

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAĞ GÜLÜ (*Rosa damascena* Mill.) DAMITMA ATIKLARININ
PELETLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Orhan Alp ATAY

**Danışman
Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI
ISPARTA – 2015**



© 2015 [Orhan Alp ATAY]

TEZ ONAYI

Orhan Alp ATAY tarafından hazırlanan "**Yağ Gülü (*Rosa Damascena Mill.*) Damıtma Atıklarının Peletlenmesi Üzerine Bir Araştırma**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Sait M. SAY

Çukurova Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Yakup UMUCU

Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Orhan Alp ATAY



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KONU İLE İLGİLİ BİLGİLER VE KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1. Biyokütle Enerjisi.....	5
2.2. Biyokütlenin Peletlenmesi ve Etkileri.....	6
2.3. Peletleme Teknolojileri.....	7
2.4. Pelet İle İlgili Çalışmalar	9
3. MATERYAL ve METOT.....	12
3.1. Materyal.....	12
3.2. Metot.....	18
3.2.1. Materyalin peletlenmeye hazırlanması ve peletlenmesi.....	18
3.2.2. Materyal tane boyut dağılımı.....	20
3.2.3. Pelet fiziksel, kimyasal ve ısıl özellikleri.....	23
3.2.3.1. Pelet parça yoğunluğu.....	23
3.2.3.2. Peletlerin kısa analizi (Proximate analysis)	24
3.2.3.2.1. Nem içeriği	24
3.2.3.2.2. Kül içeriği	24
3.2.3.2.3. Uçucu madde içeriği.....	25
3.2.3.2.4. Sabit karbon içeriği (Fixed carbon).....	25
3.2.3.2.5. Üst ısıl değer (Higher heating value)	25
3.2.3.3. Peletlerin elemental analizi (Elemental analysis).....	25
3.2.3.3.1. Toplam karbon (C), azot (N) ve sülfür (S) içeriği	25
3.2.4. Mekanik testler	26
3.2.4.1. Pelet dayanıklılık direnci	26
3.2.4.2. Pelet kırılma direnci.....	26
3.2.4.3. Pelet sıkıştırma direnci.....	277
3.2.4.4. Pelet nem alma direnci.....	27
3.2.4.5. Termogravimetrik analiz.....	28
3.2.5. İstatistiksel değerlendirme.....	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	30
4.1. Pelet Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	30
4.2. Pelet Parça Yoğunluğu	33
4.3. Pelet Dayanıklılık Direnci ve Kırılma Direnci	34
4.4. Peletlerin Nem Alma Direnci.....	36
4.5. Peletlerin Özgül Sıkıştırma Direnci ve Sıkıştırma Gerilme Direnci.....	39
4.5.1. Peletlerin yatay sıkıştırma gerilme direnci.....	39
4.5.2. Peletlerin dikey sıkıştırma gerilme direnci.....	45
4.6. Peletlerin Termogravimetrik Analizleri.....	50
5. SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	66

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAĞ GÜLÜ (*Rosa damascena Mill.*) DAMITMA ATIKLARININ PELETLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Orhan Alp ATAY

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Isparta ve civarını kapsayan bölgesel ve sezonluk bir çevre problemi olan yağ gülü damıtma atıkları biyokütle kaynağı olarak değerlendirilebilir. Ormanlarda ağaç kesiminden dolayı ortaya çıkan yan ürünler arasında ağaç kabukları bulunmaktadır. Orman Genel Müdürlüğü ve Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü kendi sahalarında bulunan biyokütlenin hem orman yangınlarının azaltılmasında hem de biyokütleden kaynak sağlanmasını teşvik etmektedirler. Bununla birlikte Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu linyit kömürlerinin ve linyit kömürlerinin üretiminden kaynaklanan atıklarda bulunan ince tane boyutlarına sahip kömürlerin kazanılması yönünde teşviki bulunmaktadır. Bu üç biyokütle kaynağı belirli oranlarda karıştırılıp peletleme teknolojisi ile yararlı, katma değeri yüksek ve satılabilir bir ürün olan pelet elde edilebilir. Bu çalışmada gül yağı işlemeden kaynaklanan yağ gülü damıtma atıkları ile linyit kömür tozu ve kızılçam ağaç kabuğu kullanarak pelet yapımı gerçekleştirilmiştir. Peletlerin elek analizleri, fiziksel ve kimyasal analizleri, parça yoğunlukları, dayanıklılık dirençleri, kırılma dirençleri, sıkıştırma dirençleri, nem alma dirençleri ve termogravimetrik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada yağ gülü damıtma atıkları, linyit kömür tozu ve kızılçam ağaç kabuğu kuru madde bazında 6 farklı oranda karıştırılarak 6 farklı pelet elde edilmiştir. Çalışma sonuçları, ana materyal olarak kullanılan yağ gülü damıtma atığının azot içeriğinin ve linyit kömürünün kükürt içeriğinin yüksek olması peletlerin azot ve kükürt içeriklerinin Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartların üstünde olduğunu göstermiştir. Peletlerin nem değerleri yağ bazda %5,39 ile 9,15 arasında değişmiş olup Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Peletlerin uçucu madde içeriği %43,8 ile 68,5 arasında, kül içerikleri %6,75-%17,37 arasında, sabit karbon değerleri %13,09 ile 32,49 ve ısı değerleri ise 14,06 MJ/kg ile 16,86 MJ/kg arasında değişmiştir. Pelet karışımlarında linyit kömür tozu miktarının artması ile pelet parça yoğunlukları artmış olup 871,07 ile 1000,14 kg/m³ arasında değişmiştir. Peletlerin dayanım dirençleri %92,27-98,94 arasında değişmiştir. Dayanım direnci en az olan pelet, linyit kömür tozunun miktarının %75 olduğu pelet olup Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartların altında kaldığı belirlenmiştir. Diğer peletler, dayanım direnci konusundaki standartlar ile uyum içindedir. En düşük kırılma direnci, %10 yağ gülü damıtma atıkları, %15 kızılçam ağaç kabuğu ve %75 linyit kömür tozu bileşeni olan pelet için belirlenmiştir.

En yüksek kırılma direnci %50 yağ gülü damıtma atıkları, %30 kızılçam ağaç kabuğu ve % 20 linyit kömür tozu karışım oranlarına sahip pelet için belirlenmiştir. Nem alma direnci testi (25 °C ve %60 nispi nem koşullarında), peletlerin nem alma dirençlerinin kullanılan ana materyale bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Yağ gülü damıtma atıkları ve kızılçam ağaç kabuğu miktar olarak yüksek olduğu karışımlarda denge nem değeri daha yüksekte oluşurken, linyit kömür tozunun ağırlıklı olduğu karışımlarda denge nem değeri daha düşük seviyede gerçekleşmiştir. Peletlerin yatay sıkıştırma direnç değerleri literatür verileri ile uyumlu olup 0,29 MPa-1,69 MPa arasında değişmiştir. Sıkıştırma deneyleri sonucunda, pelet sıkıştırma dirençleri yağ gülü damıtma atıkları miktarının artması ile pelet dayanımının arttığı, kızılçam ağaç kabuğunun bağlayıcı özelliğinin olduğu, linyit kömür tozu miktarının artması ile pelet dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Termogravimetrik ve diferansiyel termogravimetrik analiz sonuçları linyit kömür tozunun ağırlıklı olduğu peletlerde yanma işleminin daha mutedil gerçekleştiği fakat yağ gülü damıtma atıkları ve kızılçam ağaç kabuğunun ağırlıklı olduğu peletlerin daha hızlı yandığı göstermiştir. Bunun yanında, linyit kömür tozu miktarının yüksek olduğu pelette final bozunma sıcaklığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Gelecekteki çalışmalar, pelet karışımında yer alan linyit kömür tozunun, yağ gülü damıtma atıkları ve kızılçam ağaç kabuğu miktarlarının istenen pelet kalitesi doğrultusunda belirlenebilmesi için karışım optimizasyonu üzerinde yoğunlaşmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yağ gülü damıtma atıkları, linyit kömür tozu, kızılçam ağaç kabuğu, pelet, peletleme, sıkıştırma gerilmesi, termogravimetrik analiz

2015, 66 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

A RESEARCH ON THE PELLETING OF ROSE OIL(*Rosa damascena Mill.*) DISTILLATION WASTES

Orhan Alp ATAY

Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Rose oil processing waste, which is a Isparta and regional and seasonal environmental problems can be considered as a source of biomass. Bark, which is by-product resulting from cutting trees in forests also can be utilized as biomass sources. General Directorate of Forestry as well as the general directorate of nature conservation and national parks of Turkey is encouraging to reduce forest fires and to utilize as biomass resources their area. At the other side, Turkish coal enterprises (TKİ) are encouraging the use of the lignite coal and the fine particles contained in wastes from the production of the lignite coal. These three sources of biomass mixed at specific proportions using pelletizing technology can be used to produce pellets, which are useful, high added valued, and salable product. Pellets were made using rose oil processing wastes with lignite coal dust and pine barks at specific ratios. Sieve analyses, physical and chemical analysis, particle density, durability resistance, shatter resistance; compression resistance and moisture equilibrium values (water resistance) and thermogravimetric analysis of pellets were performed.

Six different pellets were produced at six different ratios of rose oil processing wastes with lignite coal dust and pine barks. Results of the study showed that since rose oil processing wastes was high in the nitrogen content and lignite coal was high in sulfur, the resultant pellets were high in sulfur and nitrogen, which are beyond standards set by the European Pellet Council. Moisture contents of pellets ranged from 5.39% to 9.15 has been determined to comply with the standards specified by the European Pellet Council. In addition, volatile matter contents of pellets were between 43,8% and 68,5%, ash content of the pellets were between 6,75% and 17.37%, fixed carbon values of pellets were 32,49 and 13,09% and higher heating values of pellets were between 14,06 MJ/kg and 16,86 MJ/kg. Pellet particle density varied from 871,07 to 1000,14 kg/m³ increased with increase in the pellet mixtures. Durability resistance of the pellets ranged from 92,27 to 98,94%. The least durability resistant pellet was the one having the proportion of lignite coal of 75% in the mixture was not able to pass the standard set by the European Pellet Council. Other pellets are in compliance with standards on durability resistance. The least shatter resistant pellet was the one having 10% of rose oil processing wastes, 15% of pine bark and 75% of lignite coal dust. The highest shatter resistant pellet was the one having the mixture of 50% of rose oil processing wastes, 30% of pine bark and 20% of lignite coal dust. Water resistance test (25°C and %60 relative humidity) showed

that moisture equilibrium of pellets varied depending on the main materials. Higher water resistance was obtained from the mixtures when the amount of rose oil processing waste and bark used in the mixtures was high, while the lower water resistance was obtained from the mixtures when the amount of lignite coal dust used in the mixture was high. Horizontal compression resistance of the pellets ranged from 0.29 MPa to 1.69 MPa was consistent with the literature values. Results showed that pellet compressive resistance increased with the increase in the amount of rose oil processing wastes in the mixture and decreased with increase of lignite coal dust in the mixture, and pine bark showed binding properties. Results of thermogravimetric and differential thermogravimetric analysis showed that pellets having 75% of lignite coal dust was combusted in more moderate way and the pellets dominated by rose oil processing wastes and pine bark in the mixture was burned more quickly. Besides, it was determined that the pellets having high amount of lignite coal dust had the highest combustion temperature. Future studies should focus on the optimization to determine appropriate mixture ratios based on the desired pellet qualities.

Keywords: Rose oil processing wastes, lignite coal dust, pine bark, pellet, pelleting, compression, thermogravimetric analysis

2015, 66 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Kamil EKİNCİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Mehmet Ali KOYUNCU'ya, Prof. Dr. İsmail KARACA'ya, Prof. Dr. Halil Turgut ŞAHİN'e, Yrd. Doç. Dr. Özgür KOŞKAN'a, Yrd. Doç. Dr. Yakup UMUCU'ya, Dr. Neslihan NOHUT MAŞLAKÇI'ya ve Arş. Gör. Derya BAYINDIR ERBAŞ'a teşekkür ederim. Çalışmamda bana destek veren Yüksek Lisans ve doktora öğrencileri Ahmet BÜLBÜL, Barbaros KUMBUL, Hüseyin KAÇAR, Özgür KAYAALP ve Murat MEMİCİ'ye teşekkür ederim.

Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı Hocalarıma ve tez çalışmalarında yardımcı olan lisans öğrencilerine de teşekkürü bir borç bilirim.

4336-YL1-15 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, beni bu zamanlara getiren aileme, her zaman yanımda olarak benden desteğini ve sevgisini esirgemeyen her şeyimi paylaştığım Elçin DAĞLI'ya anlayış ve desteklerinden dolayı sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Orhan Alp ATAY
ISPARTA, 2015

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Düz kalıplı (a) ve çember kalıplı (b) peletleme teknolojisi	8
Şekil 3.1. Denemelerde kullanılan yaş yağ gülü damıtma atıkları (a) ve kurutulmuş ve öğütülmüş yağ gülü damıtma atıkları (b)	12
Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan kızılçam ağaç kabuğu (a) ve tozu (b)	13
Şekil 3.3. Denemelerde kullanılan linyit kömür tozu	13
Şekil 3.4. Peletleme makinesi.....	14
Şekil 3.5. Denemelerde kullanılan etüv (a) ve kül fırını (b)	14
Şekil 3.6. Düşme dayanıklılık test cihazı	15
Şekil 3.7. Üniversal test ünitesi	15
Şekil 3.8. Termogravimetrik analiz cihazı	16
Şekil 3.9. Karbon ve azot tayininin gerçekleştirildiği analiz cihazı	16
Şekil 3.10. Peletlerin nem alma dirençlerinin tespit edilmesinde kullanılan iklimlendirme kabini	17
Şekil 3.11. Elek analiz seti	18
Şekil 3.12. Elek analizi sonrası öğütülmüş YGDA'nın boyut dağılımı.....	21
Şekil 3.13. Elek analizi sonrası öğütülmüş KAK'ın boyut dağılımı	22
Şekil 3.14. Elek analizi sonrası LKT'nin boyut dağılımı.....	22
Şekil 3.15. 25-50-25 peleti için, T_i , T_{max} ve T_f değerlerinin TGA ve DTA eğrilerinden tespiti	29
Şekil 4.1. Elde edilen peletlerin görünümü	31
Şekil 4.2. Peletlerin denge nem değerlerinin zamanla değişimi.....	38
Şekil 4.3. 10-15-75 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri	51
Şekil 4.4. 15-75-10 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri	52
Şekil 4.5. 25-25-50 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri	52
Şekil 4.6. 25-50-25 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri	53
Şekil 4.7. 50-30-20 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri	53
Şekil 4.8. 75-15-10 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri	54
Şekil 4.9. Tüm peletlerin TGA eğrileri.....	54
Şekil 4.10. Tüm peletlerin DTG eğrileri	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Pelet yakıtların teknik değerleri (Acaroğlu,2007).....	6
Çizelge 3.1. Pelet karışımlarında kullanılan gül yağı işleme atığı, öğütülmüş ağaç kabuğu ve linyit kömürünün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	19
Çizelge 3.2. Peletlerin yapımında kullanılan materyallerin kuru kütle bazında karışım oranları (%) ve karışımların isimlendirilmesi.....	19
Çizelge 3.3. Pelet ana materyallerinin elek analizi sonuçları.....	19
Çizelge 4.1. Pelet fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	32
Çizelge 4.2. Peletlerin çap, uzunluk, ağırlık ve parça yoğunluğu	34
Çizelge 4.3. Peletlerin dayanıklılık ve kırılma direnci değerleri ve varyans analizi sonuçları.....	35
Çizelge 4.4. Peletlerin nem alma direnç testi sonrası varyans analiz değerleri.....	38
Çizelge 4.5. Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci (MPa).....	41
Çizelge 4.6. Pelet bazında farklı nem oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci (MPa)	44
Çizelge 4.7. Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci (MPa).....	47
Çizelge 4.8. Pelet bazında farklı nem oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci (MPa)	49
Çizelge 4.9 Örneklerin termal bozunma sıcaklıkları	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ρ_u	Pelet parça yoğunluğu (kg/m ³)
σ_x	Yatay basma gerilme direnci (Pa)
σ_x	Dikey basma gerilme direnci (Pa)
a_c	Kül içeriği (%)
C	Karbon
°C	Santigrat derece
CO ₂	Karbondiyoksit
D	Pelet çapı (m)
Dak.	Dakika
DD	Dayanıklılık direnci (%)
DTA	Diferansiyel termogravimetrik analiz
F	Maksimum kırılma kuvveti (N)
FC	Sabit karbon (%)
FT-IR	Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
H	Saat
HHV	Üst ısıl değer (MJ/kg)
KAK	Kızılçam ağaç kabuğu
Kcal	Kilokalori
Kg	Kilogram
kN	Kilonewton
kW	Kilowatt
L	Pelet uzunluğu (m)
LKT	Linyit kömür tozu
M	Pelet nem içeriği (% y.b)
m/s	Metre/saniye
M ³	Metreküp
m _A	Test öncesi elenmiş pelet ağırlığı (g)
m _{af}	Yakma sonrası materyal ağırlığı (g)
m _{ai}	Yakma öncesi materyal ağırlığı (g)
m _E	Test sonrası elenmiş pelet ağırlığı (g)
m _f	Materyalin son durumdaki nem içeriği (%)
m _i	Materyalin ilk durumdaki nem içeriği (%)
Mj	Megajoule
Mm	Milimetre
m _{p1}	Boş kuru örnek kabının ağırlığı (g)
m _{p2}	Kurutma öncesi kuru örnek kabı ve peletlerin ağırlığı (g)
m _{p3}	Kurutma sonrası kuru örnek kabı ve peletlerin ağırlığı (g)
MPa	Megapascal
m _u	Tek pelet ağırlığı (kg)
N	Azot
N	Newton
N ₂	Nitrojen
NO _x	Azot oksit
Q	Eklenecek su miktarı (g)
S	Sülfür
SEM	Taramalı elektron mikroskopisi (Scanning Electron Microscope)
TG	Termogravimetrik

TGA	Termogravimetrik analiz
TW	Terawatt
VC	Uçucu madde içeriği (%)
V_u	Tek pelet hacmi (m^3)
w_i	Materyalin ilk ağırlığı (g)
YGDA	Yağ gülü damıtma atıkları



1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile beraber enerji kullanımına yönelik talebin her geçen gün artması fosil tabanlı yakıtların kullanımını artırmış bununla beraber fosil yakıt rezervleri ile ilgili sıkıntılar ve çevresel sorunlar giderek artmıştır. Dünyada enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık % 4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık, bu ihtiyacı karşılayan fosil yakıt rezervi ise çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. En iyimser tahminler bile önümüzdeki 50 yıl içinde petrol rezervlerinin büyük ölçüde tükeneceğini ve ihtiyacı karşılayamayacağını göstermektedir (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006). Dünya nüfusunun 2030 yılında 8 milyar kişiye ulaşması beklendiğinden, kişi başına ortalama tüketimin 2kW/yıl kadar olacağı varsayımı ile 2030 yılında 16 kW/yıl olacağı hesaplanmıştır. Dünya enerji gereksiniminin büyük bir kısmı fosil yakıtlarla sağlanmakta olup, 2030 yılına kadar fosil yakıt tüketiminin 633 TW/yıl olacağı ve bunun 400 TW/yıl kadarının karbon yakılarak sağlanacağı tahmin edilmektedir (Özdemir, 2001).

