

Umudumuz Biyoyakıtlarda mi?

Dr. Tuncay Baydemir [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Hızla artan dünya nüfusu ve teknolojik gelişmelerle birlikte enerji talebi de giderek artıyor. Küresel enerji talebinin 2040 yılına kadar yaklaşık %28 oranında artması bekleniyor. Sürekli artan küresel enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu da hâlâ fosil yakıtlardan sağlanıyor.

Fosil yakıtların kullanımına yönelik teknolojilerin hâlihazırda geliştirilmiş olması ve düşük maliyetleri gibi nedenlerle bu yakıtlar, küresel enerji talebini karşılamak için yoğun olarak kullanılıyor ancak bu durum pek çok endişeyi de beraberinde getiriyor. Yenilenemez enerji kaynakları oldukları için bu yakıtların yakın gelecekte tükeneceği öngörülüyor. Ayrıca fosil yakıtların yaygın kullanımı küresel ısınmaya neden oluyor ve ekosistemlere zarar veriyor.



Ormancılık atıklarından üretilen pelet ve briketler biyoyakıt olarak kullanılıyor.

Fosil yakıtların kullanımına bağlı olarak karbondioksit (CO₂) emisyonu her geçen yıl artıyor. Bu nedenle farklı yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarının araştırılması ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması gerekiyor. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olarak karşımıza çıkan biyoyakıtlar, biyolojik hammaddelerden elde ediliyor.

Biyoyakıtlar aslında oldukça uzun süredir insanlığa hizmet ediyorlar. Isınma ve yemek pişirme gibi ihtiyaçlarımız için odun ateşinden faydalanmaya başladığımız zamanlardan beri biyoyakıtlar insan hayatının önemli bir parçasını oluşturuyor.

Biyoyakıtlar, yakılmasıyla elde edilen ısı enerjisiyle yemek pişirmek ve ısınmak için kullanılan odundan tutun da günümüzde farklı biyokütllerden elde edilen enerji yoğunluğu yüksek yakıtlara kadar çok geniş bir kapsama sahip. Ateşin keşfinden önce de biyoyakıtlar mevcuttu. İnsan uygarlığı gelişmeye devam ederken biyoyakıtların da yaşamımızdaki yeri, önemi ve kullanım alanları giderek arttı. Çok eski tarihlerde ılık banyo suyu hazırlamak için biyogaz (MÖ 10. yy.), içten yanmalı motorda biyoetanol (1826), Carnot motorlarında biyodizel (1878) ve kamyonlarla otobüslerde yer fıstığı yağından elde edilen



yakıtların kullanılması (1896) gibi uygulamalar yaşam kalitesini önemli ölçüde değiştirecek nitelik taşıyordu.

Küresel iklim değişikliğinin önüne geçilmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik tedbirler kapsamında geliştirilen stratejiler ve uygulanan politikaların önemli öğelerinden birisi de biyoyakıtlardır. Biyoyakıtların bu kapsamda üretilmesi ve kullanılmasında pek çok ülkenin çeşitli katkıları oldu. Bunlar arasında ABD'nin "Yenilenebilir Yakıt Standardı" ve Avrupa ülkelerinin "Yenilenebilir Enerji Direktifi" öne çıkıyor. Bu ve benzeri politikalar sayesinde dünya biyoetanol üretimi 2008-

2018 yılları arasında %67'lik bir artış gösterdi. Biyodizel üretimi ise üç katına çıkarak 41 milyar litreye ulaştı.

Farklı ülkelerde biyoyakıt üretiminde kullanılan temel hammaddeler ve buna bağlı olarak biyoyakıt türleri de değişiklik gösterebiliyor. Örneğin ABD'de biyoetanol üretiminin neredeyse tamamı mısırdan yapılırken, Brezilya'da ise şeker kamışı yoğunluklu üretim gerçekleştiriliyor. Uluslararası Enerji Ajansı, tüm gelişmelere bağlı olarak, 2050 yılına kadar ulaşımda kullanılan yakıt miktarının yaklaşık üçte birlik kısmının biyoyakıt bazlı olacağını öngörüyor.



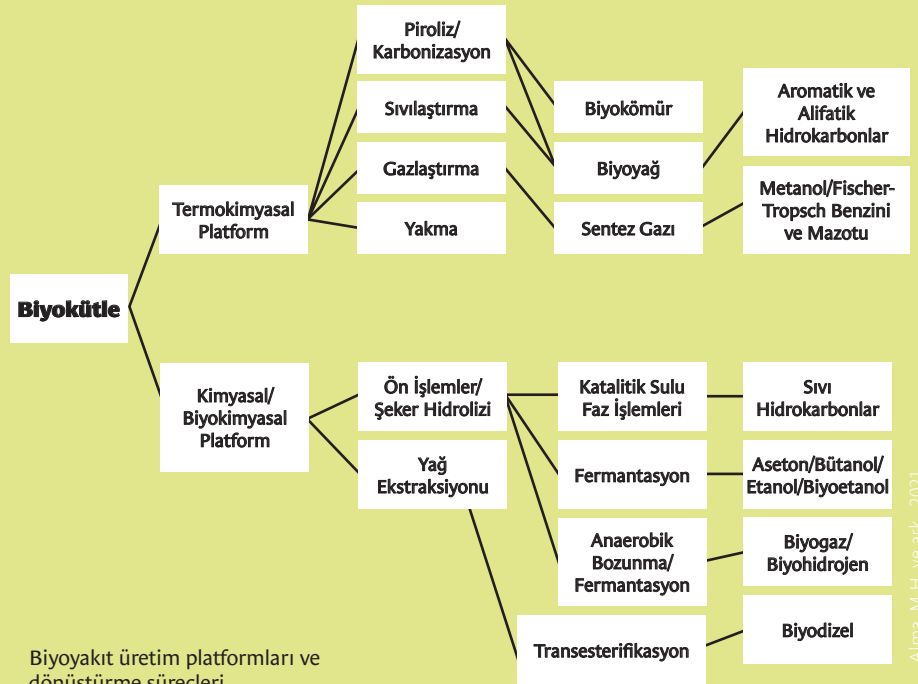
Biyoyakıtlar kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlarla kıyaslandığında önemli avantajlar sunuyor. Yenilenebilir ve sürdürülebilir olmaları, karbon ve sera gazları emisyonu bakımından nötr veya çok düşük net emisyona sahip olmaları ve güvenli üretim süreçleri çevre dostu özellikleri arasında sayılabilir. Ayrıca yerel kaynakların kullanılması ile üretilen biyoyakıtlar, bölgedeki tarımsal kalkınmayı destekler ve çeşitli iş olanakları sağlar. Enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasında da önemli rol oynayan biyoyakıt üretimi genel anlamda ekonomik kalkınmayı da destekler. Bu nedenlerle hem küresel hem de bölgesel olarak biyoyakıt endüstrisini teşvik etmek amacıyla çeşitli hedef ve politikalar ortaya konmaya devam ediyor.

Nedir Bu Biyoyakıtlar?

19. yüzyılın başlarında kullanılmaya başlanan “fosil yakıtlar” terimi ile dünya yüzeyinin altında çok uzun yıllarda oluşan kömür, petrol ve doğal gaz gibi kaynaklardan bahsediliyor. Biyoyakıt terimi ise ilk defa 1970’li yıllarda ortaya konularak kullanılmaya başladı. Günümüze kadar çok çeşitli tanımlamalar yapıldı ve yapılmaya da devam ediyor. Biyoyakıtların hem kaynak hem de üretim aşamaları bakımından sürekli değişim ve gelişim göstermesinin bunun altında yatan neden olduğunu söyleyebiliriz.

Süreç içerisinde yapılan bazı biyoyakıt tanımlamaları şu şekildedir:

- ▶ Yakın zamanda yaşayan organizmalardan veya bu organizmalar tarafından üretilen yakıttır.
- ▶ Biyokütleden üretilen odun, metan, petrol de dâhil tüm yakıtlardır.
- ▶ Bitkilerden ve diğer biyolojik tabanlı malzemelerden üretilen yakıtlardır.
- ▶ Ağırlıklı olarak biyokütleden üretilen katı, sıvı veya gaz yakıtlara biyoyakıt veya biyoyenilenebilir yakıt denir.
- ▶ Enerji elde etmek için yakılacak bitki biyokütle ve bundan rafine edilmiş ürünlerdir.



- Ağırlıklı olarak ulaşım sektöründe kullanılan sıvı ve gaz yakıtlardır, çeşitli biyo-hammaddelerden üretilirler.
- Katı ve sıvı yağlardan elde edilen biyodizel ile şeker, nişasta ve selülozik malzemelerden elde edilen biyoetanol de dâhil olmak üzere biyokütlelerden elde edilen sıvı yakıtlardır.
- Atık hammaddeler ve biyokütleler kullanarak üretilen yakıtlardır.

