

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI TARIMSAL ARTIKLAR KULLANILARAK HAZIRLANAN
KARIŞIM PELETLERİNDE KENEVİR SAPI KULLANIMININ
PELET KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TOLGA AYDEMİR

Danışman: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

TEKİRDAĞ - 2017

Prof. Dr. Türkan AKTAŞ danışmanlığında, Tolga AYDEMİR tarafından hazırlanan “FARKLI TARIMSAL ARTIKLAR KULLANILARAK HAZIRLANAN KARIŞIM PELETLERİNDE KENEVİR SAPI KULLANIMININ PELET KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri başkanı : Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU *İmza :*

Üye (Danışman) : Prof. Dr. Türkan AKTAŞ *İmza :*

Üye : Prof. Dr. Sarp Korkut SÜMER *İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI TARIMSAL ARTIKLAR KULLANILARAK HAZIRLANAN KARIŞIM PELETLERİNDE KENEVİR SAPI KULLANIMININ PELET KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Tolga AYDEMİR

Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

Bu çalışmada, tarımsal üretim sonucu yan ürün olarak çıkan kenevir sapı, fındık zurufu ve çeltik kavuzunun; hem tek başına hem de kenevir sapının diğer materyaller ile farklı karışım (karışım 1: %30, karışım 2: %50, karışım 3: %70) oranlarında peletlenmesi gerçekleştirilmiştir. Materyallerin peletlenmesi için 3 kW elektrik motor gücüne sahip, 50-100 kg/h kapasiteli, kalıp delik çıkış çapı 6 mm olan düz kalıp pres pelet makinesi kullanılmıştır. Denemelerde 3 farklı nem içeriğine sahip kurutulmuş öğütülmüş kenevir sapı, fındık zurufu, çeltik kavuzu ve bunların birbirleriyle karışımları olmak üzere 9 farklı materyalden 6-8 kg arasında peletler yapılmıştır. Peletlerin kalite özelliklerini karşılaştırmak için; fiziksel özellikleri (pelet hacim yoğunluğu, pelet parça yoğunluğu, dayanıklılık direnci, sıkıştırma direnci, kırılma direnci, nem alma direnci) ve kimyasal özellikleri (nem içeriği, ısı değeri, kül içeriği, baca gazı emisyon değerleri (O₂, CO₂, CO, SO₂ ve NO₂)) belirlenmiş ve ayrıca elementel analizleri yapılmıştır. Test öncesi bütün peletler hava almayacak kapalı kaplarda oda şartlarında saklanmıştır. Materyal çeşidine ve ham maddenin nem içeriğine bağlı olarak ortalama 6,04 – 6,09 mm çap aralığında silindirik peletler elde edilmiştir. Peletlerin hacim ve parça yoğunlukları sırası ile 511,9 -730,5 kg/m³ ve 1137,4-1331,9 kg/m³ arasında değişmiş ve nem içeriği arttıkça yoğunluk değerleri azalmıştır. Fiziksel testleri sonunda peletlerin oldukça sağlam yapıya sahip oldukları görülmüş ve en yüksek değerler sade fındık zurufu ve karışım 1, en düşük değerler ise kenevir sapının peletlerinde elde edilmiştir. Peletlerin kimyasal test sonuçları incelendiğinde ısı değeri ve kül içerikleri bakımından en iyi değerler kenevir sapı peletlerinde (4455,3 cal/g - % 1,01) en düşük değerleri ise çeltik kavuzu peletlerinde (3810,3 cal/g – %16,15) elde edilmiştir. Genel olarak materyallerin elementel analiz sonuçları

incelendiğinde sade ve karışım peletlerine bağı olarak karbon yüzdesinin %38-%55 (kuru ağırlık bazında) arasında, hidrojen yüzdesinin %5-%6,5 aralığında ve oksijen yüzdesinin ise %32-%35,5 aralığında değiştiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, kenevir sapı, tarımsal atıklar, pelet, fiziksel ve kimyasal özellikler

2017, 79 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECT OF USING HEMP STALK ON THE PELLET QUALITY CHARACTERISTICS IN MIXED PELLETS PREPARED USING DIFFERENT AGRICULTURAL WASTES

Tolga AYDEMİR

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

In this study, hemp stalk, hazelnut husk and rice husk generated from agricultural fields were used directly in neat form and also mixes of hemp stalk with other materials in different ratios (mix 1: 30 % hemp, mix 2: 50 % hemp and mix 3: 70 %) to perform the pellet. Plain form press pellet machine with 3 kW electric motor power, 6 mm die diameter and 50-100 kg/h capacity was used for pelleting of materials. Dried hemp stalk, hazelnut husk, rice husk and mixes of these materials having different moisture content were used in the experiment and 6-8 kg of pellets were obtained from 9 different materials. Physical properties such as pellet bulk density, pellet particle density, durability resistance, compressive resistance, shatter resistance, moisture sorption resistance and chemical properties such as moisture content, calorific value, ash content, exhaust gas emissions (O₂, CO₂, CO, SO₂ and NO₂) were determined to compare pellet quality characteristics and also elemental analysis of pellets were performed. In addition, all pellets were kept in hermetically sealed vessels under room conditions before test. At the end of the study, cylindrical pellets were produced with a diameter range 6,04 – 6,09 mm depending on material type and moisture content of raw material. The bulk density and particle density of pellets were between 511,9 -730,5 kg/m³ and 1137,4-1331,9 kg/m³ depending on material type and moisture content, respectively, and pellet densities were decreased with increasing moisture content. The result of physical tests showed that the produced pellets were quite strong structure and the highest values were obtained in unmixed hazelnut husk and mix 1 pellets,

the lowest values were obtained in hemp stalk pellets. When chemical test results of pellets were examined, the best results in terms of calorific value and ash contents were obtained in hems stalk pellets (4455,3 cal/g - 1,01 %) the lowest results were obtained in rice husk stalk pellets (3810,3 cal/g –16,15 %). According to elementel analysis results of unmixed and mixed pellets, generally carbon, hydrogen and oxygen contents (dry matter basis) varied between 38-55%, 5-6,5% and 32-35,5%, respectively.

Keywords: Biomass, hemp stalk, agricultural wastes, pellet, physical and chemical properties

2017, 79 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL DİZİNİ	viii
ÇİZELGE DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xi
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMASI	5
2.1. Biyokütle Oluşumu ve Kaynakları.....	5
2.2. Türkiye’de Biyokütle ve Tarımsal Atık Potansiyeli.....	7
2.3. Dünya Biyokütle Potansiyeli.....	10
2.4. Biyokütlenin Peletlenmesi.....	15
2.5. Peletleme Teknolojisi.....	16
2.6. Kaynak Taraması.....	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM	29
3.1. Materyal.....	29
3.2. Yöntem.....	35
3.2.1. Materyalin peletlenmeye pazırlanması ve peletlenmesi.....	35
3.2.2. Hammadde analizleri.....	37
3.2.2.1. Hammadde nem içeriği ve kuru madde miktarı.....	37
3.2.2.2. Hammadde hacim yoğunluğu.....	38
3.2.3. Peletlerin Fiziksel Özellikleri ve Testler.....	38
3.2.3.1. Pelet parça yoğunluğu.....	39
3.2.3.2. Pelet hacim yoğunluğu.....	40
3.2.3.3. Pelet dayanıklılık oranı.....	40
3.2.3.4. Pelet sıkıştırma direnci.....	41
3.2.3.5. Pelet kırılma direnci.....	41

3.2.3.6. Pelet nem alma oranı	42
3.2.4. Peletlerin Kimyasal Özellikleri ve Testler	42
3.2.4.1. Pelet ısı değeri	42
3.2.4.2. Pelet kül içeriği	43
3.2.4.3. Pelet nem içeriği	44
3.2.4.4. Pelet baca gazı emisyon değerleri.....	44
3.2.4.5. Pelet elemental analiz değerleri	45
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	46
4.1. Hammadde Özellikleri	46
4.1.1. Hammadde nem içeriği, kuru madde miktarı ve hacim yoğunlukları.....	46
4.2. Pelet Fiziksel Özellikleri	47
4.2.1. Pelet parça ve hacim yoğunluğu.....	47
4.2.2. Pelet dayanıklılık ve kırılma oranı	48
4.2.3. Pelet sıkıştırma direnci ve nem alma oranı.....	54
4.3. Pelet Kimyasal Özellikleri.....	57
4.3.1. Pelet nem içeriği, ısı değeri ve kül içeriği	57
4.3.2. Pelet baca gazı emisyonları değerleri.....	58
4.3.2. Pelet elemental analiz değerleri.....	60
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	62
5.1. Sonuçlar	62
5.2. Öneriler	65
6. KAYNAKLAR	66
EKLER	70
EK A. Pelet sıkıştırma testi grafikleri	70
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Biyokütle enerji çevrimi.....	6
Şekil 2.2. Türkiye atık potansiyeli.....	7
Şekil 2.3. Üretilen odun peleti miktarı ve ülkelere göre dağılımı	12
Şekil 2.4. Üretilen odun peleti miktarı ve ülkelere göre büyüme oranı.....	12
Şekil 2.5. Avrupa'da ağaç pelet ithal edilen ve ihraç edilen ilk 10 ülke sıralaması.....	13
Şekil 2.6. 2014-2015 yılı üretilen odun peleti miktarı ve ülkelere göre büyüme oranı.....	14
Şekil 2.7. Pelet çeşitleri ve üretilen ürünlerin görünümü.	14
Şekil 2.8. Pelet oluşumu türleri (a)düz kalıplı ve (b) çember kalıplı görünümü	15
Şekil 2.9. Pelet yakıtı fabrika üretim şeması.	18
Şekil 2.10. Pelet sobası şeması.	19
Şekil 3.1. Kenevir sapı (a) fındık zurufu (b) çeltik kavuzu (c) görünümü	28
Şekil 3.2. Çekiçli değirmen genel görünüşü ve öğütme ünitesi	28
Şekil 3.3. Pelet makinasının görünümü	29
Şekil 3.4. Kurutma fırını (Etüv) görünümü	29
Şekil 3.5. Kül fırını görünümü	30
Şekil 3.6. Elemental analiz cihazı görünümü	30
Şekil 3.7. Kalorimetre cihazı ve oksijen dolun cihazının görünümü	31
Şekil 3.8. Dayanıklılık test cihazı ve kafes görünümü	31
Şekil 3.9. Baca gazı test analiz cihazı ve pelet sobası görünümü.....	32
Şekil 3.10. Sıkıştırma test analiz cihazı görünümü	32
Şekil 3.11. İklimlendirme test kabini görünümü	33
Şekil 3.12. Teraziler ve kumpas görünümleri	33
Şekil 3.13. Öğütülmüş kenevir sapı (a), fındık zurufu (b) ve çeltik kavuzu (c).....	34
Şekil 3.14. Kenevir sapı (a), fındık zurufu (b) ve çeltik kavuzu (c) peletlerinin görünümü.....	35
Şekil 3.15. Karışım 1 (a) karışım 2 (b) karışım 3 (c) peletlerinin görünümü	35
Şekil 3.16. Karışım 4 (a) karışım 5 (b) karışım 6 (c) peletlerinin görünümü	36
Şekil 3.17. Hammadde yığın yoğunluğunun belirlenmesi	37
Şekil 3.18. Pelet parça yoğunluğunun belirlenmesi	38
Şekil 3.19. Pelet hacim yoğunluğunun belirlenmesi	39

Şekil 3.20. Dayanıklılık oranı testi sonrası görünümü	40
Şekil 3.21. Pelet sıkıştırma testi belirlenmesi.....	40
Şekil 3.22. Baca gazı ölçüm cihazı algılayıcısının yerleştirilmesinin görünümü.....	43
Şekil 3.22. Baca gazı ölçüm cihazı algılayıcısının yerleştirilmesinin görünümü.....	44
Şekil 4.1. Kenevir sapı peleti kırılma testi öncesi(a)ve test sonrası (b) görüntüleri	49
Şekil 4.2. Fındık zurufu peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri	49
Şekil 4.3. Çeltik kavuzu peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri	49
Şekil 4.4. Karışım 1 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri.....	50
Şekil 4.5. Karışım 2 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri.....	50
Şekil 4.6. Karışım 3 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri.....	51
Şekil 4.7. Karışım 4 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri.....	51
Şekil 4.8. Karışım 5 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri.....	52
Şekil 4.9. Karışım 6 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri.....	52
Şekil 4.10. Kenevir (a), fındık (b), çeltik (c) peleti sıkıştırma direnci testi sonrası görüntüleri.	54
Şekil 4.11. Karışım 1 (a), karışım 2 (b), karışım 3 (c) peleti sıkıştırma direnci testi sonrası görüntüleri	55
Şekil 4.12. Karışım 4 (a), karışım 5 (b), karışım 6 (c) peleti sıkıştırma direnci testi sonrası görüntüleri	55
Şekil 4.13. Nem ve kül içeriği sonuçları	56
Şekil 4.14. Isıl değer sonuçları	57
Şekil 4.15. Elementel analiz sonuçları (C (%), H (%), O (%))	59
Şekil 4.16. H/C ve O/C molar oranları	60
Şekil A.1. Kenevir sapı peleti sıkıştırma test grafiği.....	70
Şekil A.2. Fındık zuruf peleti sıkıştırma test grafiği	71
Şekil A.3. Çeltik kavuzu peleti sıkıştırma test grafiği.....	72
Şekil A.4. Karışım 1 (K30F70) peleti sıkıştırma test grafiği.....	73
Şekil A.5. Karışım 2 (K50F50) peleti sıkıştırma test grafiği.....	74
Şekil A.6. Karışım 3 (K70F30) peleti sıkıştırma test grafiği.....	75
Şekil A.7. Karışım 4 (K30Ç70) peleti sıkıştırma test grafiği	76
Şekil A.8. Karışım 5 (K50F50) peleti sıkıştırma test grafiği.....	77
Şekil A.9. Karışım 6 (K70F30) peleti sıkıştırma test grafiği.....	78

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Türkiye’deki toplam tarla ürünleri üretimi ve atık miktarları	8
Çizelge 2.2. Türkiye’deki toplam bahçe bitkileri üretimi ve atık miktarları.....	9
Çizelge 2.3. Bazı önemli tarımsal atıkların ısııl değerleri ve kül içerikleri	16
Çizelge 2.4. EN 14914-2 Pelet yakıtı özellikleri ve sınıfları.....	20
Çizelge 2.5. Peletlerin fiziksel ve kimyasal parametreleri ile üretim ve yakma üzerine etkileri	21
Çizelge 3.1. Karışım peletlerinin isimlendirilmesi.....	35
Çizelge 4.1. Hammaddelerin nem içerikleri, kuru madde içerikleri ve yığın yoğunlukları sonuçları	45
Çizelge 4.2. Peletlerin hacim ve parça yoğunluk, çap, uzunluk ve ağırlık değerleri ile varyans analizi sonuçları.....	46
Çizelge 4.3. Peletlerin dayanıklılık ve kırılma direnci değerleri ve varyans analizi sonuçları.....	47
Çizelge 4.4. Peletlerin sıkıştırma direnci ve nem alma direnci değerleri ve varyans analizi sonuçları	53
Çizelge 4.5. Peletlerin nem içeriği, ısııl değeri ve kül içeriği ile varyans analiz sonuçları..	56
Çizelge 4.6. Peletlerin baca gazı emisyon değerleri ve varyans analiz sonuçları	58
Çizelge 4.7. IKHKKY ve odun baca gazı emisyon değerleri.....	58
Çizelge 4.8. Peletlerin elemental analiz sonuçları	59

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

D_d	: Dayanıklılık direnci (%)
d	: Pelet çapı (m)
F	: Maksimum kırılma kuvveti (N)
k.b.	: Kuru baz
l	: Pelet uzunluğu (m)
M	: Pelet nem içeriği (% y.b)
m_1	: Boş kabın ağırlığı (kg)
m_2	: Pelet dolu kabın ağırlığı (kg)
M_f	: Materyalin son durumdaki nem içeriği (%)
M_i	: Materyalin ilk durumdaki nem içeriği (%)
m_a	: Test sonrası elenmiş pelet ağırlığı (g)
m_e	: Test öncesi elenmiş pelet ağırlığı (g)
m_f	: Pelet örneklerinin son ağırlıkları (g)
m_i	: Pelet örneklerinin ilk ağırlıkları (g)
m_u	: Tek pelet ağırlığı (kg)
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)
P_a	: Pelet örneklerinin nem alması (%)
V	: Kabın net hacmi (m^3)
V_u	: Tek pelet hacmi (m^3)
W_i	: Materyalin ilk ağırlığı (g)
y.b.	: Yaş baz
P_{hy}	: Pelet hacim yoğunluğu (kg/m^3)
P_u	: Pelet parça yoğunluğu (kg/m^3)

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Btep	: Bin ton eşdeğer petrol
cal	: Kalori
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DEK-TMK	: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
H	: Hidrojen
ha	: Hektar
Kcal	: Kilokalori
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
Mt	: Milyon ton
Mtep	: Milyon ton eşdeğer petrol
MW	: Megawatt
MJ	: Megajoule
NO ₂	: Azot dioksit
PJ	: Pikojoule
SO ₂	: Kükürt dioksit
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ÖNSÖZ

Günümüzde enerji ihtiyacı geçmiş yıllara oranla artmış, ilerleyen dönemlerde nüfus artışı ve gelişmekte olan ülkelerin sanayileşme politikaları nedeniyle artmaya devam edecektir. Artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla, sanayi devriminden bu yana sınırsız gibi görülen fakat yakın gelecekte tükeneceği bildirilen fosil yakıt rezervlerinin gün geçtikçe tedarik süreci zorlaşmakta, arz talep piyasası nedeniyle fiyatı artmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkeler bu durumun farkına varmış olup sürdürülebilir bir enerji döngüsü için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle enerjisi tarımsal artıklardan da elde edilmekte olup ülkemiz bu konuda ciddi kaynaklara sahiptir. Ülkemizde, her yıl üretilen tarımsal ürünlerin atık miktarı ve enerji değerleri ele alındığında, büyük oranda dışa bağımlı olduğumuz enerji ihtiyacımızın azımsanamayacak ölçüde bir bölümünü karşılayacaktır. Son yıllarda tarımsal artıkların pelet ve briket olarak evsel ısıtma, elektrik ve ısı üretimi gibi alanlarda kullanımının yaygınlaşması ile biyokütle enerjisinin farkına varılması ve etkin kullanımı açısından önem arz etmektedir. Saf olarak tek bir üründen pelet üretiminin yanı sıra, ülkemizde yetiştirilen ve mevcut farklı tarımsal ve ormancılık ürünleri artıklarından farklı oranlarda kullanılarak bir fosil yakıt ve/veya yapıştırıcı katkı olmadan gerçekleştirilebilecek pelet yakıtı üretiminde yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen sayın danışmanım Prof. Dr. Türkan AKTAŞ'a, Biyosistem Mühendisliği Bölümü hocalarıma, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarımı Bölümü hocalarıma ve eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yapılan çalışmanın ülkemizin mevcut biyokütle enerji potansiyelinin farkındalığının artması ve kullanımının yaygınlaştırılmasına katkısı olmasını dilerim.

Eylül, 2017

Tolga AYDEMİR

Biyosistem Mühendisi

1. GİRİŞ

Son yıllarda hızlı sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi etkenler enerji tüketimini artırırken, enerji kaynaklarının hızla tükenmesine yol açmıştır. Dünyada enerji tüketim miktarı son 100 yılda yaklaşık olarak 17 kat artmıştır. Bütün bunların sonucu olarak, enerji açığını karşılamak için dünyada biyokütle çalışmalarına büyük hız verilmiştir. Büyük potansiyelinin yanı sıra biyokütlenin ekonomik ve çevresel açıdan olumlu özellikleri de göz önüne alındığında, biyoenerji konusuna ilgi giderek artmaktadır. Biyokütle, dünyada dördüncü en büyük enerji kaynağını oluşturması yönüyle önemli bir enerji kaynağı konumundadır. Birçok gelişmiş ülke biyoenerjiyi geleceğin temel enerji kaynağı olarak görmektedir (Anonim 2017a).

Günümüzde enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenemeyen (fosil) ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Üretim, taşıma ve depolama maliyetlerinin ucuz ve kolay olması nedeniyle fosil yakıt (petrol, kömür ve doğal gaz) kullanımı oldukça yaygındır. Bu fosil yakıtların en büyük dezavantajı kullanımları sonucu ortaya çıkan büyük miktarlardaki SO₂ ve NO_x bileşiklerinin asit yağmurlarına dönüşerek çevreye verdikleri zararlar ve CO₂ salınımından kaynaklanan küresel ısınmadır. Her yıl ortalama olarak 20 milyon metreküp CO₂ atmosfere salınmaktadır. Son yıllarda fosil yakıt tüketimindeki aşırı artışın neticesinde ortaya çıkan küresel ısınmanın olumsuz etkilerini bütün dünya yaşamaktadır. Ayrıca, fosil kaynakların oluşumu milyonlarca yıl aldığı için oluşum zamanı ile tüketim zamanı arasındaki farkın tüketim lehinde çok büyük olması rezervlerin hızla tükenmesine neden olmaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler bilinen kömür rezervlerinin yaklaşık 240 yıl, petrolün 40 yıl, doğal gazın ise 58 yıl içinde tükeneceğini ortaya koymaktadır. Fosil kaynaklarının ve elde edilen yakıtların bu olumsuz durumu karşısında alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve kullanılması ile ilgili araştırmalar son yıllarda hızlanmıştır. Bunlardan biri biyokütledir ve özellikle enerji amaçlı kullanılmak üzere biyokütle büyük bir potansiyele sahiptir. Biyokütlenin en büyük avantajlarından biri her yerde yetişmesi ve tükenmez olmasıdır. Biyokütle, diğer enerji kaynakları gibi sera etkisi ve çevre kirliliği yaratmadığı için çevreye zararsız, yenilenebilir tek enerji kaynağıdır.

Ülkemizde üreticiler ve fabrikalar için sorun teşkil eden tarımsal atıklar, biyokütle enerjisinde kullanılacak materyal kaynaklarıdır. Tarımsal ürünlerden arta kalanlar küçümsenmeyecek miktardadır ve düzenli bir şekilde toplanmaları ya da değerlendirilmeleri

yapılamamaktadır. Ülkemizde her yıl yaklaşık olarak 60 milyon ton atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar ülkemizde ya anız olarak değerlendirilmekte ya da çöp alanlarına atılarak bertaraf edilmektedir. Bunların değerlendirilmesini sınırlayan başlıca etmen düşük hacim yoğunluğu ve düzensiz şekillerinden dolayı taşıma ve depolama maliyetinin yüksek olmasıdır. Tarımsal artıklar sıkıştırılarak ve yüksek yoğunluğa çevrilerek bu sınırlayıcı etmenin üstesinden gelmek mümkün olabilecektir.

Yakın bir geçmişe kadar az gelişmiş ülkelerin enerji tüketiminde büyük paya sahip olan ve genellikle doğrudan yakma sonucu elde edilen biyokütle enerjisi, günümüzde modern teknoloji kullanılarak üretilen, gelişmiş ülkelerin enerji portföyünde yer bulan ve ciddi politikalarla yaygınlaştırılmaya çalışılan, çevre dostu, stratejik bir enerji kaynağıdır (DEK-TMK 2013).

1.1. Çalışmanın Amacı

Türkiye’de tarım sektöründe birçok tarımsal ürüne ait artıklar, hasat sonrasında tarlalarda ya çürümeye bırakılmakta ya da yakılmaktadır. Bu artıkların tarlada yakılması hem toprakta bulunan faydalı mikroorganizma ve hayvanların yok olmasına hem de toprağın üst tabakasını yakarak bazı kimyasal değişimlere de sebebiyet vermektedir. Bu etki hem çevre kirliliğine hem de enerji kaynağı olan biyokütle ham maddesinin yok olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu tür biyokütle artıklarının enerji amacı ile değerlendirilip ülke ekonomisine kazandırılması ve tarlada dağınık halde bulunan ve büyük hacim kaplayan tarımsal artıkların peletleme ve briketleme gibi enerji yoğunluğunu artıracak işlemler ile katı yakıtlara dönüştürülmesi gerekmektedir.

Tarımsal artıklar düşük yoğunluğa ve yüksek nem içeriğine sahip olduklarından enerji eldesi için doğrudan yakılmaları etkin olmamakta ve atmosfere çok büyük miktarlarda kirlenici emisyon ve partikül madde salınmaktadır. Ayrıca, bu artıkların taşınmasında ve depolamasında sorunlar ortaya çıkmakta, nakliye ve taşıma maliyetleri artmaktadır. Bu nedenle bu tür tarımsal artıkların enerji kaynağı olarak katı yakıt formunda etkin bir biçimde değerlendirilmesi yollarından birisi de onların kurutulup öğütüldükten sonra peletlenmesidir. Materyallerin peletlenmesi ile materyal yoğunluğu artmakta, kaliteli, ucuz, çevre dostu ve yenilenebilir bir enerji kaynağı elde edilmekte, nakliye ve depolama masrafları azalmaktadır.

Türkiye’de yaygın olarak tarımsal üretimi yapılan fındık ve çeltik alanlarından her yıl büyük miktarlarda tarımsal artık çıkmaktadır. Türkiye’de fındık ve çeltik bitkisi üretim alanları ve bu alanlardan çıkan tarımsal artık miktarları oldukça fazladır.

Türkiye topraklarının 99 bin hektarında çeltik yetiştirilmektedir. Türkiye’ de üretilen pirinç miktarı yılda yaklaşık 696 bin ton olup başlıca çeltik üretim alanları Marmara ve Karadeniz bölgeleridir. Çeltiğin hasat edilmesiyle çeltik sapları ve işlenmesi ile atık madde olarak kavuz ortaya çıkmaktadır ki çeltikteki tarımsal atık miktar yaklaşık 139.000 ton olup Marmara Bölgesi 96000 ton atık ile ilk sırada yer almaktadır. Günümüzde kullanım alanı çok dar olan çeltik sap ve kavuzlarının biyokütle olarak işlenmesi ile bu artıklardan kaynaklanan çevre kirliliği büyük ölçüde önlenmiş olacaktır (Gizlenci ve ark. 2016).

Yine ülkemizde büyük çoğunluğu Karadeniz Bölgesi’nde yetiştirilen fındık ülke ekonomimizde önemli bir yere sahip olup 3.374.000 hektar alanda 661000 ton fındık üretimi gerçekleştirilmektedir. Fındık tanesinin kavuzdan ayrılması ile geriye kalan kısmına fındık zurufu denilmekte olup toplam atık miktarı 297.000 tona tekabül etmektedir (Gizlenci ve ark. 2016).

Kenevir, dünyaca tanınmış lif ve yağ bitkisidir. Ülkemizde kendir ve çetene olarak adlandırılmaktadır. Kenevir lifi bitkilerin saplarından, yağı da tohumlarından elde edilmektedir. Kenevir bitkisinin lifi ve tohumu çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Lifi çıkarıldıktan sonra geriye kalan sapları yakacak maddesi olarak kullanılabilir. Özellikle yakıt sorunu olan bölgeler için önemli bir yakıt kaynağı durumundadır. Ülkemizde kenevir üretimi her geçen gün azalmaktadır. 1988 yılında 1200 ton olan kenevir tohumu üretimi, 2015 yılında 1 tona düşmüştür (Anonim 2016). Yine TÜİK verilerine göre ekim alanı sadece 10 dekara düşmüştür. Bir dekardan ortalama 1200–1600 kg sap elde edilmektedir. Üretimi ile ilgili hususlar 21.10.1990 tarih ve 20672 sayılı resmi gazetede yayınlanan yönetmelik hükümlerine göre yapılmaktadır. Bu yönetmeliğe göre ülkemizde 20 il için, kontrol altında yapılmak kaydı ile kenevir üretimine izin verilmiştir. Üretimine izin verilen illerde kenevir ekim alanlarının artması, tohum ve lif üretiminin yanı sıra, sap miktarının da artması anlamına gelecek ve son derece kaliteli bir biyokütle kaynağı kazanılmış olacaktır.

Tarımsal artıkların ve tarımsal ürünleri işleyen fabrikaların atıklarının gerek sade olarak ve gerekse yakıt özelliklerinin iyileştirebilmek amacıyla farklı oranlarda karışım şeklinde pelet haline getirilmesi; kömür yerine kullanılabilir kaliteli bir yakıt ortaya koyulabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, yukarıda üretim miktarları hakkında bilgi verilmiş olan ürünlerden elde edilmiş olan artıklar olarak; kurutulup öğütülmüş kenevir sapı, fındık zurufu ve çeltik kavuzu olmak üzere üç farklı biyokütlenin saf olarak ve kenevir sapının diğer materyaller ile %30’a %70, %50’e %50, %70’e %30 oranlarında karıştırılmasıyla 6 farklı (3 farklı oran fındık

zurufu ile ve 3 farklı oran eltik kavuzu ile) karışım hazırlanmıştır. Saf biyoküteller ve karışımlar 3 kW motor gücüne sahip, kapasitesi 50-100 kg/h olan, düz kalıp dairesel sıralı delikli, kalıp delik çapı 6 mm olan peletleme makinası kullanılarak peletlenmesi amaçlanmıştır. Geçmişte ekimi ve hasadı yapılan kenevir bitkisinin tohum ve lif kısmı alındıktan sonra geride kalan sap kısmının biyokütle kaynağı olarak saf olarak veya farklı ürünlerle karıştırılarak peletlenmesi ile katı yakıtlara dönüştürülmesinin, yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini nasıl etkilediğı; standartlara uygun olarak yakıt kalite özellikleri açısından peletlerin göstermesi gereken fiziksel ve kimyasal özellikleri, analizler yoluyla bulunarak belirlenmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMASI

2.1. Biyokütle Oluşumu ve Kaynakları

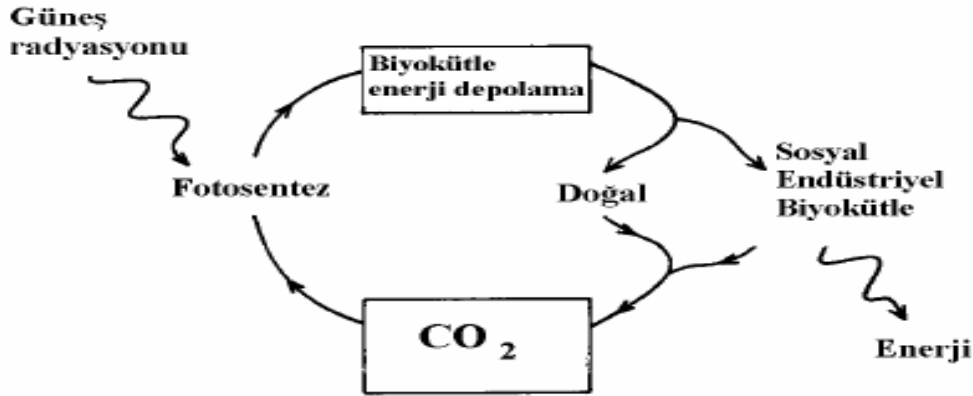
Biyokütle terimi, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip oldukları toplam kütle miktarı olarak tanımlanabilir. Orman alanlarında yer alan ağaç ve ağaçcıkların kök, gövde ve dal odunu ile birlikte odunsu olmayan kabuk ve yapraklarından oluşan bütüne orman biyokütlesi adı verilmektedir. Böylece biyokütle, ormanın ölçülen zamandaki kapasitesini ifade etmektedir.

Dünya üzerinde yer alan biyokütlenin yaklaşık %90'ının ormanlardaki gövdeler, dallar, yapraklar ve döküntü maddeleri ile yaşayan hayvanlar ve mikroorganizmalardan oluştuğu ve dünya ormanlarının yıllık net biyolojik üretiminin yaklaşık 50×10^{19} ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu üretim miktarı; ziraat alanları, çayırliklar, otlaklar, stepler, tundralar ve geri kalan vejetasyon formlarında fotosentez ile oluşan bütün birincil biyokütle miktarlarından daha fazladır (Saraçoğlu 2006).

