



# BİYOKÜTLENİN TÜRKİYE'DE ENERJİ ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Selman KARAYILMAZLAR\*<sup>1</sup>, Nedim SARAÇOĞLU<sup>2</sup>, Yıldız ÇABUK<sup>1</sup>, Rifat KURT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>B.Ü, Bartın Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 74100/BARTIN

<sup>2</sup>B.Ü, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 74100/BARTIN

## ÖZET

Dünyadaki nüfus artışı ve gelişen teknolojiyle beraber enerjiye olan gereksinim günden güne artmaktadır. Bu durum yeni enerji kaynakları bulma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu anlamda mevcut enerji kaynaklarına ek olarak son yıllarda biyokütle enerjisi üretimi ile bu soruna alternatif çözümler aranmıştır. Biyokütle enerjisi çevre ile dost sürdürülebilir enerji üretimini ve çevre yönetimini sağlayan, kalkınmayı hedefleyen özellikleri ile tüm dünyada geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu sebeple Türkiye'de de biyokütlenin enerji üretiminde değerlendirilmesi konusu önem kazanmıştır.

Bu çalışmada biyokütle yetiştiriciliğinin ülkemizdeki potansiyeli ve önemi hakkında bilgiler verilmiş ve bu kapsamda biyokütlenin enerji üretiminde değerlendirilme olanakları ele alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Biyokütle, Enerji, Birleşik Isı-Güç Santralleri, Odun Peleti.

## UTILIZATIONS OF BIOMASS AS AN ENERGY SOURCE IN TURKEY

### ABSTRACT

Energy need has been increasing day by day with population increase and developing technologies. This situation leads the need for finding new energy sources. For the last decades, biomass energy has been considered as an alternative to available energy sources. Biomass energy has found great opportunities for being environmentally friendly sustainable energy source, providing safe environmental management and targeting development throughout the world. For this reason, utilization of biomass energy has gained importance as an energy source in Turkey.

In this study, information about biomass production potential and importance in Turkey was presented, moreover, utilization possibilities of biomass for energy production was investigated.

**Keywords:** Biomass, Energy, Combined Heat-Power Plants, Wood Pellet.

## 1.GİRİŞ

Enerji tüketimi ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin bir göstergesi, bireylerin rahat yaşam sürmeleri için vazgeçilmezdir. Gelişen teknoloji ve artan nüfusla birlikte enerji tüketimindeki artış enerjii tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir problem olarak karşımıza çıkarmaktadır.

Enerji probleminin odağında sürdürülebilir bir gelecek endişesi yer almaktadır. Dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında geçmişten bugüne kadar yoğun bir kullanım alanına sahip olan petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılayamaz duruma geleceği ve buna

\* Yazışma yapılacak yazar: selmankzku@yahoo.com

Makale metni 02.03.2011 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 16.03.2011 tarihinde basım kararı alınmıştır.

bağlı olarak da bir enerji darboğazının yaşanacağı konusunda tüm dünyada bir görüş birliği söz konusudur. Sözü edilen darboğazın yaşanmaması için yenilenemeyen kaynaklarla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının da belirlenerek kullanıma sunulması gerekmektedir. Fosil yakıt kaynaklarının hızla tükeniyor olması ve tükenirken de doğal yaşam ve çevreye zararlar zararlar vermesi, gelecek nesillerin yaşamlarını tehdit etmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma yönündeki çalışmalar son yıllarda daha da büyük önem kazanmıştır. Ülkemizde de bozuk ve çok bozuk baltalık alanlarında yapılan ıslah ve iyileştirme çalışmaları enerji ormancılığını gündeme getirmiştir.

Biyolojik kökenli kaynaklar, insanlığın ilk dönemlerinden bugüne kadar enerji üretimi amacıyla kullanılan yenilenebilir kaynakların başında gelmektedir. Enerji amacıyla kullanılan biyolojik kaynakların en önemlisi ise orman ekosistemi içerisinde yer alan odunsu materyallerdir. Ağaç gövdelerinden elde edilen yapacak (tomruk, direk, sanayi odunu vb.) niteliğindeki ürünlerden geriye kalan gövde parçaları ile kabuk, kök, dal ve yaprakların enerji elde edilmesinde kullanılması, günümüzde oldukça önem kazanmıştır.

Son yıllarda hızlı sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi etkenler enerji tüketimini artırırken, enerji kaynaklarının hızla tükenmesine yol açmıştır. Dünyada enerji tüketim miktarı son 100 yılda yaklaşık olarak 17 kat artmıştır. Bütün bunların sonucu olarak, enerji açığını karşılamak için dünyada biyokütle çalışmalarına büyük hız verilmiştir. Bu büyük potansiyelin yanı sıra biyokütlenin ekonomik ve çevresel açıdan olumlu özellikleri de göz önüne alındığında, biyoenerji konusuna ilgi giderek artmaktadır. Biyokütle, dünyada dördüncü en büyük enerji kaynağını oluşturması yönüyle önemli bir enerji kaynağı konumundadır. Birçok gelişmiş ülke biyoenerjiye geleceğin temel enerji kaynağı olarak görmektedir. Örneğin; İsveç enerjisinin %16'sı gibi büyük bir kısmını biyokütleden elde etmektedir. Benzer şekilde Avusturya enerjisinin %13'ünü biyokütleden sağlarken, Finlandiya da biyokütle enerjisinden önemli ölçüde yararlanmaktadır (Anonim, 2011a).

Sahip olduğu büyük potansiyeli, farklı sosyal ve ekonomik faydaları nedeniyle geleceğin en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olduğu düşünülmektedir. Biyokütle doğrudan ısınma ve elektrik amacıyla kullanılabilir, katı, gaz ve likit yakıtı çevrilebilmektedir. Endüstri, tarım ve orman atıkları biyokütle olarak kullanılabilir, buna ek olarak ağaç ve şeker kamışı gibi enerji üreten bitkiler yalnızca enerjiye dönüştürülerek kullanılmak amacıyla üretilmektedir (Perlack et. al., 1995; Hall, 1997).

## 2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ VE BİYOKÜTLE YETİŞTİRİCİLİĞİ

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Bitki yetiştirilmesi, güneş var olduğu süre süreceği için, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır. Her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir (TÜGİAD, 2004).

Biyokütle terimi, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip oldukları toplam kütle miktarı olarak tanımlanabilir. Orman alanlarında yer alan ağaç ve ağaççıkların kök, gövde ve dal odunu ile birlikte odunsu olmayan kabuk ve yapraklarından oluşan bütüne orman biyokütlesi adı verilmektedir. Böylece biyokütle, ormanın ölçülen zamandaki kapasitesini ifade etmektedir (Alemdağ, 1980). Dünya üzerinde yer alan biyokütlenin yaklaşık %90'ının ormanlardaki gövdeler, dallar, yapraklar ve döküntü maddeleri ile yaşayan hayvanlar ve mikroorganizmalardan oluştuğu ve dünya ormanlarının yıllık net biyolojik üretiminin yaklaşık  $50 \times 10^{19}$  ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu üretim miktarı; ziraat alanları, çayırliklar, otlaklar, stepler, tundralar ve geri kalan vejetasyon formlarında fotosentez ile oluşan bütün birincil biyokütle miktarlarından daha fazladır (Saraçoğlu, 2006).

Biyokütleden elde edilen enerjiye ise biyokütle enerjisi denilmektedir. Biyokütle enerjisini klasik ve modern anlamda olmak üzere iki grupta ele almak mümkündür. Birincisi; konvansiyonel ormanlardan elde edilen yakacak odun ve yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan atıklarından(tezek gibi) oluşur. İkincisi yani modern biyokütle enerjisi ise; enerji ormancılığı ve orman-ağaç endüstrisi atıkları, tarım kesimindeki bitkisel atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır. Günümüzde enerji tarımı adını verdiğimiz bir tarım türü oluşmuştur. Bu tarım türünde C4 adı verilen bitkiler (Şeker kamışı, mısır, tatlı darı, vb.)

yetiştirilmektedir. Bu bitkiler suyu ve karbondioksiti verimli kullanan, kuraklığa dayanıklı verimi yüksek bitkilerdir (Anonim, 2011b).