Enerji ve çevre sorununa sürdürülebilirlik ilkesi ile yaklaşılması açısından, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi alınması zorunludur. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde büyük yer tutan biyokütle enerjisi çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisidir (Başçetinçelik ve ark., 2005; Başçetinçelik ve ark., 2009a; Başçetinçelik ve ark., 2009b). Biyokütle enerjisinin geçmişi diğer bütün enerji kaynaklarından daha eskidir. Biyokütle enerji kaynakları içerisinde en eski ve bilineni odun olup kullanımı ateşin bulunuşuna kadar uzanmaktadır (Yılmaz, 2014). Biyokütlenin enerji amaçlı değerlendirilmesinin geliştirilmesi; çevre (iklim değişikliği), yenilenebilir enerji, enerji güvenliği, atık yönetimi, kırsal istihdam vb. alanlarda enerji politikası açısından çözülmesi zorunlu birçok sorunun çözümüne katkıda bulunacağı düşünülmektedir (Başçetinçelik ve ark., 2009a). Yenilenebilir olması, geniş temel kaynaklarına sahip olması ve daha az kirletici etkilerinin olması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına küresel boyutlarda ilgi artmaktadır (Al Widyan vd., 2002). Biyokütle kullanımı ile üretilen enerji güçlü bir kalkınmaya yardımcı olurken, Kyoto Antlaşması'nın hedefleri ile örtüşmesi açısından oldukça gereklidir (Kurtuluş, 2004).

Biyokütleyi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir duruma getirmek için biyokütle ile ilgili sorunları çözmek gerekmektedir (Karkania ve ark., 2012). Tarımsal atıklar düşük yoğunluğa ve yüksek nem içeriğine sahip materyaller olduklarından evlerde ve endüstriyel alanlarda doğrudan yakılması çok etkin olmamakta ve bu atıkların doğrudan kullanılması taşıma, depolama ve işleme aşamalarında ekonomik olmamaktadır. Ayrıca yığın halinde çevrede depolanmaları toprak, hava, su ve görüntü kirliliğine sebep olmaktadır (Tosun ve ark., 2002). Bu problemler biyokütlenin birim hacminin ağırlığını artırarak çözümlenebilmektedir. Peletleme işlemi biyokütlenin yoğunluğunu artırmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Peletleme işlemi ile biyokütlenin taşıma maliyetleri, depolama ve kullanımı ilgili sorunlar aşılabilmektedir (Karkania ve ark., 2012). Biyokütlenin, özellikle pelet halinde kullanımı üzerinde pek çok çalışma sürdürülmektedir. Çevre standartlarına uygun şekilde hazırlanan biyokütle peletleri Avrupa'nın pek çok ülkesinde evsel ve endüstriyel amaçla kullanılmaktadır. Biyokütlenin pelet halinde kullanımı taşıma, dönüşüm ve sezon dışında kullanım için depolama gibi pek çok faydalar sağlamaktadır (Obenberger ve Thek, 2004). Wang ve ark. (2009). Biyokütle peletlerinin ızgaralı ocaklarda, akışkan yataklı yakma sistemlerinde, kolay depolama ve taşıma, yüksek yakma verimliliği, düşük hava kirliliği, toz ve yüksek ısı değeri nedeniyle tercih edildiğini bildirmişlerdir.

Ormancılık faaliyetleri sırasında çıkan odunsu biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanılması, iklim değişikliğini azaltma konusunda alınan uluslararası kararların zorlayıcı etkisi ve yakıt fiyatlarındaki artışlar nedeniyle, son yıllarda büyük önem kazanmıştır (Saraçoğlu, 2008). Ormanlarda ağaç kesiminden dolayı ortaya çıkan yan ürünler arasında yer alan ağaç kabukları bulunmaktadır. Ağaç kabuğu doğrudan yakıt olarak kullanılabilir gibi, peletleştirilmiş yakıt üretiminde de kullanılabilir. Ağaç kabuğu reçine içermesinden dolayı pelet yapımında bağlayıcı olarak kullanılma potansiyeli bulunmaktadır. Odunun hassas kimyasal yapısı ve ligninin 75°C üzerinde yumuşamaya başlayarak yapıştırıcı etkisi göstermesi nedeniyle düşük basınç ve belli sıcaklıkta ilave yapıştırıcı kullanmadan katı peletler üretilebilir. Genel olarak içeriğindeki reçinenin doğal yapışmaya katkısından dolayı iğne yapraklı reçineli odunlar, yapraklı odunlara göre daha fazla pelet üretiminde tercih edilmektedir. Genel olarak, her türlü orman veya odun işleyen tesislerde oluşan atıklardan pelet

üretmek mümkündür. Ülkemizde şu anda odunlardan ticari anlamda pelet ve briket üretimi yeterli düzeyde yapılmamaktadır.

Ülkemiz kömürlerinin kalitesi genel olarak düşük olup, yüksek oranda kül, kükürt, nem ve alkali bileşikler içermektedir. Ülkemizdeki linyitlerin % 96'sı yüksek kül, %97'si yüksek kükürtlü kömürler sınıfına girmektedir (Bozkurt, 2011). Özellikle linyit rezervimizin yaklaşık %1'i 4,000 kcal/kg üzerinde ısıl değere sahiptir ve bu nedenle ülkemiz linyitlerinin büyük bir kısmı termik santrallerde kullanılmaktadır. Kül, kükürt ve nem değerlerinde iyileştirme yapılmalıdır. Son yıllarda çevre duyarlılığının artması nedeniyle; düşük ısıl değere sahip ithal kömürlere olan ilgi artmıştır. Bu durum yerli kömürlerin temizlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Kömür, endüstriyel açıdan vazgeçilmez bir hammaddedir. Yakıt olarak kullanıldığı gibi, birçok kimyasal maddenin üretiminde de hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu öneminden dolayı son yıllarda kömür kullanımını daha verimli kılmak için kömürün fiziksel ve kimyasal yapısı üzerine çok sayıda araştırma yapılmış ve bu çalışmalar halen devam etmektedir. Türkiye giderek artan enerji ihtiyacında dışa bağımlılığı azaltacak ve güvenilir bir şekilde tüketilmesine olanak sağlayacak enerji kaynaklarından linyit kömürü dışında önemli bir fosil yakıt rezervine sahip değildir. Dolayısıyla enerji ihtiyacının karşılanmasında; gerek rezerv, gerekse ülke geneline yayılış özelliği açısından önemli imkânlar sunan linyit kömüründen faydalanmak zorunlu bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, Wang ve ark. (2009) yanma prosesinin kontrolünü sağlamak için, biyokütle materyallerinin yarı fosil turba kömürü veya fosil kömür ile karıştırılabileceğini bildirmiştir.

Tarımsal atıklar ve artıklar özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için önemli bir kaynak olup bu ülkelerin çoğunda her yıl çok miktarda atık ve artık çıkmaktadır. Birçok gelişmiş ülkede katı atıklar, biyokütlenin peletlenmesi işlemi ile yararlı, kullanılabilir ve ekonomik ürünlere dönüştürülmektedir. Isparta, 100 yılı aşkın bir süredir süregelen gülyağı üretimi ile tanınmıştır. Yaklaşık 45 gün süren gül işleme sezonunda, evsel katı atıkların 3-5 katı kadar posa meydana gelmektedir. Gülyağı ve konkret üretiminin yapıldığı tesislerden kaynaklanan proses atık suyu ve katı atıklar, tesis civarında açılmış toprak çukurlara veya dere yataklarına boşaltılmaktadır. Bu durum, Isparta ve civarındaki yüzeysel ve yeraltı suları için önemli bir kirlilik kaynağını oluşturmakta, koku ve görüntü kirliliği

gibi çevre sorunlarına neden olmaktadır (Tosun ve ark., 2002). Isparta ilinde yağ gülü damıtma atıklarının (YGDA) yıllık ortalama değeri yaklaşık 18234,7 ton (Isparta Tarım İl Müdürlüğü, 2013; Tosun ve ark., 2002) olarak hesaplanmıştır.

Orman Genel Müdürlüğü ve Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü kendi sahalarında bulunan biyokütlenin hem orman yangınlarının azaltılmasında hem de biyokütleden kaynak sağlanmasını teşvik etmektedirler. Bununla birlikte, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, linyit kömürlerinin ve linyit kömürlerinin üretiminden kaynaklanan atıklarda bulunan ince tane boyutlarına sahip kömürlerin kazanılması yönünde teşviki bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Isparta ilinde gül yağı işlemeden kaynaklanan yağ gülü damıtma atığı (YGDA) ile linyit kömür tozu (LKT) ve kızılçam ağaç kabuğu (KAK) kullanarak pelet yapımını gerçekleştirmek ve elde edilen peletlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemektir. Peletlerin özellikleri ile ilgili olarak kısa ve elemental analizleri, parça yoğunluğu, dayanıklılık direnci, kırılma direnci, sıkıştırma direnci, nem alma direnci ve termogravimetrik özellikleri belirlenecektir.

2. KONU İLE İLGİLİ BİLGİLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Biyokütle Enerjisi

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanabilir. Canlı kütle deyimiyile eş anlama gelen biyokütle, çoğu kez bitkisel ve hayvansal kökenli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ölçü birimi ise, belirli bir alana oranlanmış yaş veya kuru kütledir. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak kabul etmek de mümkündür. (Başçentinçelik ve ark., 2005). Biyokütle biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kütesidir. Diğer bir ifadeyle, yüzyıllık dönemden daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan artıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak tanımlanabilir (Ültanır, 1998). Biyokütlenin kimyasal içeriğinde karbonun yanı sıra hidrojen, oksijen atomları, azot ve daha küçük oranlarda alkali, alkali toprak ve ağır metaller içeren atomlar vardır. Biyokütle, tarım veya ormancılık ürünü olan ve tamamı veya bir kısmı içindeki enerjiyi geri kazanmak amacı ile yakıt olarak kullanılabilen bitkisel maddelerin tamamı veya bir kısmından oluşan ürünlerdir. Biyokütle enerjisi; yetiştiriciliğe dayalı olduğu için yenilenebilir, çevre dostu, yerli ve yerel bir kaynak olarak önem kazanmaktadır. Biyokütle enerjisi kullanımı klasik ve modern olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır (Başçentinçelik ve ark., 2005).

Biyokütle kullanımının avantajlarının yanı sıra, düşük termo-gravimetri içeriği, yüksek nem içeriği, düşük yığın yoğunluğu ve homojen olmayan yapısı gibi dezavantajları vardır. Bu sebeplerle biyokütle kullanımında, kullanılan biyokütlenin fizibilitesi ve maliyeti de dikkate alınmalıdır (Al-Widyan vd., 2002). Biyokütlenin enerji amaçlı kullanılması ile ısı, elektrik ve sıvı yakıt elde edilmektedir. Bu amacı gerçekleştirebilmek için, doğrudan yakma, havasız çürütme, fermantasyon, piroliz, gazlaştırma ve biyofotoliz gibi çeşitli dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır. Ön işlemden geçirilmiş biyokütleye uygulanan bu teknolojiler; termokimyasal,

fizikokimyasal ve biyokimyasal dönüşüm olmak üzere üç grupta toplanabilir (Gonzalez ve ark., 2004). Biyokütle fosil yakıtlara kıyasla çok daha düşük miktarda azot ve kükürt içermektedir. Yakma tesislerine yakın bölgelerdeki alanlarda asit yağmurlarına sebep olmazlar. NO_x emisyonları ve kül içeriği fosil yakıtlara göre karbon içeriğinin yüksek ve karbon zincirinin kısa olması sebebiyle çok düşüktür (Gonzalez vd., 2004).

2.2. Biyokütlenin Peletlenmesi ve Etkileri

Dünya çapında sorun olan küresel ısınma ve yüksek enerji maliyetleri yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesine ve mevcut metotların modernizasyonuna neden olmaktadır. Biyolojik kökenli katı atıkların değerlendirilmesi, yenilenebilir enerji kaynakları çevriminde yer almaktadır. Bu noktada ısı enerjisi üretimi için kullanılan teknolojilerden bir tanesi pelet üretim teknolojisi.

Peletleme, dağınık ve hacimsel biyokütlenin yüksek basınç altında sıkıştırılarak birim hacimde daha yüksek ısı değere sahip, daha kolay nakledilebilen ve depolanan biyokütleyle çevrim işlemidir. Elde edilen biyoyakıtta pelet denilmektedir. Acaroğlu (2007) yapmış olduğu çalışmada peletin teknik özelliklerini Çizelge 2.1 tanımlamaktadır.

Çizelge 2.1. Pelet yakıtların teknik değerleri (Acaroğlu,2007)

Parametre	Değeri
Uzunluk	10-50 mm
Çap	6-10 mm
Granül yoğunluğu	1150-1400 kg/m ³
Depolama-paket içi yoğunluk	600-1400 kg/m ³
Nem oranı	%8-%10
Kalorifik değeri	4200-5000 kcal/kg
Yanma sonu kül oranı	%0,3-%0,6

Fosil kökenli yakıtların küresel ısınmaya olan etkilerine karşın pelet yakıtların birçok olumlu etkisi bulunmaktadır. Bunların başında, pelet yakma prosesinin CO₂'in nötr etkiye sahip olmasıdır. Bitkiler büyüymek için CO₂ absorbe ederler. Bu bitkilerden oluşan atıklar pelet üretiminin ham maddesini oluşturmaktadır. Üretilen

peletlerin yakılması ile oluşan CO₂ tekrar bitkiler tarafından absorbe edilerek çevrim devam eder. Küresel ısınmaya karşı ülkelerin bir araya gelerek imzaladığı Kyoto Protokolü ile; çevreye zararlı gazların emisyon değerlerinin ve karbon emisyonlarının azaltılmasını ve sınırlamasını sağlayarak sanayileşmede ilerlemenin ivme kazandırılması amaçlanmıştır. Bu oluşum biyoyakıtların önemini daha da artıracaktır. Günümüzde, bu tür fosil kökenli yakıtların alternatifi olan pelet yakıtların üretim teknolojilerine yapılacak yatırımlar, karlılığı artırarak milli kaynaklardan daha temiz enerji elde edilmesini sağlayacaktır. Böylelikle emisyon değerlerinin düşürülerek daha temiz bir çevre şartının sağlanması ve sanayinin gelişmesi ile sonuçlanacaktır. Bunun yanı sıra peletleme teknolojisinin geliştirilmesi ile ülke enerji tüketiminde biyoenerjinin kullanılması sağlanacak ve ülkenin enerji konusunda dışa bağımlılığının azaltılmasına katkıda bulunulacaktır.

2.3. Peletleme Teknolojileri

Pelet; odun talaşı, odun yongaları, ağaç kabuğu, tarımsal ürünlerin artıkları, ekinlerin sapları, fındık, badem, ceviz kabukları hatta artık kâğıt gibi maddelerden elde edilebilir. Peletleme işleminin amacı; organik atık materyallerin peletleme işlemi ile yoğunluğunun artırılarak, taşıma, depolama ve nakliye masraflarının azaltılması, boyut ve şekilde homojenlik kazandırılması, ısı amaçlı kullanımlarda ise birim hacimden daha fazla ısı elde etmek ve yakma sistemlerine otomatik olarak beslenmesini amaçlamıştır. Böylelikle materyalin daha etkin bir şekilde kullanımı sağlanmaktadır. (Mani vd 2003; Holm vd 2006; García-Maraver vd 2011; Nilsson vd 2011; Theerarattananoon vd 2011; Celma vd 2012).

Günümüzde peletleme teknolojisi olarak çember ve düz kalıplı presler kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Düz kalıp preste delikli sıralı disk üzerinde, bir veya daha fazla sıkıştırma silindiri bulunmaktadır. Fakat daha çok çift silindir bulunmaktadır. Bu silindirler yaklaşık olarak 2-3 m/s hızla dönmektedir. İşleme alınan materyaller; diskler vasıtasıyla kalıpta bulunan deliklerde sıkıştırılıp kalıbın şeklini alarak pelet olarak çıkmaktadır. Çember kalıplı preslerde ise proses şu şekilde gerçekleştirilir; dönen delikli çemberin iç çevresine bastırılan tekli veya daha çok 2-3 adet olan sıkıştırma silindirleri sürekli olarak dönmektedir. Bu sayede materyal kalıp

deliklerinden sürekli olarak sıkışarak pelet halinde kalıptan çıkmaktadır (Öztürk 2012).



Şekil 2.1. Düz kalıplı (a) ve çember kalıplı (b) peletleme teknolojisi

Biyokütle peletlerinin fiziksel özelliklerinin bilinmesi özellikle depolama, yakma sistemleri, nakliye ve nakliye işlemleri açısından oldukça önemlidir. Peletlerin fiziksel özellikleri; şekil, çap ve uzunluk olarak boyutları, yoğunluğu, porozitesi, sertliği ve dayanıklılığıdır (Balasubramanian 2000). Peletlerin, uzunluk ve çap gibi boyutları yakma işlemleri ve yakma sistemlerinin tasarımı açısından çok önemlidir. İnce peletler özellikle küçük kapasiteli yakma sistemlerinde daha iyi bir yanma oranı sağlarken, pelet uzunluğu yakıtın otomatik olarak yakma sistemine beslenmesi açısından önemlidir. Daha kısa peletler daha rahat bir akış sağlamaktadırlar (Lehtikangas 2001).

Pelet yoğunluğu nakliye masraflarını, taşıma ve depolama faaliyetlerini etkilemektedir. Daha yoğun elde edilen peletler nakliye masraflarını azaltmakta, taşıma ve depolamanın etkinliğini artırmaktadır (Lehtikangas 2001, Sokhansanj ve Turhollow 2004, Tumuluru vd 2011). Peletlerin tüketiciye sunulması süresince dayanıklı kalması çok önemlidir. Yüksek dayanıklılığa sahip peletler, özellikle taşıma ve depolamada avantajlar sağlamaktadır (Lehtikangas 2001). Pelet dayanım değerlerinin %80 ve yukarı olması yüksek kaliteli, %70-80 arasında olması orta kaliteli ve %70'in altında olması durumunda ise pelet kalitesi, düşük kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Tabil ve Sokhansanj 1996, Tabil ve Sokhansanj 1997).

2.4. Pelet İle İlgili Çalışmalar

Filbakk ve ark. (2011) çam odunu peleti yapımında karşılaşılan önemli problemlerden biri olan hammadde sıkıntısı nedeni ile ağaç kabuklarını pelet yapımında kullanmışlardır. Çalışmada ağaç kabuklarını, %0, %5, %10, %30 %100 oranlarında çam peleti karışımlarında kullanmışlardır. Sadece ağaç kabuğundan yapılmış peletlerin mekanik özelliklerinin çam tozu+ağaç kabuğu peletlerinin özelliklerinden daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. İstatistiksel analizler, peletlerin dayanım dirençleri açısından fark olmadığını ve Avrupa Pelet Konseyi standartlarını sağladığını göstermiştir. Peletlerin kül içerikleri, ağaç kabuğu miktarının artması ile artmıştır.