Biyokütleden elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi denilmektedir. Biyokütle enerjisini klasik ve modern anlamda olmak üzere iki grupta ele almak mümkündür. Birincisi; konvansiyonel ormanlardan elde edilen yakacak odun ve yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan atıklarından (tezek gibi) oluşur. İkincisi yani modern biyokütle enerjisi ise; enerji ormancılığı ve orman-ağaç endüstrisi atıkları, tarım kesimindeki bitkisel atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır. Günümüzde enerji tarımı olarak tanımlanan bir tarım türü oluşmuştur. Bu tarım türünde C4 adı verilen bitkiler (şeker kamışı, mısır, tatlı darı vb.) yetiştirilmektedir. Bu bitkiler suyu ve karbondioksiti verimli kullanan, kuraklığa dayanıklı verimi yüksek bitkilerdir (Anonim 2017b).

Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak özellikle selüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılan biyokütle enerjinin kaynağı güneştir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi canlı organizmaların fotosentez sonucu oluşması ve bütün yaşamın güneş enerjisinin depo edildiği oksijene bağlı olması yenilenebilir enerji oluşturan fotosentez olayının önemini açıkça göstermektedir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilmektedir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO₂ salınımı açısından korunmuş olur. Temel olarak güneş enerjisinin kullanıldığı ve bu enerjinin havadaki karbondioksit ile suyu, karbonhidrat,

lignin ve glikoz gibi çeşitli karbon bileşikleri ile oksijene dönüştürdüğü fotosentez işlemi, birçok basamaktan oluşmaktadır (Anonim 2017c).



Şekil 2.1. Biyokütle enerji çevrimi (Tırıs 2014).

Güneşin dünyaya verdiği enerjinin yaklaşık $1,5 \times 10^{18}$ kWh/yıl olduğu ve bu değerinde dünyada tüketilen toplam enerjiden 10.000 kat büyük olduğu bilinmektedir. Dünya yüzeyine gelen bu enerjinin yaklaşık %0,1'i fotosentez yoluyla biyokütleyle dönüştürülerek depolanmaktadır. Bu ise yaklaşık olarak dünyada kullanılan toplam enerjiden 10 kat fazladır. Fotosentez sonucu oluşan biyokütlenin enerjisi hakkında fikir verebilmek için bunun 100.000 büyük nükleer güç istasyonunun verdiği güce (9×10^7 MW) eşit olduğunu söylemek yeterli olacaktır. Fotosentez ile üretilen organik madde esas olarak karbonhidrattır. Eğer bu kuru madde oksijenle yakılırsa açığa çıkan ısı, yaklaşık 16 MJ/kg'dır. Biyokütleden ikincil yakıtlar elde edildiğindeki ısı değerleri ise, örneğin, etanol için 30 MJ/kg ve biyogaz için 20 MJ/kg olmaktadır (Anonim 2017c).

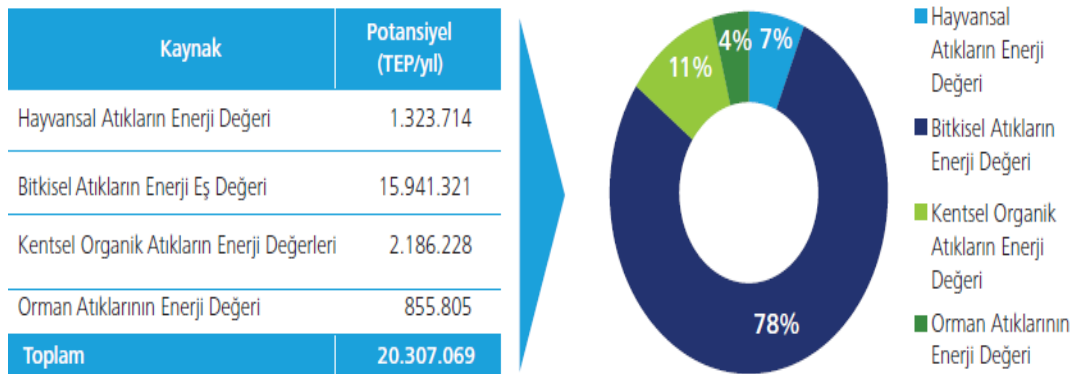
Biyokütle enerji teknolojisi kapsamında; odun (enerji ormanları, ağaç artıkları), yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, kolza, soya, aspir, pamuk vs.), karbonhidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar vs.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum vs.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk vs.), hayvansal atıklar ile şehirsal ve endüstriyel atıklar değerlendirilmektedir. Biyokütle yenilenebilir, her yerde yetiştirilebilen, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, çevre dostu, elektrik üretilen, taşıtlar için yakıt elde edilebilen stratejik bir enerji kaynağıdır.

Biyokütle, doğrudan yakılarak veya çeşitli süreçlerle yakıt kalitesi artırılıp, mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyoyakıtlar (kolay taşınabilir, depolanabilir ve kullanılabilir yakıtlar) üretilerek enerji teknolojisinde değerlendirilmektedir. Biyokütleden; fiziksel süreçler (boyut küçültme-kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve

biriktleme) ve dönüşüm süreçleri (biyokimyasal ve termokimyasal süreçler) ile pek çok sıvı, katı veya gaz biyoyakıt elde edilmektedir (Karaosmanoğlu 2006).

2.2. Türkiye’de Biyokütle ve Tarımsal Atık Potansiyeli

Türkiye; biyokütle materyal üretimi açısından, güneşlenme ve alan kullanılabilirliği, su kaynakları, iklim koşulları gibi özellikleri uygun olan bir ülkedir. Türkiye’de kültürel yetiştiriciliğe ve gıda üretimi dışında fotosentezle kazanılabilecek enerjiye bağlı olarak biyokütle enerjisi brüt potansiyeli teorik olarak 135-150 milyon TEP/yıl kadar hesaplanmakla birlikte, kayıplar düşürüldükten sonra net değer 90 milyon TEP/yıl olacağı varsayılmaktadır. Ancak, ülkenin tüm yetiştiricilik alanlarının yıl boyu yalnızca biyokütle yakıt üretim amacıyla kullanılması olanaklı değildir. Olabilecek en üst düzeydeki yetiştiriciliğe göre teknik potansiyel 40 milyon TEP/yıl düzeyinde bulunmaktadır. Ekonomik sınırlamalarla 25 milyon TEP/yıl değeri, Türkiye’nin ekonomik biyokütle enerji potansiyeli olarak alınabilmektedir (Akpınar ve ark. 2008).



Şekil 2.2. Türkiye atık potansiyeli

Biyokütle enerjisi üretiminde ilk kısımda bahsedildiği üzere birçok farklı yakıt/kaynak türü kullanılabilir. Şekil 2.2’de Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Biyokütle Potansiyel Atlası çalışması sonucunda Türkiye’nin kaynak bazında TEP/yıl olarak biyokütle potansiyelini göstermektedir. Şekil 2.2’de görüldüğü üzere en yüksek potansiyele sahip olan kaynak ise %78’lik bir oranla bitkisel atıklardır. 2012 yılında Türkiye’nin birincil enerji arzının 120 milyon TEP olarak gerçekleştiği göz önünde bulundurulduğunda, ülkemizin biyokütle potansiyelinin toplamı 2012 yılı için %17’lik bir orana tekabül etmektedir. Bahsi geçen potansiyelin tam olarak hayata geçirilmesinin önünde teknolojik ve lojistik kısıtlamalar olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Türkiye tarımsal atıklar ile ürün atıkları açısından bol kaynaklarına sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre toplam biyokütle potansiyeli 8,6 MTEP

seviyesinde olup, bunun 6 MTEP kadarı ısınma amaçlı kullanılmakta ve 2009 yılı değerleriyle 63 MW işletme halinde, 24 MW inşa halinde kurulu güç bulunmaktadır. Türkiye'nin toplam tarımsal alanı, yaklaşık 38,5 milyon hektardır. Bu tarımı yapılan alanların % 40,2'si ekili alan, % 11'i nadas alanı ve % 10,4'ü meyve, sebze, zeytin ve bağ alanıdır. Oldukça fazla tarımsal atık çeşitliliğine sahip ülkemizde yıllık çıkan atık miktarı yaklaşık 50 milyon ton civarındadır, ancak bu kaynak yeterince iyi değerlendirilememektedir. Tarımsal atıklar genelde tarlalarda bırakılmakta veya hasat ertesi yakılmaktadır (Akpınar ve ark. 2009). Türkiye'de modern biyokütle enerjisinin kullanılmaya başlanması ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından oldukça faydalıdır. Birçok ülke kendi ekosistemlerine elverişli olan tarımsal ürünlerden alternatif enerji elde etmektedir.

Türkiye'deki tarla ürünlerinin yıllık toplam üretimi ve atık miktarları Çizelge 2.1'de verilmiştir. Toplam ısı değeri yaklaşık olarak 228 PJ' dir. Toplam ısı değeri içerisinde payı en fazla olan temel ürünler sırasıyla mısır % 33,4, buğday % 27,6 ve pamuk % 18,1'dir. Çizelge 2.2'de ise Türkiye'deki bahçe bitkilerinin yıllık toplam üretimi ve atık miktarları verilmiştir. Bunun toplam ısı değeri ise yaklaşık olarak 75 PJ'dür. En büyük ısı değere sahip ürünler fındık % 55,8 ve zeytin % 25,9'dur (Başçetinçelik ve ark. 2006).

Çizelge 2.1. Türkiye'deki toplam tarla ürünleri üretimi ve atık miktarları (Başçetinçelik ve ark. 2006).

Ürünler	Atıklar	Üretim (ton)	Alan (ha)	Toplam Atıklar (ton)		Kullanılabilir Atık (ton)	Kullanılabilirlik (%)
				Teorik	Gerçek		
Buğday	Saman	22 439 042	9 424 785	29 170 755	23 429 907	3 514 486	15
Arpa	Saman	8 327 457	3 732 992	9 992 948	8 963 012	1 344 452	15
Çavdar	Saman	253 243	145 907	405 188	358 040	53 706	15
Yulaf	Saman	322 830	150 459	419 678	321 236	48 185	15
Mısır	Sap	2 209 601	565 109	5 911 902	4 970 259	2 982 155	60
	Sömek			596 592	1 907 307	1 144 384	60
Çeltik	Saman	331 563	59 879	582 555	209 532	125 719	60
	Kabuk			88 527	77 747	62 198	80
Tütün	Sap	181 382	222 691	362 763	410 778	246 467	60
Pamuk	Sap	2 292 988	680 177	6 317 181	2 520 281	1 512 169	60
	Çırçır atığı			481 527	732 220	585 776	80
Ayçiçeği	Sap	836 269	545 963	2 341 554	2 259 121	1 355 472	60

Yerfıstığı	Saman	55 241	25 167	127 054			
	Kabuk			27 621	28 638	22 910	80

Çizelge 2.2. Türkiye’deki toplam bahçe bitkileri üretimi ve atık miktarları (Başçetinçelik ve ark. 2006).

Ürünler	Atıklar	Üretim (ton)	Alan (ha)	Toplam Atıklar (ton)		Kullanılabilir Atık (ton)	Kullanılabilirlik (%)
				Teorik	Gerçek		
Kayısı	Çekirdek	467 903	11 288 357		154 573		
	Budama			1 328 846	86 964	69 571	80
Vişne	Çekirdek	114 466	4 446 680		39 916		
	Budama			137 359	21 400	17 120	80
Zeytin	Pirina	1 496 630	90 208 994	673 484	829 816	746 834	90
	Budama				441 254	220 627	50
Antep fıstığı	Kabuk	42 926	29 600 005		14 007	4 202	30
	Budama				209 611	167 688	80
Ceviz	Kabuk	115 698	3 737 868	173 546	75 792	60 633	80
	Budama				50 480	25 240	50
Badem	Kabuk	46 701	3 631 622	44 366	25 784	23 205	90
	Budama			13 076	28 500	22 800	80
Fındık	Kabuk	652 803	286 697 887	698 499	566 437	453 150	80
	Budama				2 177 986	1 742 389	80
Limon	Budama	475 159	5 529 038	236 852	88 465	70 772	80
Portakal	Budama	1 180 851	11 884 275	3 424 439	237 686	190 148	80
Mandarin	Budama	592 884	8 619 163	918 970	103 430	82 744	80
Greyfurt	Budama	126 285	894 293		14 309	11 447	80

2.3. Dünya Biyokütle Potansiyeli

Dünya üzerindeki bitkilerin fotosentez yoluyla oluşturdukları karbon miktarının yıllık 2^{10} ton dolayında olduğu varsayılmaktadır. Kuramsal olarak, bu enerji kaynağı dünya nüfusunun enerji gereksiniminin 10 katını ve besin gereksiniminin ise 100 katını karşılayabilecek değerdendir. Geçtiğimiz son 30 yılda dünyanın enerji ihtiyacı 145,37 EJ'den 387,66 EJ'e çıkmıştır. Dünya birincil enerji tüketiminin 2020 yılında 11,4 – 15,4 milyar TEP arasında olması beklenmektedir. 2020 yılında dünya genelinde yenilenebilir kaynaklardan yapılacak üretim, 2,3 – 3,3 milyar TEP sınırlarında bulunacaktır. 2020'li yıllarda dünya enerji bütçesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının genel enerji talebi içindeki payı minimum % 3-4, maksimum % 8-12 dolayında olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı açısından ise, modern biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji kaynaklarının toplamının %45'i oranında önemli bir yer tutacağı öngörülmektedir. Bu da modern biyokütle kullanımı ile sağlanacak enerjinin jeotermal enerjinin 6.4, rüzgar enerjisinin 2.6-3, güneş enerjisinin 1,6-2,2 katı olabileceği anlamına gelmektedir (Koçar ve Eryaşar 2007).

1990 yılında dünyanın birincil enerji gereksiniminin %12'si biyokütle enerjisinden karşılanmıştır. Dünya genelinde ve özellikle Avrupa'da, gerek endüstriyel ve gerekse enerji amacına yönelik modern biyokütle teknolojisi hızla gelişmektedir. İsveç enerjisinin %16'sı gibi büyük bir kısmını biyokütleden elde etmektedir. Benzer şekilde Avusturya Enerjisinin %13'ünü biyokütleden sağlarken, Finlandiya da biyokütle enerjisinden önemli ölçüde yararlanmaktadır. Kalkınmakta olan ülkelerde biyokütle enerjisinin kullanımı hızla artmaktadır. Biyokütle enerjisi büyük potansiyelinden dolayı (300-500 MTEP/yıl), AB ülkeleri için de büyük öneme sahiptir. Avrupa'da enerji amacıyla biyokütle kaynağı olarak, odunsu biyokütle, ağaç işleme endüstrisi atıkları, tarımsal atıklar, endüstriyel organik atıklar, hayvan gübreleri, belediye katı atıkları veya kaynakları, ayrılmış evsel atıklar, lağım suları ve özellikle de enerji bitkileri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Avrupa birliği ülkelerinde elektrik enerjisi üretiminin %7'si, ısı enerjisinin %97'si biyokütle (kentsel çöpler, endüstriyel artıklar, tarımsal artıklar, odun, ormancılık artıkları, etanol, biyodizel vb) enerjisinden sağlanmaktadır. AB'nin yıllık toplam enerji tüketiminin yaklaşık %6'sı biyokütleden sağlanmakta ve biyokütle enerji kullanımı yıllık 45 MTEP'dir. İsveç biyokütleden enerji elde etmede lider durumdadır ve 2020 yılına kadar toplam enerji ihtiyacını karşılamada biyokütlenin payını %25'ten %40' a çıkarmayı hedeflemektedir. Danimarka' da biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde %80 ile en büyük paya sahiptir. Danimarka odun ve saman kullanımına dayanan çok iyi kurulmuş biyokütle piyasasına sahiptir. Danimarka' da toplam yenilenebilir enerji kaynağının %28'ni odun

oluşturmaktadır. Danimarka son yıllarda odun peleti ve odun briketi üretimine başlamış ve bu amaçla odun artığı ithalatı talebinde artış gözlenmiştir (Onaji ve Sieomons 1993).

Avusturya asıl enerjinin %13'ünü odundan sağlamakta olup, bu miktar ise 15 yılda altı kat artmıştır. Finlandiya' da 1993 yılında, asıl enerji tüketiminin %14' ü odundan %5'i turbadan ve %19'u biyokütleden sağlanmıştır, bu rakam bugün biyoküttelede %23'e çıkmıştır. ABD'de enerjinin %4' lük kısmını biyokütleden sağlanmakta olup, bu kullanım son zamanlarda en üst noktaya ulaşmıştır (Onaji ve Sieomons 1993).

Afrika' nın bazı ülkelerinde pamuk sapı gibi atıklardan odun kömürü briketi üretimi yapılmaktadır. Mısır' da, dar gelirli çiftçiler geçimlerine destek sağlaması için süt ürünlerini beslenmelerinde, ahır gübresini gübre ihtiyacını karşılamakta ve pamuk gibi bitkilerin saplarını da yakıt kaynağı olarak kullanmaktadırlar (Onaji ve Sieomons 1993).

Mısır Tarım Bakanlığı, pamuk hasadının hemen arkasından bu sapları tarlada yakma zorunluluğu getirmiştir. Bu şekilde gelişigüzel yakılan büyük miktarlardaki pamuk sapı ise özellikle Kahire çevresinde hava kirliliği yaratmıştır. Bu nedenle Mısır Çevre Bakanlığı, 1994 yılında bir kanun çıkararak sapların yakılmasını yasaklamıştır. Ülkedeki kanunlar arasındaki bu ikilem devam etmektedir.

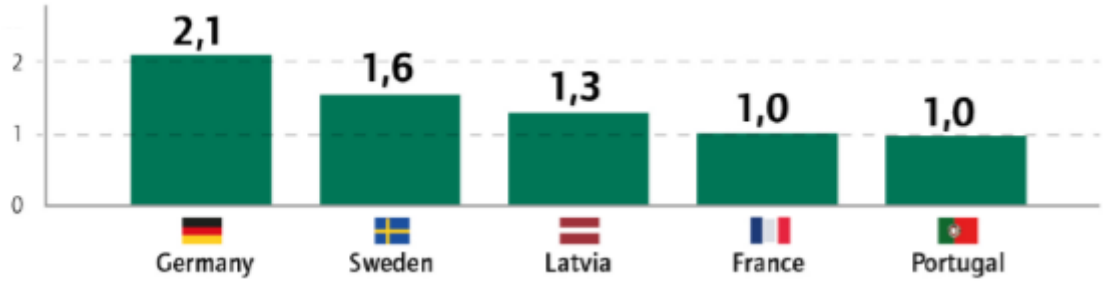
Amerikalı bilim adamlarının yürüttüğü bir seri projeler neticesinde Mısır' da bugün pamuk saplarının değerlendirilmesinde briketleme sisteminin kullanılması yaygınlaştırılmış, bu konuda özellikle köy kadınlarının aktif olarak rol alması sağlanmıştır. Bu amaçla, pamuk yetiştirilen köylerin merkezinde kurulan briketleme makineleri sayesinde bugün köy halkı, tarlalarından söktükleri pamuk saplarını briket odunu şeklinde yakacak olarak kullanmaktadır.

Avrupa'da pelet üreten ülkelerin ve pelet tesislerinin sayısı Şekil 2.5'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere Avrupa ülkelerinde pelet üretimi yatırımları hız kazanmıştır. Odun peleti üreten belli başlı ülkeler ve üretim miktarları; Almanya 2,4 milyon ton/yıl, Kanada 2 milyon ton/yıl, ABD 1,8 milyon ton/yıl, Avusturya, İsveç, Fransa ve Rusya yaklaşık 1 milyon ton/yıl ile pelet üretiminde dünyanın önde gelen ülkeleridir. Avrupa Birliği ülkelerinin 2010 yılında kullanacağı 15 milyon ton peletin önemli bölümü Kanada'dan sağlanmıştır. Almanya'da 2015 yılına kadar 500.000 ile 1.500.000 adet pelet yakan soba ve kazanlar kurulması planlanmıştır. İtalya'da kullanılan pelet sobası sayısı 700.000 adetten fazladır. Yılda 800.000 ton pelet tüketilmektedir (300.000 tonu ithal). Danimarka'da 50.000 adet pelet sobası bulunmaktadır. Sobalarda, kazanlarda, ısı-güç santrallerinde ve endüstride yılda 800.000 ton pelet kullanılmaktadır Anonim (2017e).

2014 yılında üretilen 13,5 milyon ton ahşap pellet ile AB, dünyanın en büyük üreticisi ve küresel dünya üretiminin yaklaşık % 50'sini oluşturuyor. AB üretimi yıllar içinde 2010'dan

2014'e % 35, 2013'ten 2014'e % 11 2014'ten 2015'e %4,7 oranında sürekli bir genişleme göstermiştir ve 2015 yılında üretilen 14,1 milyon ton ahşap peleti olduğu saptanmıştır. Şekil 2.4'de 2014-2015 yılında üretilen odun peleti miktarı ve ülkelere göre büyüme oranı gösterilmektedir. AB'de pelet üretimi ağırlıklı olarak ısı pazarına adanmış olan sektördür, yumuşak kış ve ısıtma yağının düşük fiyatı, diğer teknolojilerle rekabetinden dolayı AB'de ısıtma pazarının genel yavaşlamasından etkilenmiştir Anonim (2017e).

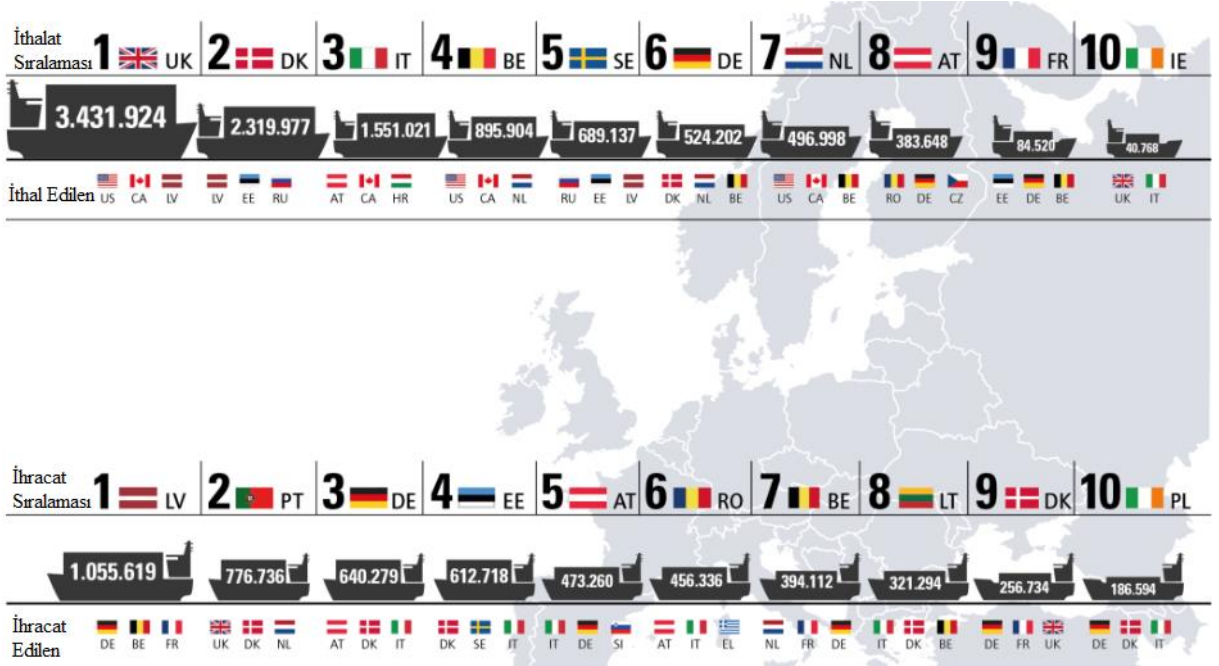
AB'de pelet üretimi gelişimi ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Şekil 2.3'de 2014 yılında üretilen odun peleti miktarı ve ülkelere göre dağılımı gösterilmektedir. Almanya, 2014 yılında üretilen 2,1 milyon tonla en büyük üretici olmayı sürdürürken bunu takiben İsveç yaklaşık 1,6 milyon ton ve Letonya 1,3 milyondan fazla ton pelet üretimi ile gerçek bir patlama yaşanmaktadır (Anonim 2017e).



Şekil 2.3. Üretilen odun peleti miktarı ve ülkelere göre dağılımı (Anonim 2017e).



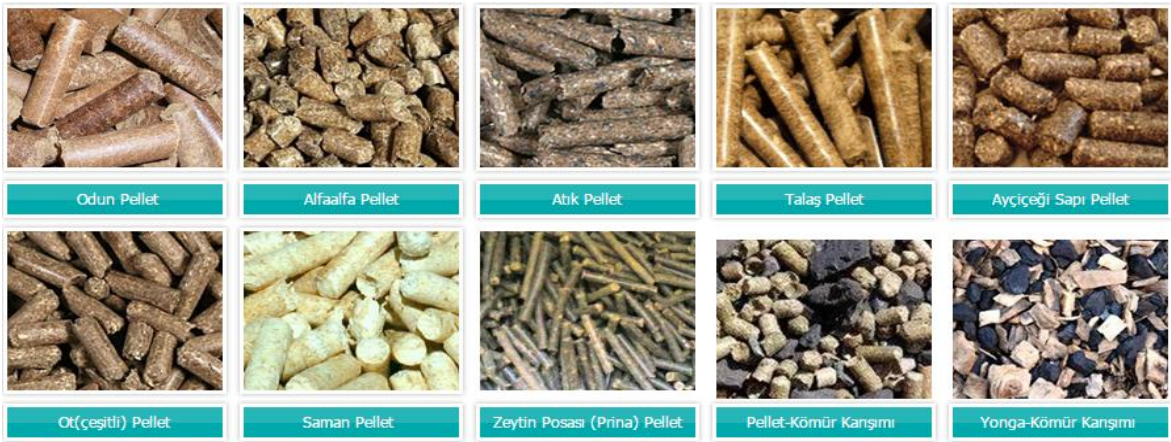
Şekil 2.4. Üretilen odun peleti miktarı ve ülkelere göre büyüme oranı (Anonim 2017e).



Şekil 2.6. Avrupa'da ağaç pelet ithal edilen ve ihracat edilen ilk 10 ülke sıralaması (Anonim 2017f).

2.4. Biyokütlenin Peletlenmesi

Peletleme işlemi, ham maddenin kurutulup, öğütülerek talaş haline getirildikten sonra yüksek basınçla sıkıştırılmasıyla 6-12 mm çapında, 10-30 mm uzunluğunda silindir şeklindeki yakıt parçacıkların elde edilmesi olarak tanımlanabilmektedir. Briketler ise peletlerden daha büyük boyuta sahiptir. Pelet; talaş, odun yongaları, ağaç kabuğu, zirai ürünler, ekinlerin sapları, fındık, badem, ceviz kabukları, atık kâğıt maddeleri, mısır koçanları, pancar küspesi, ayçiçeği çenekleri, kurumuş zeytin ve kiraz çekirdekleri gibi birçok atık ürünlerden üretilmektedir. Şekil 2.7'de farklı biyokütleden imal edilmiş pelet örnekleri görülmektedir.

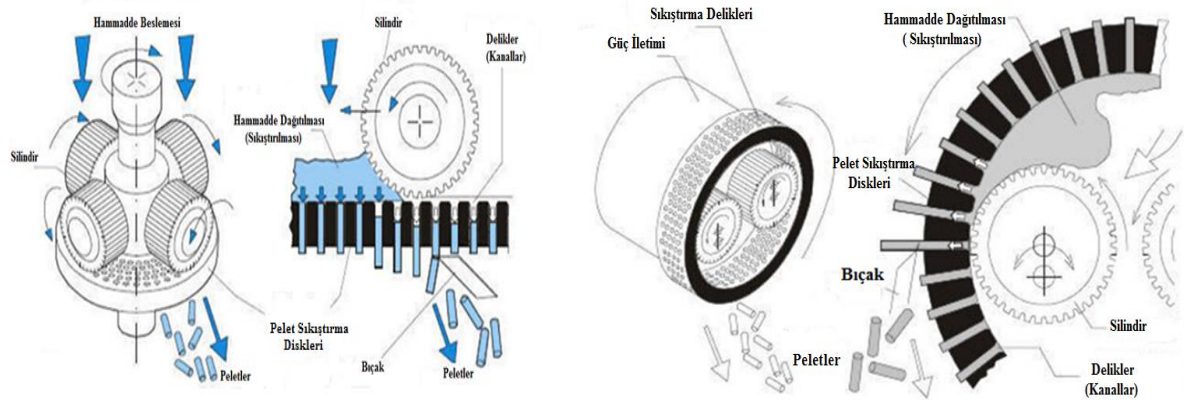


Şekil 2.7. Pelet çeşitleri ve üretilen ürünlerin görünümü

Peletler kimyasal bağlayıcı maddeler eklenerek veya eklenmeden yüksek basınçla oluşturulmaktadır. Peletleme işlemi ile; biyokütle karakteristikleri iyileştirilmekte, hacimsel ısı değeri artmakta, yanma karakteristikleri düzelmekte, taşıma maliyetleri düşmekte, depolama masrafları azalmakta, sobalarda kolaylıkla yakılabilmekte, atmosfere salınan partikül emisyonları azalmakta ve aynı boyut ve şekilde iyi bir yakıt elde edilmektedir. Örneğin odun peleti aynı ağırlıktaki yakacak oduna göre daha fazla ısı vermekte, daha temiz ve daha uzun süre yanma özelliği kazanmaktadır (Öztürk 2012).

2.5. Peletleme Teknolojisi

Günümüzde peletleme teknolojileri olarak düz ve çember kalıplı presler kullanılmaktadır. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi düz kalıp preste sıralı delikli disk üzerinde bir, iki ya da daha fazla sıkıştırma silindiri (daha çok 2 silindir) yaklaşık olarak 2-3 m/s hızla dönmektedir. Diskler vasıtasıyla materyal kalıp deliklerinde sıkıştırılmakta ve kalıbın şeklini alarak peletlenmiş olarak çıkmaktadır. Çember kalıplı preslerde ise, dönen delikli çemberin iç çevresine bastıran sıkıştırma silindirleri (normalde 2 veya 3 adet) sürekli olarak dönmektedir. Materyal kalıp deliklerinde sürekli olarak sıkışarak peletlenmiş olarak kalıptan çıkmaktadır (Öztürk 2012).



a) Düz kalıplı pelet oluşumu

b) Çember kalıplı pelet oluşumu

Şekil 2.8. Pelet oluşumu türleri (a) düz kalıplı ve (b) çember kalıplı görünümü (Öztürk 2012).

Çizelge 2.3’te enerji düzeyi ve kül içeriği dikkate alınarak peletleme işlemi için kullanılan bazı önemli tarımsal atıklar tablo olarak verilmiştir. Tarımsal ve diğer biyokütle atıklarının en etkin bir biçimde kullanılmasının yollarından birisi de onların peletlenmesidir.

Çizelge 2.3. Bazı önemli tarımsal atıkların ısı değerleri ve kül içerikleri (Karaca 2009).

