

**T.C.**  
**MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞAÇIŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**KIZILÇAM ORMANLARI HASAT ARTIKLARINDAN**  
**YAPILAN ODUN PELETİNİN YAKIT**  
**ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**CESUR GÖKOĞLU**

**NİSAN 2016**

**MUĞLA**

# MUGLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

## Fen Bilimleri Enstitüsü

### TEZ ONAYI

**CESUR GÖKOĞLU** tarafından hazırlanan **KIZILÇAM ORMANLARI HASAT ARTIKLARINDAN YAPILAN ODUN PELETİNİN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ** başlıklı tezinin, 29/04/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ağaçışleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

#### TEZ SINAV JÜRİSİ

Prof. Dr. Ahmet TOLUNAY (**Jüri Başkanı**)

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

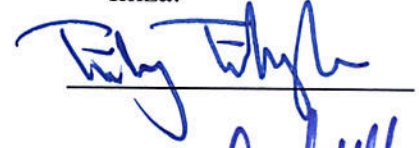
İmza:



Yrd. Doç. Dr. Türkay TÜRKOĞLU (**Danışman**)

Ağaçışleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

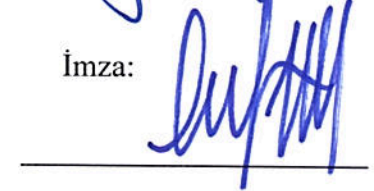
İmza:



Prof. Dr. Ergün Baysal (**Üye**)

Ağaçışleri Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:

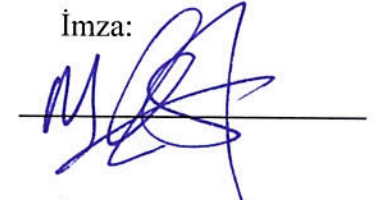


#### ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Doç. Dr. Mehmet ÇOLAK

Ağaçışleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

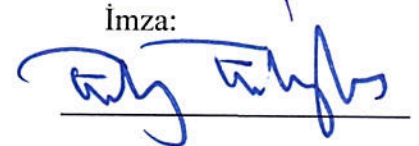
İmza:



Yrd. Doç. Dr. Türkay TÜRKOĞLU

Danışman, Ağaçışleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



Savunma Tarihi: 29/04/2016

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Cesur GÖKOĞLU

29/04/2016

## ÖZET

### KIZILÇAM (*Pinus brutia* L.) ORMANLARI HASAT ARTIKLARINDAN YAPILAN ODUN PELETİNİN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Cesur GÖKOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Türkay TÜRKOĞLU

Nisan 2016, 39 sayfa

Bu çalışmada, Muğla bölgesindeki, kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında yapılan bakım ve odun hammaddesi üretimi sonucu ortaya çıkan odunsu atıklar odun peleti yapılarak yakıt özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda Muğla ormanlarından tedarik edilen biyokütleler, öğütülerek 0,5 mm'lik partikül boyutuna getirilmiştir. Rutubeti % 10 altında olacak şekilde kurutulan materyal, pelet presinde odun peleti haline getirilmiştir. Odun peletlerinin, ısı değerleri, yoğunluğu, 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 bulunmuştur. Kızılçam orman hasat artıklarından yapılan odun peleti Avrupa Pelet Standardına göre EN-B kategorisine girmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Odun Peleti, Yakıt Özellikleri, Hasat Artığı, Kızılçam,

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF FUEL PROPERTIES OF THE WOOD PELLET'S MADE FROM TURKISH RED PINE (*Pinus brutia* L.) FORESTS HARVESTING RESIDUES

Cesur GÖKOĞLU

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Woodworking Industry Engineering

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Türkay TÜRKOĞLU

April 2016, 39 pages

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 and moisture content kept to below 10%. They were then 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 were 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.

**Keywords:** Wood Pellet, Fuel Properties, Harvesting Residues, Turkish Red Pine

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisansa başladığım andan itibaren hep daha iyiyi yapmam için beni teşvik eden, bu araştırma için beni yönlendiren, araştırmanın yürütülmesinde, karşılaştığım sorunları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Türkay TÜRKOĞLU'na sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi, görüş ve önerilerinden her zaman faydalandığım ve gerek Lisans gerekse Yüksek Lisans eğitimimin boyunca yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ergun BAYSAL'a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez savunma jüri üyesi olan Sayın Prof. Dr. Ahmet Tolunay'a tezin daha iyi olması için gösterdikleri çaba için teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmalarım sırasında benden bilgilerini esirgemeyen, teşvikleri, yardımları, anlayışları, tavsiyeleri, yorumları ve eleştirileri ile bir danışman gibi desteklerini eksik etmeyen Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaçışleri Endüstri Mühendisliğinde görev yapan sayın hocalarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, BAP-014-049 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

Ayrıca çalışmamın tüm aşamalarında sabırla beni destekleyen değerli aileme minnettar olduğumu belirtmek isterim.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>İX</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>X</b>
<b>SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>Xİ</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Amaç ve Kapsam .....	<b>3</b>
1.2. Kaynak Özetleri .....	<b>6</b>
1.2.1. Konunun ülkemiz için önemi .....	<b>6</b>
1.2.2. Pelet yapımına ilişkin literatür bilgileri.....	<b>7</b>
1.2.3. Biyokütle kaynağı olarak odun ve özellikleri .....	<b>9</b>
1.2.4. Avrupa odun peleti standartları .....	<b>13</b>
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>16</b>
2.1. Materyalin Hazırlanması .....	<b>16</b>
2.2. Yöntem .....	<b>17</b>
2.2.1. Odun materyalinin hazırlanması .....	<b>17</b>
2.2.2. Odun peleti yapımı .....	<b>18</b>
2.2.3. Nem miktarının hesaplanması .....	<b>19</b>
2.2.4. Özkütle hesaplamaları .....	<b>20</b>
2.2.5. Kül bırakma yüzdesi .....	<b>20</b>
2.2.6. Uçucu madde miktarı tayini .....	<b>21</b>
2.2.7. Isıl değer hesaplanması .....	<b>22</b>
2.2.8. Elementel analiz .....	<b>22</b>
2.2.9. Termal analiz.....	<b>23</b>
2.2.10. Çalışma kullanılan standartlar .....	<b>23</b>
<b>3. BULGULAR VE İRDELEME</b> .....	<b>25</b>
3.1. Rutubet Miktarı Sonuçları .....	<b>25</b>
3.2. Özkütle Hesaplamaları Sonuçları .....	<b>26</b>
3.3. Kül Yüzdesi sonuçları.....	<b>27</b>
3.4. Uçucu Madde Miktarı Sonuçları .....	<b>27</b>
3.5. Isıl Değer Sonuçları .....	<b>28</b>

3.6. Elementel Analiz Sonuçları .....	28
3.7. Termal Analiz Sonuçları .....	30
3.8. Kızılcım Orman Hasat Artıklarından Yapılan Odun Peletinin Yakıt Olarak Değerlendirilmesi ve Ekonomik Boyutu .....	32
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>33</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>35</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>39</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Çeşitli Ağaç Türlerinin Isıl Değerleri .....	11
Çizelge 2. Bazı Enerji Kaynaklarının Isıl Değerleri Ve Odun İle Odun Peletine Göre Eşdeğerleri .....	12
Çizelge 3. Avrupa Pelet Standartları Konseyi Tarafından Geliştirilen Odun Peleti Standartları Ve Sınıfı .....	15
Çizelge 4. Çalışmada Kullanılan Yöntemler Ve Standartları .....	24
Çizelge 5. Odunun Ortalama Rutubet Değerleri .....	25
Çizelge 5.1. Öğütülerek Elde Edilen Odun Parçacıklarının Ortalama Rutubet Değerleri.....	26
Çizelge 6. Odun Partiküllerinin Ve Odun Peletinin Özkütlesi .....	26
Çizelge 7. Kül Bırakma Yüzdesi.....	27
Çizelge 8. Odun Parçacıklarının Ve Odun Peletinin Uçucu Madde Miktarları .....	27
Çizelge 9. Odun Peletinin Isıl Değerleri .....	28
Çizelge 10. Elementel Analiz Sonuçları .....	29

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Türkiye’de Kızılçam Ağaç Türünün Yayılış Alanları .....	16
Şekil 1.2. Örtü Tabakada Kurumuş Dallar Ve Kalan Dallar.....	17
Şekil 1.3. Odun Peleti Yapımda Kullanılan Dal Odunları Ve Öğütme İşlemi .....	18
Şekil 1.4. Odun Peleti Yapımında Kullanılan Odun Parçacıkları .....	18
Şekil 1.5. Odun Peleti Üretimi .....	19
Şekil 1.6. Üretilen Odun Peletleri .....	19
Şekil 2. Kül Fırını Ve Numuneler .....	21
Şekil 3. Kalorimetre Bombası .....	22
Şekil 4. Elementel Analiz Cihazı .....	23
Şekil 5. Odun Peletinin Tg Ve Dta Eğrileri .....	30
Şekil 6. Odun Peletleri İçin Dtg Eğrileri .....	31

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CO	Karbon monoksit
C	Karbon
N	Azot
O	Oksijen
°C	Santigrat derece
cm <sup>3</sup>	Santimetre
gr	Gram
H	Hidrojen
ha	Hektar
Kg	Kilogram
m <sup>3</sup>	Metreküp
MJ	Mega Joule
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Mpa	Mega paskal
DTA	Diferansiyel Termal Analizi
TG	Termogravimetrik Analiz
OBM	Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Standartları Kurumu

## 1. GİRİŞ

Enerji bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınmasının en önemli unsurlarından biridir. Nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşme ile birlikte küreselleşme sonucu artan ticaret ve üretim olanaklarına bağlı olarak doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır (Narin, 2008). Dünya enerji gereksiniminin %80'i kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlarla yani yenilenemeyen kaynaklarla karşılanmaktadır (Ertürk vd., 2006; Üçgül ve Akgül, 2010). Fosil enerji kaynakları ya da klasik enerji kaynakları olarak tanımlanan bu yakıtlar günlük yaşantımız içinde her alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Fosil kaynakların yoğun bir şekilde çevre kirliliği yaratması, küresel iklim değişikliği ve ekonomik olmaması gibi sorunlar nedeniyle ilgiyi yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir (Yıldırım ve Ünsal,2012; Yılmaz, 2010).