Biyokütleden enerji yanında, mobilya, kağıt, yalıtım maddesi yapımı gibi daha bir çok alanda yararlanılmaktadır. Enerji olarak kullanılmasında ise, katı, sıvı ve gaz yakıtlar elde etmek için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Biyo-etanol, biyo-gaz, biyo-dizel gibi yakıtların yanı sıra, yine biyokütleden elde edilen, gübre, hidrojen, metan ve odun briketi gibi daha birçok yakıt türü saymak olanaklıdır. Bu yakıtların elde edilmesinde termokimyasal ve biyokimyasal olarak sınıflanabilen yeni teknikler geliştirilmiş ve yıllar içinde verimlilikleri artırılmıştır. Önümüzdeki yıllarda bu teknolojilerde yeni gelişmelerin yanında, yalnız biyokütle kaynağıyla çalışan büyük termik santrallerin yapımı planlanmaktadır. İsveç ve Finlandiya gibi ülkelerde bölgesel biyokütle santralleri ile elektrik üretimi yapılmakta olup yeni santrallerin yapımı sürmektedir ( Anonim, 2011c).

Halen elde edilmekte olan biyokütle enerjisinin; % 64'ü orman bakım ve üretim çalışmalarında ortaya çıkan ince çaplı materyaller, orman endüstrisinde oluşan talaş ve yongalar, kullanılmayan (hurda) odunlar olmak üzere, orman ve odun atıklarından,% 24'ü belediye katı atıklarından (çöplerden),% 5'i tarımsal bitki ve artıkları, sert meyve kabukları (zeytin çekirdeği ve posası, fındık v.b. kabukları) gibi tarımsal atıklardan, % 5'i ise deponi gazlardan üretilmektedir (OGM, 2009). Tablo 1'de biyokütlenin elde edildiği yerler, çevrim teknikleri, bu teknikler sonucu elde edilen yakıtlar ve bunların kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 1. Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri, bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları (Anonim, 2011a).

<b>Biyokütle</b>	<b>Çevrim Yön.</b>	<b>Yakıtlar</b>	<b>Uygulama alanları</b>
• Orman artıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
• Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
• Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
• Hayvansal atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
• Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
• Algler	Hidroliz		Sentetik yağ Roketler
• Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
• Bitkisel ve Hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık

### **3. TÜRKİYE'DE YEŞİL ENERJİ ÜRETİMİ İÇİN BIYOKÜTLEDEN YARARLANILMASI**

Türkiye enerji gereksiniminin yaklaşık % 80'nini petrol, doğal gaz ve kömür ithalatı ile karşılayan bir ülkedir. Bu ithalat için 2008 yılında 50 milyar USD ödenmiştir. Hava kirlenmesi ülkede önemli bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Bu nedenlerle, yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye'deki sürdürülebilir enerji gelişiminin sağlanması ve çevresel hava kirliliğinin azaltılmasında etkin olmaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu, yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğunu (güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal, su) yoğun olarak kullanabilme olanakları sağlamaktadır. Bu durum ve sınırlı fosil kaynaklarımız nedeniyle, fosil yakıtlardan yenilenebilir kaynaklara aşamalı olarak yönelmek Türkiye'nin enerji geleceği için ciddi bir seçenek demeti olacaktır.

Biyokütlenin enerji üretiminde diğer enerji kaynaklarına karşı rakipsiz üstünlükleri:

1. Sera gazı emisyonlarını azaltıcı ve iklim değişikliğini yavaşlatıcı tek enerji kaynağı olması,
2. Toprak koruma, su, enerji ve besin üretiminin güvence altına alınması, peyzaj değeri oluşturması,
3. Sürekli iş olanakları oluşturması,
4. Devlete ekonomik ve siyasal avantajlar sağlamasıdır.

Türkiye’de elektrik ve ısı üretiminin biyokütle santrallerinde orman ve tarım ürünleri ile artıklarının, kullanılmayan odun kökenli malzemelerin (hurda odun), besin maddesi artıklarının (sert meyve kabukları, zeytin çekirdeği ve posası v.d.) yakılması ile yenilenebilir yeşil enerji üretimi artırılabilir. Orman Genel Müdürlüğü’nün uygun orman ve yetişme ortamlarında hızlı büyüyen ağaç türleri ile kuracağı modern enerji ormanlarından elde edilecek odun miktarları ile ormanlardan bakım ve hasat çalışmaları ile ortaya çıkan dal+kabuk+uç parça+kütük gibi materyali kurulacak biyokütle santrallerine satarak bütçesine önemli ek bir gelir kaynağı sağlayabilecek ve santrallerin hammadde gereksinimlerinin sürekli olarak karşılanmasına önemli bir katkı sağlayabilecektir.

2008 yılında Antalya ormanlarında çıkan büyük orman yangınlarının çıkış nedenlerinin % 85’ini; bakım ve hasat çalışmaları sonucu orman içinde kalan dal birikintilerinin oluşturduğu belirlenmiştir. Ormanlardan ağaç artıklarının çıkarılması ile yangın riski azaltılırken, aynı zamanda toprak yüzeyine ulaşan tohumların çimlenerek doğal gençleştirme başarısı da artırılabilir.

Orman biyokütlesi, fosil enerji kaynaklarının, örneğin petrolün kullanımı ile oluşan problemlere bir çözüm olarak yeşil enerji ürünlerini sunar. Bu bağlamda, orman biyokütlesi gelecekte biyoyakıtın önemli bir kaynağı olarak da kullanılabilir. Bu nedenle, orman kökenli sektör Avrupa gibi Türkiye için de daha fazla gereksinim duyulan yenilenebilir enerjinin sağlanmasında ve yeşil enerji kaynaklarının teşvik edilmesinde büyük önem taşıyacak önemli bir rol oynayacaktır.

Orman-kökenli sektör odun liflerinin ve yeşil kimyasalların birlikte kullanılarak enerji üretiminde çok etkin bir platform oluşturacaktır. Bunun bir parçası olarak, “biyo-rafineri” konsepti; odunun kağıt, “yeşil kimyasallar”, “biyoyakıtlar” ve “yeşil enerji” üretiminde yeni bir denge unsuru olmasını öngörmektedir. Sektör, bu bağlamda, endüstriyel işlemlerde bir “yan ürün” olarak ve daha geniş kullanımı ile de yöresel ısı kaynağı olarak artan miktarlarda enerjisi iletme potansiyeline sahip olacaktır.

Küresel iklim değişikimine ilişkin ormancılık politikalarında, biyokütle içinde bağlanan karbonun atmosfere geri dönüşünün geciktirilmesinde öngörülen uygulamalar içerisinde;

1. Boş hazine arazilerini ağaçlandırarak orman alanlarını genişletmek,
2. Çok yaşlı ormanları süratle gençleştirerek biyokütle üretim performanslarını artırmak,
3. Yeni kurulan ormanlarda hızlı gelişen, üretim kapasitesi yüksek olan ağaç türlerini kullanmak,
4. Bozuk ve üretim performansı düşük baltalık ormanları imar ve ıslah ederek karbon bağlama kapasitelerini artırmak,
5. Uygun yetişme ortamlarında hızlı büyüyen yapraklı ağaçlarla modern enerji ormanları kurarak ısı ve güç santralleri ile pelet tesislerinin hammadde gereksinimlerini karşılamak,
6. Devletin sağlayacağı çeşitli destek ve teşviklerle ülke genelinde yüzlerce birleşik ısı-güç santralleri ve pelet tesislerinin kurularak çevre dostu “yeşil enerji” üretimini gerçekleştirmek ülkemiz için büyük önem taşımaktadır (Saraçoğlu, 2009).