Liu ve ark. (2014) hidrotermal karbonizasyon yönteminin (hydrothermal carbonization) pelet kalitesine olan etkisini belirlemek için çam tozu, pirinç kavuzu, hindistancevizi lifi ve hindistancevizi kabuğundan pelet yapmışlardır. Çalışmada, parça yoğunluğu, kül içeriği, üst ısıl değer, enerji yoğunluğu, sıkıştırma gerilme direnci ölçümlerini yapmışlar ve termogravimetrik yöntemle yanma özelliklerini belirlemişlerdir. Hidrotermal karbonizasyon yöntem ile hazırlanan materyalden yapılan peletlerde, parça yoğunluklarının, üst ısıl değerlerinin, düşük kül içeriklerinin, yüksek enerji yoğunluklarının, yüksek sıkıştırma gerilme dirençlerinin ve yüksek bozunma sıcaklıklarının olduğu ve pelet kalitesinde önemli iyileşmenin olduğu tespit edilmiştir.

Jiang ve ark. (2014) peletleme parametrelerinin arıtma çamuru, Çin ladini, kafur ağacı ve pirinç kavuzundan yapılmış peletlerin özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Peletlerin hacim ve parça yoğunlukları tespit edilmiştir. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM), FT-IR spektrumları ve kimyasal analizler, özellikle materyallerin birleştirme mekanizmalarını incelemek için yapılmıştır. Termogravimetrik analiz yanma özelliklerini incelemek için kullanılmıştır. Sonuçlara göre pelet hacim ağırlığı, basınç, arıtma çamuru miktarı ve sıcaklığın artmasıyla artmıştır. Yüksek dayanıklılıkta peletler, düşük basınç ve sıcaklıkta elde edilebileceğini bildirmişlerdir. Birlikte- peletleme (co-pelletization) için en uygun

nem içeriğinin % 10-15 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca arıtma çamuru ilavesi heterojenliğin etkisini azaltarak pelet dayanımını artırmıştır. Pelet içerisindeki çamurun artırılması, uçucu madde salınımını azaltmıştır.

Li ve ark. (2012) talaş peletinin, akışkan yataklı bir reaktörde kavruarak (torrefied) elde edilen materyalden üretilmesinde, enerji tüketimi, nem alımı, pelet yoğunluğu ve Meyer sertliklerine etkisini belirlemek için çalışma yürütmüşlerdir. Kavruarak yapılan peletlerin enerji tüketim değerleri diğer peletlere göre daha yüksek bulunmuştur. Pelet nem alım değerleri kavurma derecesine bağlı olarak düşmüştür. Kavrulmuş materyalden elde edilen peletlerin yoğunlukları diğer peletlere göre daha az olmuştur.

Carone ve ark. (2011) zeytin ağacı budama artıklarından yapılan peletlerin, ana işlem parametrelerinin (basınç ve sıcaklık) ve biyokütle özelliklerinin (nem içeriği ve pelet büyüklüğü) bazı mekanik özelliklerine (yoğunluk ve dayanım) olan etkilerini araştırmıştır. Laboratuvar ölçekli bir pelet pres makinesinde peletleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Materyal çekiçli değirmende üç farklı elek boyutlarına (1, 2 ve 4 mm) öğütülmüştür. Peletleme işlemi, farklı nem içeriklerinde (5, 10, 15 ve % 20, yaş baz), farklı işlem sıcaklıklarında (60, 90, 120 ve 150°C) ve basınçta (71, 106, 141, ve 176 MPa) gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırılmış pelet ölçüleri ve kütlesi, pelet yoğunluğunu hesaplamak için kullanılmıştır. Basınç dayanım ölçümleri ise peletlerin dayanıklılığını belirlemek için yapılmıştır. Sonuçlar sıcaklığın pelet mekanik özellikleri açısından en önemli parametre olduğunu göstermiştir. Bunu nem içeriği ve parça büyüklüğü takip etmiştir. Yüksek işlem sıcaklığı, düşük nem içeriği ve düşük pelet boyutlarında kaliteli pelet elde edilmiştir. Böylece sıkıştırma kuvvetinin çok etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Gil vd (2010) tarafından yapılan çalışmada çam, kiraz ve okaliptüs talaşları, selüloz artıkları, kahve kabukları ve üzüm artıkları ile iki farklı kömür çeşidi birlikte peletlenmiştir. Çalışmada peletleme makinesi olarak kalıp-piston düzeneği kullanılmış ve 8 mm çapında silindirik peletler üretilmiştir. Pelet üretiminde kullanılan hammadde özelliklerinin optimum değerlerinin belirlenmesi için peletlerin mekanik özellikleri ve yanma davranışları sırası ile aşınma indeksi ve termogravimetrik analiz yardımıyla incelenmiştir. Çalışma sonunda üzüm artığı ve

kahve kabuklarından elde edilen peletlerin en düşük, kiraz ve çam talaşından elde edilen peletlerin ise en yüksek dayanıklılığa sahip oldukları belirlenmiştir. %10-30 arasında kiraz talaşı ile çam talaşı karışımlarının pelet üretimi için en iyisi olduğu görülmüştür. Kiraz+çam talaşı ile selüloz artıkları+kömür (<%20) karışımlarından elde edilen peletlerin dayanıklılığında bir azalma olmamıştır. Biyokütle örneklerine az miktarlarda kömür eklenmesi karışımların ısıl karakteristiklerini etkilememiştir.

Poddar ve ark. (2014) peletleme basıncının, pelet yoğunluğu ve peletlerin kalorifik değerlerine (yanma brüt ısıl değer) etkisini belirlemek için çalışma yürütmüşlerdir. Peletleme için sekiz farklı tür ağaç talaşı kullanılmış olup, peletleme işlemi farklı sıkıştırma basınçlarında gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırılmış numunelerin boyutları, pelet kütle yoğunluğunu hesaplamak için ölçülmüştür. Isıl değeri belirlemek için kalorimetre kullanılmıştır. Pelet yoğunluğu başlangıçta basınçla beraber hızla artmış daha sonra yavaş yavaş artmıştır. Basıncın üst ısıl değere etkisi belirlenememiştir.

Peletleme ve birlikte peletleme (co-pelletization) konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmalar peletlerin üretiminde kavurma (torrified), hidrotermal karbonizasyon (hydrothermal carbonization) gibi farklı yöntemlerin kullanılması ve peletleme parametrelerinin (basınç, sıcaklık, pelet boyutu, materyal çeşidi veya bileşenlerin pelet dayanımı, ısıl değer, kül içeriği, yanma davranışları ve pelet dayanımları) pelette meydana getirdiği etkiler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada ise gül yağı işlemeden kaynaklanan yağ gülü damıtma atıkları ile linyit kömür tozu ve kızılçam ağaç kabuğu kullanarak pelet yapımı gerçekleştirilecek ve elde edilen peletlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenecektir. Peletlerin özellikleri ile ilgili kısa ve elemental analizleri, parça yoğunluğu, dayanımları, kırılma direnci, sıkıştırma direnci, nem alma direnci ve termogravimetrik özellikleri tespit edilecektir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

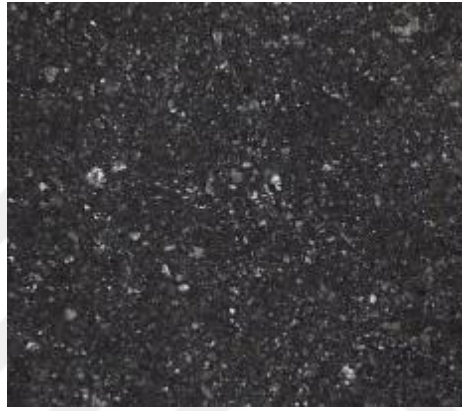
Denemeler Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Biyokütle Laboratuvarında yürütülmüştür. Denemelerde materyal olarak Biolandes gülyağı işleme tesisinden çıkan YGDA (Şekil 3.1) kullanılmıştır. YGDA; fabrika açısından önemli bir çevresel atık olması ve biyokütle enerji konusunda yakıt olarak değerlendirilebilirliğinin araştırılması hususunda yeterli çalışmaların yapılmamış olması nedeniyle, çalışma konusu içinde değerlendirmeye alınmıştır. KAK, orman endüstrisi yan ürün olması ve pelet üretimi için doğal bağlayıcı özelliği olması tez çalışması için önemli bir materyaldir (Şekil 3.2). Ayrıca peletlerin kolay yanmasını sağlamak amacıyla peletleme işleminde LKT farklı karışım oranlarında kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.1. Denemelerde kullanılan yaş yağ gülü damıtma atıkları (a) ve kurutulmuş ve öğütülmüş yağ gülü damıtma atıkları (b)

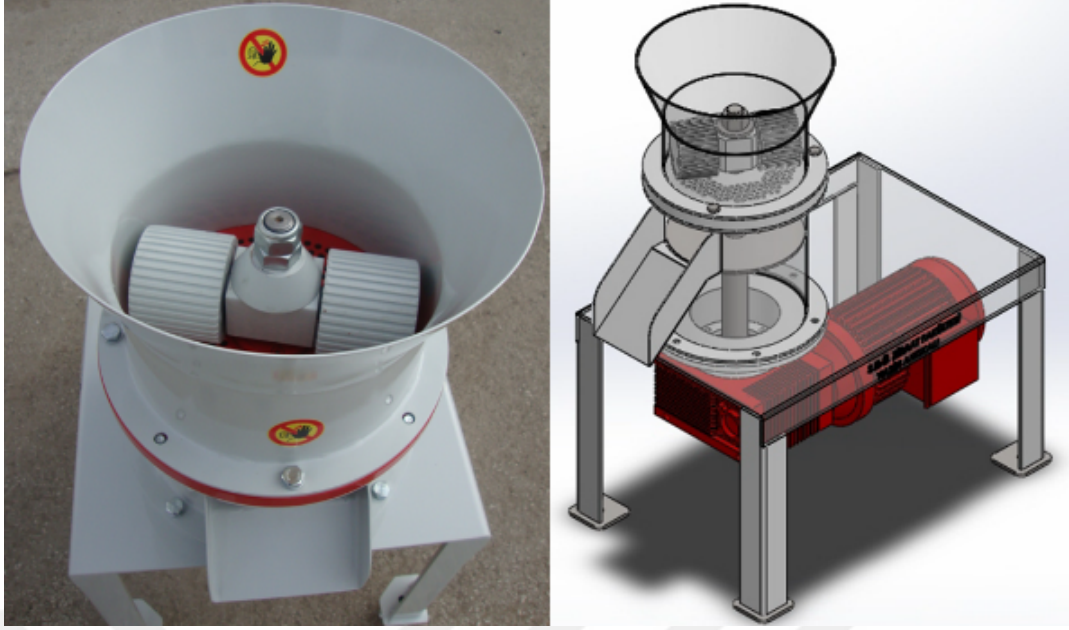


Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan kızılçam ağaç kabuğu (a) ve tozu (b)



Şekil 3.3. Denemelerde kullanılan linyit kömür tozu

Pelet yapımında kullanılan YGDA ve KAK'ın deneylerde kullanılması için öğütülmesi gerekmiştir. Bu işlem Isparta sanayisinde çekiçli değirmen ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, kurutulup öğütülmüş YGDA, KAK ve LKT'den altı farklı karışım elde edilmiş ve 3 kW motor gücüne sahip (redüktör dönü sayısı: 96 dönü/dakika), işleme kapasitesi 50-60 kg/h olan, dairesel sıralı delikli düz kalıp olan peletleme makinesinde peletlenmiştir. Pelet kalıbının giriş delik çapı 11 mm, çıkış delik çapı 7 mm ve kalıp boyu 25 mm'dir. Makine üzerinde redüktörün çalışmasını ve durdurulmasını sağlayan start-stop düğmeleri bulunmaktadır (Şekil 3.4). Pelet makinesinde pelet boyu ayarlama düzeneği bulunmamaktadır.



Şekil 3.4. Peletleme makinesi

Denemelerde kullanılan materyaller ve peletlerin nem içeriklerinin belirlenmesinde kurutma fırını (etüv) ve materyallerin kül içeriklerinin belirlenmesinde kül fırını kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Denemelerde kullanılan etüv (a) ve kül fırını (b)

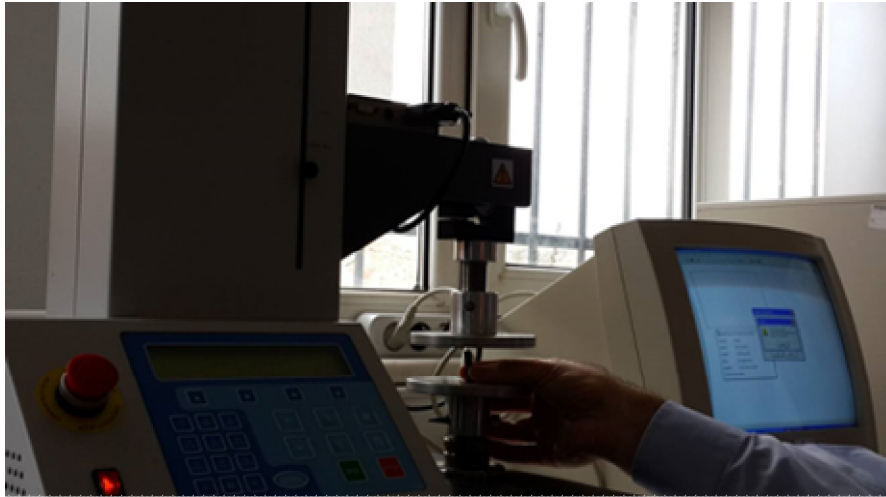
Peletlerin düşme dayanıklılık dirençleri, ASAE S269.4 DEC96 standardına göre yapılmış, motor gücü 0,37 kW, motor redüktör devri 50 dak⁻¹, peletlerin yerleştirildiği kafese (ölçüleri 300x300x125 mm olan ve kafes iç merkezine çapraz

simetrik olarak yerleştirilen 50 mm en ve 230 mm uzunluğu sahip bir levhası bulunan) sahip dayanıklılık test cihazında belirlenmiştir (şekil 3.6).



şekil 3.6. Düşme dayanıklılık test cihazı

Peletlerin sıkıştırma direncinin belirlenmesi için Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünde bulunan Lloyd LF Plus marka universal test ünitesi kullanılmıştır (şekil 3.7). Ünite, sıkıştırma dirençlerinin belirlendiği kısım ve verilerin aktarıldığı bilgisayar olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir.



şekil 3.7. Universal test ünitesi

Peletlerin termal özelliklerinin hızlı bir şekilde belirlenmesinde kullanılan Termogravimetrik analiz (TGA) için Perkin Elmer Diamond TG/DTA model

termogravimetrik analiz cihazı (Şekil 3.8) kullanılmıştır. Termal analizler 25-900°C aralığında, 10°C/dak tarama hızında, 20 mL/dak'lık akış hızında N₂ gazı ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Termogravimetrik analiz cihazı

Kuru ve öğütülmüş numunelerin karbon ve azot içeriğinin belirlenmesi için Elementar vario MACRO CUBE analizörü kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Karbon ve azot tayininin gerçekleştirildiği analiz cihazı

Peletlerin nem alma dirençlerinin belirlenmesinde Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü'nde bulunan Wisecube Daihan marka iklimlendirme kabini kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Peletlerin nem alma dirençlerinin tespit edilmesinde kullanılan iklimlendirme kabini

Öğütülen materyallerin tane boyut dağılımlarının belirlenmesinde 200 mm çapında, 50 mm derinliğinde ve 0,045, 0,063, 0,075, 0,090, 0,106, 0,150, 0,212, 0,300 mm delik çaplarında 8 adet elekten oluşan elek analiz seti kullanılmıştır (Şekil 3.11). Elek analizleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Elek analiz seti

3.2. Metot

3.2.1. Materyalin peletlenmeye hazırlanması ve peletlenmesi

YGDA ve KAK'ın iyi bir şekilde öğütülebilmesi için öncelikle güneş altında kurutulmuştur. Kurutma işlemi bittikten sonra Isparta sanayisinde bulunan çekiçli değirmen ile öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Peletlemede kullanılan LKT Isparta'da bulunan bir kömür satış noktasından satın alınmıştır. Kömür tozuna peletleme işlemi öncesi herhangi bir işlem yapılmamıştır. Denemelerde kullanılan YGDA, KAK ve LKT'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında pelet yapımında kullanılan materyallerin kuru kütle bazında karışım oranları ve karışımların isimlendirilmesi Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Pelet karışımlarında kullanılan gül yağı işleme atığı, öğütülmüş ağaç kabuğu ve linyit kömürünün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Analiz	YGDA (%)	KAK (%)	LKT (%)
Kısa analiz (%)			
Nem	2,41±0,06	7,31±0,21	4,30±0,63
Uçucu madde	66,49±4,17	75,43±5,66	31,26±2,00
Sabit karbon	3,55±1,77	12,52±1,52	40,4±0,94
Kül içeriği	27,55±2,47	4,74±3,94	24,04±0,43
Elemental analiz (%)			
C	49,63±0,05	48,96±0,37	59,83±0,33
N	2,89±0,13	0,45±0,21	1,64±0,01
S	0,39±0,02	0,04±0,01	0,78±0,03
Diğer analizler			
Üst ısıl değer (MJ/kg)	11,31±0,09	15,48±0,39	17,4±0,01
Hacim ağırlığı (m3/kg)	504,10±5,12	260,10±7,08	830±2,51

Çizelge 3.2. Peletlerin yapımında kullanılan materyallerin kuru kütle bazında karışım oranları (%) ve karışımların isimlendirilmesi

Materyal	Karışım-1 75-15-10	Karışım-2 50-30-20	Karışım-3 25-25-50	Karışım-4 25-50-25	Karışım-5 15-75-10	Karışım-6 10-15-75
YGDA (%)	75	50	25	25	15	10
KAK (%)	15	30	25	50	75	15
LKT (%)	10	20	50	25	10	75

Karışımlarda kullanılan ana materyallerin elek analizi yapılmıştır. Elek analizi sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Pelet ana materyallerinin elek analizi sonuçları

Elek aralığı (mm)	YGDA (%)	KAK (%)	LKT (%)
>0,30	56,55	45,51	48,96
0,212-0,300	14,13	11,89	11,68
0,150-0,212	9,23	5,74	6,62
0,106-0,150	7,83	4,95	7,19
0,090-0,106	2,57	2,69	3,42
0,075-0,090	1,79	2,27	2,40
0,063-0,075	1,11	2,35	2,02
0,045-0,063	2,67	16,85	6,09
0-0,045	4,13	7,75	11,62

Peletleme işlemi peletleme makinesinde 6 farklı karışım oranında (Çizelge 3.2) gerçekleştirilmiştir. Peletleme işlemi yapılmadan önce toz haline getirilen materyaller belirlenen yüzde karışımlarında elle hazırlanmıştır. Homojen karışımı

sağlanan toz materyalleri %80 nem içeriğine çıkartmak için eklenmesi gereken su miktarı aşağıda verilen eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır (Coşkun ve ark., 2005).

$$Q = \frac{w_i (m_f - m_i)}{100 - m_f} \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

Q: Eklenen su miktarı (g)

w_i: Materyalin ilk ağırlığı (g)

m_i: Materyalin ilk durumdaki nem içeriği (%)