Tarımsal Atıklar	Isıl Değerleri (kcal/kg)	Kül İçerikleri (%)
Yerfıstığı Kabuğu	4524	3,80
Küspe	4380	1,80
Hint tohumu kabuğu	3862	8,00
Pamuk sapsarı	4252	3,00
Banbu tozu	4160	8,00
Banbu odunu	4707	0,90
Kahve kabukları	4045	5,30
Tütün atığı	2910	31,50
Çay atığı	4237	3,80
Çeltik samanı	3469	15,50
Hardal sapsarı	4200	3,40
Hardal kabukları	4300	3,70
Buğday samanı	4100	8,00
Ayçiçeği sapsarı	4300	4,30
Hint keneviri atığı	4428	3,00
Soya f. kabuğu	4170	4,10
Şeker kamışı	3996	10,00
Ağaç kabukları	1270	4,40
Orman atıkları	3000	7,00
Hindistan c. lifleri	4146	9,10
Çeltik kabukları	3200	19,20
Odun yongaları	4785	1,20

Biyokütle kullanılarak yapılmış olan pelet ve briket kullanımının avantajları aşağıdaki gibi sayılabilir:

- Atıkların değerlendirilmesi (Çoğu toprak üzerinde kalan orman ve tarımsal atıkların değerlendirilmesi),
- Yenilenebilir ve sürdürülebilir bir kaynak oluşu,
- Fosil kaynaklı yakıt ithalatı azaltılabilir ve ülke ekonomisine katkı sağlanabilmesi,
- Sürekli değişkenlik gösteren fosil kaynaklı yakıtlar yerine sabit maliyetli ürün kullanımı,
- Aynı enerjiye atık ürünler ile daha ucuza ulaşılması,
- Çevre ve İnsan Sağlığı üzerinde olumlu etkisi (Emisyon değerleri fosil kaynaklı yakıtlara nazaran çok daha iyi olması sebebiyle sera gazı salınımları azaltılmış olunur ve böylelikle ülkemizin Kyoto Protokolü şartlarına uyum hızlandırılmış olunur),
- Atık miktarı (kullanımı sonrası atık miktarının az olması),

-Hazır Pazara sahip olması (Avrupa’da yaygın olarak kullanıldığından bu kulvardaki tüm iş kollarında ihracat yapma fırsatı),

Isıtma sektöründe yeni iş kolları açarak bu sektöre canlılık getirerek yeni iş istihdamları sağlaması,

-Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre nakliye ve depolanabilirlik özelliği,

-Orman artıklarının değerlendirilmesi ile ormanlarımızın yangın riskinin azaltılması, zararlı böceklerin üremesinin azaltılması ve orman bakım masraflarının düşürülmesi gibi fayda sağlaması,

-Orman ürünlerinin kayıt dışı kullanımının önüne geçebilecek bir proje oluşturması,

-Kırsal ekonominin canlandırılmasına katkı sağlaması,

-Böylelikle yeni yutak alanlarının artması ve erozyon, çölleşme gibi riskleri azaltmaya yönelik olması,

-Diğer fosil yakıtlı kullanımlara oranla en az aynı düzeyde konfor ve kullanım rahatlığı sunması,

-Diğer fosil yakıtların kullanımına nazaran daha az tehlikeli olması,

-Diğer fosil yakıtlar gibi dolar ve euro’ya bağlı fiyatının değişmemesi,

-Elektrik üretiminde kullanılabilir oluşudur (özellikle mevcut kurulu kömür termik santrallerinde kömür ile karıştırılarak kullanılabilir) (Anonim 2017d).

Geleneksel pelet üretim teknolojisinin aşamaları Şekil 2.9’da gösterildiği gibi, aşağıda verilen aşamalarda oluşmaktadır.

- ham maddenin depolanması ve ön işlem,

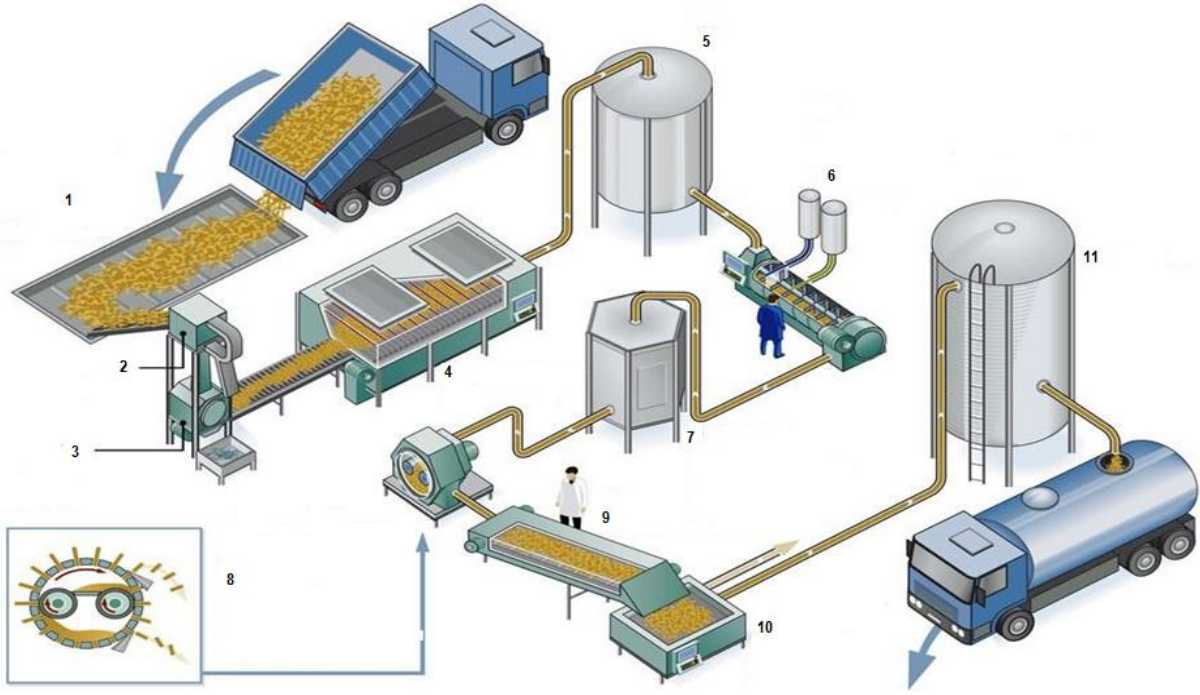
- ham maddenin kurutulması,

- geleneksel pelet üretim işlemi,

- peletin soğutulması,

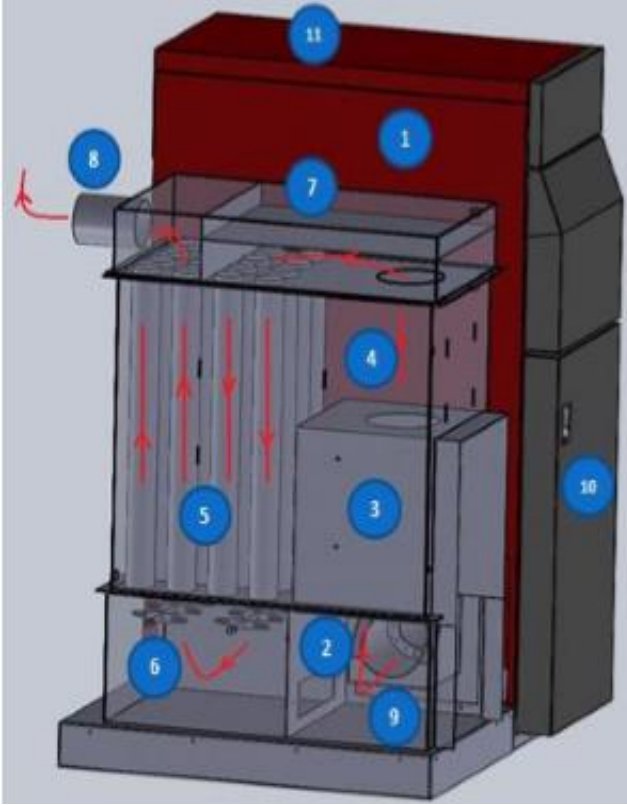
- peletin depolanması,

Yeni teknolojilerde ham maddenin kurutulması (% 35 rutubete kadar) ve peletin soğutulmasına gerek görülmemektedir (Saraçoğlu 2008).



Şekil 2.9. Pelet yakıtı fabrika üretim şeması (1:Hammadde Deposu, 2:Ayrıştırıcı, 3:Değirmen, 4:Fırın, 5:Ara depo, 6:Karıştırıcı, 7:Ara depo, 8:Pelet pres, 9:Soğutucu, 10:Elek, 11:Silo (Severoğlu 2010)).

Doğal yakıt pelet evde, sobalarda, kalorifer kazanlarında, sanayide, ekmek fırınlarında ister elle dolum yapılarak ister otomatik dolum sistemi ile rahatlıkla kullanılabilir. Otomatik dolum sistemi sayesinde büyük kolaylık sağladığı gibi kül oranının binde beş olması nedeniyle kül boşaltma işlemini ayda bir kere uygulamakta temizlik açısından sunduğu kolaylıklardandır. Şekil 2.10'da tasarlanan pelet kazanı şeması görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi önce pelet yakıtı (11) numaralı kısımdan pelet deposuna (1) alınmaktadır. Buradan pelet yakıt, pelet taşıma sistemi vasıtasıyla pelet brülörüne (2) gelmekte ve ayarlanan zamanda otomatik ateşleyici vasıtasıyla yanma işlemi başlatılmaktadır. Yanma odasında (3) alev oluşmakta, yanma ürünleri duman kanalından (4) geçerek su cidarında (7) yön değiştirmekte ve ısı enerjisini suya aktarmaktadır. Daha sonra duman, etrafı su ile çevrili duman borularına (5) gelerek ısı transferi yoluyla enerjisini suya aktarmakta ve bacadan (8) dışarı atılmaktadır (Taşcı ve ark. 2016).



Şekil 2.10. Pelet sobası şeması (1.Pelet Deposu, 2. Pelet Brülörü (yanma çanağı), 3. Yanma odası, 4. Duman kanalı, 5. Duman boruları, 6. Türbülötörler, 7. Su cidarı, 8. Baca, 9. Küllük, 10. Elektronik kompenetler 11. Pelet depo kapağı (Taşcı ve ark. 2016)).

Peletler otomatik olarak, bir burgu sistemi ile yanma odasına taşınır ve ateşle temasıyla birlikte yanmaya başlar. Basit bir elektronik ateşleyici, ateşi yakar. Yakıt besleme sistemi, ısı çıktısının ölçüm değerleri tarafından komut alır, harici bir kadranda bu izlenebilir. Yanma havası, yanma odasına doğrudan bir egzoz fan yardımıyla, mükemmel bir hava/yakıt karışımı sağlanarak, azami verim sağlayacak oranlarda iletilir. Taze hava, ısı eşanjöründen geçerek ve fan üfleme gücüyle odanın içine itilir, bunlar, hızını ayarlayabileceğiniz fanlardır. Ayrıca, ısı, cam kapısından da yayılır. Bu ikili etki, gerçek ortam ısını ve buna paralel olmayan ısı verimliliğini temin eder.

Avrupa Birliği kapsamlı bir çalışma yaparak ülkelerin ulusal standartlardan farklı, Avrupa Birliğince kabul edilen EN 14961-2 standardını 2011 yılında yayınlamıştır. Bu standart içerisinde pelet yakıtının özelliklerini ve sınıflarını Çizelge 2.4’de açıkça verilmiştir

Çizelge 2.4. EN 14961-2 Pelet yakıtı özellikleri ve sınıfları.

Analiz Yöntemi/ Sembolü	Birimler	A1	A2	B
Çap, D ve Uzunluğu, L	mm	D06,D08 (+1,-1)	D06,D08 (+1,-1)	D06,D08 (+1,-1)
		3,15 < L < 40	3,15 < L < 40	3,15 < L < 40
Nem, M	% w	M < 10	M < 10	M < 10
Kül, A	% w	A < 0,7	A < 1,5	A < 3
Mekanik Dayanıklılık, DU	% w	DU > 97,5	DU > 97,5	DU > 96,5
Katkı Maddesi	% w	belirtilcek < 2	belirtilcek < 2	belirtilcek < 2
Net Isıl Değer, Q	MJ/kg	16,5 < Q < 19	16,3 < Q < 19	16,0 < Q < 19
	kWh/kg	4,6 < Q < 5,3	4,5 < Q < 5,3	4,4 < Q < 5,3
Kütle yoğunluğu, d	kg/m ³	d > 600	d > 600	d > 600
Azot, N	% w	N < 0,3	N < 0,5	N < 1,0
Kükürt, S	% w	S < 0,03	S < 0,03	S < 0,04
Klor, Cl	% w	Cl < 0,02	Cl < 0,02	Cl < 0,03
Arsenik, As	mg/kg	As < 1	As < 1	As < 1
Kadmiyum, Cd	mg/kg	Cd < 0,5	Cd < 0,5	Cd < 0,5
Krom, Cr	mg/kg	Cr < 10	Cr < 10	Cr < 10
Bakır, Cu	mg/kg	Cu < 10	Cu < 10	Cu < 10
Kurşun, Pb	mg/kg	Pb < 10	Pb < 10	Pb < 10
Merkür, Hg	mg/kg	Hg < 0,1	Hg < 0,1	Hg < 0,1
Nikel, Ni	mg/kg	Ni < 10	Ni < 10	Ni < 10
Çinko, Zn	mg/kg	Zn < 100	Zn < 100	Zn < 100

EN 14961-2 standardına göre; EN Plus A1: kimyasal olarak işlenmiş odun artıkları, EN Plus A2: Kerestecilik atıkları, sanayi faaliyetlerinden elde edilen odun kabukları, bütün köksüz ağaçları, EN-B: Orman, ağaçlandırma ve diğer saf odunlar, ağaç işleme sanayi atıkları ve yan ürünler ile kullanılmış ahşap ürünlerini ifade etmektedir.

Peletlerin fiziksel ve kimyasal parametrelere bağlı olarak üretim ve yakma üzerine etkileri Çizelge 2.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Peletlerin fiziksel ve kimyasal parametreleri ile üretim ve yakma üzerine etkileri (Viak A. 2000).

Parametreler	Etkileri
Fiziksel Özellikler	
Kütle Yoğunluğu	Taşıma ve depolama masrafları ile lojistik planlamayı etkiler
Birim Yoğunluğu	Yanma özelliklerini etkiler
Tane Boyutunun Dağılımı	Kurutma özelliği, toz oluşumu, dökülebilirlik, yakıtın taşınma güvenliği etkiler
Tozlama Eğilimi	Kütle yoğunluğunu, taşıma kayıplarını ve toz oluşumunu etkiler
Dayanıklılık	Aktarma sırasında kalite değişimleri, parçalanma, yakıt kayıplarını etkiler
Kimyasal Özellikler	
Su İçeriği	Depolanabilirlik, kalorifik değer, kayıplar ve kendinden alev almayı etkiler
Isıl Değer	Yakıt kullanımı ve Yakma kazanı dizaynını etkiler
Element İçeriği	
Cl - Klor	Emisyon, kazanlarda korozyonu etkiler
N - Azot	NO _x , HCN ve N ₂ O emisyonlarını etkiler
S - Kükürt	SO _x emisyonu etkiler ve korozyonu azaltır
K - Potasyum	Kazanlarda korozyona sebep olur, kül ergime ve aerosol oluşumunu düşürür
Mg - Magnezyum	Kül ergime noktasını yükseltir, külü bitki besini olarak kullanılabilir
P - Fosfor	Külü bitki besini olarak kullanılabilir
Ağır Metaller	Emisyon kirliliği yapar, aerosol oluştururlar ve kül içinde kullanılır veya atık olur
Kül İçeriği	Emisyonda partikül oluşturur, kül olarak kullanımı veya atık olarak maliyettir
Külün Yumuşatma Etkisi	Operasyonel güvenlik ve kirlenici emisyonların seviyesini etkiler
Mantar Sporları	Ham maddeler bulaşır, yakıtın üretimi ve kullanımında sağlık riski yaratabilir

2.6. Kaynak Taraması

Liu ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada bambu ve çeltik sapları, parçacık boyutları 2mm ve daha düşük boyutta olacak şekilde öğütülmüştür. Öğütüldükten sonra %8.15 olan nem içeriği, önceden miktarı belirlenmiş saf su 5 kg materyale eklenerek 2 gün boyunca ağzı kapalı torbalarda bekletilmiştir. 2.günün sonunda nem içerikleri, bambuda %15,97, çeltik sapında %15,56 olarak tespit edilmiştir. Peletleme işlemi sonunda bambu ve çeltik sapı peletlerinin bir kısmı dijital sıcaklık kontrollü sobada 220°C’de 1 saat bekletildikten sonra karbonize olmuş bambu ve çeltik sapı peletleri elde edilmiştir. Bambu, çeltik sapı, karbonize olmuş bambu ve karbonize olmuş çeltik sapı peletlerine pelet fiziksel testleri uygulanmış olup pelet hacim yoğunlukları sırasıyla 540kg/m³, 640kg/m³, 490kg/m³, 590kg/m³, pelet yoğunlukları sırasıyla 1250kg/m³, 1350kg/m³, 1160kg/m³ ve 1280kg/m³ olarak bulunmuştur. Çeltik sapı peletlerinin pelet yoğunluğu ve pelet yığın yoğunluğu her iki durumda da yüksek bulunmuştur. Pelet dayanıklılık dirençleri de sırasıyla, %94,21, %98,73, %97,80 ve %99,17 değerlerinde tespit edilmiş, çeltik sapının pelet kalitesinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Cubero-Abraca ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, endüstriyel kahve posaları kurutularak 16 mm elek çapına sahip değirmende öğütülmüş, 3 silindirli pelet makinasında peletlenerek 6,12 mm çapında peletler elde edilmiştir. Peletleme işlemi sırasında makina sıcaklığı 125°C olarak ölçülmüştür. Peletleme işlemi sonunda peletlerin %10,1 nem içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen peletler hacmi belirli bir kaba konularak tartılmış ve 600 kg/m³ pelet yığın yoğunluğu değeri bulunmuştur. Pelet yoğunluğu 1300 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. Peletlerin nem alma direnci belirlenirken, potasyum nitrat solüsyonu içeren %21 bağıl neme sahip desikatör içine 30 adet pelet rastgele düzenle yerleştirilerek 14 gün bekletilmiştir. Test öncesi ve test sonrası ağırlıklar kaydedilerek nem alma direnci %8.10 olarak belirlenmiştir. Kırılma direnci testinde; 100 peletin her biri 1 m yükseklikten seramik yüzeye atılmış, “1/kırılan parça sayısı” formülüyle kırılma direnci 0.95 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımı testinde 60 ton kapasiteli basınç dayanım test cihazı kullanılmış ve dayanım 26,86 kg/cm² olarak hesaplanmıştır. Pelet dayanıklılık direnci %75,54 değerinde bulunmuştur. ASAE 269,4 standardına göre dayanıklılık direncinin kabul edilebilir sınırların altında olduğu görülmüştür.

Fassina (2008) tarafından yapılan çalışmada yerfıstığı kabukları laboratuvar ölçekli peletleme makinesinde peletlenmiş ve 4.76 mm çapında peletler elde edilmiştir. Peletleme öncesi örneklerin sıcak buhar ile nemlendirilerek sıcaklığı yükseltilmiştir. Peletlerin fiziksel

özellikleri (pelet boyutu, pelet yığın ve parça yoğunluğu, pelet nem alma ve pelet eşdeğer nem içeriği) üzerine pelet nem içeriğindeki (yaş baz da %4,2-21,2) değişimin etkisi belirlenmiştir. Peletleme işleminden sonra peletler farklı nem içeriklerine getirilmiş (%4,2, %9,1, %12,3, %15,4 ve %21,2) ve pelet fiziksel özellikleri bu işlemden sonra belirlenmiştir. Çalışma sonunda pelet yığın ve parça yoğunluğunun nem içeriğindeki artış ile doğrusal olarak azaldığı belirlenmiştir. Peletleme işlemi ile hammaddenin hacim yoğunluğu 151 kg/m³'ten 600 kg/m³'e çıkmıştır. Peletlerin dayanıklılığı başlangıçta nem içeriğinin artışı ile artmış ve %9,1 nem içeriğinde %90,3 ile maksimum değere çıkmıştır. Nem içeriğinin daha da fazla artması pelet dayanıklılığını azaltmış ve %21,2 nem içeriğinde %76 ile en düşük olmuştur. Çevre sıcaklığına bakılmaksızın, peletlerin %60-80 nem içeriğine sahip bir ortamda nem aldığı, fakat %45 nem içeriğine sahip bir ortamda nem kaybettiği görülmüş ve peletlerin 48 saatlik bir sürede nemlendirilmiş hava ile temas ettiğinde en fazla %4,9'a kadar nem absorbe ettiği belirlenmiştir.

Liu ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada 1.18 mm, 1.18-0.84 mm ve 0.84 mm'den küçük partikül boyutlarına öğütülmüş bambu bitkisi %8-12-16 olmak üzere 3 farklı nem içeriğinde peletlenmiştir. Elde edilen peletler fiziksel testlere ve yanma testlerine tabi tutularak materyal nem içeriği ve partikül boyutunun pelet kalitesine etkileri incelenmiştir. Nem içeriğinin pelet fiziksel özelliklerine etkisinde, %8-12-16 nem içeriklerinde sırasıyla; pelet boyları 12,5, 12,7 ve 11,7 mm; pelet çapları, 6,1, 6,0 ve 6,0 mm; pelet parça yoğunluğu 1050, 1140 ve 1200 kg/m³, pelet hacim yoğunluğu 520, 620, 650 kg/m³; pelet dayanıklılık direnci %95,07, %97,95 ve %98,38 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, pelet kalitesinin en düşük %16, en yüksek %12 nem içeren materyalde olduğu görülmüş olup pelet yoğunluğunun pelet dayanıklılığına etki eden en etkin faktör olduğu sonucuna varılmıştır.

Atımtay ve Topal (2004) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de biyokütleden temiz enerji elde etme amacı ile biyokütlenin yakıldığında ikincil hava ihtiyacını ortaya çıkaran yüksek CO ve C_nH_m emisyonlarının oluştuğunu ve kömürün SO₂ emisyonu 2400-2800 mg/Nm³ civarında iken çalışmada kullanılan biyokütle yakıtları (ayçiçeği sapı, kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği, prina ve pamuk çiğidi posası) için SO₂ emisyonunun sıfır olduğunu yapılan tüm yakma deneylerinde NO_x emisyonlarının, Hava Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği tarafından belirlenen sınır değerlerin altında bulunduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu sonuçlara dayanarak, akışkan yatak teknolojisi ile OSB ve KOBİ'lerin biyokütle ve kömür yakarak daha ucuz enerji elde edebileceğini, biyokütleden enerji eldesi sırasında, bir sera gazı olan CO₂ emisyonunun azalacağını, Kyoto protokolüne daha kolay

uyum sağlanacağını ve böylece enerji tarımı ve enerji ormancılığının gelişeceğini belirtmişlerdir.

Gürdil G. A. K. (2014) yürütülmüş olduğu çalışmada, Samsun'da tarımsal faaliyetler sonucu açığa çıkan fındık zurufu, mısır ve ayçiçeği sapı tarımsal atıkları kullanılmıştır. Kurutma işleminden sonra %8-10 nem aralığına sahip tarımsal atıklar 5 mm öğütme inceliği altında küçültülüp 100 bar sıkıştırma basıncında briketler elde edilmiştir. Fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal atıkları için elde edilen briketlerin sırası ile ortalama alt ısı değerleri; 4746 cal/g, 3634 cal/g, 3935 cal/g kül içeriği değerleri; %8,59, %19,8, %9,42 değerleri tespit edilmiştir.

Gizlenci ve ark. (2016) yürütülmüş olduğu çalışmada materyal olarak, ülkemizde yaygın olarak yetiştiriciliği ve üretimi yapılan 8 farklı materyal; çay fabrikası tozu, fındık zurufu, çeltik sapı, çeltik kavuzu, ayçiçeği sapı, mısır sapı, buğday sapı ve kolza sapı kullanılmıştır. Çalışmanın bir sonraki aşaması, 8 materyalin yalın olarak değil, birbirleri ile kombinasyonları yapılarak yürütülmüştür. Oluşturulan kombinasyonlarda her materyalin payı % 50 olarak alınmıştır. Buna göre 28 kombinasyon oluşturulmuştur. Çalışmada yapılan kombinasyonlar ve bunlardan elde edilen peletlerin nem, kül ve ısı değerleriyle asıl materyallerin ısı değerleri verilmiştir. Materyallerin kül değerleri incelendiğinde en yüksek kül oranının çeltik kavuzu - çeltik sapının karışımından % 17,77 ile elde edildiği görülmektedir. Yalın halde çeltik sapı ve çeltik kavuzundaki kül oranları da buna yakın değerlerdir. En düşük kül oranı ise çay tozu-mısır sapı karışımından % 8,67 ile elde edilmiştir. En yüksek ısı değerinin çay tozu- mısır sapı karışımından, 4172 cal/g, en düşük ısı değerinin ise ayçiçeği sapı- çeltik sapı karışımından 3580 cal/g ile elde edildiği görülmüştür. Çalışmada elde edilen nem değerlerinin yapılan tüm karışımlarda düşük olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre elde edilen peletlerin gerek yakılması ve gerekse depolanmasında nem açısından herhangi bir sakıncanın olmadığı anlaşılmaktadır. Uygun ortamlarda muhafaza edilmesi durumunda böyle düşük nemdeki bir ürünün bozulması mümkün görülmemektedir.

Tüptek (2011) yaptığı çalışmada, çam talaşı ve MDF (orta yoğunlukta fiber) tozundan pelet numuneleri oluşturmuştur. Bu numunelerin kimyasal analizleri yapılarak; uçucu madde, alt ısı değer, üst ısı değer, kül, toplam nem ve kükürt oranları tespit edilmiştir. MDF tozu ve çam talaşından elde edilen pelet numunelerinin laboratuvar şartlarında yakılmasıyla oluşan yanma gazlarının (CO, CO₂, SO₂, NO, NO_x) emisyon değerleri ölçülmüştür. Pelet numunelerine belirli oranda (%9) bağlayıcı madde olarak kullanılan zeolit, melas ve nişastanın baca gazı emisyon değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada,

pelet numunelerin yanma hızlarını tespit edebilmek için sabit yatak yakma deney cihazı tasarlanmış ve yapılmıştır. Pelet numuneleri, deney cihazında 550 °C 'de yakılarak yanma hızları tespit edilmiştir. Bağlayıcı maddelerin, pelet numunelerinin yanma hızına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, çam talaşı pelet numunesinin kül içeriği % 0,26 bulunmuştur ve bünyesinde kükürt içermemektedir ve alt kalori değeri de 4521 cal/g olarak bulunmuştur. Buna göre pelet yakıtının linyit türü kömürlere göre daha temiz ve yüksek verimli alternatif bir yakıt olduğu tespit edilmiştir. Mdf tozu pelet numunesinin, bünyesindeki yanmayı geciktirici kimyasallardan dolayı kalorifik değeri 3857 cal/g çıkmıştır. Bu tür mdm tozu peletlerin, konut yerleşimden uzak sanayi bölgelerinde yakılarak değerlendirilmesi uygundur. Mdf tozu pelet numuneleri, yakıldığı zaman bileşiminde bulunan azotlu kimyasallardan dolayı, doğal çam talaşı pelet numunelerine göre daha yüksek NO ve NO_x emisyonlarına sebep olmuştur. En düşük emisyon değerleri, %9 oranında zeolit bağlayıcılı çam talaşı pelet numunesinde görülmüştür. Çam talaşının zeolit ile birlikte yakılmasının, yanma hızını düşürerek, yanma verimini artırdığı ve baca gazı emisyon değerlerini (NO_x, NO ve CO) sırasıyla %79,6, %79,4 ve % 59,4 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.

Gonzalez ve ark. (2004) ev ısıtmasında kullanılan 11,6 kW gücünde bir brülörde, farklı atıkların yanma işleminin optimize edilmesi amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, yakıt olarak üç farklı biyokütle atığı peleti (domates, zeytin çekirdeği ve kenger) ve odun peleti kullanılmıştır. Öncesinde yakıtların üst ısıl değeri belirlenmiştir. Yanma parametrelerine atık tipinin, yakıt kütle akışının, hava akımının ve atık karışımının etkileri belirlenemeye çalışılmıştır. Üç farklı atığın davranış özelliklerinin odun peletine benzediği tespit edilmiştir. Brülör verimleri, maksimum yakıt akışı (%100) ve minimum hava akımı (%0) koşullarında, domates posasında % 90, odun peletinde % 90,5, zeytin çekirdeğinde % 89,7 ve kenger otu peletinde % 91,6 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, optimum atık karışımı %75 domates ve %25 orman atığı olarak bulunmuş ve bu karışımın %75 kütle akışı ve %0 hava akımında %92.4'lük brülör verimine sahip olduğu saptanmıştır.

Zafari ve Kianmehr (2013) tarafından yapılan çalışmada, Şehir atıkları, hayvan gübresi ve tarımsal atıklardan oluşturulan kompost materyali pistonlu pelet makinasıyla %35, %40 ve %45 nem içeriklerinde 2-6 ve 10 mm/s piston hızında 4, 5 ve 6 sıkıştırma ile 8, 10 ve 12 mm kalıp uzunluğunda ve 0.3, 0.9, 1.5 mm materyal parçacık boyutunda peletlenmiştir. Çalışma sonunda en dayanıklı peletler %40 nem içeriğinde hazırlanan materyalden elde edilmiştir. Düşük piston hızında yapılan peletler basınç dayanımı ve dayanıklılık bakımından diğer piston hızlarında yapılanlara göre daha kaliteli bulunmuştur. Pelet boyunun artması pelet

kalitesini olumlu yönde etkilemiştir. Materyal parçacık boyutu küçüldükçe, sıkıştırma sırasında temas yüzeyi artmış ve daha iyi bir yapıştırma sağlanarak daha dayanıklı peletler elde edilmiştir.

Zamorano ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada zeytin ağacı, zeytin ağacı yaprakları, badem ağacı, kavak ve pırnal meşe ağaçları budama atıkları 6-8 mm aralığında öğütülmüş ve 8 mm çapında peletler elde edilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde zeytin ağacı yapraklarından yapılan peletler dışındaki diğer peletler yakın kalitede olup, zeytin ağacı yapraklarından yapılan peletlerin düşük kalitede olduğu görülmüştür. Yüksek nem içeriği, düşük pelet yoğunluğu ve pelet boylarının kısa olması peletlerin mukavemet dirençlerini düşürdüğü bildirilmiştir.

Celma ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada domates işleme tesislerinden çıkan domates biyokütle artıkları (başlıca kabuk ve tohum) kurutma işleminden sonra peletlenmiş ve 6 mm çapında peletler elde edilmiştir. Elde edilen peletlerin başta hayvan yemi olarak, likopen ekstraksiyonu ve hatta enerji üretiminde yakıt olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. Çalışmada denemeler, beş farklı nem içeriğinde (yaklaşık olarak %20, 25, 29, 34 ve 38) gerçekleştirilmiş ve peletleme makinesi olarak 50 kg/h kapasiteli düz kalıp dairesel sıralı makine kullanılmıştır. Çalışma sonunda peletlerin yığın ve parçacık yoğunluğunun, pelet sertliği ve dayanıklılığının hammadde nem içeriğinden önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir. Biyokütle başlangıç nem içeriğindeki belirli orandaki artışların (%67'ye kadar) meydana gelmesi peletlerin fiziksel özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlamış ve maksimum pelet yığın yoğunluğunda %50, pelet parçacık yoğunluğunda %18, pelet sertliğinde %3575 ve pelet dayanıklılığında ise %88 oranında artış meydana getirmiştir. Ancak, biyokütle nem içeriğinin %20'nin altında olması peletleme işleminin başarısız olmasına neden olmuş ve pelet fiziksel özelliklerini olumsuz etkilemiştir. En iyi peletleme işleminin gerçekleştirilebilmesi için biyokütle nem içeriğinin %34 civarında olması gerektiği belirtilmiştir. Peletlerin maksimum yığın yoğunluğunun 350 kg/m³ olduğu belirlenmiştir. Peletlerin dayanıklılığının, nem içeriğindeki artış ile arttığı ve %9.09 pelet nem içeriğinde %91,2 ile maksimum değere ulaştığı görülmüştür

Severoğlu (2010) yaptığı çalışmada geven (*Astragalus*), sığırkuyruğu (*Verbascum Thapsus*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerini peletleyerek diğer katı yakıtlara göre yanma özelliklerini araştırmayı amaçlanmıştır. Bu amaçla Taguchi Optimizasyon Metodunu kullanarak bitkilerimizi belirli oranlarda karıştırıp maksimum ısı değeri, düşük nem ve düşük kül içeren pelet yakıtı bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu nem, kül ve ısı değeri için ayrı ayrı optimum değerler bulunmuştur. Bu değerler arasında ısı değeri baz

alınarak nem ve kül için tahmini optimum değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan optimum değerler; ısı değer için 4526,05 cal, nem için %6,93 ve kül için %2,92'dir. Bu değerlerden peletin nem ve kül içeriklerinin düşük, kalorisinin ise, Türkiye'de mevcut konutların ısıtılmasında kullanılan yakacak maddelerinden prina, linyit, odun, talaş, hayvan ve bitki atıklarının kalorisinden fazla, tarımsal atıkların kalorisini düzeyinde olduğunu göstermektedir. Yapılan değerlendirmeler ışığında, biyokütle enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve yeni istihdam alanlarının yaratılması konusunda, Türkiye'de tarıma elverişli olmayan alanlarda enerji bitkisi olarak yetiştirilebilecek bitkilerin peletlenerek konut ısıtılmasında yakacak olarak kullanılması mümkün görünmektedir.

