

Bitkilerdeki Gizli Güç Biyokütle Enerjisi

Önemli bir enerji kaynağı olan kolza bitkisinin üretiminde kullanılan traktör de, kolza yağından elde edilen yakıt ile çalışmaktadır.

Her sabah, yeşil bir bitkiye teşekkür etmeyi unutmayın. Neden mi? Dünya'da bitkiler, bazı bakteriler ve algler gibi fotosentez yapan canlılar olmasaydı yaşam olmayacaktı, sizler de olmayacaktınız. Üretici organizmalar olan fotosentez yapan canlılar, diğer canlılar için gereken kimyasal enerjiyi, yani besin enerjisini üretiyorlar. "Enerji yoktan var olmayacağına göre, bu canlılar enerjiyi nereden elde ediyorlar?" diye sorabilirsiniz. Bir kez daha teşekkür etmeye hazır olun ve Güneş'i unutmayın. Çünkü, bitkiler güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürüyorlar ve diğer canlıların kullanabileceği hale getiriyorlar. Bugün, bitkiler tarafından yakalanmış olan bu enerjiden daha çok yararlanmanın değişik yolları aranmaktadır. Bu arayışlar, bitkisel organizmalarda depolanmış güneş enerjisini yani bitkisel nitelikli biyokütle (biyomas) enerjisini alternatif bir enerji kaynağı olarak gündeme getirmiştir.

CANLILIĞIN ortaya çıkışı, fotosentez yapan canlıların, karbon dioksiti kullanıp, oksijen üretmesiyle başlamıştır. İlk atmosferde oksijen bulunmadığından, bu canlıların ortaya çıkıp, bolca oksijen üretmeleriyle, Dünya oksijene kavuşmuş, bundan sonra oksijen kullanabilen ilk organizmaların ortaya çıkmasıyla da günümüze kadar ulaşan bir evrim süreci başlamıştır. Böylece, canlılığın ortaya çıkışının temelini inildiğinde, Güneş'in ve ilk atmosferin oksijensiz olmasının ne kadar önem taşıdığı görülmektedir. Yaşamın temel kaynağı Güneş'tir. Güneş'in can verdiği bitkiler, diğer canlı türlerine yaşam verdikleri gibi, yanarak ısı verdikleri için taşıt çalıştırma, elektrik üretme, pişirme ve ısınma gibi amaçlarla enerji elde etmek üzere kullanılmaktadırlar. Böylece, bitkilerin Güneş'ten yakaladıkları enerjiden yararlanmış olmaktadır.

Yeryüzündeki Gün Işığı Deposu: Biyokütle

Canlıların tümü organik materyallerden oluşmaktadır ve organik materyallerin tümü biyokütledir. Amaç biyokütleden enerji elde etmek olunca, en çok bitkisel nitelikli olanlara başvurulmaktadır. Bitkiler, güneş enerjisinin etkisiyle, su ve karbon dioksiti, kendi fizyolojik işlevlerini gerçekleştirmek için kullandıkları glikoz ve oksijene çevirmektedir. Bitkiler, yapılarındaki enerji verici bileşik olan glikoz ve ürettikleri oksijen nedeniyle diğer canlıların yaşamı için büyük önem taşımaktadır. Fotosentez yapan her canlı bir enerji kaynağı ve aynı zamanda bir biyokütledir. Biyokütleyi enerji kaynağı yapan, yapısındaki enerji eşdeğeri yüksek maddelerdir.

Fosil yakıtlar, içerdikleri bitkisel kökenli materyal nedeniyle, eskiden Dünya'ya ulaşmış olan güneş ışınlarının de-

posu olduklarından, bir anlamda biyokütle sayılmaktadırlar. Fosilleşmiş biyokütle niteliği taşıyan kömür ve petrol enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Fosil yakıtların tükenmeye yüz tuttuğu ve kullanımlarındaki artışa bağlı olarak çevre sorunlarının hızla arttığı günümüzde, yeni ve yenilenebilir özellikte alternatif enerji kaynakları arayışı, biyokütle enerjisini daha çok gündeme getirmektedir. Enerji hammadde olarak yenilenebilir bir kaynak olduğu kabul edilen biyokütleyi neler oluşturmaktadır? Tarım ve orman ürünlerinin artıkları, evlerden atılan çöpler, özel olarak yetiştirilen nişastalı, şekerli ve yağlı bitkiler, ağaçlar, yonga, yosunlar, algler, hayvan dışkı, lağım suları, gübre ve gıda sanayii artıkları gibi maddeler biyokütle enerjisi için hammadde olabilirler. Artıklardan biyokütle enerjisi elde etmek, fazladan enerji kazancı sağlamaktır. Bu tür biyokütle hammaddeleri, üretildiği, yetiştirildiği ya da artık olarak bulunduğu biçimi-

miyle, yakıt olarak kullanılmaya elverişli değildir. Biyokütleden enerji, yanma gibi doğrudan bir yolla elde edilmekten başka, birtakım süreçlere sokulup gazla, alkole ve yapay petrole dönüştürülerek de elde edilebilir. Enerji içeriğine göre, Dünya'da yıllık toplam biyokütle üretimi kara ve deniz ürünleri toplamı olarak, 2 600-3 500 EJ arasında olup, bugün için yıllık toplam 2891 EJ'dur. Bu miktar, 1995 yılı dünya ticari enerji tüketiminin 8,3 katıdır ve günümüzde dünya nüfusu bunun yalnızca % 7 kadarını kullanmaktadır.