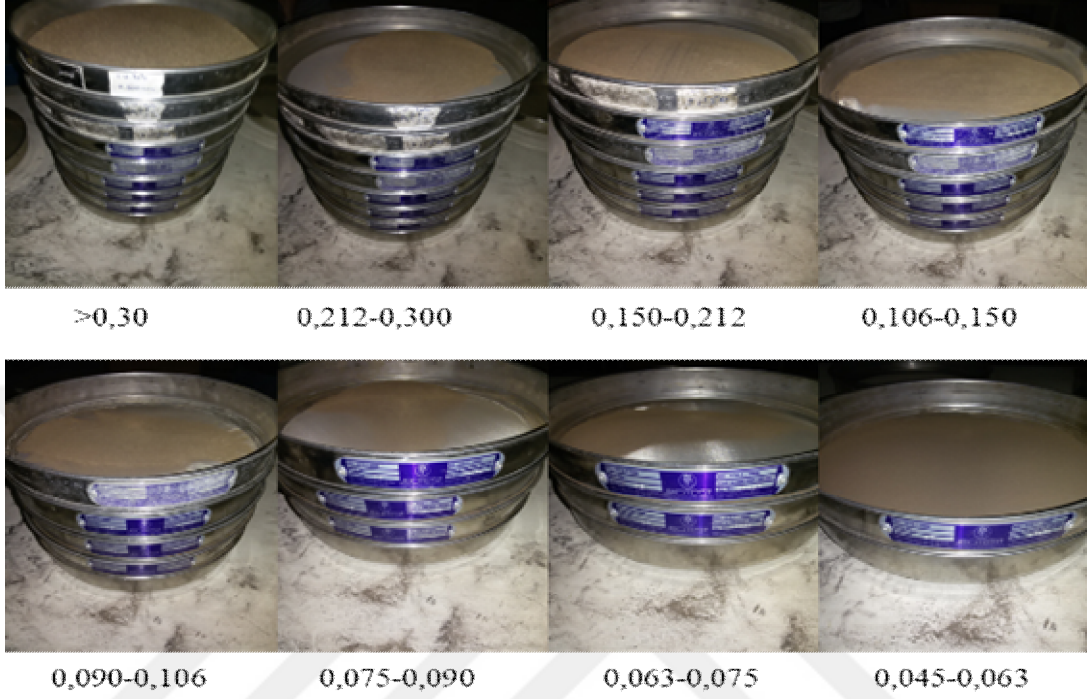
m_f: Materyalin son durumdaki nem içeriği (%)

Materyaller %80 nem değerine ulaştırıldıktan sonra paslanmaz çelik kazanda 90°C'ye kadar ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Tabil ve Sokhansanj (1996) yoncadan pelet yapımında buhar uygulamasının 90°C altında olması durumunda (>65°C) pelet dayanıklılık direncinin %66,5–69,9 iken, buhar uygulamasının 90°C üstünde yapılması durumunda %82,6–84,8'e yükseldiğini bildirmişlerdir. Böylece ağaç kabuğundaki ligninin yapıştırma özelliği artırılmıştır. Bu işlemden sonra deneme materyalleri pelet makinesinde kalıp ve diskin bulunduğu materyal deposuna sürekli olarak bir kürek yardımı ile elle beslenmiştir. Kısa bir süre içerisinde kalıp deliklerindeki kesit daralmasına bağlı olarak materyal sıkışmaya başlamış ve silindirik peletler sürekli üretilmiştir. Peletlerin standart uzunlukta üretimi için herhangi bir düzenek bulunmamaktadır. Bu nedenle pelet uzunlukları rastgele oluşmaktadır. Her bir deneme materyali için aynı işlem tekrarlanmış ve peletler oda koşullarında kurumaya bırakılarak pelet üretimi tamamlanmıştır.

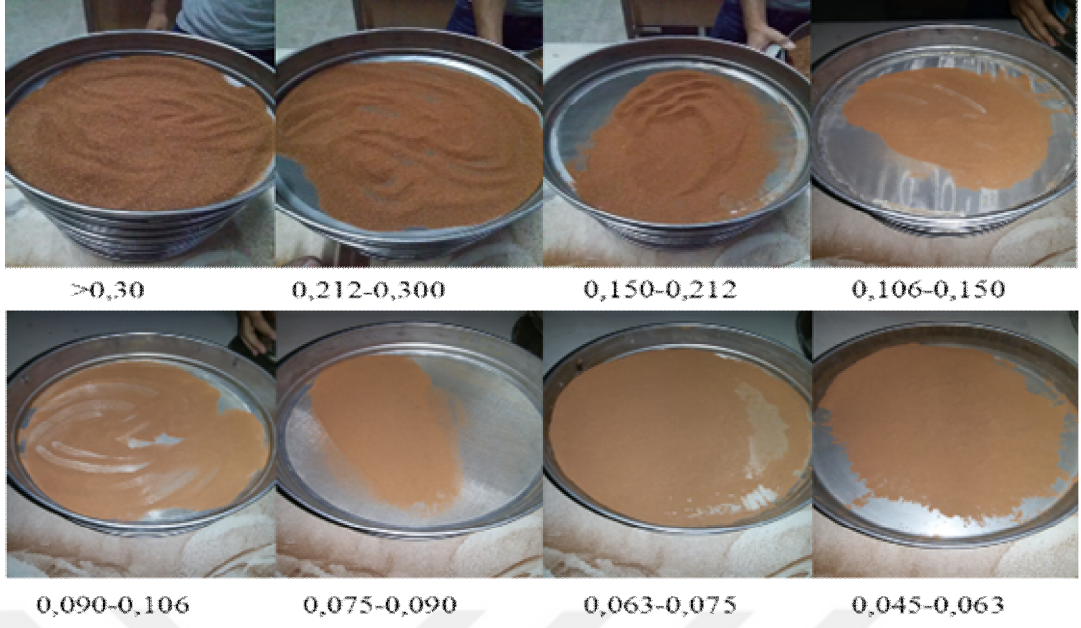
3.2.2. Materyal tane boyut dağılımı

Ana materyallerin parçacık boyut dağılımı elek analizi ile belirlenmiştir. Elek aralığı olarak 0,045-0,300 mm seçilmiş olup 8 elek kullanılmıştır. Her materyal için yaklaşık 750 g örnek en üstteki eleğe konulmuş ve örneklere 15 dakika süreyle titreşim uygulanmıştır. Test sonunda her bir elek üzerinde kalan materyal tartılmış ve ağırlığı kaydedilmiştir. İki elek arasında kalan materyal yüzdesi elek üzerindeki materyal ağırlığının toplam örnek ağırlığına oranlanması ile hesaplanmıştır. Elek

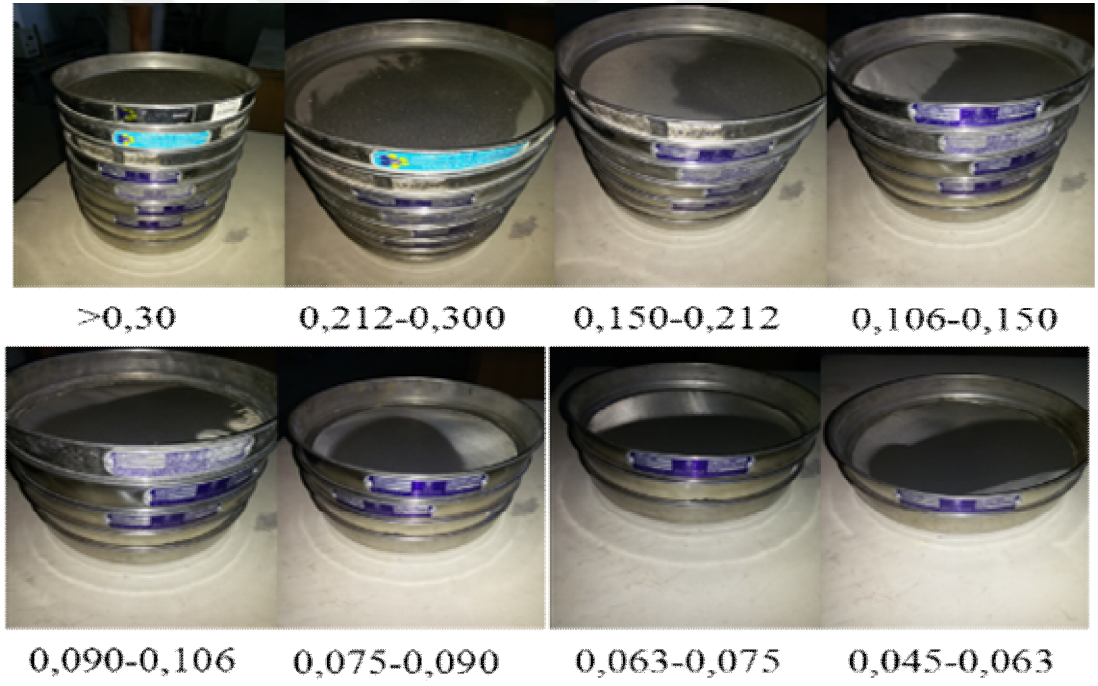
analizi sonrası, YGDA, KAK ve LKT materyallerinin 0,045, 0,063, 0,075, 0,090, 0,106, 0,150, 0,212, 0,300 mm açıklığa sahip elekler üzerinde kalan materyallerin görünümleri Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Elek analizi sonrası öğütülmüş YGDA'nın boyut dağılımı



Şekil 3.13. Elek analizi sonrası öğütülmüş KAK'ın boyut dağılımı



Şekil 3.14. Elek analizi sonrası LKT'nin boyut dağılımı

3.2.3. Pelet fiziksel, kimyasal ve ısıl özellikleri

Pelet fiziksel, kimyasal ve ısıl özellikleri ile ilgili olarak peletlerin parçacık yoğunluğu, nem, kül, karbon ve azot, kükürt içerikleri, dayanıklılık direnci, kırılma direnci, sıkıştırma direnci, nem alma direnci, ısıl değeri, termogravimetrik analizleri yapılmıştır. Fiziksel testler öncesinde peletler oda koşullarında bekletilmiştir. Dayanıklılık direnci ve kırılma direnci testi sonrasında peletler 3,15 mm elek delik çapına sahip elekte elenmiş ve elek üzerinde kalan parçalar kayıp olarak değerlendirilmemiştir.

3.2.3.1. Pelet parça yoğunluğu

Pelet parça yoğunluğu, pelet boyutlarının ölçülmesi (stereometrik yöntem) yolu ile belirlenmiştir. Pelet parça yoğunluğunun belirlenmesi için her pelet örneğinden 40 adet pelet rastgele seçilmiş ve tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra silindirik peletlerin çapı ve uzunluğu 0,01 mm hassasiyetli dijital kumpas yardımı ile ölçülmüş ve pelet hacmi hesaplanmıştır. Pelet parça yoğunluğu, pelet ağırlığının pelet hacmine bölünmesi ile kg/m^3 olarak aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Adapa ve ark., 2006; Yılmaz, 2014).

$$V_u = \frac{\pi d^2 l}{4} \quad (3.2)$$

$$\rho_u = \frac{m_u}{V_u} \quad (3.3)$$

Eşitliklerde;

V_u = Tek pelet hacmi (m^3)

d = Pelet çapı (m)

l = Pelet uzunluğu (m)

ρ_u = Pelet parça yoğunluğu (kg/m^3)

m_u = Tek pelet ağırlığı (kg)

3.2.3.2. Peletlerin kısa analizi (Proximate analysis)

3.2.3.2.1. Nem içeriği

Peletlerin nem içeriği ASTM D 3173 standardına göre tespit edilmiştir. Pelet örnekleri 105°C sıcaklıkta 2 saat kurutma fırınında kurutulmuştur. Nem içeriği aşağıdaki eşitlik yardımı ile pelet örneklerinin nem içerikleri yaş bazda yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

$$M = \frac{m_{p2} - m_{p1}}{m_{p2} - m_{p1}} \times 100 \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

M = Pelet nem içeriği (% y.b)

m_{p1} = Boş kuru örnek kabının ağırlığı (g)

m_{p2} = Kurutma öncesi kuru örnek kabı ve peletlerin ağırlığı (g)

m_{p3} = Kurutma sonrası kuru örnek kabı ve peletlerin ağırlığı (g)

3.2.3.2.2. Kül içeriği

Peletlerin kül içeriği ISO 1171 standardına göre tespit edilmiştir. YGDA, KAK ve LKT materyallerinin ve pelet örneklerinin kül içeriği 900°C'de 3,5 saat kül fırınında yapılmıştır. Hesaplama aşağıdaki eşitliğe göre yapılmıştır.

$$a_c = \left[1 - \left(\frac{m_{ai} - m_{af}}{m_{ai}} \right) \right] \times 100 \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

a_c = Kül içeriği (%)

m_{ai} = Yakma öncesi materyal ağırlığı (g)

m_{af} = Yakma sonrası materyal ağırlığı (g)

3.2.3.2.3. Uçucu madde içeriği

Peletlerin uçucu madde içeriği ISO 562 standardına göre tespit edilmiştir. YGDA, KAK ve LKT materyallerinin ve pelet örneklerinin uçucu madde içeriği 900°C’de 7 dakikada kül fırınında yapılmıştır.

3.2.3.2.4. Sabit karbon içeriği (Fixed carbon)

Peletlerin sabit karbon içeriği aşağıdaki bağıntıdan elde edilmiştir (ASTM D3172)

$$FC = 100 - M - VC - a_c \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

FC = sabit karbon (%)

VC =Uçucu madde içeriği (%)

3.2.3.2.5. Üst ısıl değer (Higher heating value)

Peletlerin üst ısıl değeri aşağıdaki bağıntıdan elde edilmiştir (Baley, 1984).

$$HHV = 0,312FC + 0,1534VC \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

HHV = üst ısıl değer (MJ/kg)

3.2.3.3. Peletlerin elemental analizi (Elemental analysis)

3.2.3.3.1. Toplam karbon (C), azot (N) ve sülfür (S) içeriği

Kuru ve öğütülmüş numunelerin karbon ve azot içeriğinin belirlenmesi için Elementar vario MACRO CUBE analizörü kullanılmıştır. Numunelerin bu analizörde yüksek sıcaklıkta yakılması ile elementler gazlaştırılmakta, gaz

ayrıştırıcıdan geçirilmekte ve gravimetrik olarak termal iletkenlik detektörü ile tayin edilmektedir.

3.2.4. Mekanik testler

3.2.4.1. Pelet dayanıklılık direnci

Bu testte, 6 farklı karışım oranından 500 g pelet örnekleri alınmış, 3,15 mm çaplı yuvarlak delikli elek yardımı ile elenmiş pelet örnekleri, ASAE S269.4 DEC96 standartlarına göre yapılmış test düzeneğine yerleştirilmiş ve 10 dakika boyunca 50 dak⁻¹ ile döndürülmüştür. Döndürme testi sonrası peletler tamamen dışarı çıkarılmış ve 3,15 mm çaplı yuvarlak delikli elek kullanılarak tekrar elenerek tartılmış ve ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlık kaybına bağlı olarak dayanıklılık direnci yüzde olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$DD = \frac{m_A}{m_E} \times 100 \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

DD =Dayanıklılık direnci (%)

m_A =Test öncesi elenmiş pelet ağırlığı (g)

m_E =Test sonrası elenmiş pelet ağırlığı (g)

3.2.4.2. Pelet kırılma direnci

Pelet kırılma direncinin belirlenmesinde peletler içerisinde rastgele seçilen 3 adet pelet 1,85 m yükseklikten sert zemine 4 kez düşürülmüştür. Test sonunda peletler 3,15 mm yuvarlak delik çaplı elek kullanılarak elenmiştir. Test süresince oluşan ağırlık kaybına bağlı olarak pelet kırılma direnci, test sonrası pelet ağırlığının test öncesi pelet ağırlığına oranlanması yolu ile % olarak belirlenmiştir (Sah vd., 1980; Khankari vd., 1989; Shrivastava vd., 1989; Yılmaz, 2014).

3.2.4.3. Pelet sıkıştırma direnci

Peletlerin sıkıştırma direnci, peletin kırılmadan (parçalanmadan) önceki dayanabileceği maksimum kırılma yükü olarak tanımlanmakta ve sıkıştırma testi yoluyla belirlenmektedir (Kaliyan ve Morey 2009). Bu test 6 farklı peletin, 3 farklı nem düzeyinde 3 tekrarlı olarak faktöriyel düzende gerçekleştirilmiştir. Peletler %0, %10 ve %20 nem düzeylerine getirilmiştir. Bu test, peletlerin yatay ve dikey konumları için ayrı ayrı yapılmıştır. Peletler standart olarak 2 cm uzunlukta basma deneylerine tabi tutulmuştur. Peletler iki plaka arasına yerleştirilmiştir. Uygulanan sıkıştırma kuvveti sabit oranda artarak pelet kırılıncaya kadar devam etmiş ve uygulama yükleri test süresince bilgisayara aktarılmıştır. Sıkıştırma deneyleri 1kN'luk yük hücresi (load cell) 50 mm/dak. hızında yapılmıştır. Üniteye pelet kırılır kırılmaz sıkıştırma işlemi durdurulmuştur. Peletlerin sıkıştırma direnci Newton (N) olarak ölçülmüştür. Peletlerin yatay ve dikey gerilme direnci ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (Liu ve ark., 2014).

$$\sigma_x = \frac{2F}{\pi dl} \quad (3.9)$$

$$\sigma_y = \frac{F}{\pi d^2} \quad (3.10)$$

Eşitlikte;

σ_y = Yatay basma gerilme direnci (Pa)

σ_x = Dikey basma gerilme direnci (Pa)

F = Maksimum kırılma kuvveti (N)

d = Pelet çapı (m)

l = Pelet uzunluğu (m)

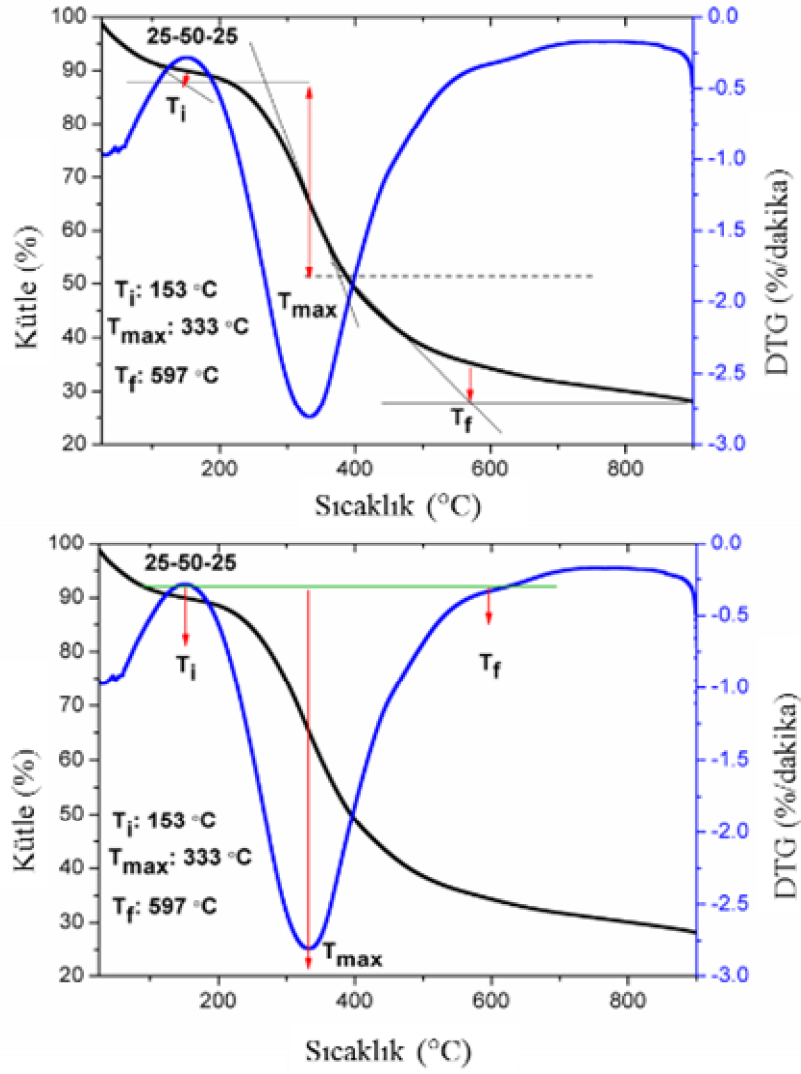
3.2.4.4. Pelet nem alma direnci

Peletlerin nem alma dirençlerini pelet ağırlığındaki değişim yoluyla belirlemiştir (Liu vd 2013). Bu testte her karışımdan 3 örnek kurutma fırınında 105°C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar (yaklaşık 24 h) bekletilmiş, kurutma sonrası peletler tartılarak ilk ağırlıkları kaydedilmiştir. Peletler daha sonra 25°C sıcaklık ve %60 nem

içeriğine sahip iklimlendirme kabininde 9 saat süreyle bekletilmiştir. Her saat başı ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Test sonunda peletler iklimlendirme kabininden alındıktan sonra tekrar tartılmış ve peletlerin son ağırlıkları kaydedilmiştir. Ölçümler arasında 0,01g'dan daha fazla bir değişim meydana gelmediği durumda deney durdurulmuştur. Sonuçlar yaş bazda sunulmuştur.

