



**KİNOA VE AMARANT HASAT ARTIKLARINDAN
ÜRETİLEN BİYOYAKIT PELETLERİN YANMA
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Savaş UZUNOĞLU
Yüksek Lisans Tezi

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emrah KUŞ

2019
Her hakkı saklıdır

**T.C.
IĞDIR ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİNOA VE AMARANT HASAT ARTIKLARINDAN ÜRETİLEN BİYOYAKIT
PELETLERİN YANMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Savaş UZUNOĞLU

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**IĞDIR
2019**

Her hakkı saklıdır

Dr. Öğr. Üyesi Emrah KUŞ danışmanlığında Savaş UZUNOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma/.../.... tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafında Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Yıldırım YILDIRIM.....İmza:

Üye: Doç. Dr. Sefa ALTIKAT.....İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Emrah KUŞ.....İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim kurulunun / /2019 tarih ve 2019/ sayılı kararı ile onaylanmıştır.

(İmza)

.....

Doç. Dr. Süleyman TEMEL

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Savaş UZUNOĞLU



Bu çalışma Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Merkezi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2017-FBE-L15

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

KİNOA VE AMARANT HASAT ARTIKLARINDAN ÜRETİLEN BİYOYAKIT PELETLERİN YANMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

UZUNOĞLU, Savaş

Yüksek Lisans Tezi, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Emrah KUŞ

Temmuz 2019, 89 sayfa

Birçok tarla bitkisinin, daneleri hasat edildikten sonra sap kısımları tarlada bırakılmakta, bahçe tarımında da budama artıkları, meyve işleme atıkları, kabuk, çekirdek gibi değerlendirilemeyen kısımlar tarımsal atık ve artık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tarımsal atık ve artıklar büyük bir biyokütle potansiyeli oluşturmaktadır. Bu potansiyeli değerlendirmenin bir yolu da bu biyokütlenin katı biyoyakıtı çevrilmesidir. Bu çalışma ile tahıl amaçlı üretilen kinoa ve amarant bitkilerinin sap kısımları tarladan toplanılarak öğütülmüş ve peletlenerek katı biyoyakıt formuna getirilmiştir. Peletleme işleminde 3 kW motor gücüne sahip, işleme kapasitesi 50-60 kg/h saat olan dairesel sıralı delikli düz kalıplı peletleme makinası kullanılmıştır. Kinoa ve amarant hasat artıkları hem yalın olarak hem de pirina ve kızılçam talaşı ile 50:50 karıştırılarak 6 farklı pelet numunesi üretilmiştir (%100 kinoa, 50:50 kinoa ve kızılçam talaşı, 50:50 kinoa ve toz pirina, 100:0 amarant, 50:50 amarant ve kızılçam talaşı, 50:50 amarant ve toz pirina). Üretilen peletlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, ısı değerleri, termal davranışları ve yanma gazı emisyonları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda peletlerin nem içeriği %12,79 - %15,62; kül içeriği %5,76 - 10,70; uçucu madde içeriği %58,14 - %62,49; sabit karbon içeriği %15,55 - %18,41 ve düşme dayanıklılık direnci de %96,20 - %98,99 aralığında tespit edilmiştir. Peletleme öncesi 4 farklı materyalin yoğunlukları 161,74 kg/m³ ile 569,21 kg/m³ aralığında değişirken peletleme sonrası elde edilen 6 farklı pelet numunesinin parça yoğunlukları en düşük 1255,24 kg/m³ ve en yüksek 1351,44 kg/m³ olarak belirlenmiştir. En düşük ısı değerleri 3653 kcal/kg ile amarant hasat artıklarından üretilen pelete ait olurken en yüksek ısı değeri 4281 kcal/kg ile kinoa hasat artığı ve pirinanın 50:50 karışımı ile üretilen pelete aittir. Kinoa ve amarant hasat artıklarına pirina ve çam talaşı ilave edilerek peletlenmesinin, yakıtın sabit karbon içeriğini, uçucu madde içeriğini ve ısı değerini artırdığı, kül içeriğini düşürdüğü ve böylelikle yakıt kalitesini iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Biyokütle, Biyoyakıt, Pelet, Kinoa, Amarant.

ABSTRACT

DETERMINE OF COMBUSTION CHARACTERISTICS OF BIOFUEL PELLETS PRODUCED FROM QUINOA AND AMARANTH HARVEST RESIDUES

UZUNOĞLU, Savaş

Master Thesis, Department of Biosystem Engineering

Thesis Advisor: Asst. Prof. Emrah KUŞ

July 2019, 89 pages

The stems of many field plants left after the crop is harvested, and parts of cannot be evaluated in the horticulture such as pruning residues, fruit processing waste, crust, kernel are called as agricultural waste or residue. These agricultural wastes or residues constitute a huge biomass potential. One way to assess this potential is to convert existing biomass into solid biofuel. In this study, stalk parts of quinoa and amaranth plants were collected from the field, ground and compressed into solid biofuel form. In the compressing process, a circular die perforated flat die pelletizing machine with a motor power of 3 kW and a processing capacity of 50-60 kg h⁻¹ was used. 6 different pellet samples were produced by mixing quinoa and amaranth harvest residues with pirina and pine shavings (100% quinoa, 50:50 quinoa and pine shavings, 50:50 quinoa and olive pomace, 100% amaranth, 50:50 amaranth and pine shavings, 50:50 amaranth and olive pomace). The physical and chemical properties, calorific values, thermal behavior and combustion gas emissions of the produced pellets were determined. The moisture content of the pellets was 12,79% - 15,62%; ash content 5.76 - 10.70%; volatile matter content 58.14% - 62.49%; fixed carbon content was found to be 15.55% - 18.41% and drop resistance was found to be between 96.20% - 98.99%. The densities of 4 different materials before pelleting ranged from 161.74 kg m⁻³ to 569.21 kg m⁻³, whereas the pellet densities obtained after pelleting were determined as 1255.24 kg m⁻³ and 1351.44 kg m⁻³, respectively. The lowest calorific value was obtained as 3.653 kcal kg⁻¹ in the pellet produced from amaranth harvest residues. The highest calorific value was obtained as 4.281 kcal kg⁻¹ in the pellet produced by mixtured 50:50 of quinoa harvest residue and olive pomace. Addition of olive pomace and pine shavings to quinoa and amaranth harvest residues has been found to increase the fixed carbon content, volatile matter and calorific value of the fuel, reduce ash content and thereby improved fuel quality.

Keywords: Biomass, Biofuel, Pellet, Quinoa, Amaranth.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çağımızda, enerji en büyük ihtiyaçlarımızdan biridir ve önemi gün geçtikçe daha da artmaktadır. Bugün dünyada bu ihtiyacımızın büyük bir kısmı petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kökenli kaynaklardan sağlanmaktadır. Uzun yıllar boyunca fosil kökenli yakıtların kullanımı sebebiyle atmosferdeki sera gazı miktarları artmış ve bu durum günümüzde gözle görülür bir şekilde iklim değişikliklerine yol açmıştır. Bununla beraber dünyadaki fosil kökenli enerji kaynaklarının çok da uzak olmayan bir gelecekte tükenmesi söz konusudur. Artık insanlık olarak hem tükenmeyen hem de gezegenimize zarar vermeyecek bir enerji kaynağına ihtiyacımız olduğu açıktır. Bu kaynak da yenilenebilir enerjidir. Güneş, rüzgar, jeotermal, su (akıntı, dalga, gel-git) ve biyokütle; yenilenebilir enerji kaynaklarımızdır ve kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Tarihte odun en eski biyokütle enerji kaynağı olarak kullanılsa da modern anlamda biyoyakıtlar, canlı veya biyolojik kökenli atık ve artıkların fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve termal süreçlerden geçirilmesi ile elde edilmekte ve böylelikle verimli, taşınabilir, depolanabilir ve en önemlisi yenilenebilir bir yakıt haline getirilmektedir. Türkiye, tarım ülkesi olması hususuyla biyokütle enerjisi üretimi için büyük bir ham madde potansiyeline sahiptir. Nitekim Ülkemizde tarla bitkilerinin sapları genellikle tarlada kalmakta, bahçe tarımında ise dal, yaprak, kabuk, çekirdek gibi artıklar oluşmaktadır. Bunlara hayvancılık atıkları ve organik evsel atıklar da dâhil edilebilir. Şimdiye kadar yapılan bilimsel çalışmalar, tarımsal artıklardan üretilen biyoyakıtların verimli ve kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Bu çalışma ile ülkemizde yaygınlaşmaya başlayan iki tarım ürünü kinoa ve amarant bitkilerinin hasat artıklarının katı biyoyakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların yenilenebilir enerji konusunda yapılan çalışmalara katkı sağlaması, bundan sonra yapılacak çalışmalar için de fikir vermesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın araştırılması ve hazırlanmasında her türlü bilgi ve önerisiyle bana yön veren danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Emrah KUŞ'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca görüş ve katkılarından sayın Prof. Dr. Yıldırım YILDIRIM'a ve sayın Doç. Dr. Sefa ALTİKAT'a teşekkür ederim.