Bilinen En Eski Biyokütle Enerjisi Kaynağı: Odun

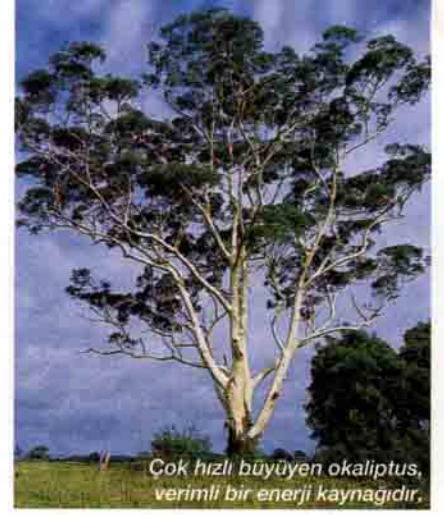
Biyokütle enerjisinin geçmişi diğer tüm enerji kaynaklarından eskidir. Bilinen en eski biyokütle kaynağı olan odunun kullanımı, ateşin bulunuşuna kadar uzanmaktadır. İnsanoglunun ilk enerji kaynağı olan ateş, biyokütleden yanmasından elde ediliyordu. Bu biyokütle odundu. Ateşi bilen, ama tarımsal uğraşısı olmayan avcı insanlar ağaç parçalarını enerji kaynağı olarak kullanıyorlardı ve günlük enerji tüketimleri 21 MJ/gün idi. Sanayi devrimine kadar çok yoğun olarak kullanılan odun, fosil yakıtların yüksek enerji içeriği nedeniyle terk edilmişti. 20 yıl öncesine kadar, oduna "fakir insanın petrolü" gözüyle bakılıyordu. Bugün, biyokütle enerjisinin daha çok gündeme gelmesiyle oduna olan ilgi de artmakta. Az gelişmiş ülkelerde, kullanılan enerjinin % 70'i odundan elde edilmekte ve geleneksel yaklaşım sürdürülerek, öncelikle yemek pişirme amacıyla kullanılmaktadır. Bunun yanında, odunun gelişmiş ülkelerde bile kullanımı sürmektedir. İsveç, Kanada ve ABD'nin kuzeyi gibi orman bakımından zengin ülkelerde odun, kereste,

kâğıt ve kâğıt hamuru sanayiinde kazan yakıtı olarak kullanılmaktadır.

Biyokütle niteliğindeki yakacak odun, ağaç ya da benzer özellikteki bitkilerin gövde, dal ve kabuklarından elde edilir. Ağacın, biyokütle enerjisi elde etmek açısından, yüksek verim getirecek nitelikte olması bir tercih sebebidir. Odunun ısıl değeri, içinde bulundurduğu su miktarına göre farklılık gösterir. Kuru odun, yaş olana göre daha fazla ısıl değere sahiptir. Odunun ısıl değeri 8 300-21 000 kJ/kg arasında değişmektedir. Sert ağaçlarla yumuşak ağaçlar arasında da ısıl değerler açısından farklılıklar vardır. Örneğin, meşe odununun ısıl değeri, çam ve köknara göre daha yüksektir. Odunun elde edildiği ağaçların, kısa sürede yetiştirilebilir olmaları kaynağın verimini artıran bir etmendir. Örneğin, kavak türleri ve büyüme hızı doğal ormanlara göre 20 kat daha fazla olan okaliptus, oldukça verimli bir enerji kaynağıdır.

Odunu enerji kaynağı olarak kullanmanın en yaygın biçimi yakmadır. Odunun tam yanması sonucunda, ısının yanı sıra, yanma ürünü olarak karbon dioksit ve su açığa çıkmaktadır. Ağaç büyürken almış olduğu karbon dioksiti yanarken geri vermektedir. Bu durumda, kullanılan ağaçların yerlerine yenilerinin konulması, hem atmosferde karbon dioksit birikimini artıracığından hem de doğal yaşamı olumsuz etkileyeceğinden çevre sorunlarının artmasına katkıda bulunacaktır. Odunun yakıt olarak kullanımında, seçilen ağaç türlerinin kısa sürede gelişmesi ve orman alanlarının zarar görmemesi için yakıt olarak kullanılacak odunun özel olarak üretilmesi gibi konulara da özen gösterilmesi gerekmektedir. Yakacak odun, kırsal bölgelerde ısıtma ve pişirme amacıyla kullanılmaktadır. Bunun dışında, odunun farklı kullanım teknolojileri de vardır. Gelişmiş teknoloji uygulaması olarak, odun sobalarına bir Stirling ya da Ericson motoru (sıcak ve soğuk kaynaklar arasındaki gazın hacim değişmesiyle çalışan motor) ve küçük bir jeneratörün eklenmesiyle elektrik enerjisi de elde edilebilmektedir. Bunların yanında, odun kazanlarıyla donatılmış, buharlı küçük termik santrallara benzeyen ve odun yakan elektrik santralleri bulunmaktadır.

Odun, odun kömürü, etil alkol (etanol), metil alkol (metanol), jeneratör gazı ve piroliz katranı (yapay ham petrol) gibi ikincil yakıtlara da dönüştürülerek kullanılabilir. Bu yakıtlardan maliyeti



Cok hızlı büyüyen okaliptus, verimli bir enerji kaynağıdır.

en düşük olan jeneratör gazıdır. Jeneratör gazı İkinci Dünya Savaşı sırasında taşıt motorlarının çalıştırılmasında kullanılmıştır. Bunun için özel gazojen donanımlı taşıtlar yapılmıştır. Güney Amerika ülkelerinde, bu konuya ilişkin teknolojik çalışmalar yürütülmektedir. Odun kömürü, odunun havasız bir ortamda, 400 °C civarında bir sıcaklıkta ısıtılması (piroliz) ile üretilmektedir. Bu yolla, yaklaşık 3,5-4 ton odundan 1 ton odun kömürü elde edilmektedir. Odun kömürünün ısıl değeri 30 000-34 000 kJ/kg arasında değişmektedir. Odun kömürü, kırsal kesimde kullanımının yanı sıra demir-çelik sanayiinde de tercih edilmektedir.

Enerji Bitkileri

Günümüzde enerji tarımı ya da enerji yetiştiriciliği denilen yeni bir tarım türü geliştirilmiştir. Bunun yanında enerji ormanlığı da gündeme gelmektedir.

