

## Kızılçam Ormanları Hasat Artıklarından Yapılan Odun Peletinin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi

Türkey TÜRKÖĞLU<sup>\*1</sup>, Cesur GÖKOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Köyceğiz Meslek Yüksekokulu, Ormanlık Bölümü, 48800, Muğla

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, 48000, Muğla

(Alınış / Received: 26.07.2016, Kabul / Accepted: 11.08.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 02.09.2016)

### Anahtar Kelimeler

Odun peleti,  
Yakıt özellikleri,  
Hasat artığı,  
Kızılçam

**Özet:** Bu çalışmada, Muğla yöresindeki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında uygulanan bakım ve odun hammaddesi üretimi sonucu ortaya çıkan odunsu atıklardan odun peleti yapılarak yakıt özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, Muğla ormanlarından tedarik edilen biyoküteller, öğütülerek 0.5 mm'lik partikül boyutuna getirilmiştir. Açık havada rutubeti % 10'un altında olacak şekilde kurutulan materyal, pelet presinde odun peleti haline getirilmiştir. Odun peletlerinin, ısı değerleri, özkütlesi, karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O) ve azot (N) içeriği ve kül bırakma yüzdeleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, odun peletlerinin özkütlesi, ısı değeri ve kül bırakma yüzdesi sırasıyla 0.671 gr/cm<sup>3</sup>, 22.17 MJ/g ve % 4,91 olarak bulunmuştur. C, H, O, N miktarları ise sırasıyla % 47.52, % 5.15, % 42.16 ve % 0,26 olarak tespit edilmiştir. Kızılçam orman hasat artıklarından yapılan odun peleti Avrupa Pelet Standardına göre EN-B kategorisinde yer almıştır.

## Determination of Fuel Properties of Wood Pellet's Made From Turkish Red Pine Forests Harvesting Residues

### Keywords

Wood pellet,  
Fuel properties,  
Harvesting residues,  
Turkish red pine

**Abstract:** The aim of this study is to make wood pellets from forest waste resulting from logging operations and forest maintenance of Turkish red pine (*Pinus brutia* L.). In this context, biomass was obtained from the forests of Muğla, and this raw material was reduced to particle dimensions - 0,5mm. The resulting particles were dried in open air and moisture content kept to below 10%. They was then be pelletized in a pellet press. The fuel properties of the pellets, such as the heating value, bulk density and elemental composition - Carbon (C), Hydrogen (H), Oxygen (O), Nitrogen (N), and ash content was determined. As a result, the fuel properties of the wood pellets, such as bulk density, the heating value and ash content were found 0.671 gr/cm<sup>3</sup>, 22.17 MJ/g and 4.91 % respectively. Elemental composition (C; H; O; N) were also determined 47.52 %; 5.15 %; 42.16 % and 0.26% respectively. The wood pellets made from Turkish red pine forests harvesting residues fall into the category of EN-B according to the European Pellet Standards.

### 1. Giriş

Enerji, bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınmasının en önemli unsurlarından biridir. Nüfusun hızlı artması, endüstriyelleşme, kentleşme ile birlikte küreselleşme sonucu ticaret ve üretim olanaklarının artmasına bağlı olarak doğal kaynak ve enerji talebi her geçen gün artmaktadır [1, 2]. Dünya enerji gereksiniminin yaklaşık %75'i kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil yakıtlarla yani yenilenemeyen kaynaklarla karşılanmaktadır [3, 4]. Fosil enerji

kaynakları ya da klasik enerji kaynakları olarak tanımlanan bu yakıtlar günlük yaşamımız içinde her alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fosil kaynakların çevre kirliliği oluşturması, küresel iklim değişikliği ve ekonomik olmaması gibi sorunlar nedeniyle ilgi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir [5, 6]. Dünyada yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle ve rüzgâr enerjisidir [7]. Son yıllarda, Avrupa'nın pek çok ülkesinde, Amerika Birleşik Devletleri'nde ve

Kanada'da evlerde, işyerlerinde ve enerji santrallerinde biyokütleden enerji üretimi oldukça yaygınlaşmıştır [8]. Bu sebeple, biyokütle kaynakları enerji üretiminde kullanılabilir yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer teşkil etmeye başlamıştır.