Çalışma esnasında değerli bilgi ve görüşlerinden yararlandığım sayın Prof. Dr. Kamil EKİNCİ'ye, materyal temini ve yetiştiricilik konusunda yaptıkları katkıları sebebiyle sayın Prof. Dr. Mustafa TAN ve sayın Doç. Dr. Süleyman TEMEL'e, çalışmanın yürütülmesinde katkısı olan Karadeniz Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü Enerji Tarımı Bölümüne, yüksek lisans eğitimim boyunca emeği geçen Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği ile diğer bölüm öğretim üyesi ve öğretim elemanlarına, 2017-FBE-L15 No'lu proje ile bu çalışmayı maddi olarak destekleyen Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinasyon Birimine, görüş ve bilgilerine başvurduğum lisansüstü öğrenci ve mezunlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Benden sevgisini ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili eşim Ayşegül UZUNOĞLU'ya ve oğlum Karahan'a sonsuz sevgilerimi sunarım.

Savaş UZUNOĞLU

Temmuz, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Kavramı.....	1
1.2. Yenilenebilir Enerji.....	3
1.3. Biyokütle Enerjisi.....	5
1.4. Pelet ve Peletleme.....	9
1.5. Çalışmada Kullanılan Tarımsal Atık-Artık Kaynakları.....	12
1.5.1. Amaranant (<i>Amaranthus spp.</i>).....	12
1.5.2. Kinoa (<i>Chenopodium Quinoa</i>).....	12
1.5.3. Pirina.....	13
1.5.4. Kızılçam (<i>Pinus Brutia</i>).....	14
1.6. Çalışmanın Amacı.....	14
2. KAYNAK ÖZETLERİ	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM	25
3.1. Materyal.....	25
3.1.1. Amaranant hasat artıkları.....	25
3.1.2. Kinoa hasat artıkları.....	26
3.1.3. Kızılçam talaşı, toz pirina ve bağlayıcı madde.....	27
3.2. Yöntem.....	28
3.2.1. Materyallerin hazırlanması.....	28
3.2.2. Peletleme.....	30
3.2.3. Fiziksel, kimyasal ve termal analizler.....	38

3.2.3.a. Ham madde parçacık boyut dağılımı.....	38
3.2.3.b. Nem içeriğinin belirlenmesi.....	41
3.2.3.c. Kül içeriğinin belirlenmesi.....	42
3.2.3.ç. Uçucu madde içeriğinin belirlenmesi.....	43
3.2.3.d. Sabit karbon içeriğinin belirlenmesi.....	44
3.2.3.e. Teorik üst ısı değerinin belirlenmesi.....	44
3.2.3.f. Hacim ve parça yoğunluğunun belirlenmesi.....	45
3.2.3.g. Su alma direncinin belirlenmesi.....	47
3.2.3.ğ. Dayanıklılık direncinin belirlenmesi.....	48
3.2.3.h. Elementel analiz.....	49
3.2.3.ı. Isıl değer belirlenmesi.....	50
3.2.3.i. Yanma gazları emisyon değerlerinin belirlenmesi.....	51
3.2.3.j. Termal analiz.....	52
3.2.4. İstatistiksel Analizler.....	54
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	55
4.1. Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları.....	55
4.1.1. Ham maddeye ait fiziksel ve kimyasal analizler.....	55
4.1.2. Pelet kimyasal analizleri.....	56
4.1.3. Pelet fiziksel analizleri.....	60
4.2. Peletlerin Yanma Özelliklerine Ait Analizler.....	62
4.2.1. Peletlerin elementel ve ısı değer analizleri.....	62
4.2.2. Peletlerin yanma gazları emisyon değerleri.....	64
4.2.3. Peletlerin termal analizi.....	67
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	76
5.1. Sonuçlar.....	76
5.2. Öneriler.....	78
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	90

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
μm	Mikrometre veya mikron
A_0	Amarant hasat artıklarından elde edilen materyal
A_1	A_0 materyal ile üretilen pelet
A_2	A_0 ve KT materyaller ile üretilen pelet
A_3	A_0 ve TP materyaller ile üretilen pelet
atm	Atmosfer (basınç)
BG	Beygir gücü
C	Karbon
cal	Kalori
cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekare
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
CO_x	Karbonoksitler
d	Pelet çapı
D_d	Dayanıklılık direnci
DTG	Diferansiyel Termogravimetri
FC	Sabit karbon içeriği
g	Gram
H	Hidrojen
h	Saat
H_2O	Su
HA	Hasat artıkları
He	Helyum
HHV	Üst ısı değer
J	Joule

kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
kg	Kilogram
KT	Kızılçam talaşı
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattsaat
l	Pelet uzunluğu
M	Nem içeriği
m₁	Boş kabın ağırlığı
m₂	Pelet ile dolu kabın ağırlığı
m³	Metreküp
M_a	Test öncesi elenmiş pelet kütlesi
M_e	Test sonrası elenmiş pelet kütlesi
M_f	Materyalin son durumdaki nemi
mg	Miligram
M_i	Materyalin ilk durumdaki nemi
MJ	Megajoule
M_k	Kuru pelet kütlesi
mm	Milimetre
M_{sa}	Su almış pelet kütlesi
M_u	Tek pelet ağırlığı
MW	Megawatt
M_{yk}	Yakma sonucu kalan materyal kütlesi
N	Newton
N	Azot
Nm³	Normalmetreküp
NO	Azotmonoksit
NO_x	Azotoksitler
O	Oksijen
Pa	Pascal
PJ	Petajoule

ppm	Parts per million (konsantrasyon)
Q	Eklenecek su miktarı
Q₀	Kinoa hasat artıklarından elde edilen materyal
Q₁	Q ₀ materyal ile üretilen pelet
Q₂	Q ₀ ve KT materyaller ile üretilen pelet
Q₃	Q ₀ ve TP materyaller ile üretilen pelet
S	Kükürt
SA	Su alma direnci
SO_x	Kükürtoksitler
TGA	TermoGravimetrik Analiz
TP	Toz pirina
V	hacim
VC	Uçucu madde içeriği
W_i	Materyalin ilk ağırlığı
W_u	Tek pelet hacmi
ρ_{hy}	Pelet hacim yoğunluğu
ρ_u	Pelet parça yoğunluğu