Enerji üreticilerine hammadde sağlamak gibi bir yıllık bitkiler, çok yıllık otsu bitkiler ve kavak gibi kısa sürede gelişen ağaçlar enerji bitkileri olarak ele alınabilir. Enerji bitkilerinin yenilenebilir olmaları, daha az oranda kirliliğe yol açmaları ve enerji depolama sorununu ortadan kaldırmaları, enerji sorunu çözümünde daha çok rol almalarına yol açmaktadır. Besin gereksinimini karşılamak için ekilen ürünlere göre, daha az ilaçlama ve daha az gübre gerektirmeleri, kükürt oksitli, azot oksitli bileşikler atmosfere yaymadıkları için hava kalitesini artırmaları ve yeni doğal yaşam alanlarının gelişmesini sağlamaları gibi etkileri de, bu bitkilerin yetiştirilmelerinin çevre açısından olumlu olduğunu göstermektedir. Bu özellikleri nedeniyle, enerji bitkileri, diğer bitkilerin yetiştirilemediği alanlarda bile üretilebilirler; böylece, yüzey suyu kaybının azalmasına, toprak kalitesinin artmasına ve erozyonun önlenmesine katkıda bulunabilirler. Kırsal bölgenin tarımsal gelişimi-





Seker kamışı, çok bir C₄ bitkisidir.

ne katkıda bulunabilecek olan enerji bitkilerinin üretimi kâğıt, kâğıt hamuru, kimyasal maddeler ve hayvan yemi gibi yan ürünler de sağlamaktadır. Biyokütleden ileri gelen kirlenme oranları fosil yakıtlarınkiyle kıyaslandığında, karbon monoksitinin benzinle çalışan taşıtlardan çıkarının % 15'i, taneler maddelerin kömürün yakılmasıyla çıkarının % 30'u, hidrokarbonların benzinle çalışan taşıtlardan çıkarının % 10'u, azot oksitlerin ise benzinle çalışan taşıtların % 5'i kadar olduğu ve kükürt oksitlerin ise hemen hemen hiç çıkmadığı belirlenmiştir. Ancak, gene de bazı bileşiklerin yayılımına neden olduklarından, yakıt olarak kullanılmaları sırasında, malzeme seçiminde ve diğer uygulamalarda denetimlerin özenle yürütülmesi gerekmektedir.

Enerji bitkilerinin seçimi sırasında ilk düşünülmesi gereken bitkinin enerji içeriğidir. Yaprak alanının genişliği ışıktan yararlanmayı artırır. Ekim alanının yılın çoğu zamanında, yüksek oranda güneş ışığı alabilmesi de göz önünde bulundurulması gereken bir etmendir. Böyle bir alanda yapılabilecek değişik uygulamalarla yetiştirilen ürün çeşidi daha fazla sayıda olabilir. Enerji bitkilerinin tarımı yapılırken, yetiştirme koşulları, hasat ve sonuçta elde edilecek yakıtın ısı değeri net enerji değerlendirmesiyle birlikte ele alınmalıdır. Enerji bitkilerinin büyük boyutlu enerji programları içinde kullanımı sırasında, planlama ve ön hazırlıkların yeterli ve uygun biçimde yapılmamasına bağlı olarak, ekonomik olarak elde edileceği düşünülen kâr, zarara dönüşebilir. Tarımı yapılacak ürünlerin seçiminde, geleneksel yaklaşımlar izlemek yerine, ülkenin tarımsal üretim planları kapsamında düşünülmesi, enerji bitkilerinin değerlendirilmesi açısından daha çok verim elde edilmesini sağlayacaktır.

Dünya yüzeyine gelen güneş enerjisi 3 000 000 EJ'dur. Bunun % 0,1 kadari fotosentezle biyokütle üretimine harcanmaktadır. Bazı bitkiler ve ormanlar, kendi yüzeylerine gelen güneş enerjisini % 0,4-

0,7 verimle bitkisel materyale çevirebilirken, tropikal koşullarda, bu verim % 1,8-2,4 olabilmektedir. Denizlerde yaşayan alglerde de bu oran, % 0,02-0,15 arasındadır. Bazı bitkiler verimli bir fotosentetik sisteme sahip olduklarından, yüzeylerine gelen güneş enerjisinin % 2-3'ünü kullanabilmektedirler. "C₄" bitkileri olarak bilinen bu bitkiler, yüksek oranda güneş ışığı alan bölgelerde yetişebilmeleri, suyu çok verimli olarak kullanabilmeleri, düşük karbon dioksit konsantrasyonlarında dahi fotosentez yapabilmeleri, ışığı kullanma yeteneklerinin yüksek olması ve diğer bitki türlerine göre mevsimsel kuraklığa daha dayanıklı olmaları nedeniyle önem taşımaktadırlar. Tatlı-sorghum, şeker kamışı, mısır gibi bitkiler tipik C₄ bitkileridir. Ananas ve yüzyl bitkisinin içinde bulunduğu, "CAM" bitkileri olarak adlandırılan bir diğer grup da, suyu çok verimli kullanabildiklerinden, yarı kurak bölgelerde yaşayabilmektedirler. Etli yapraklı, kaktüs benzeri bu bitkilerin yavaş büyümeleri, onları daha az tercih edilir hale getirmektedir. Yulaf, arpa, pirinç, buğday, pamuk, yonca, soya fasülyesi, fısıtık ve ayçiçeği gibi "C₃" bitkileri ise, ortalama 25 °C sıcaklığındaki ortamları tercih etmektedirler. C₄ bitkilerinin, diğer bitkilere göre, karbon dioksit ve suyu daha iyi kullanmaları, enerji kaynağı olarak değerlendirilmelerini daha kolaylaştırmaktadır.

Mikroorganizmaların Ürettiği Yakıtlar

Mikroorganizmaların gerçekleştirdiği biyolojik dönüşüm tepkimeleri yardımıyla, bitkisel materyallerden nitelikli yakıtlar elde etmek de olasıdır. Bitkisel materyallerin oksijensiz yaşayan (anaerobik) mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucunda, gaz ve sıvı yakıt olarak kullanılabilen biyogaz, etil alkol ve metil alkol gibi maddeler açığa çıkmaktadır. Mikroorganizmaların devreye girdiği bu üretim yöntemleri, alçak teknik biyoküt-