Biyokütle, canlı organizmalardan üretilen madde anlamına gelmektedir. Biyokütleyi, odun, tarımsal atıklar (saman, mısır kocsaları, pamuk atıkları gibi), şehirsal atıklar, endüstriyel organik atıklar (kağıt hamuru endüstrisindeki siyah likör, şeker sanayisindeki küspe gibi atıklar) oluşturmaktadır. Aslında, biyokütle, çok eski zamandan bu yana enerji kaynağı olarak zaten bilinmektedir. Odunun doğrudan yakılmasıyla elde edilen ısı enerjisi ısınmada ve yemek pişirilmesinde yüzyıllardır kullanılmaktadır [4]. Enerji amacıyla kullanılan biyokütle kaynaklarının en önemlisi ise orman ekosistemi içerisinde yer alan odunsu materyaller oluşturmaktadır. Ağaç gövdelerinden elde edilen endüstriyel odunlar dışında kalan kabuk, kök, dal ve yapraklar enerji üretiminde kullanılabilir biyokütle kaynaklarıdır. Türkiye ormanlarından her yıl kesilen ağaç hacminin yaklaşık 28 milyon m<sup>3</sup> olduğu ve bir ağacın % 25'nin dallar, gövde kabuğu ve kesim sonrası arta kalan uç parçalardan oluştuğu kabul edilirse, Türkiye ormanlarından yılda 7 milyon m<sup>3</sup> kadar kesim artıklarının ormanlarda kaldığı kabaca hesaplanabilir. Bu atıkların zamanla ormanda çürüyerek ölü örtüyü oluşturduğu bilinmektedir [9-11]. Bu ölü örtüde yangına çok hassas olan Akdeniz bölgesinde orman tabanında yanıcı madde yoğunluğu oluşturmakta ve böylece yangın çıkarma ve hızlı yayılma riski oluşturmaktadır. Bunun yanında kabuk böceği zararları ve gençleşme engeli de oluşturabilmektedir [12].

Muğla İli ve çevresinin ormanlık alanlarının yaklaşık % 68'i Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarıyla kaplıdır. Orman Genel Müdürlüğü (OGM) verilerine göre [13], Muğla İli ve çevresi odunsu materyalden enerji üretilen alanlar arasında ilk sıralarda gelmektedir. Günümüzde, gelişmiş ülkelerin birçoğunda odunsu materyal doğrudan yakılmasının yanında daha fazla enerji elde edebilmek ve odunsu atıkları değerlendirebilmek için öğütüldükten sonra preslenerek, yoğunluğu oduna göre fazla olan odun peleti ya da odun briketi olarak adlandırılan orman ürünlerine çevrilmektedir. Odun peleti, nem miktarı düşük, homojen partikül büyüklüğündeki ağaç parçalarının yüksek basınçta sıkıştırılarak, yüksek ısıya sahip, taşınması kolay ve yakmaya uygun şekilde oluşturulmuş küçük silindirik granül yakıtlara dönüşmüş bir alternatif yakıttır.

Ülkemizde de, yeni yeni bazı işletmelerde kereste fabrikası atıklarından ya da diğer odunsu atıklardan odun peleti yapılarak piyasada yer almaya başlamıştır. Bunun paralelinde, odun peletini yakacak soba, kalorifer kazanı, odun peleti endüstrisi için pres

makinelerini yapan işletmelerin sayısı da artmaya başlamıştır [14].

Bu çalışma ile Muğla İli ve çevresine yaygın olan kızılçam ormanlarının hasat ve bakım işlemleri sonucunda ortaya çıkan dal odunu artıklarından odun peleti yapılarak endüstriyel olarak değerlendirilmesi olanakları araştırılmış ve elde edilen odun peletinin bazı yakıt özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Türkiye'nin hızlı gelişen en önemli iğne yapraklı türü olan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Akdeniz bölgesinde, dünyadaki en geniş yayılışını yapmaktadır [15, 16]. Yetiştirme alanı 1400 m'lere kadar ulaşabilen, 25 m boy ile 60 cm kadar çap oluşturabilen, kalın kabuklu ve bol miktarda reçine ihtiva eden, önceleri piramit yapılı iken yaşlandıkça geniş tepeli olan bir orman ağacıdır. Yeni sürgünlerinin kırmızımsı bir renkte olması sebebiyle kızılçam adını almıştır [17]. Türkiye'de kapsadığı 5.8 milyon hektar alan ile iğne yapraklı ağaçlar arasında en geniş yayılışı yapan türü oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Muğla İli Köyceğiz ilçesi kızılçam ormanlarından temin edilen dal odunları materyal olarak kullanılmıştır. Dal odunları, gerek hasat ve bakım sonucunda gerekse ağaç dallarının kurumasıyla birlikte kırılarak örtü tabakaya düşen odunsu artıklardan oluşmaktadır. Muğla Orman Bölge Müdürlüğü (OBM)'ne bağlı Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü'nün uygun gördüğü ormanlık alandan 2015 yılı Haziran ve Temmuz aylarında temin edilen odunsu atıklar, açık hava ortamına Ağustos ayı boyunca bırakılmış ve rutubet dengesi hava kurusu durumuna getirilmiştir. Daha sonra dal odunları, taşıma ve öğütme kolaylığının sağlanması için küçük ebatlarda parçalara ayrılmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen dal odunları, parçacık boyutu 0.5 mm'nin altında olacak şekilde öğütülmüştür. Odun peleti yapımında kullanılan dal odunları ve öğütme sonucu oluşan parçacıklar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Dal odunları ve öğütme sonucu oluşan parçacıklar