Yılmaz (2014) yürütülmüş olduğu çalışmada, tarımsal üretim alanlarından çıkan pamuk ve susam saplarının peletlenmesi amaçlanmıştır. Materyallerin peletlenmesi için 15 kW elektrik motor gücüne sahip, 70-100 kg/h kapasiteli, kalıp delik çıkış çapı 8 mm olan düz kalıp pres pelet makinesi kullanılmıştır. Denemelerde 3 farklı nem içeriğine sahip kurutulup-öğütülmüş pamuk ve susam sapları (pamuk sapı: %10,70 (P1), %15,13 (P2) ve %20,37 (P3), susam sapı: %10,67 (S1), %14,88 (S2) ve %20,22 (S3)) ve sıvı melas karışımı (15 kg hammadde + 1.125 kg melas (%7.5)) kullanılmıştır. Peletlerin kalitesi ile ilgili olarak fiziksel özellikleri (pelet hacim yoğunluğu, pelet parça yoğunluğu, dayanıklılık direnci, kırılma direnci, sıkıştırma direnci, gerilme direnci ve nem alma direnci) belirlenmiştir.

Çalışma sonunda, materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak ortalama 8.1-8.97 mm çap aralığında silindirik peletler elde edilmiştir. Peletlerin hacim ve parça yoğunluğu materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak sırası ile 430-717 kg/m³ ve 922-1368 kg/m³ arasında değişmiş ve nem içeriği arttıkça yoğunluk değerleri azalmıştır. Pamuk ve susam sapı peletlerinin fiziksel testler sonunda oldukça sağlam yapıya sahip oldukları görülmüş ve en yüksek değerler pamuk sapı için P1 ve susam sapı için ise S2 peletlerinde elde edilmiştir. Pelet makinesinin kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketimi değerleri ise, materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak, sırası ile 131-306 kg/h ve 18.40-22.64 kWh arasında değişmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılmış olan kenevir sapı; Samsunun Vezirköprü ilçesinin Narlısaray beldesinde denetimli kenevir üretim yapan üreticiden, çeltik kavuzları ile fındık zurufları Samsunun Terme ilçesinden pirinç üretimi yapan fabrikadan ve yerel fındık üreticisinden temin edilmiştir. Şekil 3.1’de kullanılacak materyallerin görünüşleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Kenevir sapı (a) fındık zuruflu (b) çeltik kavuzu (c) görünümü

Çalışmalar Samsun Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Enerji Tarımı Araştırma Merkezi Biyoyakıt ve Biyokütle Bölümlerinde yürütülmüştür.

Ham madde materyalleri 22 kW motor gücüne sahip 2.5 ton/ saat kapasitesi olan öğütme haznesinde 24 adet çekiç ve 2,4,6,8 eleklerine sahip Şekil 3.2’de verilmiş olan çekiçli değirmen kullanılarak öğütülmüştür.



Şekil 3.2. Çekiçli değirmen genel görünüşü ve öğütme ünitesi

Materyallerin peletlenmesinde pelet çapı 6 mm, motor gücü 3 kW, kapasitesi materyal çeşidine bağlı olarak 50-100 kg/h olan pelet boyu 10-40 mm arasında ayarlanabilen peletleme makinası kullanılmıştır (şekil 3.3).

Peletleme makinesi materyal deposu, dairesel sıralı delikli düz kalıp, sıkıştırma silindirleri, pelet boyu ayarlama nitesi ve elektrik kontrol panosundan oluşmaktadır. Kullanılan pelet kalıbı, düze kalıp olup dairesel sıralı deliklere sahiptir.



şekil 3.3. Pelet makinasının görünümü

Denemelerde kullanılan kenevir sapı, fındık zurufu ve eltik kavuzundan elde edilen peletlerin nem içeriklerinin belirlenmesinde Nüve FN 120 kurutma fırını (ETÜV) kullanılmıştır (şekil 3.4).



şekil 3.4. Kurutma fırını (Etüv) görünümü

Denemelerdeki pelet örneklerinin kül içeriklerinin belirlenmesinde Nüve MF 106 Kül fırını kullanılmıştır(Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kül fırını görünümü

Peletlerin elemental analiz değerleri, Thermo Scientific FLASH 2000 Serisi CHNS / O Analyzer cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.6). Teknik özellikleri açısından, yanma reaktörün sıcaklığı, organik ve inorganik maddelerin her ikisinin de daha ileri bir indirgenmeden sonra kromatografik kolonda ayrılan ve daha sonra da termal iletkenlik detektörüne ulaşan elementel gazlara dönüştüğü sıcaklık olan 1800°C'ye çıkmaktadır. Katı ve sıvı örneklerinin her ikisi için de en yüksek numune verimini sağlayan analiz hızını artıran ve kullanım kolaylığı sağlayan özellikler sunmaktadır. Bu cihazda analiz süresi: C, H, N ve S değerlerinin belirlenmesi için 10 dakika, Oksijen değerinin belirlenmesi için 5 dakikadır.



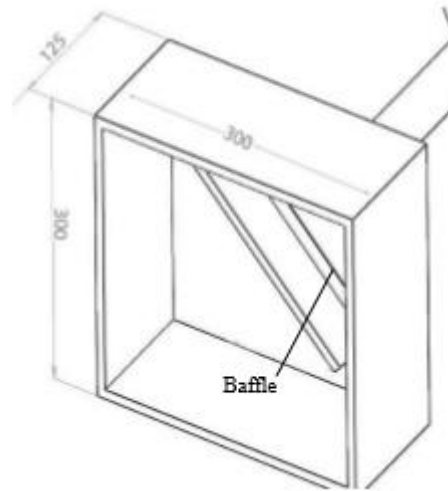
Şekil 3.6. Elemental analiz cihazı görünümü

Peletlerin alt ısıl değerleri, ASTM D 5865–04 standardına göre IKA marka C 200 model kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kalorimetre analizi için örnek hazırlamada IKA C 240 oksijen dolum makinası kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Kalorimetre cihazı ve oksijen dolum cihazının görünümü

Peletlerin dayanıklılık dirençleri EN 15210-1 (2009) standardına göre yapılmış olup; direnç değerleri, motor gücü 0,5 BG, motor redüktör devri 50 min⁻¹, peletlerin yerleştirileceği kafes ölçüleri 300x300x125 mm ve kafes iç merkezine çapraz simetrik olarak yerleştirilen 50 mm eninde, 230 mm uzunluğunda bir levhaya (baffle) sahip dayanıklılık test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Dayanıklılık test cihazı ve kafes görünümü

Baca gazı emisyon ölçümleri için Şekil 3.9’da verilmiş olan pelet sobası ve 5 adet elektrokimyasal sensöre sahip olan portatif gaz analizörü Optima7 kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Baca gazı test analiz cihazı ve pelet sobası görünümü

Peletlerin sıkıştırma direncinin belirlenmesinde 20 ton kapasiteli, üzerinde 20 tona kadar uygulanan yükleri ölçebilen yük hücresi (load cell) bulunan, valf ayarları değiştirilerek uygulama yükünün 0-20 ton arasında değiştirilebildiği ve uygulanan yüklerin anında bilgisayara aktarılıp izlenebildiği elektronik tip Mikrotest analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Sıkıştırma test analiz cihazı görünümü

Peletlerin nem alma dirençlerinin belirlenmesinde sıcaklık çalışma sınırları +10 - +60°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), nemli çalışma sınırları %20 - %95 ($\pm 5\%$), zaman ayarlı, maksimum güç

değeri 2,0 kW ve kullanılabilir hacmi 500 L olan iklimlendirme test kabini kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. İklimlendirme test kabini görünümü

Materyal ve pelet örneklerinin tartılmasında maksimum kapasitesi 200 g olan ve 0.01 g hassasiyetli elektronik terazi, kaba tartımlar için 1g hassasiyetli olan elektronik terazi ve pelet boyutlarının ölçümünde 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Teraziler ve kumpas görünümleri

3.2. Yöntem

3.2.1. Materyalin peletlenmeye hazırlanması ve peletlenmesi

Tarımsal üretim alanlarından toplanan kenevir sapları, fındık zurufu ve çeltik kavuzları deneme alanına getirilmiş. Çalışma alanına getirilmiş materyaller açık ortamda sert zemin üzerine serilmiş ve doğal olarak kurumaya bırakılmıştır. Çalışma öncesi yapılan ön denemelerde nem içerikleri % 13 ve üzeri durumlarda pelet oluşumu sağlanamamış dış yüzeyi çok kırılgan ve pürüzlü olduğundan dolayı yaklaşık üç günlük kurutma süresi sonunda materyal nem içerikleri ortalama %13 değerlerinin altına düşürülmüştür. Kurutma işleminden sonra materyaller 4 mm elek delik çapına sahip çekiçli değirmende öğütülerek peletleme işlemi için uygun boyutlara getirilmiş ve peletleme işlemine kadar hava almayacak şekilde kapalı çuvallar içinde depolanmıştır. Şekil 3.13’de ham maddelerin çekiçli değirmen sonrasındaki öğütülmüş görünümleri verilmiştir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 3.13. Öğütülmüş kenevir sapı (a), fındık zurufu (b) ve çeltik kavuzu (c)

Peletleme denemelerine geçmeden önce her bir materyalin ham maddelerinin nem içerikleri, kuru madde miktarları ve yoğunlukları belirlenmiş ve analiz işlemi için kapalı plastik kaplara depolanmıştır.

Deneme materyalleri ile peletleme işlemine geçmeden önce kenevir sapı, fındık zurufu ve çeltik kavuzu için 6 kg materyal ayarlanmıştır. Karışım oranları da 6 kg denk gelecek şekilde kenevir saplarının, fındık zurufunun ve çeltik kavuzu %30’a %70, %50’e %50, %70’e %30 oranlarında 6 farklı karışımları hazırlanarak toplam olarak 9 farklı pelet örneği için materyaller hazırlanmış ve kalın plastik çöp poşetlerinin içinde homojen olması için karıştırılarak bu örnekler peletlenmeye hazır hale getirilmiştir.

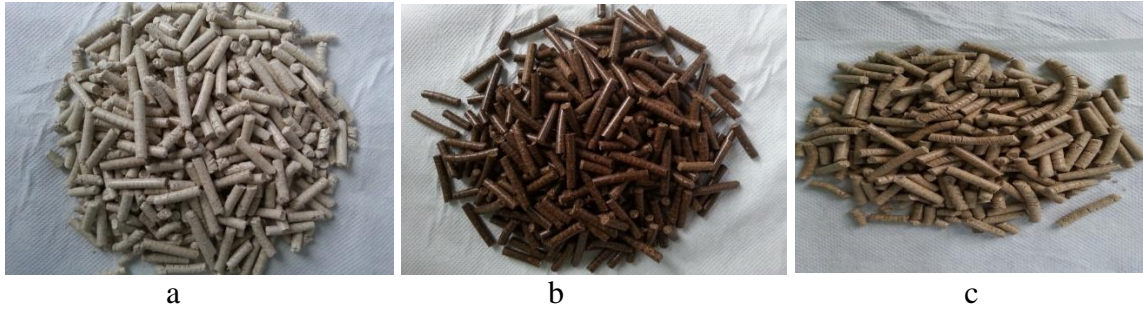
Karışım peletleri; kenevir sapı %30-fındık zurufu %70 Karışım 1, kenevir sapı %50-fındık zurufu %50 Karışım 2, kenevir sapı %70-fındık zurufu %30 Karışım 3, kenevir sapı %30-çeltik kavuzu %70 Karışım 4, kenevir sapı %50-çeltik kavuzu %50 Karışım 5 ve kenevir sapı %70-çeltik kavuzu %30 Karışım 6 olarak isimlendirilmiştir. Karışım peletlerin karışım oranlarına göre isimlendirilmesi ve kısaltmaları Çizelge 3.1.de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Karışım peletlerinin isimlendirilmesi

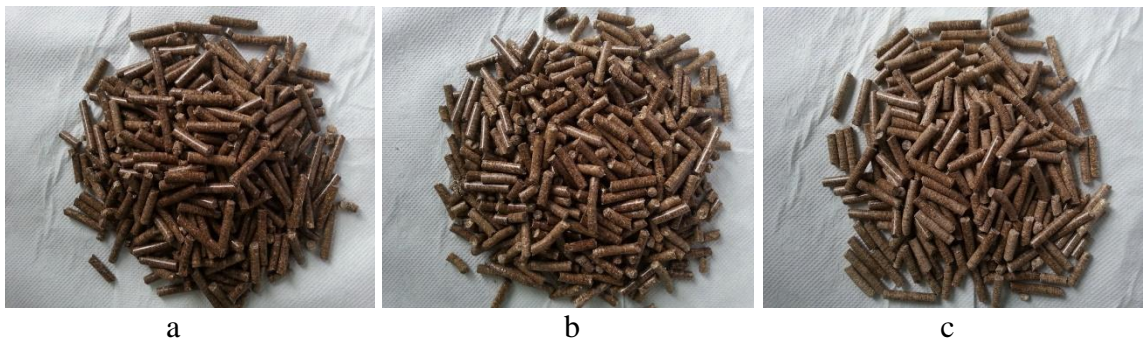
Karışım 1	Kenevir sapı %30-Fındık zurufu %70	K30F70
Karışım 2	Kenevir sapı %50-Fındık zurufu %50	K50F50
Karışım 3	Kenevir sapı %70-Fındık zurufu %30	K70F30
Karışım 4	Kenevir sapı %30-Çeltik kavuzu %70	K30Ç70
Karışım 5	Kenevir sapı %50-Çeltik kavuzu %50	K50Ç50
Karışım 6	Kenevir sapı %70-Çeltik kavuzu %30	K70Ç30

Kaliteli pelet üretimi için elde fazla miktarda kalan öğütülmüş fındık zuruflarından yaklaşık 15 dakika pelet makinasında çalışılarak kalıp ve disk sıcaklığının yaklaşık 70-80°C sıcaklığa yükseltilmiştir. Bu işlemden sonra deneme materyalleri pelet makinesinde kalıp ve diskin bulunduğu materyal deposuna sürekli olarak bir kürek yardımı ile elle beslenmiştir.

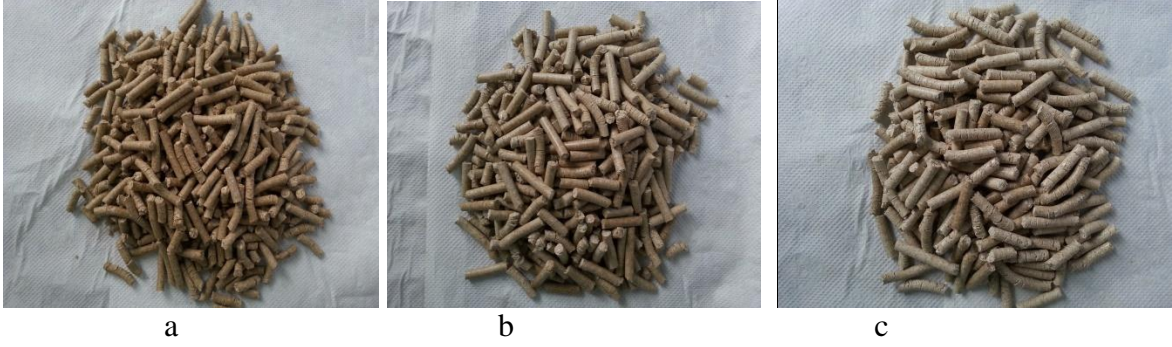
Üretilen peletlerin uzunluğu, ortalama 3-4 cm olacak şekilde, kalıp altında bulunan ve sıkıştırma diski ile birlikte dönen bir bıçak mekanizması ile ayarlanmıştır. Her materyal için peletleme işlemi bittikten hemen sonra sert zemin üzerinde çuvalların üstünde soğutulmaya bırakılmış ve soğuma işlemi tamamlandıktan sonra hava almayan plastik saklama kaplarına konulmuştur. Ayrıca her bir peletleme işlemi sonrası sıkıştırıcı diskin içinden bir sonraki örnek geçirilerek temizlenmiştir. Her bir deneme materyali için aynı işlemler tekrarlanmış ve peletleme denemeleri tamamlanmıştır. Elde edilen saf peletler Şekil 3.14'de, karışım peletler ise 3.15 ve 3.16'da görülmektedir.



Şekil 3.14. Elde edilen kenevir sapı (a), fındık zurufu (b) ve çeltik kavuzu (c) peletlerinin görünümü



Şekil 3.15. Elde edilen Karışım 1 (a) Karışım 2 (b) Karışım 3 (c) peletlerinin görünümü



Şekil 3.16. Elde edilen Karışım 4 (a) Karışım 5 (b) Karışım 6 (c) peletlerinin görünümü

3.2.2. Hammadde analizleri

3.2.2.1. Hammadde nem içeriği ve kuru madde miktarı

Hammaddelerin öğütme işlemi yapıp ve karışım oranları ayarlandıktan hemen sonra yaklaşık 50 gr örnekler kapalı kaplara alınmış, ham madde nem içeriği EN 14774-2 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Nem içeriklerinin belirlenmesi amacıyla alınan materyaller 1mm eleğe sahip olan öğütücüde elendikten sonra 105°C sıcaklıkta 24 saat kurutma fırınında (etüv) bekletilmiştir. Kurutulmadan önceki ve sonraki ölçülen kütleler aşağıdaki eşitlikte kullanılarak yaş bazda nem içerikleri belirlenmiştir.

$$Hn = \left[\frac{(m_{p2} - m_{p3})}{(m_{p2} - m_{p1})} \times 100 \right] \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

Hn : Hammadde nem içeriği (% y.b),

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

m_{p2} : Kurutma öncesi kuru örnek kabı ve örnek ağırlığı (g),

m_{p3} : Kurutma sonrası kuru örnek kabı ve örnek ağırlığıdır (g).

Hammaddenin toplam kuru madde miktarı ise;

% Kuru madde miktarı = 100 – Hn (yüzde nem miktarı) hesaplanarak bulunmuştur.

3.2.2.2. Ham madde yığın yoğunluğu

Ham maddenin hacim yoğunluğunu belirlemek için 50 L hacime sahip standart kap içerisine yaklaşık 200-300 mm yükseklikten bir koni oluşacak şekilde tam olarak ham madde doldurulmuştur (Şekil 3.17). Sonra, kap 3 kez yaklaşık olarak 150 mm yükseklikten serbest olarak sert zemin üzerine bırakılmış ve daha sonra, düz ve uzun bir ahşap malzeme ile kabın üst kısmındaki fazla materyal kap dışına taşınarak kabın üst kısmındaki daha büyük boşluklar doldurulmuştur. Ham madde yığın yoğunluğu kg/m^3 olarak aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$H_{yy} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

H_{yy} : Hammadde yığın yoğunluğu (kg/m^3),

m_1 : Boş kabın ağırlığı (kg),

m_2 : Hammadde dolu kabın ağırlığı (kg),

V : Kabın net hacmidir (m^3).



Şekil 3.17. Ham madde yığın yoğunluğunun belirlenmesi

3.2.3. Peletlerin fiziksel özellikleri ve testler

Pelet fiziksel özellikleri ile ilgili olarak peletlerin parça yoğunluğu, hacim yoğunluğu, nem içeriği, dayanıklılık direnci, sıkıştırma direnci, kırılma direnci, nem alma direnci değerleri belirlenmiştir. Fiziksel testler öncesinde peletler hava almayan kapalı plastik saklama kaplarında 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.

Pelet kalitesi ile ilgili bütün testler 3 tekerrürlü olarak yapılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.

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 12 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 vd 2006).

$$V_u = \frac{\pi d^2 l}{4} \quad (3.3)$$

$$P_u = m_u / V_u \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

V_u : Tek pelet hacmi (m^3),

d : Pelet çapı (m),

l : Pelet uzunluğu (m),

P_u : Pelet parça yoğunluğu (kg/m^3),

m_u : Tek pelet ağırlığıdır (kg).



Şekil 3.18. Pelet parça yoğunluğunun belirlenmesi

3.2.3.2. Pelet hacim yoğunluğu

Peletlerin hacim yoğunluğu EN 15103 standardına göre belirlenmiş test metoduna göre yapılmıştır. Bu yöntemde elde edilen peletler 5 L hacme (153 mm çap x 272 mm yükseklik) sahip kap içerisine yaklaşık 200-300 mm yükseklikten bir koni oluşacak şekilde tam olarak doldurulmuştur. Sonra, kap 3 kez yaklaşık olarak 150 mm yükseklikten serbest olarak sert zemin üzerine bırakılmıştır. Daha sonra, düz ve uzun bir ahşap malzeme ile kabın üst kısmındaki fazla peletler kap dışına taşınmış ve kabın üst kısmındaki daha büyük boşluklar doldurulmuştur. Pelet hacim yoğunluğu kg/m^3 olarak aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$P_{hy} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

P_{hy} : Pelet hacim yoğunluğu (kg/m^3),

m_1 : Boş kabın ağırlığı (kg),

m_2 : Pelet dolu kabın ağırlığı (kg),

V : Kabın net hacmidir (m^3).



Şekil 3.19. Pelet hacim yoğunluğunun belirlenmesi

3.2.3.4. Pelet dayanıklılık oranı

Peletlerin dayanıklılık direnci EN 15210-1 standardına göre belirlenmiştir. Pelet örnekleri 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek yardımı ile elenmiş ve 500 ± 10 g pelet örnekleri test cihazında kafes içerisine yerleştirilmiştir. Sonra, 10 dakika süreyle 50 ± 2 min⁻¹'da karıştırılarak sürekli olarak kafes içerisinde düşürülmüştür. Bu işlem her bir pelet örneği için 3 kez tekrarlanmıştır. Test sonrası peletler tamamen dışarı çıkarılmış ve 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek kullanılarak tekrar elenmiştir. Peletlerin dayanıklılık dirençleri aşağıdaki eşitlik yardımı ile yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

$$D_d = \frac{m_a}{m_e} \times 100 \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

D_d : Dayanıklılık direnci (%),

m_e : Test öncesi elenmiş pelet ağırlığı (g),

m_a : Test sonrası elenmiş pelet ağırlığıdır (g).



Şekil 3.20. Dayanıklılık direnci test sonrası görünümü

3.2.3.5. Pelet sıkıştırma direnci

Pelet sıkıştırma direnci, peletin kırılmadan (parçalanmadan) önceki dayanabileceği maksimum kırılma yükü olarak tanımlanmakta ve sıkıştırma testi yoluyla belirlenmiştir (Kaliyan ve Morey 2009). Bu testte, her pelet örneğinden 10 pelet ayrı ayrı iki plaka arasına

yerleştirilmiş ve yukarıdan tek yönlü sıkıştırma kuvveti uygulanmıştır. Uygulanan sıkıştırma kuvveti sabit oranda arttırılarak pelet kırılıncaya kadar devam ettirilmiştir ve uygulama yükleri (Newton olarak) test süresince grafik şeklinde bilgisayara aktarılmıştır. Peletlerin sıkıştırma direnci her bir pelet örneği için 10 adet pelet örneğinde gerçekleştirilmiştir ve 4 tekrarlı olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.21. Pelet sıkıştırma testi

3.2.3.6. Pelet kırılma oranı

Pelet kırılma direncinin belirlenmesin için peletler içerisinde rastgele seçilen 4 adet pelet 1.85 m yükseklikten sert zemine 4-5 kez düşürülmüştür. Test sonunda peletler 3.15 mm yuvarlak delik çaplı elek kullanılarak elenmiştir. Test süresince oluşan ağırlık kaybına bağlı olarak pelet kırılma direnci aşağıdaki eşitlikte belirtildiği gibi test sonrası pelet ağırlığının test öncesi pelet ağırlığına oranlanması yolu ile % olarak belirlenmiştir.

$$Kd = \frac{m_a}{m_e} \times 100 \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

F: Kırılma direnci (%),

m_e : Test öncesi elenmiş pelet ağırlığı (g),

m_a : Test sonrası elenmiş pelet ağırlığıdır (g)

3.2.3.7. Pelet nem alma oranı

Peletlerin nem alma dirençlerini pelet ağırlığındaki değişim yoluyla belirlemiştir Liu ve ark. (2013). Bu testte rastgele seçilen 5 pelet kurutma fırınında $105 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar (yaklaşık 24 h) bekletilmiş, kurutma sonrası peletler tartılarak ilk

ağırlıkları kaydedilmiştir. Peletler daha sonra 27°C sıcaklık ve %90 nem içeriğine sahip iklimlendirme kabiniinde 24 h süreyle bekletilmiştir. Test sonunda peletler iklimlendirme kabiniinden alındıktan sonra tekrar tartılmış ve peletlerin son ağırlıkları kaydedilmiştir. Peletlerin nem alma dirençleri aşağıdaki eşitlik yardımı ile yüzde (%) olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$P_a = \frac{(m_f - m_i)}{m_i} \times 100 \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

P_a : Pelet örneklerinin nem alması (%),

m_i : Pelet örneklerinin ilk ağırlıkları (g),

m_f : Pelet örneklerinin son ağırlıklarıdır (g).

3.2.4. Peletlerin kimyasal özellikleri ve testler

Pelet kimyasal özellikleri ile ilgili olarak peletlerin ısı değeri, kül içeriği, baca bazı emisyon değerleri (O_2 , CO_2 , CO , SO_2 ve NO_2) ve elemental içerikleri (C, H, N, S ve O) belirlenmiştir. Kimyasal testler öncesinde peletler hava almayan kapalı plastik saklama kaplarında oda koşullarında bekletilmiştir. Isıl değerler, elemental analizler ve kül içeriği analizleri için pelet örnekleri kilitli torbalara alınmış ve laboratuvara getirilmiştir.

3.2.4.1. Pelet ısı değeri

Peletlerin alt ısı değeri, EN 14918 standardına göre kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Test öncesi peletler bir parçalayıcıda parçalanıp 1 mm elekten geçirildikten sonra 24 saat 105 °C’ de bekletilerek içerisindeki nem uzaklaştırılmıştır. 0,5-1 g ağırlığındaki kurutulmuş örnekler standart koşullarda bir kalorimetre cihazının bir parçası olan yakıt bombasında oksijen ortamında yakılıp, kalorimetre kabı içindeki suyun sıcaklık derecesinin artışına ve sistemin ortalama gerçek ısı sığasına göre ısı değeri otomatik olarak cihaz tarafından cal/g cinsinden sonuçlar tayin edilmiştir.

3.2.4.2. Pelet kül içeriği

Peletlerin kül içerikleri, EN14775 standardına göre kül fırını kullanılarak tayin edilmiştir. Porselen krezeler 575±25°C’ de kül fırınında minimum 4 saat bekletilmiştir. Daha sonra desikatöre alınmış, soğutulmuş ve tartımları yapılmıştır. Tekrar kül fırınına yerleştirilmiş ve sabit ağırlığa gelmesi beklenmiştir. Porselen krezeler sabit ağırlığa ulaşınca 1’er g olarak hazırlanmış örnekler (etüvde kurutulmuş) tartılmış ve fırına yerleştirilmiştir. Fırın sıcaklığı belli bir artış programına göre yükseltilmiştir

Sıcaklık artış programı:

Fırın sıcaklığı oda sıcaklığından 105 °C'ye yükseltilip ve bu sıcaklıkta 12 dk bekletilmiştir.

Sıcaklık 10 °C/dk artışla 250 °C'ye yükseltilip ve bu sıcaklıkta 30 dakika bekletilmiştir.

Sıcaklık 20 °C/dk artışla 575°C'ye yükseltilmiş ve bu sıcaklıkta 180 dk bekletildikten sonra sıcaklığın 105 °C ye düşmesi beklenmiş ve krozeler desikatöre alınarak soğutulup tartımları yapılmıştır. Kül içerikleri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%Kül = \frac{Ağırlık_{Kroze+Kül} - Ağırlık_{Kroze}}{Ağırlık_{Kuru örnek}} \times 100 \quad (3.9)$$

3.2.3.3. Pelet nem içeriği

Peletlerin nem içeriği EN 14774-2 (2009) standardına göre belirlenmiştir. İlk önce, örnek kapları tartılmış ve daraları kaydedilmiştir. Peletlerin nem içeriklerinin belirlenmesi amacıyla alınan materyaller 1mm eleğe sahip olan öğütücüde geçirildikten sonra örnekleri sabit ağırlığa gelinceye kadar 105°C sıcaklıkta 24 saat kurutma fırınında (etüv) kurutulmuştur. Daha sonra, kurutma fırınından alınan örneklerin desikatörde soğuması beklenmiştir. Kurutulmadan önceki ve sonraki ölçülen ağırlıklar formül (3.1) kullanılarak yaş bazda nem içerikleri belirlenmiştir.

3.2.4.3. Pelet baca gazı emisyonu

Emisyon ölçümleri, çeşitli faaliyetler sonucu oluşan ve atmosfere atılan atık gazların ölçümünü içermektedir. Baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla peletler özel yapım pelet sobasının yakıt deposuna boşaltılmış. Ateşlenme ve tam yanma gerçekleştiğinden yanma sonucu oluşan baca gazı emisyon değerleri (O₂(%), CO(ppm), CO₂(%), NO(ppm), NO_x(ppm), SO₂ (ppm)) gaz analizörü ile birer dakika aralıklarla 3 okuma yapılarak ölçülmüştür. Denemelerde cihazın ölçüm algılayıcısı kazan baca borusu üzerine kazan çıkışından yaklaşık 1 m uzağına açılan deliğe yerleştirilmiştir (Şekil 3.22). Algılayıcı, uç noktası boru kesitinin merkezine gelecek kadar delikten içeriye sokulmuştur. Bu işlem her pelet örneği için ayrı ayrı pelet sobasının deposu ve yanma haznesi temizlenerek tekrarlanmıştır.