Dünyada yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle ve rüzgâr enerjisidir (Koç ve Şenel, 2013). Türkiye, rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu enerjilerin, fosil yakıtlara göre maliyetleri ve çevreye olumsuz etkileri oldukça düşük olmasına rağmen, ülkemizde bu büyük potansiyel, verimli kullanılmamakta ve bu sebeple, enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu ithal edilen fosil yakıtlar ile karşılanmaktadır. Son yıllarda, fosil kaynakların kullanımı sonucu oluşan hava kirliliği ve devamında oluşan küresel iklim değişikliği gibi önemli çevresel sorunlarının ortaya çıkması, tüm dünyada atmosfere daha az karbondioksit salan, fosil kaynaklara alternatif, çevreyi daha az kirlüten, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmıştır. Bu sebeple, biyokütle kaynakları da enerji üretiminde kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer teşkil etmeye başlamıştır.

Biyokütle terimi, en geniş anlamda, yaşayan organizmalardan üretilen madde anlamına gelmektedir. Biyokütleyi, odun, tarımsal atıklar (mısır kocanları, pamuk atıkları, saman, gibi), şehir kanalizasyon atıkları, endüstriyel organik atıklar (kağıt endüstrisindeki siyah likör, şeker sanayisindeki küspe vb.) oluşturmaktadır. Geleneksel olarak biyokütle, birkaç bin yıldır enerji kaynağı olarak zaten bilinmektedir. Odunun doğrudan yakılmasıyla elde edilen ısı enerjisi ısınmada ve yemek pişirilmesinde yüzyıllardır kullanılmaktadır (Üçgöl ve Akgöl, 2010). 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.

Muğla İli ve çevresinin ormanlık alanlarının yaklaşık % 68'i Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarıyla kaplıdır. Orman Genel Müdürlüğü (OGM) verilerine (2010) göre, Muğla İli ve çevresi odunsu materyalden enerji üretilebilecek 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 küçük şekilde preslenerek, yoğunluğu oduna göre fazla olan odun peleti ya da odun birketi olarak adlandırılan orman ürünlerine çevrilmektedir. Odun peleti, kuru ve homojen partikül büyüklüğündeki ağaç parçalarının yüksek yoğunlukta sıkıştırılarak, yüksek ısı değere sahip, kolay taşınabilen ve yakmaya uygun formda küçük silindirik granül yakıtlara çevrilmiş temiz bir alternatif yakıttır.

Son zamanlarda sıkıştırılmış biyokütlenin, özellikle odun peleti halinde, kullanımı üzerinde pek çok çalışma sürdürülmektedir. Çevre standartlarına uygun şekilde hazırlanan biyokütle peletleri, Avrupa'nın pek çok ülkesinde, Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Kanada'daki evlerde, işyerlerinde ve enerji santrallerinde yakılarak ısı enerjisi elde edilmesi amacıyla kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır (Oberberger ve Thek, 2004). Ülkemizde de, yeni yeni bazı işletmelerde kereste fabrikası atıklarından ya da diğer odunsu atıklardan odun peleti yapılarak piyasaya sürülmeye başlanmıştır. Bunun paralelinde, odun peletini yakacak soba, kalorifer kazanı, odun peleti endüstrisi için pres makinelerini yapan işletmelerin sayısı da artmaya başlamıştır (Türkoğlu vd., 2015). Bu sebeple, Türkiye'de alternatif

hammadde kaynağı olarak odunsu biyokütleden enerji üretme teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik araştırmaların artması, özellikle ormanlarımızın korunması, işletilmesi ve devamlılığına katkı sağlayacağından dolayı büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada, kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında yapılan bakım ve odun hammaddesi üretimi sonucu ortaya çıkan odunsu atıklardan odun peleti yapılmış ve elde edilen odun peletinin yakıt özellikleri belirlenmiştir.

Çalışma 4 bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm olan giriş kısmında konuya genel çerçeveden bakılarak bilgiler sunulmuştur. Yine bu bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı ile kaynak özetleri verilmiştir. Materyal ve yöntem kısmında ise çalışmanın materyali hakkında bilgilerden bahsedilerek kullanılan yöntemler belirtilmiştir. 3. Bölümde çalışma kapsamında elde edilen bulgular ve irdelemeye yer verilmiştir. Çalışmanın son kısmı olan sonuç ve öneriler kısmında çalışma sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirilerek bir takım öneriler sunulmuştur.

### **1.1. Amaç ve Kapsam**

Doğal kaynakların en önemlilerinden biri olan ormanların ana fonksiyonu, geçmişte odun üretimi olarak düşünülürken, günümüzde yerini odun dışı orman ürünlerine ve diğer fonksiyonlarına bırakmıştır. Yaşam için son derece önemli olan orman kaynaklarının korunmasında ve insanların orman ürünlerine olan gereksinimlerinin karşılanmasında en yüksek düzeyde faydanın sağlanması gerekmektedir (Türkoğlu vd. 2015).

Orman kaynaklarından elde edilen odun hammaddesinin üstünlüklerinin çok fazla olması ve yeni teknolojik gelişmelerle birlikte kullanım alanlarının her geçen gün artması orman alanlarından sağlanacak odun hammaddesinin miktarı üzerinde bir baskı oluşturmaktadır. Masif ağaç malzeme yerine odun kökenli levhaların kullanılması, ağaç malzemenin yeniden kullanılması, atıklarının değerlendirilmesi ve ağaç atıklarından enerji üretilmesi gibi birçok geleneksel ve teknolojik alternatif yöntemler bulunsa da, odunun kendisinden, dalından, kabuğundan, yaprağından nasıl daha fazla yararlanılabilir diye araşışlar hep devam etmektedir. Bu araşış, özellikle

de ormanda ağacın kesilmesinden, kullanılmasına kadar oluşan süreçlerde ortaya çıkan odunsu atık malzemelerin değerlendirilmesine odaklanmıştır. Tüm bu süreçler içerisinde ilk odunsu atık malzeme, ormanlardan odun üretimi esnasında ortaya çıkmaktadır. Kesim ya da hasat artığı olarak adlandırılan istihsal (üretim) artıkları, ormanlarda yapılan bakım ve üretim sonucu endüstriyel odun olarak değerlendirilmeyerek ormanda ölü örtü olarak terk edilen kök, dip kütüğü, gövde ucu, tepe ve yan dallardan ince olanlar ile devirme ve taşıma sırasında parçalanan ağaçlar oluşturmaktadır. Endüstriyel açıdan ekonomik bir değeri yok gibi gözükse de bu artıklar, özellikle orman kaynağı ve orman ürünleri ticareti açısından gelişmiş ülkelerde çeşitli alternatif ürünlere dönüştürülmektedir.

Ormanlar, dünya üzerindeki en büyük biyokütle kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Orman biyokütlesi içerisinde değerlendirilen hasat artıkları, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir nitelikleri taşımaktadır. Günümüzde, kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtların azalışı ve çevreye olan olumsuz etkileri sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep giderek artmakta ve yeni alternatif enerji kaynaklarının kullanımı hızla artmaktadır.

Muğla Orman Bölge Müdürlüğü (Muğla OBM) sorumluluk sahası Aydın ve Muğla İlleri mülki sınırlarını kapsamakta ve yaklaşık % 68'i ormanlarla kaplıdır. Bu ormanların büyük bir çoğunluğunu kızılçam ormanları oluşturmaktadır. Muğla, ülkemizin önemli verimli ormanlarının bulunduğu ve endüstriyel odun üretiminin gerçekleştiği bir bölgedir. Burada, 2012 yılı OGM verilerine göre yaklaşık 600 bin m<sup>3</sup> endüstriyel odun üretimi ve 150 bin m<sup>3</sup> yakacak odun üretimi gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde en çok biyokütle miktarının Muğla OBM sorumluluk alanında olduğu belirtilmektedir (Taşkiran, 2011). Fakat, bu biyokütlenin değerlendirilmediği ve orman arazilerinde çürümeye terk edildiği bilinmektedir. Ayrıca, hasat artıkları 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 (Eker vd., 2010).

Dünyanın pek çok ülkesinde, ormancılık faaliyetlerinden kalan orman artıklarının sürdürülebilir enerji üretiminde kullanılması yönünde yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye'de odun kökenli enerji üretilebilecek alanlar arasında

ilk sırada Muğla yöresi gelmektedir. Yörede gerek orman emvali üretimi esnasında gerekse ormancılık bakımı esnasında oldukça fazla orman artığı çıkmakta bunların değerlendirilmesine yönelik herhangi bir çalışma yapılmamaktadır. Değerlendirilmeyen, atıl durumda kalan, hatta yangına çok hassas olan bölgemizde yangına sebebiyet verme niteliği taşıyan ve zararlı böceklerin çoğalmasını tetikleyici etkisi olan orman içi artıklarının enerji üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılacağı bu çalışma, atıl hammaddeye ekonomik bir değer oluşturulması açısından gerek ülkemiz gerekse Muğla İli ve çevresi açısından büyük önem taşımaktadır.

Orman Genel Müdürlüğü verilerine göre ülkemizin, % 27,6'sı ormanlarla kaplı olup, orman varlığı, 21, 7 milyon hektar (ha)'dır. Bu alanın %53'lük bir bölümü olan 11,5 milyon ha verimli orman olarak kabul edilmekte geriye kalan 10,1 milyon ha ise bozuk orman olarak nitelendirilmektedir. Bu orman alanları içerisinde 5,8 milyon ha ile en geniş yayılış gösteren ağaç türü Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.)'dır. Türkiye ormanlarından kesilen yıllık ortalama ağaç hacminin 28 milyon m<sup>3</sup> olduğu ve bir ağacın yaklaşık %25'nin dallar, gövde kabuğu ve kesim sonrası arta kalan uç parçalardan oluştuğu düşünülürse, Türkiye ormanlarından yılda yaklaşık 7 milyon m<sup>3</sup> kadar kesim artıkları ormanda kalmakta ve zamanla çürüyerek ölü örtüyü oluşturmaktadır (Saraçoğlu, 2006).

Bu çalışma ile Muğla İli ve çevresine hâkim olan kızılçam ormanlarının hasat ve bakım sonucunda ortaya çıkan odunsu artıklardan odun peleti yapılarak endüstriyel olarak değerlendirilmesi olanakları araştırılmış ve elde edilen odun peletinin yakıt özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Her ne kadar çalışma materyali olan odunsu atıklar Muğla İlinden tedarik edilecek olsa da, kızılçam hasat artıklarının ülkemizin tüm Akdeniz bölgesinde bulunması, çalışmanın kapsamını ve yaygın etkisini artırmaktadır.