Burada kısıtlı sayıda tanıma yer verildiği göz önünde bulundurulsa da farklı zaman ve koşullarda yapılan tüm biyoyakıt tanımlamalarının bazı ortak noktalarda keşiştiği söylenebilir. Günümüzde genel olarak biyoyakıtlar, yenilenebilir canlı organizmalar tarafından veya bu canlı organizmalar kullanılarak üretilen tüm yakıt türleri olarak tanımlanabilir.

Biyoyakıtların fosil yakıtlara göre nispeten oldukça kısa sürelerde ve yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi onları özel kılıyor. Biyoyakıtlar, pek çok farklı kaynaktan katı, sıvı ve gaz formlarında elde edilebiliyor. Ayrıca bir biyoyakıt başka bir biyoyakıt türüne çeşitli işlemler yoluyla dönüştürülebilir.

Farklı Kaynaklar, Farklı Teknolojiler

Biyoyakıtlar doğada buldukları şekilde kullanılarak enerji sağlayabildikleri gibi jet yakıtına da dönüştürülebilen çok geniş bir yelpazeyi kapsar. Başka bir deyişle, teknolojik gelişmelere ve yapılan araştırmaların sonuçlarına bağlı olarak farklı hammaddeler ve farklı üretim teknikleri ile çok çeşitli biyoyakıtlar elde edilebilir.

Peki bu farklı biyoyakıtları nasıl sınıflandırabiliriz? Yapılan en basit sınıflandırmalardan birine göre biyoyakıtlar “geleneksel biyoyakıtlar” ve “gelişmiş biyoyakıtlar” olarak ayrılır. Geleneksel biyoyakıtlar temel olarak şeker ve nişasta bazlı biyoetanol, transesterifikasyon bazlı biyodizel ve anaerobik sindirim biyometanından (biyogaz) oluşur. Gelişmiş biyoyakıtlar arasında hidro-ışlenmiş bitkisel yağlar, selülozik biyoetanol, biyokütleden ve mikroalglerden elde edilen biyodizel ve biyohidrojen sayılabilir.

Hammade kaynaklarına ve üretim teknolojilerine göre ise biyoyakıtlar birinci nesil ve ikinci nesil olarak ikiye ayrılır. Birinci nesil biyoyakıtlar temelde biyoetanol, biyodizel ve biyogazdan oluşurken sıvı biyoyakıtlar genel olarak kanola, mısır, ayçiçeği ve soya fasulyesinin yağlı tohumlarından elde edilen doymuş ve doymamış yenilebilir bitki yağlarından elde edilir. Son zamanlarda bunlara Hindistan cevizi, zeytin ve hurmadan elde edilen yağlar da eklendi. Bazı araştırmacılara göre odun, kuru gübre ve tarımsal atıklar gibi katı biyoyakıtlar da bu sınıfa dâhil edilebilir. İkinci nesil olarak anılan biyoyakıtlar ise temelde atık bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan, böceklerden ve yağlı mikroorganizmalardan üretilen biyoyakıtları kapsar. Birinci nesil biyoyakıtlar ticari anlamda üretime sahipken, ikinci nesil biyoyakıtlar üzerine çalışmalar yürütülüyor. Bazı araştırmacılara göre ise herhangi bir işleme gerek duymadan yakıt olarak kullanılabilen çim, odun ve talaş gibi katı yakıtlar birincil biyoyakıtlardır. Bazıları ise yakacak odun, bitkiler, sebzeler, hayvansal atıklar ve çöplük



Biyoyakıtların farklı nesillere göre sınıflandırılması

gazı gibi organik kaynaklardan elde edilen biyoyakıtları doğal biyoyakıtlar diye tanımlar.

Genel yaklaşıma ve teknolojik ilerlemelere bakıldığında biyoyakıt araştırma kapsamının sürekli bir şekilde genişlediği açık bir şekilde görülüyor. Buna bağlı olarak yapılan pek çok yeni yayında biyoyakıt sınıflandırmasının yeniden tasarlandığını görmek de kanıksanan bir durum hâline geldi. Hatta bazı araştırmacılar birinci ve ikinci nesil biyoyakıtların kapsamını genişletmenin yanında üçüncü nesil biyoyakıtları da tanımladılar. Buna göre üçüncü nesil biyoyakıtlar çoğunlukla algler ve siyano bakteriler gibi suda yetiştirilebilen hammaddelerden üretilen biyometan, biyodizel, biyoetanol, biyobütanol, jet ve uçak yakıtı gibi yakıtları kapsıyordu.

Bugün kabul gören güncel sınıflandırmaya göre, biyoyakıtlar başlıca beş nesile ayrılıyor ve farklı nesil biyoyakıtların üretiminde farklı hammaddeler kullanılıyor. Sıfırncı nesil biyoyakıtlar, ön artıma, işleme veya modifikasyon olmaksızın doğrudan kullanılabilen doğal biyoyakıtlar veya hammaddelerdir. Birinci nesil biyoyakıtlar başlıca biyoalkoller, bitkisel yağlar, biyodizel, biyometanol, biyosingaz ve biyogazı içeriyor. İkinci nesil biyoyakıtlar ise biyoalkoller, biyodizel, biyoDMF (dimetilfuran), biyometanol, biyoFT dizel ve biyohidrojen oluşuyor. Üçüncü nesil biyoyakıtların öne çıkanları biyoetanol, bitkisel yağ, biyodizel, biyometanol ve jet yakıtlarıdır. Son olarak dördüncü nesil biyoyakıtlar ise yeşil dizel, biyogazolin ve yeşil havacılık yakıtlarını bünyesinde bulunduruyor.

Farklı Tür Biyoyakıtlar İçin Farklı Hammaddeler

Herhangi bir işleme gerek duymaksızın olduğu gibi kullanılabilen doğal biyoyakıtlar (odun, çimen gibi) dışında farklı nesil olarak sınıflandırılan biyoyakıtların üretilmesinde çeşitli hammaddelere ihtiyaç duyuluyor. Bu hammaddeler yenilebilir ya da yenilmeyen tarım ve ormancılık ürünleri; yağlı tohumlar; tarım, hayvancılık ve ormancılık bazlı atıklar; atık yağlar ve algler gibi oldukça geniş bir yelpazeyi kapsıyor. Tüm bu hammaddeler çeşitli işlemlerden geçirilerek farklı yapılarıdaki biyoyakıtlar elde ediliyor.

Biyoyakıtlar	Ürünler	Hammaddeler
Birinci Nesil Biyoyakıtlar	Biyoalkoller, Bitkisel yağlar, Biyodizel, Biyometanol, Biyosingaz, Biyogaz	Şeker, nişasta, hayvansal yağlar, soya fasulyesi, hardal, ayçiçeği, mısır, şeker kamışı, hurma yağı, kanola, kolza tohumu, patates, şeker pancarı, Hindistan cevizi, manyok, çeşitli bitkiler, lağım atıkları vb.
İkinci Nesil Biyoyakıtlar	Biyoalkoller, Biyoyağ, Biyodizel, BiyoDMF, Biyometanol, BiyoFischer-Tropsch dizel, Biyohidrojen	Gıda olmayan ürünler, saman, mısır, odun, dallı darı, şeker kamışı küspesi, ormancılık atıkları, yem kanyası, evsel katı atıklar, yonca, sabır otu vb.
Üçüncü Nesil Biyoyakıtlar	Bioetanol, Bitkisel yağ, Biyodizel, Biyometanol, Jet yakıtları	Mikrobiyal türler, algler, maya, mantarlar, siyanobakteriler vb.
Dördüncü Nesil Biyoyakıtlar	Yeşil dizel, Biyogazolin, Yeşil uçak yakıtı	Biyomühendislik mikroorganizmaları ve bitkileri

Biyoyakıtlar temel olarak biyokütlelerden elde ediliyor. Biyoküteller, enerji üretiminde kullanılabilen organik içeriğe sahip yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Farklı nesil biyoyakıt üretimlerine bakıldığında biyokütle kaynaklarının çok çeşitli olduğu görülür. Ayrıca aynı hammadde farklı nesil biyoyakıtların üretiminde de rol alabilir.