Odun peleti üretimi, Muğla İl merkezinde bulunan ticari olarak pelet üretimini gerçekleştiren Yücel Kereste İşletmesinde gerçekleştirilmiştir. 0.5 mm'nin

altında getirilen odun parçacıkları diskli tip odun pelet makinasında odun peleti haline getirilmiştir. Şekil 2’de odun peleti makinesi ve üretilen odun peletleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Diskli tip odun peleti makinesi ve odun peletleri

### 2.1. Metot

Odun numune partilerinin ve odun peletlerinin rutubeti, Amerikan Test ve Malzeme Standartları Kurumu’nun (ASTM) ASTM E871 standardına göre belirlenmiştir [18]. Odun parçalarının ağırlığı tespit edildikten sonra kurutma fırınında (Etüv) 103 °C ± 2 °C sıcaklık derecesinde ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuş ve tekrar tartılmıştır. Daha sonra ise aşağıdaki formülle (1) rutubet miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{Rutubet Miktarı (\%)} = \frac{\text{Rutubetli Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}}{\text{Kuru ağırlık}} \times 100 \quad (1)$$

Özkütle hesaplamaları, 1000 ml’lik dereceli silindir yardımıyla ölçülmüştür. Hesaplama dereceli silindir’e 1000 ml hacminde numuneler doldurulmuş ve numunelerin ağırlıkları hesaplanarak aşağıdaki formül (2) vasıtasıyla bulunmuştur.

$$\text{Özkütle (gr/cm}^3\text{)} = \frac{1000 \text{ ml'deki partiküllerin Ağırlığı (gr)}}{1000 \text{ ml}} \quad (2)$$

Kül bırakma miktarı ASTM D1102’ye göre yapılmıştır [19]. Deney numunelerinden, 2 gr tartılmış ve sabit tartıma getirilmiş kroze konulmuştur. Numuneler, sıcaklığı 100-125 °C’ye getirilmiş etüvde kurutmuştur. Bir buçuk saat sonra etüvden çıkartılan kroze, desikatörlerde soğutulmuş ve tartılmıştır. Bu prosedür iki tartımın arasındaki fark 0.1 mg oluncaya kadar devam edilmiştir. Daha sonra numuneler kül fırınında 900 °C’de değişmez ağırlığa gelinceye kadar yakılmıştır. Yakma işleminden sonra fırından çıkartılan kroze desikatörde soğutulmuştur. Bu proses, 45 dk ara ile iki tartım arasındaki fark 0.2 mg oluncaya kadar devam edilmiştir. Kül bırakma yüzdesi, aşağıdaki eşitliğe (3) göre hesaplanmıştır.

$$\text{Kül (\%)} = \frac{\text{Kül ağırlığı (gr)}}{\text{Fırındaki kuru örneğin ağırlığı (gr)}} \times 100 \quad (3)$$

Örneklerin, uçucu madde miktarının bulunması ASTM E872’ye göre yapılmıştır [20]. Sabit tartıma getirilmiş kroze içine, hava kurusu numuneden 0.01 mg duyarlılıkta 1 gr tartılarak alınmıştır. Kroze kapağı ile örtülerek 900 °C ±25 °C de kül fırına konulmuştur. Örneğin yanmamasına dikkat edilerek, kroze kaplar, fırında 8 dk bekletildikten sonra, fırından çıkarılarak desikatörlerde soğutulmuş ve tartılmıştır. Numunelerdeki uçucu madde miktarı, şu formüle (4) göre hesaplanmıştır.