## 1.2. Kaynak Özetleri

### 1.2.1. Konunun ülkemiz için önemi

Türkiye ormanlarında ağaç ve hasat atıklarının ve ormanlarda çürütülen çok büyük miktardaki ağaç atıklarının yakacak oduna alternatif olarak yakıt briketi olarak enerji üretiminde değerlendirilebilecek önemli bir biyokütle kaynağıdır (Yalınkılıç ve Türker, 1992). Gelişmiş teknolojilerin daha etkin kullanımı ile orman biyokütlesinden, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de enerji üretiminde kullanılabilir. Hatta enerji ormanları adı altında ormanların kurulması gerektiği belirtilmektedir (Saraçoğlu, 1996; 2003). Ormanlardan üretilen odunların yongalarından, ormanların bakım ve hasat çalışmaları sonucu ortaya çıkan dal, kabuk, tepe parçaları, kütük ve köklerini, piyasada kullanılmayan odun ürünlerinden, odun endüstrisinde üretim sürecinde ortaya çıkan talaş ve odun atıklarından ısı tesislerinde yakılarak elektrik ve ısı üretimi sağlanmasının ülkemizin enerji potansiyellerine büyük katkı sağlayacaktır (Saraçoğlu, 2004; 2006; 2008).

Dünya’da enerji tüketim miktarı hızlı bir şekilde artmaktadır. Bunun sonucu olarak, enerji açığını karşılamak için biyokütleden faydalanılmasında önemli bir artış yaşanmıştır. Enerji amacıyla kullanılan biyokütle kaynakların en önemlisi ise orman ekosistemi içerisinde yer alan odunsu materyaldir. OGM’nin ormanların 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 biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilme olanakları bulunmaktadır (Karayılmaz vd., 2010) . Ormanlarda kesim ve bakımlar sonucu geride bırakılan ve bırakıldığı ormanın yangın ve böcek zararı riskinin artmasına sebep olan kesim artıklarının ormanlardan verimli bir şekilde sağlanarak biyokütle olarak kullanılacağı açıklanmıştır (Ateş vd., 2007).

Geçmişte orman artıklarının orman dışına taşınması büyük engel iken, günümüzde ormanda taşıma maliyetlerini düşürücü ön işlemler kullanılabilir. Yeni teknoloji ile orman sahasına taşınabilecek makinalarla atıklar yonga haline getirilerek kolayca ormandan çıkarılabilmektedir.

Akdeniz bölgesi biyokütle kaynakları bakımından oldukça zengindir. Orman atıklarından ısı ya da enerji elde edilmesi amacıyla faydalanılması, orman yangınlarının önlenmesine yönelik bir tedbir olacağı belirtilmektedir (Taşkiran vd., 2010). Yenilenebilir kaynakları, enerji üretimi sürecinde hava ve su kirliliği, karbon emisyonları bakımından atmosfer kirliliğine sebebiyet vermemesi sebebiyle temiz enerji olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca, Türkiye’de odun kökenli enerji üretilebilecek alanların başında yöresel anlamda Muğla ve Adana bölgesi gelmekte ve ülkemizde yenilenebilir enerji teknolojilerinin önemli bir ticari potansiyele sahip olacağını ve aynı zamanda yatırım fırsatları oluşturma kapasitesine sahiptir (Yıldırım ve Önal, 2012).

Literatürde faydalanılan ulusal kaynaklar, ülkemizin biyokütle kaynakları açısından zengin olmasına rağmen bu yenilenebilir kaynakların kullanımının düşük olduğunu göstermektedir. Ülkemiz ormanlarında en fazla yayılış yapan kızılçam odununun pelet yapımı için uygun bir odunsu materyal olduğunu göstermiştir. Bu sebeple odunsu atıkların değerlendirilmesi konusu ülkemiz açısından da büyük bir öneme sahiptir.

### **1.2.2. Pelet yapımına ilişkin literatür bilgileri**

Zaini vd. (2008), Kuzey Amerika’nın batısında çam zararlı böceği (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins) tarafından zarar verilen çam türünden (*Pinus concorta* Douglas) yapılan odun peletinin içeriği, yoğunluğu ve ısıl değerinin araştırıldığı çalışmada, pelet üretimi için seçilen böceğin etkisine maruz kalmış ve kalmamış odun parçalarından % 10-15 nem içeriğinde, 80-127 MPa basınçta ve 90-100-110°C’lik değişik sıcaklıklarda 4,7 mm ve 3,2 mm uzunluğunda peletler üretmiştir. Sonuç olarak, böceklerin zararına uğramış materyalden yapılan peletlerin yoğunluğunun diğerine göre nispeten düşük olduğu tespit edilmiştir.

Relova vd. (2009) Küba’da yayılış gösteren *Pinus caribaea* ve *Pinus tropicalis* kabukları ve talaşlarının kullanılarak pelet yapıldığı çalışmada, peletleri oluşturan hammaddenin partikül büyüklüğünün, nemin ve pres basıncının etkileri tespit edilmiştir. Sonuç olarak partikül boyutu ile basınçın birbiriyle ilişkili olduğu, ideal

partikül boyutunun 0,63-1 mm arasında olduğunu ve nem içeriğinin de % 12'nin altında olması gerektiği belirtilmiştir.

Yine ayrı bir çalışmada, Sarıçam (*Pinus sylvestris*) ağaç türü talaşından % 6-12 nem içeriğinde, 70 ile 150 MPa piston basıncında ve 100-180°C'de pelet yapılmıştır. Pelet yapılırken taze talaş ve bekletilmiş talaş çalışmanın materyalini oluşturmuştur. Pelet yoğunluğu, nem içeriği ve sıcaklık değişken parametreler olarak kullanılmıştır (Bergström vd., 2010).

Eriksson vd. (2011) tarafından, Huş (*Betula pubescens*) ve Kavak (*Populus tremula*) türlerinden elde edilen yongalar ile sert ağaç yonga karışımından standart 8 mm'lik peletin yapıldığı çalışmada, pelet yapımında kullanılan yonga boyutunun ve yongaların içerdiği nemin etkisi araştırılmış ve pelet yakma kazanına üstten ve alttan beslenmesi arasında ilişki kurulmuştur.

Pelet yapımında iğne yapraklı ağaç türlerine ait hammaddenin kullanıldığı küçük ölçekli pelet işletmesinde odunsu materyallerden yapılan peletlerin sağlamlığını arttırmak için lignosülfanat, patates nişastası ve patates kabuğu kullanıldığı çalışmada, ekledikleri malzemenin peletlerin kompakt olmasını sağladığını fakat ısı değerini deyiştirmediği bulunmuştur (Kuokkanen vd., 2011).

Norveç ladini (*Picea abies Karst.*), Sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve Huş (*Betula ssp.*) ağaçlarının deyişik oranda karışımlarından yapılmış olan odun peletlerinin, pelet kalitesine (nem, yoğunluk, kül ve mekanik sağlamlık) göre gruplandırarak bir modelleme yapılmıştır. % 50 ladin ile % 50 sarıçam karışımının modellemede en uygun olduğuna karar verilmiştir (Lestander vd., 2012).

Pirraglia vd. (2012), (*Eucalyptus benthamii* ve *Eucalyptus macarthurii*) elde edilen peletlerin torrefaksiyon yöntemi (oksijensiz ortamda ılımlı piroliz) ile kalori değeri ve diğer yakıtsal özelliklerini geliştirmeye çalışmışlardır. Biyokütle torrefaksiyon ile kurutma işlemini gerçekleştirilerek ısı değeri orijinal materyale göre ortalama % 19 geliştirmişlerdir. Çalışmada, nem içerikleri, karbon, hidrojen, oksijen ve azot içerikleri ile ısı değeri tespit etmişlerdir.

Liu vd. (2013), Bambu ve pirinç saplarından pelet yaparak birbirini ısı değeri vasıtasıyla kıyaslamışlardır. Çalışmada pirinç saplarından yapılan peletin ısı değerinin 15,4 MJ/kg bulunarak, pelet üretimi için Çin standardına ve DIN 51731

standardına (>17,5 MJ/kg) uygun olmadığını belirtmiştir. Bambu'nun ise pirinç saplarına göre daha iyi olduğunu ve ısıl değerinin standartların üzerinde olması sebebiyle biyokütle olarak büyük bir potansiyel oluşturduğunu açıklamışlardır.

Toscano vd. (2013) ise, EN 14961-2 standardında A1 sınıfında yer alan ticari odun peletlerinin kalitesini içeriğindeki önemli kimyasal elementler ile kül içeriğinde bulunan elementleri incelemiştir. Isıl değerleri ve peletlerin özkütlesi ile bu elementlerin miktarlarını araştırmıştır.

Genellikle iğne yapraklı ağaç türlerinden yapılmış odun peletlerinin yapraklı ağaç türünden yapılmış peletlere göre ısıl değerinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Çalışmalarda, 1 mm'nin altında partikül boyutunun pelet yapımı için uygun olduğu, nem içeriği ise % 7-10 arasında olması gerektiği ve kül miktarı % 0,5 altında olması çalışmanın başarıya ulaşmasında rol oynadığı tespit edilmiştir. Odun peleti yoğunluğunun da 700 kg/m<sup>3</sup> den fazla olması ve ısıl değerinin de en az 18 MJ/kg olması gerektiği görülmüştür.

### **1.2.3. Biyokütle kaynağı olarak odun ve özellikleri**

Odun, geçmişten günümüze yakacak maksatla kullanılan büyük bir enerji kaynağıdır. Yanması sonucu meydana gelen ısı enerjisinden evlerde ısıtma, pişirme, endüstride ısıtma maksatlarında ve enerji üretiminde kullanılmaktadır. Ekmek fırınları, çanak çömlek imalâthaneleri, kireç ve tuğla ocakları, porselen fabrikaları çabuk tutuşan iğne yapraklı reçineli ağaç odunlarını kullanmaktadır. Bu hususlarda ince dal odunları da uygundur. Çamaşırhanelerde, sabun sanayinde ve su kazanlarının ısıtılmasında ise sakın yanan fakat sıcaklığı uzun müddet devam eden sert ağaç (yapraklı ağaç) odunları daha uygun bulunmaktadır (Bozkurt, 1972).