Yağ Bitkileri: Bu bitkiler adlarından da anlaşılacağı üzere yüksek miktarda yağ içerir. Bunlar arasında ayçiçeği, soya, mısır, kolza tohumu, pamuk tohumu, palmye ağacı, Hindistan cevizi, yer fıstığı, susam, pamuk, zeytin, pancar, şeker kamışı ve keten sayılabilir. Bu bitkilerin hepsi farklı yağ oranlarına sahiptir. Örneğin pamuk tohumundan yaklaşık olarak ağırlıkça %13 oranında yağ elde ediliyorken bu oran daha yüksek yağ içeriğine sahip Hindistan cevizinde %65-75 arasında gerçekleşir. Bunun yanında üretim koşulları, işleme tesisi ekipmanları ve dönüştürme yöntemlerine bağlı olarak da elde edilen yağ oranları farklılık gösterebilir.

Lignoselülozik Biyoküteller:

Bu biyoküteller temelde tarımsal atıklar (pirinç samanı, pirinç kabuğu, buğday gibi türlerin sap ve samanları, mısır koçanı, şeker kamışı küspesi gibi), orman atıkları (odun, talaş, ağaç dalları gibi) ve enerji bitkileri (dallı darı, fil otu, çim, enerji kamışları (geliştirilmiş şeker kamışı türevleri) gibi) türlerinden



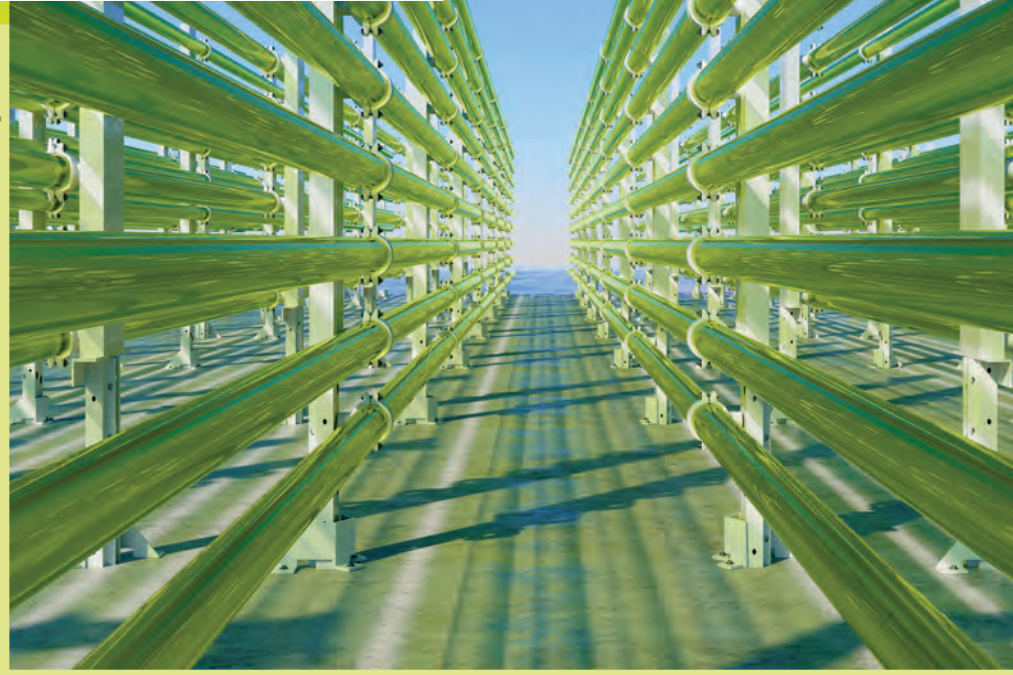
oluşuyor. Bu tür biyoküteller farklı oranlarda selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriyor.

Katı Atıklar: Bu atıklar arasında kentsel katı atıklar (kağıt, plastik vb.), atık su çamurları, gıda atıkları ve hayvansal atıklar sayılabilir. Katı atıkların bileşimleri büyük ölçüde

farklılık gösterir. Örneğin çoğu katı atık yüksek oranda selüloz içerirken bu oran sığır gübresinde oldukça düşüktür. Genel olarak nem veya su bakımından zengin olan katı atıklardaki su oranının fazla olması enerji verimliliğini azaltır ancak öte yandan işleme kolaylığı gibi bir avantaj da sağlar.

Mikroalgler: Yenilenebilir enerjinin öneminin giderek arttığı bu dönemlerde, biyoyakıtlar geleneksel fosil yakıtların yerini doldurabilecek önemli adaylardan biri olarak kabul ediliyor. Çeşitli biyolojik kaynaklardan yetiştirilebilen ve hasat edilebilen biyokütleden elde edilen biyoyakıtların üretimi için son 50 yıldır yenilikçi çalışmalar yapılıyor.

Birinci nesil biyoyakıtların üretimi büyük ölçekli hammadde üretimine ve dolayısıyla da büyük ölçülerde ekilebilir tarım arazilerine ihtiyaç duyuyor. Zamanla pek çok açıdan kaygılara yol açan birinci nesil biyoyakıtlar üzerine yapılan araştırmaların odağı hammadde olarak selülozik biyokütlerle, bitkilerin yenmeyen kısımları, saman, gübre, kullanılmış yağ, odun ve talaş gibi gıda dışı maddeleri kullanan ikinci nesil biyoyakıtlar oldu. Bu biyoyakıtların da çoğunlukla maliyetli üretim aşamaları ve modern teknikler gerektirdiği düşünüldüğünde endüstriyel olarak istenilen seviyede



onurdongel / iStock

Tüp biyoreaktörlerde üretilen mikroalgler biyoyakıt için kullanılıyor.

olmadıkları görüldü. Daha sonra üçüncü nesil biyoyakıt üretimi için mikroalgere odaklanan araştırmacılar bu sayede diğer biyoyakıt kaynaklarının zayıflıklarının üstesinden gelmeyi hedefledi.

Algler fotosentetik sucul organizmalardır. Şimdiye kadar 40.000'den fazla türü tanımlanmıştır. Genel olarak boyları 0,4 mm'ye kadar olanları mikroalgler, daha büyük uzunluktakiler ise makroalgler

olarak kabul ediliyor. Her iki sınıf da temel olarak protein, karbohidrat ve lipitten oluşuyor.

Mikroalglerin biyoyakıt üretimi için tercih edilmesi ve araştırmaların odağı hâline gelmesinin pek çok sebebi bulunuyor. Öncelikle, biyoetanol ve biyodizel de dâhil olmak üzere birçok farklı türde sürdürülebilir biyoyakıt üretiminde kullanılabiliyorlar. Dahası, üretim alanı bakımından diğer nesillerle karşılaştırıldıklarında 20 kat daha fazla biyoyağ sağlayabiliyorlar. Basit hücresel yapıları ve lipit açısından zengin olmaları onları etkili bir biyoyakıt hammaddesi yapıyor. Üstelik hasat döngüleri kısa ve büyüme hızları yüksek. Bunların yanında kaliteli tarım arazilerine ihtiyaç duymadıkları için gıda tedarikinde aksaklıklara yol açmıyorlar. Son olarak mikroalgler daha az işlemle geçirilerek biyoyakıt hâline getirilebiliyor.

Tür	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)
İşlenmiş kağıt	47	25	12
Plastikler	65	15	7,5
Gıda atıkları	45	5,3	13
Kümes hayvanı atıkları	11	16	4
Sığır gübresi	2,7	2,3	4,5

Bazı katı atıkların kimyasal bileşenleri (% ağırlıkça)



Akhararat Wathanasing / Alamy

Bilim insanları önemli bir biyoyakıt hammaddesi olan mikroalgler üzerine araştırmalar yapmaya devam ediyor.

Süreç içerisinde birçok ülke biyoyakıt üretiminin önemini kavradı ve fosil yakıtlara olan bağlılığı asgari düzeye çekebilmek için yapılan çalışmalara hız verdi. Buna bağlı olarak biyoyakıt üretimi üzerine yapılan araştırmalar ve küresel biyoyakıt üretimi sürekli biçimde artış eğilimi gösterdi. Günümüzde pamuk, soya, şeker pancarı, kanola, mısır, papaya ve benzeri mahsuller gibi birçok çeşit tarım ürünü genetiği değiştirilmiş organizma (GDO) teknolojisi ile toplu olarak üretilebiliyor. Bu sayede biyoyakıt hammaddelerinin üretim kapasitelerinin ve biyoyakıt özelliklerinin geliştirilmesi hedefleniyor. Benzer şekilde GDO teknolojisi lipit verimliliğini artırmak için mikroalgler de uygulanabilir. Yapılan bazı çalışmalar mikroalg biyokütlesinin lipit üretkenliğini artırmak için birkaç mikroorganizma türünün genetik olarak değiştirilebileceğini gösteriyor.

