

Biyokütle Enerjisi

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Küresel ısınmanın hızını düşürmek için sera gazları salımını azaltmaya çalışan pek çok ülke biyokütleyle yöneliyor. Ancak biyoyakıtların kullanımının gerçekten de sera gazlarının salımını azaltıp azaltmadığı tartışma konusu. Çeşitli bilimsel çalışmalar, biyokütleden elde edilen enerjinin çevre dostu olmadığını ve kısa vadede küresel ısınmanın hızını artırdığını, uzun vadede yararlı olmasının ancak mevcut biyokütlenin artırılmasıyla mümkün olduğunu gösteriyor.

**Gerçekten de
Çevre Dostu mu?**



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 salımını 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 topakları 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



Biyokütle enerjisi için en çok hasadı yapılan bitkilerden biri şeker kamışı

küresel ısınmanın ana nedeni insan faaliyetleri sonucunda atmosferdeki karbondioksit miktarının artmasıdır. Peki öyleyse biyokütleden elde edilen enerji nasıl çevre dostu olabilir? Neden Avrupa Birliği ve çeşitli ülkeler biyoyakıtları karbon nötr olarak sınıflandırıyor?

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 hapsedilmiş karbonun atmosfere karışmasıyla sonuçlanır. Biyokütle ise zaten yeryüzündedir. İnsanlar yararına kullanılabilseler bile, mikroorganizmalar tarafından tüketilecekler ve içerdik-

leri karbon eninde sonunda karbondioksit olarak atmosfere karışacaktır. Dolayısıyla enerji üretiminde fosil yakıtlar yerine biyokütle kullanarak yer altında hapsedilmiş 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. Peki bu mantık doğru mudur?

Biyoyakıtların karbon nötr olduğu iddiası iki varsayuma dayanır. Birincisi yakıtla dönüştürülen biyokütle zaten atıktır. İnsanlar tarafından kullanılmasa bile zaten doğal olarak karbondioksit salımına neden

olacaktır. İkincisi biyoyakıt kullanan enerji santralleri tarafından salınan karbondioksit anında büyümekte olan bitkiler tarafından tüketilir. Bu varsayımların her ikisinin de doğru olduğu söylenemez. Birincisi, biyoyakıt üretiminde her zaman atıklar değil özel olarak üretilmiş bitkiler ve ormanlardan kesilen ağaçlar da kullanılır. İkincisi, biyoyakıt kullanan enerji santralleri tarafından salınan karbondioksit büyümekte olan bitkiler tarafından anında değil yavaş yavaş tüketilir. Dolayısıyla biyoyakıtlar ancak uzun vadede karbon nötr olabilir. Atmosferdeki karbondioksit miktarının azalmasına katkıda bulunmalarıysa ancak hâlihazırda bulunandan daha fazla biyokütle oluşmasına sebep olurlarsa mümkündür.

Biyokütleden enerji elde edilmesine karşı çıkanlar, biyoyakıt üretiminin ormansızlaşmaya neden olduğunu, çevreye zarar verdiğini ve biyoyakıtların tüketilmesinin kısa vadede atmosfere daha çok karbondioksit salınmasına sebep olarak küresel ısınmayı hızlandırdığını söylüyorlar. Biyokütle taraftarları ise ormanların sürdürülebilir bir biçimde kesilmesinin çevreye zarar vermeyeceğini, önemli olanın uzun vadede elde edilecek sonuçlar olduğunu iddia ediyorlar.

Odun topaklarının ve diğer biyoyakıtların kullanımının çevreye ve iklime olan etkilerini değerlendirmek için cevap bulunması gereken

iki temel soru var. Birincisi, belirli bir miktarda enerjinin üretimi sırasında fosil yakıtlar mı yoksa biyoyakıtlar mı daha çok karbondioksit salar? İkincisi, biyokütlenin yeniden büyüme sürecinin dinamikleri neler? Bu soruların ilkinin cevabı bulmak görece kolay. İkincisine cevap bulmaksa sistemin karmaşıklığı nedeniyle çok daha zor.