3.2.4.5. Termogravimetrik analiz

Peletlerin yanma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla termogravimetrik analizler yürütülmüştür. Sıcaklığa bağlı olarak peletlerin kütledeki azalma ve kütle kayıp oranı (% kütle/dakika) cihaz tarafından ölçülmüştür. Bu analizler, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Altı farklı karışıma sahip peletlerden alınan numuneler termogravimetrik analiz cihazında testleri yapılırken anlık veriler bilgisayara kaydedilmiştir. Kayıtlar ve analiz tamamlandıktan sonra termogravimetrik analizler (TGA) ve diferansiyel termogravimetrik analiz (DTA) verileri grafiksel olarak sunulmuştur. TGA ve DTA eğrilerinin yardımıyla, peletlerin başlangıç bozunma sıcaklığı (T_i), maksimum bozunma sıcaklığı (T_{max}) ve final bozunma sıcaklığı (T_f) ve kütle kayıp oranları belirlenmiştir. Örnek olması açısından bu değerler 25-50-25 peleti için TGA ve DTA eğrilerini kullanarak belirlenmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. 25-50-25 peleti için, T_i , T_{max} ve T_f değerlerinin TGA ve DTA eğrilerinden tespiti

3.2.5. İstatistiksel değerlendirme

Denemelerin istatistiksel değerlendirmesi Minitab 16 programında yapılmıştır. Sıkıştırma gerilme direnci üzerinde durulan özellikler bakımından elde edilen veriler, faktöriyel düzende varyans analizi tekniği ile analiz edilmiştir. Çalışmada faktörlerin seviye ortalamaları arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey testi kullanılmıştır. Pelet parçacık yoğunluğu, pelet dayanım direnci, pelet kırılma direnci ve pelet nem alma direnci çalışmalarında varyans analiz tekniği kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Pelet Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Karışımların peletlenmesi sonucunda elde edilen peletler Şekil 4.1’de verilmiştir. Peletler karışımları oranında isimlendirilmiştir (Çizelge 3.2 ve Şekil 4.1). Peletlerin belirgin özellikleri, (I) standart bir uzunluklarının olmaması, (II) peletlerin düz ve konkav şekillerinin bulunması, (III) ana materyallerin karışımları oranında renklerini almaları olarak sıralanabilir. Elde edilen peletlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Peletlerin nem değerleri yaş bazda %5,39 ile %9,15 arasında değişmiştir. Bu değerler, EN14774-1 standardında belirtilen değerden (\leq %10) küçüktür. Uçucu madde miktarları, LKT’nin %75 oranda kullanıldığı karışımda (10-15-75) %43,8 iken KAK’ın %75 oranda olduğu karışımda (15-75-10) ise %68,5 olarak ölçülmüştür. Bu miktarlar, Liu ve ark. (2014) tarafından yapılan çam tozu (%82,19), pirinç kavuzu (64,48), hindistancevizi lifi (65,5) ve hindistancevizi kabuğundan (75,27) yapılmış peletlerin uçucu madde miktarları ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Peletlerin sabit karbon değerleri %13,09 ile %32,49 arasında değişmiştir. Bu değerler, Liu ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada çam tozu (8,77), pirinç kavuzu (10,18), hindistancevizi lifi (18,75) ve hindistancevizi kabuğundan (18,28) elde edilen peletler için benzerdir. YGDA ve LKT’nin kül içeriğinin yüksek olması nedeni ile peletlerin kül içeriği %6,75-%17,37 arasında değişmiştir.

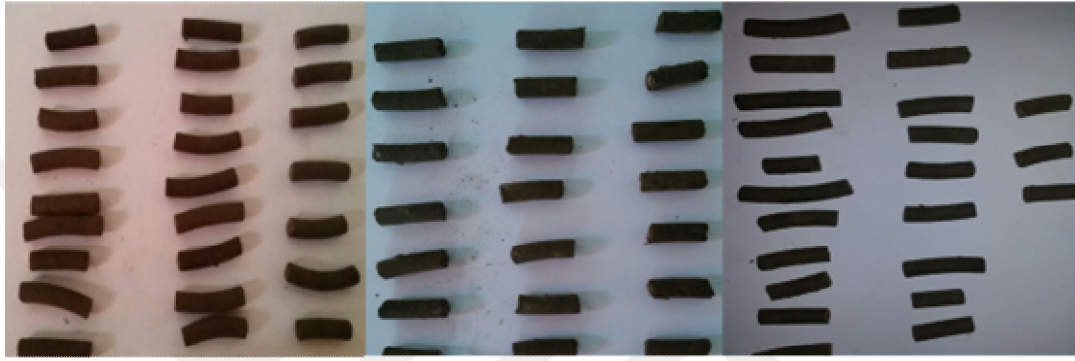
Pelet numunelerinin elemental analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. YGDA’nın N içeriğinin yüksek olması nedeni ile YGDA ağırlıklı peletlerin (75-15-10 ve 50-30-20) N içeriği diğer peletlere göre daha yüksek olmuştur. Benzer bir şekilde LKT’nin S içeriğinin yüksek olması nedeni ile 10-15-75 ve 25-25-50 peletlerinin S içeriği diğer peletlere göre daha yüksek olmuştur. Bu değerler EN15289 standardında belirtilen değerlerden yüksekte kalmıştır.



75-15-10

25-25-50

10-15-75



15-75-10

25-50-25

50-30-20

Şekil 4.1. Elde edilen peletlerin görünümü

Çizelge 4.1. Pelet fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Pelet Karışımları					
	75-15-10	15-75-10	25-25-50	10-15-75	50-30-20	25-50-25
Kısa analiz (%)						
Nem	6,87±0,39	9,15±0,08	5,39±0,78	6,34±0,21	8,63±0,27	9,06±0,30
Uçucu madde	65,01±0,35	68,5±0,11	55,81±2,45	43,8±1,70	68,44±0,18	65,05±2,75
Sabit karbon	13,09±4,51	15,6±0,09	21,64±0,40	32,49±2,49	13,14±1,02	15,27±7,19
Kül içeriği	15,04±5,25	6,75±0,12	17,15±2,83	17,37±1,00	9,79±1,12	10,62±4,14
Elemental analiz (%)						
C	47,78±0,12	46,73±1,6	41,08±0,33	37,78±0,80	45,99±0,33	43,82±2,24
N	3,74±0,11	1,06±0,06	1,71±0,02	1,14±0,01	3,50±0,11	1,60±0,04
S	0,34±0,03	0,19±0,01	0,49±0,02	0,66±0,03	0,33±0,01	0,29±0,02
Üst ısı değeri (MJ/kg)	14,06±1,46	15,38±0,05	15,31±0,25	16,86±0,52	14,60±0,29	14,74±1,82

4.2. Pelet Parça Yoğunluğu

Bu çalışmada %100 YGDA, KAK ve LKT'den elde edilen peletlerin dayanıklılık, kırılma ve sıkıştırma dirençleri çok zayıf olmalarından dolayı değerlendirmeye alınmamıştır. Peletlere ait ortalama çap, uzunluk, ağırlık ve pelet parça yoğunlukları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Pelet çaplarının 6,17 ile 6,65 mm arasında, pelet uzunluklarının 19,42 ile 27,46 mm arasında ve pelet ağırlıklarının ise 0,56 ile 0,81 arasında değiştiği görülmektedir. Pelet parça yoğunluğu her bir ölçülen 40 adet 3 tekrarlı peletin ağırlığının pelet hacmine bölünmesi ile elde edilmiştir. Araştırmadan elde edilen tüm karışımların pelet çaplarının (6,17-6,65), Avrupa Pelet Konseyi tarafından hazırlanan ısınma amaçlı odun peletlerinin sertifikasyonu için kullanılan elkitabında belirtilen pelet çapları (6-8mm) için belirtilen sınırlar arasında (EN16127) kaldığı söylenebilir. Diğer taraftan tüm karışımların pelet uzunlukları (19,42-27,46 mm), EN16127 standardında belirtilen pelet uzunlukları için verilen sınırlar (3,15-40 mm) arasında olduğu tespit edilmiştir. Pelet parça yoğunlukları 871,07 ile 1000,14 kg/m³ arasında değişmiştir. Parça yoğunluğu testinde, peletlerin parça yoğunluğu üzerine karışım oranlarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (P<0.01). Elde edilen veriler doğrultusunda karışım içerisinde LKT miktarının artması, parçacık yoğunluğunun artmasına neden olmuştur. Karışım içeriğinde YGDA oranı veya LKT içeriğinin artış göstermesi parçacık yoğunluğunu artırırken KAK'ın artış göstermesi, parçacık yoğunluğunu düşürdüğü gözlemlenmiştir. Kömürün ağırlıklı olduğu 10-15-75 ve 25-25-50 karışımlarda pelet parçacık yoğunluğu diğer peletlere göre daha yüksektir. Bu değerler, Liu ve ark. (2014) tarafından yapılan çam tozu (1141 kg/m³), pirinç kavuzu (1093 kg/m³), hindistancevizi lifi (984 kg/m³) ve hindistancevizi kabuğundan (1101 kg/m³) yapılmış peletlerin parça yoğunlukları ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Diğer taraftan, bu çalışmadan elde edilen peletlerin parçacık yoğunlukları, pamuk ve susam saplarının farklı nem düzeylerinde yapılan peletlerinki ile karşılaştırıldığında (Yılmaz, 2014) ise pamuk sapının %20 nem düzeyi ile yapılan peletin parçacık yoğunluğu (922 kg/m³) ile benzer düzeyde olduğu fakat pamuk sapının diğer nem düzeyleri (%10 ve 15, yaş baz) ve susam sapının üç farklı nem düzeylerinde (%10, 15 ve 20 yaş baz) yapılan peletlerin yoğunluklarından (>1163 kg/m³) daha küçük olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Peletlerin çap, uzunluk, ağırlık ve parça yoğunluğu

Peletler	Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Ağırlık (g)	Pelet parça yoğunluğu kg/m ³
50-30-20	6,48±0,06	21,71±5,47	0,63±0,15	905,30±15,20BC
75-15-10	6,42±0,09	27,46±3,66	0,81±0,11	913,99±2,89 BC
25-50-25	6,17±0,09	25,46±2,59	0,71±0,07	871,10±15,60C
15-75-10	6,53±0,07	19,42±1,47	0,56±0,05	925,50±12,50BC
10-15-75	6,65±0,06	21,75±2,40	0,75±0,08	1000,40±8,46A
25-25-50	6,50±0,06	24,92±3,26	0,79±0,09	950,73±9,27AB

4.3. Pelet Dayanıklılık Direnci ve Kırılma Direnci

Peletlerin kalitesi ile ilgili testlerin seçimi (dayanıklılık direnci, kırılma direnci ve sıkıştırma gerilme direnci) üretim ve kullanım esnasında karşılaşılan kuvvetlere bağlı olarak değişmektedir. Doğru test, peletlerin taşınması ve depolanması esnasında oluşan kuvvetleri iyi bir şekilde tahminlemelidir (Kaliyan ve Morey 2009). Biyokütle peletlerinin dayanım ve sağlamlığı konusunda tam olarak kriter oluşturmak için, taşıma, depolama ve peletin taşındığı yerin iklim koşulları dikkate alınmalıdır (Khoshtaghaza ve ark., 1999). Vinterback (2002) pelet kayıplarının miktarı, dayanıklılık direnci ve hacim yoğunluğu önemli pelet kalite parametreleri olduğunu ve yüksek dayanıklılık direncinin peletlerdeki kayıpları azaltmak için gerekli olduğunu bildirmiştir. Büyük miktardaki pelet kayıpları depolama ve yanma esnasında sağlık problemleri ve toz patlaması gibi sorunlara yol açabileceğini belirtmiştir. Peletlerin dayanıklılık direnci veya yıpranma testi peletlerin pnömatik ve mekanik olarak taşınım işlerinde karşılaşılan yıpranmanın miktarı konusunda bilgi sahibi olmak için kullanılan bir parametredir. Bu parametre pelet üretimi esnasında peletlerin dayanım açısından nasıl olması gerektiği konusunda limitleri vermektedir (Kaliyan ve Morey 2009).

Bu çalışmada elde edilen peletlerin dayanım dirençleri %92,27-98,94 arasında değişmiştir. Çalışmada üzerinde durulan özellikler bakımından elde edilen veriler, varyans analizi tekniği ile analiz edilmiştir. Çalışmada faktörlerin, farklı karışım oranlarına sahip peletlerin seviye ortalamaları arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey testi kullanılmıştır. Peletlerin dayanım ve kırılma direnci değerleri ve varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Peletlerin dayanıklılık ve kırılma direnci değerleri ve varyans analizi sonuçları

Peletler	Dayanıklılık direnci (%)	Kırılma direnci (%)
10-15-75	92,27±0,95B	99,45±0,12B
15-75-10	98,02±0,42A	99,50±0,16AB
25-50-25	98,62±0,07A	99,81±0,05AB
25-25-50	98,94±0,07A	99,73±0,05AB
50-30-20	98,33±0,08A	99,86±0,03A
75-15-10	97,86±0,22A	99,73±0,03AB

Bu sonuçlara göre YGDA, KAK ve LKT'den üretilen peletlerin dayanıklılık direnci üzerine karışım oranlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Elde edilen veriler doğrultusunda %10 YGDA, %15 KAK ve % 75 LKT karışım oranlarına sahip olan materyal, dayanım direnci testinde istatistiksel olarak farklılık gösterirken diğer karışım oranlarına sahip peletler istatistiksel anlamda farklılık göstermemiştir. Karışımında LKT oranı arttıkça peletlerin dayanıklılık direnci azalmış ve en yüksek dayanıklılık direncini %98,94 ile %25 YGDA, %25 KAK ve %50 LKT karışım oranına sahip olan pelet göstermiştir.

Yılmaz (2014) pamuk ve susam sapının üç farklı nem düzeyinde (%10, 15 ve 20) ile yapılan peletin dayanıklılık dirençleri pamuk için sırasıyla, %98,7, %96,89 ve %89,86 olarak belirlenirken, susam için sırasıyla %97,16, %97,50 ve %93,03 99 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada, nem düzeylerinin etkisi incelenmiş olup nem düzeyleri arttıkça pelet dayanım direncinin azaldığı bulunmuştur. Mevcut çalışma pelet nemlerinde gerçekleştirilmiş olup ölçülen pelet dayanım dirençleri ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Odun peletlerinin dayanıklılık direnci Avrupa Pelet Konseyinde EN15210-1 standardında üç sınıfta (ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B) ele alınmıştır. Bu standartlara göre odun peletlerinin dayanıklılık direncinin ENplus-A1 ve ENplus-A2 sınıfı için $\geq 97,5$ ve EN-B sınıfı için ise $\geq 96,5$ olması gerektiği belirtilmiştir. Avrupa Pelet Konseyi'nin açıklamış olduğu standartlar dikkate alındığında, LKT'nin %75 oranında kullanıldığı 10-15-75 pelet hariç tüm peletlerin ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıfları için uygun olduğu tespit edilmiştir. Burada, 10-15-75 peletinin dayanıklılık direncinin düşük olmasının sebebi olarak LKT'nin miktarı ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Waelti ve Dobie (1973) pirinç samanından yaptıkları

peletlerde, %80-%90 dayanıklılık direnci için “iyi” %90’dan daha büyük dayanıklılık direnci için çok iyi sınıflaması yapmışlardır. Obernberger ve Thek (2004), Avusturya standartlarına göre, odun peletlerinin dayanıklılık direnci en az %97,7 olması gerektiğini ve benzer standartların İsveç için de geçerli olduğunu belirtilmektedir. Pelet dayanım değerlerinin %80 ve yukarı olması yüksek kaliteli, %70-80 arasında olması orta kaliteli ve %70’in altında olması durumunda ise pelet kalitesi, düşük kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Tabil ve Sokhansanj 1996, Tabil ve Sokhansanj 1997).

Pelet kırılma direnci (düşme direnci), peletlerin lojistiği aşamasında yükleme ve boşaltmadan kaynaklanan (peletlerin düşmesinden dolayı) kuvvetlerin benzerini uygulamak için kullanılan bir parametredir (Kaliyan ve Morey 2009). Bir çok araştırmacı peletlerin belirli yükseklikten belirli yüzeylere düşürülerek bu benzerliği gerçekleştirilebileceğini bildirmişlerdir (Pietsch, 2002; Sah ve ark., 1980; Khankari ve ark., 1989; Shrivastava ve ark., 1989; Al-Widyan ve Al-Jalil, 2001).

Peletlerin kırılma direnci değerleri incelendiğinde ise karışım oranlarının etkisi, YGDA, KAK ve LKT’den üretilen peletlerin kırılma direnci üzerine karışım oranlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0,01$). Bu veriler ışığında 10-15-75 ve 50-30-20 karışım oranlarına sahip peletler istatistiksel anlamda farklılıklar gösterirken diğer karışım oranlarına sahip materyaller arasında istatistiksel anlamda farklılık gözlemlenmemiştir. Bu bağlamda kırılmaya karşı en hassas materyal 10-15-75 karışım oranına sahip pelet olurken kırılmaya karşı en dayanıklı materyal, 50-30-20 karışım oranına sahip pelet olduğu gözlemlenmiştir.