Kısaltmalar

ASTM	American Society for Testing and Materials
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN (CEN)	Commite European de Normalization
IEA	International Energy Agency
IKHKKY	Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrol Yönetmeliği
ISO	International Organization for Standardization
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	2
Şekil 1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları	3
Şekil 1.3. Biyokütleye uygulanan dönüşüm süreçleri	8
Şekil 1.4. Biyoyakıtların sınıflandırılması	8
Şekil 1.5. Düz kalıplı pelet presi ve çember kalıplı pelet presi	10
Şekil 1.6. Pelet üretim aşamaları	11
Şekil 1.7. Peletin yanma aşamaları	11
Şekil 3.1. Hamur İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü amarant demonstrasyonu.....	25
Şekil 3.2. Iğdır Üniversitesi TUAM amarant denemesi.....	26
Şekil 3.3. Ağrı, Hamur'da kinoa tarlası.....	26
Şekil 3.4. Ağrı, Tutak'da kinoa tarlası.....	27
Şekil 3.5. Kızılcım talaşı.....	27
Şekil 3.6. Toz pirina ve şeker pancarı melası	28
Şekil 3.7. Tarladan toplanarak kurumaya bırakılan amarant ve kinoa hasat artıkları.....	28
Şekil 3.8. Çekiçli değirmen.....	29
Şekil 3.9. Parçalanmış amarant ve kinoa hasat artıkları.....	30
Şekil 3.10. Peletleme makinası.....	31
Şekil 3.11. Materyal nem içeriğinin belirlenmesi.....	32
Şekil 3.12. Nem içeriğinin %25'e çıkarılmasıyla, sırasıyla 50, 60 ve 70 °C materyal sıcaklığında elde edilen peletler.....	34
Şekil 3.13. Peletleme makinası ve peletlerde yapılan sıcaklık ölçümleri.....	34
Şekil 3.14. Kullanım öncesi ısıtılan bağlayıcı madde melas.....	35
Şekil 3.15. Amarant HA içerikli pelet üretimi için hazırlanan karışımlar.....	36
Şekil 3.16. Kinoa HA içerikli pelet üretimi için hazırlanan karışımlar.....	36
Şekil 3.17. Pelet üretimi.....	37
Şekil 3.18. Üretilen peletler.....	37
Şekil 3.19. Retsch AS 200 elek sarsıcı.....	39

Şekil 3.20. Elek analizi sonrası öğütülmüş amarant hasat artıklarının parçacık boyut dağılımı.....	40
Şekil 3.21. Elek analizi sonrası öğütülmüş kinoa hasat artıklarının parçacık boyut dağılımı.....	40
Şekil 3.22. Elek analizi sonrası öğütülmüş kıvılcım talaşının parçacık boyut dağılımı.....	41
Şekil 3.23. Elek analizi sonrası öğütülmüş toz pirinanın parçacık boyut dağılımı.....	41
Şekil 3.24. Nem içeriği belirlenen peletler.....	42
Şekil 3.25. Kül içeriği belirlenen ham madde ve peletler.....	43
Şekil 3.26. Uçucu madde içerikleri belirlenene ham madde ve peletler.....	44
Şekil 3.27. Silindirik kap ve hassas terazi.....	45
Şekil 3.28. Peletlerin tartılması ve boyutların ölçülmesinde kullanılan hassas terazi ve dijital kumpas.....	47
Şekil 3.29. Pelet su alma düzeneği ve su alma testi uygulanmış peletler	48
Şekil 3.30. Thumblers test düzeneği ve 3,15 mm delik çaplı elek	49
Şekil 3.31. Elementel analiz cihazı.....	50
Şekil 3.32. Kalorimetre ve O ₂ dolun cihazı	50
Şekil 3.33. Baca gazı emisyon cihazı ve yanma gazları analizinde kullanılan pelet sobası.....	52
Şekil 3.34. Eşzamanlı termogravimetrik çözümleyici ve diferansiyel taramalı kalorimetre.....	53
Şekil 3.35. Örnek bir termogram (A ₁ peleti).....	54
Şekil 4.1. Peletlerin genel görünümü.....	57
Şekil 4.2. A ₁ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri.....	69
Şekil 4.3. A ₂ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri.....	70
Şekil 4.4. A ₃ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri.....	71
Şekil 4.5. Q ₁ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri.....	72
Şekil 4.6. Q ₂ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri.....	73
Şekil 4.7. Q ₃ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri.....	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

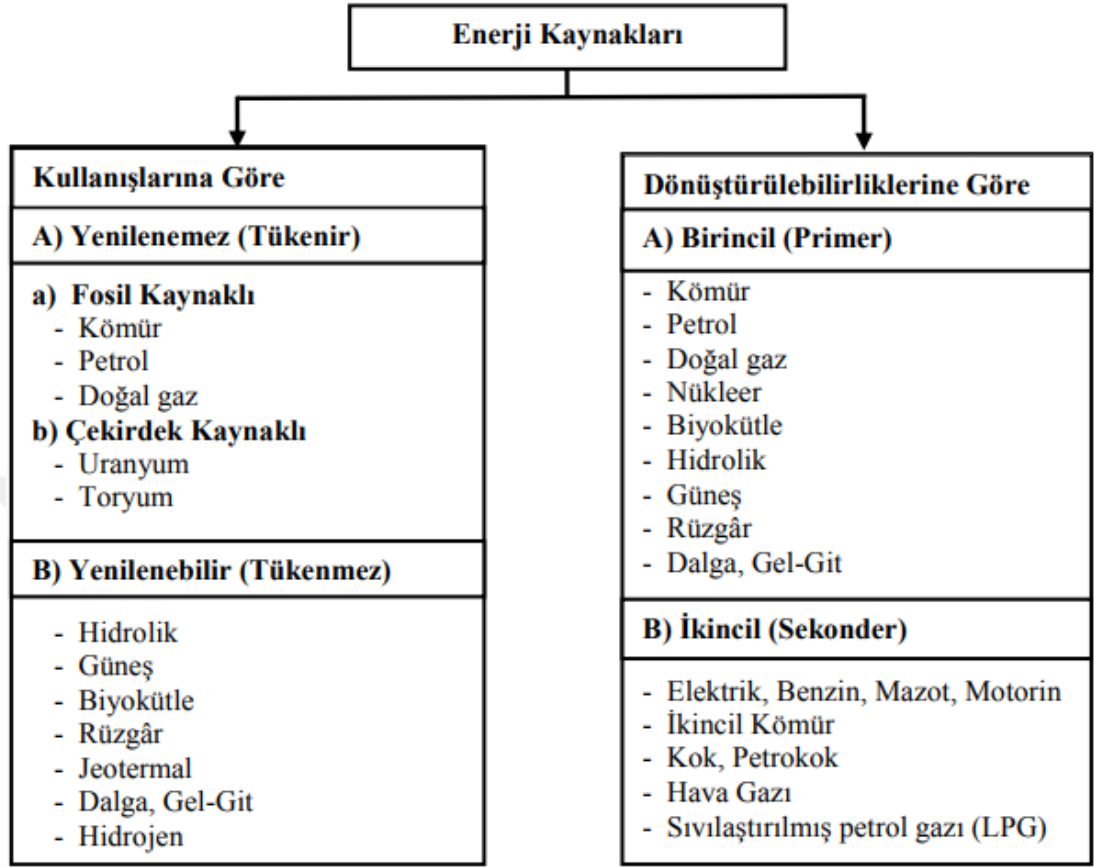
	Sayfa No
Çizelge 3.1. Pelet numunelerinin içerikleri.....	31
Çizelge 3.2. Ham madde nem içerikleri.....	32
Çizelge 3.3. Materyal Parçacık Boyut Dağılımı.....	39
Çizelge 4.1. Pelet ham maddelerine ait kısa analiz sonuçları.....	55
Çizelge 4.2. Pelet kimyasal analiz sonuçları.....	58
Çizelge 4.3. Pelet fiziksel analiz sonuçları.....	60
Çizelge 4.4. Pelet elementel analiz ve ısıl değer sonuçları.....	63
Çizelge 4.5. Peletlerin baca gazı emisyon sonuçlar.....	66
Çizelge 4.6. Pelet yanma gazları emisyon değerleri ile Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (IKHKKY) biyokütle ve odun yakıtı için izin verilen emisyon değerlerinin karşılaştırılması.....	67
Çizelge 4.7 Peletlere ait maksimum bozunma sıcaklıkları, maksimum kütle kayıp oranları ve toplam kütle kaybı değerleri.....	75

1. GİRİŞ

1.1. Enerji Kavramı

Enerji, en basit anlatımla bir sistemin iş yapabilme yeteneğinin ölçüsüdür. Isı, ışık, hareket, elektrik, nükleer ve yer çekimi olmak üzere çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir. (Demirel, 2012). Türk Dil Kurumu Sözlüğünde ise enerji; “Maddede var olan ve ısı, ışık biçiminde ortaya çıkan güç, erke” olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2019a).