Bunların yanında tuzlu ve atık suda yetiştirilebilmeleri, çöl ve kurak arazi toleranslarının yüksek oluşu, karbondioksiti karbon kaynağı olarak kullanmaları, zehirli olmamaları

ve biyolojik olarak yüksek oranda parçalanabilmeleri gibi önemli özellikleri de algleri biyoyakıt hammaddesi olarak alternatiflerine göre daha üst suralara taşıyor.

Birinci Jenerasyon
(Yenilebilir tarımsal ürünler)



Hasat

Öğütme ve Ezme

Durultma

Buharlaştırma

İkinci Jenerasyon
(Yenilmeyen ürünler ve atıklar)



Hasat

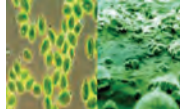
Ezme

Ayırma

Sıvı

Katı

Üçüncü Jenerasyon
(Mikroalgler vb.)



Hasat

Karışımdan çekip alma

Biyokütle

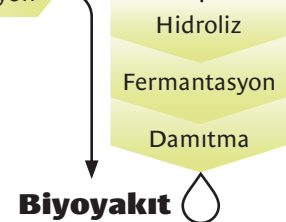
Alg yağı

Transesterifikasyon

Dördüncü Jenerasyon
(Genetiği değiştirilmiş ürünler)



Farklı nesil biyoyakıtların üretim süreçleri



Küresel ısınmanın önüne geçebilmek için izlenebilecek yollardan birisi de temiz enerji kullanımının yaygınlaştırılmasıdır. Biyoyakıtlar, sürekli artan enerji ve çevre sorunlarının üstesinden gelebilmek için önemli adaylardan biri olarak görülüyor. Elbette bu gibi yenilenebilir teknolojileri hayata geçirmek için ekonomik ve sosyal açılardan uygulanabilir, araştırma ve teknoloji yatırımları ile güçlü, kapsamlı ve destekleyici politikalara ihtiyaç duyuluyor.

Biyoyakıt teknolojilerinde geleneksel teknolojilerin bu alanlara yönelik yatırımlarına yön veriyor. Çevre dostu olmaları beklentisinin yanında; araştırma eğilimleri, patent alınan çalışmalar, sürdürülebilirlik, verimlilik, maliyet, pazar payı ve uygulanabilirlik gibi pek çok unsur biyoyakıt teknolojilerinin çeşitli alanlara entegrasyonunda belirleyici rol oynuyor.

➤ Biyoyakıtlarla Çalışan Birleşik Isı ve Güç Santralleri

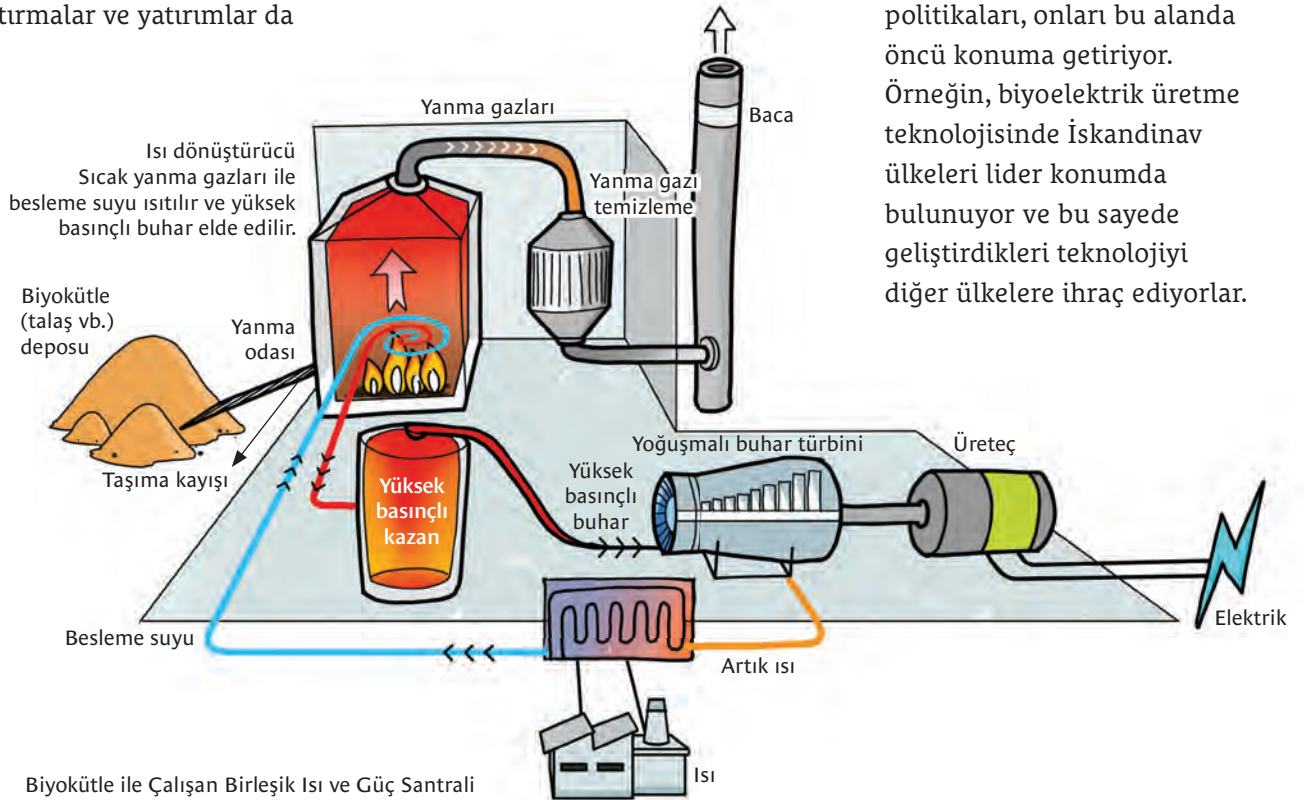
Çevresel ve ekonomik özellikleriyle ön plana çıkan, elektrik ve ısı üreten bu santraller yaklaşık %90 verimlilik oranına sahip. Geleneksel santraller ile kıyaslandıklarında ise çok daha az sera gazı salımı ile çevre dostu özellik gösteriyorlar.

Fosil yakıtlar yerine biyokütle, biyogaz ve biyometan gibi çeşitli biyoyakıtlar kullanılan bu santraller Avrupa'da giderek yaygınlaşıyor. Bazı ülkelerin biyoyakıt teknolojilerine yönelik politikaları, onları bu alanda öncü konuma getiriyor. Örneğin, bioelektrik üretme teknolojisinde İskandinav ülkeleri lider konumda bulunuyor ve bu sayede geliştirdikleri teknolojiyi diğer ülkelere ihraç ediyorlar.

Hızla Büyüyen Biyoyakıt Teknolojileri ve Üretilen Bazı Biyoyakıtlar

Küresel enerji talebindeki sürekli artışa bağlı olarak biyoyakıt teknolojileri üzerine yapılan araştırmalar ve yatırımlar da

benzer şekilde artıyor. Çevre dostu ve sürdürülebilir biyoyakıt teknolojilerini düşük maliyetlerde gerçekleştirme hedefiyle yön verilen çalışmalardan bir kısmı enerji pazarında belirleyici rol oynayabiliyor. Bu bağlamda belirli biyoyakıt ve üretim teknolojisi türleri öne çıkıyor.



➤ **Biyoyakıtlı Gaz Türbinleri**

Gaz türbinleri yanma sırasında sürekli olarak alev oluşturan motorlardır. İçten yanmalı bir tür olan bu türbinler, sıkıştırılmış havaya püskürtülen yakıtın ateşlenmesi sonucunda ortaya çıkan enerjiyi dönme hareketine çevirir. Yük sektörü verimlilikleri nispeten düşük olmasına rağmen esnek boyutsal tasarım ve uygulama kolaylığı gibi çeşitli avantajları sayesinde sıklıkla tercih edilirler. Çok çeşitli biyoyakıtlarla çalışan bu türbinleri geliştirmek üzere araştırmalar yürütülüyor. Biyoyakıtlarla geleneksel yakıtlar karıştırıldığında bile daha az sera gazı emisyonu olduğu ve çevreye zararlı etkilerin azaltıldığı ortaya kondu.

➤ **Biyogaz ve Biyometan**

Biyogaz, organik maddenin oksijensiz ortamda bakteriler tarafından parçalandığı biyolojik bir süreç sırasında oluşan yanıcı gazların karışımına deniyor. Organik madde kentsel katı atık depolama alanlarından ve çeşitli atık işleme tesislerinden geliyor. Biyogaz üretimi atık işleme tesislerinin kapasitesine bağlılık gösteriyor.