2005 yılında yayımlanan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’un, 2. Madde 9. Paragrafı’nda biyokütle enerji kaynakları olarak organik, bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat artıkları, tarım ve orman ürünleri ve işleme yan ürünlerinden elde edilen katı, sıvı ve gaz yakıtlar tanımlanmaktadır.

1. Çevre ve Ormancılık Şurası Kararları 73. paragrafta da emisyonların azaltılmasında sektörel önlem ve politikaların geliştirilmesi için Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı’nın hazırlanmasının, 74. paragrafta

yenilenebilir kaynaklar arasında enerji ormanları gibi kaynaklarla ilgili Ar-Ge'nin artırılması, potansiyellerinin değerlendirilmesi, birincil enerji ve elektrik üretimindeki paylarının artırılması için sayısal hedefler belirlenmesi gereği üzerinde durulmuştur.

6. Madde'de de su havzaları, orman ekosistemi alanlarında çok amaçlı sürdürülebilir orman ekosistemi planlama ve yönetimi için endüstriyel plantasyonlara dayalı, hızlı büyüyen ağaç türleriyle yapılacak özel ağaçlandırmalar ve modern enerji ormancılığı teşvik edilerek, biyokütle esasına dayalı, modern enerji ormanı tesisi çalışmalarında planlanan enerji santrali de dikkate alınarak uygulamaya başlanması, özel sektör ve orman köy kooperatiflerini özendirerek düzenlemelerin yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Saraçoğlu,2010).

#### **4.TÜRKİYENİN ORMAN BİYOKÜTLE ENERJİSİNDEN YARARLANMA OLANAKLARI**

Enerji ormanları ile ilgili çalışmalar ülkemizde IV. Beş Yıllık Kalkınma Planında yer alan bir ilke ile başlatılmış ve geliştirilerek bugüne ulaşılmıştır. Yapılan envanter çalışmalarında ülkemizde enerji ormanı tesis edilmeye uygun yaklaşık 5 milyon hektar orman alanının olduğu saptanmıştır. Bunun 2.6 milyon hektarı kesim düzenine bağlanmış verimli orman, kalan 2.4 milyon hektarı ise bozuk orman durumundadır. OGM, 1978 yılında ilk kez 5030 hektar alanda enerji ormanı kurulmasından 2008 yılına kadar toplam 562.513 hektar enerji ormanı tesis etmiştir (OGM, 2009).

Bozuk baltalık orman alanlarının bugünkü durumu ile ülke ekonomisine hiçbir katkısı olmamaktadır. Bu alanlarda enerji ormanları kurulursa yetişme ortamları verimli duruma getirilerek ülke ekonomisine katkı sağlanacak ve ayrıca büyük miktarda iş olanağı yaratılmış olacaktır. Ülkemizin öncelikle yakacak odun gereksiniminin (ortalama 28 milyon m<sup>3</sup>/yıl) karşılanması, otlamanın ve dal yararlanmasının ormanlar üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılması amacıyla, Orman Genel Müdürlüğü tarafından Doğu, Güneydoğu, İç Anadolu ve Trakya bölgelerinde 1978 yılında başlatılan enerji ormanı projeleri ile 1999 yılı sonuna kadar 536.000 ha alanda klasik enerji ormanı tesis edilmiştir.

Bu çalışmalar özellikle bozuk meşe baltalıklarında yoğunlaşmıştır. Kapalılık derecesi düşük, çalılışmış, ölmekte olan meşeler toprak seviyesine yakın yükseklikten kesilmekte, kütükten ve köklerden sürgün üretilmesi amaçlanmaktadır. 5-10 yıllık idare süreleri sonunda kesilen sürgünler yöre halkı tarafından yakacak olarak kullanılmakta, yapraklar ise kışın hayvanlara yem olarak verilmektedir.

Ülkemizde uygulanan klasik enerji ormanı tesisi çalışmaları, bozuk baltalık sahaların verimli duruma getirilmesi amacı ile canlandırma kesimi + tohum ekimi + fidan dikimi şeklinde yapılmaktadır. Potansiyel alan 4- 4.5 milyon ha. dır. Ayrıca amenajman planlarında zaman-mekan düzenlemesine bağlanmış verimli baltalık ormanlarımızda da 20 yıl idare süresi ile enerji ormanı yenilemesi yapılmaktadır. Kesim düzenine bağlanmış verimli baltalık alanımız 2.545.132 ha. dır (Kurmuş, 2000).

Modern enerji ormancılığı projelerini uygulayan ülkelerde ise, birim alandan en kısa zamanda en fazla odun üretiminin sağlanabilmesi için makineli modern yöntemler uygulanmaktadır. Toprak işlenmekte, toprak analizleri sonucuna göre toprak gübrelenmekte, diri örtü temizliği yapılmakta, gerekirse toprak sulanmakta, genetik olarak yetiştirilmiş üstün nitelikli çelik ve fidanlar makine ile dikilmekte ve 3-5 yıllık idare süreleri sonunda hektarda 30-60 ton kuru ağırlıkta odun ürünü elde edilebilmektedir. Sürgünler makine ile kesilip 2-3 cm büyüklükte yongalandıktan sonra ısı tesislerine taşınmaktadır. Isı tesislerinde odun yongalarının yakılması sonucunda elektrik ve ısı enerjisi üretilmektedir.

Enerji ormancılığı uygulamaları ile üretilen odun ürünü, ormanlardan hasat çalışmalarından sonra genellikle çürümeye bırakılan dal, kabuk ve tepe parçaları ile toplumun kullanmadığı odun ürünleri ve orman endüstrisinin yonga, talaş ve kabuk gibi artıklarının, ülkemizin çeşitli yörelerinde kurulacak biyokütle bileşik ısı ve güç santrallerinde yakılarak elektrik ve ısı enerjisi üretiminin gerçekleştirilebilmesi ile, bu konuda lider olan Finlandiya gibi ülkelerde olduğu gibi, ülkemizin enerji açığının azaltılmasında çevre dostu, yerli ve yenilenebilir yeni bir enerji kaynağından yararlanılabilecektir.

Dünyada ve ülkemizde odun hammaddesi açığının gün geçtikçe artmakta olduğu bilinmektedir. Ortaya çıkan bu açığın ancak hızlı gelişen ağaç türleriyle kapanabileceği bir gerçektir. Bu türlerle yapılan ağaçlandırmalarda, yoğun kültür yöntemlerinin uygulanması ve doğaya yardımcı olması koşullarının yanında çok iyi bir tür ve orijin seçiminin yapılması kesinlikle gerekmektedir. İklim faktörü olarak en düşük sıcaklık yönünden Akdeniz iklim rejyonunda okaliptüs ile ilgili önemli bir sorun yoktur. Buna karşılık toprak faktörünün çok iyi incelenmesi ve deneme alanlarında kullanılan türlerin doğal yetişme ortamlarındaki koşullarına uygunluğunun araştırılması çok yararlı olacaktır. Ülkemizde okaliptüs ağaçlandırmasında kullanılacak potansiyel alan 150.000 ha dolayındadır. Söz konusu bu alanda yapılacak ağaçlandırmalarda iklim ve toprak koşullarına en uygun okaliptüs türünü ve bu türün orijinini seçmek, bu alanda yapılan çalışmaların en önemlisi niteliğindedir. Ülkemizin toprak ve iklim koşullarına uyum sağlayabilen okaliptüs türlerinden; *E. camaldulansis*, *E. grandis*, *E. occidentalis*, *E. bicostata*, *E. maidenii*, *E. globulus*, *E. gomphocephala*, *E. dalrympleana*, *E. delegatensis* ve *E. rubida* gelişme yönünden başarılı bulunmuşlardır (Avcıoğlu, 1994; Saraçoğlu, 2010).