$$\text{Uçucu madde miktarı (\%)} = \left( \frac{G_1 - G_2}{G_1} - M \right) \times 100 \quad (4)$$

Burada; G<sub>1</sub>, numunenin ağırlığı (gr); G<sub>2</sub>, numunenin ısıtmadan sonraki ağırlığı (gr), M ise numunenin nem yüzdesini ifade etmektedir. Odun peletlerin ısı değerleri ise IKA WERKE marka bombalı kalorimetre cihazında ASTM E711 standardına göre belirlenmiştir [21]. Isıl değer, birim ağırlığındaki maddenin yanması sonucunda ortaya çıkan ısı biriminin sayısı olarak tanımlanmaktadır. Çok sık olarak kullanılan ısı değer birimleri; kJ/kg, MJ/kg, kcal/kg’dır. Kalorimetre bombası cihazında gerçekleştirilen yanma esnasında, biyokütlenin içeriğindeki nem ilk önce buharlaşır, daha sonra yoğunlaşarak su halinde gelir. Cihaz bu şekilde yoğunlaşma ısısını hesaplar. Bu ölçüm esnasında olan yanma ısısına üst ısı değer denmektedir. Alt ısı değer veya net kalori değeri, oluşan tüm suyun yoğunlaşma ısısının, üst ısı değerden çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Elde edilen odun peletlerinin karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O) ve azot (N) miktarları Costech ECS 4010 marka elementel analiz cihazında ASTM E777 standardına göre bulunmuştur [22]. Elementel analiz, katı ya da sıvı organik bileşiklerdeki element yüzdeslerini, 1020-1050 °C sıcaklıkta yakma yoluyla hesaplamaktadır. Oksijen miktarı ise bulunan değerler doğrultusunda 100-(%C+%N+%H+%kül) formülüyle hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemler ASTM standardına göre uygulanmıştır. Odun peletlerinin temel kalite standardı olarak EN 14961-2 Avrupa pelet kalite standardı kullanılmıştır [23]. Hammadde orijini dal odunları oluşturması sebebiyle EN 14961-1 standardı kapsamındadır. Analizlerde 10 tekrar yapılmış ve ortalama değerler kullanılmıştır.

### 3. Bulgular

Çalışmada, kızılçam ormanlarındaki bakım ve odun hammaddesi üretimi işlemleri sonucu ortaya çıkan dal odunlarından yararlanılarak odun peleti yapılmış ve elde edilen odun peletinin ısı değeri, elementel analizi, özkütlesi, rutubet miktarı, kül bırakma yüzdesi ve uçucu madde miktarı gibi yakıt özellikleri belirlenmiştir.

#### 3.1. Rutubet miktarı sonuçları

Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü’nden elde edilen odunsu atıklar, açık hava ortamında 1 ay (Ağustos

ayı) bırakılmış ve rutubet dengesi hava kurusu durumuna getirilmiştir. Bu sürenin sonunda yapılan rutubet ölçümlerinde odun ortalama rutubet değeri % 7.80 olarak bulunmuştur. Dal odunlarının ve öğütülen odun parçacıklarının ortalama rutubet değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Odunun Ortalama Rutubet Değerleri

Rutubet Değeri	Ortalama (%)
Dal odunları	7.80
Odun parçacıkları	9.32

Dal odunları öğütülerek parçacık boyutları 0.5 mm altına getirilmiştir. Öğütücüden çıkmış odun parçacıklarının rutubet değeri ortalama % 9.32 olarak tespit edilmiştir. Odun parçacıklarının rutubet değerinin % 10’un altında olması ve homojen boyutun sağlanması dolayısıyla odun peleti yapımı için uygun bulunmuştur.

### 3.2. Özkütle sonuçları

Odun parçacıklarının ve odun peletinin özkütle değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Özkütle sonuçları

Materyal	Özkütle (gr/cm <sup>3</sup> )
Odun parçacıkları	0.354
Odun peleti	0.671

Buna göre odun parçacıklarının özkütlesi 0.354 gr/cm<sup>3</sup> bulunurken, odun peletinin özkütlesi 0.671 gr/cm<sup>3</sup> bulunmuştur.