Biyogaz (hacimce yaklaşık %60-70 oranında metan içerir) normal hâliyle genellikle pişirme, aydınlatma ve ısıtma için kullanılıyor. Ancak karbondioksit ve diğer küçük miktarlardaki gazlar uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen yüksek saflıktaki biyometan, tüm sıkıştırılmış doğal gaz uygulamaları için elverişli hâle geliyor. Biyometanlaştırma denilen bu yöntemin verimliliği ise henüz hedeflenen seviyelerin altında seyrediyor.

Avrupa ülkeleri biyogaz üretiminde lider konumda bulunuyor. Almanya ise Avrupa ülkeleri içinde biyogaz üretiminin %53 gibi önemli bir kısmını gerçekleştirerek bu konuda öncü durumda. Birleşik Krallık, Fransa ve İtalya da listede sırasıyla onun ardında geliyor.

➤ **Sentez Gazı**

Hidrojen ve karbonmonoksit başta olmak üzere karbondioksit ve metan gibi çeşitli bileşenlerin karışımından oluşan gazlaştırma ürününe sentez gazı deniliyor. Kendi başına yakıt olabildiği gibi biyokütleden yakıtla dönüştürme süreçlerinde bir ara madde olarak da kullanılıyor. Besleme hammaddesi türüne ve işlem koşullarına bağlı olarak sentez gazı düşük miktarlarda çeşitli bileşikler de içerebiliyor. Bu durum yakıt özelliklerini ve verimliliğini etkiliyor.

Ticari olarak sentez gazı üretimi için kullanılan yakıtın büyük çoğunluğunu kömür (%51) oluştururken bunu petrol kalıntıları (%25), doğal gaz (%22) ve bir petrol rafinasyon ürünü olan petrokok (%1) izliyor. Geri kalan kısım ise değerli kimyasalların veya yakıtların sentezi için kullanılan biyokütleden oluşuyor.



eye35-pix / Alamy

Biyodizel

Biyodizel, yenilebilir veya yenilmeyen yağlardan elde edilen yağ asitleri olan metil-esterlerinin bir karışımıdır. Üretim maliyetleri kullanılan hammadde ve katalizöre göre büyük oranda değişiklik gösterebilir. Bileşimleri kullanılan ana hammaddeye göre değişiklik gösterse de elde edilen son ürünün kimyasal ve fiziksel özelliklerinin geleneksel dizel yakıtlarla benzerlik göstermesi sayesinde biyodizel yakıtlar yaygın olarak kullanılıyor. Yapılan çeşitli çalışmalarda biyodizel yakıtın petrol bazlı dizel yakıta göre daha düşük karbondioksit ve partikül emisyonuna yol açtığı ve bu nedenle daha çevre dostu olduğu bildiriliyor.

Bitkisel bazlı doğal yağlar, hayvansal yağlar ve atık yağlardan transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen biyodizel yakıt üretimi yıllar içerisinde hızlı bir şekilde arttı. ABD ve Brezilya



Mısır Mahsulü:

Hasadı gerçekleştirilen mısır, öğütme işlemine gönderilir.



Öğütme/ Ezme:

Besleme stoğu bazen mümkün olduğunca çok fermente edilebilir şeker elde etmek için işlenir.



Fermantasyon:

Maya eklenir ve şekerler alkole dönüştürülür.



Moleküler Elek:

Etanol ayrılır, damıtılır, süzülür ve depolanır.



E85: Elde edilen etanol, benzin veya diğer hidrokarbonlarla belli oranlarda karıştırılarak kullanılır. Burada kullanılan E85 kısaltması hacme göre %85 etanol ile %15 benzin veya diğer hidrokarbondan oluşan etanol yakıt karışımını ifade eder.

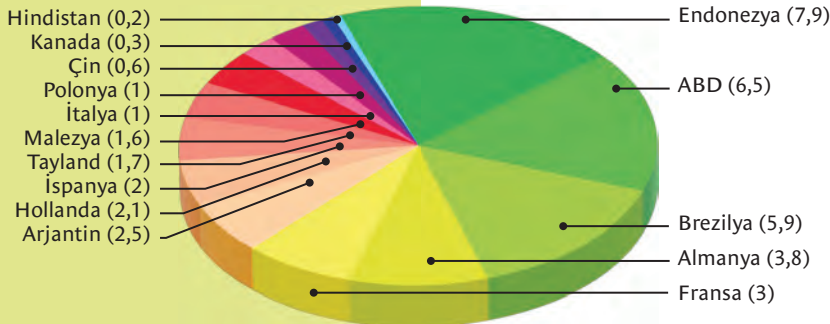
Mısırdan biyoetanol üretim süreçleri

biyodizel üretiminde öncü ülkeler arasında yer alıyor. 2018 yılının mayıs ayında ABD'de üretilen 568 milyon litre biyodizelin yarısına yakın kısmının ihraç edildiği göz önüne alındığında üretimin büyüklüğü ve ekonomik boyutları hakkında fikir sahibi olunabilir. Geline son noktada ülkelerin biyodizel üretimine verdikleri çeşitli teşviklerin de çok önemli rol oynadığını belirtmek gerekiyor.

Biyoetanol (Yakıt Alkolü)

Biyoetanol en umut verici biyoyakıtlardan birisi olarak gösteriliyor. Birinci nesil yakıt olarak üretimi söz konusu olduğunda, tropikal ve subtropikal bölgelerde şeker kamışı ana hammadde olarak yaygın şekilde kullanılırken dünyanın diğer kesimlerinde mısır ön plandadır. Biyoetanol ayrıca lignoselülozik hammaddeler yardımıyla ikinci nesil bir yakıt olarak da sentezlenebiliyor.

Mısır, arpa, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi yüksek oranda nişasta ve şeker içeren ürünler ile biyoetanol üretimi gerçekleştirilebiliyor. Tahıllarda maya kullanarak fermantasyon işlemi gerçekleştirilmek



Küresel biyodizel üretiminde öncü ülkeler (milyar litre) (2019)

biyoetanol üretimi için en yaygın kullanılan süreçlerden biridir. Bu üretim sürecinde önce geleneksel öğütme işlemi ile boyutları küçültülen hammadde, suyla karıştırılarak bulamaç hâline getiriliyor ve ardından mayalama işlemi gerçekleştiriliyor. Daha sonra karışım damıtılarak saf etanol elde etmek için moleküler bir elekten geçiriliyor.

Enerji eşdeğeri fosil yakıtlardan düşük olmasına rağmen oksijen içeriği daha temiz bir yanma sağlar. Bu yüzden benzin için yaygın olarak kullanılan bir katkı maddesidir. Örneğin, E15 (%15 biyoetanol, %85 benzin) ve E85 (%85 etanol, %15 benzin) değişen oranlarda benzin ve etanol karışımı yakıtları ifade ediyor.

Üretiminde tarımsal ürünlerin kullanılması, çoğu alkol bazlı yakıttan daha az zararlı olması, yanma sonucunda daha az miktarda zararlı yan ürünün açığa çıkması ile üretim ve yanma süreçlerinde açığa çıkan karbondioksitin büyük bir bölümünün yetiştirilen tarımsal bitkiler tarafından geri emilmesi gibi olumlu özellikleri biyoetanolün geleneksel yakıtlara önemli bir alternatif olarak benimsenmesini sağlıyor.