Günlük yaşamın her aşamasında kullanılmakta olan enerji; jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgâr, kimyasal, nükleer, mekanik, termal ve elektrik enerjisi olmak üzere değişik şekillerde bulunabilmektedir. Enerjinin ekonomik anlamda değişik yöntemlerle elde edildiği kaynaklar, enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Enerji kaynakları kullanılışlarına göre, alternatif (yenilenebilir) ve fosil (yenilenemez) enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca dönüştürülebilme yöntemine göre birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde sınıflandırılabilir (Şekil 1.1). Fosil veya yenilenemez enerji kaynaklarının kısa bir gelecekte tükenebileceği öngörülmektedir. Bu enerji kaynakları kendi arasında fosil ve çekirdek kaynaklılar olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılabilir. Alternatif enerji kaynakları ise; uzak gelecekte tükenmeden kalabilecek olan ve yenilenebilir kaynaklarını ifade etmektedir. Doğadaki enerjilerin herhangi bir değişim ya da dönüşüm göstermemiş şekline birincil (primer) enerji kaynakları denilmektedir. Bu kaynaklar; petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, jeotermal hidrolik, biyokütle, dalga-gelgit, güneş ve rüzgârdır. Üretilen enerji kaynakları olarak da adlandırılan ikincil enerji kaynakları ise birincil ve ikincil enerjilerin dönüştürülmesi sonucu elde edilmektedir. Elektrik, ısı, mekanik, kimyasal, elektromanyetik, benzin, mazot, motorin, kok kömürü, ikincil kömür, petrokok, hava gazı, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) bu tip enerji kaynaklarından (Şenel, 2012).



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Şenel, 2012).

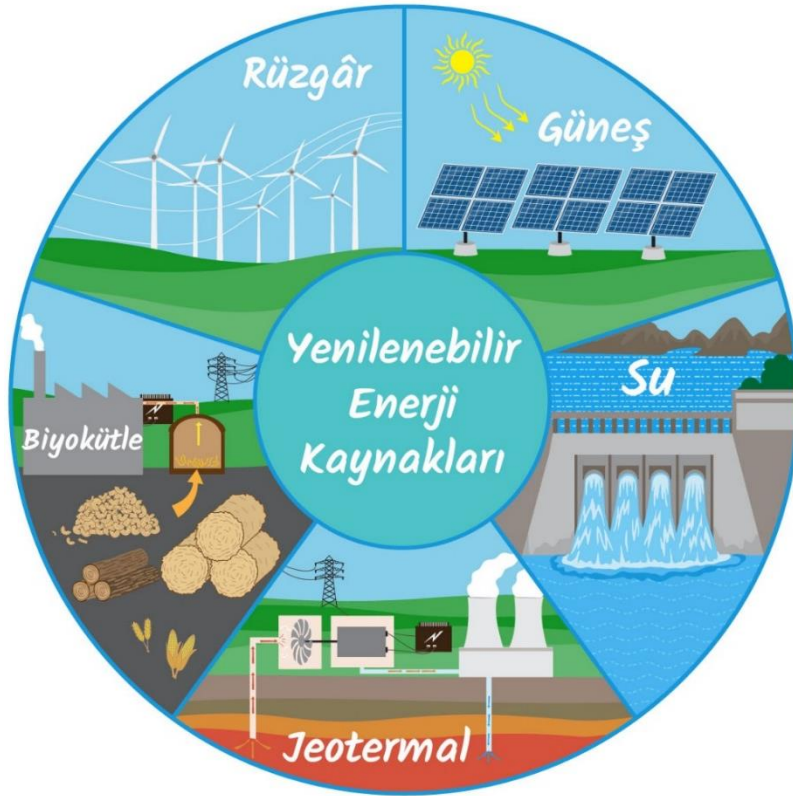
Enerji, canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan temel ihtiyaçlardan birisidir. Isıtma, aydınlatma, elektrikli alet ve cihazların çalıştırılmasında, taşımacılıkta ve sanayi gibi pekçok alanda enerji kullanılmaktadır. Enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanılması çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006). Dünyadaki enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık olarak %4-5 oranında artmaktadır. Ancak bu enerjinin büyük çoğunluğunun elde edildiği fosil yakıt rezervi ise çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. Yapılan tahminlere göre, gelecekteki yarım asırlık süre içerisinde fosil kaynaklı olan petrol rezervinin tükenebileceği öngörülmektedir. Bu durum Kömür ve doğal gaz gibi diğer fosil kaynaklılar içinde geçerlidir (Görez ve Alkan, 2005).

Temel enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan fosil yakıtların ve türevlerinin özellikle 20. yüzyılda yoğun bir şekilde kullanılması, ozon tabakasının delinmesi, asit yağmurları, küresel ısınma gibi etkilere neden olmaktadır. Bu durum, belki de dünyayı

geriye dönüşü zor bir çevresel problem ile karşı karşıya bırakmıştır (Bayram, 2000; Kumbur ve ark., 2005).

1.2. Yenilenebilir Enerji

Hızlı artan dünya nüfusu, ham madde ve enerji kaynaklarının kapasitelerinin sınırlı olması ve buna karşın birincil enerji kaynaklarının rezervlerinin kısıtlı olması, bilim insanını geleneksel olmayan modern enerji kaynaklarını bulmaya zorlamaktadır. Bunların yanı sıra, yakıt fiyatlarının artışı, endüstrileşme, ulusal kaynakları değerlendirme önceliği, fosil enerji kaynaklarının çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve buna bağlı olarak iklim değişikliği sorunu, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve yeni enerji teknolojilerini zorunlu kılmaktadır (Kapluhan, 2014).



Şekil 1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları (Baykal, 2018)

Uluslararası enerji ajansı, yenilenebilir enerjiyi güneş ışığı ve rüzgâr gibi doğal kaynaklardan elde edilen ve tüketildiğinden daha çabuk bir şekilde yerine konulabilen

enerji olarak tanımlamaktadır. Yenilenebilir enerji; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji ve bazı biyokütle çeşitleri yenilenebilir enerjinin ortak kaynaklarını oluşturmaktadır (IEA, 2018).

Yenilenebilir enerji kaynakları temiz ve sürdürülebilir olmasıyla birlikte dünya üzerindeki her ülkede bulunabilen bir özelliğe sahiptir. Fosil yakıtların kullanılmasıyla; dışa bağımlılık, ithalat giderleri ve çevre sorunları gibi önemli olumsuzlukların artmasının yanı sıra, bu rezervlerin yakın gelecekte tükenme olasılığı, yenilenebilir enerjileri öne çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerjilerin kullanımıyla ilgili teknik ve ekonomik açıdan öne çıkan problemlerin çözülebilmesi durumunda mevcut aşırda enerji kaynağının en önemlisi olacağı öngörülmektedir (Anonim, 2004).