Bazı Bitkilerin Enerji İçerikleri			
	Bitki Kısmı	% Su	kJ/kg
Şeker kamışı	Posa	12	16 160
Şeker kamışı	Posa	52	9 295
Bambu	Kamış	10,5	16 430
Esmer buğday	Dış kabuk	10	16 870
Kamış	Yaprak	0	21 600
Kamış	Sap	0	20 990
Hindistan cevizi	Kabuk	13	16 790
Kayın	Odun	13	16 705
Huş ağacı	Odun	12	16 810
Meşe	Odun	13	15 950
Meşe	Kabuk	7	18 045
Meşe	Kabuk	0	18 630
Çam	Odun	12	17 710
Çam	Kabuk	0	20 060
Kök nar	Kabuk	0	19 575
Ladin	Kabuk	0	19 425
Sekoya	Kabuk	0	18 525
Yağlı tohumlu bitkiler	Tohum	-	19 990

le çevrimleri olarak adlandırılmaktadır. Bunların dışında, yüksek teknik biyokütle çevrimleri de vardır. Bunlar piroliz, hidrogazifikasyon, hidrojenasyon, parçalayıcı distilasyon ve asit hidroliz gibi yöntemlerdir. Organik artıkların belirli koşullar altında ısıtılması işlemi olan piroliz sonucunda, gaz, kömür ve katran elde edilmektedir. Hidrogazifikasyonda, organik artıklar gene özel koşullar altında metan ve etan üretilen biçimde gazlaşmaktadır. Hidrogazifikasyonla 1 ton organik maddeden 6 000 MJ değerinde olan yaklaşık 170 m³ gaz üretilmektedir. Hidrojenasyonda, organik artıklar karbon monoksit ve su buharı ile işleme sokularak yapay petrol üretilmektedir. Parçalayıcı distilasyonda, odun ve yüksek miktarda selüloz içeren organik materyaller damıtılarak metil alkol elde edilmektedir. Asit hidroliz yönteminde de, odun tipi organik materyaller ısı ve asitle etkileşime sokularak, etil alkol üretilmektedir. Bu yakıtlardan bazıları petrol ürünlerine özdeştir.

Yaygın olan yakıtlardan biri olan biyogaz % 55-65 oranında metan ve % 35-45 oranında karbon dioksit içermektedir. Isıl değeri ortalama 23 000 kJ/m³'tür. Biyogaz, öncelikle hayvan gübresinden, bunun dışında, özel olarak yetiştirilen bazı bitkilerden ve tarımsal artıklardan oksijensiz koşullarda mikroorganizmaların fermantasyon yapmasıyla elde edilmektedir. Hayvan gübresinden elde edildiğinde, geride kalan artık madde, gübre değeri artmış olarak kullanılabilir ve bu durumda % 20-25 daha fazla verim alınmış olmaktadır. 1 kg kuru organik maddeden elde edilen biyogaz miktarı 0,15-0,20 m³ arasındadır. Biyogazın bileşimi, üretimde kullanılan organik materyalin niteliğine ve üretim ortamının ko-

şullarına bağlı olarak farklılıklar gösterir. Biyogaz, evlerde yakıt olarak kullanılabilir gibi, motor yakıtı olarak da kullanılabilir. Almanya'da biyogazla çalışan traktörler geliştirilmiştir. Biyogaz motorları ile elektrik jeneratörleri de çalıştırılabilir. Bu yakıt termik elektrik santrallerinde de kullanılabilir. Bir biyogaz reaktöründe, havasız bir fermentasyon deposu ile üretilen gazı toplayan bir aygıt (gazometre) bulunmaktadır. Asya ülkelerinde, elle çalıştırılan basit yapıya biyogaz üretim tesislerinden çok sayıda bulunmaktadır. Danimarka gibi bazı ülkelerde, ileri teknolojinin kullanıldığı biyogaz üretim tesisleri kurulmuştur. Dünya'da, yaklaşık yüz bin civarında biyogaz üretim tesisi olduğu sanılmaktadır. Beş kişilik bir ailenin gereksinimlerini karşılayacak nitelikteki aile tipi bir tesisin kapasitesi 3 m³ kadardır. Köy tipi olanların kapasitesi 150-200 m³ arasında değişmektedir. ABD'de büyük hayvancılık tesislerine bağlı olarak işleyen 750 m³ kapasiteli tesisler geliştirilmiştir.

Hayvansal gübreden saman ve diğer artıkların karıştırılarak, tezek elde edilmesine kıyasla, biyogaz üretilmesi, tezeğin yakılmasıyla küle dönüşecek ve hiçbir enerji değeri kalmayacak olan gübrenin verimli bir yakıt haline dönüşmesini sağlayacaktır.

Biyokütleden alkol elde edilerek, sıvı yakıt olarak kullanılması da giderek yaygınlaşmaktadır. Alkol, benzinin oktan sayısını yükseltici etki gösterdiğinden, oktan yükseltici olarak kullanılan ve çevre açısından zararlı olan kurşun tetra etilin kullanımını da azaltmaktadır. Melas, mısır koçanı, şekerkamışı, fıstık kabuğu,

Brezilya'da 3,6 milyon araçta yakıt olarak etanol kullanılmaktadır.

Kolza yağı ile çalışan traktörler, oldukça yüksek performans göstermektedirler.



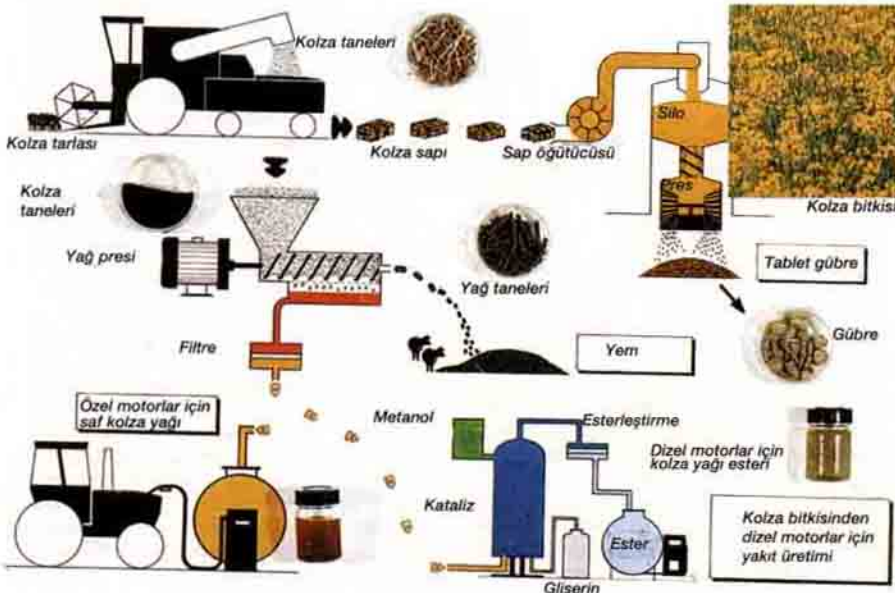
yulaf kabuğu, selüloz hamuru, ananas suyu, patates, narenciye ve manyok gibi bitkisel kaynaklardan alkol üretimi yapılmaktadır. Hızlı büyüyen ağaçlar, belediyeye çöpleri, sanayi artıkları, su bitkileri, tarım ve orman artıkları biyoyakıt elde etmek için uygun kaynaklardır.