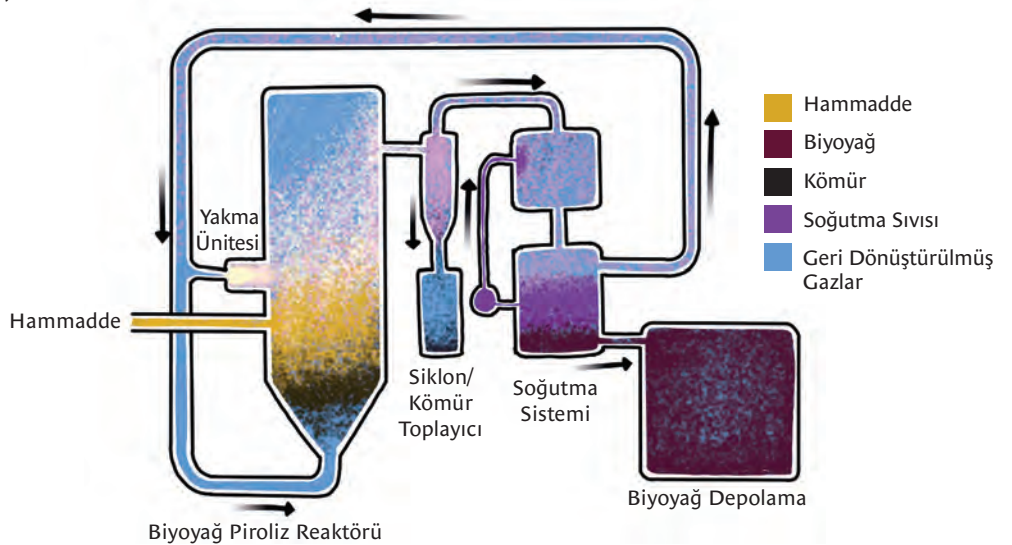
➤ Biyobütanol

Etanol ve biyodizelden daha az bilinmesine rağmen, içten yanmalı motorlarda kullanıldığında büyük faydalar sağlayan ve gelecekte daha önemli bir konuma gelmesi beklenen yenilenebilir bir yakıt olan biyobütanol, biyokütle fermantasyonu ile üretilebiliyor. Geleneksel yakıtlarla karıştırılabilmesi sayesinde zararlı emisyonların azaltılmasını sağlayan biyobütanol günümüzde oldukça az üretiliyor. Tarımsal biyokütleler kullanılarak gerçekleştirilen biyobütanol üretimi, nüfusun beslenme ihtiyaçlarını olumsuz etkileyebileceği için hâlâ tartışılıyor. Ancak biyobütanol üretiminde mikroalglerin kullanılması bu soruna bir çözüm sunuyor. Daha önce açıklandığı üzere, mikroalgler üçüncü nesil bir hammadde olarak hızlı büyüme oranları ve yüksek karbonhidrat içeriğine sahip olmaları ile öne çıkıyor.

➤ Biyo-piroliz Yöntemi

Oksijensiz ortamda biyokütlenin parçalanması süreci biyo-piroliz olarak tanımlanıyor. Biyokütledeki organik moleküller parçalanarak elde edilen ürünler işlenip yakıt hâline getiriliyor. Biyo-piroliz teknolojileri yüksek verimlilik nedeniyle son dönemlerde büyük ilgi görüyor. Yavaş, orta, hızlı ve ani olmak üzere dört kategoride sınıflandırılan yöntemler arasında hızlı ve ani piroliz teknikleri yüksek verime sahip olmaları yüzünden daha çok tercih ediliyor.

Hızlı piroliz ile daha yüksek verimlilikte biyoyağ üretimi gerçekleştirilebiliyor. Bu işlem biyokütlenin 300 °C/dakika hızla ısıtılmasıyla başlıyor. Biyokömür, piroliz yağı ve yoğunlaşmayan gazlar ana ürünler olarak elde ediliyor. Piroliz süreci sonunda toplanan biyoyağ, organik bileşiklerden oluşan bir karışım olup



Hızlı piroliz işlemi ile biyoyakıt üretimi

kullanılabilir hâle getirilmek üzere işleniyor. Biyo-piroliz yönteminin atmosfer basıncında çalışması ve %70'in üzerinde verimliliğe sahip olması önemli avantajları olarak değerlendiriliyor.

➤ Torrefaksiyon (Ilımlı Piroliz) ve Peletleme

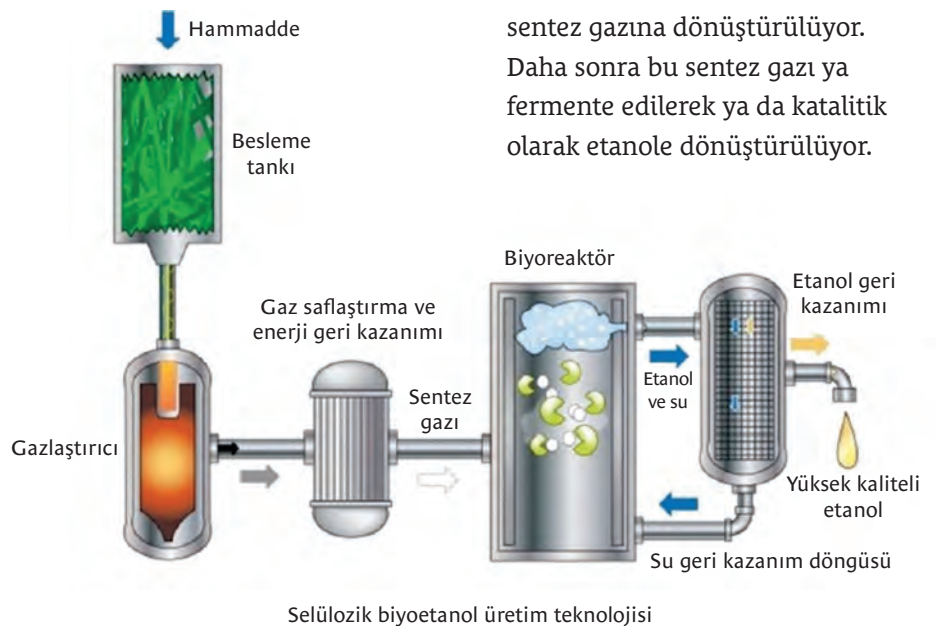
Torrefaksiyon, biyokütleden daha yüksek kaliteli yakıt üretilmesini sağlayan termal bir ön işlem olup temel amacı; biyokütlerdeki oksijeni uzaklaştırarak içeriğindeki karbon oranını arttırmaktır. Torrefaksiyon işlemi biyokütlenin özelliklerini geliştirdiği için giderek daha da önemli hâle geldi. Düşük ısıtma hızlarında yapılan bu işlem sayesinde, biyokütlenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde kritik gelişmeler sağlanıyor. Geliştirilen özellikler arasında biyokütlerdeki sabit karbon oranının artması, daha yüksek ısı değere sahip ürün elde edilmesi, su tutucu özelliğın azalması, oksijen ve uçucu bileşenler uzaklaştırıldığı için yakma işlemi sırasında daha az miktarda zararlı gaz emisyonu sağlanması, biyokütlenin daha kolay ezilebilir hâle gelmesi ve düşük nem içeriği elde edilmesi sayılabilir.

Torrefaksiyon işlemi ile biyokütlerde daha az uçucu madde kaldığından dolayı yanma sırasında daha az duman salınması

Stringfellow, T., "An independent engineering evaluation of waste-to energy Technologies", 2014.



sağlanır, ayrıca nem içeriği azaldığından dolayı yanma daha kolay gerçekleşir. Peletleme ise fiziksel bir işlemdir. Peletleme sırasında biyokütle atıkları mekanik yollarla sıkıştırılır ve benzer büyüklüklerde katılar elde edilir.



Biyokütlenin lifli yapısı ve dayanıklılığının ortadan kaldırıldığı bu ısıl işlem temel olarak ısıtma, ön kurutma, son kurutma, torrefaksiyon ve soğutma aşamalarından oluşur.

➤ Selülozik Biyoetanol

Etanol üretimi için yenilmeyen bitki ve tarım atıkları kullanılabilir. Böylece selülozik biyoetanol üretimi için hammadde bulmak fazla sorun olmuyor. Selülozu etanole dönüştürmek için çok farklı yöntemler bulunmasına rağmen bunlardan iki tanesi ön plana çıkıyor.

İlk olarak hidroliz işlemi ile etanol elde edilebiliyor. Bu yöntemde selüloz şeker moleküllerine parçalanıyor ve daha sonra etanole fermente ediliyor. İkinci yöntem ise termokimyasal dönüşüm. Bu yöntemde besleme tankına giren biyokütle, gazlaştırıcıda yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak sentez gazına dönüştürülüyor. Daha sonra bu sentez gazı ya fermente edilerek ya da katalitik olarak etanole dönüştürülüyor.

Blanco S., "Coscata's new Lighthouse cellulosic ethanol plant, in depth", 2009.

Biyoyakıtlar genel olarak değerlendirildiğinde çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik açılarından olumlu ve olumsuz yönler sergiledikleri görülüyor. Biyoyakıt üretiminin artması ile sera gazı emisyonlarının azaltılması, enerji güvenliği, kırsal bölgelerde istihdam sağlanması ve ekonomik kalkınma gibi olumlu beklentiler gerçekleşebileceği gibi öte yandan da gıda üretimine yönelik tarım alanlarının azalması ve gıda fiyatlarının artma eğilimi göstermesinin yanında arazilerin, ormanların, su kaynaklarının ve ekosistemin bozulması riskleri ile de karşılaşılabilir. Bunların yanında sulama için temiz su kaynaklarının kontrolsüz kullanımı, ürün yetiştirilmesi için doğaya zararlı suni gübre/pestisit uygulamaları ve zirai ilaçlama gibi hususlar çevre üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabilir.



Havacılık Sektöründe Biyoyakıtlar

Uçak yolculukları en çok karbon kirliliğine yol açan faaliyetlerin başında geliyor. Yaklaşık 11.000 km'lik bir uçak yolculuğu için yolcu başına doğaya salınan karbondioksit (CO₂) miktarı, 50 ülkedeki herhangi bir kişinin yıllık karbondioksit emisyonundan daha fazladır. Uçaklar her yıl yaklaşık 920 milyon ton CO₂ salınmasına yol açıyor ve bu da dünyadaki tüm sera gazı emisyonlarının yaklaşık %3,5'ine karşılık geliyor.

Yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli otoriteler tarafından bu alanda gerçekleştirilen girişimlerin umut verici olduğu değerlendiriliyor. Farklı biyokütlelerin kullanılmasıyla elde edilen yakıtlar sayesinde, gelecekte hava yolculukları sırasında doğaya salınan sera gazlarının önemli ölçüde azaltılacağı düşünülüyor.

Mart 2021'de kimyager Derek Verdon ve arkadaşları Ulusal Bilimler Akademisine biyokütle kullanarak petrol bazlı versiyonun maliyetine yaklaşabilecek şekilde jet yakıtı elde edilebileceği bilgisini sundu. Bu tarihten sonra sürdürülebilir havacılık yakıtları için küresel anlamda çeşitli girişimler gerçekleştirildi. Şimdilik üreticiler tarafından yaklaşık olarak yılda 100 milyon litre yakıt üretimi gerçekleştiriliyor. 2030 yılına kadar pazar hacminin yaklaşık 70 kat büyüyerek 15,7 milyar dolara ulaşması bekleniyor.

Şimdilik yavaş yavaş da olsa uçaklarda biyoyakıt kullanımı başladı. Dünya çapında bazı havayolu firmaları önümüzdeki dönemde 21 milyar litre sürdürülebilir havacılık yakıtı almak için çeşitli anlaşmalar gerçekleştirdi. 2008 yılında uçuşlarda ilk defa karışım



CHIH YUAN Ronnie Wu / Alamy

olarak biyoyakıtlar kullanılmaya başlandı ve o zamandan beri uçaklarda kullanılıyor. Tamamen biyoyakıt kullanılan ilk yolcu uçuşu ise ancak 2021 yılında gerçekleştirilebildi.

Havacılık yakıtı olarak çeşitli ihtimaller arasında selülozik etanol üretimi biraz daha ön planda gözüküyor. Bu süreçte, tarla ve orman atıklarından mikrobiyal enzimler vasıtasıyla şeker elde edip onun fermantasyonu ile yakıt üretiliyor. Elbette burada üretim kolaylığı ve maliyet gibi parametreler büyük ölçüde belirleyici oluyor. Yapılan çalışmaların en önemli itici güçlerinden birisi olarak küresel iklim değişikliğini gösterebiliriz. Çünkü geleneksel fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında mısır türevi etanol kullanarak CO₂ emisyonu %20 ila %40 oranında azaltılabiliyorken bu oran atık biyokütlerle kullanıldığında %90'lara kadar çıkabiliyor.

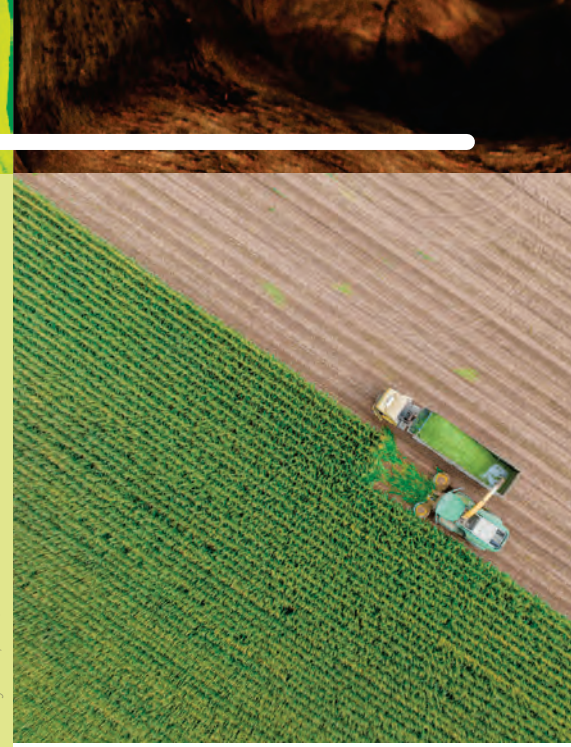
Standartlara uygun şekilde onaylanan jet yakıtı üretiminin iklim hedeflerini gerçekleştirmek adına son derece gerekli olduğunu belirten araştırmacılar şirketlerin üretim maliyetlerini azaltmak için mümkün olduğunca yerel atıkları kullanmalarının gerekliliğini vurguluyorlar.

Tüm bu pozitif değerlendirme ve çabalara rağmen Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nde sürdürülebilir havacılık yakıtı

maliyetinin petrolden türetilene göre hâla üç kat daha pahalı olduğu bildirildi. Havayolu şirketlerinin temiz yakıt kullanımından kaynaklı ek masrafları yüklenmeye pek gönüllü olmayacağı ve bu durumda da yakıt dönüşümünü sağlamanın hayli zor olacağı değerlendiriliyor. Ancak dünya çapında 290 havayolu firmasını bünyesinde bulunduran Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği, havacılık endüstrisinin karbon emisyonu hedefleri kapsamında, sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanılması taahhüdünde bulundu. Avrupa Komisyonu'da bu konuda bazı girişimlerde bulunuyor. Buna göre yakıt tedarikçilerinin jet yakıtındaki temiz yakıt oranını 2050 yılına kadar %63'e çıkarması bekleniyor.

Elbette sadece getirilen kurallar ile biyoyakıt sektörünün gelişmesinin ve istenilen düzeyde temiz yakıt kullanılmasının sağlanamayacağı çok açık. Bunun için bazı ülkeler yakıt üreticilerine temiz yakıt kullanarak önüne geçtikleri her bir ton CO₂ emisyonu başına teşvik vermek gibi çeşitli destekleri hayata geçiriyor.

temizyurek/istock

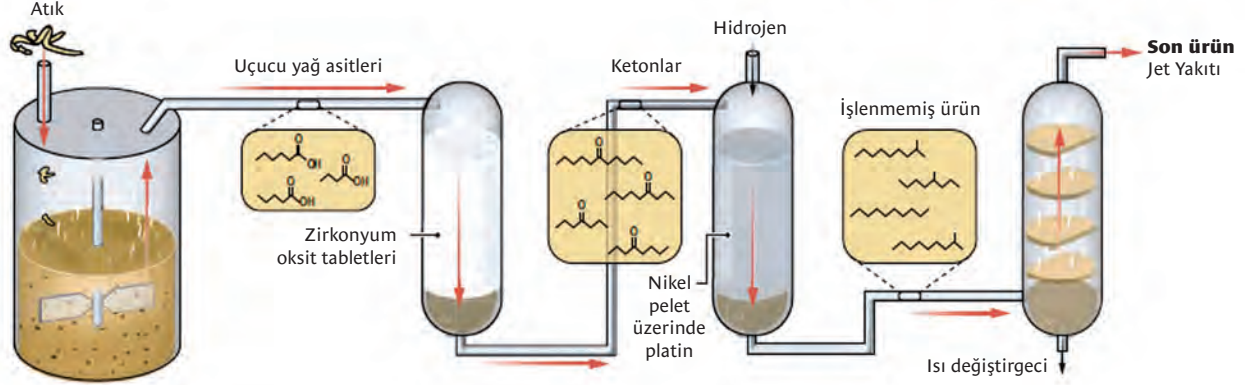


Ülkemizde Biyoyakıtlar

Ülkemizde sürdürülen biyoyakıt politikalarının ilk adımları oldukça eskiye dayanıyor. 1931 yılında Ziraat Kongresi'nde konunun gündeme getirilmesini takiben, 1934 yılında "Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanımı" ile ilgili bir çalışma gerçekleştirildi. Sonrasında ise 2000'li yılların başlarından itibaren kamu ve özel sektörün katkılarıyla çeşitli biyoyakıt politikaları hız kazandı.

Ülke genelinde 2021 yılında yaklaşık 194 milyon ton hayvansal atık, 62 milyon ton bitkisel atık ve 32 milyon ton belediye atığı gibi işlenebilecek atıkların teorik enerji eşdeğerinin 34 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) olduğu belirtiliyor. Diğer bir ifadeyle, bu miktarda atıktan elde edilebilecek enerji, 34 milyon ton petrolün yanmasıyla elde edilen enerjiye karşılık geliyor.

Gıda atıkları ve çöpler gibi atık karbon kaynakları çeşitli işlemlerle jet yakıtına dönüştürülüyor.



Fermantasyon ve Ayırma

Gıda atıkları mikroplar eşliğinde daha küçük hidrokarbon yapılar olan uçucu yağ asitlerine dönüştürülür.

Ketonizasyon reaktörü

Katalizör aracılığıyla yağ asitlerinden ketonlar elde edilir.

HDO-ISO reaktörü

Burada ketonlar ve hidrojen katalizör eşliğinde daha büyük hidrokarbonlara dönüştürülür ve oksijen atomları ortamdan uzaklaştırılır.

Damıtma

Elde edilen hidrokarbonlar uzunluk ve ağırlıklarına göre ayrılır ve en hafif kısım jet yakıtı olarak kullanılmak üzere ayrılır.

2021 yılı itibarıyla ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik kurulu gücünün toplam kurulu güce oranı %53'e ulaştı. Türkiye 2002-2020 döneminde yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik kurulu gücünü en çok artıran Dünya'da 9., Avrupa'da da 4. ülke konumunda yer aldı. Enerji Bakanlığı verilerine göre, ülkemizde biyokütle enerjisine dayalı kurulu güç 2004-2020 yılları arasında yaklaşık olarak 50 kat artış gösterdi.

Ülkemizde sıvı biyoyakıtlar ile elektrik üretimine 2014 yılında başlanırken 2018 yılında da belediye atıklarından elektrik üretimi aktifleştirildi. Biyokütle kaynaklarından elektrik üretim potansiyeli ile birlikte biyogaz üretimi de 2010 yılından 2020 yılında gelindiğinde yaklaşık 10 kat arttı.

Biyokütle enerjisinin ülkede daha verimli ve etkin olarak değerlendirilmesi için çeşitli politika ve stratejilerin geliştirilmesi adına kamu kurum ve kuruluşları, üniversiteler, sivil toplum kuruluşları ve diğer tüm paydaşlar aralıksız bir şekilde çalışmalara devam ediyor. Biyokütle kaynakları bakımından zengin olan ülkemizde bu kaynakları daha verimli şekilde kullanabilmek için araştırmacılara da büyük görev düşüyor. Mevcut politikaların sürekli geliştirilmesi ve ortaya konacak yeni politikalar, biyoyakıt üretiminin yaygınlaştırılması ve sürekliliğinin sağlanması adına büyük önem taşıyor.

Kısa Bir Değerlendirme...

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyoyakıtlar ve özellikle de sıvı biyoyakıtlar bazı önemli avantajlar taşıyor. Bu biyoyakıtlar ihtiyaç duyulduğunda kolay bir şekilde depolanıp taşınabiliyor. Fosil yakıtlara kıyasla daha düşük karbondioksit, mikro kirletici ve partikül madde emisyonlarına yol açıyor ve çevre dostu özellik gösteriyorlar. Ayrıca biyoyakıtlar, enerji bitkileri yetiştirme veya atık biyokütle geri kazanımından nihai üretime kadar tekrar eden döngüleriyle döngüsel ekonomi modeline katkıda bulunur. Bunlarla beraber, ülkelerin enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine,

enerji güvenliğinin sağlanmasına, atıkları etkin bir şekilde değerlendirme ve geri dönüşüme katkıda bulunmasına ve enerji piyasalarının istikrarının sağlanmasına da yardımcı olurlar.

Birinci nesil biyoyakıtlar oldukça iyi bir şekilde tanımlanmış olup biyoyakıtların ana kaynağı olmalarına rağmen büyük miktarlarda gıda kullanarak üretilmeleri yüzünden gıda güvenliği tartışmalarına yol açıyorlar. 2017 verilerine göre dünya genelinde 821 milyon insanın yetersiz beslendiği değerlendirildiğinde birinci nesil biyoyakıtların alternatiflerine yönelmek gerekli görülüyor. İkinci nesil biyoyakıtlar üretilirken gıda dışı hammaddeler kullanılıyor ancak bunlarda da geniş arazilere ihtiyaç duyulması arazilerin ve ekosistemlerin bozulmasına yol açabiliyor.

Biyoyakıtların geleceği için araştırmacılar üçüncü ve dördüncü nesil biyoyakıtlara yöneldiler. Bunun için mikroalgler pek çok açıdan sahip oldukları olumlu yönler ile öne çıkıyor. Mikroalg yetiştirilirken tatlı su kaynaklarının kullanılmasının temiz su kaynaklarını olumsuz şekilde etkileyeceği de belirtiliyor ancak atık sular ve zor koşullarda üretim yapılmasının sağlanması ile bu olumsuzluğun önüne geçilebileceği düşünülüyor. Henüz tam olarak ticarileştiğini söyleyemeyeceğimiz üçüncü nesil biyoyakıt teknolojileri üzerine araştırmalar devam ediyor. Dördüncü nesil biyoyakıtların üretimi için genetiği değiştirilmiş mikroalglerle yapılan çalışmalarda lipit veriminin %35 oranında arttırıldığı ve zorlu koşullara dayanıklı türlerin geliştirildiği ortaya kondu. Bu gelişmeler de dördüncü nesil biyoyakıtların

hayatımızdaki rolünün önümüzdeki yıllarda daha önemli olabileceğini işaret ediyor.

Gelecekte insanlığın ihtiyaç duyduğu enerjinin sağlanabilmesi için çeşitli temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının gerekliliği açıktır. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için çevre dostu ve sürdürülebilir kaynakların daha etkili bir şekilde kullanılması gerekiyor. Biyokütle hammaddelerinin üretim planlaması, yetiştirme stratejisi, hasat ve biyoyakıt dönüştürme teknolojileri gibi pek çok üretim ve hazırlama aşamasını iyileştirmek için yapılacak çalışmaların ekonomik bakımdan sürdürülebilir olması biyoyakıt teknolojilerinin belirlenmesinde önemli rol oynayacaktır. Sonuç olarak önümüzdeki yıllarda enerji arzının önemli bir bölümünü biyoyakıtların oluşturacağına neredeyse kesin gözle bakılıyor. ■

Kaynaklar

- Ruan, R., Zhang, Y. ve ark., Chapter 1 - Biofuels: Introduction, Editor(s): Pandey, A., Larroche, C., ve ark., *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels (Second Edition)*, Academic Press, 3-43, 2019.
- Sharma, S., Kundu, A. ve ark., "Sustainable environmental management and related biofuel technologies", *Journal of Environmental Management*, 273, 111096, 2020.
- Madvar, M.D., Aslani, A. ve ark., "Current status and future forecasting of biofuels technology development", *International Journal of Energy Research*, 43: 1142-1160, 2019.
- Aron, N.S.M., Khoo, K.S. ve ark., "Sustainability of the four generations of biofuels - A review", *International Journal of Energy Research*, 44:9266-9282, 2020.
- Jeswani, H.K., Chilvers, A., Azapagic, A., "Environmental sustainability of biofuels: a review", *Proceedings Of The Royal Society A*, 476, 20200351, 2020.
- Işık, S., Yavuz, S., "Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı 34, 193-201, 2022.
- Horuz, A., Korkmaz, A., Aknoğlu, G., "Biyoyakıt Bitkileri ve Teknolojisi", *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3(2), 69-81, 2015.
- Callegari, A., Bolognesi, S., Ceconet, D. ve Capodaglio, A.G., "Production technologies, current role, and future prospects of biofuels feedstocks: A state-of-the-art review", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50:4, 384-436, 2020.
- Chowdhury, H., Loganathan, B., "Third-generation biofuels from microalgae: a review", *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 20:39-44, 2019.
- Service, R.F., "Can Biofuels Really Fly?", *Science*, 376 (6600), 1394-1397, 2022.
- Üçgül, İ., Akgül, G., "Biyokütle Teknolojisi", *Journal of YEKARUM*, 1(1), 3-11, 2010.
- Dağdelen, D., "Küresel Biyoyakıt Politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi", T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, AB Uzmanlık Tezi, 2015.
- Liu, Y., Cruz-Morales, P. ve ark., "Biofuels for a sustainable future", *Cell*, 184, 1636-1647, 2021.
- Osman, A.I., Mehta, N. ve ark., "Conversion of Biomass to biofuels and life cycle assessment: a review", *Environmental Chemistry Letters*, 19:4075-4118, 2021.
- TÜBA Biyokütle Enerjisi Raporu, Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 46 ISBN: 978-625-8352-01-6 Ed.: Prof. Dr. M.H. Alma, 2022.
- Alma, M.H., Salan, T., Altukat, A., Altukat, S., "Biyokütlenin Termokimyasal Dönüşüm Süreçleri ve Reaktörler", Nobel, Ankara, 2021.