Bugüne dek gelen süreçte "geleneksel" olarak bilinen fosil kaynaklar enerjimizin büyük kısmını karşılamıştır. Ancak fosil kaynakların her ülkede bulunamayışı, ulaşılmasının ve ulaştırılmasının yüksek maliyet gerektirmesi, rezervlerinin her geçen gün azalması ve çevreye büyük zararlar vermesi gibi sebeplerden dolayı enerji üretiminde yeni kaynak gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle enerji üretiminde fosil yakıtların alternatifi olarak yenilenebilir kaynaklar gündeme gelmiştir. Dünya üzerindeki her devletin enerji ihtiyacının belirli bir kısmını kendi imkânlarıyla yenilenebilir kaynaklardan üretebilmesi heyecan verici olarak karşılanmıştır. Buna rağmen, yenilenebilir enerji üretimi dünyanın geneline yayılamamış ve istenilen boyuta ulaşamamıştır. Bu bilgiler ışığında, yakın gelecekte yenilenebilir enerjinin kullanımının ciddi ölçüde artacağını söylemek yanlış olmayacaktır (Çıtak ve Kılınç Pala, 2016).

Dünyadaki fosil kaynakların yakın gelecekte tükenme olasılığı ve fosil kaynaklı enerjilerin kullanımıyla çevreye büyük oranda sera gazı emisyonları yayması yenilenebilir enerjileri öne çıkarmıştır. Ülkemizin 12 yıl önceki enerji tüketimi 107,6 MTEP iken, üretim 27,4 MTEP'dir. Enerji tüketimimizin büyük çoğunluğu fosil kaynaklıdır. Tüketimimiz kaynaklara göre dağıtıldığında; %33 ile petrol ilk sırayı alırken bunu %30 ile doğalgaz takip etmektedir. Türkiye ile birlikte pek çok Avrupa Birliği ülkesinde tüketilen enerjinin büyük kısmını fosil kaynaklardan sağlamaktadır. Bu büyük orandaki kullanım, fosil kaynaklı enerjilerin çevreye olan olumsuz etkilerini artırmakla birlikte, ülkeleri de hem ekonomik hem de politik açıdan sıkıntılarla

sokmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, yenilenebilen enerjilerin kullanımı hem Türkiye hem de AB üyesi ülkeler için stratejik bir öneme sahiptir (Bacak ve ark., 2009).

Tüm dünyada yaygın olarak kullanılan fosil kökenli kaynaklardan enerji üretiminden, tüketimine ve atılmasına kadar gerçekleşen aşamalarda çevreye birbirinden farklı zararlı salımlar yayılır. Bunlardan en önemlisi sera gazı salımlarıdır. Sürdürülebilir bir çevre ve gelişme için sera gazı salımlarının en az düzeyde olması gerekmektedir. Fosil kaynaklı bu salımlar sonucu, başta küresel ısınma olmak üzere, canlıların sağlığını etkileyen çevresel etkilere neden olmaktadır. *Kyoto Protokolü* gereğince, birçok ülkeyle beraber Türkiye’de sera gazı salımlarını azaltmak zorundadır. Fosil kaynaklı enerjilerin tüketilmesi sonucu ortaya çıkan zararlı etkiler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemini artırmaktadır. Bu nedenle, yenilenen enerji kaynaklarının kullanılması ve bu kaynaklar ile ilgili teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Son yıllarda, çevre ve insan sağlığına zararlı kirletici madde salımlarının neden olduğu çevresel sorunlar için önemli çözümler geliştirilmiştir. Bu çözümlerden birisi de biyokütleden enerji üretilmesidir. Türkiye’nin bir tarım ülkesi olması, tarımsal biyokütleden enerji üretimi bakımından özel bir öneme sahiptir (Küsek ve ark, 2015).

1.3. Biyokütle Enerjisi

“Biyokütle terimi, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yasayan organizmaların belirli bir zamanda sahip oldukları toplam kütle miktarı olarak tanımlanabilir” (Alemdağ, 1980; Karayılmazlar ve ark., 2011). Bunun yanı sıra biyokütle, bir kısmı enerji üretimi için kullanılabilen, biyolojik kökenli fakat fosil olmayan organik maddedir. Biyokütlenin enerjisi ise güneş enerjisinin bitkiler tarafından dönüştürülmüş şeklidir.

Enerji ihtiyacının artması, fosil kaynakların hava kirliliği, canlı sağlığını tehdit ve iklim değişiklikleri gibi olumsuz etkilerinden dolayı, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılma zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Biyokütlenin, tükenmez bir kaynak olması, her yerde bulunabilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyoekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle önemli bir enerji kaynağıdır (Boztepe ve Karaca, 2009).

Doğaları gereği biyokütle enerji kaynakları çok çeşitlidir. Karaosmanoğlu (2006) ve Kapluhan (2014) denizde, karada veya her ikisinde de bulunabilen biyokütle enerji kaynaklarını; ağaç artıkları, ayçiçek, kolza, soya, aspir, pamuk, gibi yağlı tohum bitkileri, patates, buğday, mısır, pancar, gibi karbonhidrat bitkileri, keten, kenaf, kenevir, sorgum, gibi elyaf bitkileri, dal, sap, saman, kök, kabuk vb. bitkisel artıklar, hayvansal atıklar, şehirselle ve endüstriyel atıklar olarak sıralamıştır.

Biyokütleden enerji elde etmeyi, klasik ve modern anlamda olmak üzere iki şekilde gerçekleştirmek mümkündür. Geleneksel yöntemde, ormanlardan elde edilen yakacak odun ve yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan atıklarından üretilen tezektir. Modern yöntemde ise; enerji ormancılığı ve orman-ağaç endüstrisi atıkları, tarım kesimindeki bitkisel atıklar, kentsel atıklar ve tarıma dayalı endüstriyel atıkların gelişmiş yöntemler ile enerjiye dönüştürülmesidir. Kavak, okaliptüs, aylandız, paulownia kral vb. ağaçların büyüme hızı doğal ormanlara göre daha fazladır. Güneş ışığının yoğun olduğu bölgelerde yetişen, suyu çok verimli kullanan; düşük karbondioksit yoğunluklarında bile fotosentez yapabilen ve mevsimsel kuraklığa karşı diğer bitkilerden daha dayanıklı olan tatlı sorgum, şeker kamışı, mısır gibi bitkiler C4 (karbon) bitkileri olarak adlandırılmaktadır (Anonim, 2019b).

Biyokütle enerjisi, dünya nüfusunun her geçen gün artması ve büyüyen sanayileşme ile ortaya çıkan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürekli olarak sağlayacak enerji kaynaklarının en önemlisidir. Önemli orman kaynaklarına sahip olmasına rağmen, Türkiye her bölgesiyle yine de bir tarım ülkesidir. Tarımsal üretimdeki asıl amaç tahıl ve diğer tohumların hasadı olmasına rağmen, yakılan ya da tekrar sürülerek toprağa gömülen tarım atıklarını değişik şekillerde değerlendirme imkânı vardır. Türkiye, çok büyük buğday ve diğer tahıl sapsalarının yanı sıra, ayçiçeği ve pamuk sapsaları, çay, tütün ve haşhaş sapsaları gibi pek çok tarımsal atık potansiyeline sahiptir (Acar ve ark., 2016). Ülkemiz için sorun teşkil eden tarımsal ve fabrika atıklarının başında çay, fındık zurufu, çeltik sapı ve kavuzları, ayçiçeği, buğday, arpa, mısır ve kolza sapı gelmektedirler. Tarımsal atık ve artıkların modern yöntemler ile biyokütle kaynağı olarak kullanılması durumunda, hem güvenli olarak bertaraf edilecek hem de bu atıklardan elde edilecek enerji ile ekonomik bir değer kazandırılacaktır (Acar, 2015).

Biyokütle, artan enerji ihtiyacını azaltmak için dışa bağımlılığı gerektirmeyen bir kaynaktır. Bu enerji kaynağının kullanımında geleneksel yöntemler yerine modern yöntemler tercih edilmelidir. Türkiye İstatistik Kurumu'ndan sağlanan veriler ile yapılan hesaplamalara göre, ülkemiz tarımsal biyokütle enerji potansiyelinin beş yıllık ortalaması yaklaşık 2,6 milyon MW'a karşılık gelmektedir. Bu miktar enerji açığımıza önemli oranda katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu nedenle hem ülke hem de bölge bazında biyokütleden optimum düzeyde yararlanabilmek için geleneksel kullanımının dışında modern tesislerde biyoenerjiye dönüşümünün sağlanması için fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Öncelikle bütün bölgelerimizdeki biyokütle potansiyelinin yıllık olarak belirlenmesi, maliyet hesabının yapılması, enerji üretim tesislerinin kurulum yerlerinin belirlenmesi önem arz etmektedir (Kuş ve ark., 2016).

Türe (2001) ve Kapluhan (2014) biyokütle enerjisinin üstünlüklerini; hemen hemen her yerde yetiştirilebilmesi, üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi, her ölçekte enerji üretimi için uygun olması, üretiminde düşük ısı şiddetlerinin yeterliliği, depolanabilir olması, üretim için 5 – 35 °C arasındaki sıcaklıkların yeterli olması, sosyoekonomik gelişmeler açısından önemli olması, çevre kirliliği oluşturmaması, sera etkisi oluşumuna daha az sebep olması, atmosferde CO₂ dengesinin sağlanması, asit yağmurlarına yol açmaması olarak sıralamışlardır.

Bu sayılan avantajlarla birlikte, biyokütle enerji kaynaklarının bilinen dezavantajları da; enerji içeriklerinin oldukça düşük olması, yanmayı engelleme, yanma sırasında yüksek enerji kaybı ve depolama sırasında çürüme gibi istenmeyen etkilere neden olan yüksek orandaki nem içerikleri, düşük yoğunluklu ve fazla hacimli olduklarından dolayı taşıma, depolama ve yakma sırasında sorunlara neden olması ve genelde heterojen yapıda olmalarıdır (White and Plaskett, 1981; Kopuz, 2011).

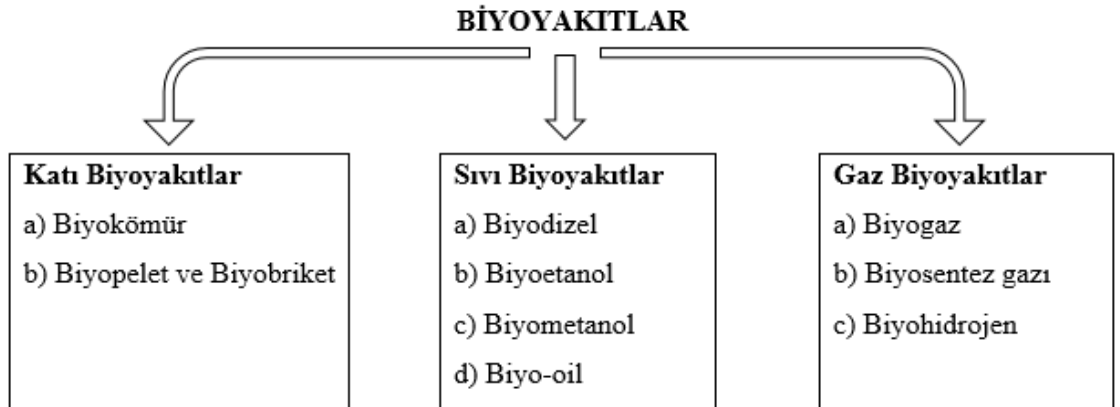
Genel olarak biyokütlenin modern enerji formları katı (ağaç, pellet vb.), sıvı (etanol, biyodizel vb.) ve gaz (biyogaz, hidrojen vb.) olarak gruplandırılabilir. Biyokütle; termal, biyolojik ve fiziksel işlemlerle çeşitli enerji kaynaklarına çok çeşitli tekniklerle dönüştürülebilir (Üçgül, 2010). Biyokütle ile fosil yakıtların yapısal özellikleri fiziksel ve kimyasal açıdan birbirinden farklıdır. Enerji kaynağı olarak kullanılabilen biyokütlenin fosil yakıtlara göre, sahip olduğu dezavantajları ortadan

kaldırmak için uygulanan dönüşüm süreçleri Şekil 1.2 'de gösterilmiştir (Klass, 1998; Kopuz, 2011).



Şekil 1.3. Biyokütleyle uygulanan dönüşüm süreçleri (Klass, 1998).

Biyokütleden direk enerji üretmek amacıyla yararlanılabildiği gibi fosil yakıtlarla karıştırılarak da enerji üretiminde kullanılabilir. Biyokütlenin enerji olarak değerlendirilmesinde; katı, sıvı, gaz yakıtlar elde etmek için çeşitli teknolojiler kullanılır. Biyolojik kökenli yakıtlar Şekil 1.3' deki gibi gruplandırılabilir (Öztürk, 2013).



Şekil 1.4. Biyoyakıtların sınıflandırılması (Öztürk, 2013).

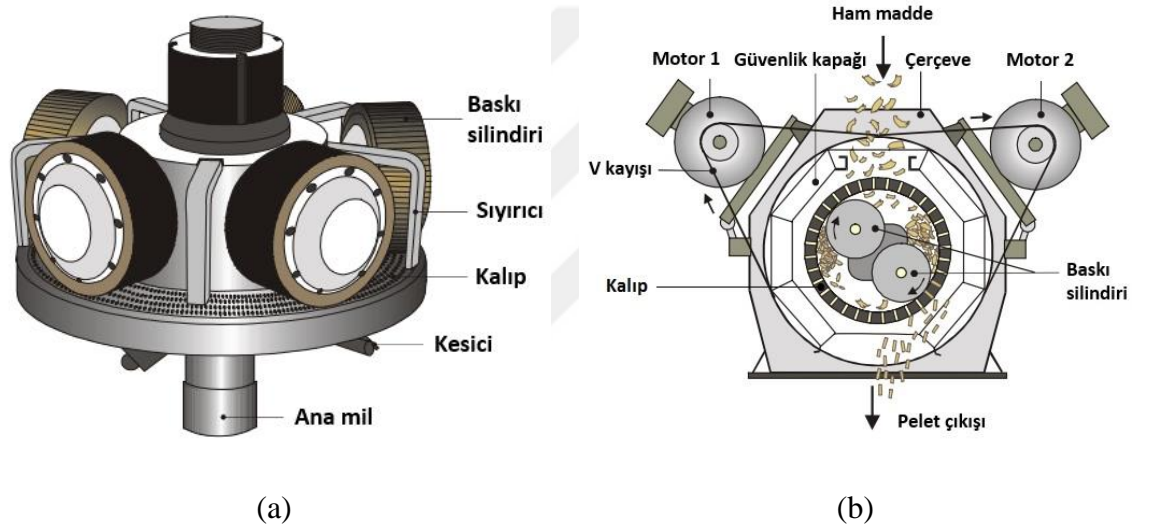
1.4. Pelet ve Peletleme

Tarımsal atıkların, enerji üretmek amacıyla kullanılması hem dünyada hem de ülkemizde son derece önem arz etmektedir. Tarımsal artıklardan enerji üretmek için en basit ve etkin yöntemlerden birisi, katı yakıt olarak kullanmaktır. Ancak, bitkisel artıkların katı yakıt olarak kullanımında karşılaşılan en önemli sorun, bu artıkların yoğunluklarının düşük ve nem içeriklerinin yüksek olmasıdır. Düşük yoğunluk ve yüksek nem içeriği, taşıma ve depolama sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, bitkisel artıklardan enerji elde etmek amacıyla uygulanacak yöntemlerden birisi, bu artıklardan enerji üretmeden önce, kurutup, öğüttükten sonra, presleyerek pelet haline getirmektir.