Biyokütleden alkol elde etme işlemini mikroorganizmalar gerçekleştirmektedir. Asit hidroliz yöntemiyle odundan da alkol elde edilmektedir. Biyoyakıtlar alkolden başka ester ve eter niteliği taşıyan maddeler de olabilir. Oksijen kullanmayan mikroorganizmalar tarafından üretilen bu yakıtlar, etil alkol, aseton-bütanol, bütanol-izopropanol ve aseton-etil alkol karışımları şeklinde olabilir. Mikroorganizmalar, bitki yapısındaki karbon, azot ve tuz gibi maddeleri kullanırlar. Benzine %20 oranında etil alkol katılarak gazohol adı verilen bir yakıt elde edilmekte ve benzin motorlarında değişiklik gerektirmeksizin kullanılabilir. Gazohol kullanımı özellikle Brezilya'da çok yaygındır. 1923-1931 yılları arasında Almanya, Fransa, Macaristan ve İtalya gibi Avrupa ülkelerinde benzinin alkolle karıştırılarak kullanılması yasalarla zorunlu kılınmıştı, ancak ucuz ve bol petrol kullanılan sonraki dönemde bu teknoloji

terk edilmişti. Günümüzde ise, bazı ülkeler gazohol kullanımını artırmak istemektedirler.

Biyokütleden dizel yakıtına karıştırmak amacıyla da yararlanılmaktadır. Türkiye'de daha çok Trakya ve Marmara bölgelerinde yetiştirilen kolza bitkisinin yağı, dizel yakıtlara karıştırılabilecek uygun bir kaynaktır. Biyodizel yakıtlar adı verilen bu yakıtlar, dizel yakıtına % 50 oranında kolza yağı karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Bu karışımlar için başka bitkisel yağlar da kullanılmaktadır. Ayçiçek yağı da benzer özellikleri yönünden dizel yakıtına karıştırılabilmektedir. Brezilya'da dizel yakıtlarına % 6 oranında hurma yağı katılmaktadır. Biyodizel yakıtlar, soya fasülyesi, hayvansal yağlar, artık kızartma yağları ve bazı alglerin yağlarından da elde edilebilir.

Mikroorganizmaların, elde edilmesinde rol oynadığı bir başka enerji kaynağı da 21. yüzyılın yakıtı olarak tanımlanan hidrojen'dir. *Enterobacter aerogenes* adı verilen bir bakteri türü, melastan fermentasyonla hidrojen üretmektedir. Bundan başka, *Cyanobacterium plectonema borganum* adında bir diğer bakteri türü de ışık enerjisini kullanarak hidrojen üretmektedir.



Çöpten Enerjiye

Kentler için yok etmesi büyük sorun olan çöplerden de enerji kaynağı olarak yararlanılabilmektedir. Bu amaçla, çöp termik santralleri kurulmaktadır. Kentlerin yakınında kurulan çöp termik santralleri, çöplerin çevrede yaratacağı kirliliğe önemli ölçüde engel olmaktadır. ABD, Almanya, Belçika, Danimarka, Fransa, İtalya, Lüksemburg, Hollanda ve İngiltere çöp termik santrali kurmuş olan ülkelerden bir kısmıdır. Günümüzde kent atıklarının toplanıp, çöp alanlarına yığılması oldukça ilkel bir yöntem olarak kalmaktadır. Bu yığınlar, metan gazının birikerek patlamasına yol açabilmektedir.



Çöp termik santralleri, ısı elde etme, elektrik üretme, sıcak su ve buhar üretme amaçlarını taşıyabilir. Sıcak su üretim amacını taşıyan çöp termik santrallerinde, su sıcaklığı 80-90 °C arasında tutularak, 20 000-50 000 kişinin gereksinimini karşılayacak kapasitede kurulmaktadır. Elde edilen sıcak su, konutlarda ve seralarda kullanılmaktadır. Buhar üretilen santrallerde, sıcaklık 200-250 °C arasında tutulmakta ve elde edilen buhar ısıtma amacıyla ve sanayide kullanılmaktadır. Çöp termik santrallerinde, konut ve işyeri atıkları, sanayi atıkları, yiğinsal atıklar ve atık yağlar yakıt olarak kullanılabilir. Bunlardan katı olanlar özel bir ocakta yakılırken, sıvı olanlar ise aynı ocağa püskürtülmektedirler. Baca gazları uçucu gaz filtresinden geçirilirler ve bu nedenle, çevre kirliliği etkileri azalır. Çöplerden enerji üretiminin yanı sıra, inşaat

materyalleri ve hurda demir gibi yeniden kazanım materyalleri de elde edilebilir. Türkiye'de de, İstanbul'a 125 MW'lık, Ankara'da 40 MW'lık, İzmir ve Adana'ya da 30'ar MW'lık çöp termik santrallerinin kurulabileceği düşünülmektedir. Bu büyük şehirlerde çöplerden enerji üretimi, enerji sorununa katkıda bulunmasının yanında, çevre kirliliğini de azaltacaktır.