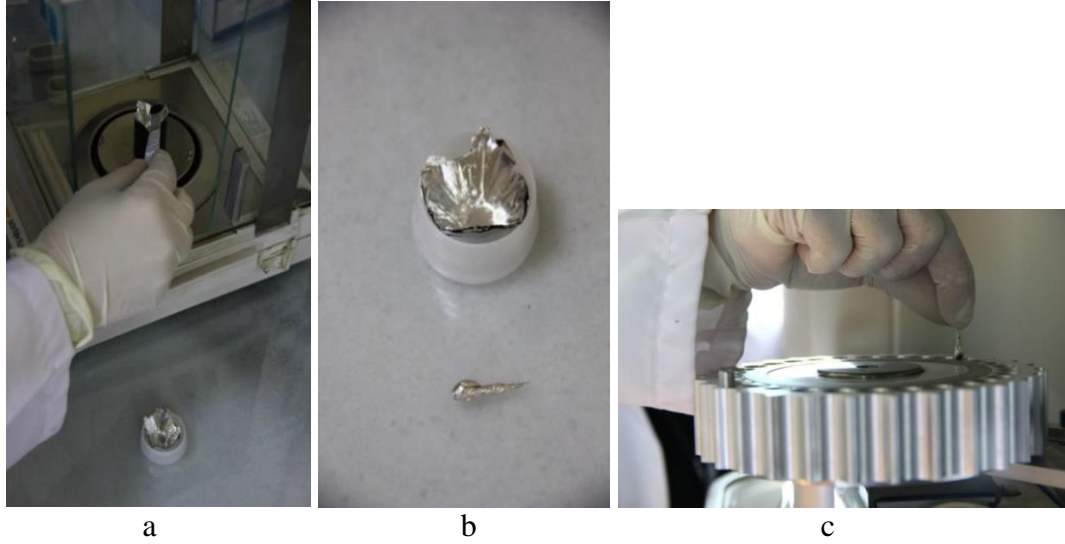
Şekil 3.22. Baca gazı ölçüm cihazı algılayıcısının soba üzerine yerleştirilmesi

Ölçümlere başlamadan önce, 25699 sayılı Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde (Anonim 2017) yer alan katı yakma tesisleri ve odun ve bitkisel atıkların yakılması ile ilgili olarak verilen hacimce oksijen içeriği referans değeri olan %13 cihaza girilmiştir.

3.2.4.4. Pelet elementel analizi

Peletlerin elemental analizi sonucunda karbon(C), hidrojen(H), kükürt (S), azot (N), oksijen (O) içerikleri analiz edilmiştir. Elemental içerik kütlece yüzde olarak tespit edilmektedir. Karbon; biyokütlenin organik ve mineral karbonat formunu, Hidrojen biyokütlerdeki organik maddeleri ve su buharını, Azot içeriği tamamen organik yapıyı temsil etmektedir. Taşıyıcı gaz olarak Helyum, pnömatik akışı sağlayacak gaz olarak Azot veya kuru hava gazları (%99,99 saflıkta) kullanılmaktadır. Elemental analiz sonuçları yanma için gerekli hava miktarının, yanma gazı bileşimi ve hacminin hesaplanmasında kullanıldığı için biyokütle karakterizasyonunda önemli olan özelliklerdir.

Analizin sırasında öncelikle blank (boş) analiz ile cihaz şartlandırılmaktadır. Stabilitate sağlandığında birbirine yakın 3 blank değeri seçilmektedir. Seçilen metoda uygun sertifikalı malzeme ile analiz işlemine geçilmektedir. Tartım işlemi kalay kaplara yapılmakta ve numune kabı pensler yardımıyla hava kabarcığı olmayacak şekilde bükülmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Elemental analizi örnek hazırlama (a,b,c) görünümü

Örnekler cihazın autosampler kısmına bırakılmaktadır. Şekil 3.23’de örnek hazırlanışlarından (a: Kalaylı kaplara örnek tartımı işlemi, b: Tartım sonrası kapların bükülmesi işlemi, c: Numunenin cihaza yerleştirilmesi işlemi) kesitler görülmektedir. Numunenin bırakıldığı autosampler numarası ile bilgisayar ekranında görülen location numarası aynı olmalıdır. Öğütülmüş numuneden yapılan tartımlar cihazda isimlerinin karşısındaki bölümlerine yazılmaktadır. Kontrol sonrasında Analiz butonu tıklanarak analiz başlatılmaktadır. Her bir materyal için yaklaşık analiz süresi 8-10 dk aralığında otomatik olarak sonuçlanmakta ve sonuçlar yüzde içerikleri olarak verilmektedir.

3.2.4.5. İstatistik analizler

Tez çalışmasında kullanılmış olan biyokütle ve pelet örnekleri analizleri 3’er tekerrür olarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıkların düzeyinin belirlenmesinde varyans analizi ve farklı grupların saptanması amacıyla JMP 5.0.1 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Hammadde Özellikleri

Kenevir sapı, fındık zurufu ve çeltik sapı hammaddeleri ve bunlardan oluşturulan karışımların ortam şartlarında kurutma işlemlerinden sonraki nem miktarı, kuru madde miktarı ve yığın yoğunlukları ile varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hammaddelerin nem içerikleri, kuru madde içerikleri ve yığın yoğunlukları sonuçları

Materyal	Nem İçeriği (%)	Kuru Madde Miktarı (%)	Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)
Fındık zurufu	13,0 ^a	87,0 ^h	258,3 ^a
Karışım 1	11,4 ^b	88,6 ^g	212,7 ^b
Karışım 2	11,1 ^c	88,9 ^f	186,0 ^d
Karışım 3	10,1 ^e	89,9 ^d	163,6^f
Çeltik kavuzu	10,7 ^d	89,3 ^e	193,1 ^c
Karışım 4	9,8 ^f	90,2 ^c	181,6 ^e
Karışım 5	9,6 ^g	90,4 ^b	164,1^f
Karışım 6	9,2^h	90,8^a	154,1 ^g
Kenevir sapı	9,2^h	90,8^a	138,8 ^h
Önemlilik	**	**	**

**Aynı sütundaki aynı harfi taşımayan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir (P<0.05).

* Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05).

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi hammaddelerin nem içerikleri, kuru madde miktarları ve yığın yoğunlukları arasındaki farklılıklar aynı sütunda yer alan ve koyu olarak işaretlenmiş örnekler hariç istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.1. incelendiğinde ana materyalin ve karışımlarının peletlenme işlemi uygulanmadan önceki istenilen nem miktarlarına düşürüldüğü görülmüştür. En düşük nem içeriğine sahip olan materyal % 9,2 ile kenevir sapı bulunmuşken en yüksek nem içeriğine sahip materyal %13 ile fındık zurufunda bulunmuştur. Nem içeriklerine bağlı olarak kuru madde miktarları da paralellik göstermiştir.

Materyallerin yığın yoğunluğu incelendiğinde en yüksek değeri 258,3 kg/m³ ile fındık zurufu en düşük değeri 138,8 kg/m³ kenevir sapı materyali bulunmuştur ve nem içerikleriyle paralellik göstermişlerdir.

4.2. Pelet Fiziksel Özellikleri

4.2.1. Pelet hacim ve parça yoğunluğu

Kenevir sapı, fındık zurufu, çeltik kavuzu ve bunların karışımlarından elde edilen peletlerin hacim ve parça yoğunluk değerleri ile çap ve uzunluk değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.2’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Peletlerin hacim ve parça yoğunluk, çap, uzunluk ve ağırlık değerleri

Materyal	Pelet Hacim Yoğunluğu (kg/m ³)	Pelet Parça Yoğunluğu (kg/m ³)	Ağırlık (g)	Çap (mm)	Uzunluk (mm)
Fındık zurufu	730,5 ^a	1304,9 ^a	1,31 ^a	6,05 ^b	35,05 ^a
Karışım1	710,7 ^b	1318,1 ^a	1,29 ^{ab}	6,06 ^{ab}	34,03 ^{ab}
Karışım2	698,6 ^c	1317,0 ^a	1,21 ^{abcd}	6,06 ^{ab}	31,82 ^{bc}
Karışım3	670,9 ^d	1306,8 ^a	1,20 ^{bcd}	6,04 ^b	31,91 ^{bc}
Çeltik kavuzu	623,2 ^e	1331,9 ^a	1,24 ^{abc}	6,05 ^b	32,52 ^{bc}
Karışım4	547,1 ^g	1239,3 ^{ab}	1,12 ^d	6,06 ^{ab}	31,26 ^{cd}
Karışım5	532,2 ^h	1317,1 ^a	1,11 ^d	6,09 ^a	29,10 ^d
Karışım6	511,9 ⁱ	1137,4 ^b	1,15 ^{cd}	6,09 ^a	34,86 ^a
Kenevir sapı	573,5 ^f	1146,6 ^b	1,14 ^{cd}	6,07 ^{ab}	34,16 ^{ab}
Önemlilik	**	*	**	**	**

**Aynı sütündeki aynı harfi taşımayan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir (P<0.05).

* Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir (P>0.05).

Çizelge 4.2’te görüldüğü gibi bütün pelet çeşitleri için saptanmış olan hacim yoğunluğu değerlerinin arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunurken (P<0.05)., parça yoğunluğu değerleri arasındaki farklılıklar ise önemsiz bulunmuştur (P>0.05).

Peletler ve karışımları için en yüksek hacimsel yoğunluk fındık zurufu peletinde, en düşük hacimsel yoğunluk ise karışım 6 peletinde elde edilmiştir. Karışım peletleri incelendiğinde fındık zurufu oranı azaldıkça hacimsel yoğunluk değerinde de azalmalar görülmüştür. Tüm karışım peletlerine ilişkin hacimsel ve parça yoğunlukları incelendiğinde kenevir oranının artmasıyla bu değerlerde düşüş olduğu saptanmıştır.

Peletlerin parça yoğunluğu istatistiksel olarak önemsiz bulunmasına rağmen en yüksek parça yoğunluğu çeltik kavuzu peletinde, en düşük parça yoğunluğu karışım 6 peletinde görülmüştür.

Avrupa Pelet Konseyi tarafından pelet kalitesi ile ilgili standartlarda yoğunluk olarak hacim yoğunluğu, pelet çapı ve pelet uzunluğu ölçüt olarak dikkate alınmıştır.

Konsey tarafından belirlenen ENplus-A1, Enplus-A2 ve EN-B sınıfı pelet standartlarında pelet hacim yoğunluğunun $\geq 600 \text{ kg/m}^3$, pelet uzunluğunun ise 3.15-40 mm arasında olması gerektiği belirtilmiştir (EN 14961-2 2013). Her ne kadar Avrupa Pelet Konseyi tarafından verilen standartlar odun peletini içerse de farklı karışımlarından elde edilen peletlerde hacim yoğunluğu açısından fındık zurufu, çeltik kavuzu ve karışım1,2,3 peletlerinin, pelet uzunluğu açısından ise tüm peletlerin standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

4.2.2. Pelet dayanıklılık ve kırılma oranları

Dayanıklılık oranı peletlerin özellikle mekanik ya da pnömatik sistemlerle taşınma özelliklerinin tanımlanması açısından önemlidir ve dayanıklılık direnci testleri imalat sanayisinde sıkıştırma işleminin, dolayısı ile pelet kalitesinin kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır. İmalat sanayisinde yüksek dayanıklılık direncine sahip peletler yüksek kaliteli peletler olarak tanımlanmaktadır (Kaliyan ve Morey 2009).

Kırılma oranı (darbe direnci ya da düşme direnci) peletlerin özellikle nakliye araçlarından boşaltılması ya da ambalaj paketlerine doldurulması esnasında karşılaşılan kuvvetlerin simülasyonu için yapılmaktadır (Kaliyan ve Morey 2009). Pietsch (2002) pelet üretiminin güvenli yüksekliğini belirlemede düşürme testlerinin kullanılabileceğini belirtmiştir. Peletlerin dayanıklılık ve kırılma direnci değerleri ve varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Peletlerin dayanıklılık ve kırılma oranları ve varyans analizi sonuçları

Materyal	Dayanıklılık Oranı (%)	Kırılma Oranı (%)
Fındık zurufu	99,09 ^a	99,84 ^{ab}
Karışım 1	98,81 ^b	99,78 ^b
Karışım 2	98,10 ^c	99,78 ^b
Karışım 3	97,14 ^f	99,63 ^d
Çeltik kavuzu	97,41 ^d	99,90 ^a
Karışım 4	97,29 ^e	99,79 ^b
Karışım 5	96,84 ^g	99,72 ^c
Karışım 6	96,38 ^h	99,66 ^{cd}
Kenevir sapı	94,01 ^l	99,33 ^e
Önemlilik	**	**

** Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

* Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemsizdir.

Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi saf ve karışım olarak üretilen peletlerin dayanıklılık oranları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). En yüksek dayanıklılık oranı %99,09 ile fındık zurufu peletinde bulunurken en düşük değeri %94,01

sonucu ile kenevir sapı peletinde saptanmıştır. Karışım peletlerinde saptanan değerler incelendiğinde bu değerlerin ana materyallerin sonuçları ile paralellik gösterdiği ve kenevir sapının oranının artmasıyla peletlerde dayanıklılık Oranlarında azalma olduğu görülmüştür.

Miranda ve ark. (2011) ve Miranda ve ark. (2012) pelet nem içeriğinin artmasının pelet dayanıklılık direncini düşürdüğünü ve denemelerde kullanılan materyal çeşitlerine, karışım oranlarına ve pelet nem içeriğine bağlı olarak dayanıklılık oranının %85.83-%97.08 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Dayanıklılık oranı için elde edilen sonuçlar Miranda ve ark. (2011) Miranda ve ark. (2012), Liu ve ark. (2013), tarafından elde edilen sonuçlarla paralellik göstermiş ve çoğunlukla literatür değerlerinin üzerinde bulunmuştur.

Peletlerin kırılma oranları incelendiğinde ise farklılıkların karışım 1, 2 ve 4 peletleri için istatistiksel olarak önemsiz olduğu ($P>0.05$) diğer peletler için istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P<0.05$). En yüksek kırılma direnci %99,9 ile çeltik kavuzu peletinde, en düşük değeri ise %99,3 ile kenevir sapı peletinde saptanmıştır.

Avrupa Pelet Konseyi ENplus-A1 ve ENplus-A2 sınıfı pelet standartlarında odun peletlerinin dayanıklılık direncinin $\geq 97,5$ EN-B sınıfı pelet standartlarında ise $\geq 96,5$ olması gerektiği belirtilmiştir. Avrupa Pelet Konseyi'nin açıklamış olduğu standartlar dikkate alındığında fındık zurufu, karışım 1 ve karışım 2 peletlerinin dayanıklılık direncine göre ENplus-A1 ve ENplus-A2 standartlara, çeltik kavuzu, karışım 3, karışım 4 ve karışım 5 peletlerinin ise EN-B sınıfı pelet standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir. Kenevir sapı peleti ve karışım 6 peletlerinin dayanıklılık direnci açısından Avrupa Birliği standartlarına uygun olmadığı görülmüştür.

Saf halde olan materyallerin peletlerinin kırılma testi öncesi ve test sonrası görünüşleri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilmiştir.



a

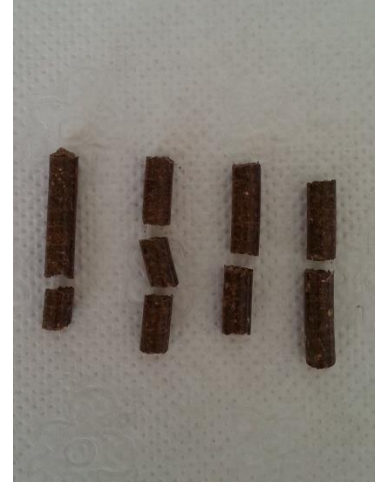


b

Şekil 4.1. Kenevir sapı peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görünüşleri



a



b

Şekil 4.2. Fındık zurufu peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görünümüleri



a



b

Şekil 4.3. Çeltik kavuzu peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görünümüleri

Kenevir sapı, fındık zurufu ve çeltik kavuzu peletlerinin kırılma testi öncesi ve sonrası görünümüleri incelendiğinde peletlerde kırılmalar meydana geldiği ve en fazla kırılmanın kenevir sapı peletlerinde 2'ye ve 3'e bölünmeler halinde olduğu tespit edilmiştir. Peletlerin dayanıklılıklarının artması peletlerin sert bir yüzeye çarpmaları sonucu oluşan kırılmaları az da olsa önlemiştir. Test sonunda, kırılan parçalar 3.15 mm yuvarlak delikli elek üzerinde kaldığı için kayıp olarak değerlendirilmediğinden kırılma direnci değerleri oldukça yüksek elde edilmiştir.

Kenevir sapı ve fındık zurufu karışım peletlerinin kırılma testi öncesi ve test sonrası görünümüleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



a



b

Şekil 4.4. Karışım 1 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görünüşleri



a



b

Şekil 4.5. Karışım 2 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görünüşleri



a



b

Şekil 4.6. Karışım 3 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görünüşleri

Kenevir sapı ve Çeltik kavuzu karışım peletlerinin kırılma testi öncesi ve test sonrası görüntüleri Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.



a



b

Şekil 4.7. Karışım 4 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri



a



b

Şekil 4.8. Karışım 5 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri



a



b

Şekil 4.9. Karışım 6 peleti kırılma testi öncesi (a) ve test sonrası (b) görüntüleri

Karışımlardan elde edilen peletlerin kırılma testi öncesi ve sonrası görünüşleri incelendiğinde tüm pelet örneklerinin kırılarak 2 ya da 3 parçaya ayrıldığı görülmüş, ancak kırılan parçalar 3.15 mm yuvarlak delikli elek üzerinde kaldığından kayıp olarak değerlendirilmemiştir. Ayrıca peletlerde kırılma direnci testi sonrası neredeyse kayıp meydana gelmediği, özellikle karışım peletlerinin kırılma oranı değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüş 2 ve 3 parçaya ayrılmanın pelet uzunluğunun artması ve buna bağlı olarak da parçalanmanın artmasına sebep olduğu söylenebilir.

4.2.3 Pelet sıkıştırma direnci ve nem alma oranı

Sıkıştırma direnci testi, peletlerin ambalaj paketleri veya silolarda depolanması, taşıma ve nakliye süresince üstteki peletlerin alttaki peletlere uygulamış olduğu yüklerin simülasyonu için yapılmaktadır (Kaliyan ve Morey 2009).

Kenevir, fındık, çeltik atıkları ve karışım haldeki peletlerinin sıkıştırma direnci ve nem alma direnci değerleri ve bunlarla ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Peletlerin sıkıştırma direnci ve nem alma direnci değerleri ve varyans analizi sonuçları

Materyal	Sıkıştırma Direnci (N)	Nem Alma Direnci (%)
Fındık zurufu	3274,3 ^a	10,55 ^c
Karışım 1	2946,7 ^b	10,66 ^c
Karışım 2	2929,3 ^b	10,33 ^c
Karışım 3	2419,2 ^c	9,80 ^d
Çeltik kavuzu	2868,6 ^b	9,86 ^d
Karışım 4	2774,8 ^b	11,45 ^b
Karışım 5	2221,0 ^{cd}	11,42 ^b
Karışım 6	2003,9 ^d	11,85 ^a
Kenevir sapı	2182,3 ^{cd}	11,72 ^{ab}
Önemlilik	**	**

**Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

*Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemsizdir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde materyallerin ve karışım peletlerinin sıkıştırma dirençleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir ($P < 0.05$). Ancak karışım 1, karışım 2, çeltik kavuzu ve karışım 4 peletlerinin sıkıştırma dirençleri arasındaki farklılıklar önemsiz olarak saptanmıştır. Aynı şekilde karışım 5 ve kenevir sapı peletlerinin sıkıştırma dirençleri arasındaki farklılıklarda birbirleri içerisinde önemsiz bulunmuştur

($P>0.05$). Sıkıştırma dirençlerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde kenevir sapı oranının artışıyla hem findık zurufu ile olan karışım peletlerinde (1, 2 ve 3) hemde çeltik kavuzu ile yapılan karışım peletlerinde (4, 5 ve 6) bu değerin azaldığı görülmektedir.

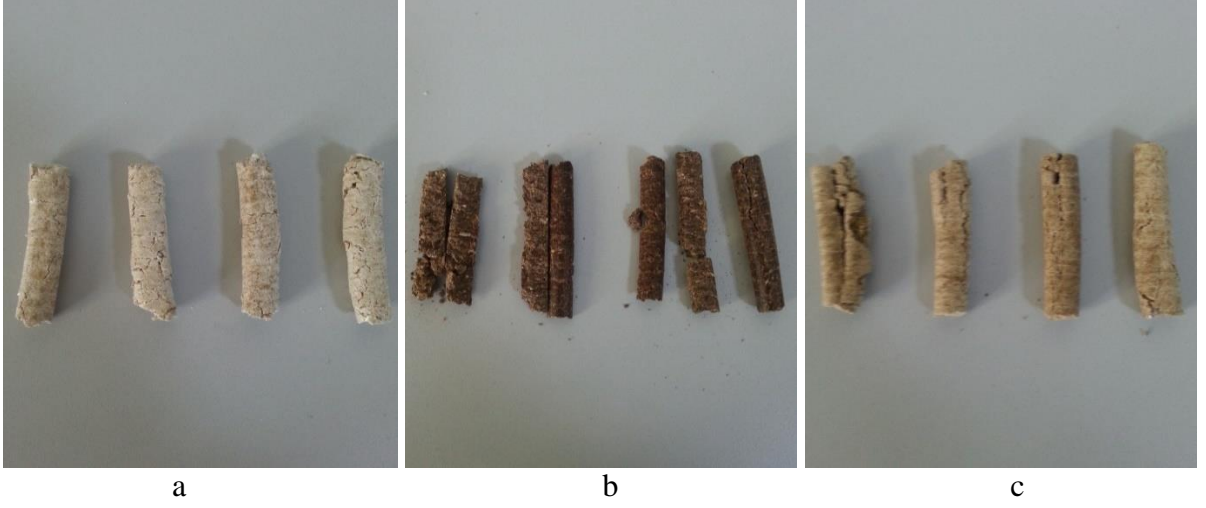
Sertlik değeri en yüksek olan pelet yüksek kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Celma ve ark. 2012). Zamaroni ve ark. (2011), materyal nem içeriğinin artmasının pelet yoğunluğunu düşürdüğünü ve buna bağlı olarak peletlerin dirençlerinin azaldığını belirtmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında sıkıştırma direnci açısından en yüksek kaliteli peletin 3274,3 N direnç ile findık zurufu peleti olduğu, en düşük kaliteli peletin ise 2003,6 N direnç ile karışım 6 peleti olduğu belirlenmiştir. Peletlerin sıkıştırma testi sonucunda oluşan kuvvet-zaman test grafikleri EK-A da gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde materyallerin ve karışım peletlerinin nem alma oranları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P<0.05$). Ancak findık zurufu, karışım 1, karışım 2 peletlerinin nem alma direnci değerleri arasındaki farklılıklar önemsiz olarak saptanmıştır. Aynı şekilde çeltik kavuzu ile karışım 3 peletleri ve karışım 4 ile karışım 5 peletleri arasındaki farklılıklarda istatistiksel olarak kendi aralarında önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$). Test sonunda peletlerin nem alma durumu açısından en düşük nemi % 9,8 ile karışım 3 peleti, en yüksek nemi ise %11,85 ile karışım 6 peleti almıştır.

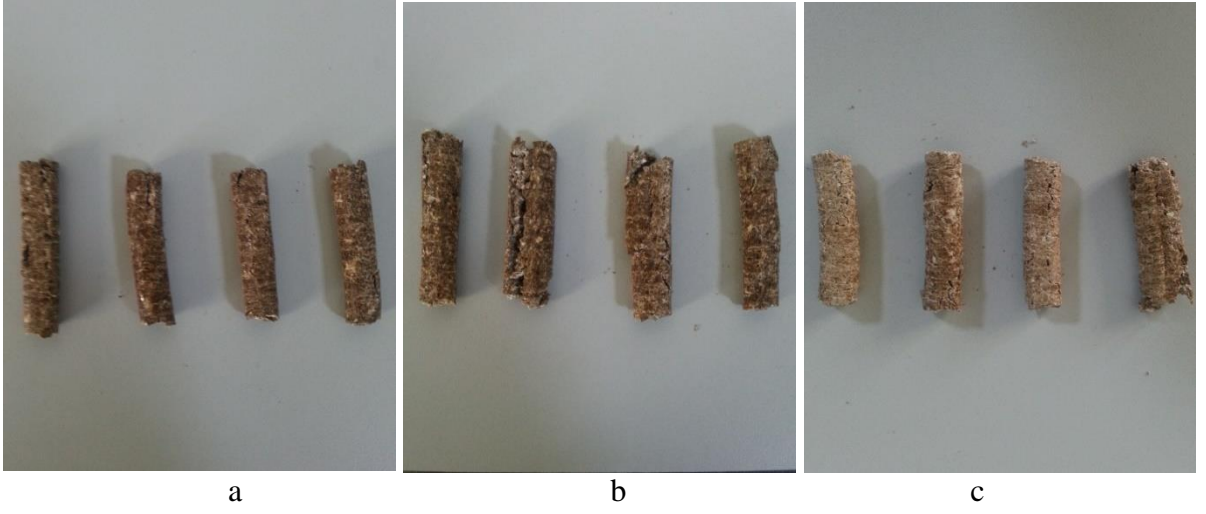
Liu ve ark. (2013) peletlerin dayanıklılık direncinin artışıyla iklimlendirme kabiniinde bünyelerine daha az nem aldıklarını belirlemişlerdir. Liu vd (2013) tarafından elde edilen sonuçlarla paralellik göstermiştir.

Peletlerin nem alma oranları genel olarak incelendiğinde depolama koşullarındaki nem ve sıcaklık değerleri ile pelet nem içeriğine bağlı olarak yüksek nemli peletler düşük nemli ortamlarda nem kaybederken, yüksek nemli ortamlarda az da nem almıştır. Ancak, düşük nem içeriğine sahip peletlerin ortam nemi arttıkça nem alma durumlarının arttığı belirlenmiştir. Yine de elde edilen peletlerin neme karşı dayanımların oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Yine de uzun depolama sürelerinde peletler yüksek neme maruz bırakılmamalı ve suyla temas ettirilmemelidir. Nemin ve suyun oluşturacağı olumsuz özelliklerin önüne geçmek için peletlerin iyi bir şekilde ambalajlanması gerekmektedir.

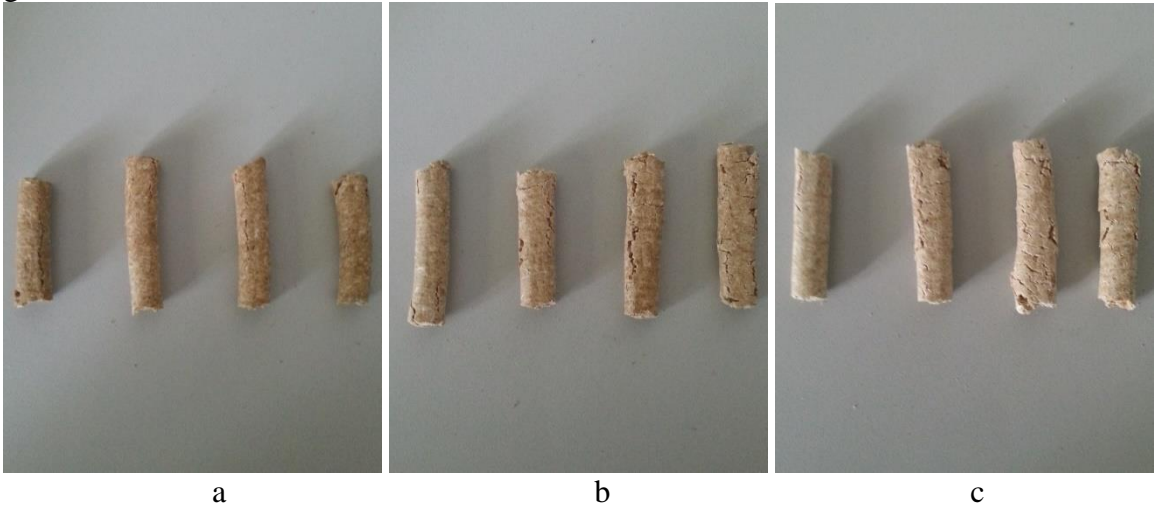
Peletlerin sıkıştırma direnci testi sonrası görünüşleri Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12'de verilmiştir. Bu testler sırasında elde edilmiş olan ve zamana bağlı olarak uygulanan kuvvetin değişimini gösteren grafikler ise EK A' da verilmiştir.



Şekil 4.10. Kenevir (a), fındık (b), çeltik (c) peleti sıkıştırma direnci test sonrası görünümleri



Şekil 4.11. Karışım 1 (a), karışım 2 (b), karışım 3 (c) peleti sıkıştırma direnci test sonrası görünümleri



Şekil 4.12. Karışım 4 (a), karışım 5 (b), karışım 6 (c) peleti sıkıştırma direnci test sonrası görünümleri

Şekillerden de görüldüğü gibi, test sonrası içinde kenevir olan peletlerin orta noktasından uzunlamasına ezildikleri, çeltik ve fındık zurufu peletlerinin ise bazılarında ezilme ile birlikte uzunlamasına kırıldıklarının olduğu görülmüştür. Bunların sebebinin nem içeriklerinin düşük olması olduğu ve nem içeriği diğerlerinden fazla olan numunelerde uzunlamasına kırılmalarından olmayıp ezilerek çatlamaların oluştuğu saptanmıştır.

4.3. Peletlerin kimyasal özellikleri

4.3.1. Pelet nem içeriği, ısı değer ve kül içeriği

Kenevir sapı, fındık zurufu, çeltik kavuzu ve bunların karışımlarıyla elde edilen peletlerin peletleme makinasından çıktıktan ve kapalı kaptaki koşullarından bekledikten sonra yapılan nem içerikleri, ısı değerleri ve kül miktarları bu değerlere ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.5, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te verilmiştir.

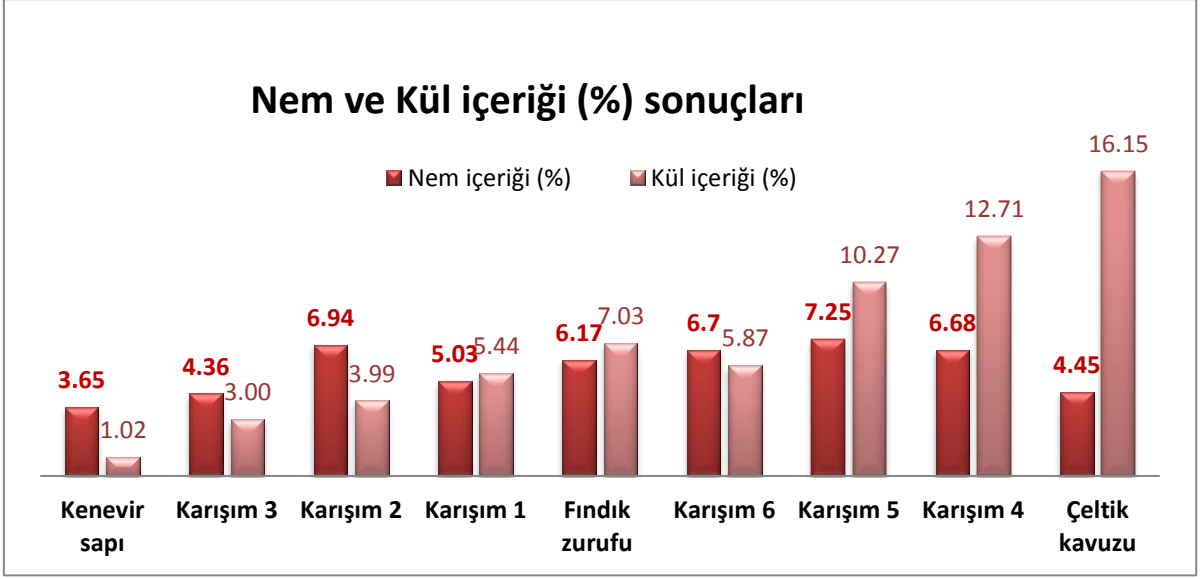
Çizelge 4.5. Peletlerin nem içeriği, ısı değeri ve kül içeriği ile varyans analiz sonuçları

Materyal	Nem içeriği (%)	Isıl değer (cal/g)	Kül içeriği (%)
Kenevir sapı	3,65 ^g	4455,3 ^a	1,02 ^l
Karışım 3	4,36 ^f	4423,7 ^b	3,00 ^h
Karışım 2	6,94 ^b	4413,7 ^c	3,99 ^g
Karışım 1	5,03 ^e	4301,3 ^d	5,44 ^f
Fındık zurufu	6,17 ^d	4263,7 ^e	7,03 ^d
Karışım 6	6,70 ^c	4189,3 ^f	5,87 ^e
Karışım 5	7,25 ^a	4066,3 ^g	10,27 ^c
Karışım 4	6,68 ^c	3914,0 ^h	12,71 ^b
Çeltik kavuzu	4,45 ^f	3810,3 ^l	16,15 ^a
Önemlilik	**	**	**

**Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

*Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemsizdir.