## 5. TÜRKİYE’NİN BİYOKÜTLE POTANSİYELİ

Türkiye’nin orman alanı %27 oranı ile 20,7 milyon hektar alan kapsamaktadır. Orman alanlarının tamamı verimli orman niteliğinde olmayıp, ürün verebilen orman alanı 9,9 milyon hektar (%48) dir. Geriye kalan 10,8 milyon hektar (%52) orman alanı ise verim gücü düşük ormanlardan ya da tamamen verimsiz bozuk, makilik ve çalılıklardan oluşmaktadır. Ülkemizde orman varlığının %31’ine karşılık gelen 6,4 milyon hektarlık alan baltalık (normal, bozuk, çok bozuk) ormandır. Bunun 4 milyon hektarlık çok bozuk baltalık orman alanının enerji ormancılığına konu olabileceği söylenebilir (Saraçoğlu, 2001).

Türk Orman Envanteri’ne göre ormanlarımızın ağaç serveti 1,2 milyar m<sup>3</sup>, yıllık artımı 34 milyon m<sup>3</sup>, yıllık kesilebilecek miktar (eta) ise 18 milyon m<sup>3</sup> olacaktır. 2020 yılında yıllık odun ürünü gereksinimiz 43 milyon m<sup>3</sup> olacaktır. Eğer üretim tüketim arasındaki fark ithalat ile karşılanacaksa yaklaşık 6,4 milyar USD ödenmesi gerekecektir. Bu açığın kapatılmasında gerek devlet ormanlarında ağaçlandırılması gereken alanların uygun bir bölümünde modern enerji ormanlarının kurulması ve gerekse vatandaşın kendi arazisinde kavak, söğüt, akasya, okaliptus, kızılbaş gibi hızlı büyüyen ağaç türleri ile enerji ormanları kurmasının teşvik edilmesi ile enerji ormanlarında üretilecek ek odun üretimi önemli bir rol oynayabilecektir (Konukçu, 1998).

Türkiye ormanlarından Orman Genel Müdürlüğü tarafından kesilen yıllık ortalama 18 milyon m<sup>3</sup> ağaç hacmi yanı sıra orman içi ve orman çevresinde yaşayan vatandaşların kaçak olarak devlet ormanlarından kestikleri ağaç hacmi ve ayrıca tapulu arazilerdeki şahıs ormanlarından kesilen yıllık ortalama ağaç hacmi toplamının 10 milyon m<sup>3</sup> olduğu ve toplam olarak devlet ve özel şahıs ormanlarından yıllık kesilen ağaç hacminin 28 milyon m<sup>3</sup> olduğu tahmin edilmektedir. Bir ağacın yaklaşık % 25 ‘inin dallar, gövde kabuğu ve kesim sonrası arta kalan uç parçadan oluştuğu düşünülürse Türkiye ormanlarında her yıl yaklaşık 7 milyon m<sup>3</sup> kadar ağaç atıklarının ormanda kaldığı ve bunun büyük bir oranının nakliye masraflarını karşılamadığı için ormanda çürümeye terk edildikleri bilinmektedir. Ormanlarda çürütülen bu çok büyük miktardaki ağaç atıkları yanı sıra her yıl ülkemizde tarımsal üretim sonrası yaklaşık 56 milyon ton bitki sapı ve atıklarının da enerji üretiminde değerlendirilmeleri sağlandığında ülkemiz de biyokütle atıklarından enerji üreten ülkeler gibi biyoenerjiden yararlanmayı gerçekleştirmiş olacaktır (Saraçoğlu, 2010).

Ülkemizde yakacak odun sorununa çözüm olarak enerji ormancılığı konusuna el atılmış, enerji ormanı oluşturmaya elverişli 4 milyon hektar bozuk, 1 milyon hektar verimli olmak üzere 5 milyon hektarlık alan varlığı resmi raporlara geçmiştir. Bununla beraber, bazı pilot çalışmaların dışında enerji ormancılığı geliştirilememiştir. Hayvan gübresinin tezek olarak yakılmasının önüne geçmek için, biyogaz projesi başlatılmış, pilot uygulamalar yapılmış, 2,8-3,9 milyar m<sup>3</sup> ile 1,4-2 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) kadar enerji sağlayabilecek biyogaz potansiyeli belirlenmiş, ama bu proje 1984 yılından sonra terk edilmiştir. Benzine alkol katılması, 1970’li yıllarda petrol krizlerinin ardından gündeme gelmişse de enerji tarımı üzerinde hiç durulmamıştır. Modern biyokütle teknikleri ile sentetik yakıt konusuna el atıldığı söylenemez (Anonim, 2011d).

Türkiye’de yılda 50-65 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) tarımsal atık ve 11,05 MTEP hayvansal atık üretilmesine rağmen, üretilen bu atıkların sadece %60’ı enerji üretimi için kullanılabilir niteliktedir. Bu tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilecek enerjinin Türkiye’nin yıllık enerji tüketiminin %22-27’ sine eşit olduğu bilinmektedir (Doğan, 2000). Buna rağmen ülkemizde enerji politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarına

yönelmek ve bu konularda teknolojiler geliştirmek yerine, enerji ihtiyacını ithalatla karşılama yoluna gidilmektedir.

Ülkemizdeki tarım artıklarından her yıl elde edilebilecek enerji potansiyeli 5,4 milyon ton petrole eşdeğerdir. Bundan başka ülkemizde ağaç, orman ve sanayi atıkları olarak 5,9 milyon ton, hayvan atıkları olarak da 1,5 milyon ton petrol eşdeğerine karşılık gelen bir potansiyel bulunmaktadır. Bu enerjinin çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilme alternatifleri de mevcuttur (Berkes,1993).

Yapılan hesaplara göre; orta verimdeki bir arazi parçası üzerinde bir hektar tarladan yılda ortalama 80-100 ton yaş veya 25-30 ton kuru biyokütle elde edilmektedir. Böyle bir bölge için yıllık ortalama yağış tutarı 250 mm civarındadır. İklim koşulları açısından daha uygun olan yarı tropik bölgelerde ise verim, hektar başına 40 ton biyokütle düzeyine çıkabileceği kesindir. Biyokütleden elde edilen enerjinin birim maliyeti diğer yakıtlarla yarışabilecek durumdadır. Kuru biyokütlenin ısı değeri ise 3.800-4.300 kcal/kg arasında değişmektedir (Anonim, 2011e).

Türkiye; biyokütle materyal üretimi açısından, güneşlenme ve alan kullanılabilirliği, su kaynakları, iklim koşulları gibi özellikleri uygun olan bir ülkedir. Türkiye'de kültürel yetiştiriciliğe ve gıda üretimi dışında fotosentezle kazanılabilecek enerjiye bağlı olarak biyokütle enerjisi brüt potansiyeli teorik olarak 135-150 milyon TEP/yıl kadar hesaplanmakla birlikte, kayıplar düşüldükten sonra net değer 90 milyon TEP/yıl olacağı varsayılmaktadır. Ancak, ülkenin tüm yetiştiricilik alanlarının yıl boyu yalnızca biyokütle yakıt üretim amacıyla kullanılması olanaklı değildir. Olabilecek en üst düzeydeki yetiştiriciliğe göre teknik potansiyel 40 milyon TEP/yıl düzeyinde bulunmaktadır. Ekonomik sınırlamalarla 25 milyon TEP/yıl değeri, Türkiye'nin ekonomik biyokütle enerji potansiyeli olarak alınabilmektedir (Akpınar, vd., 2008). Türkiye tarımsal atıklar ile ürün atıkları açısından bol kaynaklarına sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre toplam biyokütle potansiyeli 8,6 MTEP seviyesinde olup, bunun 6 MTEP kadarı ısınma amaçlı kullanılmakta ve 2009 yılı değerleriyle 63 MW işletme halinde, 24 MW da inşa halinde kurulu güç bulunmaktadır (Anonim, 2009).