### 3.3. Kül bırakma yüzdesi sonuçları

Odun parçacıklarının ve odun peletinin kül bırakma miktarları Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Kül bırakma yüzdesi sonuçları

Materyal	Örnek miktarı (gr)	Kül Miktarı (gr)	Kül Miktarı (%)
Odun parçacıkları	9.25	0.15	1.6
Odun peleti	15.25	075	4.91

Odun parçacıklarının kül bırakma miktarı % 1.6 iken, odun peletinin % 4.91 bulunmuştur.

### 3.4. Uçucu madde miktarı sonuçları

Odun peleti ve odun parçacıkları numunelerinin uçucu madde miktarı Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 4.** Uçucu madde miktarı sonuçları

Materyal	Uçucu madde miktarı (%)
Odun parçacıkları	76.8
Odun peleti	73.9

Tablo 4’de görüldüğü üzere odun parçacıklarının uçucu madde miktarı % 76.8 bulunurken, odun peletinin % 73.9 bulunmuştur.

### 3.5. Isıl değer sonuçları

Odun peletlerinin ve kullanılan odun parçacıklarının ısı değerler ölçümleri Tablo 5’te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Isıl değer sonuçları

Materyal	Alt-üst ısı değer (MJ/kg)	Sıcaklık Farkı (°C)	Ağırlık (gr)	Sonuç (MJ/kg)
Odun parçacıkları	18.77 – 21.10	2.33	0.15	17.52
Odun peleti	16.97 – 19.94	2.97	0.75	22.17

Odun parçacıklarının ısı değeri 17.542 MJ/kg iken, odun peletinin ısı değeri ise 22.173 MJ/kg bulunmuştur. Bu değerler kalori birimine göre ise odun parçacıklarının 4 190 kcal/kg bulunurken, odun peletinin kalori değeri 5 296 kcal/kg hesaplanmıştır.

### 3.6. Elementel analiz sonuçları

Elementel analiz, yanma için gerekli hava miktarının, yanma gazı bileşimi ve hacminin hesaplanmasında kullanılmaktadır [24]. Elementel analiz sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Odun partiküllerinin C, H, O, N miktarları sırasıyla % 47.18, % 5.27, % 43.12 ve % 0.37 olarak bulunurken, odun peletinin, C, H, O, N miktarları ise sırasıyla % 47.52, % 5.15, % 42.16 ve % 0.26 olarak tespit edilmiştir. Biyokütle yandığı zaman oluşan ısı, biyokütlenin içerdiği karbon ve hidrojenin yanması neticesinde ortaya çıkmaktadır. Ağırlığı bilinen bir örnek, oksijen-taşıyıcı gaz ortamında uygun şartlar altında yakılmasıyla oluşan CO<sub>2</sub>, su buharı, elementel azot veya azot oksitlere, kükürt oksitler, oksiasitler ve hidrojen halojenler gibi yanma gazlarına ve küle dönüşmektedir [24].

### 4. Tartışma ve Sonuç

Orman biyokütlesi içerisinde değerlendirilen hasat artıkları, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Günümüzde, kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtların azalışı ve çevreye olan olumsuz etkileri sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep giderek artmıştır. Ormanlardan elde edilen odunsu atıklar, dünyadaki önemli bir biyokütle kaynağı olarak kullanılabilir niteliktedir. Türkiye’de ormanlardan elde edilecek biyokütle miktarı oldukça çok olup, bunların enerji üretiminde değerlendirilebilir olanakları bulunmaktadır [25]. Nitekim odun, geçmişten günümüze yakacak maksatla kullanılan büyük bir enerji kaynağıdır. Birçok ülkede, ormancılık uygulamalarından arta kalan orman artıklarının enerji üretiminde kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Türkiye’de odun kökenli enerji üretilebilecek alanlar arasında ilk sıralarda Muğla yöresi gelmektedir.

**Tablo 6.** Elementel analiz sonuçları

Materyal	Örnek Miktarı (gr)	Azot		Karbon		Hidrojen	
		Miktarı (%)	RepT (mVs/mg)	Miktarı (%)	RepT (mVs/mg)	Miktarı (%)	RepT (mVs/mg)
Odun parçacıkları	0.616	0.37	15.098	47.18	2927.933	5.27	1078.107
Odun Peleti	0.608	0.26	15.123	47.52	2950.688	5.15	1054.742