Biyokütle, selüloz, lignin, hemiselüloz, ekstraktifler, basit şekerler, su, nişasta, lipitler, proteinler, hidrokarbonlar, kül ve diğer bileşenleri içeren her türlü lignoselülozik yapıya verilen genel bir isimdir. Lignoselülozik bileşikler kristal ve amorf yapıda oluşmuştur. Yapısındaki heterojen bölge ise çok çeşitli hücreler ve hücre duvarlarından oluşan selüloz, lignin ve hemiselüloz olarak adlandırılan polimerlerden meydana gelmektedir (Tüplek, 2011).

Selüloz, biyokütlenin yapısındaki en yaygın glikoz polimeridir. Başka bir deyişle, çözünmez, lineer, dallanmamış yapıdaki 1–4  $\beta$  glikozidik bağlardan oluşmuş polisakkaritlerdir. Lignin karmaşık bir polifenolik yapıdır. Lignin pirolizi sonucu oluşan fenoller, eter ve karbon–karbon bağlarındaki ayrılmalardan meydana gelmektedir ve bozunması sırasında, selülozun bozunmasındakinden daha fazla miktarda atık kömür oluşmaktadır. Hemiselüloz, selüloza göre termal dayanıklılığı daha az olan, yani daha kolay bozulan bir biyokütle bileşenidir. Hemiselüloz yapısında, beş ve altı karbonlu şekerler ile üronik asit bulundurulur (Işıklıdağ, 2007). Ekstraktif maddeler, biyokütle yapısında bulunan ve çözücüler yardımıyla çıkarılabilen bileşenler olarak tanımlanmaktadır. Ekstrakte edilenler, çeşitli kimyasal bileşenler içermektedir. Bunlar reçineler, tanenler, zamlar, yağlar, şekerler, nişastalar ve alkaloidler olarak sıralanabilir. Bu bileşenler birçok ürünün karakteristik özellikleri olan, koku ve renk gibi özellikleri ile birçok biyokütlenin çürümelere ve böceklere karşı direnç kazanma gibi bazı özellikleri kazanmasında etkilidir (Tüplek, 2011). Biyokütlenin yapısında bulunan inorganik kısımlar ise sodyum, potasyum gibi alkali metaller, magnezyum, kalsiyum gibi toprak alkalilerden ve kükürt, sülfür, klor, azot, fosfor, silisyum ve alüminyum gibi diğer bileşenler ile ağır metallere arsenik, bakır, çinko, civa ve kurşun'dan oluşmaktadır. Yanma olayı gerçekleştikten sonra, inorganik kısımdan geriye kalan kısma kül adı verilir.

İğne yapraklı ağaçların gövde odun ısı değeri ortalaması yaklaşık 5.000 Kcal/kg'dır. Yapraklı ağaçların ise 4.660 Kcal/kg'dır. İğne yapraklı ağaçların gövde-odun ısı değeri yapraklılardan yaklaşık % 7 daha fazladır. Bunun nedeni ise iğne yapraklı ağaç odunlarındaki ekstraktif madde miktarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim kızılçam gövde odunundaki reçine miktarı % 7,32, sarıçamda % 6,81 ve karaçamda % 4,48'dir. Reçinenin ısı değeri ise 8580 Kcal/kg olduğu hesaplanmıştır. Okaliptüs ise 4500 Kcal/kg ile yapraklı ağaçlarda en yüksek ısı değere sahiptir (Erten ve Önal, 1985). Çeşitli ağaç türlerinin ısı değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1. Çeşitli Ağaç Türlerinin Isıl Değerleri**

Ağaç türleri	Isıl değerleri (Kcal/kg)			
	Gövde- Odun	Dal- Odun	Gövde Kabuk	Dal- Kabuk
İğne Yapraklılar (Yumuşak Odunlar)				
Kızılçam	5096	5067	5087	4531
Sarıçam	5274	5181	5310	4989
Karaçam	5266	5266	5252	5227
Yapraklılar (Sert Odunlar)				
Okaliptus	4894	4767	3380	3472
Meşe	4620	4692	3768	4287
Karaağaç	4617	4503	3318	3879
Çınar	4506	4470	3737	4116

İğne yapraklı ağaçlarda dal odunu ile gövde odunu arasında ısıl değer bakımından büyük bir fark yoktur. Fakat, iğne yapraklı ağaçlar, yapraklı ağaçlara göre ısıl değeri olarak yüksektir. Bunun nedeni ise iğne yapraklı ağaçlarda ekstraktif madde miktarının fazla olmasıdır. Dolayısıyla kül miktarı da düşüktür. Tüm bu veriler düşünüldüğünde kızılçam ve karaçam, odun peleti yapımı için uygun bir türlerdir. Muğla yöresinde ve Akdeniz bölgesinde pelet endüstrisinde değerlendirilebilecek en önemli hammadde kaynağı kızılçam odunlarıdır. Bazı enerji kaynaklarına ait ısıl değerler ve odun peletine eşdeğerlikleri çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2. Bazı Enerji Kaynaklarının Isıl Değerleri ve Odun ile Odun Peletine Göre Eşdeğerleri**

Enerji kaynağı	Isıl değeri	Eşdeğer odun	Eşdeğer pelet
Doğalgaz	8250 kcal/m <sup>3</sup>	2,06	1,65
Linyit Kömürü	4900 kcal/kg	1,22	0,98
İthal Kömür	6500 kcal/kg	1,62	1,30
Fuel-oil	9700 kcal/kg	2,42	1,94
Motorin	10.200 kcal/kg	2,55	2,04
LPG/Propan	11000 kcal/kg	2,75	2,20
Odun	4000 kcal/kg	1	0,80
Odun peleti	5000 kcal/kg	1,25	1

Kaynak: Anonim (Enerji Dünyası Dergisi)

Eşdeğerlikler incelendiğinde odun peletinin ısı değeri linyit kömüründen fazla olduğu görülmektedir. Odun peletinin, yenilenebilir bir kaynak olması ve fosil yakıtlara göre çevreyi az kirletmesi en önemli üstünlüklerini oluşturmaktadır.

Gelişmiş ülkeler, ormanlardan elde ettikleri odun hammaddesinin büyük bir bölümünü endüstride kullanmakta, yakacak odun sınıfı olarak ayırdıkları oran oldukça düşüktür. Bu oran, Amerika Birleşik Devletlerinde % 6, Kanada'da % 4, Almanya'da % 7 ve Türkiye'de ise % 71'dir. Her yıl yakılan odun hammaddesi miktarını azaltarak yerine başka maddeler ikame etmeyi mümkün kılındığı takdirde bu hammadde odun levha sanayinde değerlendirilebilir ve böylece ülkemizin kalkınmasına büyük yardımda bulunabilecektir (Bozkurt, 1972). Son yıllarda yakacak odun miktarına ayrılan oran düşük olsa da yine gelişmiş ülkelere göre yüksektir.

Odun diğer yakıtlara göre daha kısa zamanda yanma ve çabuk ısı verme özellikleriyle üstünlük taşımaktadır. 1 kg taş kömürü veya linyit için 15-17 m<sup>3</sup>, 1 kg kuru odun için ise 7- 9 m<sup>3</sup> havaya ihtiyaç vardır. Yanma sonunda, odunun bıraktığı kül miktarı daha az olup ağırlığının % 1'i kadardır. Bu değer linyit için %15, kok ve antrasit için %5' tir (Erten ve Önal, 1985).

Odunun ısıl değerini etkileyen başlıca etmenler, ağaç türü, özgül ağırlık, rutubet, kül ve ekstraktif madde miktarlarıdır. Yanma sonucunda oluşan ısının bir kısmı odun içerisindeki suyun buharlaşmasına harcadığı için, rutubet miktarının artmasıyla kalori değeri azalmaktadır. Ekstraktif madde miktarının artmasıyla da kalori değeri artmaktadır (OGM, 2009).

Ülkemizde orman potansiyelinin büyük bir kısmını kızılçam ormanları oluşturmaktadır. Bu potansiyelden uygun koşullarda enerji üretebilmek için hammaddenin özellikleri, dönüşüm süreçleri, süreç için tasarımlar, biyoyakıt özelliklerinin belirlenmesi ve kullanıma konulması gerekmektedir (Şölenler, 2004).

Birleşmiş Milletler Ekonomik Avrupa Ekonomik Komisyonu tarafından açıklanan bilgilere göre dünyada odun peleti üretiminin 14 milyon ton olduğu belirtilmektedir. Bu üretimin başta Amerika Bileşik Devletleri, Kanada, Almanya, Rusya ve İsveç gibi ülkelerde yapıldığını ve Avrupa ülkelerinde büyük bir pazarı olduğundan bahsedilmektedir. Ayrıca, Güney-doğu Avrupa'da Hırvatistan, Bulgaristan, Bosna Hersek, Sırbistan ve Slovenya'nın önemli üretici ve ihracatçı ülkeler olduğu belirtilmektedir.

Yine, Saraçoğlu ve Gündüz (2009) Avrupa'daki odun peleti pazarına yapılan swot analizinde, peletin yüksek enerji içeriği, CO<sub>2</sub> emisyonunun düşük olması ve çevresel etkisinin düşüklüğü, taşınmasının ve kullanımının kolaylığı, temiz yanması ve düşük kül miktarını güçlü yanları olarak belirtmişlerdir. Avrupa'da pelet kullanımının ve üretiminin yaygın olmasına dikkat çekmişlerdir.

Türkiye'de ormanlardan elde edilen odunsu biyokütleden enerji üretme teknolojilerinin geliştirilmesi ve bu konuda araştırmaların yapılması, odun peleti pazarında ülkemizin de yer almasını sağlayacaktır. Özellikle ülkemizde bu sektörün gelişmesi, Avrupa'ya yakın olması dolayısıyla Avrupa pazarına kolayca girebilecektir. Bunun yanında özellikle ormanlarımızın korunması, işletilmesi ve sürdürülebilirliği için ekonomik bir katkı sağlayacaktır.

#### **1.2.4. Avrupa odun peleti standartları**

Avrupa Pelet Standartları Konseyi tarafından geliştirilen odun peleti standartları Çizelge 3'de verilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen kızılçam hasat artıklarından

yapılan odun peletinin özellikleri Avrupa Pelet Konseyi tarafından geliştirilen ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B pelet standartlarından hangisine dâhil olduğu tespit edilecek ve tartışılacaktır.