## **6. BIYOKÜTLENİN TÜRKİYE'DE ENERJİ ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLME OLANAKLARI**

### **6.1. Biyokütlenin Elektrik ve Isı Üretiminde Değerlendirilme Olanakları**

1990 yılında dünyanın birincil enerji tüketimi 8,4 GTEP (milyar ton petrol eşdeğeri) olup bunun 1,6 GTEP kadarı yenilenebilir kaynaklardan karşılanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları; biyokütle enerjisi, hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz enerjileri (gel-giy, dalga, ısı) ve jeotermal enerjidir. 1990 yılında dünyada tüketilen biyokütle enerjisi miktarı “Biyokütle Kullanan Uluslar Topluluğu (BUN) “ verilerine göre 1083 MTEP (milyon ton petrol eşdeğeri) , “Dünya Enerji Konseyi (WEC) “ raporlarına göre 1051MTEP ve “ Birleşmiş Milletler (UN) “ istatistiklerine göre 880 MTEP olmuştur. Kısaca, yenilenebilir enerji kullanımının % 55-67,6 kadarı biyokütleden sağlanmıştır.

Ormancılık, ağaç endüstrisi atıkları, bitkisel artıklar ve hayvansal gübreler, kara tipi enerji bitkileri ve su bitkileri niteliğindeki biyokütle kaynaklarından 2010 yılı için hedeflenen toplam biyokütle enerji üretimleri, minimum ve maksimum sınırlar alınarak; ABD'de 235-410 MTEP, Almanya'da 11-21 MTEP, Avustralya'da 12-21 MTEP, İngiltere'de 6,6-12,8 MTEP, İsveç'te 8,3-17,4 MTEP, Japonya'da 9-17 MTEP arasındadır. İsveç ve Japonya'da en büyük pay enerji bitkilerine ait olacaktır. Enerji bitkileri payının ABD'de % 66-70, Almanya'da % 39-44, Avustralya'da % 49-54 ve İngiltere'de % 64-68 olacağı tahmin edilmektedir.

Dünya Enerji Konseyi tarafından 1995 yılında 16. Dünya Enerji Kongresi'ne (Tokyo Kongresi) sunulan “Global Enerji Perspektifleri “ raporunda yer alan altı değişik senaryoya göre dünyanın birincil enerji tüketiminin, 2020 yılında 11,4-15,4 GTEP ve 2050 yılında da 14,2-24,8 GTEP arasında olması beklenmektedir. Aynı rapora göre yenilenebilir kaynaklardan yapılacak üretim 2020 yılında 2,3-3,3 GTEP ve 2050 yılında 4,4-7,3 GTEP sınırlarında olacaktır. Bu payların içinde klasik biyokütle ve klasik hidrolik enerji yer aldığı gibi, modern biyokütle ve diğer yenilenebilir kaynaklar da yer almaktadır. Modern biyokütlenin (enerji ormanları ve enerji

bitkilerinin yetiştirilmesi) olası payını kıyaslamalı biçimde gösterebilmek için 2020 yılı için kaynaklar bazında yapılmış bir öngörüm Tablo 2’de verilmiştir. (Saraçoğlu, 2010).

Tablo 2. 2020 Yılı Enerji Bütçesinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumu (Acaroğlu, 2003).

	2020 yılında minimum		2020 yılında maksimum	
	MTEP	Toplamın % si	MTEP	Toplamın % si
Modern biyokütle	234	45	561	42
Güneş	109	20	355	26
Rüzgar	85	15	215	16
Jeotermal	40	7	91	7
Küçük hidrolik	48	9	69	5
Deniz enerjileri	14	4	54	4
Toplam	539	100	1345	100
Genel enerji talebinin % si	3-4		8-12	

1991-1996 yıllarında uluslararası kuruluşlar ve büyük şirketlerin yaptıkları araştırmalara göre, 2025 yılında dünya genelinde biyokütleden sağlanacak enerji, Dünya Enerji Konseyi’nin “ Survey of Energy Resources 1998 Report “unda 1339 MTEP ile 3292 MTEP arasında bildirilmiştir. En düşük öngörüm Dünya Enerji Konseyi’ne aittir. Dünya Enerji Konseyi raporlarında 2020 yılında yeni ve yenilenebilir kaynaklarla enerji talebinin minimum % 3-4’ünün, maksimum % 8-12’sinin karşılanabileceği belirtilmektedir. Ortaya konulan senaryolara göre modern biyokütle ile sağlanacak enerji; jeotermal enerjinin 6,4 katı, rüzgar enerjisinin 2,6-3 katı, güneş enerjisinin 1,6-2,2 katı olabilecektir. Görüleceği gibi en büyük pay modern biyokütleyle ayrılmıştır.

AB ülkelerinde biyokütle enerjisi ticareti çok büyük bir Pazar olarak ortaya çıkmaktadır. Günümüzde Avrupa Birliği kapsamında enerji tüketiminin % 2-3’ü biyokütleden karşılanmakta olup bazı AB ülkelerinde biyokütlenin payı % 10-22 düzeyine (Finlandiya % 22 ile dünya lideri olan ülke) bulunmaktadır. ABD, Kanada ve AB ülkeleri 2050’li yıllarda ülke enerji gereksinimlerinin % 25-50’sini biyokütleden sağlamak için ABD de 100 milyon hektar, Kanada’da 40 milyon hektar ve AB ülkelerinde ise 20 milyon hektar alan modern enerji ormanlarının ve enerji bitkilerinin yetiştirilmesi için ayrılmıştır. 2020 yılında modern biyokütle enerji üretiminin ABD’de 235-410 MTEP, Almanya’da 11-21 MTEP, Japonya’da 9-12 MTEP olması planlanmıştır. Oysa, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın Türkiye için 2020 yılına kadar uzanan planlama ve projeksiyonlarında modern biyokütleyle hiç yer verilmemektedir.

Biyokütle enerji kaynaklarının kullanımında yeni bir yönelim olarak biyokütle enerjisinin ısı ve elektrik üretimi amacıyla Birleşik Isı-Güç Santrallerinde (BIGS-Kojenerasyon) kullanımı gündeme gelmektedir. Geleneksel olarak elektrik ve ısıyı ayrı ayrı üretmek enerji tüketimi açısından bir dezavantajdır, çünkü kullanılan enerjinin büyük bir bölümü kaybolmakta ve kullanılmamaktadır. Elektrik üretimi ile enerjiden yaklaşık % 25 verim alınırken, elektrik ve ısının birlikte üretilmesinde (kojenerasyon) verimlilik % 85’lerin üzerine çıkabilmektedir. Enerji tüketiminin minimizasyonunda ısı ve elektriğin birlikte üretildiği birleşik ısı ve güç sistemleri gerçek bir alternatif olarak sunulmaktadır.

Ülkemizde biyokütle birleşik ısı ve güç santrali tek örnek olarak; MİMSAN şirketi tarafından OYKA Çaycuma Kağıt Fabrikasında 2008 yılında kurulan 26 MW ısı ve 6 MW elektrik üretim kapasiteli biyokütle birleşik ısı ve güç santrali verilebilir. Bu tesiste fabrikanın yıllık 25.000 ton odun kabuğu artıklarına ek olarak satın alınan odun yongaları, odun talaşı, fındık ve badem kabukları ile yıllık 70.000 ton biyokütle yakılarak elektrik ve ısı enerjisi üretilmektedir. Bu tesis sayesinde kağıt fabrikasının enerji giderleri yaklaşık % 70 oranında azaltılmıştır. MİMSAN şirketi ayrıca odun kabuğu, ayçiçeği kabuğu, çay çöpü, pamuk şifti, ağaç talaşı, zımpara tozunun yakılarak ısı üretilen toplam 81.5 MW kapasiteli 8 adet biyokütle ısı santrali kurmuştur (Tablo 3) (Saraçoğlu, 2010).



Tablo 3. MİMSAN Firması Tarafından Türkiye’de Kurulan Biyokütle Santralleri (Saraçoğlu, 2010).