Bu çalışma sonucunda, kızılçam ormanları hasat artıklarından yapılan odun peletinin ısı değeri 22.17 MJ/kg bulunurken, dal odununun ısı değeri 17.54 MJ/kg bulunmuştur. Odunsu atıkların odun peleti gibi endüstriyel ürünlere dönüştürülmesi ve bir orman ürünü olarak değerlendirilmesi hem temiz enerji kaynakları kullanımını artıracığı gibi hem de atıl durumdaki hammaddeye ekonomik bir değer kazandırabilecektir. Elde edilen sonuçlar neticesinde odun peletinin kül bırakma yüzdesi odun parçacıklarına göre % 3.6 daha fazla bulunmuştur. Bu oranın düşürülmesi için odun peleti yakma ekipmanlarının geliştirilmesine ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır. Odun peletlerinin özkütlesi, kül bırakma yüzdesi ve uçucu madde miktarı sırasıyla 0.671 gr/cm<sup>3</sup>, % 4.91 ve % 73.9 olarak bulunmuştur. C, H, O, N miktarları ise sırasıyla % 47.52, % 5.15, % 42.16 ve % 0.26 olarak bulunmuştur.

Telmo ve Lousada (2011), Atlas sediri (*Cedrus atlantica*), Sahil çamı (*Pinus pinaster*), Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*), Okalptüs (*Eucalyptus globulus*) ve egzotik bir tür olan *Bowdichia nitida* ile odun peleti yaparak üst ısı değeri ile alt ısı değerlerini tespit etmiştir. Yumuşak ağaçlarla, sert ağaçların değerlerini kıyaslamıştır. Yumuşak ağaçların ısı değerlerini 19-20 Mj/kg arasında, sert ağaçların ise 14-19 Mj/kg arasında olduklarını bulmuştur [26]. Bu durumda, bu çalışma kapsamında kızılçam dal odunundan yapılan odun peletinin ısı değerinin 22.17 MJ/gr bulunması, ısı değeri açısından oldukça yüksek olduğunun göstergesidir. İğne yapraklı ağaçların ısı değerleri yaklaşık 5 000 Kcal/kg'dır. Geniş yapraklı ağaçların ısı değerleri ise 4 660 Kcal/kg'dır. İğne yapraklı ağaç odunlarının ısı değerinin geniş yapraklı ağaçlarınkinden ortalama % 7 daha fazladır. Bu şekilde olmasının sebebi ise iğne yapraklı ağaçların içeriğinde bulunan ekstraktif maddelerden kaynaklandığı bilinmektedir [27]. Alakangas (2005), odun atıklarından yapılacak peletin özelliklerini 6-10 mm çapında, boyu 10-30 mm arasında, nem içeriği % 7-12, kül miktarı % 5'in altında; yoğunluğunu 650-700 kg/m<sup>3</sup> ve ısı değerinin de 17-18 MJ/kg olduğunu belirtmiştir [28]. Saraçoğlu ve Gündüz (2009) odun peletinin; yüksek enerji içeriği, CO<sub>2</sub> emisyonunun düşük olması ve çevresel etkisinin düşüklüğü, taşınmasının ve kullanımının kolaylığı, temiz yanması ve düşük kül miktarının güçlü yanları olarak belirtmişlerdir [29].

Çalışma bulgularına göre kızılçam orman hasat artıklarından üretilen odun peleti Avrupa Pelet Standartları Konseyi tarafından geliştirilen odun peleti standartlarına göre EN-B standardına girmektedir. Bu standardın (ENplus-A1, Enplus-A2 ve

EN-B) ürün kategorisinde 3. sırada yer almasının nedeni ise kül bırakma yüzdesidir. Kül bırakma yüzdesinin düşük olması durumunda, ısı değeri açısından en üst standarda uygun durumdadır.

### Teşekkür

Bu çalışma, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamlanan "Kızılçam Ormanları Hasat Artıklarından Yapılan Odun Peletinin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi" adlı yüksek lisans çalışmasının özetidir. Çalışma, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 14/049 nolu proje ile desteklenmiş olup, bu desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