**Çizelge 3. Avrupa Pelet Standartları Konseyi tarafından geliştirilen odun peleti standartları ve sınıfı**

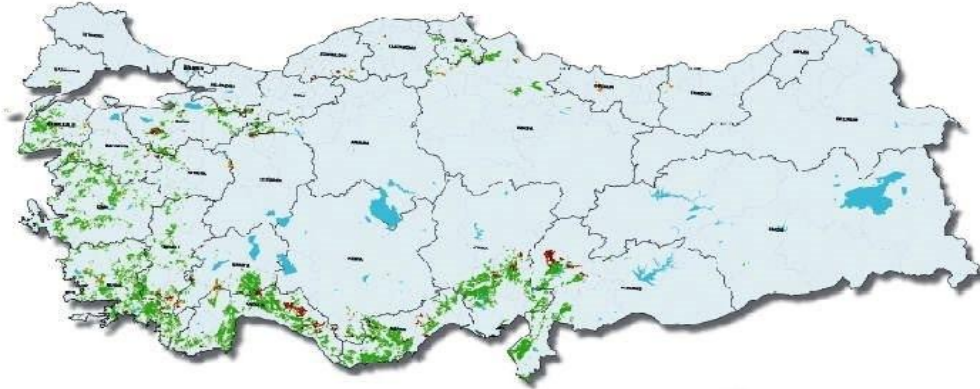
Özellik	Birimi	ENplus-A1	ENplus-A2	EN-B	Test standardı
Çap	mm		6 yada 8		EN 16127
Uzunluk	mm		$3.15 \leq L \leq 40$		EN 16127
Nem	%		$\leq 10$		EN 14774-1
Kül içeriği	%	$\leq 0.7$	$\leq 1.5$	$\leq 3.0$	EN 14775 (550 °C)
İncelik	%		$< 1$		EN 15210-1
Isıl değeri	MJ/kg	$16,5 \leq Q \leq 19$	$16,3 \leq Q \leq 19$	$16,0 \leq Q \leq 19$	EN 14918
Yoğunluk	Kg/m <sup>3</sup>		$\geq 600$		EN 15103
Azot içeriği	%	$\leq 0.3$	$\leq 0.5$	$\leq 1.0$	EN 15104
Sülfür içeriği	%		$\leq 0.03$	$\leq 0.04$	EN 15289

Bu sınıflandırma, ticari bir işletmenin üretim yaparken göz önünde bulundurması gereken temel verileri göstermektedir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyalin Hazırlanması

Türkiye'nin en önemli iğne yapraklı türü olan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), dünya üzerinde en geniş yayılışını Türkiye'de Akdeniz bölgesinde yapmaktadır (Kasaplıgil,1952; Sarıbaş ve Ekici, 2004). Küçük gruplar halinde Suriye, Irak, Ürdün, Lübnan, Filistin, Ege Adaları, İtalya ve Kıbrıs'ta yayılış göstermektedir (Kayacık, 1965; Sarıbaş ve Ekici, 2004). Ülkemizde 1500 m'ye kadar yetişmekte ve 25 m boy, 60 cm kadar çap yapabilen kalın kabuklu, bol miktarda reçine ihtiva eden, önceleri piramit yapılı iken yaşlandıkça geniş tepeli olan bir orman ağacıdır. Yeni sürgünleri kırmızımsı bir renkte olması sebebiyle kızılçam adını almıştır (OGM, 2013). İngilizce'de "Turkish Red Pine" olarak da adlandırılmakla birlikte kurak koşullara son derece dayanıklı, çok farklı toprak koşullarında başarıyla yetişen ve yetiştirilen, hızlı gelişen bir ağaç türüdür. Türkiye'de kapsadığı 5,8 milyon hektarlık alanda, iğne yapraklı türler içinde en geniş yayılışı yapan türü oluşturmaktadır. Türkiye'de Kızılçam ağaç türünün yayılış alanları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Türkiye'de Kızılçam ağaç türünün yayılış alanları

Muğla OBM sorumluluk sahası Aydın ve Muğla İlleri mülki sınırlarını kapsamakta ve yaklaşık % 68'i ormanlarla kaplıdır. Bu ormanların büyük bir çoğunluğunu

kızılcım ormanları oluşturmaktadır. Muğla, lkemizin önemli verimli ormanlarının bulunduğu ve endüstriyel odun üretiminin gerçekleştiği bir bölgedir.

Bu alışmada, Muğla İli Köyceğiz ilçesi kızılcım 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. şekil 1.2’de tedarik edilen odunsu atık malzemeler gösterilmiştir.



şekil 1.2. Örtü tabakada kurumuş dallar ve kalan dallar

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Odun materyalinin hazırlanması

Muğla OBM’ne bağlı Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü’nün uygun gördüğü ormanlık alandan 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. Odun peleti yapımında kullanılan dal odunları ve öğütme işlemi şekil 1.3’de verilmiştir.



**Şekil 1.3. Odun peleti yapımında kullanılan dal odunları ve öğütme işlemi**

Çalışma kapsamında elde edilen dal odunları Muğla İlinde bulunan Yücel Kereste İşletmesinde parçacık boyutu 0,5 mm'nin altında olacak şekilde öğütülmüştür. Odun peleti yapımında kullanılan odun parçacıkları ve boyutları Şekil 1.4'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.4. Odun peleti yapımında kullanılan odun parçacıkları**

### **2.2.2. Odun peleti yapımı**

Odun peleti üretimi, Muğla İl merkezinde bulunan ticari olarak pelet üretimini gerçekleştiren Yücel Kereste İşletmesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.5'de ve 1.6'da odun peleti üretim makinası ve üretilen odun peletleri gösterilmiştir. 0,5 mm'nin altında getirilen odun parçacıkları diskli tip odun pelet makinasında üretilmiştir.



Şekil 1.5. Odun Peleti Üretimi



Şekil 1.6. Üretilen odun peletleri

### 2.2.3. Nem miktarının hesaplanması

Odun numune partilerinin ve odun peletlerinin rutubeti, Amerikan Test ve Malzeme Standartları Kurumu'nun (ASTM) ASTM E871 standardına göre belirlenmiştir. Odun parçalarının ağırlığı tespit edildikten sonra kurutma fırınında (Etüv)  $103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık derecesinde ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuş ve tekrar tartılmıştır. Daha sonra ise aşağıdaki (2.1)' deki formülle rutubet miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{Rutubet Miktarı (\%)} = \frac{\text{Rutubetli Ağırlık} - \text{Tam Kuru Ağırlık}}{\text{Tam kuru ağırlık}} \times 100 \quad (2.1)$$

#### 2.2.4. Özkütle hesaplamaları

Odun parçacıklarının ve odun peletinin özkütlesinin hesaplanması 1000 ml'lik dereceli silindir yardımıyla ölçülmüştür. Hesaplama dereceli silindir'e 1000 ml hacminde numuneler doldurulmuş ve numunelerin ağırlıkları hesaplanarak aşağıdaki (2.2)' deki formüle göre hesaplanmıştır (1000 ml=1 cm<sup>3</sup>).

$$\text{Özkütle (gr/cm}^3\text{)} = \frac{\text{1000 ml'deki partiküllerin Ağırlığı (gr)}}{\text{1000 ml}} \quad (2.2)$$

#### 2.2.5. Kül bırakma yüzdesi

Odun peleti ve odun parçacıkları numunelerinin kül miktarı ASTM D1102'ye göre yapılmıştır. Deney numunelerinden, 2g tartılmış ve sabit tartıma getirilmiş kroze konulmuştur. Daha sonra numuneler, sıcaklığı 105-120 °C 'ye ayarlanmış etüvde kurutulmuştur. Bir saat sonra etüvden çıkartılan kroze, desikatörde soğutulmuş ve tartılmıştır. Bu işleme iki tartım arasındaki fark 0,1 mg oluncaya kadar devam edilmiştir. Yapılan işleme ait resimler Şekil 2'de verilmiştir.

Daha sonra numuneler kül fırınında 900 °C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar yakılmıştır. Yakma işleminden sonra fırından çıkartılan kroze desikatörde soğutulmuştur. Bu işlem, yarım saat ara ile iki tartım arasındaki fark 0,2 mg oluncaya kadar tekrarlanır. Kül, ağırlık yüzdesi olarak aşağıdaki (2.3)' teki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\text{Kül (\%)} = \frac{\text{Kül ağırlığı (gr)}}{\text{Fırındaki kuru örneğin ağırlığı (gr)}} \times 100 \quad (2.3)$$



Şekil 2. Kül fırını ve numuneler

### 2.2.6. Uçucu madde miktarı tayini

Odun peleti ve odun parçacıkları numunelerinin uçucu madde miktarı tayini ASTM E872'ye göre yapılmıştır. Sabit tartıma getirilmiş kroze içine, havada kurutulmuş örnekten 0,1 mg duyarlılıkta 1 g tartılarak alınmıştır. Kroze kapağı ile örtülerek 900 °C ±20 °C de kül fırına konulmuştur. Örneğin yanmamasına dikkat edilerek, kroze fırında 7 dk. bekletildikten sonra, fırından çıkarılarak desikatörde soğutulmuş ve tartılmıştır. Örnekteki uçucu madde miktarı aşağıdaki (2.4)' deki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{Uçucu madde miktarı (\%)} = \left( \frac{G_1 - G_2}{G_1} - M \right) \times 100 \quad (2.4)$$

Burada;

$G_1$  =Kullanılan örneğin ağırlığı , (gr)

$G_2$  =Örneğin ısıtmadan sonraki ağırlığı ,(gr)

$M$  =Kullanılan örneğin nem yüzdesi

### 2.2.7. Isıl değerin hesaplanması

Odun peletlerinin ve kullanılan odun talaşının kalori değerleri ölçümleri IKA WERKE marka kalorimetre bombası yardımıyla yapılmış olup, yakıtların alt ısıl değeri ve üst ısıl değeri kalori/gr cinsinden hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan kalori metre bombası Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Kalorimetre Bombası

Peletlerin ısıl değerleri ise bombalı kalorimetre cihazında (ASTM E711) belirlenmiştir. Isıl değer, birim ağırlığının tamamen yanması sonucunda açığa çıkan ısı biriminin sayısı olarak tanımlanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan ısıl değer birimleri; kJ/kg, MJ/kg, kcal/kg’dir. Kalorimetre bombasında, gerçekleştirilen yanma sırasında biyokütlenin içerdiği nem önce buharlaşır, sonrada sıvı su halinde yoğunlaşır ve yoğunlaşma ısısını verir. Bu nedenle bu yanma ısısına üst ısıl değer denir. Alt ısıl değer veya net kalori değeri, oluşan tüm suyun yoğunlaşma ısısının, üst ısıl değerden çıkarılmasıyla bulunur.