Türkiye'de Biyokütle Enerjisi

Türkiye, tarımsal fazlası ve enerji açığı olan bir ülke olması nedeniyle, biyokütleden alkol üretmek için uygun bir adaydır. Tatlı-sorghum, şekerkamışı ve patates gibi bitkiler bu işin Türkiye'de yapılması için en uygun kaynaklar olarak görülmektedir. Türkiye'de, biyokütle nitelikli kaynak olarak, hâlâ odun ve tezek kullanılmaktadır. Odun tüketimi, kaçak kesimler nedeniyle çevresel bozulmalara yol açmaktadır. Bu durumun önlenmesine yönelik bir çözüm, enerji ormanlarının kurulmasıdır. Çünkü, Türkiye'de 4 milyon hektar bozuk ve 1 milyon hektar verimli olmak üzere 5 milyon hektarlık orman tesisi yapılabilecek alan vardır. Enerji ormanlarının yanı sıra, tezek kullanımının azaltılması amacıyla, gübreden biyogaz üretim tesislerinin de kurulması gerekmektedir. Biyogaz üre-

tim kapasitesine ilişkin olarak geçmişte yapılan çalışmalara göre, Türkiye biyogaz potansiyelinin 2,8 -3,9 milyar m³ olduğu belirlenmiştir. Biyogaz potansiyelinin petrol eşdeğeri 1,4-2 milyon ton/yıl'dır. Bunun enerji eşdeğeri ise, yaklaşık olarak yılda 24,5 milyon kWh'dir. Bunlarla beraber, hayvan gübrelerinin biyogaz tesislerinde değerlendirilmesi sonucunda elde edilecek biyogübrenin kimyevi gübre karşılığı, toplam 2 792 000 ton/yıl'a ulaşmaktadır. Biyogaz tesislerinin Türkiye'de kurulabilmesi için, var olan tüm hayvancılık işletmeleri incelenmeli, buna göre kurulabilecek işletme sayıları belirlenmeli, hayvan varlıkları saptanmalı, eğitim ve planlama çalışmaları başlatılmalı ve pilot tesisler kurulmalıdır. Yapay petrol üretimi, ekonomiye, petrolün dışarıdan alınmasını kısıtlamak, sanayide ve kırsal alanda istihdam olanağı yaratmak gibi katkılarda bulunacağından, bir an önce hız kazandırılması gereken bir konudur. Türkiye'de biyokütle kullanımına ilişkin çalışmalar henüz bilimsel araştırmalardan öteye gidememiş ve verimli bir uygulamaya geçilememiştir.

Türkiye'de biyokütleden enerji elde etmek üzere yapılan araştırmalardan biri, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmektedir. Tatlı-sorghum olarak bilinen bir enerji bitkisine ilişkin olarak yürütülen çalışmanın sonuçları, bu bitkinin, ileride

Türkiye'nin Biyokütle Enerji Stratejisi Nasıl Olmalıdır?

Mustafa Özcan Ütünar

Prof.Dr. A.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü

Birincil enerji kaynakları açısından Türkiye'nin enerji bütçesine bakıldığında, son on yıldır hemen hemen sabitlenmiş verilerle yılda 18 milyon ton odun ile 11 milyon ton bitki ve hayvan artığının (açık deyişle tezeğin) üretilip tüketildiği görülmektedir. Söz konusu tüketim için ormanlar üretim kapasitesinin iki katı zorlanarak, önemli bir tarımsal girdi olan hayvan gübresi de yakılarak yok edilmektedir. Geçmişten beri süren, bu klasik ve ilkel biyokütle kullanımı, dünya ortalaması altında enerji tüketen Türkiye'nin enerji sektörünün yeterince gelişmediğinin ve yetersizliğinin bir başka kanıtıdır. 1994'ün kesin ve 1995'in geçici verilerine göre yerli enerji üretiminin % 29'u odun ve % 9'u tezekten sağlanmakta, toplam birincil enerji tüketiminin ise % 9'u odun ve % 4'ü tezekten karşılanmaktadır. Odun ve tezekten ya da bir başka deyişle klasik biyokütleden sağlanan toplam enerji 350 PJ (peta yani 10¹⁵ jul) düzeyindedir.

Türkiye'de, koşulların uygun olması nedeniyle, odun ve tezeğe bağlı klasik biyokütle kullanımı yerine, diğer yenilenebilir kaynakların kullanımına geçilmesi gereklidir. Yerli enerji üretimi içinde; enerji amaçlı ormanlara, enerji tarımı ürünlerine ve diğer tarımsal yan ürünlere dayalı modern biyokütle üretimi tekniklerinden yararlanılmalıdır. Kaynaklar, uygun alçak ve yüksek biyokütle teknikleriyle bir plan çerçevesinde değerlendirilmelidir. 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Yeni ve Yenilenebilir

Enerji Kaynakları Grubu Raporu'nda klasik kullanımdan başka, 1995 yılında 15,3 PJ'luk, 2000 yılında 87,9 PJ'luk, 2005 yılında 98,9 PJ'luk ve 2010 yılında 110 PJ'luk yani 30,6 TWh'lik (tera yani 10¹² wat-saat) modern biyokütle enerjisi üretiminin hedeflenmesi önerilmiştir. Önerilen hedef, diğer ülkelerin hedefleri ile karşılaştırıldığında, Türkiye'nin yetiştiricilik olanakları karşısında küçük kalmaktadır. Bununla beraber, yine de planda yer almamıştır. Ormanlık, ağaç endüstrisi artıkları, hayvansal gübreler, bitki artıkları, kara tipi enerji bitkileri ve su bitkileri niteliğindeki biyokütle ile 2010 yılı için hedeflenen enerji üretimi minimum ve maksimum sınırlar olarak ABD'de 2860-5020 TWh, Japonya'da 109-207 TWh, Almanya'da 135-256 TWh, İngiltere'de 81-157 TWh, Avustralya'da 148-254 TWh ve İsveç'de 101-213 TWh sınırları arasındadır. Japonya ve İsveç'de en büyük payı orman ve ağaç endüstrisi artıkları alırken, diğer ülkelerde en büyük pay enerji bitkilerine aittir. Biyokütle kaynakları arasında, enerji bitkilerinin payının ABD'de % 66-70, Almanya'da % 39-44, İngiltere'de % 64-68 ve Avustralya'da % 49-54 olacağı kestirilmektedir.

Türkiye'de enerji ormanlığı ve enerji tarımı hızla geliştirilmesi gereken konulardır. Enerji ormanlığı için uygun alanın yaklaşık % 15 kadarı bu amaçla değerlendirilmiş durumdadır, ama % 85'i beklemektedir. Enerji tarımı ise hiç et alınamamış bir konudur. Ülkemizde enerji bitkileri tanımına C₄ tipi bitkilerle ve özellikle tatlı-sorghum ile başlanmalıdır. Tatlı-sorghum hem alkol hem de katı biyoyakıt üretmeye uygun bir bitkidir.

Enerji bitkileri bir yetiştirme sürecinde ikinci ürün olmalıdır. Odun ve ağaç artıklarından odun briketi üretimine gidilmelidir. Katı yakıt olarak kullanılacak biyokütlenin endüstriyel tesislerde ve termik santrallerde yüksek verimle yakılabilmesi için akışkan yataklı kazanlar geliştirilmesi üzerinde durulmalıdır. Petrol dışarıdan soyutlanması olanaksız görünen Türkiye'nin, Dünya'da bilinen petrol kaynaklarının giderek sınırlanmaya başladığı bu dönemde, biyokütle kökenli akar-yakıt konusuna genel enerji planlaması ve tarımsal üretim planlaması kapsamında el atması gerekmektedir. Yılda 500 bin ton petrol eşdeğeri ile üretime başlayacak biyokütle sentetik akar-yakıt endüstrisinin 5 yıllık bir süreçte üretimini 2,5 milyon ton petrol eşdeğeri-ne yükseltmesi olanaklı bir hedef görülebilir.

Değişik enerji bitkilerine dayalı biyokütle enerji teknolojisinin, üretimden kullanıma dek çeşitli aşamalara geliştirilmesi için gereken araştırmalara girişilmelidir. Türkiye'de bugün yetiştirilmeyen, ancak Türkiye koşullarına uyabilecek enerji bitkileri araştırılarak deneme kültürlerine başlanmalıdır. Enerji bitkileri ile ilgili hibrid tohum üretimi ve enerji tarımının mekanizasyonu çözümlenmesi gereken konulardır. Biyokütle niteliğindeki hammaddelerden ikinci yakıt üretimi ile ilgili kârlı ve verimli teknolojiler geliştirilmelidir. Türkiye, modern biyokütle teknolojisi ile ekonomik olmayan klasik biyokütle tüketiminden soyutlanmalı, enerji ormanlığı ve enerji tarımı ile fosil yakıt dışalımını da sınırlandırabilmelidir. Biyokütle enerjisi üretimi, çevre ile uyumlu sürdürülebilir gelişme ilkesi kapsamında gerçekleştirilmelidir. Uzun vadeli biyokütle ve atık kullanımı master planlamaları da gerekmektedir.

enerji sorununun çözümünde rol oynayabileceği sonucunu ortaya koymuştur. Tatlı-sorghum, yüksek fotosentez verimine sahip olması, her iklimde kolaylıkla yetiştirilebilmesi, su ve gübreye fazla gereksinim duymaması nedeniyle, enerji bitkisi olarak tercih edilmektedir. Türkiye'nin iklimsel koşullarında yaşama uygun özellikleri olan bu bitkinin sap kısmında şeker depolanması onun etil alkol üretiminde kullanılmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmalara göre, 1 dekar tatlı-sorghumdan yaklaşık 500 kg şeker üretilmektedir. Tatlı-sorghum besin maddesi olarak kullanımının dışında, fermantasyon yoluyla, etil alkolle dönüştürülerek, enerji elde etmek üzere de kullanılmaktadır. Bu bitkiden hektar başına, yılda, 2-3 ton petrol eşdeğeri etil alkol ve şekeri alınmış posa kısmından ise 6-9 ton petrol eşdeğeri yakıt elde edilebilir. Uygun koşullarda yakılması sonucunda, çevreye daha az zarar vermektedirler. Tatlı-sorghum etil alkolün dışında, çok sayıda enerji ürünü için hammadde oluşturmaktadır. Pirolitik yağ, kalitesi artırılmış yakıtlar, mangal kömürü, sentetik gaz, bitkinin su ve şekeri alınmış posa kısmından elde edilen selülozik madde bunlardan bir kısmıdır. Bitkinin posa kısmının enerji değeri yaklaşık 15 900- 18 000 kJ/kg'dır ve bunun termik santral yakıtı olarak kullanılması olasıdır. Gövdesi odun gibi yakılabilir ya da özel bir işleme parçalanıp, öğütülüp, yapıstırılarak kaliteli katı yakıt dönüştürülebilir. Türkiye için uygun bir enerji kaynağı olacağı düşünülen bu bitkinin, çevre kirliliklerini azaltmada ve enerji kaynağı sağlama bakımından dışa bağımlılığı azaltmada rol oynayacağı düşünülmektedir.

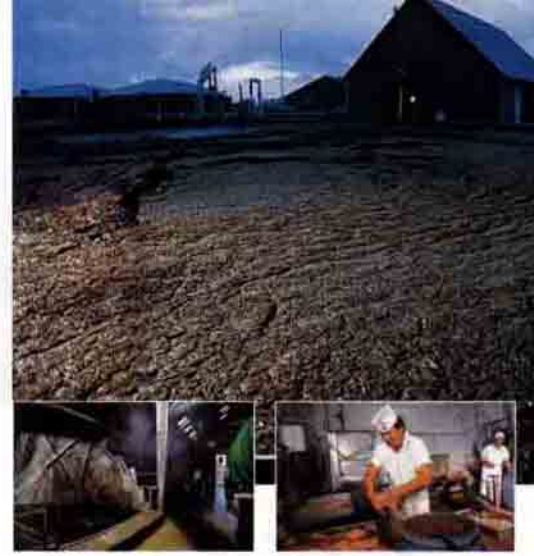
Dünya'dan Manzaralar

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi artırmıştı. Olanakların uygun olduğu ve diğer kaynaklara göre daha ekonomik olan durumlarda biyokütlenin kullanımı tercih edilmektedir. Ancak, bu konudaki istatistiklerin pek sağlıklı olmaması nedeniyle, birçok ülkede biyo-

kütle kökenli yakıtların ne oranda kullanıldığı tam olarak bilinmemektedir. Sanayileşmiş ülkelerde, biyokütle enerjisinin birincil enerji kaynakları içerisindeki kullanım payı % 3'ün altındadır. Bununla beraber, birçok ülke biyokütle enerjisinden giderek artan oranlarda yararlanmaktadır. Bu oran, Finlandiya'da % 15, İsveç'te % 9, ABD'de % 4, eski SSCB'de % 3-4'tür. Gelişmekte olan ülkelerde, biyokütle enerjisinin enerji kaynakları arasındaki payı daha yüksektir. Nepal'de % 95, Kenya'da % 75, Hindistan'da % 50, Çin'de % 33, Brezilya'da % 25, Mısır ve Fas'ta % 20 oranında enerji biyokütleden elde edilmektedir.