Biyokütle materyalinin basınç altında sıkıştırılarak küçük boyutlara (yaklaşık 30 mm) getirilmesine peletleme denir. Bu işlem sonrasında elde edilen çıktıya da pelet denilmektedir. Pelet, hayvan yemine benzeyen, küçük, silindirik bir forma sahiptir. Biyokütleden üretilen peletler, genel olarak 6–12 mm çap ve 10–30 mm uzunluğa sahiptirler. Pelet, odun talaşı, odun yongaları, ağaç kabuğu, tarımsal ürünler, tahıl sapları, fındık, badem, ceviz kabukları hatta artık kağıt gibi materyallerden üretilebilir. Bunların yanı sıra, mısır koçanları, pancar küspesi, ayçiçeği çenekleri, kurumuş zeytin, kiraz çekirdekleri, soya fasulyesi gibi tarımsal ürünlerin artıklarından da pelet üretilebilir. Peletleme işlemi ile materyalin hacimsel ısı değerinin artması, taşıma ve depolama maliyetlerinin azalması, materyalin yanma özelliklerinin iyileşmesi, atmosfere salınan parçacık emisyonlarının azalması gibi önemli avantajlar sağlayan bir biyoyakıt ürün elde edilir.

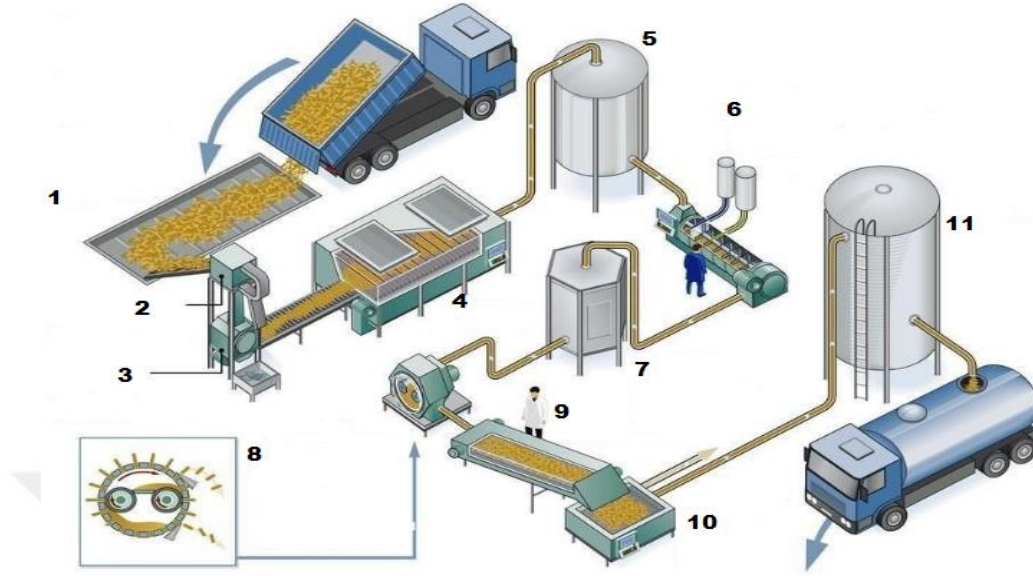
Bunların yanı sıra biyokütle materyalinin peletleyerek; üretilen peletler fosil yakıtlara göre daha ucuz olması, yenilenebilir bir kaynak olması, kendi öz kaynaklarımızdan üretilmesi, CO emisyonu açısından Kyoto Protokolüne uygun olması, pelet yakma sisteminin katı yakıtlı sistemler arasında en temiz yanma sistemi olması, nakliye işleminin kolay olması, biyokütle peletlerinin dünyanın her yerinde temin edilebilecek rafine bir biyokütle yakıt olması, pelet üretimi için ormanlara zarar vermeden sadece artıkların yeterli olması, kolayca tutuşabilir olması gibi önemli yararlar sağlar. Bunlarla birlikte, yeni teknoloji pelet yakma sistemleri otomatik yakıt beslemelidir. Bu nedenle de, işletme giderleri daha düşüktür (Küsek ve ark., 2015).

Günümüzde kullanılan peletleme teknolojileri genel olarak düz ve çember kalıplı preslerden oluşmaktadır. Düz kalıp preste sıralı delikli disk üzerinde bir, iki ya da daha fazla sıkıştırma silindiri yaklaşık olarak 2-3 m/s hızla dönmektedir. Disklerin dönmesiyle materyal kalıp deliklerine sıkıştırılmakta ve çıkışta kalıbın şeklini alarak peletlenmektedir. Çember kalıplı preslerde ise, dönen delikli bir çember ve bu çemberin iç çevresine bastıran sıkıştırma silindirleri sürekli olarak dönmektedir. Kalıp deliklerine sürekli olarak sıkıştırılan materyal peletlenmiş olarak kalıptan çıkmaktadır (Öztürk, 2012).



Şekil 1.5. a) Düz kalıplı pelet presini b) Çember kalıplı pelet presini (Paju and Alakangas, 2002)

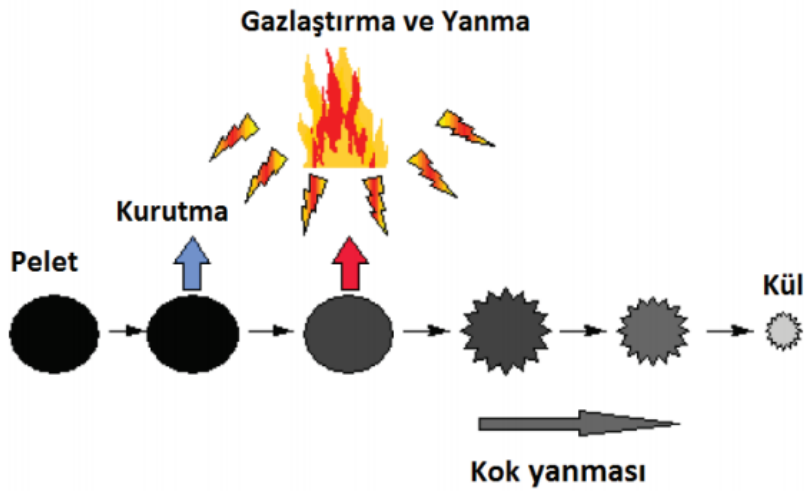
Günümüzde pelet üretiminin küçük atölye tipi peletleme makinaları ile yapılabilmesi mümkün olsa da, pelet fiziksel, mekanik ve ısıl özelliklerine ait kalite unsurlarının kontrol altında tutulabildiği, standartlara uygun pelet üretiminin yapıldığı üretim hattı genel olarak Şekil 1.6'da gösterilen öğelerden oluşmaktadır.



1- Depo 2- Ayırıştırıcı 3- Değirmen 4- Fırın 5- Ara Depo 6- Karıştırıcı
7- Ara Depo 8- Pelet Presi 9- Soğutucu 10- Elek 11- Silo

Şekil 1.6. Pelet üretim aşamaları (Tüplek, 2011)

Bütün katı yakıtlarda olduğu gibi pelet yakıtının yanmasında dört aşamada gerçekleşmektedir (Şekil 1.5). Birinci aşama, suyun buharlaşması ile kuruma, ikinci aşama, gazlaştırma (piroliz) ile uçucu bileşenlerin ayrılması, üçüncü aşama, uçucu (gaz) bileşenlerin yanması ve dördüncü aşama ise kok (sabit karbon) yanmasıdır (Sungur ve ark., 2018).



Şekil 1.7. Peletin yanma aşamaları (Sungur ve ark., 2018)

1.5. Çalışmada Kullanılan Tarımsal Atık-Artık Kaynakları

1.5.1. Amaranth (*Amaranthus Spp.*)

Amaranthaceae familyasında yer alan amarant tek yıllık bitkiler topluluğu olup tahıl, sebze, süs bitkisi, yem bitkisi veya yabancı ot olarak sınıflandırılmaktadır. Yenilebilir amarant türlerinin, yetiştirilmesinin ve hasadının kolay olmasından dolayı, düşük maliyetle tarımı yapılabilecek alternatif bir bitki grubu olarak önerilmektedir. Amaranth biyolojik değeri yüksek olan proteinler bakımından zengin bir bitkidir. Amaranth yetiştiriciliği Amerika, Avrupa, Afrika ve Asya kıtalarında yapılmaktadır. Sebze amarant üretiminde Çin ilk sırada yer alırken, tahıl amarant üretiminde ABD başı çekmektedir (Ergun ve ark., 2014).