### 2.2.8. Elementel analiz

Elde edilen odun peletlerinin C-H-O-N miktarları Costech ECS 4010 marka elementel analiz cihazında (Şekil 4), ASTM E777 standardına göre yapılmıştır. Elementel analiz, 1020-1050 °C sıcaklıkta katı veya sıvı organik bileşiği yakma yoluyla örnekteki element yüzdelerini tayin etmiştir. Cihazda taşıyıcı gaz olarak Helyum gazı (He), yakıcı gaz olarak ise Oksijen gazı (O<sub>2</sub>) kullanılmıştır. Elementel analizde, 0,250 mm öğütülmüş pelet numunesinden bir miktar tartılarak cihazda analiz edilmiş

ve sonuçlar % olarak raporlanmıştır. Oksijen miktarı ise bulunan değerler doğrultusunda  $100-(\%S+\%C+\%N+\%H+\%kül)$  formülüyle hesaplanmıştır.



Şekil 4. Elementel Analiz Cihazı

### 2.2.9. Termal analiz

Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetrik Analizi (TG) LABSYS TG-DTA analiz cihazında yapılmıştır. TG, odunun kütlesindeki değişimin, zaman ve sıcaklığın artması ile ölçülmesidir. Yaklaşık 10-15 mg odun numunesinin ısınması ve prolizi esnasında kütle kaybı sürekli olarak gözlemlenmiş ve cihaz tarafından kayıt edilmiştir. Zamana ve sıcaklığa göre kütle kaybındaki değişim eğri grafiği şeklinde verilmiştir. TGA ile örneklerin saflığı, bozunma davranışı ve kimyasal kinetiği incelenmiştir.

### 2.2.10. Çalışma kullanılan standartlar

Çalışma kapsamında kullanılan standartlar Çizelge 4’de verilmiştir. Buna göre, odun peletlerinin temel kalite standardı EN 14961-2 Avrupa pelet kalite standardıdır. Hammadde orjinini odun dal ve hasat artıkları oluşturması sebebiyle EN 14961-1 standardı kapsamındadır. Çalışma kapsamında kullanılan diğer tüm standartlar ASTM standardına göre yapılmıştır.

**Çizelge 4. Çalışmada Kullanılan Yöntemler ve Standartları**

Temel Kalite Standardı	EN 14961-2 EPC, Pellet Quality Standard
Hammadde Orjini	EN 14961-1 standardına göre tasnif edilmiştir
Özkütle	ASTM E 873 Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels.
Nem Tayini	ASTM E871 Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels
Uçucu madde miktarı	ASTM E872 Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels
Pelet Üretimi	EN 16127 Solid biofuels -Determination of length and diameter of pellets Çap 6-8 mm, Boy $3.15 \leq B \leq 40$ mm
Isıl Değerin Belirlenmesi	ASTM E711 Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter yada ASTM D 5865
Kül Tayini	ASTM D1102 Test Method for Ash in Wood
Karbon ve Hidrojen Tayini	ASTM E777 Test Method for Carbon and Hydrogen in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel veya ASTM D5373

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu çalışma, kızılçam ormanlarında yapılan bakım ve odun hammaddesi üretimi sonucu ortaya çıkan odunsu atıklarından oluşan biyokütle kaynaklarından yararlanılarak odun peleti yapılmasını ve elde edilecek odun peletinin yakıt özelliklerinin belirlenmesini içermektedir. Çalışma kapsamında yapılan analizlerde 10 tekrar yapılmış ve ortalama değerler kullanılmıştır.

#### 3.1. Rutubet Miktarı Sonuçları

Bu kapsamda, ilk olarak Muğla Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı 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. Odunun ortalama rutubet değerleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Odunun Ortalama Rutubet Değerleri

	N	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
Rutubet Değeri (Odun)	10	6,92	8,50	7,8010	0,59631

N: Örnek sayısı

Odunsu materyaller öğütülerek partikül boyutları 0,5 mm altına getirilmiştir. Öğütücüden çıkmış odun parçacıklarının rutubeti ortalama 9,32 olarak tespit edilmiştir. Öğütülerek elde edilen odun parçacıklarının ortalama rutubet değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1. Öğütülerek elde edilen odun parçacıklarının ortalama rutubet değerleri**

	N	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
Talaşın Rutubeti	10	9,04	9,63	9,3170	0,20238

Bu sebeple odun partiküllerinin % 10 rutubetin altında olması ve homojen boyutun sağlanması dolayısıyla odun peleti yapımı için uygun bulunmuştur.

### 3.2. Özkütle Hesaplamaları Sonuçları

Odun partiküllerinin ve odun peletinin özkütle değerleri Çizelge 6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 6. Odun partiküllerinin ve odun peletinin özkütlesi**

	Odun Partikülleri	Odun Peleti
Özkütle (gr/cm <sup>3</sup> )	0.354	0.671

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

Alakangas (2000), odun atıklarından yapılacak peletin özelliklerini 6-10 mm çapında, boyu 10-30 mm arasında, nem içeriği % 7-12, kül miktarı % 0,5; yoğunluğu 650-700 kg/m<sup>3</sup> ve ısı değeri de 17-18 MJ/kg olduğunu belirtmiştir.

### 3.3. Kül Yüzdesi sonuçları

Odun partiküllerinin ve odun peletinin kül bırakma miktarları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Kül Bırakma Yüzdesi

Numune	Örnek Miktarı (gr)	Kül Miktarı (gr)	Kül Bırakma Miktarı (%)
Odun Partikülleri	9,25	0,15	1,6
Odun Peleti	15,25	0,75	4,91

Odun talaşının kül bırakma miktarı % 1,6 iken, odun peletinde % 4,91 bulunmuştur.

### 3.4. Uçucu Madde Miktarı Sonuçları

Odun peleti ve odun parçacıkları numunelerinin uçucu madde miktarı tayini ASTM E872’ye göre yapılmıştır. Örnekteki uçucu madde miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Odun partiküllerinin ve odun peletinin uçucu madde miktarları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Odun parçacıklarının ve odun peletinin uçucu madde miktarları

	Odun Partikülleri	Odun Peleti
Uçucu madde miktarı (%)	76,8	73,9

### 3.5. Isıl Değer Sonuçları

Odun peletlerinin ve kullanılan odun talaşının Isıl değerleri ölçümleri Çizelge 9’da verilmiştir. Odun partiküllerinin kalori değeri 4190 kcal/kg bulunurken, odun peletinin kalori değeri 5296 kcal/kg bulunmuştur. Bu değerler Mega Joule’e çevrilirse odun talaşının değeri 17,542 MJ/kg iken, odun peletinin değeri ise 22,173 MJ/kg bulunmuştur.

Çizelge 9. Odun Peletinin Isıl Değerleri

Numune	Alt-Üst Isıl Değerler		Sıcaklık Farkı	Ağırlık (g)	Sonuç (MJ/kg)
	(MJ/Kg)				
Odun Talaşı	18,77	21,10	2,3290	1,0378	17,542
Odun Peleti	16,97	19,94	2,9740	1,0487	22,173

Telmo ve Lousada (2011), Atlas sediri (*Cedrus atlantica*), sahil amı (*Pinus pinaster*), Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*), okaliptüs (*Eucalyptus globulus*) ve egzotik bir tür olan *Bowdichia nitida* ile odun peleti yaparak üst ısıl değeri ile alt ısıl değerlerini tespit etmişlerdir. Yumuşak ağaçlarla, sert ağaçların değerlerini kıyaslamıştır. Yumuşak ağaçların ısıl değerlerini 19-20 Mj/kg arasında, sert ağaçların ise 14-19 Mj/kg arasında olduklarını bulmuştur. Bu durumda, bu çalışma kapsamında kızılçam hasat artığından yapılan odun peletinin ısıl değerinin 22,17 MJ/gr bulunması, ısıl değer açısından oldukça yüksek olduğunun göstergesidir.

### 3.6. Elementel Analiz Sonuçları

Elementel analiz sonuçları Çizelge 10’da verilmiştir. Odun partiküllerinin C,H,O,N miktarları, %47,18, %5,27, %43,12 ve %0,37 olarak bulunurken, odun peletlerinin, C,H,O,N miktarları ise sırasıyla %47,52, %5,15, %42,16 ve %0,26 olarak tespit edilmiştir.

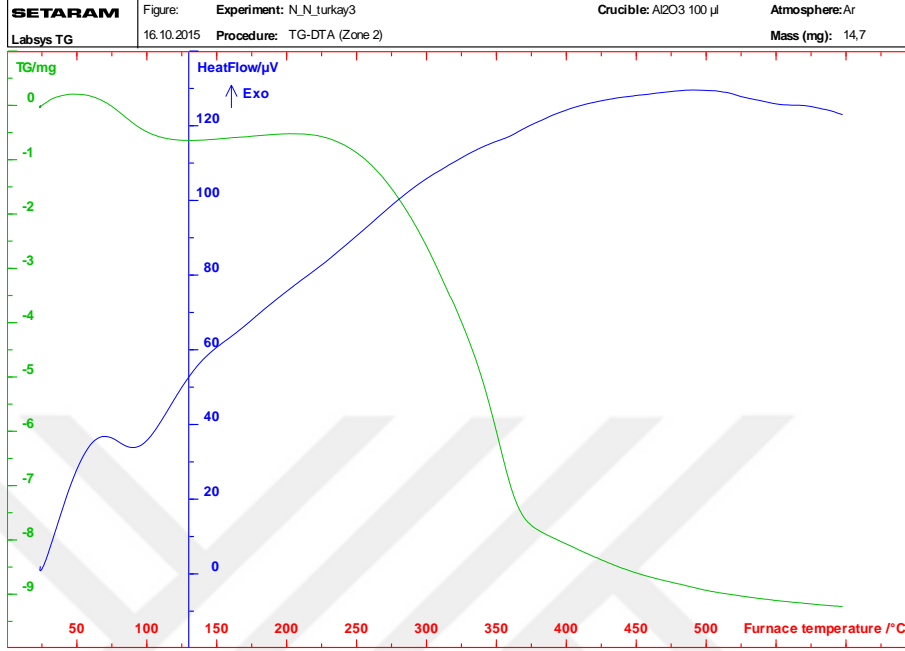
**Çizelge 10. Elementel Analiz Sonuçları**

Numune	Örnek	Azot		Karbon		Hidrojen	
	Miktarı (gr)	Miktarı (%)	RepT (mVs/mg)	Miktarı (%)	RepT (mVs/mg)	Miktarı (%)	RepT (mVs/mg)
Odun Partikülleri	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

Elementel analiz sonuçları yanma için gerekli hava miktarının, yanma gazı bileşimi ve hacminin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Biyokütle yandığı zaman oluşan ısının hemen hemen tamamı içerdiği karbon ve hidrojenin yanması sonucunda oluşmaktadır. Kütle bilinen bir numune, oksijen/taşıyıcı gaz ortamında uygun şartlar altında yakılır ve esas itibariyle karbondioksit, su buharı, elementel azot ve/veya azot oksitler, kükürt oksitler ve oksiasitler ile hidrojen halojenlerinden oluşan yanma gazlarına ve küle dönüştürmektedir (Tırıs, 2014).