Tesis Adı	Yeri	Yakıt Cinsi	Isıl Kapasite (MW)	Üretilen Elektrik Miktarı (MW)	Yakıtın ort.alt ısı değeri (Kcal/kg)	Yakıt Tüketimi (kg/h)	Yapım Yılı
Paymar Yağ Sanayi A.Ş.	Hatay	Pamuk şifti, Asitli yağ, Kömür	8,3	-	2.500	3.800	2006
Trakya Birlik A.Ş.	Bursa	Ayçiçeği kabuğu, Kömür	5,5	-	2.800	2.140	2004
Çaykur-Pazar Çay Fabrikası	Rize	Çay çöpü, Kömür	10,4	-	2.000	5.650	2006
Akfa Çay Fabrikası	Giresun	Çay çöpü, Kömür	10,4	-	2.000	5.650	2007
Meray Yağ Fabrikası	Merzifon	Ayçiçeği kabuğu, Kömür	6,9	-	2.800	2.650	2008
Vezirköprü Orman Ürünleri	Samsun	Ağaç kabuğu, Talaş, Zımpara tozu, Kömür	2 x 12,5	-	3.200	2 x 4.100	2008
Oyka Kağıt Ambalaj A.Ş.	Çaycuma	Ağaç kabuğu, Talaş, kek, Kömür, Doğalgaz	28	6	3.200	8.850	2008
Gitaş Yağ Fabrikası	Konya	Ayçiçeği kabuğu, Kömür	6,6	-	2.800	2.250	2009
Marmara Tarımsal Yağ Fabrikası	Bandırma	Ayçiçeği kabuğu, Kömür	8,4	-	2.800	3.210	2007
Bat Oil Factory	Gürcistan	Ayçiçeği kabuğu	8,4	-	2.800	3.210	2008

## 6.2. Biyokütlenin Pelet Üretiminde Değerlendirilme Olanakları

Odun, saman, kağıt ve bir çok bitkisel lifler gibi bütün ligno-selülozik materyaller önemli bir enerji kaynağıdır. Materyallerin ana sorunu hacim/ağırlık oranının büyük olması; işleme, depolama ve taşımının zor ve pahalı olmasına neden olmaktadır. Bu problem bu materyallerin kurutulması ve daha sonra onun çok yüksek basınç altında sıkıştırılarak yakacak peletleri ve briketlerinin üretimi ile çözülebilir. Bu ürünler daha yüksek yoğunluk (2 katından daha fazla) ve yüksek bir ısı değerine sahip olacaktır.

Tarımsal atıklar ancak pelet biçimine dönüştürülürse taşıma, depolama ve kullanımı kolay olabilecektir. Peletler ağırlık olarak petrol enerjisinin yarısına ve üçte bir hacmine eşdeğerdir. Bu durum uzak mesafelere taşımada fiyat farkını dengeler. Odun yongaları (çipleri) ise petrole kıyasla hacim olarak 18 kat daha az enerji içerir. Odun peletleri kalitesi yükseltilmiş odun yakıtları olarak, ağaçlardan keresteye ve diğer odun ürünlerine kadar birçok işlemden ortaya çıkan; testere talaşı, planya talaşı, yonga, kabuk gibi materyalin kurutulması ve preslenmesi ile üretilmektedir. Bu işlemin en önemli özellikleri şunlardır:

- Atıkların enerji değerini yükselterek onların hemen ya da ileri termo-kimyasal dönüşümler için (yakma, gazlaştırma, piroliz, kömürleştirme) kullanımı depolama hacminin azaltılması
- İşleme tarzının ve taşımının kolaylaştırılması ve masrafların azaltılması
- Enerji yoğunluğu/hacim oranının artırılması
- Fermentasyon nedeniyle oluşan madde kaybının ortadan kaldırılması
- Odun peletleri kimyasal bağlayıcı maddeler eklenmeden yüksek basınçla oluşturulurlar ve yaklaşık 5 kWh'lık bir ısı enerjisi içerirler.

Böylece 1 kg odun peleti yaklaşık yarım litre fuel-oil'in enerji değerine eşdeğer bir kapasiteye sahiptir. Odun peletleri yakacak maddesinin kullanımı fosil enerji kaynaklarının aksine geniş ölçüde CO<sub>2</sub> nötürdür. Odun peletlerinin yakılması ile oluşan CO<sub>2</sub> miktarı, ağacın büyüme süresi içerisinde aldığı miktar kadardır (kapalı CO<sub>2</sub> döngüsü). Fosil enerji kaynaklarının yakılmasında serbest kalan CO<sub>2</sub> milyonlarca yıl depolanmıştır. Yanma sonucu serbest kalan CO<sub>2</sub> miktarı atmosferdeki CO<sub>2</sub> içeriğini artırmakta ve önemli ölçüde antropojen sera etkisinden sorumlu olmaktadır. Kim peletleri fosil yakıtlar yerine kullanırsa, yalnız CO<sub>2</sub> çıkışı değil, aynı zamanda SO<sub>2</sub> miktarını da zaltır. Bu gaz büyük ölçüde asit yağmurlarının oluşumunu sağlayarak genellikle "orman ölümleri" olarak tanımlanan ormanların zarar görmesinden birlikte sorumlu tutulmakta, odun peletlerinin yakılması ise ayrıca orman korumaya önemli katkı sağlamaktadır. Bir aile evindeki ısıtma fuel-oil'den odun peletine dönüştürüldüğünde CO<sub>2</sub> çıkışı 5 ton/yıl ve doğal gazdan dönüşümünde ise 2.5 ton/yıl azalış sağlanabilmektedir. Her iki durumda da sera etkisinde önemli bir azalma söz konusu olabilmektedir.

Odun peletleri öncelikle hızar ve rende talaşları ile orman odun artıklarının silindir şeklinde preslenmesi ile oluşturulan temiz, çevre dostu yakacak maddesidir. Peletler DIN standartlarına göre; 6 mm çap ve 10-40 mm uzunlukta üretilirler. Zararlı emisyonlardan kaçınmak için yalnız doğal odun hammaddeleri pelet üretiminde kullanılır. Odun peletleri yaklaşık 5 kWh/kg ısı değerleri ile 1/2 litre fuel-oil'e eşdeğer enerji içerir. Yüksek enerji yoğunluğu yını sıra 650 kg/m<sup>3</sup> gibi oldukça küçük bir depolama hacmine da sahiptir. Odun peletleri 16-1000 kg'lık torbalarda ve ayrıca dökme şeklinde pelet tankerleri ve gemilerle nakledilir. Odun briketleri ise genellikle 65 mm genişlik, 25-200 mm uzunluk ve 15-20 mm kalınlığında dikdörtgen prizma şeklinde preslenmiş yakacak maddesidir.

15 kW'lık bir ısı gereksinimi olan bir aile yıllık 3000 litre fuel-oil yakacağı yerine 6000 kg odun peleti kullanabilir. Peletlerin evlerde yakacak olarak kullanımı; doğal gaz ve fuel-oil gibi benzer kullanım konforu sağlamaktadır. Fuel-oil ve doğal gazın tutuşma, patlama, çevreyi ve toprağı kirletme, atmosfere yoğun oranda CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>'ler salmasına kıyasla odun peletlerinde bu olumsuzluklar çok az ya da yok denecek kadardır. Odun peletlerinden yanma sonrası oluşan kül miktarı yaklaşık % 0.5 oranındadır ve ağır metalleri içermediği için de doğal gübre olarak çiçek yetiştirmede, sera ve ormanda kullanılabilir. (Mizuta, 2010).

Ormanlardan ve enerji ormanlarından elde edilen odun ve ağaç artıkları, odun peleti ve briketlerine dönüştürülerek; evler ve binalar ısıtılmakta, biyokütle santrallerinde yakılarak çevredeki mekanların merkezi sistemle ısıtılması sağlanmakta ve termik santrallerde kömürle birlikte (co-firing) yakılarak ısı ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu amaçla 2009 yılında dünya genelinde 430 pelet retim tesisinde 15 milyon ton odun peleti üretilmiştir. Gelecekteki pelet gereksinimi 2015 yılında 228 milyon ton ve 2030 yılında 350-400 milyon ton olarak gerçekleşebilecektir (Mizuta, 2010).