### Kaynakça

- [1] Narin, M. 2008. Türkiye'nin Enerji Yapısı ve İzleyeceği Öncelikli Politikalar. Asodosya Ankara Sanayi Odası Dergisi, Ağustos-Eylül, 50-68.
- [2] Tolunay, A., Turkoglu, T. 2014. Perspectives and Attitudes of Forest Products Industry Companies on the Chain of Custody Certification: A Case Study From Turkey. Sustainability, 6(2), 857-871.
- [3] Ertürk, F., Akkoyunlu, A., Varınca, K. B. 2006. Enerji Üretimi ve Çevresel Etkileri, Fosil, Hidrolik, Yenilenebilir, Nükleer. Türkiye Stratejik Araştırmalar Merkezi Stratejik Rapor No: 14, Tasarım Yayınları, Nisan, İstanbul.
- [4] Üçgül, İ., Akgül, G. 2010. Biyokütle Teknolojisi. Yekarum Dergisi, 1 (1), 3-11.
- [5] Yıldırım, H. T., Ünsal, Ö. 2012. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Odunun Enerjide Kullanımı ve Gelecek Senaryoları. Türkiye 12. Enerji Kongresi, 14-16 Kasım, Ankara.
- [6] Yılmaz, M. 2012. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli Ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4(2), 33-54.
- [7] Koç, E., Şenel, M. C. 2013. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, Cilt 54, Sayı 639, 32-44.
- [8] Obernberger, I., Thek, G. 2004. Physical Characterisation and Chemical Composition of Densified Biomass Fuels with Regard to their Combustion Behaviour. Biomass and Bioenergy, 27(6), 653-669.

- [9] Saraçoğlu, N. 2003. Biyokütlenin Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. Türkiye IV. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık, Ankara, 501-507.
- [10] Saraçoğlu, N. 2004. Türkiye'nin Enerji Üretiminde Biyokütle Kaynaklarından Yararlanma Olanakları. V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs, İstanbul, 485-499.
- [11] Saraçoğlu, N. 2006. Modern Enerji Ormancılığının Türkiye Ormancılığı, Kırsal Kalkınma ve Ülke Ekonomisine Katkısı, Orman ve Av, Sayı:1, Cilt:83, 33-38.
- [12] Eker, M., Çoban H. O., Alkan, H. 2010. Hasat Artıkları Tedarik Zincirine Yönelik Sistem Tasarımı, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, Cilt: II, 524-534.
- [13] OGM, 2010. Orman Biyokütlesinden Yakıt ve Enerji Üretimi. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 36s.
- [14] Türkoğlu, T., Baysal, E., Ergun, M. E., Toker, H., Yüksel, M., Özçiftci, A. 2015. Orman Ürünleri Endüstrisinde Odunsu Atık Yönetimi Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Selçuk Teknik Online Dergisi, Özel Sayı (UMK-2015), 517-529.
- [15] Kasaplıgil, B. 1952. The Forest Vegetation in The Mediterranean Regions of Turkey, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2(2), 47-65.
- [16] Sarıbaş, M., Ekici, B. 2004. Kızılçamın (Pinus brutia ten.) Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki Doğal Yayılışına Katkı, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 6(6), 127-135.
- [17] OGM, 2013. Orman Atlası. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 107s.
- [18] ASTM E871-82 2013. Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. ASTM International, West Conshohocken, USA.
- [19] ASTM D1102-84 2013. Standard Test Method for Ash in Wood. ASTM International, West Conshohocken, USA.
- [20] ASTM E872 2013. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels, ASTM International, West Conshohocken, USA.
- [21] ASTM E711 2004. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter. ASTM International, West Conshohocken, USA.
- [22] ASTM E777 2008. Standard Test Method for Carbon and Hydrogen in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel. ASTM International, West Conshohocken, USA.
- [23] EN 14961-2 2012. Wood Pellet Standard. European Pellet Council, Brussels, Belgium.
- [24] Tırıs, Ç. 2014. Biyokütle Enerji İçerikleri Biyokütle Karakterizasyonu. www.eusolar.ege.edu.tr, Erişim Tarihi: 20/12/2014.
- [25] Karayılmazlar, S., Saraçoğlu N., Çabuk Y., Kurt, R. 2011. Biyokütlenin Türkiye'de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 13(19), 63-75.
- [26] Telmo, C., Lousada, J. 2011. Heating Value of Wood Pellets From Different Species, Biomass and Bioenergy, 35, 2634-2639.
- [27] Erten, P. Önal, S. 1985. Ağaç Türlerimiz Odun Ve Kabuklarının Değerlerinin Saptanmasına İlişkin Araştırmalar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Seri No: 147, 90-110.
- [28] Alakangas, E. 2005. Properties of Wood Fuels Used in Finland. Biosouth Project, Project Report, 104s.
- [29] Saraçoğlu, N. ve Gündüz, G. 2009. Wood pellets - A Fuel for Europe, Energy Sources, Part A, 31, 1708-1718.