10 Güney Afrika ülkesinde, 82,2 milyon olan toplam nüfusun 79 milyonu enerji gereksinimini biyokütleden karşılamaktadır. Bölgedeki küçük ya da orta büyüklükteki sanayiler için de biyokütle önemli bir enerji kaynağıdır; tuğla üretimi, biraçılık, kahve ve çay kurutma gibi. Büyük ölçekli elektrik üretiminde de etil alkol kullanımı yaygındır. Afrika'da, biyokütle niteliğindeki odun ve bundan elde edilen odun kömürü, en yaygın olarak pişirme amaçlı ocaklarda kullanılmaktadır. Bu ocaklara, odunun daha verimli kullanılabilmesi ve ev içi hava kirlenmesinin önlenmesi için nitelikler kazandırılmaya çalışılmaktadır.

Biyokütle enerjisini yoğun olarak kullanan ülkelere biri olan Hindistan'da, köylerde, elle çalıştırılan küçük biyogaz üretim tesisleri kullanılmaktadır. Bu ülkede, biyogaz üretiminde temel kaynak odun, odun artıkları ve tarımsal artıklardır. Bu yolla yemek pişirme, ısıtma ve elektrik elde etme gibi gereksinimler karşılanabilmektedir.



Balık fabrikası ve mezbaha artıkları, özel tesislerde işlenerek biyogaza dönüştürülür.

Brezilya'da okaliptüs ağacı kırıntılarını kullanarak, biyokütle gazifikasyonu yapan gazojenler ve gaz türbinlerinden elektrik üretilmektedir. Bununla beraber, bu ülkede araçlarda, yakıt olarak şeker kamışından elde edilen etil alkolün kullanımı benimsenmeye başlamıştır.

İsveç'te artan karbon dioksit yayılımına karşı önlem olarak enerji sektöründe biyokütlenin daha çok kullanılması yoluna gidilmektedir. Örneğin, 1993 sonbaharından beri, elektrik üretimi ve merkezi ısıtma amaçlarıyla odun kullanılan bir güç santrali işlemeye başlamıştır.

ABD'de biyokütle kullanımına ilişkin bir örnek de Illinois kentindedir. Bu kentte mısırdan elde edilen etil alkolle çalışan ve toplu taşımacılıkta kullanılması planlanan otobüsler üzerinde çalışılmaktadır.

21. yüzyılda biyokütle enerjisinin, kaynak olarak yerini koruyacağı düşünülmektedir. Bununla beraber, biyokütle nitelikli yakıtlar atmosferde karbon dioksit birikimine daha az oranda katkıda bulunduğundan, birçok sanayileşmiş ülke, biyokütleden enerji üretimini artırma yönünde planlar yapmaktadır.

Zuhal Özer

Ülke	1990 Nüfusu (milyon)	Yüzölçümü (Mha)	Toplam Enerji Kullanımı (MTEP)	Biyokütle Kullanımı (MTEP)		
				BUN	WEC	
					Klasik	Modern
Kuzey Amerika	276	1833	2277	96	38	19
Batı Avrupa Ülkeleri	454	355	1379	32	20	10
Doğu Avrupa Ülkeleri	389	2342	1637	44	30	10
Japonya+Avustralya	144	827	503	1	4	7
Sanayileşmiş Ülkeler						
Toplamı	1263	5357	5796	173	92	46
Latin Amerika Ülkeleri	448	2016	417	88	125	46
O.Doğu+K. Afrika Ülkeleri	271	1190	294	15	21	0
Orta Afrika Ülkeleri	501	2363	291	180	141	5
Pasifik+G.D. Asya Ülkeleri	1663	1281	1091	331	347	16
Güney Asya Ülkeleri	1146	752	498	296	204	8
Gelişmekte Olan Ülkeler	4029	7602	2591	910	838	165
TOPLAM DÜNYA	5292	12959	8387	1083	1051	880

BUN: Biyokütle Kullanımı Toplumları tarafından yayımlanan değerler; WEC: Dünya Enerji Konseyi tarafından yayımlanan değerler; UN: Birleşmiş Milletler tarafından yayımlanan değerler; Kaynak: WEC Report 1992 Renewable Energy Resources Opportunities and Constraints, 1990-2020

Konu Danışmanı: Mustafa Özcan Ültanır
Prof.Dr. A.C. Zircan Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü

Kaynaklar
Biomass Conversion For Energy, Proceedings of Technical Consultation, 1986.
"Energy Crops and the Environment" <http://www.esd.onsl.gov/BFD/>
Energy for Rural Development, National Academy of Sciences, Washington, 1976.
"Nature's Renewable Storehouse of Solar Energy and Chemical Resources" <http://www.nrel.gov/>
Sun World, Renewable Energy and the Environment, Vol 18 Num 3, Eylül 1994.
Türer, S. ve S. Özdoğan, Ö. Saygın, "Biyokütleden enerji üretimi" Enerji Konferansı Tebliğleri, 1994
Ültanır, M.O. "Kırsal Alanda Alternatif Enerji Kaynaklarından Yararlanma Olanaklarının Kalkınma Amaçlarıyla Geliştirilmesi Üzerinde Bir Araştırma". (Yayımlanmamış Doçentlik Tezi) Ankara Üniversitesi, 1982.
Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 1993 Enerji Raporu, Ankara, 1994.