Biyopeletler yenilenebilir enerji olarak kömürle birlikte yakılarak CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir. Şimdiye kadar dünya genelinde en büyük pelet pazarı Avrupa olmuştur ve gereksinimin yarısı evlerin ısıtılması içindir. Buna rağmen, dünya genelindeki gereksinim artışı esas olarak elektrik üretim sektöründedir. Dünya toplam pelet gereksinimi 2010 yılında yaklaşık 15 milyon ton iken, 2015 yılında 228 milyon ton ve 2030 yılında 350-400 milyon ton olarak gerçekleşebilecektir (Mizuta, 2010).

Enerji üretmede pelet ile fuel-oil, doğal gaz ve elektrikle ısıtma sonucu atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonlarının kıyaslanması yapılsa; pelet 68 kg/MW, doğal gaz 228 kg/MW, fuel-oil 342 kg/MW ve elektrikle ısıtma 681 kg/MW 'lık değerler elde edilir. Özetle, 1 MWh enerji üretmede pelete kıyasla; doğal gaz 3 katı, fuel-oil 5 katı ve elektrikle ısıtma ise 10 katı kadar atmosfere CO<sub>2</sub> salmaktadır (Şekil 1). Bu değerler dikkate alındığında, peletle enerji üretme ve pelet kullanımı, ülkemizin karbon kotasına büyük katkı sağlayabilecektir (Schütte, 2006; Saraçoğlu, 2010).

Yerli odun ve odun artıklarının odun peleti üretiminde kullanılması; endüstri, meslek, hizmet, orman – ve tarım işletmeciliğinde çok sayıda iş yeri sağlamaktadır. Böylece kırsal bölgelerde sosyal yapının güçlendirilmesinde ve değer artışının gerçekleştirilmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Pelet fiyatı geniş ölçüde doğal gaz – ve petrol fiyatlarından bağımsızdır. Fosil enerji kaynakları ve onların neden olduğu küresel iklim değişikliği sorunları dikkate alındığında; fuel-oil ve doğal gaz fiyatları gelecekte belirgin ölçüde yükselecektir. Odun peletleri yakacak madde fiyatları bakımından hemen bugünden fosil yakacaklara kıyasla uygun fiyatlı bir seçenek sunmaktadır. Günümüzde odun peletlerinin fiyatı ısı değeri bakımından fuel-oil ve doğal gazla kıyasla belirgin ölçüde düşüktür. Odun peletlerinin fiyatı fuel-oil ve doğal gaz fiyatlarında ortaya çıkan fiyat dalgalanmalarını izlemez ve son beş yıl içerisinde diğerlerine kıyasla çok sabit bir seviyede kalmıştır. Örneğin 5 ton odun peletinin Avrupa ülkelerinde 50 km'lik bir uzaklıkta eve teslim fiyatı her şey dahil yaklaşık 200 Euro/ton'dur. Pelet ve briketlerin ortalama özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Pelet ve Briketlerin Özellikleri (Saraçoğlu ve Gündüz, 2009).

Özellikler	Peletler	Briketler
Isı değeri	16.92 – 17.64 MJ/kg	16.92 – 17.64 MJ/kg
Yoğunluk	650 – 700 kg/m <sup>3</sup>	650 – 700 kg/m <sup>3</sup>
Çap	6 – 16 mm	65 mm
Uzunluk	20 – 30 mm	25 – 200 mm
Kül içeriği	0.4 – 1.0 %	0.5 %
Rutubet	7 – 12 %	7 – 12 %

Yılda 56 milyon ton tarım ürünü atığı ve 10 milyon m<sup>3</sup> ağaç atığına sahip Türkiye'de bu büyük ligno-selülozik potansiyel, biyokütle santrallerinde elektrik ve ısı enerjilerine ve pelet üretim tesislerinde ise pelet ve brikete dönüştürülemediği için ithal petrol, doğal gaz ve kömüre bağımlılık sürekli artmaktadır. Ülke ekonomisinin ve endüstrisinin büyümesinde, endüstriyel işlemlerde gerekli olan çok büyük miktardaki elektrik ve ısının üretilmesinde yerli biyokütle kaynaklarından en üst düzeyde yararlanılması gerekmektedir. (Saraçoğlu, 2010).

Alyak Şirketi Giresun'da kereste fabrikalarının talaş artıklarından günde 10-12 ton odun briketi üretmektedir. Saif Enerji Kaynakları A.Ş. Adana ve GAP bölgesinde kuracakları 4 adet tesiste mısır koçanları, pamuk ve ayçiçeği sapları, asma dalları gibi bitkisel artıklar kullanarak yılda 70.000 tonun üzerinde pelet üretimini planlamıştır. BioCandeo adlı Hollanda Firması Muğla yöresi kızılçam ormanları odun artıklarından yılda 70.000 ton odun peleti üretimine 2012 yılında başlayacaktır. Amir Dış Ticaret Şirketi Osmaniye'deki tesislerinde 2009 yılından itibaren tarımsal ve odun atıklardan odun Doğaç markası ile ve bitki peletleri ile odun briketi üretmektedir. Kayseri ve Konya'da da pelet üreten tesisler bulunmaktadır. Türkiye genelinde pelet üretim tesislerin sayısı ve kapasitelerinin artması ile ülke biyoenerji üretim potansiyeline önemli katkılar sağlanabilecektir (Saraçoğlu, 2010).

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin Uluslararası Enerji Birliği'ne üye ülkeler gibi yakın gelecekte ülke enerji gereksiniminin önemli bir miktarını modern enerji ormancılığı projesi ile sağlaması için bir dizi çalışmalar yapması gerekmektedir:

1. Öncelikle, modern enerji ormancılığının ülkemizde yurt çapında büyük ölçekte uygulanabilmesi için Türk Hükümeti'nin IEA'ya üye ülkelerin hükümetleri gibi vatandaşların kendi arazilerinde enerji ormancılığı işletmeciliğini yapabilmeleri için, tarımda olduğu gibi, arazi hazırlık çalışmaları, fidan, gübre ve makine temini, bakım ve hasat çalışmalarında kullanılacak yeterli miktarda düşük faizli krediler sağlanmalıdır.

2. Orman Genel Müdürlüğü'nün enerji ormancılığı işletmeciliğinde vatandaşlara teknik bilgi ve danışmanlık hizmeti ile fidan temini konularında destek olması, modern enerji ormancılığının ülkemizde de uygulanabilmesi için yurdun çeşitli bölgelerinde kavak, meşe, kızılğaç, söğüt, okalipütis, akasya gibi hızlı büyüyen ağaç türlerimiz ile pilot enerji plantasyonları kurarak halkın bilinçlendirilmesinin ve teşvik edilmesi sağlanmalıdır.

3. Hükümetin üretilen odun ürünlerinin yakılarak elektrik ve ısı enerjilerine dönüştürülmesini sağlayacak modern ısı tesislerinin kurulmasında ve üretilen elektrik ve ısının satışında vergi muafiyeti sağlayarak hem tesislerin ülke genelinde çok sayıda kurulmasına ve hem de üretilecek elektriğin; petrol, kömür, doğalgaz fiyatları ile rekabet edebilecek birim fiyatlarla satışına destek olunmalıdır.

4. Kurulacak ısı tesislerinde yakılacak en büyük hammadde kaynağı olarak, her yıl ormanlarda bakım, aralama ve hasat çalışmaları ile elde edilen yaklaşık 8-10 milyon m<sup>3</sup> dal, kabuk, tepe parçası kapasitesinden ekonomik nakliye uzaklığında (*Avrupa ülkelerinde odun hammaddesinin ısı tesisine ekonomik nakliye uzaklığı 30 km'dir*) yararlanılabilecek ağaç bileşenlerinin her yıl belirlenen miktarda Orman Genel Müdürlüğü'nce sağlanmalıdır.

Orman ve kağıt endüstrisinde üretim yapan fabrikaların çoğunda üretim aşamasında ortaya çıkan odun artıklarının (kabuk, yonga, talaş) yakılarak elektrik ve ısı enerjisine dönüştürülmesi için modern ısı tesislerinin bulunmaması ülke ekonomisi için kayıptır.

Her fabrika kendi modern ısı tesisini kurarsa hem odun artıklarını ve hem de çevredeki orman artıkları ile şahıslardan satın alınabilecek ağaç ve odun artıklarını ısı tesisinde yakarak elektrik ve ısı/buhar enerjisi üretimi ile gereksinimini daha ucuz sağlayabilecek, enerji fazlasını satabilecektir. Bu uygulama ile ülkenin hem artık maddeleri değerlendirilecek ve hem de ülke enerji üretimi artırılabilir. Bu nedenle hükümetin bu tür fabrikalara modern ısı tesisleri kurabilmeleri için destek sağlaması yararlı olacağı beklenmektedir.

Halka ve özel sektöre örnek olması ve tarım arazilerinde enerji ormanı tesisinin başlatılıp yaygınlaştırılabilmesi için, biyokütleden elektrik enerjisi üretilen bir tesisin meşe baltalıklarımızın yoğun olarak bulunduğu yörelerimizden birinde devlet ya da özel sektöre kurulmalıdır.

Türkiye'nin de enerji ormancılığına uygun 4 milyon hektarlık orman alanında ve boş bırakılan ya da az verim alınan tarım alanlarında modern enerji ormancılığı projeleri uygulamasının; petrol ithalatını azaltmak, doğal ormanları ve çevreyi korumak, toprak erozyonunu azaltmak, yerli biyokütle santralleri teknolojisini geliştirilmek ve dünya pazarlarında rekabet gücünü artırmak, yüz binlerce insana iş olanağı sağlayarak aile, yöre ve ülke ekonomilerini güçlendirmek, fosil yakıtların ithalatını azaltmak ve yeşil Türkiye görünümünü oluşturmak gibi sayısız yararları olacaktır. Türk ormancısı modern enerji ormancılığı projesi ile; geleneksel odun üretiminin yanı sıra, elektrik ve ısı enerjisi üretilmesine yardımcı olan çağdaş ormancılığa geçiş yapabilmenin ve ülkemizin enerji üretim potansiyeline katkı sağlayabilmenin gururunu yaşayabilecektir.

Türkiye'de enerji yatırımlarını teşvik etmeyi amaçlayan Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) Yasa Tasarısı kabul edilerek 2011 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu yasa ile yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük fiyat garantisi biyokütleyle verilmiştir. Biyokütleden üretilen elektrik için kWh başına ilk 10 yıl 13,3 cent-dolar'lık bir devlet alım garantisinin sağlanması ile özel sektör tarafından kurulacak birleşik biyokütle ısı ve güç santralleri sayısında yurt genelinde özlenen patlama gerçekleşebilecektir (Saraçoğlu, 2010).

## KAYNAKLAR

- Akpınar, A., Kömürcü, M. İ. ve Filiz M. H., 2008. Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Çevre, Sürdürülebilir Kalkınma ve Temiz Enerji Kaynakları, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, 12-24, İstanbul, 17-19 Aralık 2008.
- Alemdağ, İ. S., 1980. Manual of Data Collection and Processing for the Development of Forest Biomass Relationships, Petawawa National Forest Institute, Canadian Forest Service, Information Report PI-X-4, 38 p.
- Anonim 2009. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü, www.cedgm.gov.tr, (01.06. 2009).
- Anonim 2011a. Youth for Habitat Türkiye, Sürdürülebilir Enerji Eğitimi Kitapları, Biyokütle Enerjisi, <http://www.habitaticingenlik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/BiyoKutle.pdf> (01.04.2011).
- Anonim 2011b. Diğer Enerji Kaynakları Tanımı ve Kaynakların Ülkemizdeki Mevcut Durumu, Biyokütle Enerjisi <http://www.angelfire.com/scifi/nuclear220/sec555.htm#BİYOKÜTLE%20ENERJİSİ> (02.04.2011).

- Anonim 2011c. Biyokütle Çevrim Teknolojileri, <http://www.anadolutayfasi.net/kimya/54694-biyotukle-cevrim-eknolojileri.html>, (03.04.2011).
- Anonim 2011d. Biyokütle enerjisi, Türkiye'de Kaynak Varlığı ve Biyokütle Enerji Kullanımı, [http://www.istanbulenerji.com.tr/haber\\_detay.asp?id=991&tur=266](http://www.istanbulenerji.com.tr/haber_detay.asp?id=991&tur=266), (01.04.2011).
- Anonim 2011e. Türkiye'de Biyogaz ve Biyoenerji Eğitim Turları, Dünyada Biyokütle Kullanımı, <http://www.biyogazegitim.com/biyogaz-mikrobiyolojisi.asp>, (30.03.2011).
- Avcıoğlu, E., 1994. Türkiye'de Okalipthusların Yetiştirilebileceği Bölgelerde Tür ve Orijin Seçimi Üzerine Araştırmalar, Orman Bakanlığı, Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 1, 4-14, Antalya.
- Berkes, F., ve Kışlalıoğlu M. B., 1993. Çevre ve Ekoloji, 4.Basım, Remzi Kitabevi, İstanbul.
- Doğan, M., 2000. Enerji Kaynakları, Çevre Sorunları ve Çevre Dostu Alternatif Enerji Kaynakları, Standard Dergisi, 39/468 s.28-36.
- Hall, D.O., 1997. Biomass Energy in Industrialized Countries-A View of the Future, Forest Ecology and Management, 91 17-45.
- Konukçu, M., 1998. Statistical Profile of Turkish Forestry, T.R Prime Ministry, State Planning Organization, June 1998, 44 p., Ankara.
- Kurmuş, A., 2000. Enerji Darboğazı ve Ormancılığımız.Orman Bakanlığı, Teknik Bülten:1, Sayı:1,8-12
- Mizuta, A., 2010. Views on Pellets from a Global Company. Bioenergy International, Number: 44, 3, 2010, p.11.
- OGM 2009. Orman Genel Müdürlüğü'nde Biyoenerji Konusunda Yapılan Çalışmalar, Orman Genel Müdürlüğü, [www.ogm.gov.tr](http://www.ogm.gov.tr), Ankara.
- Perlack, R.D., Wright, L.L., Huston, M.A., Schramm, W.E., 1995. Biomass Fuel From Woody Crops For Electric Power Generation, ORNL-6871, L. Martin Energy Systems, Inc., September 21, Oak Ridge, Tennessee, 1995).
- Saraçoğlu, N., 2001. Türkiye'nin Uluslararası Enerji Politikalarında Enerji Ormancılığının Önemi, 1. Ulusal Ormancılık Kongresi, 19-20 Mart 2001, 183-194, Ankara.
- Saraçoğlu, N., 2006. Enerji Ormancılığının Kırsal Kalkınmaya Katkısı, Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi, s.8, 26-28 Mayıs 2006.
- Saraçoğlu, N., 2009. Fuel Wood as a Source of Energy in Turkey. Energy Sources, Part B, 4:396-406.
- Saraçoğlu, N., Gündüz, G. 2009. Wood Pellets – Tomorrow's Fuel for Europe. Energy Sources, Part A, 31:1708-1718.
- Saraçoğlu, N., 2010. Küresel İklim Değişimi, Biyoenerji ve Enerji Ormancılığı. Efil Yayınevi, 300 S., Ankara.
- Schütte, A., 2006. Holzpellets – Komfortabel, Effizient, Zukunftssicher. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow.
- TÜGİAD 2004. Türkiye'nin enerji sorunları ve çözüm önerileri, Ajans-Türk Basın ve Basım A.Ş., Batıkent, Ankara.