Çizelge 4.5 incelendiğinde tüm materyallerin peletleme işlemi sırasında içsel, kalıp - sıkıştırma diski arasındaki sürtünmelere bağlı olarak oluşan sıcaklık yükselmesine bağlı olarak peletleme işlemi sonunda ham madde nem miktarlarına göre hızlı bir şekilde nem kaybettikleri görülmüştür. En fazla nem kaybı kenevir sapı peletinde meydana gelmiş ve bu kayıp %60’dan daha fazla olmuştur. En az nem kaybı ise karışım 6 peletinde meydana gelmiş ve bu kayıp % 27’den fazla olmuştur.



Şekil 4.13. Nem ve kül içeriği sonuçları

Ham maddelerin peletleme işlemi yapıldıktan sonraki nem içerikleri incelendiğinde peletlerinin nem kaybettikleri ve kapalı kaptaki koşullarında muhafaza edildiğinden dolayı tekrar nem almasının önemsenmeyecek kadar az olduğu tespit edilmiştir.

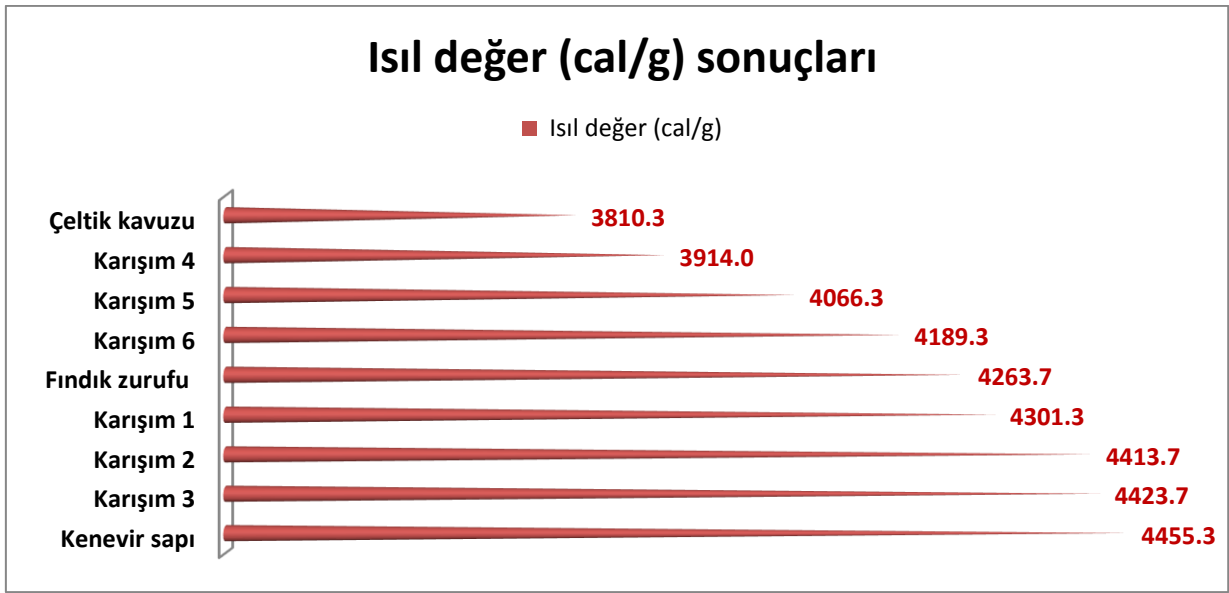
Avrupa Pelet Konseyi pelet standartları ile ilgili olarak ENplus-A1 ve Enplus-A2 sınıflarının yanı sıra EN-B sınıfı olmak üzere üç farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin nem içeriklerinin ≤ 10 olması gerektiği belirtilmiştir (EN 14961-2 2013). Bu sonuçlara göre tez kapsamında imal edilen tüm peletlerin nem içeriği açısından Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 incelendiğinde materyallerin ve karışım peletlerinin kül içeriği değerlerinin birbirinden farklılıkları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). En düşük kül içeriğine sahip örnek %1,02 ile kenevir sapı peleti iken en yüksek kül içeriğine sahip olan %16,15 örnek ise çeltik kavuzu peleti olarak belirlenmiştir. Karışım peletlerine bakıldığında sonuçlar ana materyallerin sonuçlarının ile paralellik göstermiş ve kenevir sapının oranının artmasıyla peletlerde kül içeriklerinde azalmalar görülmüştür.

Avrupa Pelet Konseyi pelet standartları ile ilgili olarak EN plus-A1 ve En plus-A2 sınıflarının yanı sıra EN-B sınıfı olmak üzere üç farklı standart tanımlamıştır ve EN plus-A1 için kül içeriği %0,7'den düşük, En plus-A2 için kül içeriği %1,5'den düşük ve EN-B sınıfı peletler için %3'den düşük olması istenmektedir.

Bu sonuçlara göre EN plus-A1 kül içeriğini sağlayan materyal bulunmazken, En plus-A2 standardına uygun olan %1,02 ile kenevir peleti ve EN-B standardına uygun olan ise %3 ile karışım 3 peletinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 incelendiğinde saf peletlerin ve karışım peletlerinin ısı değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). En yüksek ısı değere sahip olan pelet 4455,3 cal/g ısı değeri ile kenevir sapı peleti ve en düşük ısı değere sahip pelet ise 3810,3 cal/g değeri ile çeltik kavuzu peleti olarak belirlenmiştir. Karışım peletlerine bakıldığında sonuçlar karışım içerisinde kullanılan ana materyallerin sonuçlarına göre paralellik göstermiş kenevir sapının oranının artmasıyla peletlerde ısı değerlerinin de artış gösterdiği saptanmıştır. Peletlerin kül içeriklerinin artmasının ısı değerlerinin düşmesine neden olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14. Isıl değer sonuçları

Avrupa Pelet Konseyi pelet standartları ile ilgili olarak ENplus-A1 ve ENplus-A2 sınıflarının yanı sıra EN-B sınıfı olmak üzere üç farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin kalori değerlerinin 3821,5cal/gr (16MJ/kg)-4538.1cal/gr (19MJ/kg) arasında olması istenmektedir (EN 14961-2 2013). Bu sonuçlara göre peletlerin Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen standartlarına göre; çeltik kavuzu peleti hariç bütün pelet örneklerinin ısı değeri açısından uygun olduğu belirlenmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verilerine göre ülkemizdeki Linyit/alt bitümlü kömür sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup bu sahalardaki linyit/alt bitümlü kömürün ısı değerleri 1000-5000 kcal/kg arasında değişmektedir. Ülkemizdeki toplam linyit/alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %68'i düşük kalorili olup %23,5'i 2000-3000 kcal/kg arasında, %5,1'i 3000-4000 kcal/kg arasında, %3,4'ü 4000 kcal/kg üzerinde ısı değerindedir (Anonim 2017g). Bu sonuçlara göre ülkemizde çıkarılan kömürlerin %91,5 ısı değerlerinden yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.3.2. Pelet baca gazı emisyonları değerleri

Kenevir sapı, fındık zurufu, çeltik kavuzu ve bunların karışımlarıyla elde edilen peletler; baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla özel yapım pelet sobasında yakılmış ve yanma sırasında gaz analizörü ile ölçümler yapılmıştır. Baca gazı emisyon değerleri (O₂(%), CO(ppm), CO₂(%), NO(ppm), NO_x(ppm), SO₂ (ppm))ile bu değerlere ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Peletlerin baca gazı emisyon değerleri ve varyans analiz sonuçları

Materyal	CO (ppm)	NO (ppm)	NO _x (ppm)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	SO ₂ (ppm)
Kenevir sapı	150,3 ¹	104,0 ^c	109,0 ^c	14,2 ^g	6,5 ^a	0 ^a
Karışım3	685,3 ^d	96,0 ^e	100,6 ^e	15,5 ^d	5,3 ^d	0 ^a
Karışım2	732,7 ^c	87,0 ^f	91,0 ^f	15,9 ^c	4,9 ^e	0 ^a
Karışım1	939,0 ^b	123,3 ^a	130,3 ^a	14,9 ^e	5,8 ^c	0 ^a
Fındık zurufu	2781,0 ^a	111,3 ^b	117,6 ^b	16,1 ^b	4,8 ^f	0 ^a
Karışım6	413,0 ^h	98,6 ^d	103,6 ^d	16,4 ^a	4,4 ^g	0 ^a
Karışım5	463,7 ^g	100,0 ^d	105,0 ^d	16,4 ^a	4,5 ^g	0 ^a
Karışım4	474,0 ^f	111,6 ^b	117,0 ^d	14,7 ^f	6,0 ^b	0 ^a
Çeltik kavuzu	643,0 ^e	99,3 ^d	105,0 ^d	16,7 ^a	4,4 ^g	0 ^a
Önemlilik	**	**	**	**	**	

**Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

*Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemsizdir.

Çizelge 4.6 incelendiğinde saf olarak üretilen peletlerin ve karışım peletlerinin CO (ppm) değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0.05). En düşük ve en iyi değer 150,3 ppm ile kenevir sapı peletinde, en yüksek ve en kötü değer ise 2781 ppm ile fındık zurufu peletinde belirlenmiştir. Karışım peletlerine bakıldığında sonuçlar ana materyallerin sonuçların ile paralellik göstermiş ve kenevir sapı oranının artmasıyla peletlerde CO (ppm) değerlerinde azalmalar görülmüştür.

Tüm atıklar için baca gazı emisyonlarının Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerlerin altında kaldığı ve yanma sonucunda ölçülen baca gazı emisyon değerleri, odunun baca gazı emisyon değerleriyle daha düşük olduğu belirlenmiş Çizelge 4.7’de İKHKKY ve odun baca gazı emisyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. İKHKKY ve odun baca gazı emisyon değerleri

İKHKKY	CO ₂ (%)	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	SO ₂ (mg/Nm ³)
	20,5	4000	400	200
Odun	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)
	18,1	8,8	3049	148

Çizelge 4.6’da bütün pelet örneklerinde NO (ppm) değerlerinin NO_x (ppm) değerlerinden düşük olduğu belirlenmiştir. NO (ppm) miktarındaki artışın ise NO_x (ppm) artışını yarattığı görülmektedir. NO ve NO_x için en düşük değer sırasıyla 87 ppm ve 91 ppm olarak karışım 2 peleti için saptanırken, en yüksek değeri NO ve NO_x değerleri ise 123,3 ppm– 130,3 ppm değeri ile karışım 1 peletinde belirlenmiştir.

Bütün pelet örneklerine ilişkin sonuçlara bakıldığında O₂ (%) değerlerinin CO₂ (%) değerlerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. O₂ (%) miktarları %14,2 ile %16,7 arasında, CO₂ (%) miktarları %4,4 ile %6,5 arasında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.6 incelendiğinde saf olarak üretilen peletlerin ve karışım peletlerinin SO₂ (ppm) değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu ve bütün pelet örnekleri için SO₂ değerinin 0 olduğu belirlenmiştir.

4.3.3. Pelet elemental analiz değerleri

Kenevir sapı, fındık zurufu, çeltik kavuzu ve bunların karışımlarıyla elde edilen peletlerin elemental analiz değerlerinin belirlenmesinde titiz bir örnek hazırlama işleminden sonra elemental analiz test cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Elemental analiz sonuçları (C(%), H(%), O(%), N(%), S(%)) Çizelge 4.8’de ve Şekil 4.15’de verilmiştir.

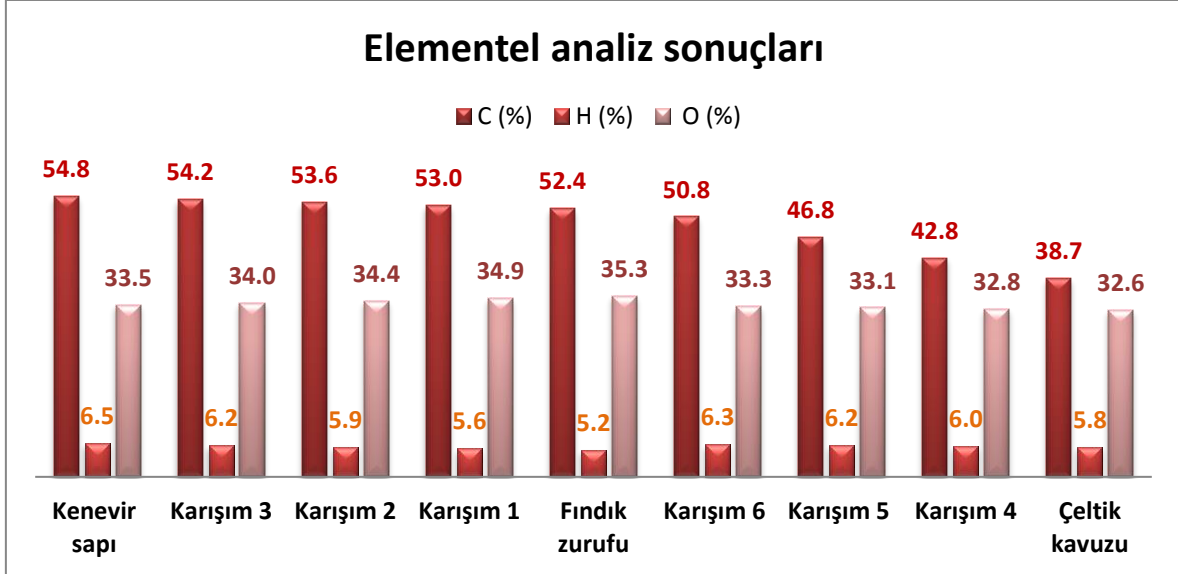
Çizelge 4.8. Peletlerin elemental analiz değerleri ve varyans analiz sonuçları

Materyal	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)
Kenevir sapı	54,83 ^a	6,490 ^a	33,52 ^e	0,363 ¹	0,074 ^e
Karışım 3	54,23 ^b	6,178 ^c	33,97 ^d	0,622 ^d	0,087 ^d
Karışım 2	53,63 ^c	5,865 ^f	34,41 ^c	0,884 ^c	0,093 ^c
Karışım 1	53,02 ^d	5,553 ^h	34,86 ^b	1,142 ^b	0,103 ^b
Fındık zurufu	52,42 ^e	5,243 ¹	35,34 ^a	1,409 ^a	0,112 ^a
Karışım 6	50,81 ^f	6,325 ^b	33,29 ^f	0,408 ^h	0,068 ^f
Karışım 5	46,79 ^g	6,162 ^d	33,05 ^g	0,455 ^g	0,065 ^g
Karışım 4	42,76 ^h	5,995 ^e	32,82 ^h	0,503 ^f	0,063 ^h
Çeltik kavuzu	38,74 ¹	5,834 ^g	32,58 ¹	0,557 ^e	0,062 ^h
Önemlilik	**	**	**	**	**

**Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

*Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemsizdir.

Çizelge 4.8 incelendiğinde saf olarak üretilen peletlerin ve karışım peletlerinin C (%), H (%), O (%), N (%) ve S (%) değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Karbon içeriği açısından en yüksek ve en iyi değer 54,83 ile kenevir sapı peletinde, en düşük ve en kötü değer ise 38,74 ile fındık zurufu peletinde belirlenmiştir.

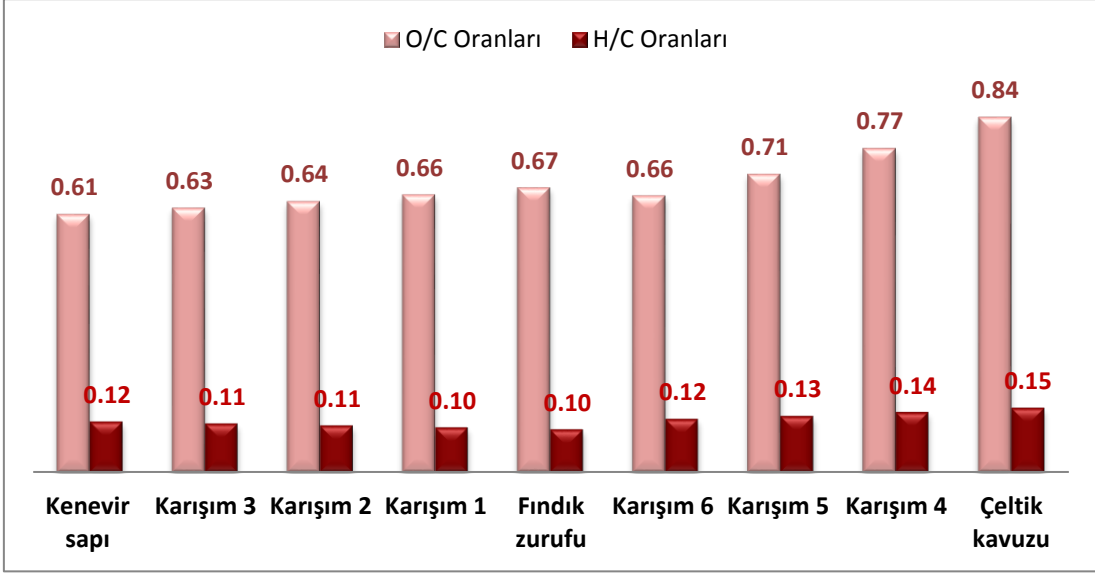


Şekil 4.15. Elementel analiz sonuçları (C (%), H (%), O (%))

Karışım peletlerine bakıldığında sonuçların ana materyallerin sonuçları ile paralellik gösterdiği ve kenevir sapının oranının artmasıyla peletlerde C (%) değerlerinde yükselmelerin olduğu görülmüştür. Aynı şekilde Hidrojen içeriği için en yüksek değer % 6,49 H ile kenevir sapın peletinde, en düşük değer ise % 5,24 H ile fındık zurufu peletinde belirlenmiştir.

Genel olarak biyokütle elemental analiz sonuçları incelendiğinde biyokütleye bağlı olarak karbon yüzdesinin %47-54 (kuru ağırlık bazında) arasında, hidrojen yüzdesinin %5,6-7 aralığında ve oksijen yüzdesinin ise %40-44 aralığında değiştiği görülmektedir (Telmo ve ark. 2010).

Biyokütlelerden elde edilen yakıtların H/C ve O/C molar oranları elemental analiz sonuçları kullanılarak hesaplanmış Şekil 4.16'da verilmiştir. Biyokütlelerdeki H/C molar oranı düştükçe, elde edilen yakıtlardaki aromatik bileşenlerin de arttığı bildirilmiştir (Özçiftçi ve Özbay 2013).



Şekil 4.16. H/C ve O/C molar oranları

Çizelge 4.8 incelendiğinde Azot ve Kükürt içeriklerinin en yüksek değerleri % 1,409 N, % 0,112 S olarak fındık zurufu peletinde saptanırken en düşük azot (N) değeri % 0,363 olarak kenevir sapı peletinde ve en düşük kükürt (S) içeriği ise sırasıyla % 0,063- % 0,062 olarak Karışım 4 ve Çeltik kavuzu peletinde belirlenmiştir.

Biyokütle yandığı zaman oluşan ısının hemen hemen tamamı içerdiği karbon ve hidrojenin yanması sonucunda oluşmaktadır. Yanma sırasında biyokütle içeriğinde bulunan azot ve sülfürün kısmen azot ve sülfür oksitlerine (NO_x and SO_x) dönüştüğü ve bu durumun hava kirliliği açısından istenmeyen bir durum olduğu bilinmektedir.

Biyokütle örneklerinin elementel analiz sonuçları (Kuru bazda); Karbon miktarı % 42.98 ile % 58.83 arasında, Hidrojen miktarı % 4.08 ile % 6.89 arasında, Azot miktarı % 0.12 ile % 4.72 arasında, Toplam kükürt miktarı % 0 ile % 0.26 arasında, Oksijen miktarı % 28.88 ile % 43.45 arasında değişmiştir (Tırıs 2014).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Türkiye’de oldukça geniş alanlarda üretimi yapılan ve ekonomik değeri oldukça fazla olan fındık ve çeltik bitkisinin atıklarının bunun yanında geçmişte çok yaygın olan ve son dönemlerde gerek dünyada gerekse Türkiye’de üretimi artış gösteren kenevir bitkisinin atıl durumda olan saplari saf ve (%30, %50, %70) karışım oranlarında karıştırılarak pelet haline getirilmiş, daha sonra elde edilen peletlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile elemental içerikleri analiz edilmiş ve pelet sobasında yakılarak yanma sonucu oluşan baca gazı emisyon değerleri belirlenmiştir. Peletlenerek elde edilen biyokütle atıklarının katı yakacak formunda değerlendirilmesi amacıyla yürütülen bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Yapılan çalışmada kurutulup-öğütülmüş hammaddelerin nem içerikleri % 9–13 arasında saptanmış ve bu nem aralığındaki hammaddeler mevcut pelet makinesinde yüksek kalitede peletlenebilmiştir.
- Hammaddelerin yığın yoğunluğunun 138,8 - 258,3 kg/m³ arasında değiştiği belirlenmiş ve elde edilen peletlerin hacim yoğunlukları ise 511,9 - 730,5 kg/m³ arasında değişmiştir.
- Atıkların hammadde yoğunlukları ve peletlenme sonucunda yoğunluklarına bakıldığında sıkıştırma oranlarının yaklaşık olarak en düşük fındık zurufunda 2,8 olarak ve en yüksek ise karışım 3 ve kenevir sapı peletinde 4,1 olarak meydana geldiği belirlenmiştir. Böylece atık ürünlerin taşınmasında ve büyük depolama alanlarına ihtiyaç duyulan atıkların depolama alanı ihtiyaçları peletlenme yapılarak azaltılmış olacaktır.
- Peletlerin dayanıklılık dirençleri %94,01-99,09 arasında değişmiştir. En yüksek dayanıklılık direnci fındık zurufu peletinde saptanırken en küçük dayanıklılık direnci ise kenevir sapı peletinde ölçülmüştür. Peletlerin kırılma direnci oldukça yüksek çıkmıştır ve peletlerin uzunlukları arttıkça kırılmalar oluşmuştur, bu kırılmalar kayıp olarak alınmamıştır.
- Peletlerin sıkıştırma dirençlerinin 2003,9 - 3274,3 N arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek sıkıştırma direnci fındık zurufu peletinde saptanırken en küçük dayanıklılık direnci ise karışım 6 peletinde belirlenmiştir. Karışım peletlerinde kenevir sapı oranının azalmasıyla peletlerin sıkıştırma dirençlerinde artmalar olduğu belirlenmiştir.

- Nem alma direnci testi sonucunda kenevir sapı ve karışım 6 peletinde diğerlerinden daha fazla su emmenin gerçekleştiği saptanmıştır. Bünyesine daha az su emen peletler ise karışım 3 ve çeltik kavuzu peleti olmuştur.
- Fiziksel testler sonunda peletlerin oldukça yüksek kaliteli olduğu görülmüş ve düşük olan kalite değerleri karışım peletleri oluşturularak iyileştirilebilmiştir.
- Peletler depolama süresince çevre ve oda şartlarından çok az etkilenmiştir. Bu ise ortamın düşük nem koşullarında peletlerin oldukça yüksek kalitede depolanabileceğini göstermektedir.
- Peletlerin iyi bir şekilde ambalajlanması ile yakılmasına kadar geçen sürede herhangi bir olumsuz durumla karşılaşmadan oldukça yüksek kalitede taşıma, nakliye ve depolama işlemleri gerçekleştirilebilecektir.
- Materyallerin peletleme işlemi sonrasındaki nem içeriklerinin %3,65 - % 7,25 arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük nem içeriğine kenevir sapından elde edilen pelet sahipken, en yüksek nem içeriği ise -karışım 5 peletinde belirlenmiştir.
- Peletlerin ısı değerlerinin 3810,3 - 4455,3 cal/g arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük ısı değer çeltik kavuzunda iken en yüksek ısı değer ise kenevir sapı peletinde belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan tüm atıkların ısı değerlerinin linyit kömürü ısı değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır.
- Yanma sonucunda ölçülen baca gazı emisyon değerleri, odunun baca gazı emisyon değerleriyle karşılaştırıldığında bu değerlerin odunun emisyon değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- CO içeriğine bakıldığında en düşük emisyon değeri 150,3 ppm kenevir sapı peletinde ölçülmüş, en yüksek CO içeriği ise 2781ppm değeri ile fındık zurufunda ölçülmüştür. Karışım peletlerine bakıldığında kenevir oranının arttığı pelet örneklerinde CO oranının düştüğü tespit edilmiştir. Bütün peletler için yapılan baca gazı analiz ölçümlerinde SO₂ içeriği 0 çıkmıştır.
- Tüm atıklar için ölçülen baca gazı emisyonlarının Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir.
- Genel olarak materyallerin elementel analiz sonuçları incelendiğinde saf ve karışımlara bağlı olarak karbon yüzdesinin %38-55 (kuru ağırlık bazında) arasında, hidrojen yüzdesinin %5-6,5 aralığında ve oksijen yüzdesinin ise %32-35,5 aralığında değiştiği görülmektedir.

- Materyallerin Azot içeriği tamamen organik yapıyı temsil etmekte ve en yüksek değeri % 1,409 N ile fındık zurufu peletinde, en düşük değeri % 0,363 N ile kenevir sapı peletinde belirlenmiştir. Baca gazı emisyon değerlerinde NO ve NO_x bileşenlerine ilişkin bulunan sonuçlarda bu sonuçları desteklemektedir.
- Yapılan testler sonucunda fiziksel ve kimyasal analiz değerleri göz önüne alındığında ticari anlamda en uygun ve kaliteli peletin kenevir sapı peleti olduğu sonucuna varılmıştır. Kenevir sapının içinde bulunduğu karışım peletlerinin saf haldeki özelliklerine göre kalitelerinin arttığı belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

Ülkemizde çıkarılan linyit kömürünün % 90'ından fazlasının ısı değeri 3000 kcal/kg değerinden düşük olduğu saptanmıştır. Yapılan araştırmalar tarımsal atıkların ve çalışılan örneklerin, ısı değeri yönünden daha yüksek değere sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca biyokütlelerin baca gazı emisyon değerleri ve kül oranlarının düşük olmaları nedeniyle de linyit kömürlerinden daha kaliteli katı yakıt özelliklerine sahip olduğu ve çevreye olumsuz etkilerinin de çok daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tarımsal atıklar, yalın halde tek başlarına kullanılabildikleri gibi yakıt özellikleri açısından kaliteyi artırabilmek amacıyla karışım yapılarak da katı yakıt olarak kullanılabilir. Bu durumda daha kaliteli ve daha yüksek ısı değeri sahip atıklar, düşük ısı değeri sahip atıklarla kullanıldıklarında karışımın ısı değerinin yükselmesine neden olmaktadır.

Miktar olarak az, ancak ısı değeri ve kül yönünden kaliteli tarımsal atıklar, miktar olarak fazla ve ısı değeri düşük olan tarımsal atıklarla gerek % 50 oranında ve gerekse daha düşük oranlarda karıştırılarak kullanıldıklarında fazla miktarda atığın katı yakıt olarak kullanılmasına imkân vermektedir.

Biyokütle peletlerinin fiziksel, mekaniksel, ısısal ve kimyasal açılarından kalitelerini arttırmaya yönelik çalışmaların yapılması; özellikle son 5-6 yıldır büyük gelişim gösteren biyokütle pelet alanında çalışan özel sektöre de faydalı olacak ve mevcut satılan peletlere de yakıt kalitesi daha yüksek olan bir alternatif üründe ortaya çıkarılabilmesi sağlanabilecektir.

Böylece, özellikle son yıllarda ülkemizde gittikçe gelişen ve şimdiye kadar genelde kömür için kullanılmakta olan gazlaştırma teknolojilerinin biyokütlenin gazlaştırılmasında kullanımı sağlanabilecektir. Özellikle, akışkan yatak prensibine göre çalışan gazlaştırma sistemlerinde kullanılan yakıtın homojen boyutlarda olması ve buna ek olarak yakıt

kalitesinin önceden bilinmesi önemli faktörlerdir. Ayrıca araştırmalar kapsamında, üretilen saf ve karışım peletlerde kullanım zamanına kadar oluşabilecek deformasyon, mekanik dayanım azalması, nem çekme ve toz haline gelme gibi olumsuz değişimlerin incelenmesi gerekmektedir. Gerek üretim tekniği açısından gerekse pelet karışım oranları ve bileşenleri açısından bu olumsuzluklara çözümler getirilmesinin, bu alanda çalışanlara, pelet üreticilerine, pelet sobasına, pelet makine ve yan sektörlerdeki üreticilerine en önemlisi kullanıcılara fayda sağlayacağı açıktır.

Bu tür çalışmaların özellikle bölgesel bazda farklı ürünler için de yapılması gerekmektedir. Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığın bir miktarda olsa azaltılması ve yerli kaynakların enerjiye yönlendirilmesi için atıkların değerlendirilmesi konularında daha çok çalışmaların yapılması dikkat çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca tarıma dayalı sanayi kuruluşlarına, atıklarının farklı değerlendirme alternatifleri araştırılarak yardımcı olunmalıdır. Atıkların işletmelerde ham halde depolanması büyük depolama alanları ihtiyacı ve yangın tehlikesi oluşturduğundan bunlar büyük bir problem olarak görülmektedir. Bu tür atıkların peletlenmesi bu işletmelerin kendi ısıl ihtiyaçları için kendi üretim atıklarını kullanma düşüncelerinin önünde büyük engel teşkil eden depolama sorunlarını ve risklerini ortadan kaldıracaktır.

Özellikle tarımsal atıkları toplayıp peletleme ve briketleme gibi işlemlerden geçirecek odun ve kömüre alternatif yakıt piyasasının oluşturulması için yatırım yapacak girişimcilerin devlet tarafından desteklenmesi ve teşvik edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, atıkların daha modern yakma sistemlerinde yakılarak enerjiye dönüştürülmesinin yapılan analizler sonucunda kârlı olacağı düşünülmektedir. Bu tür yatırımların ve araştırmaların diğer bölgeler için de yapılması gereklidir. Tarımsal atıkların enerjiye dönüştürülmesi olanakları konusunda yapılacak olan her araştırma, bu konular üzerindeki belirsizlikleri ortadan kaldıracak ve dikkatleri üzerine çekecektir.

6. KAYNAKLAR

- Adapa P K, Singh A K, Schoenau G J and Tabil, L G (2006). Pelleting characteristics of fractionated alfalfa grinds: hardness models. *Power Handling and Processing*, 18 (5): 1-6
- Akpınar O, Kömürcü A, Ve Filiz M H (2008). Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Çevre, Sürdürülebilir Kalkınma ve Temiz Enerji Kaynakları, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, 12-24
- Akpınar O, Erdogan K, Bostancı S (2009). Enzymatic Production of Xylooligosaccharide From Selected Agricultural Wastes, *Food and Bioproducts Processing*, 87: 145–151
- Atımtay A T, Topal H (2004). Co-combustion of Olive Cake With Lignite Coal in a Circulating Fluidized Bed, *Fuel* 83: 859–867
- Anonim (2016). <http://www.tuik.gov.tr>. Erişim Tarihi: 29.06.2016
- Anonim (2017). Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği.. www.cevreorman.gov.tr/yasa/y/25699.doc
- Anonim (2017a). Habitat Türkiye, Sürdürülebilir Enerji Eğitimi Kitapları, Biyokütle Enerjisi, <http://www.habitaticingenclik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/BiyoKutle.pdf> Erişim Tarihi: 21.01.2017
- Anonim (2017b). Diğer Enerji Kaynakları Tanımı ve Kaynakların Ülkemizdeki Mevcut Durumu, Biyokütle Enerjisi <http://www.angelfire.com/scifi/nuclear220/sec555.htm#BĐYOKÜTLE%20ENERJİSİ> Erişim Tarihi: 21.01.2017.
- Anonim(2017c).<http://habitatalkinma.org/dl/kaynaklar/yayin/TemizEnerjiYayinlari/BiyoKutle.pdf> Erişim Tarihi: 21.01.2017.
- Anonim (2017d). <http://www.biyosfer.com.tr/biyo-kati-yakit.html> Erişim Tarihi: 21.01.2017.
- Anonim (2017e). http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2015/10/AEBIOM-Statistical-Report-2015_Key-Findings1.pdf Erişim Tarihi: 21.06.2017.
- Anonim (2017f).<http://www.biomasscounts.eu/get-the-facts/statistics/> Erişim Tarihi: 21.01.2017.
- Anonim (2017g). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur> Erişim Tarihi: 21.06.2017.
- Başçetinçelik A, Karaca C, Oztürk H.H, Kacıra M, Kaya D, Ekinci K, Barns I, Baban A, Nieminen M and Komioti N, (2006). Final Report Of Exploitation of Agricultural Residues in Turkey, 27(4): 277-294.
- Celma A.R, Cuadros F, Rodríguez F.L (2012). Characterization of pellets from industrial tomato residues. *Food and Bioproducts Processing*, 90: 700-706.