4.4. Peletlerin Nem Alma Direnci

Peletlerin taşıma veya depolanması süresince, yağmurlu hava veya yüksek nispi nem koşullarına maruz kalması kalitelerini düşürmektedir (Kaliyan ve Morey 2009). Peletlerin nem alma direnci, peletlerin belirli nispi nem ve sıcaklık koşullarında denge nemlerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Genellikle, peletlerin denge nemlerinin yüksekliği peletlerin higroskopik neme sahip olduğunu göstermektedir (Liu ve ark., 2014). Peletlerin depolama aşamasında nem alması peletlerin dayanım özelliklerini ters yönde etkilemektedir (Tabil, 1996; Fasina ve ark., 1996). Odun peletleri taşıma sırasında kırılır ve toz oluşturur (Oveisi, 2011) ve depolama esnasında nem alırsa

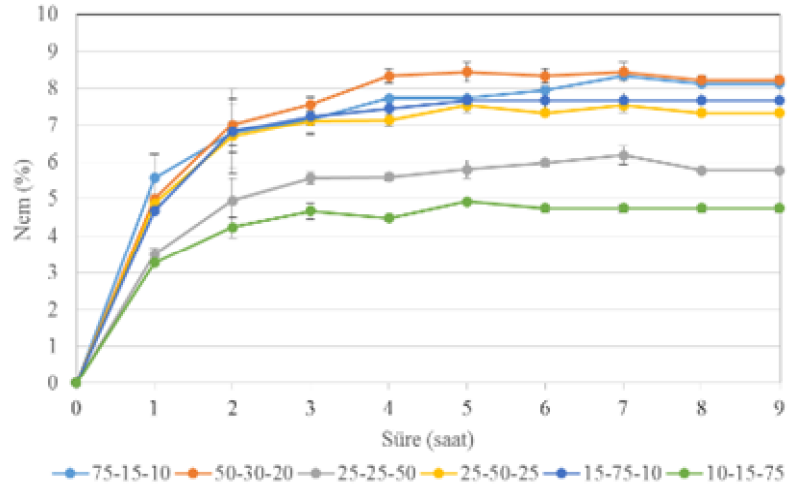
peletler dağılırlar (Hartley ve Wood 2008). Odun peletleri mantarlara, kendiliğinden ısınmaya ve ortam gazlarına karşı hassastırlar (Ferrero ve ark., 2009). Lam ve ark. (2012) peletlerin nem almaya karşı dirençli hale getirilmesinin, dış koşullarda depolamaya uygun hale getirip depolama masraflarını azaltacağını bildirmiştir. Bu nedenle, Lam ve ark. (2012) peletlerin nem almaya karşı direncini artırmak ve denge nem değerini düşürmek için pelet yapım aşamasında buhar uygulamasını önermiştir. Igathinathane ve ark. (2007); Hartley ve Wood (2008) peletlerin denge nemlerinin farklı sıcaklık, nem ve basınç koşullarında değişiminin belirlenmesinin daha dayanıklı ve higroskopikliği daha az peletlerin oluşturulmasını sağlayacağını ve peletlerin nem alınımının belirlenmesinin kurutma, depolama ve taşıma ekipmanlarının gelişmesine katkı sağlayacağını bildirmişlerdir.

Peletlerin nem alma-verme davranışlarının belirlenmesi için peletler altı farklı karışım oranlarında üç tekrarlı olarak 25°C sıcaklık ve %60 bağıl nem şartlarında iklimlendirme kabininde bekletilmiştir. Peletler denemeye alınmadan önce etüv de 24 saat ve 105°C derece sıcaklıkta bekletilerek nem içerikleri %0 düzeye indirilmiş ve daha sonra materyallerin bağıl nem miktarına doymuş oldukları duruma yani sabit ağırlığa ulaşana dek saatlik tartımlar yapılmış ve materyallerin nem alma direnci testi sonlandırılmıştır. Çalışmada üzerinde durulan özellikler bakımından elde edilen veriler, varyans analizi tekniği ile analiz edilmiştir. Peletlerin nem alma direnci değerlerinin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde, aynı sıcaklık değerleri ve ortam nemi içeriğinde seviye ortalamalarının nem alma durumları artmıştır. Bu çalışmada, peletlerin nem alma direnci üzerine karışım oranlarının etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Elde edilen veriler doğrultusunda nem artış durumu özellikle YGDA+KAK karışımlarının fazla, LKT oranının az olduğu; 75-15-10, 50-30-20, 25-50-25 ve 15-75-10 karışım oranlarına sahip peletlerin bağıl neme duyarlılıklarının daha fazla olduğu ve istatistiksel olarak farklılık göstermedikleri gözlemlenirken, LKT içerikleri fazla olan diğer iki karışımın bağıl neme olan hassasiyetleri istatistik olarak farklılık göstermiştir.

Çizelge 4.4. Peletlerin nem alma direnç testi sonrası varyans analiz değerleri

Peletler	Denge nem değerleri (%)
75-15-10	8,14±0,03A
50-30-20	8,22±0,17A
25-25-50	5,78±0,04B
25-50-25	7,34±0,05A
15-75-10	7,68±0,31A
10-15-75	4,76±0,14B

Farklı karışım oranlarına ait peletlerin zamana bağlı olarak 25°C sıcaklık ve %60 bağıl nem değerlerinde iklimlendirme kabini içerisinde bekletilmesi durumunda nem değişimleri Şekil 4.2.de verilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Liu ve ark. (2014), %60 nem ve 25°C koşullarında bekletilen çam tozu (%4,08), pirinç kavuzu (%3,26), hindistancevizi lifi (%3,43) ve hindistancevizi kabuğundan (%3,20) yapılmış peletlerin denge nem düzeylerinden daha yüksektir. Diğer taraftan, Yılmaz (2014), %60 nem ve 25°C koşullarında pamuk ve susam sapının üç farklı nem düzeyinde (%10,15 ve 20) ile yapılan peletin denge nemleri pamuk için sırasıyla, %8,85, %9,29 ve %11,10 olarak belirlenirken, susam için sırasıyla %8,32, %8,57 ve %9,75 olarak belirlemiştir.



Şekil 4.2. Peletlerin denge nem değerlerinin zamanla değişimi

4.5. Peletlerin Özgül Sıkıştırma Direnci ve Sıkıştırma Gerilme Direnci

4.5.1. Peletlerin yatay sıkıştırma gerilme direnci

Sıkıştırma gerilme direnç testleri, peletlerin silo veya benzer yapılarda peletlerin birbirlerine uyguladıkları basınç kuvvetlerinin etkisi, peletlerin konveyörlerde taşınması sırasında parçalanması vb. durumlarda peletlerin davranışlarını tahminlemekte kullanılan bir testtir. Bu test üretilen peletlerin kalitesi hakkında çok hızlı bir şekilde bilgi veren bir test olup, pelet üretim aşamasında kaliteyi artırmak için peletleme prosesini iyileştirme imkânı sağlar. Fakat bu test peletlerin kullanımı, taşınması ve depolama aşamasında meydana gelen toz ile ilgili bir bilgi vermez (Kaliyan ve Morey 2009).

Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnç değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Yapılan çalışmalarda üzerinde durulan özellikler bakımından elde edilen veriler, faktöriyel düzende varyans analizi tekniği ile analiz edilmiştir. Çalışmalarda faktörlerin farklı seviye ortalamaları arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey testi kullanılmıştır.

Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci; YGDA bakımından elde edilen verilere yapılan varyans analizi sonucunda YGDAX nem interaksyonu istatistik olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.6). Fakat ayrı ayrı YGDA faktörünün seviye ortalamaları arasındaki farklılıklar ($P < 0,01$) ve nem faktörünün seviye ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistik olarak önemlidir ($P < 0,05$). Tukey testi sonuçları, Çizelge 4.5'te peletlerdeki YGDA oranı (%) kısmında gösterilmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci; YGDA bakımından, nem değeri arttıkça ve YGDA oranı azaldıkça dikey olarak sıkıştırmada ölçülen gerilme direnci azalmış, bu durumu sağlayan pelet materyallerinin gerilme kuvvetine olan mukavemetin azaldığı tespit edilmiştir.

Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci; KAK bakımından elde edilen verilere yapılan varyans analizi sonucunda KAK x nem interaksyonu istatistik olarak önemli değildir. Bunun yanı

sıra ayrı ayrı KAK faktörünün seviye ortalamaları arasındaki farklılıklar ve nem faktörünün seviyeleri arasındaki ortalama farklar da istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Tukey testi sonuçları, Çizelge 4.5'te peletlerdeki KAK oranı (%) kısmında gösterilmiştir. Nem değerinin ve KAK miktarındaki artışın dayanıma etkisi istatistik anlamda önemli bulunmamıştır. Bunun nedeni, KAK bileşenlerinin içerisinde bulunan bağlayıcı özelliğe sahip lignin ve ekstraktif bileşenlerin mukavemet göstermesidir. Fakat karışım oranlarında nem azaldıkça pelet dayanımlarının yatay sıkıştırmada gerilme kuvvetine olan mukavemetin arttığı gözlemlenirken KAK miktarının %30'dan fazla veya az kullanımında pelet dayanımlarının yatay sıkıştırmada gerilme kuvvetine olan mukavemetin azaldığı gözlemlenmiştir. Nitekim Chen ve ark. (1989) karışımlardaki ağaç kabuğu miktarının artması ile peletlerin yapımında daha düşük basınç gerektirdiğini, yüksek nem ve dayanımı daha iyi olan peletlerin üretildiğini bildirmişlerdir. Benzer bir şekilde, Lehtikangas (2001), ağaç kabuklarından üretilen peletlerin, yüksek lignin içeriği ve ekstraktif (nişasta, reçine vb.) içeriklerinden dolayı mekanik olarak daha dayanıklı olduğunu belirtmiştir.

Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci; LKT bakımından elde edilen verilere yapılan varyans analizi sonucunda LKTxnem interaksyonu istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Fakat ayrı ayrı LKT faktörünün seviye ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistik olarak farklılık göstermiştir ($P<0,01$). Ancak nem faktörünün seviye arasındaki ortalama farklar istatistik olarak önemli değildir. Karışımında nem değerinin ve LKT oranının artması peletlerin yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme kuvvetine karşı olan mukavemetin azaldığı belirlenmiştir. Nitekim Chen ve ark. (1989) kömür, ağaç tozu ve ağaç kabuğu ile farklı kombinasyonlarda yaptıkları peletlerde, karışımlardaki kömür tozu miktarının artması ile dayanımı daha az olan peletlerin üretildiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.5. Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci (MPa)

Peletlerdeki YGDA oranı (%)						
Nem düzeyi (%)	10	15	25	50	75	Ortalama
0	0,32±0,02	1,05±0,21	0,93±0,11	1,31±0,16	1,62±0,39	1,03A
10	0,31±0,02	0,68±0,04	0,79±0,05	0,96±0,04	2,05±0,35	0,93AB
20	0,26±0,03	0,67±0,1	0,53±0,08	1,02±0,18	1,4±0,26	0,73B
Ortalama	0,29±0,02D	0,8±0,09BC	0,75±0,06C	1,1±0,09B	1,69±0,19A	
Peletlerdeki KAK oranı(%)						
Nem düzeyi (%)	15	25	30	50	75	Ortalama
0	0,97±0,34	0,7±0,05	1,31±0,16	1,15±0,07	1,05±0,21	1,04
10	1,18±0,42	0,7±0,01	0,96±0,04	0,89±0,07	0,68±0,04	0,88
20	0,83±0,28	0,39±0,09	1,02±0,18	0,67±0,05	0,67±0,1	0,72
Ortalama	0,99±0,19	0,6±0,06	1,1±0,09	0,9±0,08	0,8±0,09	
Peletlerdeki LKT oranı (%)						
Nem düzeyi (%)	10	20	25	50	75	Ortalama
0	1,34±0,24	1,31±0,16	1,15±0,07	0,7±0,05	0,32±0,02	0,96
10	1,36±0,35	0,96±0,04	0,89±0,07	0,7±0,01	0,31±0,02	0,84
20	1,03±0,21	1,02±0,18	0,67±0,05	0,39±0,09	0,26±0,03	0,68
Ortalama	1,25±0,15A	1,1±0,09AB	0,9±0,08AB	0,6±0,06BC	0,29±0,02C	

Pelet bazında farklı nem oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Pelet bazında farklı nem oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen yatay gerilme dirençleri üzerinde durulan özellikler bakımından elde edilen veriler, faktöriyel düzende varyans analizi tekniği ile analiz edilmiştir ve faktörlerin farklı seviye ortalamaları arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey testi kullanılmıştır.

Pelet bazında farklı nem oranlarının yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen yatay gerilme dirençleri bakımından elde edilen verilere yapılan varyans analizi sonucunda pelet karışım oranları x nem interaksyonu, istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Fakat ayrı ayrı pelet bazında karışım oranlarının kendi aralarındaki farklılıkları önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Nem faktörü seviyesi arasındaki ortalama farklar istatistik olarak önemlidir ($P<0,05$). Pelet bazında ölçülen gerilme direnci bakımından en yüksek dayanımı 75-15-10 karışım oranına sahip pelet göstermiştir. Minimum dayanımı gösteren pelet 10-15-75 olmuştur. 15-75-10 ve 25-50-25 peletler arasında istatistiksel farklılık gözlemlenmemiştir. Fakat 25-25-50 karışım oranlarına sahip peletin, %0 ve %20 nem değerlerindeki ölçülen gerilme direnci değerlerinde azalma görülmüştür. Sonuç olarak pelet içerisinde LKT oranı arttıkça sıkıştırma gerilme dirençleri azalırken, YGDA miktarı arttıkça sıkıştırma gerilme direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Öte yandan peletlerin nem içeriği arttıkça sıkıştırma gerilme dirençleri azalmıştır.

Bu çalışmada, peletlerin yatay sıkıştırma gerilme direnci değerleri 0,29, 0,8, 0,6, 0,9, 1,1 ve 1,69 MPa olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Liu ve ark. (2014), çam tozu (3,91 MPa), pirinç kavuzu (2,05 MPa), hindistancevizi lifi (1,51 MPa) ve hindistancevizi kabuğundan (0,96 MPa) yapılmış peletlerin yatay sıkıştırma gerilmelerini belirlemişlerdir. Bu çalışmada ölçülen yatay sıkıştırma gerilme direnci değerleri, Liu ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışma ile kıyaslandığında, hindistancevizi lifi (1,51 MPa) ve hindistancevizi kabuğundan (0,96 MPa) yapılmış peletlerin sıkıştırma gerilme direnci ile benzer düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, Yılmaz (2014), pamuk ve susam sapının üç farklı nem düzeyinde (%10,15 ve 20) ile yapılan peletin yatay sıkıştırma gerilmelerini pamuk için sırasıyla, 7,29, 6,78 ve 2,82 MPa olarak belirlenirken, susam için sırasıyla 5,20, 5,85 ve 4,26 MPa olarak belirlemiştir. Çalışma sonuçları, Yılmaz (2014) tarafından yapılan

Çalışma ile karşılaştırıldığında ise, bu değerlerin daha küçük olduğu belirlenmiştir. Burada şunu da belirtmek gerekir ki: yüksek sıcaklık, yüksek sıkıştırma kuvveti ve bağlayıcı ilavesinin yüksek dayanımlı peletlerin üretileceğini fakat enerji masraflarını artıracadığı bildirilmiştir (Liu ve ark. (2014).



Çizelge 4.6. Pelet bazında farklı nem oranlarında yatay olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci (MPa)

Nem düzeyi (%)	Karışımlar						Ortalama
	10-15-75	15-75-10	25-25-50	25-50-25	50-30-20	75-15-10	
0	0,32±0,02	1,05±0,21	0,7±0,05	1,15±0,07	1,31±0,16	1,62±0,39	1,03±0,12A
10	0,31±0,02	0,68±0,04	0,7±0,01	0,89±0,07	0,96±0,04	2,05±0,35	0,93±0,14AB
20	0,26±0,03	0,67±0,10	0,39±0,09	0,67±0,05	1,02±0,18	1,40±0,26	0,73±0,10B
Ortalama	0,29±0,02D	0,8±0,09BC	0,6±0,06CD	0,9±0,08BC	1,1±0,09B	1,69±0,19A	

4.5.2. Peletlerin dikey sıkıştırma gerilme direnci

Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnç değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci; YGDA bakımından elde edilen verilere yapılan varyans analizi sonucunda YGDA x nem interaksyonu istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Fakat %15-%25 karışım oranı, %50-%70 karışım oranı ve %25 karışım oranları arasında, YGDA faktörünün seviye ortalamaları farklılıklar göstermiştir ($P<0,05$). Nem faktörünün seviyeleri arasındaki ortalama farklar ayrı ayrı istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,01$). Tukey testi sonuçları, Çizelge 4.7’de peletlerdeki YGDA oranı (%) kısmında gösterilmiştir. Elde ettiğimiz bulgular neticesinde peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci; YGDA bakımından, nem değeri arttıkça ve YGDA oranı azaldıkça dikey olarak sıkıştırmada ölçülen gerilme direnci azalmış, bu durumu sağlayan pelet materyallerinin sıkıştırma gerilme direncinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci; KAK bakımından elde edilen verilere yapılan varyans analizi sonucunda KAK x nem interaksyonu istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Buna karşın; KAK faktörünün seviye ortalamaları arasında farklılık gözlemlenmezken, nem faktörünün seviye arasındaki ortalamalarda %0 ve %10 nem değerlerinin %20 nem değerinden farklılıkları istatistik olarak önemlilik göstermiştir ($P<0,01$). Tukey testi sonuçları, Çizelge 4.8’de peletlerdeki KAK (%) kısmında gösterilmiştir. Nem değeri %10’un üzerine çıktıkça KAK’ın dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci azalmıştır. Öte yandan KAK miktarındaki artışın dayanıma etkisi istatistik anlamda önemli bulunmamıştır. Bunun nedeni, KAK bileşenlerinin içerisinde bulunan bağlayıcı özelliğe sahip lignin ve ekstraktif bileşenlerin peletlerin mukavemetine katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada peletlerin lignin miktarlarının belirlenmemesine rağmen, ağaç kabuğu miktarının %30 dan fazla veya az kullanımında pelet dayanımlarının dikey sıkıştırmada gerilme kuvvetine olan mukavemetin azaldığını söylemek olasıdır. Nitekim Bradfield ve Levi (1984), ağaç tozu ve ağaç kabuğundan yaptıkları peletleme çalışmasının sonuçları, lignin+

ekstraktif (nişasta, reçine vb.) miktarının %34 üzerine çıkması durumunda peletlerin dayanıklılık dirençlerinin azaldığını bildirmişlerdir.

Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci; LKT bakımından elde edilen verilerle yapılan varyans analizi sonucunda LKT x nem interaksiyonu istatistik olarak önemli bulunmamasına karşın, %10-%20 karışım oranı, %50-%75 karışım oranı ile %25 karışım oranları LKT faktörlerinin seviye ortalamaları arasındaki değerler istatistik olarak farklılık göstermiştir ($P<0,05$). Buna karşılık, nem faktörünün seviyeleri arasındaki ortalama farklar istatistik olarak ayrı ayrı önemlilik göstermiştir ($P<0,01$). Tukey testi sonuçları, Çizelge 4.7’de peletlerdeki LKT (%) kısmında gösterilmiştir. Nem değeri arttıkça ve LKT oranı azaldıkça peletlerin dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme kuvvetine karşı olan direnç azalmış, bu durumu sağlayan pelet materyallerinin sıkıştırma gerilme direncinin azaldığı gözlemlenmiştir. Karışımında LKT miktarının artması, pelet dayanımlarının dikey olarak sıkıştırılmasında gerilme direncini azalttığı gözlemlenmiştir. Nitekim Chen ve ark. (1989) kömür, ağaç tozu ve ağaç kabuğu ile farklı kombinasyonlarda yaptıkları peletlerde, karışımlardaki kömür tozu miktarının artması ile peletlerin yapımında gereksinim duyulan basıncın arttığını, düşük nem, yüksek yoğunluklu ve düşük higroskopisiteli (havadan nem alma) peletlerin oluşturulduğunu, dayanımı daha az olan peletlerin üretildiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.7. Peletlerin farklı nem ve karışım oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci (MPa)

Peletlerdeki YGDA oranı (%)						
Nem düzeyi (%)	10	15	25	50	75	Ortalama
0	0,76±0,08	1,25±0,03	1,43±0,06	1,99±0,04	1,94±0,36	1,47A
10	0,76±0,06	1,17±0,04	1,02±0,04	1,61±0,05	1,83±0,21	1,24B
20	0,25±0,03	0,82±0,02	0,55±0,04	0,79±0,04	1,47±0,13	0,74C
Ortalama	0,59±0,09C	1,08±0,07B	1,00±0,09B	1,46±0,18A	1,75±0,15A	
Peletlerdeki KAK oranı (%)						
Nem düzeyi (%)	15	25	30	50	75	Ortalama
0	1,35±0,31	1,42±0,11	1,99±0,04	1,45±0,07	1,25±0,03	1,49A
10	1,30±0,26	1,07±0,08	1,61±0,05	0,98±0,03	1,17±0,04	1,22A
20	0,86±0,28	0,48±0,03	0,79±0,04	0,62±0,02	0,82±0,02	0,71B
Ortalama	1,17±0,16	0,99±0,14	1,46±0,18	1,02±0,12	1,08±0,07	
Peletlerdeki LKT oranı (%)						
Nem düzeyi (%)	10	20	25	50	75	Ortalama
0	1,6±0,22	1,99±0,04	1,45±0,07	1,42±0,11	0,76±0,08	1,44A
10	1,5±0,18	1,61±0,05	0,98±0,03	1,07±0,08	0,76±0,06	1,18B
20	1,14±0,16	0,79±0,04	0,62±0,02	0,48±0,03	0,25±0,03	0,66C
Ortalama	1,41±0,11A	1,46±0,18A	1,02±0,12B	0,99±0,14BC	0,59±0,09C	

Peletler, pelet bazında farklı nem oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme dirençleri üzerinde durulan özellikler bakımından elde edilen veriler, faktöriyel düzende varyans analizi tekniği ile analiz edilmiştir ve faktörlerin farklı seviye ortalamaları arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.8).

Pelet bazında farklı nem oranlarının dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme dirençleri bakımından elde edilen verilere yapılan varyans analizi sonucunda pelet karışım oranları x nem interaksyonu, istatistik olarak önemli bulunmamıştır. Fakat ayrı ayrı pelet bazında karışım oranlarının kendi aralarında ki farklılıkları önemlilik arz etmektedir ($P < 0,01$). Nem faktörünün seviye arasındaki ortalama farklar istatistik olarak önemlidir ($P < 0,05$). Pelet bazında ölçülen gerilme direnci bakımından en yüksek dayanımı (1,75 MPa) 75-15-10 karışım oranına sahip pelet göstermiştir. Bu karışımı 50-30-20 peleti takip ederken (1,46 MPa), minimum dayanımı gösteren pelet 10-15-75 (0,59 MPa) olmuştur. Diğer peletler arasında istatistiksel farklılık gözlemlenmemiştir. Sonuç olarak pelet içerisinde LKT oranı arttıkça sıkıştırma gerilme direnci azalırken, YGDA miktarı arttıkça sıkıştırma gerilme direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Öte yandan peletlerin nem içeriği arttıkça gerilme dirençleri azalmıştır.

Çizelge 4.8. Pelet bazında farklı nem oranlarında dikey olarak sıkıştırılmasında ölçülen gerilme direnci (MPa)

Nem düzeyi (%)	Karışımlar						Ortalama
	10-15-75	15-75-10	25-25-50	25-50-25	50-30-20	75-15-10	
0	0,76±0,08	1,25±0,03	1,42±0,11	1,45±0,07	1,99±0,04	1,94±0,36	1,47±0,12A
10	0,76±0,06	1,17±0,04	1,07±0,08	0,98±0,03	1,61±0,05	1,83±0,21	1,24±0,1B
20	0,18±0,03	0,82±0,02	0,48±0,03	0,62±0,02	0,79±0,04	1,47±0,13	0,74±0,09C
Ortalama	0,59±0,09C	1,08±0,07BC	0,99±0,14BC	1,02±0,12BC	1,46±0,18AB	1,75±0,15A	

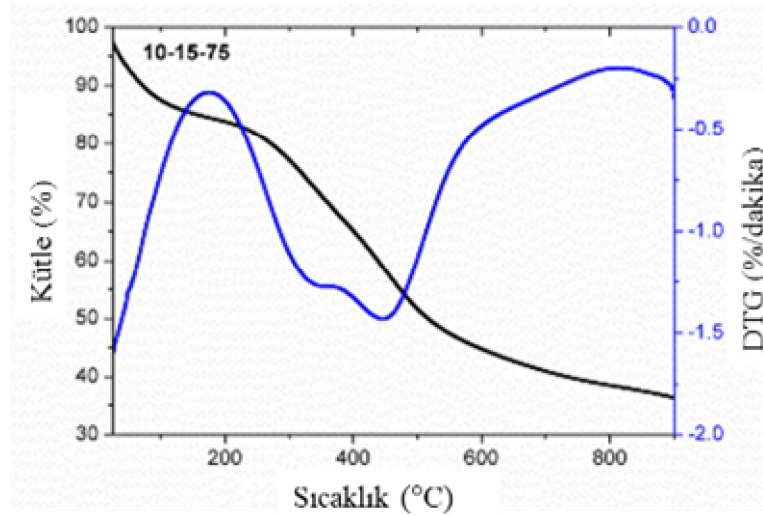
4.6. Peletlerin Termogravimetrik Analizleri

TGA analizi, biyokütle peletlerinin yanma karakteristiklerinin hızlı bir şekilde belirlenmesinde kullanılan önemli bir tekniktir (Chandrasekaran ve Hopke, 2012; Gil ve ark., 2010). Farklı miktarlarda YGDA, KAK ve LKT içeren peletlerin, 25-900 °C sıcaklık aralığında, 10°C/dak artış hızı ile ısıtılması sonucunda termal bozunma işlemini gösteren termogravimetrik (TG) ve diferansiyel termogravimetrik (DTG) bozunma eğrileri Şekil 4.3-4.8'de gösterilmiştir. Şekil 4.9 ve 10'da tüm peletlerin TG ve DTG eğrileri bir arada verilmiştir. Karakteristik sıcaklıkları ve yanma sürecinde gözlenen, başlangıç bozunma sıcaklığı (T_i), maksimum bozunma sıcaklığı (T_{max}) ve final bozunma sıcaklığı (T_f) Çizelge 4.10'da verilmiştir.

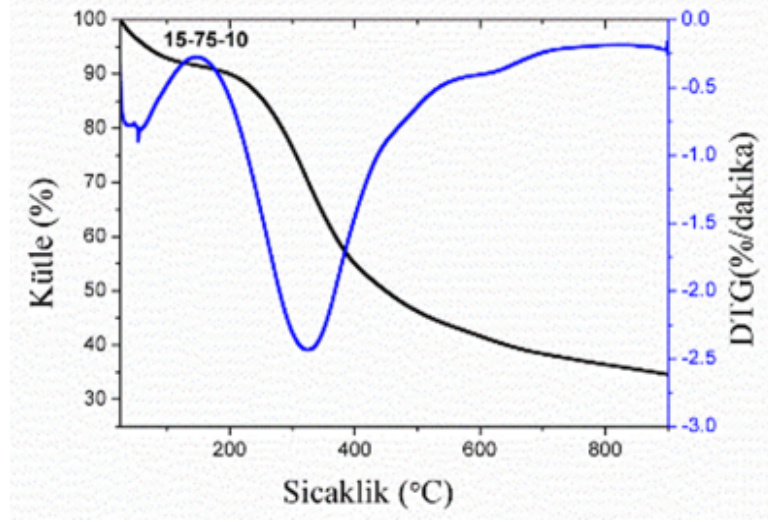
Pelet örneklerinin TG eğrilerinde 2 önemli kütle kaybı gerçekleşmiştir. 10-15-75 peleti için, ilk basamaktaki gözlenen 100°C'de suyun buharlaşması ile maksimum su kütle kaybı yaklaşık olarak %13 olarak gözlenirken; diğer örnekler için ise, bu kütle kaybı yaklaşık %9 olarak belirlenmiştir. TG eğrilerine bakıldığında (Şekil 4.3-4.7) yanma süresine bağlı maksimum kütle kayıp oranı 343 °C'de, 50-30-20' nolu örnekte gözlenmiştir. Örneklerin ısıtılmaya devam edilmesi ile sıcaklık aralığı yüksek alana kaymış final bozunma sıcaklığı sırası ile; 10-15-75 için; 585 °C'de, 15-75-10 için; 567 °C'de, 25-25-50 için; 559 °C'de, 25-50-25 için; 567 °C'de, 50-30-20 için; 572 °C'de ve 75-15-10 için; 559 °C'de (Çizelge 4.9) gözlenmiştir. Örneklerdeki bozunma sıcaklıkları arasındaki farklılıklar, bileşenleri arasındaki reaktivite farklılıklarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. İkinci basamakta örnekler arasında farklı kütle kayıpları gözlenmiştir. İkinci kütle kayıpları, 10-15-75 örneği için; 184-585 °C, 15-75-10 için; 155-567 °C, 25-25-50 için; 163-559 °C, 25-50-25 için; 153-567 °C, 50-30-20 için; 153-572 °C ve 75-15-10 için ise, 150-559 °C sıcaklık aralığında gözlenmiştir. Bu sıcaklık aralıklarında maksimum kütle kayıp oranı 50-30-20 örneği için; -2,83 %/dak. olarak görülürken, minimum kütle kayıp oranı 10-15-75 örneği için, -1,43 %/dak. olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9). 50-30-20 örneğinin kütle kayıp oranının fazla olması yapısında mevcut olan YGDA ve KAK'ın diğer pelet örneklerine göre uçucu madde oranının (Çizelge 4.1) fazla olduğunu göstermektedir. Buna bağlı olarak, yapıda mevcut olan organik bileşik miktarının artması kütle kaybının artmasına sebep olabileceği düşünülmektedir. 50-30-20 örneğinin kütle kaybına göre, 75-15-10 örneğinin yapısında mevcut olan YGDA miktarının fazla

olmasına karşılık odun kabuğu miktarının az olması maksimum kütle kayıp miktarını azaltmış ve bu kayıp -2,78 %/dak. olarak belirlenmiştir. 900 °C'de örnekler arasında maksimum kütle kayıpları sırası ile 10-15-75 için; %63,7, 15-75-10 için; %65,5, 25-25-50 için; %60,1, 25-50-25 için; % 71,9, 50-30-20 için; % 71,8, 75-15-10 için; % 71,5 olarak belirlenmiştir. 900 °C'nin sonunda maksimum kütle kaybı 25-50-25 örneği için gözlenmiştir. Bu kütle kaybı yapıda mevcut olan KAK ve YGDA miktarından kaynaklanmaktadır.

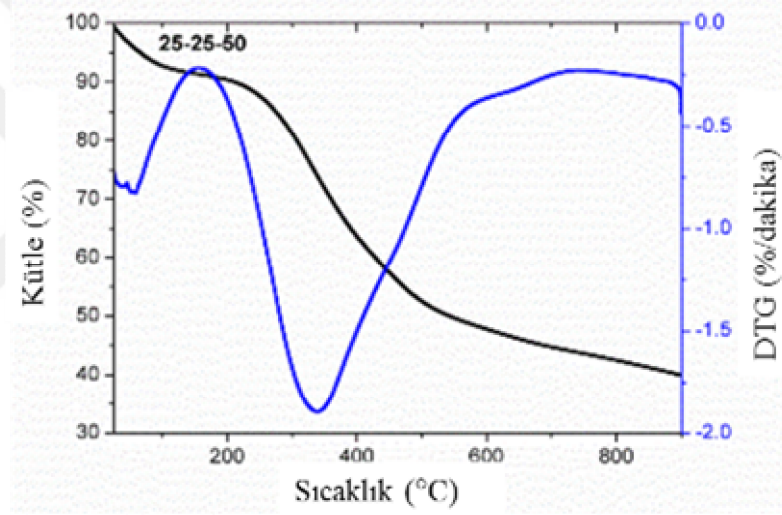
TG/DTG sonuçlarına göre, örnek peletlerin yakıt kaliteleri değerlendirilmiştir. Genel olarak, peletlere baktığımızda yapıdaki YGDA ve KAK miktarı (15-75-10, 25-50-25, 50-30-20 ve 75-15-10) arttıkça (uçucu madde miktarlarına bağlı olarak) kütle kaybı ve kütle kayıp oranları (-2,40- -2,83 %/dak.) artmıştır. Diğer taraftan peletlerdeki LKT oranı (10-15-75 ve 25-25-50) arttıkça peletler daha yavaş yanmaktadır (-1,43- -1,88%/dak.). 10-15-75 peletinin final bozunma sıcaklığı diğer peletlerin sıcaklıklarından daha yüksektir. Liu ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada biyokütle peletlerinin yüksek final tepe sıcaklıklarında ve düşük kütle kayıp oranlarında daha mutedil yanma gerçekleştiğini bildirilmişlerdir. Obernberger ve Thek (2004) yüksek final tepe sıcaklıkları ile beraber yüksek yanma sıcaklıklarının biyokütlenin yanma ısıl verimini yükselteceğini bildirmiştir. Bu nedenle, LKT'nin oransal olarak daha yüksek olduğu peletlerin yakacak olarak kullanılması durumunda YGDA ve KAK miktarının daha düşük tutulması yanma kalitesini artıracaktır.



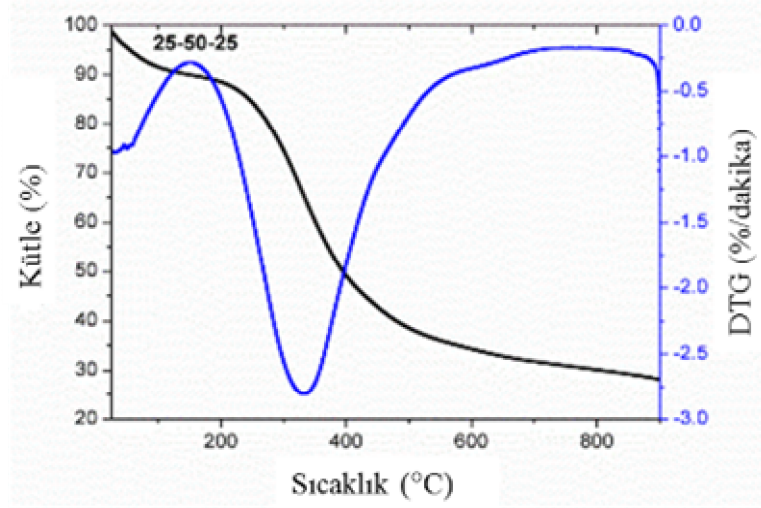
Şekil 4.3. 10-15-75 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri



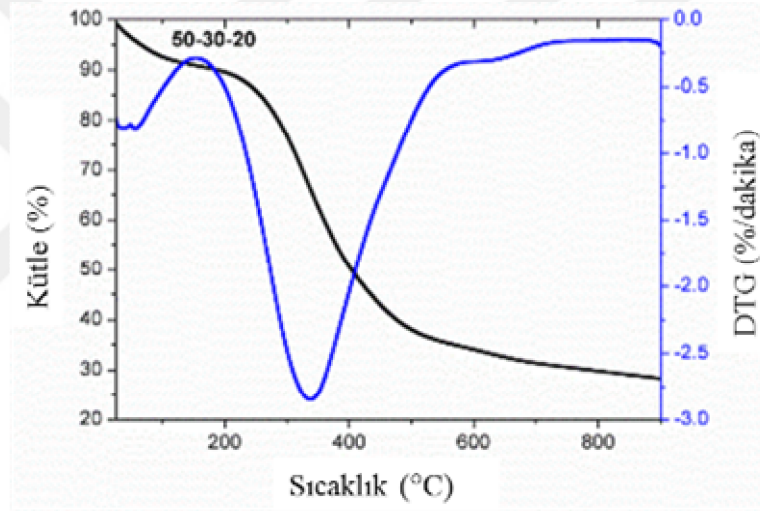
Şekil 4.4. 15-75-10 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri



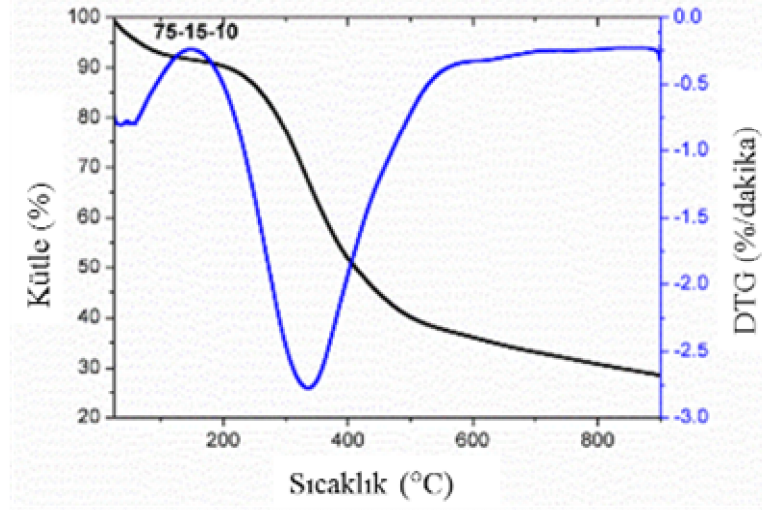
Şekil 4.5. 25-25-50 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri



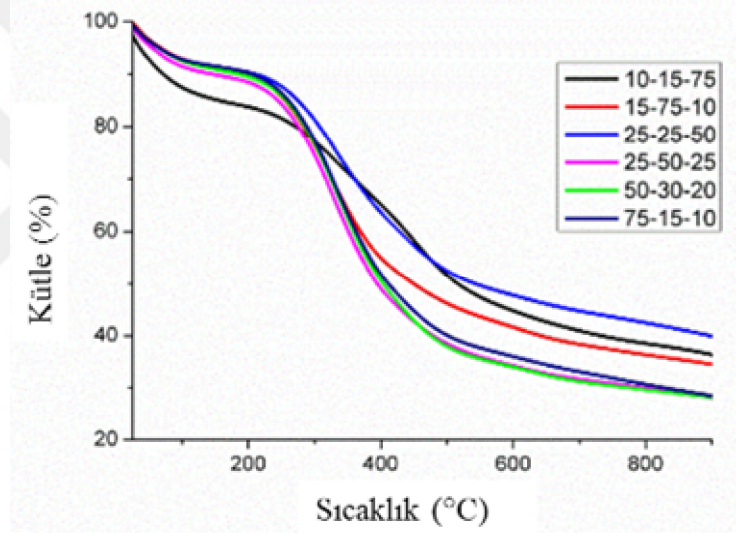
Şekil 4.6. 25-50-25 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri



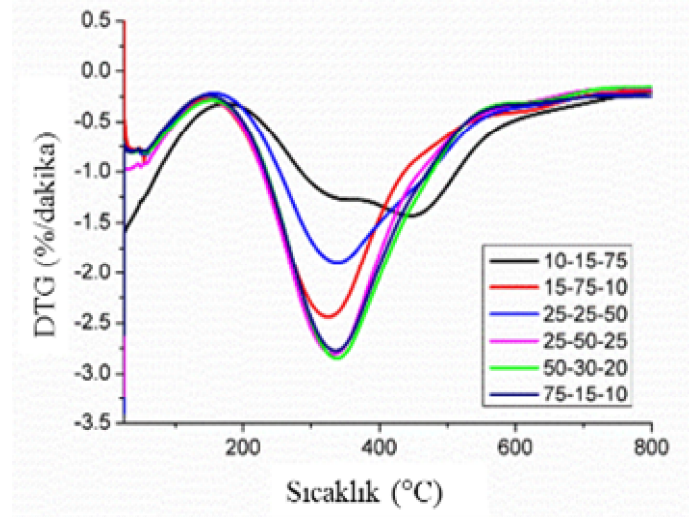
Şekil 4.7. 50-30-20 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri



Şekil 4.8. 75-15-10 peletinin TG ve DTG bozunma eğrileri



Şekil 4.9. Tüm peletlerin TGA eğrileri



Şekil 4.10. Tüm peletlerin DTG eğrileri

Çizelge 4.9 Örneklerin termal bozunma sıcaklıkları

Peletler	T _i (°C)	T _{max} (°C)	T _f (°C)	Maksimum kütle kayıp oranı (%/dak)
10-15-75	184	454	585	-1,43
15-75-10	155	325	567	-2,40
25-25-50	163	338	559	-1,88
25-50-25	153	333	567	-2,80
50-30-20	153	343	572	-2,83
75-15-10	150	335	559	-2,78

5. SONUÇLAR

Gül yağı işlemeden kaynaklanan yağ gülü damıtma atıkları ile linyit kömür tozu ve kızılçam ağaç kabuğu kullanarak pelet yapımı gerçekleştirilmiştir. Peletlerin elek analizleri, fiziksel ve kimyasal analizleri, parçacık yoğunluğu, dayanıklılık direnci, kırılma direnci, sıkıştırma direnci, nem alma direnci ve termogravimetrik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar belirlenmiştir.

- 1- Peletlerin kısa analiz ve elemental analizleri sonuçları ana materyal olarak kullanılan yağ gülü damıtma atıklarının azot içeriğinin ve linyit kömür tozunun kükürt içeriğinin yüksek olmaları peletlerin azot ve kükürt içeriklerinin Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartların üstünde olduğu tespit edilmiştir.
- 2- Peletlerin nem içerikleri Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, peletlerin uçucu madde, kül içeriği ve ısı değerleri literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir.
- 3- Pelet uzunlukları ve çapları, Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.
- 4- Pelet karışımlarında linyit kömür tozu miktarının artması ile pelet parça yoğunlukları artmış olup 871,07 ile 1000,14 kg/m³ arasında değişmiştir. Bu değerler literatür ile uyumludur.
- 5- Peletlerin dayanım dirençleri %92,27-98,94 arasında değişmiştir. Dayanım direnci en az olan pelet, linyit kömür tozu miktarının %75 olduğu 10-15-75 peleti olup Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartların altında kaldığı belirlenmiştir. Diğer peletler, dayanım direnci konusundaki standartlar ile uyum içindedir.
- 6- En düşük kırılma direnci, 10-15-75 karışım oranına sahip pelet materyali olarak belirlenmiştir. En yüksek kırılma direnci 50-30-20 karışım oranlarına sahip pelet için belirlenmiştir.
- 7- Nem alma direnci testi, peletlerin nem alma dirençlerinin kullanılan ana materyale bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Yağ gülü damıtma atığı ve kızılçam ağaç kabuğunun miktar olarak yüksek olduğu karışımlarda denge

nem değeri daha yüksekte oluşurken, linyit kömür tozunun ağırlıklı olduğu karışımlarda denge nem değeri daha düşük seviye gerçekleşmiştir.

- 8- Peletlerin yatay sıkıştırma direnç değerleri literatür verileri ile uyumlu olup 0,29 MPa-1,69 MPa arasında değişmiştir. Sıkıştırma deneyleri sonucunda, pelet sıkıştırma gerilmeleri yağ gülü damıtma atığı miktarının artması ile pelet dayanımının arttığı, kızılçam ağaç kabuğunun bağlayıcı özelliğinin olduğu, linyit kömür tozu miktarının artması ile pelet dayanımının azaldığı belirlenmiştir.
- 9- Termogravimetrik ve diferansiyel termogravimetrik analiz sonuçları linyit kömür tozunun ağırlıklı olduğu peletlerde yanma işleminin daha mutedil gerçekleştiği fakat yağ gülü damıtma atığı ve kızılçam ağaç kabuğunun ağırlıklı olduğu karışımların daha hızlı yandığı belirlenmiştir. Bunun yanında linyit kömür tozu miktarının yüksek olduğu karışımda final bozunma sıcaklığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- 10- Gelecekteki çalışmalar elde edilen peletlerin, kül miktarının azaltılması, final bozunma sıcaklıklarının artırılması, yanma hızının azaltılması ve yanma için yüksek ısı verim elde etmek için hidrotermal karbonizasyon (Hydrothermal carbonization) işlemi üzerinde yoğunlaşmalıdır.
- 11- Peletlerin direncini (kırılma, dayanıklılık ve sıkıştırma) artırmak için, peletleme aşamasında buhar uygulaması, ön ısıtma, vb. işlemleri uygulanmalıdır.
- 12- Gelecekteki çalışmalar, pelet karışımda linyit kömür tozu, yağ gülü damıtma atıkları ve kızılçam ağaç kabuğu miktarları, istenen pelet kalitesi doğrultusunda belirlenmelidir. Bu işlem ancak optimizasyon gerçekleştirilebilir.
- 13- Endüstriyel anlamda bu peletlerin depolama koşullarının fazla nemli olması ekonomik kayıplara neden olacaktır. Bunun yanı sıra peletlerin nem alma kabiliyetinin yüksek olması nemli koşullarda depolanan peletlerin kütlelerinde artışa sebep olacaktır. Bu durum pelet kalitesini olumsuz etkilemekte ve peletin ekonomik değerinin düşmesine neden olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., 2003. Biyokütle Enerjisinin Global Potansiyeli, Biyoenerji Politikaları, Avrupa Birliği ve Türkiye. I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Denizli.
- Acaroğlu, M.,2007. Alternatif Enerji Kaynakları. Nobel Yayın Dağıtım, Nobel Basımevi, 1253, 609 syf, Ankara
- Adapa, P. K., Singh, A. K., Schoenau, G. J. ve Tabil, L. G. 2006. Pelleting characteristics of fractionated alfalfa grinds: hardness models. *Power Handling and Processing*, 18 (5): 1-6
- Al-Widyan MI, Al-Jalil HF. Stress–density relationship and energy requirement of compressed olive cake. *Applied Engineering in Agriculture* 2001;17:749–53.
- Al-Widyan, Tashtoush G, Khdair A., 2002. Briquettes Of Olive Cake As A Potential Source Of Thermal Energy, *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 28/2.
- ASAE S269.4 DEC96. 1998. Cubes, Pellets, and Crumbles—Definitions and Methods for Determining Density, Durability, and Moisture Content.
- Balasubramanian, D. 2000. Physical properties of raw cashew nut. *Journal of Agricultural Engineering Reserach*, 78: 291-297.
- Baley RT, Blankenhorn PR. 1984 Calorific and porosity development in carbonized wood. *Wood Sci* 1984;15:19–28.
- Başçetinçelik A., Ozturk H. H., Ekinci K., Kaya D., Kacira M., Karaca C., 2009a. Strategy development and determination of barriers for thermal energy

and electricity generation from agricultural biomass in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 27(4), 277-294.

Başçetinçelik A., Ozturk H. H., Ekinci K., Kaya D., Kacira M., Karaca C., 2009b. Assessment of the applicability of EU biomass technologies in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 27(4), 295-306.

Başçetinçelik, A., Karaca, C., Öztürk, H.H., Kacira, M., Ekinci, K., 2005 “Agricultural Biomass Potential in Turkey”, Proceedings of the 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & 27th International Conference of CIGR Section IV: The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources in Agriculture, Sep.27-29, 2005, İzmir-TURKEY.

Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Karaca, C., Kacira, M., Ekinci, K., Kaya, D., Baban, A. 2005. First Progress Report of Exploitation of Agricultural Residues in Turkey, LIFE03TCY/TR/000061.

Bozkurt, P.A. 2011. Atık lastik-kömür karışımlarının piroliz ve kritik üstü ekstraksiyonla değerli ürünlere dönüştürülmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya A.B.D.

Bradfield J, Levi MP. Effect of species and wood to bark ratio on pelleting of southern woods. *Forest Products Journal* 1984;34:61–3.

Carone, M. T. Pantaleo, A., Pellerano, A. 2011. Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. *Biomass and Bioenergy*, 35 (2011) 402-410.

Celma, A.R., Cuadros, F., Rodriguez, F.L. 2012. Characterization Of Pellets From Industrial Tomato Residues. *Food And Bioproducts Processing*, 90: 700-706.

- Chandrasekaran, S.R., Hopke, P.K., 2012. Kinetics of switch grass pellet thermal decomposition under inert and oxidizing atmospheres. *Bioresour. Technol.* 125, 52–58.
- Chen PYS, Haygreen JG, Graham MA. An evaluation of wood/coal pellets made in a laboratory pelletizer. *Forest Products Journal* 1989;39:53–8.
- Coşkun, M.B., Yalçın, I. Ve Özarslan, C. 2005. Physical properties of sweet corn seed (*Zea mays saccharata Sturt*). *Journal of Food Engineering*, 74(4): 523-528.
- Fasina OO, Sokhansanj S. 1996. Storage and handling characteristics of alfalfa pellets. *Powder Handling and Processing*;8:361–5.
- Ferrero, F., Lohrer, C., Schmidt, B.M., Noll, M., Malow, M., 2009. A mathematical model to predict the heating up of large scale wood piles. *J. Loss Prev. Process Ind.* 22, 439–448.
- Filbakk, T. Jirjis, R., Nurmi, J. ve Høibø, O. 2011. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets, *Biomass and Bioenergy*, 35 (2011) 3342-3349.
- Garcia-Maraver, A., Popov, V. ve Zamorano, M. 2011. A Review Of European Standards For Pellet Quality. *Renewable Energy*, 36: 3537-3540.
- Gil, M.V., Oulego, P., Casal, M.D., Pevida, C., Pis, J.J., Rubiera, F., 2010. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. *Bioresour. Technol.* 101 (22), 8859–8867.
- Gil, M.V., Oulego, P., Casal, M.D., Pevida, C., Pis, J.J., ve Rubiera, F. 2010. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. *Bioresource Technology*, 101: 8859-8867.

- Gonzalez, J.F., Gonzalez-Garcia C., Ramiro A., Gonzalez J., Sabio E. Ganan J.Rodriguez M. 2004. Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler, *Biomass & Bioenergy*, 27/2, pp. 145-154.
- Hartley, I. D. ve Wood L. J. 2008. Hygroscopic properties of densified softwood pellets, *Biomass and Bioenergy*, 32(1) 90-93.
- Holm, J.K., Henriksen, U.B., Hustad, J.E., ve Sorensen, L.H. 2006. Toward An Understanding Of Controlling Parameters in Softwood And Hardwood Pellet Production. *Energy And Fuel*, 20: 2686-2694.
- Igathinathane, C., Womac, A.R., Sokhansanj, S., Pordesimo, L.O., 2007. Moisture sorption thermodynamic properties of corn stover fractions. *Trans. ASABE* 50, 2151–2160.
- Isparta Tarım İl Müdürlüğü, 2013. 2013 yılı Faaliyet Raporu. www.ispartatarim.gov.tr
- Jiang, L., Liang, J., Yuan, X., Li, H., Li, C., Xiao, Z., Huang, H., Wang, H., Zeng, G.2014. Co-pelletization of sewage sludge and biomass: The density and hardness of pellet. *Bioresource Technology* 166 (2014) 435–443.
- Kaliyan, N., ve Morey, R.V. 2009. Factor affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33: 337-359.
- Karkania, V., Fanara, E., Zabaniotou, A. 2012. Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets’ market in Greece, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 1426– 1436
- Khankari KK, Shrivastava M, Morey RV. 1989. Densification characteristics of rice hulls. ASAE paper no. 89-6093. St. Joseph, MI: ASABE;.

- Khoshtaghaza MH, Sokhansanj S, Gossen BD. 1999 Quality of alfalfa cubes during shipping and storage. *Applied Engineering in Agriculture*;15:671–6.
- Kurtuluş, E., 2004. Yüksek Pirinanın Bir Yakıt Olarak Kullanımı ve Eldesi Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Lam PS, Sokhansanj S, Bi X, Lim CJ, Melin S. 2011 Energy input and quality of pellets made from steam-exploded douglas fir (*Pseudotsuga Menziesii*). *Energy Fuel*; 25:1521–8.
- Lehtikangas P. 2001 Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass Bioenergy*;20(5): 351-360. Elsevier Ltd., Oxford, UK.
- Li, H., Liu, X., Legros, R., Bi, X.T., Jim Lim, C., Sokhansanj, S.2012. Pelletization of torrefied sawdust and properties of torrefied pellets. *Applied Energy* 93 (2012) 680–685.
- Liu, X., Liu, Z., Fei, B., Cai, Z., Jiang, Z., ve Liu, X. 2013 Comparative properties bamboo, rice straw pellets. *Bio Resource*, 8(1): 638-647.
- Liu, Z., Quek, A., ve Balasubramanian, R. 2014. Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass,agro-residues and their corresponding hydrochars. *Applied Energy*, 113: 1315-1322.
- Mani, S., Tabil, L.G., ve Sokhansanj, S. 2003. An Overview Of Compaction Of Biomass Grinds. *Powder Handling And Process*, 15: 160-168.
- Nilsson, D., Bernesson, S., ve Hansson, P.A. 2011. Pellet Production From Agricultural Raw Materials – A Systems Study. *Biomass And Bioenergy*, 35: 679-689.
- Obernberger I, Thek G.,2004. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Journal of Biomass and Bioenergy*.

Oveisi, E. 2011, Durability of wood pellets, MSc dissertation, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.

Özdemir, İ.A., 2001. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Pirinanın Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi ,Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği A.B.D.

Öztürk, H.H. 2012. Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi, Hasad Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, 272 s.

Pietsch W. 2002. Agglomeration processes – phenomena, technologies, equipment. Weinheim: Wiley-VCH;

Poddar, S. Kamruzzaman, M., Sujan, S.M.A., Hossain, M., Jamal, M.S., Gafur, M.A. Khanam, M. 2014. Effect of compression pressure on lignocellulosic biomass pellet to improve fuel properties: Higher heating value. Fuel 131 (2014) 43–48.

Sah P, Singh B, Agrawal U. 1980 Compaction behavior of straw. Journal of Agricultural Engineering – India 1980;18:89–96.

Saraçoğlu, N. 2008. Biyokütleden Enerji Üretiminde Enerji Ormancılığının Önemi. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-21 Aralık 2008, İstanbul.

Shrivastava M, Shrivastava P, Khankari KK. 1989. Densification characteristics of rice husk under cold and hot compression. In: Dodd VA, Grace PM, editors. Agricultural Engineering: proceedings of the 11th international congress on agricultural engineering, Dublin, 4–8 September 1989. Rotterdam: A.A. Balkema Pub; 1989. p. 2441–3.

Sokhansanj, J., ve Turhollow, A.F. 2004. Biomass densification-cubing operations and cost for corn stover. Applied Engineering in Agriculture, 20: 495-499.

Şenpınar A., Gençoğlu M.T., 2006 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının evresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 2006.

Tabil Jr LG. 1996 Binding and pelleting characteristics of alfalfa. Ph.D. dissertation. Saskatoon, Saskatchewan, CA: Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan; 1996.

Tabil, L.G.,ve Sokhansanj, S. 1996. Pocess conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. Applied Engineering in Agriculture, 12: 345-350.

Tabil, L.G.,ve Sokhansanj, S. 1997. Bulk properties of alfalfa grind in relation to its compaction characteristics. Applied Engineering in Agriculture, 13: 499-505.

Theerarattananon, K., Xu, F., Wilson, J., Ballard, R., Mckinney, L., Staggenborg, S., Vadlani, P., Pei, Z.J., ve Wang, D. 2011. Physical Properties Of Pellets Made From Sorghum Stalk, Corn Stover, Wheat Straw, And Big Bluestem. Industrial Crops And Products, 33(2): 325-332.

Tosun, İ., Gönüllü, M.T., Arslankaya, E., 2002, Gülyağı Sanayi Proses Atıkları Özelliklerinin Belirlenmesi, 1.Ulusal evre Sorunları Sempozyumu, Atatürk Üniversitesi, evre Sorunları Araştırma Merkezi Müdürlüğü, 1, 864-873, 16-18 Ekim 2002, Erzurum.

Tumuluru, J. S. 2014. Effect of process variables on the density anddurability of the pellets made from high moisture corn stover. Biosystem Engineering, 119: 44-57.

Ültanır Ö., 1998. 21. Yüzyıla Girerken Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi. TÜSİAD-T/98-12/239, s. 142-146, 1998, İstanbul ve Beklentiler. Biyoenerji 2004 Sempozyumu, 20-22 Ekim 2004, Ege Ü., İzmir.

Vinterback J. Pellets 2002: the first world conference on pellets. Biomass Bioenergy 2004;27(6):513e20. Elsevier Ltd., Oxford, UK.

Waelti H, Dobie JB. 1973 Cubability of rice straw as affected by various binders. Transactions of the ASAE 1973;16:380–3.

Wang, C., Wang, F., Yang, Q. ve Liang, R. 2009. Thermogravimetric studies of the behavior of wheat straw with added coal during combustion. Biomass And Bioenergy 33(2009)50–56.

Yılmaz H. 2014. Bazı Tarımsal Artıkların Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği A.B.D., 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Orhan Alp ATAY

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1988

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : aorhanatay@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Eğirdir Anadolu Lisesi, 2006

Lisans : UÜ, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümü

Mesleki Deneyim

UÜ, Ziraat Fakültesi

2007-2012