İlk soruyu ele alırsak, odun ve kömür içerdikleri enerjiye oranla hemen hemen aynı karbon yoğunluğuna sahiptirler. Ancak odunun yanma verimliliği kömüre göre daha düşüktür. Bu yüzden birinde odun, diğerinde kömür yakılan iki santralde aynı miktarda enerji üretildiğinde odun yakılan santral kömür yakılandan daha fazla karbondioksit salımı yapar. Ayrıca, tahminlere göre odunun tedarik ve nakliye sürecindeki kayıplar da kömürün tedarik ve nakliye

sürecindeki kayıplara kıyasla daha fazladır. Bu yüzden doğadaki biyokütlenin kendi hâlinde çürümeye bırakılmak yerine termik santrallerde hızla tüketilmesi kısa vadede atmosfere salınan karbondioksit miktarının artmasına sebep olur. Uzun vadede atmosfere salınan toplam karbon miktarı değişmeyeceği için, kömür yerine odun kullanılmasının, zamanla geri ödenecek bir “karbon borcu” oluşturduğu söylenir. Peki, bu borç ne kadar sürede geri ödenir? Bu da ikinci sorunun konusu.

Dünya’daki karbon döngüsünde yer alan pek çok bileşen var: atmosfer, topraklar, bitkiler, hayvanlar, ölü organik maddeler... Solunum, fotosentez, çürüme ve enerji üretimi gibi süreçler sırasında bu rezervler arasında karbon alışverişi olur. Enerji üretiminde kömür yerine biyokütle



Topak haline getirilmemiş ufak odun parçaları da bazen termik santrallerde yakılıyor.



Almanya'da biyokütle yakılan bir santral

kullanılmasının kısa ve uzun vadede atmosferdeki karbon miktarını nasıl değiştireceğini tahmin etmek için bu karmaşık sistemi modelleyip hesaplamak gerekiyor.

Biyokütle ile enerji üretiminin karbon döngüsüne etkileriyle ilgili bugüne kadar yapılmış önemli çalışmalardan biri 2018 yılında *Environmental Resource Letters*'ta yayımlandı. John Sterman ve arkadaşları tarafından yapılan bu çalışmada Dünya'daki karbon rezervleri ve bu rezervler arasındaki madde alışverişi diferansiyel denklemlerle modelleniyordu. Araştırmacıların vardığı sonuçlar, biyokütle enerjisinin zannedildiği kadar çevre dostu olmadığına işaret ediyor.

Araştırmacıların vardığı sonuçlardan birincisi, biyokütleyi çevre dostu ve yenilenebilir enerji olarak sınıflandıran pek çok ülkenin varsaydığı aksine, biyoyakıtlar karbon nötr değil. Biyokütlenin toplanması, nakliyesi, yakıtı dönüştürülmesi ve enerji santrallerinde tüketilmesi sırasında atmosfere salınan karbondioksit bitkiler tarafından anında tüketilmiyor. Tüm bu süreçler atmosferdeki karbondioksit miktarının artmasına sebep oluyor. Atmosferdeki karbondioksit miktarı çok uzun süre sonra azalmaya başlıyor. İkincisi, odunun yakılma ve işleme süreçlerinin verimlilikleri kömüre göre daha düşük. Bu yüzden termik santrallerde kömür yerine odun kullanılması başlangıçta atmosferdeki