### 3.7. Termal Analiz Sonuçları

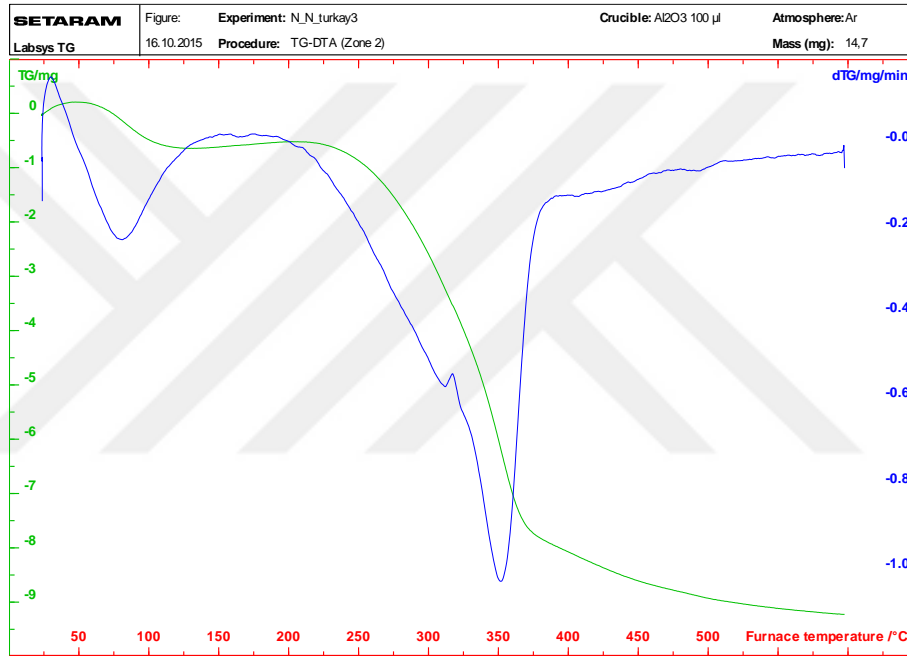
Odun peletinin TG ve DTA eğrileri Şekil 5 ve 6’da verilmiştir.



Şekil 5. Odun peletinin TG ve DTA eğrileri

Şekilden de görüleceği üzere termal degradasyon üç aşamalı olarak gerçekleşmiştir. Odunsu malzemeler yapılarında selüloz, hemiselüloz ve lignin içerirler. Odunun kaynağına göre bu yapı taşlarının oranı dolayısı ile ısıyla bozulma şekilleri farklıdır. Hemiselülöz yapısal olarak diğerlerine oranla daha düşük sıcaklıklarda yıkılmaya başlar. Hemiselüloz 200-280°C arasında tamimiyle gaz ürünlere (CO, CO<sub>2</sub>) ve yoğunlaşabilir buharlara dönüşür (Sinha vd., 2000). Literatürde elde edilen verilerle paralel olarak odun peletlerinin termal yıkımında 3 aşama belirlenmiştir (Beall ve Eickner, 1970; Tomak vd., 2012). İlk aşamada 200°C altında odun yapısında bulunan su buharı uçucu bileşikler uzaklaşır. Odun peletlerinin TG eğrileri için 80°C civarında % 3,9 luk bir azalma gözlemlenmiştir. Bu azalmanın kaynağının odun yapısında bulunan su buharının uzaklaşması olduğu düşünülmektedir. Bu azalmaya ilişkin DTA eğrisinde 90°C civarında endotermik pik gözlenmiştir. İkinci aşamada

230–378°C arasında hemiselüloz, selüloz ve lignin bozunur. Ayrıca daha önce belirtildiği üzere hemiselüloz 200°C bozunmaya başlar ve bozunması sırasında asetik asit oluştuğu rapor edilmiştir. Oluşan asetik asit depolimerizasyon katalizörü gibi davranarak yıkımını hızlandırmaktadır. Bu aşamada odun peletlerinin kütlece %48,2 lik bir azalma gerçekleşmiştir. Odun peletleri için bu aşama 235-375°C arasında gerçekleşmiştir. Bu aşamada yine maksimum degradasyon hızı 345°C olarak Şekil 6 yardımıyla bulunmuştur.



Şekil 6. Odun peletleri için DTG eğrileri.

Üçüncü aşamada inert atmosferde koklaşma gerçekleştiği bildirilmektedir. Bu aşamada odun peletleri kül ve koka dönüşmektedir. Bu aşama sonrasında odun peletlerinin %62,2 kadarı yıkılmaktadır. Kül ve kok oranı % 37,8 kadardır.

### **3.8. Kızılçam Orman Hasat Artıklarından Yapılan Odun Peletinin Yakıt Olarak Değerlendirilmesi ve Ekonomik Boyutu**

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 standarda göre 3. sırada yer alan EN-B standardına girmesindeki en büyük neden ise kül bırakma yüzdesidir. Isıl değer açısından ise en üst standarda uygundur.

Ülkemizde odun peletinin evsel yakıt olarak kullanımı giderek artmaktadır. Nitekim, 1 kilogram odun peleti 5 KW enerji değerine sahip olduğu ve 2 kg odun peleti 1 litre sıvı yakıtı eşit olduğu belirtilmektedir (Tüplek, 2011). Bu durumda, 5 kg odun peleti normal bir evi ısıtabilme kapasitesine sahip olmakla birlikte, yeni gelişen teknolojik kazan sistemleri ile otomatik olarak doldurma ve külünü boşaltma işlemleri yapılabilmektedir. Bunun yanında bazı firmalar tarafından üretilen odun peletleri piyasada 10 kg, 15 kg ve 20 kg torbalarda piyasada bulunabilmektedir.

Odun peleti, odundan yaklaşık 1000 kalori daha fazla ısıl değere sahiptir. Fiyat açısından ise kızılçam odununun kg fiyatı 45 kuruş iken, odun peletinin kg fiyatı 40 kuruşa gelmektedir. Odun peletlerinin yanma süresinin oduna göre fazla olması diğer önemli bir avantajdır. Enerji kaynağı olarak, linyit kömürü ile odun peletini kıyaslayacak olursak ısıl değer yönünden aşağı yukarı aynı iken fiyat olarak linyit kömürünün kg fiyatı, odun peletinden 20 kuruş daha pahalıdır.

Ülkemizin zengin biyokütle kaynaklarına sahip olmasının yanında çeşitli sebepler sonucu ortaya çıkan 7 milyon m<sup>3</sup> odunsal atıklarında, odun peleti gibi değerli yakıtı dönüştürerek fosil yakıtların yerine kullanımının artırılması birçok avantaj sunacağı açıktır.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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. Nitekim odun, geçmişten günümüze yakacak maksatla kullanılan büyük bir enerji kaynağıdır.

Bu çalışma sonucunda, kızılçam ormanları hasat artıklarından odun peleti yapılarak ısıl değeri 17,54 MJ/kg değerinden, 22,17 MJ/kg değerine arttığı görülmüştür. Odunsu atıkların odun peleti gibi endüstriyel ürünlere dönüştürülmesi ve bir orman ürünü olarak değerlendirilmesi hem temiz enerji kaynakları kullanımını artıracak gibi hem de atıl durumdaki hammaddeye ekonomik bir değer kazandırabilecektir. Elde edilen sonuçlar neticesinde odun peletinin kül bırakma yüzdesi odun talaşına göre % 3,6 daha fazla bulunmuştur. Bu oranın düşürülmesi için odun peleti yakma ekipmanlarının geliştirilmesine ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.

Dünyanın pek çok ülkesinde, ormancılık faaliyetlerinden kalan orman artıklarının sürdürülebilir enerji üretiminde kullanılması yönünde yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye’de odun kökenli enerji üretilebilecek alanlar arasında ilk sırada Muğla yöresi gelmektedir. Yörede gerek orman emvali üretimi esnasında gerekse ormancılık bakımı esnasında oldukça fazla orman artığı çıkmakta bunların değerlendirilmesine yönelik herhangi bir çalışma yapılmamaktadır. Değerlendirilmeyen, atıl durumda kalan, hatta yangına çok hassas olan bölgemizde yangına sebebiyet verme niteliği taşıyan ve zararlı böceklerin çoğalmasını tetikleyici etkisi olan orman içi artıklarının enerji üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışma, atıl hammaddeye ekonomik bir değer oluşturulmasına dikkat çekerek gerek ülkemiz gerekse Muğla açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye’de ormanlardan elde edilen odunsu biyokütleden enerji üretme teknolojilerinin geliştirilmesi ve bu konuda araştırmaların yapılması, odun peleti pazarında ülkemizin de yer almasını sağlayacaktır. Özellikle ülkemizde bu sektörün gelişmesi, Avrupa’ya yakın olması dolayısıyla Avrupa pazarına kolayca girebilecektir. Bunun yanında özellikle

ormanlarımızın korunması, işletilmesi ve sürdürülebilirliği için ekonomik bir katkı sağlayacaktır.

Temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak biyokütle enerjisinin kullanımının yaygınlaşması düşük karbon salınımı sebebiyle çevresel açıdan büyük önem taşımasının yanında ekonomik açıdan da ülkemize büyük katkılar sağlayacaktır. Bu sebeple biyokütle enerjisi konusunda yapılacak çalışmaların gerek OGM gerekse diğer kurumlar tarafından desteklenmesi ve yeni sistemlerin geliştirilmesinin desteklenmesi gerekmektedir.



## KAYNAKLAR

- Anonim, (2013). Enerji Dünyası Dergisi, <http://www.enerji-dunyasi.com/dokumanlar/yakit/enerji-dunyasi-101-guncel-yakit-fiyatları-karsilastirma-tablosu-03042013.xls>, Erişim Tarihi: 20/02/2014
- Ateş, S., Akyıldız, M.H., Vurdu, H. ve Akgül, M. (2007). Türkiye’de Orman Kesim Artıkları ve Değerlendirilmesi, *KUOF Dergisi*, 7 (1): 93-103.
- Beall, F., Eickner, H., 1970: Thermal degradation of wood components: a review of the literature (No. FSRP-FPL-130). Forest products lab, Madison, Wisconsin.
- Bergström, D., Finell, M. ve Gref, R. (2010). Effects of extractives on the physical characteristics of scots pine sawdust fuel pellets, *Forest Prod J*, 60(7): 640-644.
- Bozkurt, Y. (1972). Yakacak odun özellikleri ve odunun ısı değeri, *İ.Ü Orm. Fak. Der. Seri B*, 22 (2): 58-70.
- Eker, M., Çoban H.O. ve Alkan, H. (2010). Hasat artıkları tedarik zincirine yönelik sistem tasarımı, *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 20-22 Mayıs, Artvin, Cilt: II: 524-534.
- Eriksson, G.L., Boman, C., Bergsten, U. ve Bergström, D. (2011). Fuel characterization of pellet chips, *Forest Products Journal*, 61 (2): 143-148.
- Erten, P. ve Önal, S. 1985. Ağaç türlerimiz odun ve kabuklarının değerlerinin saptanmasına ilişkin araştırmalar, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Seri No: 147: 90-110.
- 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.
- Işıkdag M.A., (2007). Değişik Biokütle Kaynaklarından Proliz Yöntemiyle Sentetik Yakıt Eldesi ve Elde Edilen Ürünlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu N., Çabuk Y. ve Kurt, R. (2011). Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi”, *Bartın Orm. Fak. Dergisi*, 13 (19): 63-75.

- Kasaplıgil, B. (1952). The forest vegetation in the Mediterranean Regions of Turkey, *İ.Ü. Orm. Fak. Dergisi*, 2 (2): 47-65
- Kayacık, H. (1954). Türkiye çamları ve bunların coğrafi yayılışları üzerinde araştırmalar, *İ.Ü. Orm. Fak. Dergisi*, 4 ( 1-2): 44-61.
- Koç, E. ve Şenel, M. C., (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu - genel değerlendirme, *Müh. ve Mak.*, cilt 54, sayı 639: 32-44.
- Kuokkanen, M., Vilppo, T., Kuokkanen, T., Stoor T. ve Niinimäki J. (2011). Additives in wood pellet production – a pilot-scale Study of binding agent usage, *Bioresources* 6(4): 4331-4355.
- Lestander, T.A., Finell, M., Samuelsson, R., Arshadi, M. ve Thyrel, M. (2012). Industrial scale biofuel pellet production from blends of unbarked softwood and hardwood stems-the effects of raw material composition and moisture content on pellet quality, *Fuel Process Technol* 95: 73-77.
- Liu, X., Liu, Z., Fei, B., Cai, Z., Jiang, Z. ve Liu, X. (2013). Comparative properties of bamboo and rice straw pellets, *Bioresources* 8(1): 638-647.
- Narin, M. (2008). Türkiye’nin enerji yapısı ve izleyeceği öncelikli politikalar, *Asodonya Ankara Sanayi Odası Dergisi*, Ağustos-Eylül, Ankara, 50-68.
- Obernberger, I., Thek, G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass Bioenerg*, 27(6): 653-669.
- OGM, 2009. Türkiye’de odunsu biyokütleden temiz enerji üretimi, Orman Genel Müdürlüğü Biyoenerji Çalışma Grubu, Ankara, 95s.
- OGM, 2010. Orman biyokütlesinden yakıt ve enerji üretimi, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 36s.
- OGM, 2013. Orman Atlası, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 107.
- Pirraglia, A., Gonzalez, R., Saloni, D., Wright, J. ve Denig, J. (2012). Fuel properties and suitability of eucalyptus benthamii and eucalyptus macarthurii for torrefied wood and pellets, *Bioresources* 7(19): 217-235.
- Relova, I., Vignote, S., Leon, M.A. ve Ambrosio, Y. (2009). Optimisation of the manufacturing variables of sawdust pellets from the bark of Pinus caribaea Morelet: particle size, moisture and pressure, *Biomass Bioenerg* 33: 1351-1357.
- Saraçoğlu, N. (1996). Enerji ormancılığı projelerinin Türkiye’nin enerji potansiyeline katkı olanakları”, *TMMOB 1. Enerji Sempozyumu*, 12-14 Kasım, Ankara, 49-53.

- Saraçoğlu, N. (2003). Biyokütlenin enerji üretiminde değerlendirilmesi, *Türkiye IV. Enerji Sempozyumu*, 10-12 Aralık, Ankara, 501-507.
- Saraçoğlu, N. (2004). Türkiye'nin enerji üretiminde biyokütle kaynaklarından yararlanma olanakları, *V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 26-28 Mayıs, İstanbul, 485-499.
- Saraçoğlu, N. (2006). Modern enerji ormancılığının Türkiye ormancılığı, Kırsal Kalkınma ve Ülke Ekonomisine Katkısı, *Orman ve Av*, Yıl:2006, Sayı:1, Cilt:83: 33-38.
- Saraçoğlu, N. (2008). Biyokütleden enerji üretiminde enerji ormancılığı, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008*, 17-19 Aralık, İstanbul, 265-271.
- Saraçoğlu, N. ve Gündüz, G. (2009). Wood pellets – A fuel for Europe, *Energ Sources, Part A*, 31: 1708-1718.
- Sarıbaş, M. ve Ekici, B. (2004). Kızılçamın (pinus brutia ten.) Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki doğal yayılışına katkı, *Bartın Orm. Fak. Dergisi*, 6 (6): 127-135.
- Sinha, S., Jhalani, A., Ravi, M., Ray, A., (2000). Modelling of pyrolysis in wood: A review, *SESI Journal* (10): 1–17.
- Şölener, M. (2004). Kızılçam biyokütlesinde ısıl değer belirlenmesi", *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, C.XVII, S.2: 1-8.
- Taşkıran, I., Belen, İ. ve Saraçoğlu, N. (2010). Heat and power production from forest residues in Turkey, *International Symposium on Forestry and Forest Products 2010 (ISFFP)*, 5-7 October, Kuala Lumpur, 48-49.
- Taşkıran, I. (2011). Heat and power production from forest residues, *Workshop with AFDNFI*, 26-29 July, OGM, Ankara.
- Telmo, C., Lousada, J. (2011). Heating value of wood pellets from different species, *Biomass Bioenerg*, 35: 2634-2639.
- Tırıs, Ç., (2014). Biyokütle enerji içerikleri biyokütle karakterizasyonu, [www.eusolar.ege.edu.tr](http://www.eusolar.ege.edu.tr). Erişim Tarihi: 20/12/2014
- Tomak, E. D., Baysal, E., Peker, H., (2012). The effect of some wood preservatives on the thermal degradation of Scots pine, *Thermochim Acta* 547: 76-82.
- Toscano, G., Riva, G., Foppa Pedretti, E., Corinaldesi, F., Mengarelli, C. ve Duca, D. (2013). Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements, *Biomass Bioenerg*, 56: 317-322.

- Türkoğlu.,T., Baysal.,E., Ergun.,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.
- Tüplek, A., (2011). Odun Talaşı ve Tozundan Pelet Biyoyakıt Üretilmesi ve Yanma Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Üçgöl, İ., Akgöl, G. (2010). Biyokütle teknolojisi, *YEKARUM dergisi* 1 (1):3-11.
- Yalınkılıç, M.K., Türker, M.F. (1992). Yakacak oduna alternatif bir enerji kaynağı: yakıt briketi, *1. Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi*, Bildiriler Kitabı, Trabzon, 159-176.
- Yıldırım, H.T. ve Ünsal, Ö. (2012). Yenilenebilir enerji kaynaklarından odunun enerjide kullanımı ve gelecek senaryoları, *Türkiye 12. Enerji Kongresi*, 14-16 Kasım, ODTÜ, Ankara.
- Yılmaz, M., 2012. Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi, *A.Ü. Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2): 33-54.
- Zaini, P., Sokansanj, S., Bi, X., Lim, C.J., Mani, S., Melin, S. ve Kadla, J. (2008). Density, heating value, and composition of pellets made from lodgepole pine (*Pinus contorta* Douglas) infested with mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins), *Can. Biosyst. Eng.*, 50: 347-355.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Cesur GÖKOĞLU  
Uyruk : T.C.  
Doğum Yeri ve Tarihi: 01/06/1987  
Medeni Hali : Bekar  
Telefon : 0 534 521-3352  
E-posta : cesurgokoglu48@hotmail.com

### Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Bölüm/Anabilim Dalı	Mezuniyet Yılı
Lise	Ceylanpınar METEM	Mobilya ve Dekorasyon Bölümü	2004
Lisans	Muğla Ünivesitesi	Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi	2011
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	Ağaçşleri Endüstri Mühendisliği	2016

### Yayımlar

Türkoğlu, T., **Gökoğlu, C.**, Kahveci, S., Balıkcı E. 2013. Muğla İl Merkezindeki Orman Ürünleri İşletmelerinin Yapısı, Sorunları ve Çözüm Önerileri, Muğla Değerleri Sempozyumu, 26-28 Eylül 2013, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla – 2013

**Gökoğlu, C.**, Türkoğlu, T. (2015). Kızılçam Ormanları Hasat Artıklarından Yapılan Odun Peletinin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi, Fen Bilimleri Sempozyumu, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla