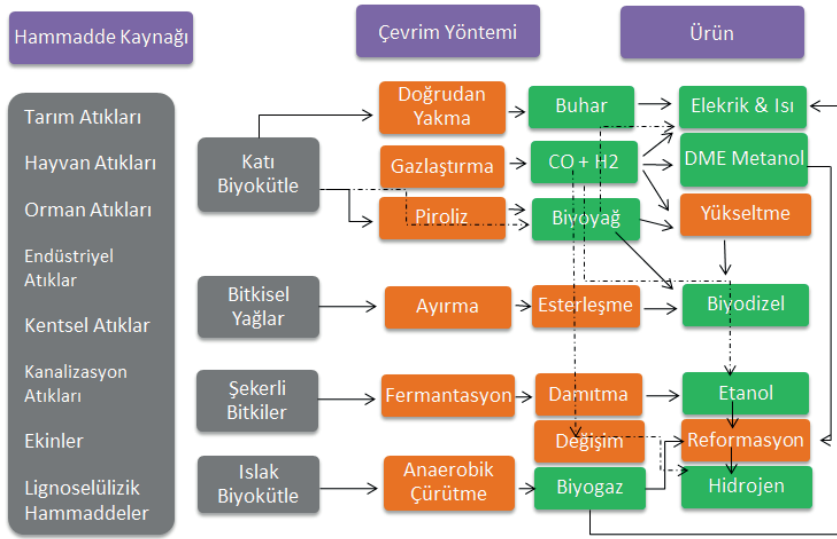


Şekil 6. *Biyokütle madde kaynaklarının sınıflandırılması.*

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 [1-9]. Şekil 7 'de biyokütle den enerji üretiminde alternatif yöntemler gösterilmektedir. Buna ilaveten biyokütle den enerji eldesinin dışında aşağıda sıralanan pek çok faydalanma yöntemleri vardır. Kısacası, biyokütle canlılar ve gezegenimiz için vazgeçilmez yaşam kaynağıdır.

Biyokütle:

- 1) Besin kaynağı
- 2) Temiz su ve hava kaynağı
- 3) Enerji kaynağı
- 4) Konut ve mobilya hammadde kaynağı
- 5) CO₂ emisyon depolama kaynağı
- 6) Kimyasallar için hammadde kaynağı
- 7) Dinlenme ve huzur kaynağı
- 8) Kısacası biyokütle canlıların yaşam kaynağı



Şekil 7. Biyokütleden enerji üretiminde alternatif yöntemler.

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. 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.

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.

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 kullanılabilir. Hatta Avrupa Birliği'nde birçok ülkede normal dizel yakıtta belirli oranda karıştırılarak kullanılması zorunlu hale getirilmiş, bu sayede fosil yakıtların çevreye verdiği zararın azaltılması hedeflenmiştir. 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 dolum üniteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en az %0,5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biodizelin harmanlanmış olması zorunludur." ibaresine yer verilmiş olup, söz konusu tebliğ 01.01.2018 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

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. Diğer taraftan, Küresel Orman Finansmanı Taahhüdü, 12 ülkenin ormanları korumak ve restore etmek için 2021 – 2025 yılları arasında 12 milyar dolarlık kamu fonu yaratma 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 8. Ormanların (başlıca biyokütle kaynağı) yerkürenin akciğerleri olduğunu temsil eden resim.

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. IPCC 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.

Chatham House Sürdürülebilirlik Girişimi İcra Direktörü Ana Yang, “Orman Mutabakatı, ormansızlaşmayı durdurmak üzere önemli bir küresel çabayı temsil ediyor. Bu anlaşma, ormanlarımızı korumaya yönelik önemli ilk adım niteliği taşıyor ve ormansızlaşmadan arındırılmış tedarik 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 dereceyle sınırlandırmayı öngören bir gelecek, ancak ormanların korunmasını ve doğanın restorasyonunu kapsadığı koşulda mümkün görünüyor” diyor.

Tropik Ormanlar Birliği İcra Direktörü ve Dünya Ekonomik Forumu Doğaya Dayalı Çözümler Platformu Eş Direktörü Justin Adam, “COP26’da şahit olduğumuz bu gelişme, ormansızlaşmayı durdurma kapsamındaki dönüşümün başlangıcı olabilir. Ormansızlaşmayı durduramazsak, iklim

değişikliğini sınırlandırmayı başaramayız. Glasgow Deklarasyonu, ormansızlaştırmayı durdurma kapsamında güçlü siyasi eğilimi yansıtıyor. İş ve finans dünyasının bu çabalara uyum sağlamak üzere ortaya koyduğu kayda değer ekonomik gücün yarattığı kolektif güç, gıda ve arazi kullanım sistemlerimizi, çiftçiler, tüketiciler ve gezegenimizin ihtiyaç duyduğu yöne yönlendirebilir” diyor.

Demokratik Kongo Cumhuriyeti’ndeki yerli Walikale halkının temsilcilerinden ve Orman Ekosistemlerinin Sürdürülebilir Yönetimi için Yerli Halklar ve Yerel Topluluklar Ağı Koordinatörü Joseph Itongwa Mukumo, *“Bugün uzlaşya varılan orman mutabakatında Yerli Halkların belirtildiğini görmekten mutluluk duyuyoruz. Siyasetin ve ekonominin ormansızlaştırmayı kendi çözümleriyle durduramaması ve biz yerli halkların bu sorunla mücadelede temsil ettiğimiz etkili ve daha önce denenmemiz çözüm önerileri doğrultusunda, yalnızca yapılması gereken doğru şey olması sebebiyle değil, aynı zamanda uygun, hatta acil olması sebebiyle, yerli halklara yönelik güvenli kullanım hakkı talep edildiği günü sabırsızlıkla bekliyoruz”* diyor.

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 azaltılması ve uyum kapasiteleri bazı iyi yönetim uygulamaları ile artırılabilir. Buna ilaveten, iklim 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 3 temel dayanak üzerine yapılanmaktadır

[1-5]. Bunlar; (1) sera gazlarının tutumu veya salınımının azaltılması, (2) iklim değişikliğinin etkilerine karşı daha uygulamalı ve dirençli ormanlar oluşturmaya yönelik planlama ve yönetim, (3) karbon dahil tüm ekosistem hizmetlerini artırmaya yönelik aktif veya uygulamalı ormancılık. Kısaca azaltım ve uyumu ön plana çıkarmaya yönelik, bunun yanında diğer ekosistem hizmetlerini de dikkate alan bir ormancılık konseptinden söz edilmektedir.

SONUÇ

Küresel ısınmanın hızını yavaşlatmaya çalışan pek çok ülke, 2016 yılında Paris'te düzenlenen iklim konferansında bir araya gelerek bir antlaşmaya imza attı ve küresel ısınmanın 2°C ile sınırlı kalması için sera gazlarının salınımını azaltmayı taahhüt ettiler. Bugün bu ülkelerin önemli bir kısmı bu amaca ulaşmak için fosil yakıtların kullanımını azaltıp biyoyakıtların kullanımını artırmaya çalışıyor. Avrupa Birliği, biyoyakıtları karbon nötr olarak tanımlıyor. Birleşik Krallık, pek çok termik santralde kömür yerine odun topları kullanıyor. 2017 yılında Bonn'da düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'na katılan, toplam nüfusu dünya nüfusunun yaklaşık yarısına denk gelen 19 ülke, enerji üretiminde kömür yerine odun kullanımını artırmayı planladıklarını açıkladılar.

Biyokütle mikroorganizmaların, bitkilerin ve hayvanların büyümesi sonucu ortaya çıkan malzemelerdir. Biyoyakıtların üretiminde kullanılan biyokütlenin kaynağı ormancılık, bahçivanlık ve gıda bitkisi üretimi gibi faaliyetlerin atıkları olabileceği gibi özel olarak üretilmiş bitkiler de olabilir. Bu malzemelerin tamamı karbon içerir. Dolayısıyla yakıt olarak kullanıldıklarında atmosfere karbondioksit salımı olur. Ancak karbondioksit bir sera gazıdır. Hatta küresel ısınmanın ana nedeni insan faaliyetleri sonucunda atmosferdeki karbondioksit miktarının artmasıdır.

Biyoyakıtların çevre dostu olduğu düşüncesi özetle şu şekilde bir mantık yürütmenin sonucudur: Bugün enerji üretimi için kullanılan kömür ve diğer fosil yakıtlar milyonlarca yıl önce ölmüş canlıların yer altında zamanla fosilleşmesiyle oluşmuştur. Bu yakıtların enerji üretimi için kullanılması, yer altında hapsolmuş karbonun atmosfere karışmasıyla sonuçlanır. Biyokütle ise zaten yeryüzündedir. İnsanlar yararına kullanılmasalar bile, mikroorganizmalar tarafından tüketilecekler ve içerdikleri karbon eninde sonunda karbondioksit olarak atmosfere karışacaktır. Dolayısıyla enerji üretiminde fosil yakıtlar yerine biyokütle kullanarak yer altında hapsolmuş karbonun atmosfere karışması engellenir. Böylece insan etkinlikleri sonucunda atmosfere salınan sera gazı miktarı azalır. Üstelik kömür yakılan termik santraller biyokütle kullanımına da uygun olduğu için yüksek maliyetli yatırımlara ihtiyaç

duyulmaz. Yapılması gereken tek şey, ölü organik maddeleri kendi hâllerine bırakmak yerine toplayıp enerji üretiminde kullanmaktır.

Sonuç olarak; iklim değişikliğine yol açan sera gazlarını azaltmak için hem tarım ve ormancılık sektörlerinde ve hem de enerji sektöründe: (i) Yönetim tekniklerinin güçlendirilmesi; (ii) Ormanlaştırma ve yeniden ormanlaştırmanın arttırılması, ormansızlaşmanın önlenmesi; (iii) Bozulan tarım arazilerinin ve çayır/meraların onarılması; (iv) Tarımsal ormancılığın özendirilmesini içeren gelişmiş orman, çayır/mera ve tarım arazisi yönetiminin desteklenmesi; (v) Ürün ve hayvan artık ve atıklarının değerlendirilmesi; (vi) Toprak çözümlenmesini ve bitki gereksinimini dikkate alan azotlu gübre kullanımının sağlanması; (vii) Geviş getiren hayvanların ıslahı ve yem kalitesinin iyileştirilmesi; (viii) Yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanımının arttırılması; (ix) Bilimsel ve teknolojik gelişmelere ve yeniliklere yönelik olumlu davranış değişikliklerinin desteklenmesi gibi belli başlı tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Teşekkür: Bu çalışmanın yapılmasında maddi desteklerinden dolayı Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) ya teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] Alma, M.H., Salan, T., Altıkat, A., Altıkat, S. Biyokütlenin termokimyasal dönüşüm süreçleri ve reaktörler. Nobel Yayınevi, Ankara, 2021.
- [2] Kanoğlu, M., Çengel, Y.A., Cımbala, J.M. Yenilenebilir Enerji: Temelleri ve uygulamaları Çeviri Editörü; Tahsin Engin, Palme Yayınevi, Ankara, 2022.
- [3] Dinçer, I ve Ezan, M.A (Editörler). Enerji: Kavramlar ve Uygulamalar. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA), Ankara, 2022.
- [4] Acaraoğlu, M. Alternatif Enerji Kaynakları. Geliştirilmiş 3. Baskı, Nobel Yayınları, Ankara, 2013.
- [5] Avcıoğlu, AO (Editör). Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler ve Biyoyakıtlar. Nobel Yayınları, Ankara, 2011.
- [6] Güler, Y. Sera Gazları, İklim Değişikliğinde Sera Gazı Emisyonlarının Rolü ve Emisyon Ticareti. Academic Platform. <http://www.ishad.info>
- [7] Nelson, V. Introduction to Renewable Energy. CRC Press, Boca Raton, FL, 2011.
- [8] Rosillo-Calle, E, de Groot., Hemstock, SL., Woods, J. The Biomass Assessment Handbook: Bioenergy for a Sustainable Environment. EARTHSCAN, London, 2007.
- [9] Sözen, E., vd. Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Haziran 2017; 19: 148-160.
- [10] TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. Sera Gazı Emisyon İstatistikleri 1990-2020, TÜİK, Ankara, 2020.