karbondioksit miktarını artırarak bir karbon borcu oluşturuyor. Üçüncüsü, karbon borcu ödendikten sonra atmosferdeki karbondioksit miktarı azalacağı için biyoenerjinin uzun vadede yararlı olduğu iddia edilebilir. Ancak ara dönemde atmosferdeki karbondioksit miktarının artması küresel ısınmayı hızlandırıyor. Dolayısıyla, uzun vadedeki faydalardan önce geri dönülemez zararlar ortaya çıkması muhtemel. Dördüncüsü, biyoyakıtların uzun vadede yararlı olması ancak kullanılan biyokütlenin yenilenmesine izin verildikçe mümkün olabilir. Ormanların plansızca kesilmesi, erozyon ya da küresel ısınmayla birlikte giderek artan aşırı sıcaklar, yangınlar ve bitkisel hastalıklar gibi etkenlerin yenilenmeyi sınırlaması durumunda karbon borcu hiçbir zaman ödenmeyebilir. Dünyanın belirli bölgelerinin kömür yakmayı bırakması, kömür fiyatlarının ucuzlamasına ve başka bölgelerde kömür tüketiminin artmasına sebep olup durumu daha da kötüleştirebilir. Beşincisi, biyoyakıtı dönüştürmek için kesilen ormanların yerine hızlı büyüyen bitkiler ekmek, genellikle biyokütlenin yenilenmesi için iyi bir strateji olarak görülüyor. Ancak doğru değil. Çünkü bakımsız doğal ormanların karbon yoğunluğu bakımlı ve ekili alanlarınkinden çok daha yüksektir. Bu yüzden ekili bitkiler, hiçbir zaman kesilen ormanlardaki biyokütlenin yenilenmesini sağlayamaz. Üstelik ekilen bitkiler

hiçbir zaman hasat edilmese bile bu durum değişmiyor. Ekilen bitkilerin periyodik olarak hasat edilmesiyse durumu daha da kötüleştiriyor. Ekinlerin daha hızlı büyümesini sağlamak için kullanılan gübreler, bir başka sera gazı olan N_2O 'nun salınımını artırıyor. Altıncısı, biyoenerji için orman hasadının giderek artması atmosferdeki karbondioksitin de giderek artmasına sebep olacaktır. Çünkü her bir yıl içinde ortaya çıkan karbon borcu o yılki ödemenin altında kalacaktır. Yedincisi -ve belki de en önemlisi- biyokütlenin toplandığı alanlar yeniden ormanlaşsa, yangınlar ve hastalıklar biyokütlenin yenilenmesini engellemese, düşen fiyatlar sebebiyle kömür kullanımı artmasa, gübreler nedeniyle atmosfere salınan N_2O miktarı artmasa bile elektrik üretimi için fosil yakıtlar yerine biyoyakıtlar kullanılması on yıllar boyunca atmosferdeki sera gazları miktarının artmasına neden olacak ve küresel ısınmayı hızlandıracaktır. Biyoyakıtı dönüştürülen ağaçların türüne bağlı olmak üzere, karbon borcunun ödeme süresi 44 ile 104 yıl arasında değişiyor ve bu süre küresel ısınmanın hızı düşünüldüğünde çok uzun.

Paris İklim Konferansı'nda çok sayıda ülke 2050 yılına kadar küresel ısınmayı $2^{\circ}C$ ile sınırlandırmak için önlemler alacaklarına dair taahhütlerde bulunmuştu. Elde edilen sonuçlar, biyoyakıtların bu hedefe ulaşma açısından yararlı olmayacağını, hatta bu hedeften uzaklaştıracağını gösteriyor.

Bazıları, Serman ve arkadaşlarının modelinin gerçekte olanı doğru bir biçimde yansıtmadığını öne sürüyorlar. Çünkü kullanılan modelde bir bölgede eş zamanlı olarak dikilen ağaçların yıllar sonra yine eş zamanlı olarak kesildiği varsayılıyor. Ancak bir ormanın genellikle tamamı değil sadece %3-4'lik bir kısmı kesilir. Geriye kalan ağaçlar da yılda yaklaşık %1 oranında büyümeye devam ederler. Serman ise bu eleştirileri haksız buluyor. Bir ormanın belirli bir kısmının kesilmesinin kilometrelerce uzaktaki ağaçların büyümesine hiçbir olumlu katkısı olmadığını söylüyor.

Serman'ın sonuçlarını destekler nitelikte bir başka çalışma da yine 2018 yılında *Environmental Resources Letters*'ta Mary Booth tarafından yayımlandı. Booth, kendi oluşturdu-

ğu modellerle ormancılık faaliyetleri atıklarının kendi hâline bırakılması ve odun topaklarına dönüştürülerek enerji santrallerinde kullanılması durumlarında atmosfere salınacak karbondioksit miktarları hakkında tahminler yaptı. Sonuçlar, odun topakları üretmek için hiç ağaç kesilmese, sadece atık ağaç parçaları kullanılsa bile on yıl içinde atmosfere %55-79 daha fazla karbondioksit salınacağını gösteriyor. 40 yıl sonra bile bu değer %25-50 aralığında kalmaya devam ediyor. Booth da Serman gibi küresel iklim değişikliği açısından anlamlı denilebilecek bir süre için biyoyakıtların karbon nötr kabul edilemeyeceği sonucuna varıyor.

Öte yandan konu ile ilgili başka bir yanlış varsayım da daha hızlı büyüdükleri için genç ağaçların atmosferden daha fazla karbon çektiği. Ancak N. L. Stephenson ve arkadaşlarının 2014'te *Nature*'da yayımladıkları bir bilimsel çalışma, özellikle ılıman iklimlerdeki yaşlı ağaçların daha fazla fotosentez yaptığını ve atmosferden alıp bünyelerine kattıkları karbon miktarının daha fazla olduğunu gösteriyor. Özellikle yaş 200'ün üzerinde olan doğal ormanlar, insanlar tarafından idare edilen ve düzenli olarak ekilip kesilen ormanlara göre daha fazla karbondioksit tüketiyor. Bu durumun nedeni, bazı ağaçların büyüme hızının yaşla birlikte ivmelenmesi. Hatta bazen bir ağacın atmosferden alıp fotosentez-



de kullandığı karbondioksitin kütlesi ağacın toplam biyokütlesi kadar oluyor. Bu kütlenin bir kısmı ağacın biyokütlesine ekleniyor, bir kısmı da atmosfere oksijen olarak salınıyor. Bu yüzden zannedildiğinin aksine, yaşlı ağaçları kesip yerine yenilerini dikmek atmosferdeki karbondioksit miktarını azaltmak için hiç de iyi bir strateji değil.

Karbon borcunun geri ödeme süresiyle ilgili bir başka makale 2018 yılında K. Madsen ve N. S. Bentsen tarafından *Energies*'te yayımlandı. Araştırmacılar, dünya genelini değil Danimarka'daki bir santrali ele almışlar. Bugün Danimarka'da kullanılan yenilenebilir enerjinin üçte ikisinin kaynağı biyokütle. Araştırmacıların yaptıkları tahminlere göre, ele alınan santralde tamamen biyokütle kullanılması durumunda karbon borcu sadece bir yıl içinde geri ödeniyor ve on yıl sonra atmosfere salınan karbondioksit miktarı, kömür kullanımına devam edilmesi durumuyla karşılaştırıldığında, yarıya düşüyor. Bu süreler, Serman'ın ve Booth'un tahminlerine kıyasla çok kısa. Araştırmacılar aradaki büyük farkın birkaç nedeni olduğunu söylüyorlar. Öncelikle çalışmaya konu olan santralde odun topakları değil talaş kullanılıyor. Bu yüzden, odun topaklarında olduğu gibi, biyokütlenin işlenmesi sebebiyle atmosfere karbondioksit salınmıyor. Ayrıca talaş santrale yakın bölgelerden toplandığı için



nakliye sırasında atmosfere salınan karbondioksit miktarı da çok az. Bir diğer etkense Danimarka'nın soğuk iklimindeki ağaçların büyüme dinamiklerin ılıman iklimlerdeki ağaçlardan farklı olması. Bununla birlikte araştırmacılar elde edilen sonuçların Danimarka'daki tüm ormanları kesip elektrik üretiminde kullanmanın iyi bir fikir olduğu anlamına gelmediğini ancak diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersiz kaldığı zamanlarda biyokütlenin de iyi bir alternatif olabileceğini gösterdiğini söylüyorlar.

Bazı araştırmacılar biyokütleyi termik santrallerde kullanmanın çok önemli bir kaynağı zıyan etmek olduğunu düşünüyor. Bu araştırmacılara göre asıl yapılması gereken şey, biyokütleyi odun topaklarına değil

sıvı ve gaz hâlindeki biyoyakıtlara dönüştürmek olmalı. Yenilenebilir ve çevre dostu enerji üzerine yıllardır yapılan araştırmalara rağmen bugün hâlâ petrol türevi sıvı ve gaz yakıtlara olan bağımlık devam ediyor. Özellikle taşımacılık sektörü büyük oranda petrole bağımlı. Her ne kadar elektrikli kara taşıtları konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da bugünkü teknolojilerin kapasitesi devasa uçakların ve gemilerin elektrik motorlarla uzun mesafeler yol almasına imkân verecek düzeyde değil. Biyokütleden üretilen sıvı ve gaz yakıtlar hava ve deniz taşımacılığında petrolün yerini alabilir. Bugün zaten prototip aşamasında olan çeşitli tesislerde biyokütleden biyoyakıtlar üretiliyor. Pek çok araştırmacı da bu konuda araştırmalar yapmaya devam ediyor. ■



Biyoyakıt üretimi yapılan bir tesis



Odun topakları

Günümüzde Avrupa'da üretilen yenilenebilir enerjinin yaklaşık yarısının kaynağı biyokütle. Gelecekte de biyokütle enerjisi üretiminin artacağı öngörülüyor. Dünya genelinde pek çok ülke daha çok biyokütle enerjisi üretmek için planlar yapıyor. Her ne kadar biyokütle çevre dostu bir enerji kaynağı olarak görülse de bilimsel çalışmalar bu durumun doğru olmadığına işaret ediyor. Termik santrallerde kömür yerine odun topakları kullanılması yer altına hapsolmuş karbonun atmosfere karışmasını engelliyor. Ancak kuramsal tahminler biyokütle enerjisinden fayda görmek için çok uzun süre beklemek gerektiğini gösteriyor. Çünkü doğada kendi hâline bırakılsa mikroorganizmalar tarafından çürütülüp içeriğindeki karbonun atmosfere karışması aylar hatta yıllar sürecek olan biyokütlenin kısa süre içinde termik santrallerde tüketilmesi kısa vadede atmosferdeki karbondioksit miktarının artmasına neden oluyor. Bugün biyokütlenin çevre dostu olduğunu düşünenler, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında atmosfere salınan karbondioksitin anında bitkiler tarafından tüketildiğini varsayıyorlar. Ancak bilimsel çalışmalar bu varsayımı doğrulamıyor. Kuramsal tahminlere göre biyokütle enerjisinin ortaya çıkardığı karbon borcunun geri ödenmesi 50-100 yıl sürebilir. Küresel ısınmayı 2°C ile sınırlandırmak amacıyla konulan hedeflere karbondioksit salımının 20 sene içinde azaltılmasını öngörüyor. Dolayısıyla biyokütle enerjisinden bu hedefe ulaşmak için yarar beklemek pek gerçekçi gözüküyor. Yine de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersiz kaldığı dönemlerde ya da petrol türevlerine alternatif sıvı ve gaz yakıtlar üretmek için biyokütleyle yönelmek mantıklı olabilir.

Kaynaklar

Sterman, J. D., ve ark., "Does replacing coal with wood lower CO2 emissions? Dynamic lifecycle analysis of wood bioenergy", *Environmental Research Letters*, Cilt 13, Makale No: 015007, 2018.

Booth, M. S., "Not carbon neutral: Assessing the net emissions impact of residues burned for bioenergy", *Environmental Research Letters*, Cilt 13, Makale No: 035001, 2018.

Stephenson, N. L., ve ark., "Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size", *Nature*, Cilt 507, s. 90, 2014.

Ravilious, K., "Biomass Energy: green or dirty?", *Physics World*,

<https://physicsworld.com/a/biomass-energy-green-or-dirty/>, 2020.