- Cubero-Abraca R, Moya R, Valaret J, And Filho M.T (2014). Use of Coffee (*Coffea Arabica*) Pulp for the Production of Briquettes and Pellets for Heat Generation. *Ciênc. Agrotec. Lavras*, 38(5): 461-470.
- DEK-TMK. 2013. 2013 yılı Türkiye Enerji Raporu. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 283 s.
- EN 14774-2. 2009.Solid Biofuels. Determination of Moisture Content. Oven Dry Method. Total Moisture. Simplified method.
- EN 14961-2, Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Wood pellets for non-industrial use.
- EN 14961-2. 2013. European Pellet Council. Handbook for the Certification of Wood Pellets for Heating Purposes, Version 2.0.
- EN 15103. 2009.Solid Biofuels. Determination of Bulk Density
- EN 15210-1. 2009.Solid Biofuels. Determination of Mechanical Durability of Pellets and Briquettes – Part 1: Pellets
- Fasina O.O (2008). Physical Properties Of Peanut Hull Pellets. *Bioresource Technology*, 99: 1259–1266.
- Gizlenci Ş, Dok M, Acar M, Efendioğlu A, Erdoğan M (2016). “ Üreticilerimiz Ve Fabrikalarımız İçin Sorun Teşkil Eden Bazı Tarımsal Atıkların Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılabilir Olanaklarının Araştırılması” PROJE NO: TAGEM-TBAD-12-A04-P10-001.
- Gonzalez J.F, Gonzalez-Garcia C.M, Ramiroa A, Gonzalez J, Sabioa S, Ganana J, Rodrigueza M.A (2004). Combustion Optimisation of Biomass Residue Pellets For Domestic Heating With A Mural Boiler. *Biomass And Bioenergy*, 27: 145 – 154.
- Gürdil A.K, Demirel B, Acar M, Dok M, Samsun’da Tarımsal Faaliyetler Sonucu Açığa Çıkan Bazı Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Briketlerin Özellikleri, Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, (2014).
- Karaca C, (2009). Çukurova Bölgesinde Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 117s, Adana.
- Karaosmanoğlu F (2006). Dünyada Enerjiye Duyulan İhtiyaç Ve Alternatif Enerji Kaynaklarına Yöneliş, Bildiri Kitabı, Sempozyum, 9-19.
- Kalıyan, N. and Morey, R.V. (2009). Factor affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33: 337-359.
- Kocar G, Eryasar A (2007). An Application of Solar Energy Storage in the Gas: Solar Heated Biogas Plants, *Energy Sources, Part A*, 29: 1513–1520.

- Liu Z, Jiang Z, Cai Z, Fei B, Yu Y, and Liu X (2013). Effects of Carbonization Conditions On Properties Of Bamboo Pellets. *Renewable Energy*, 51: 1-6.
- Liu X, Fei B, Jiang Z, Cai Z, and Liu Z (2014). Important Properties of Bamboo Pellets to Be Used as Commercial Solid Fuel in China. *Wood Sci Technol*, 48: 903–917.
- Miranda, M.T., Arranz, J.I , Román S, Rojas S, Montero I, López M, And Cruz, J.A (2011). Characterization Of Grape Pomace And Pyrenean Oak Pellets. *Fuel Processing Technology*, 92: 278-283.
- Miranda M.T, Arranz JI, Montero I, Román S, Rojas C.V, And Nogales S (2012). Characterization And Combustion Of Olive Pomace And Forest Residue Pellets. *Fuel Processing Technology*, 103: 91-96.
- Onaji P.B and Sieomons R.V. (1993). Production of Charcoal Briquettes From Cotton Stalk in Malawi: Methodology for Feasibility Studies Using Experiences in Sudan. *Biomass and Bioenergy*, 4 (3): 199-211.
- Özçifçi A, Özbay G (2013). Mobilya endüstrisi atıklarından katalitik piroliz yöntemi ile biyoyakıt üretimi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 28(3), 473-479.
- Öztürk H.H (2012). *Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi*, Hasad Yayıncılık Ltd. Şti. İstanbul,
- Pietsch W (2002). *Agglomeration Processes: Phenomena, Technologies, Equipment*. Weinheim: Wiley-VCH, 614 p.
- Saraçoğlu N (2006). *Enerji Ormancılığının Kırsal Kalkınmaya Katkısı, Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi*, 7-149.
- Saraçoğlu N (2008). *Biyokütleden Enerji Üretiminde Enerji Ormancılığının Önemi VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, UTES, 265-278.
- Severoğlu A, “Katı Biyoyakıt Üretimi” Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum (2010).
- Taşcı T (2016). *Pelet Yakıtlı Kalorifer Kazan Tasarımı ve Performans Analizi II. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu, Bildiri Kitabı*, 75-82.
- Telmo C, Lousada J, Moreira N (2010). Proximate Analysis, Backwards Stepwise Regression between Gross Calorific Value, Ultimate and Chemical Analysis of Wood. *Bioresour. Technol*. 101: 3808-3815.
- Tırıs Ç (2014). *Biyokütle Enerji İçerikleri ve Biyokütle Karakterizasyonu Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü 2014 Kış Okulu*
- Tüptek A, “Odun Talaşı ve Tozundan Pelet Biyoyakıt Üretilmesi ve Yanma Analizi” Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya (2011).

Viak A (2000). Co-ordinator of Thermie B Project “Industrial Network on Wood pellets“, 3-74.

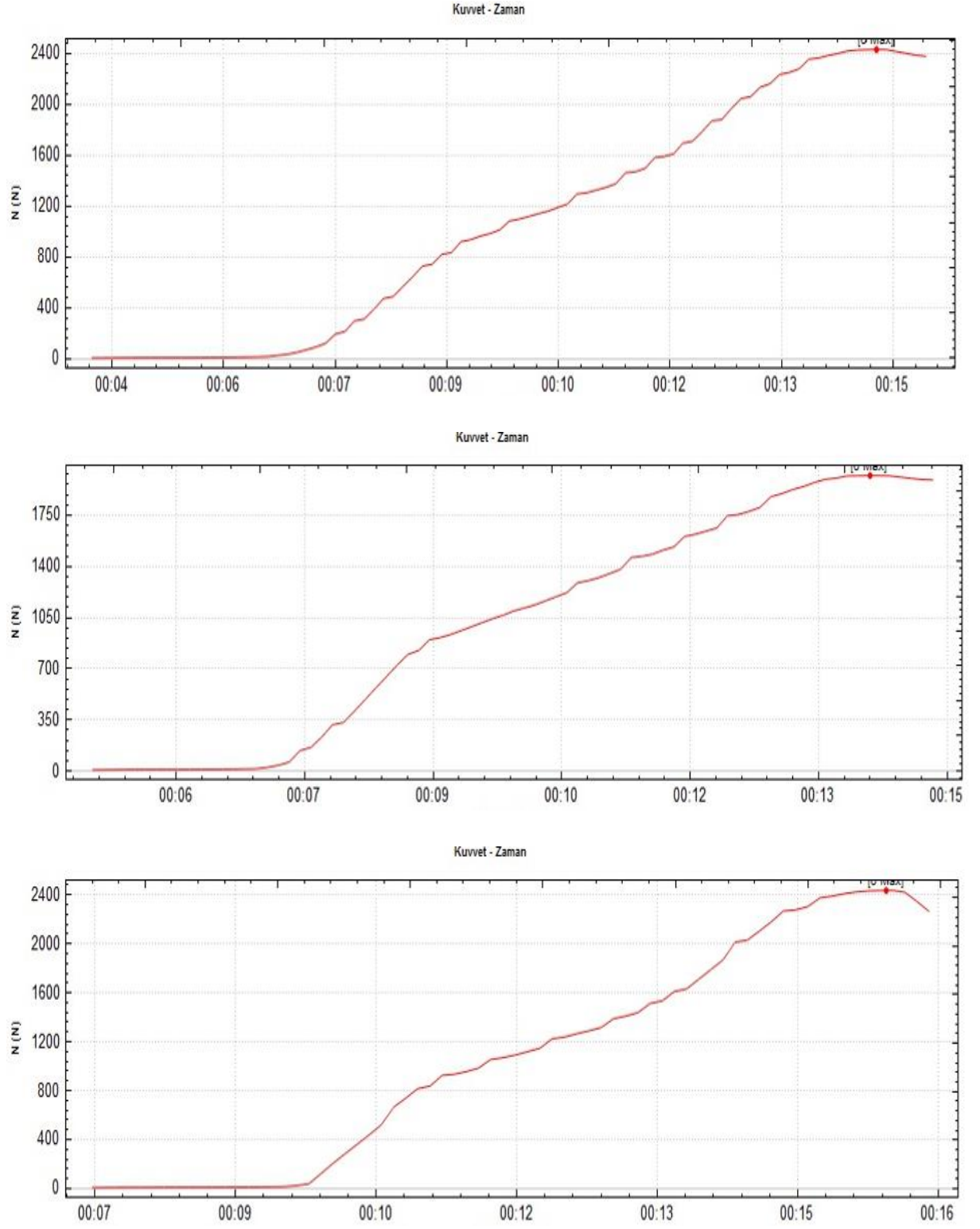
Yılmaz A. “ Bazı Tarımsal Artıkların Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma” Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya (2014).

Zafari A and Kianmehr M.H (2013). Factors Affecting Mechanical Properties of Biomass Pellet From Compost. Environmental Technology, 35(4): 478-486.

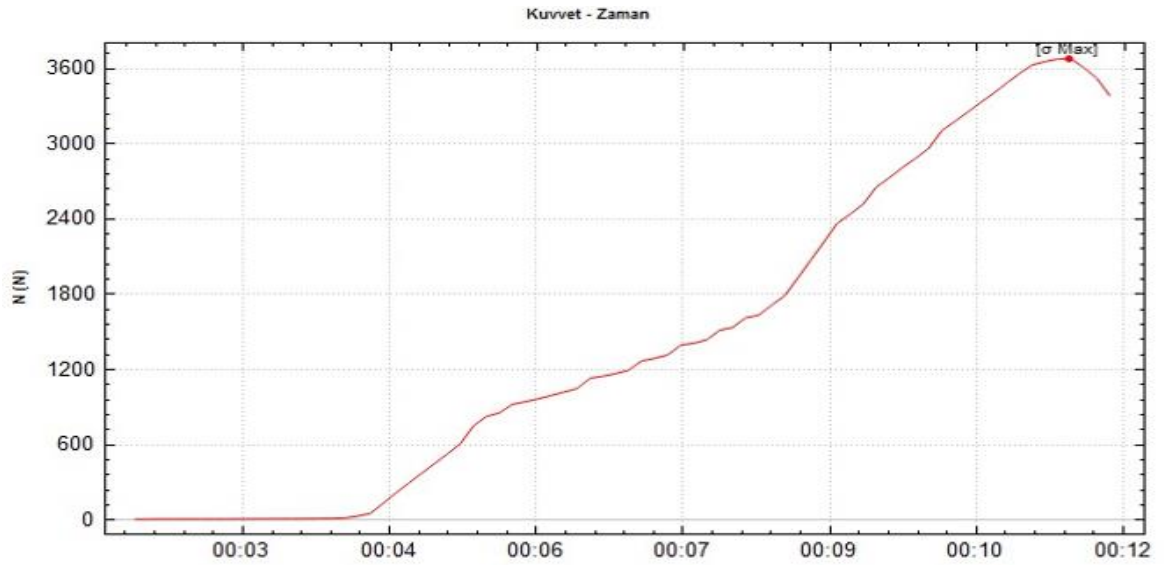
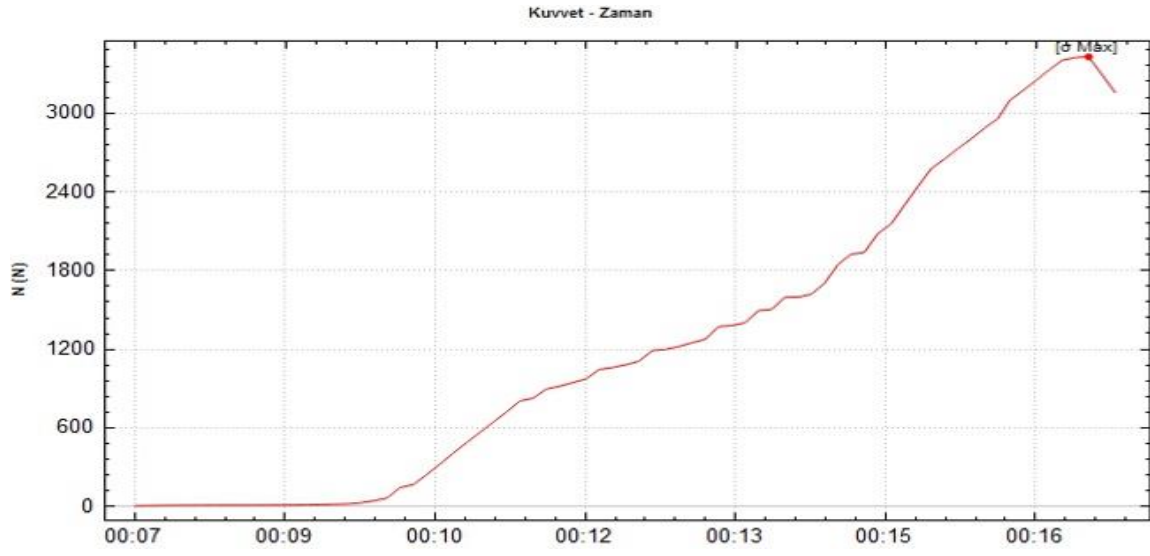
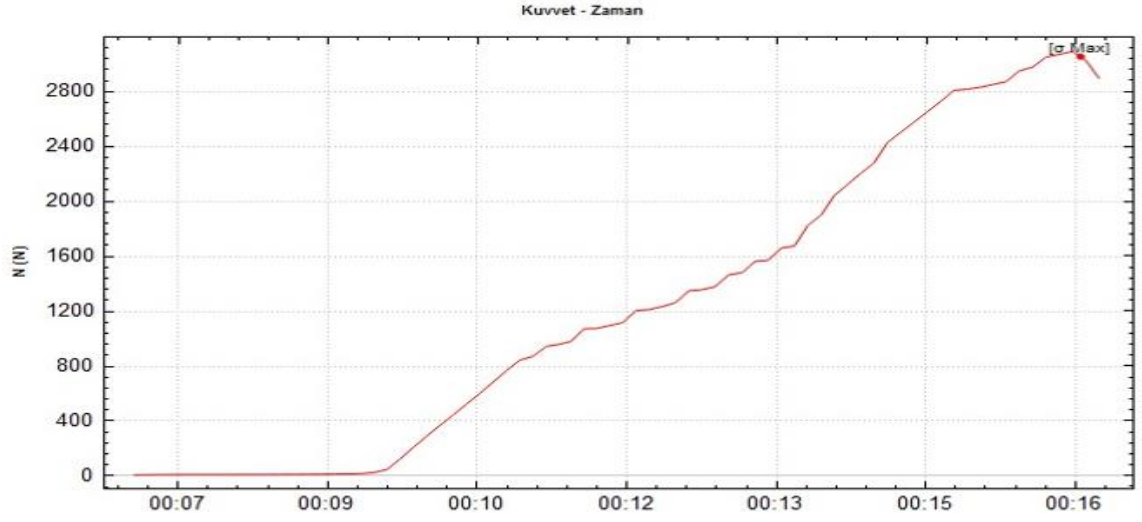
Zamorano M, Popov V, Rodríguez M.L. And García-Maraver A (2011). A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues. Renewable Energy 36: 3133-3140

EKLER

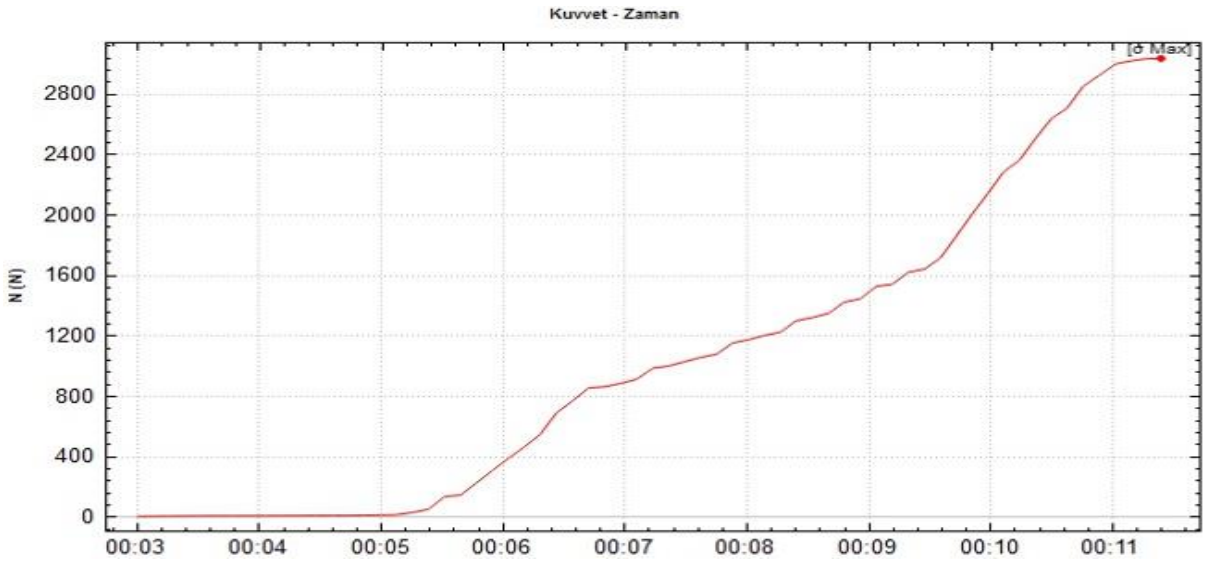
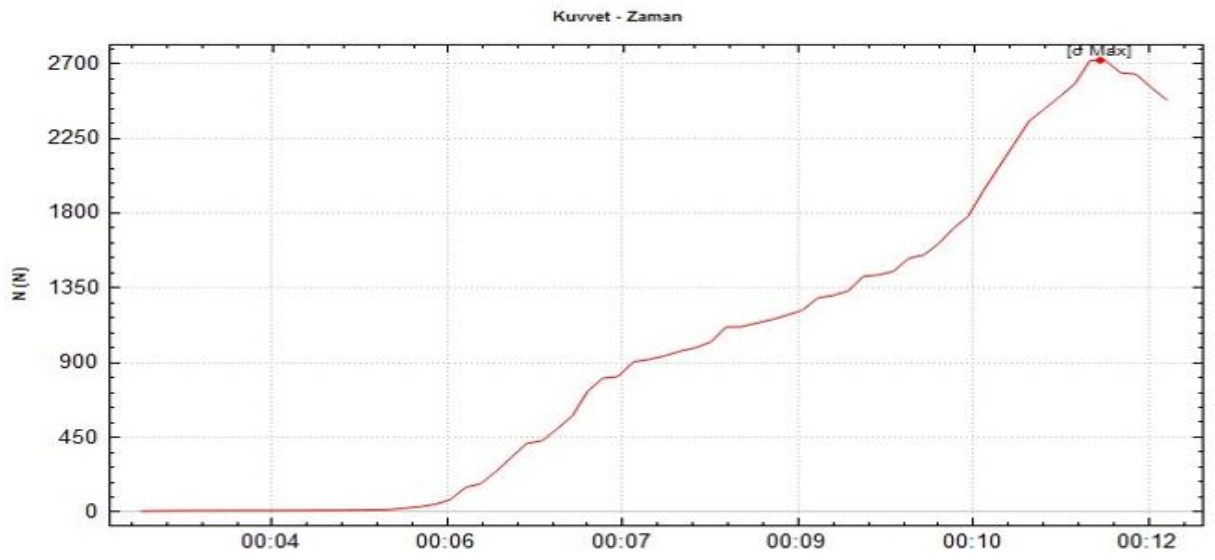
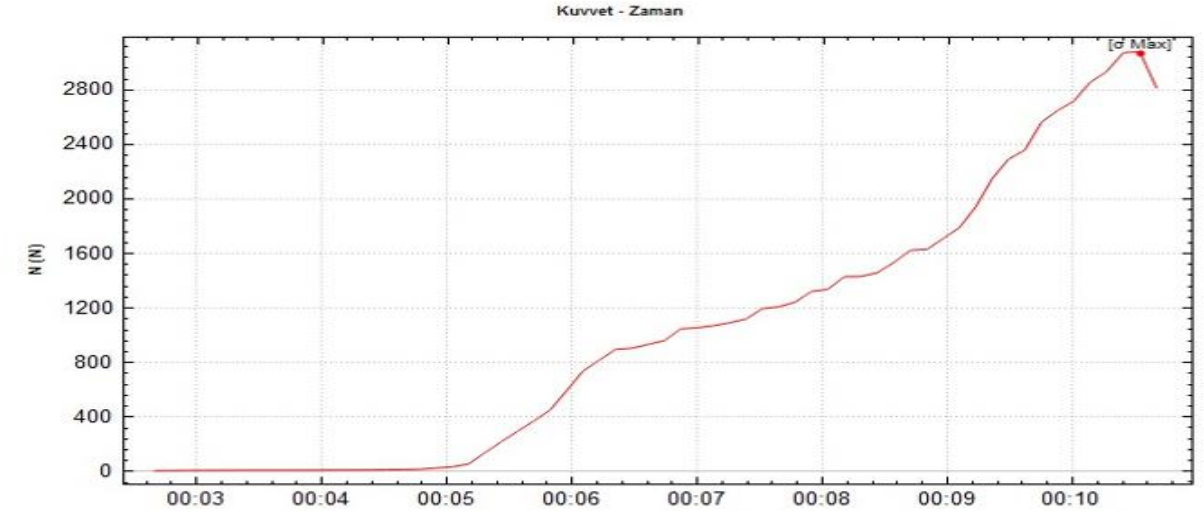
EK A. Pelet sıkıştırma testi grafikleri



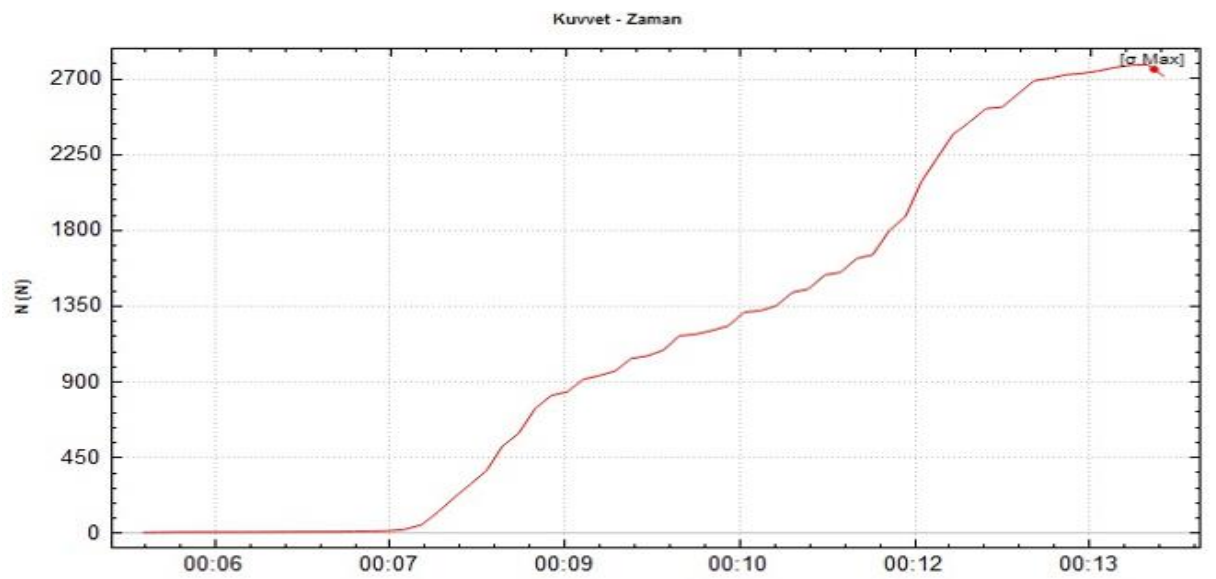
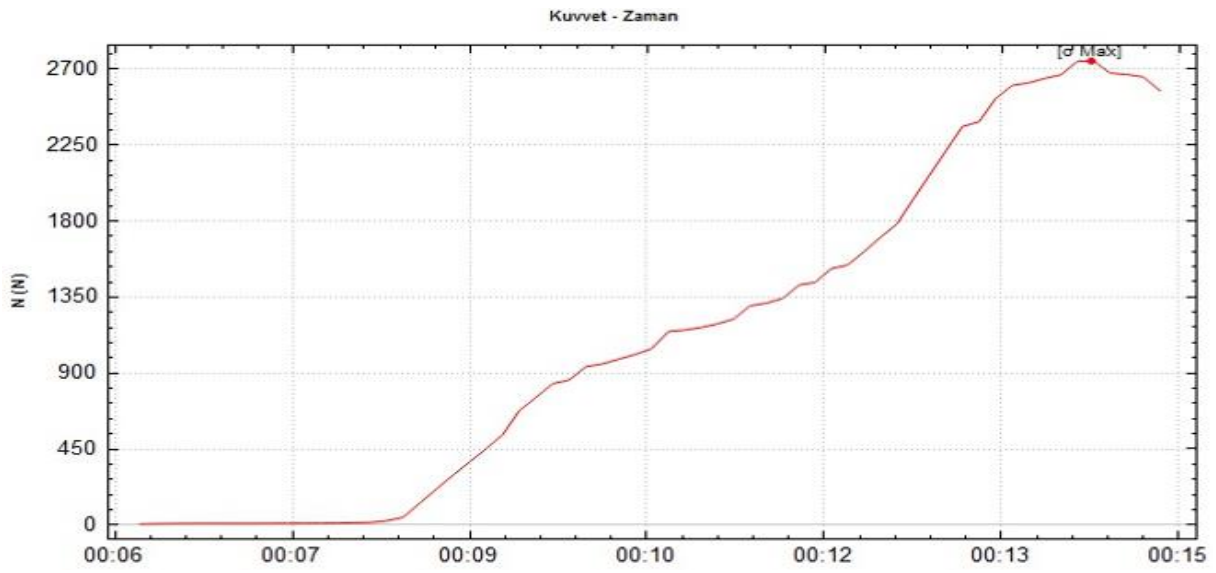
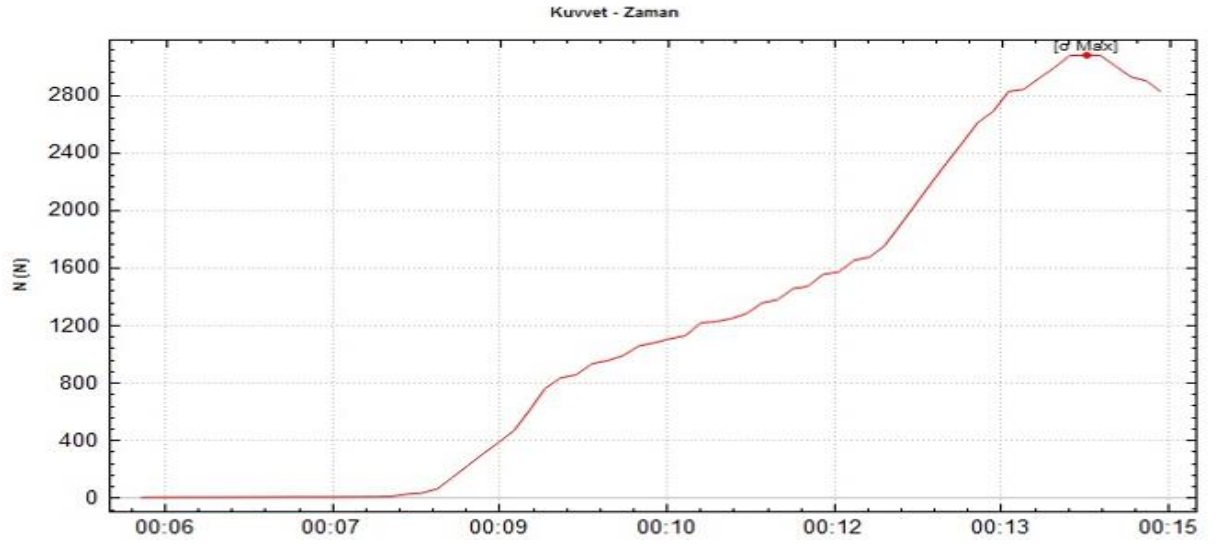
Şekil A.1 Kenevir sapı peleti sıkıştırma test grafiği



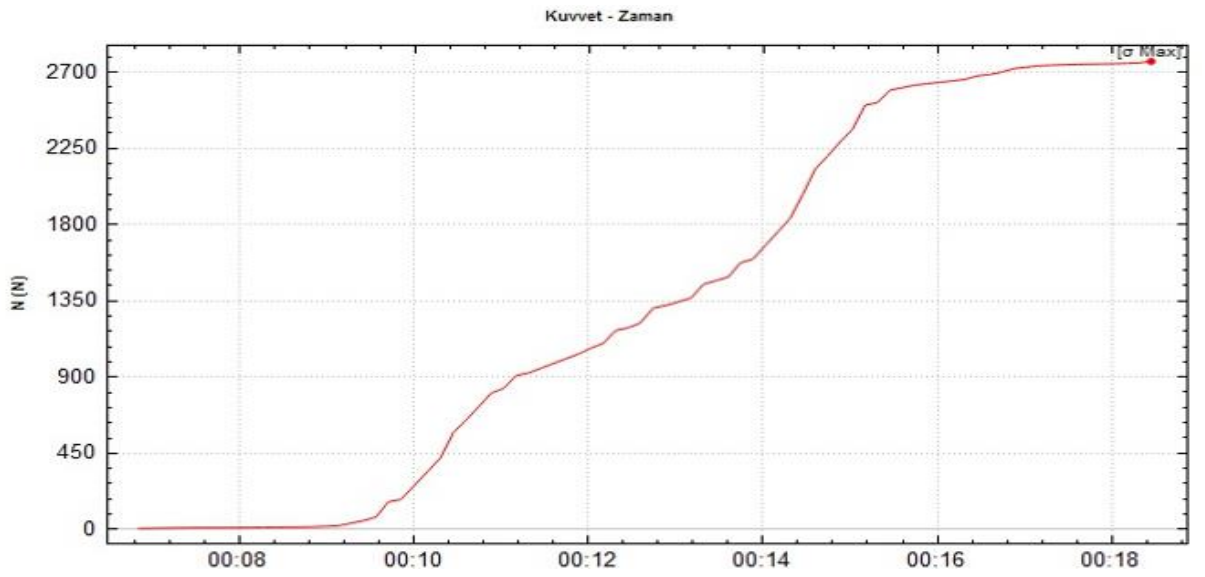
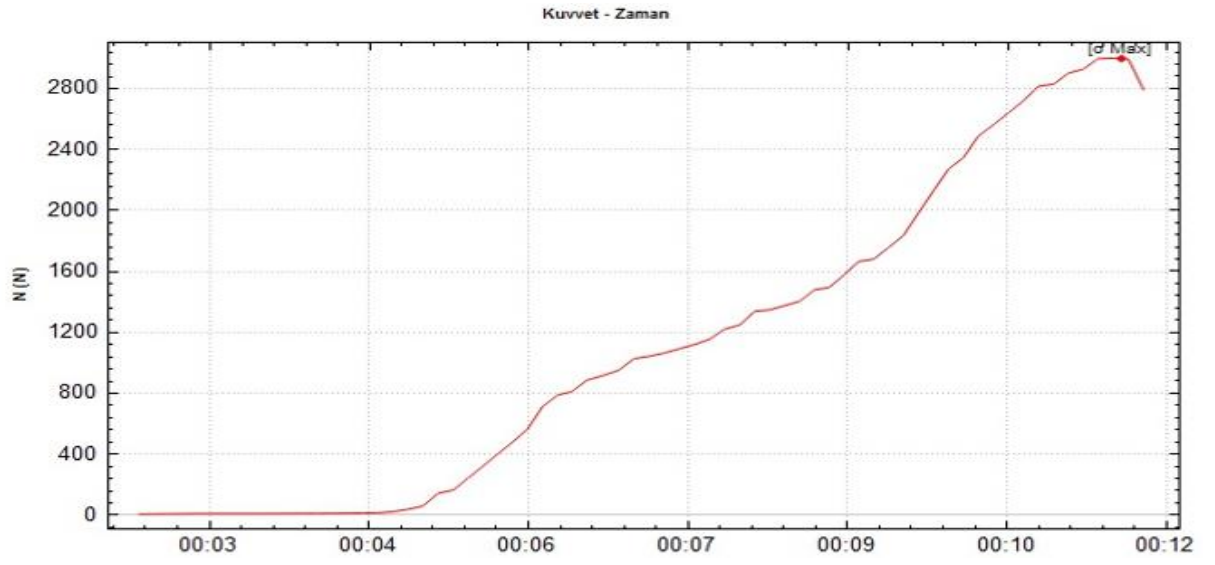
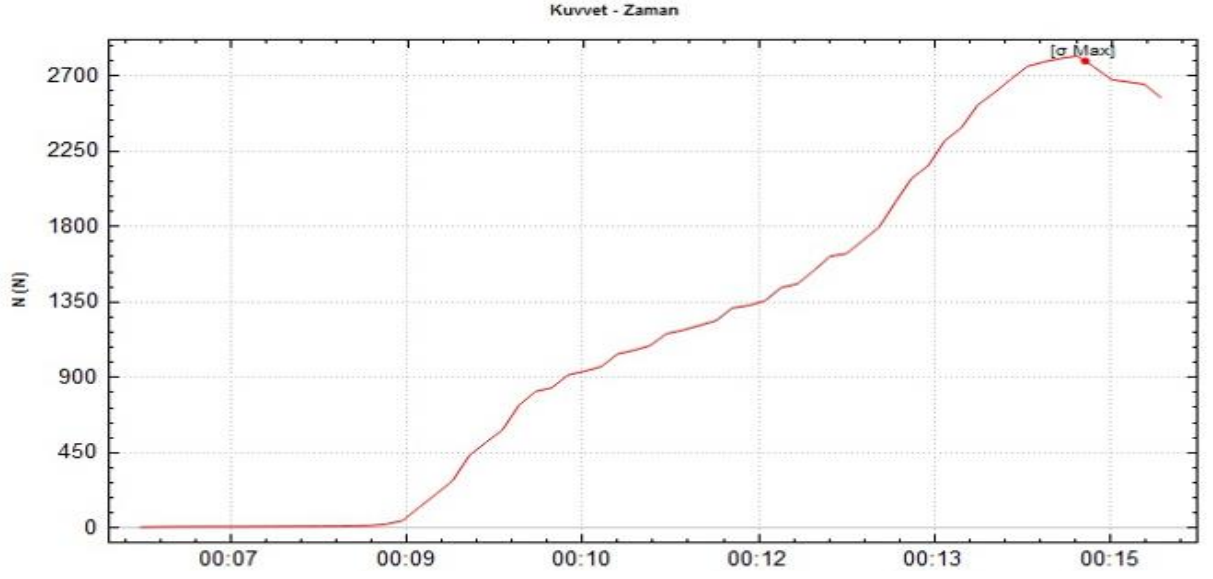
Şekil A.2. Fındık zuruğu peleti sıkıştırma test grafiği



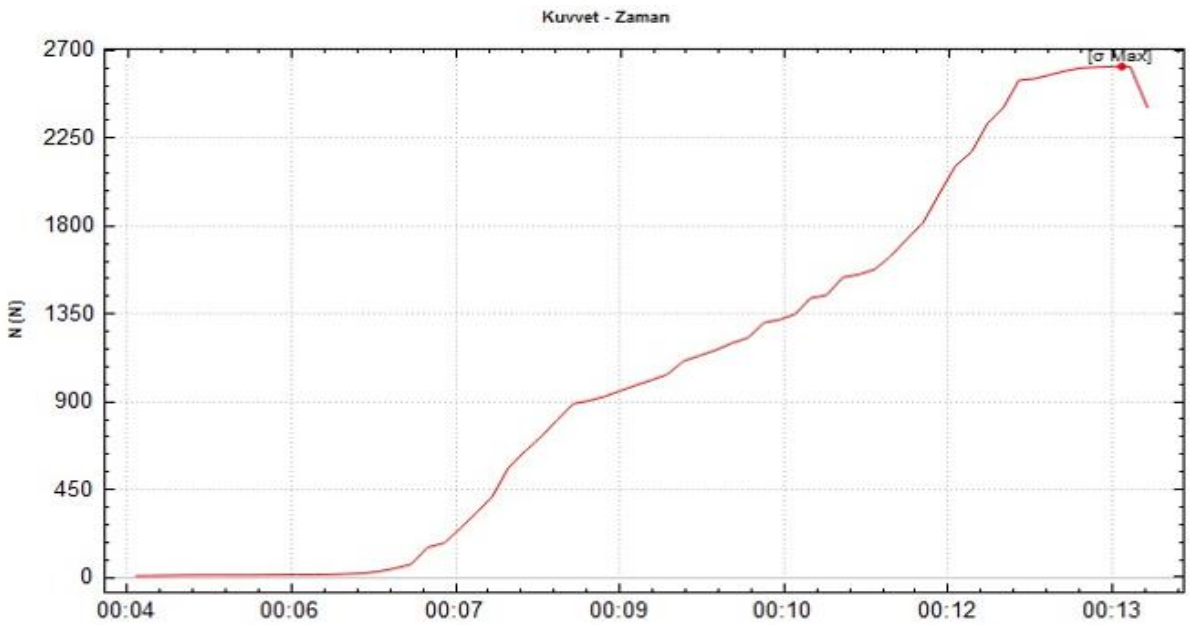
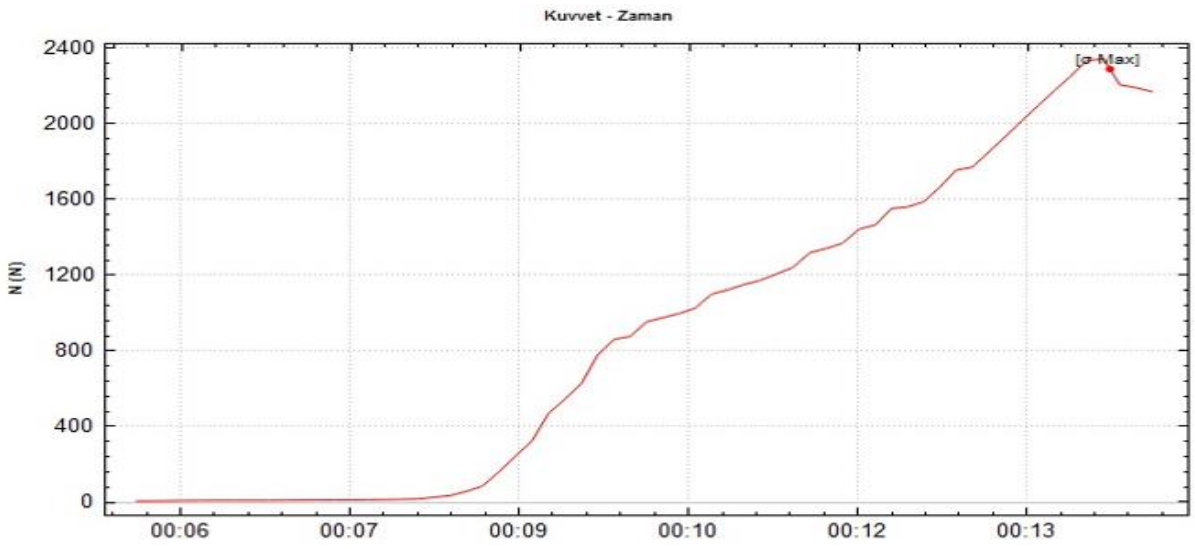
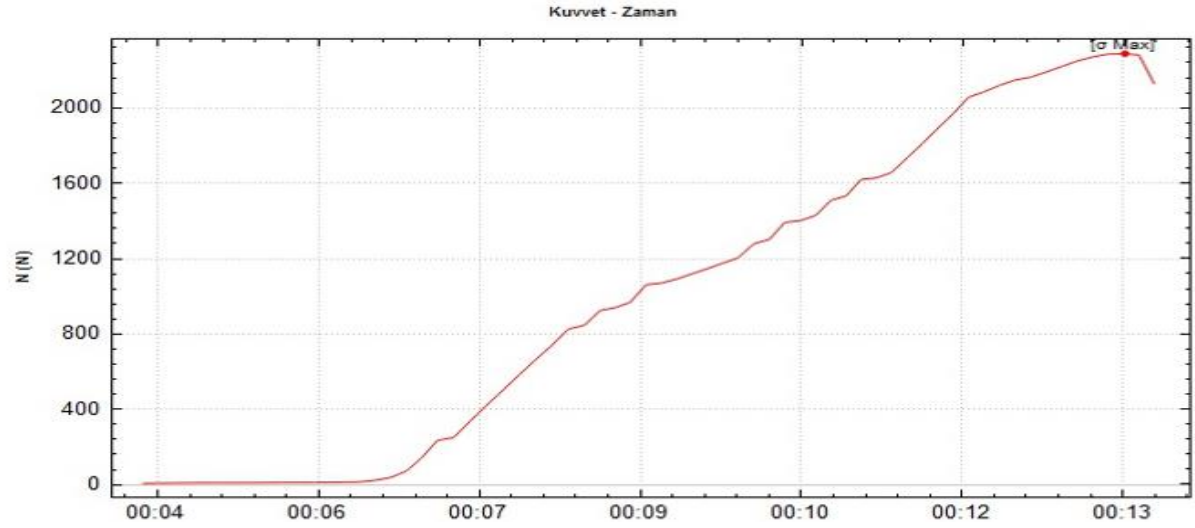
Şekil A.3. Çeltik kavuzu peleti sıkıştırma test grafiği



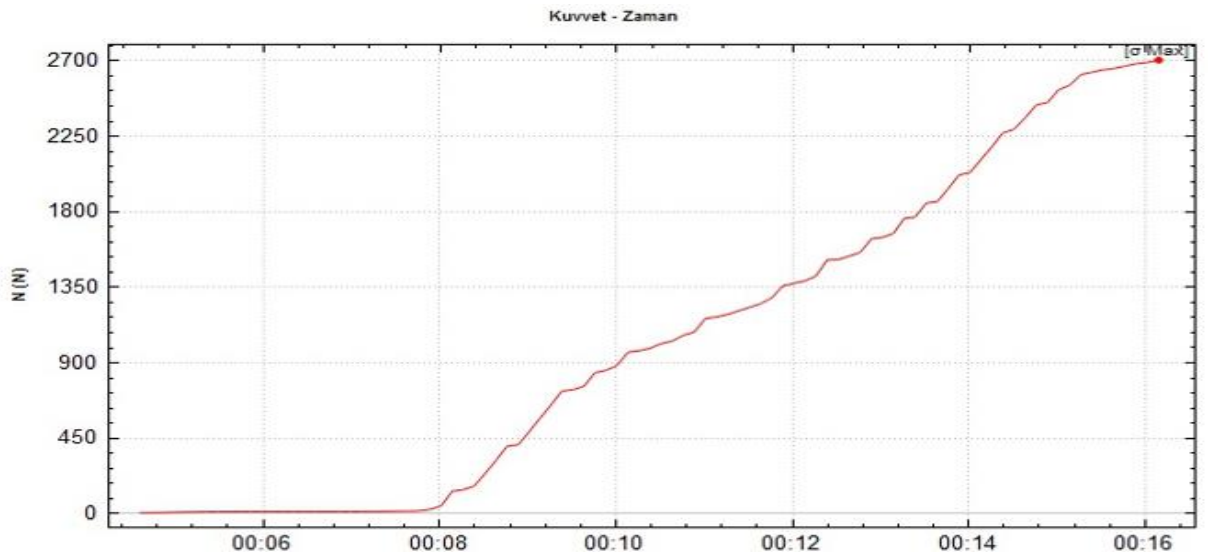
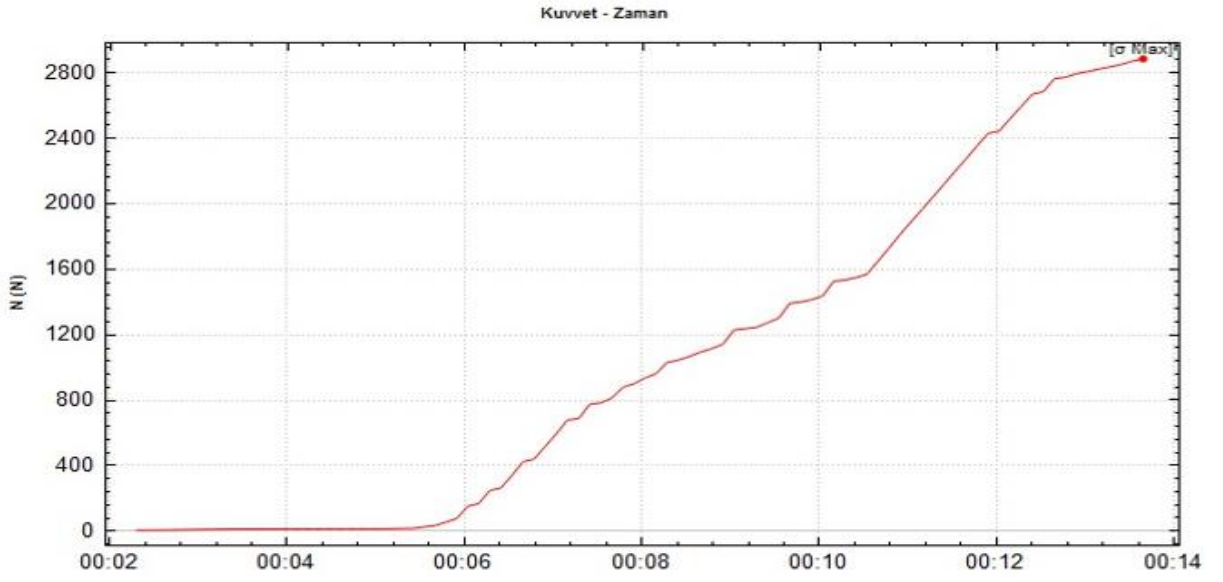
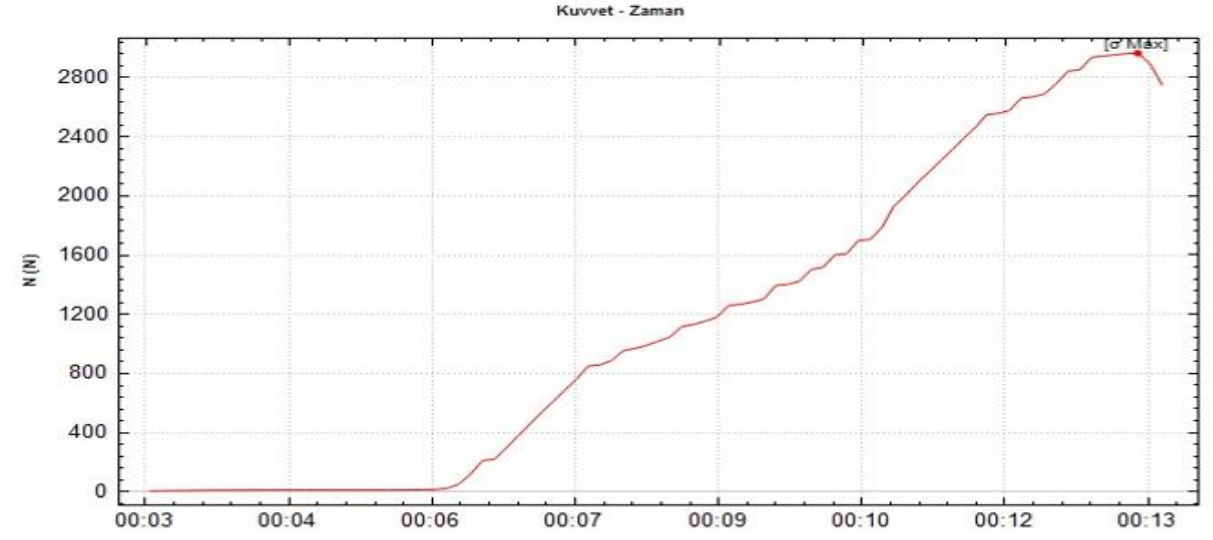
Şekil A.4. Karışım 1 (K30F70) peleti sıkıştırma test grafiği



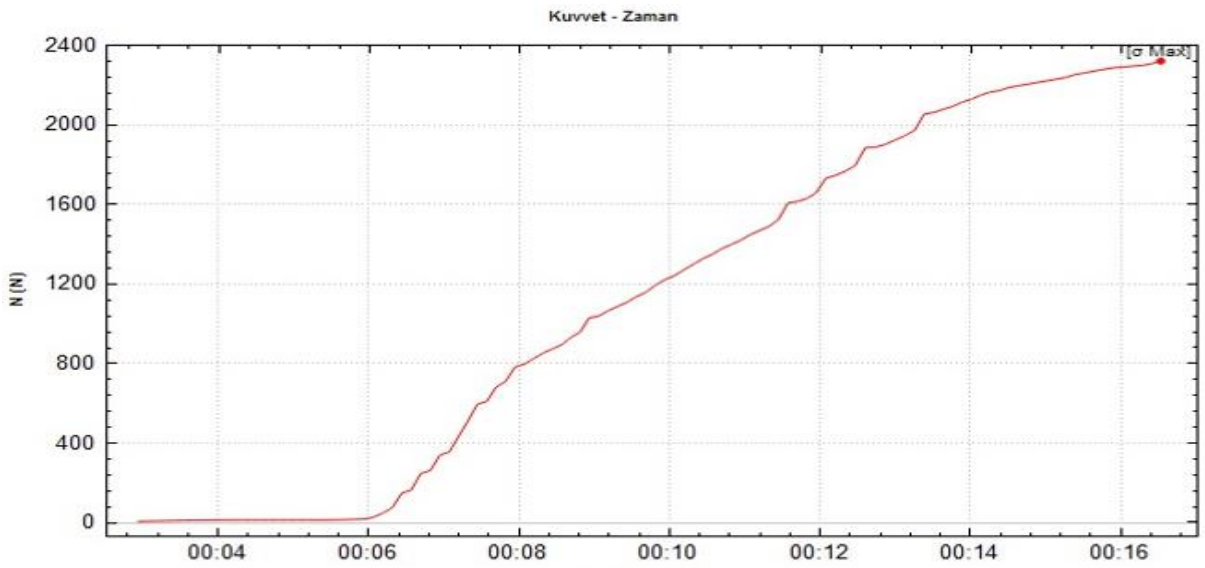
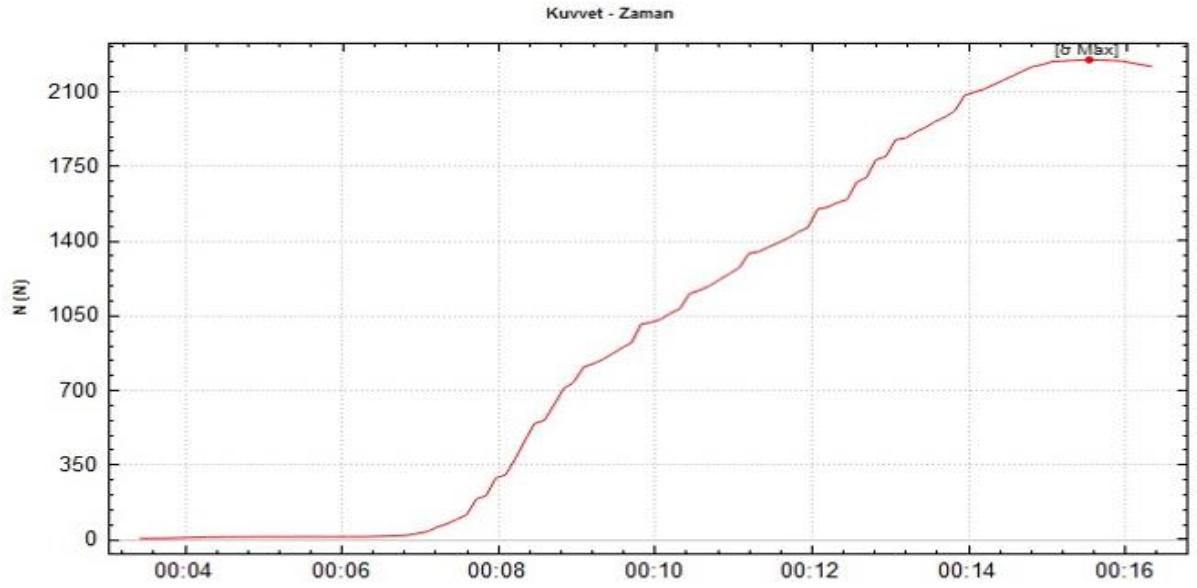
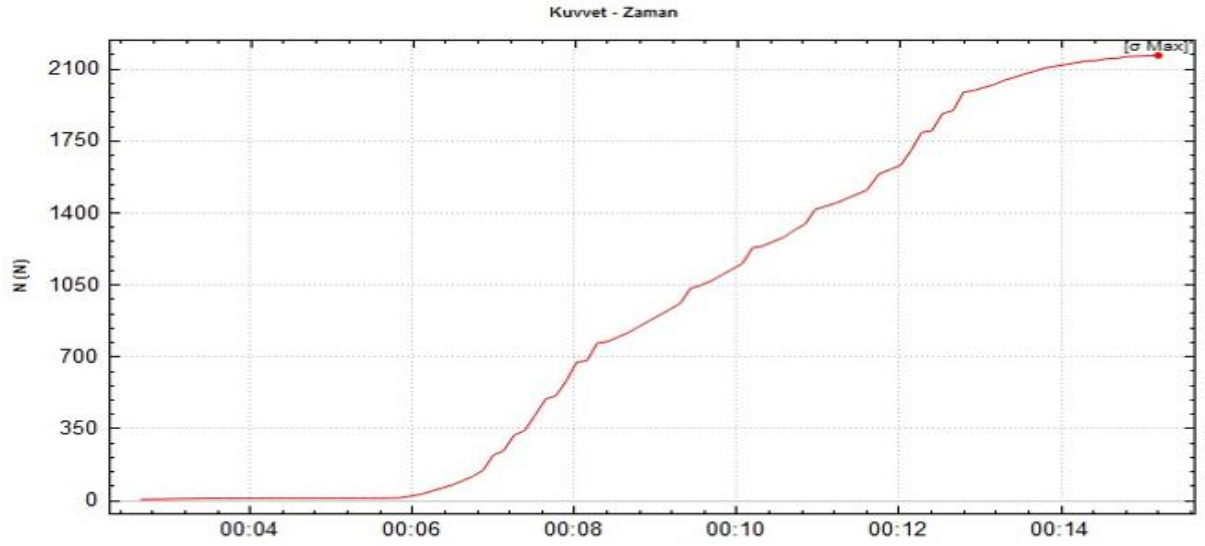
Şekil A.5. Karışım 2 (K50F50) peleti sıkıştırma test grafiği



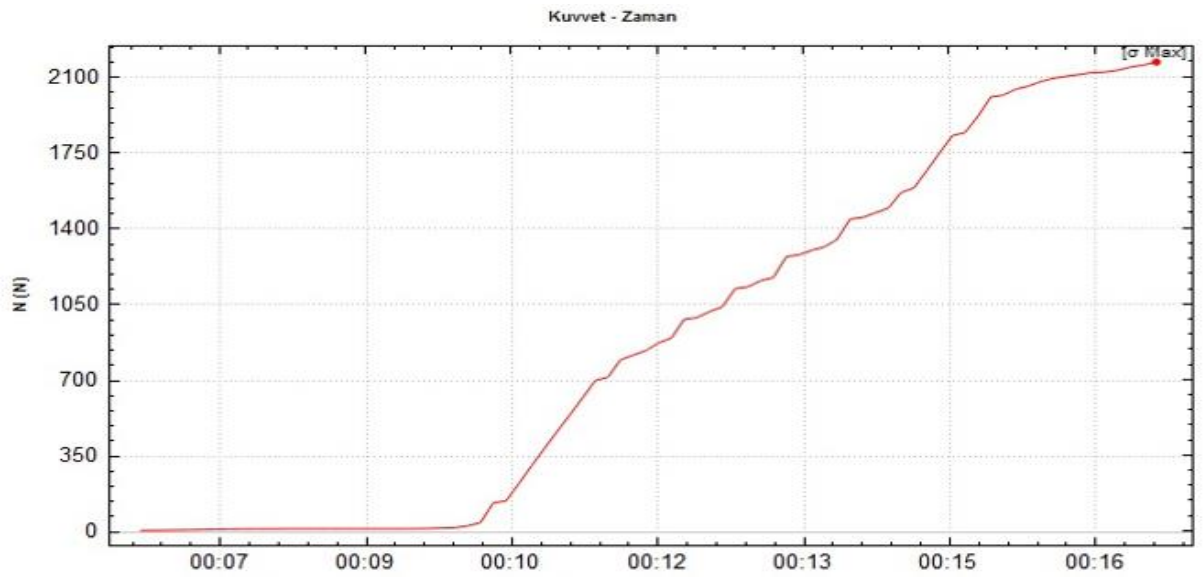
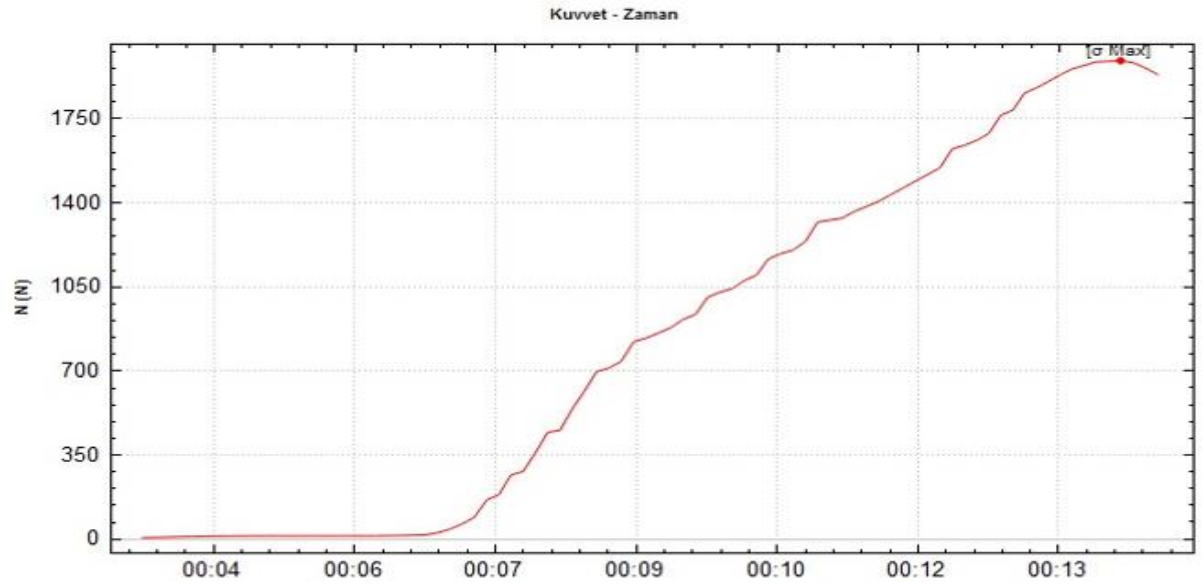
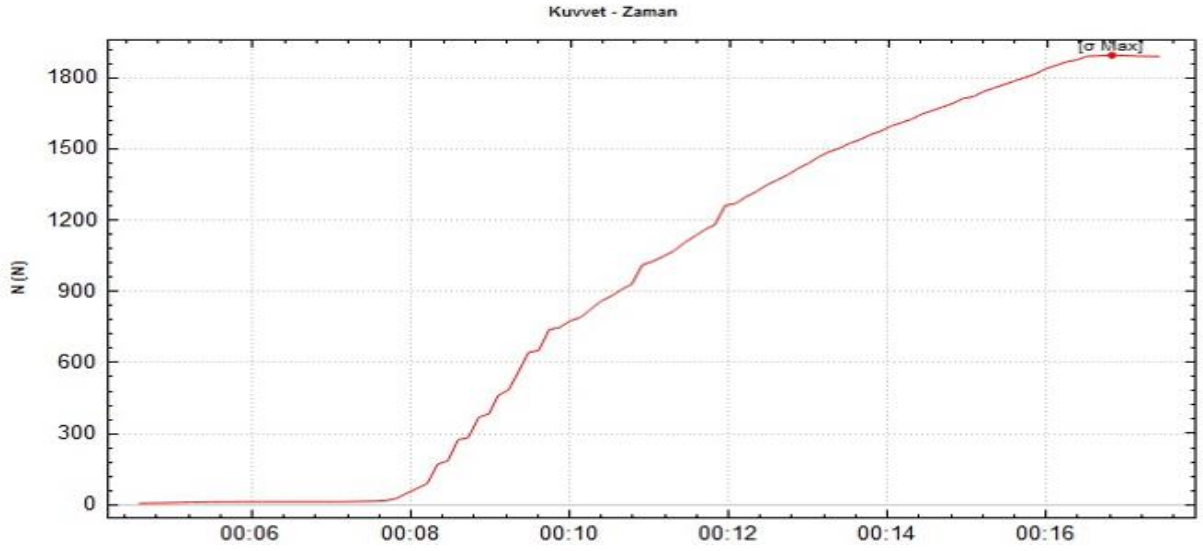
Şekil A.6. Karışım 3 (K70F30) peleti sıkıştırma test grafiği



Şekil A.7. Karışım 4 (K30Ç70) peleti sıkıştırma test grafiği



Şekil A.8. Karışım 5 (K50Ç50) peleti sıkıştırma test grafiği



Şekil A.9. Karışım 6 (K70Ç30) peleti sıkıştırma test grafiği

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Zonguldak/ Ereğli’de doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Lise öğrenimini Ereğli’de tamamladı. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü’ ne 2011 yılında başladı ve 2015 yılında mezun oldu. Aynı yıl, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı yıl, Samsun Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Enerji Tarımı Araştırma Merkezinde; Farklı Tatlı Sorgum Bitkisinin Çukurova ve GAB Bölgesinde Biyoetanol ve Biyokütle Üretim Potansiyelinin Saptanması adlı TÜBİTAK projesinde bursiyer olarak göreve başladı. Halen, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü proje bursiyeri olarak çalışmaktadır.