Amaranthus sp. son yıllarda farklı tüketim amaçları ile popüleritesi artan türlerdendir. *Dicotyledoneae* sınıfından ve *Amaranthaceae* (Horozibiğigiller) familyasından olan horozibiği tek yıllık bir bitkidir. *Amaranthus sp.* türlerinin C4 karbon tutulum mekanizmasına sahip olmaları dolayısıyla birim alana gerçekleştirilen organik madde üretimleri oldukça yüksektir (Durak, 2015). Amaranth değerli bir besin kaynağıdır. Tohumları yüksek oranda doymamış yağ, skualen, tokoferoller ve glutensiz proteinler içerir. Bu yönüyle iyi bir tahıl ikame ürünüdür (Berganza *et al.*, 2003; Kraujalis *et al.*, 2013). Diyet antioksidanları ve diğer mikrobileşenler bakımından zengin olan yaprakları da farklı yemeklerde kullanılabilir (Akubugwo *et al.*, 2008; Kraujalis *et al.*, 2013).

Amaranth besin bileşenleri bakımından oldukça zengin ve fonksiyonel özelliklerine sahip olmasından ötürü dünyanın farklı bölgelerinde hem yaprak hem de taneleri yaygın olarak tüketilmektedir. Çok kurak şartlara bile dayanan amarant'ın ülkemizde de yetiştiriciliğinin teşvik edilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca kahvaltılık tahıl ürünleri, çölyak hastaları için hazırlanan ürünler ve genel olarak fırın ürünleri üretiminde kullanımının yaygınlaştırılmasının beslenme açısından faydalı olacağına da inanılmaktadır (Boz, 2013).

1.5.2. Kinoa (*Chenopodium Quinoa*)

And Dağlarının bitkisi olan kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) insan ve hayvan beslenmesinde gelecekte önemli bir yer tutacağı öngörülmektedir. Bu bitkinin tarihçesi, Güney Amerika'ya ve çok eskilere dayanır. Arkeolojik çalışmalar sonucunda kinoanın

M.Ö. 3000 yılından beri yetiştirildiğini göstermektedir. Kuraklığa ve soğuğa dayanıklı olan bu bitki, rakımı yüksek dağlık alanlarda yetiştirilebilmektedir (Tan ve Yöndem, 2013).

Kinoa bitkisi tek yıllık olup tohumla çoğalan (terofit) otsu bir bitkidir. Kuraklığa dayanıklı, gelişmiş ve dallanmış kazık bir kök yapısına sahiptir. Bitkinin boyu 40-150 cm arasında değişmektedir (Bhargava *et al.*, 2007; Tan ve Yöndem, 2013). Bitkinin sapları kalın ve dik olup kazayağına benzemektedir. Yaprakları ise alternatif (sarmal) dizilişli geniştir. Yaprakları loblu veya dişli olup, genellikle üçgen şekillidir. Genç bitkilerin üzerindeki yapraklar genellikle yeşildir. Ancak bitki olgunlaştıkça yapraklar, sarı, kırmızı veya mor renk alırlar. Bitki, temmuz-ağustos aylarında çiçeklenir ve çiçekleri genellikle kendine tozlaşır (Risi and Galwey, 1989; Tan ve Yöndem, 2013).

Kinoa tohumları insan için son derece besleyicidir. Protein, kalsiyum, demir gibi mineraller ile E ve B vitaminlerince iyi bir kaynaktır. Yaygın kullanılan tahıllarda düşük olan lizin, sistein ve methionin aminoasitleri bu bitkide son derece yüksektir. Bu nedenle kinoanın bitkisinin harika bir protein kaynağı olduğu söylenebilir (Repo-Carrasco-Valencia and Serno, 2011; Tan ve Yöndem, 2013).

Ülkemizde son birkaç yılda kullanımını artan kinoanın, özellikle çölyak hastaları tarafından kullanılabilmesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın ilgili organlarıyla çiftçimize tanıtılması, daha yüksek verim alınabilecek çeşitlerin belirlenmesi, uygun ekim koşulları ve gübreleme dozunun belirlenmesi vb. konular hakkında gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir (Geren ve ark., 2015). Özellikle suyun bulunmadığı veya kurak geçtiği veya yıllık yağış miktarının düşük veya düzensiz olduğu bölgelerde kinoanın rahatlıkla yetiştirilebileceği ortaya konmuştur. Bu alanlarda yetiştirilebilmesi durumunda atıl durumunda olan arazilerinde tarıma kazandırılacağı için ekonomik açıdanda önemli bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir (Kır ve Temel, 2016).

1.5.3. Pirina

Zeytinyağı fabrikalarında zeytinin yağı çıkarıldıktan sonra geriye kalan, zeytin meyvesinin ve çekirdeğinin katı parçaları ile su ve yağ içeren atık materyale pirina denilmektedir.

Zeytinden yağ elde edilirken, geriye kalan çekirdek ve posasından oluşan, %3-6 oranında zeytinyağı ve %40-65 oranında nem içeren katı atıktır (Görel ve ark., 2003). Üretimde kullanılan teknolojiye göre, %2-12 aralığında yağ içeriyorsa “ham pirina” olarak adlandırılmakta, yağı alındıktan sonra ise “yağsız pirina” adını almaktadır (Akın, 2005). Yakıt, gübre, büyükbaş hayvanlar için yem olarak kullanılabilir. Bunların yanı sıra, bitümlerle karıştırıldığında yol yapımı için katkı malzemesi olarak da kullanılabilir. Ancak pirina, sahip olduğu enerji içeriğinden dolayı en yaygın kullanım alanı yakıt amaçlıdır (Görel ve ark., 2003).

Biyokütle enerji kaynaklarından olan pirina, Türkiye’de iyi bir üretim potansiyeline sahip olan zeytinin işlenmesi sonucunda geriye kalan atık materyali oluşturmaktadır. Zeolit minerali olan klinoptilolitin yanma sırasında NO_x, CO_x ve SO_x gibi gazları adsorbe edebildiği düşünülmektedir (Kirveli, 2007). Önemli bir biyokütle çeşidi olan pirinayı düşük maliyetle yüksek miktarlarda elde etmek mümkündür. Pirina atık madde olduğu için diğer atıklar gibi uygun ve kabul edilebilir bir kullanım olmaması halinde problemlere neden olabilir. Pirinanın enerji üretiminde kullanılmasıyla, hem temiz enerji elde edilmiş olacak hem de bir fabrika atığı olan bu maddenin çevreye vereceği zararın önüne geçilmiş olacaktır (Kurtuluş, 2003).

1.5.4. Kızılçam (*Pinus Brutia*)

Kızılçam, Batı Anadolu ve Akdeniz bölgesinde geniş yayılışının yanı sıra, Erbaa yakınlarındaki Kelkit çayı ile Yeşilirmak’ın birleştiği yer, Ayancık, Sinop, Boyabat, Amasya, Zonguldak gibi Akdeniz ikliminin bariz olarak görüldüğü mikro klima bölgelerinde küçük adacıklar halinde bulunmaktadır. Ülkemizde en yaygın yetiştiği bölgeler, Akdeniz’in kıyı kuşağı ile kıyıya yakın arka bölgeler ve Güneydoğu’dur. Kızılçam, 1.500 m rakıma kadar yetişmektedir. En geniş yayılış gösteren çam türümüz olup, 25 m boy, 60 cm kadar çap yapabilmektedir. Adını kırmızımsı renkte olan yeni sürgünlerden almaktadır. Türkiye’de doğal olarak yetişen ve en hızlı büyüyen çam türüdür. Ayrıca, reçinesinden yararlanılan tek çam türüdür. Kolay işlenmesi nedeniyle yapı malzemesi, mobilya ve ambalaj sanayisinde kullanılır (Anonim, 2013).

1.6. Çalışmanın Amacı

Enerji ihtiyacının sürekli artması, fosil yakıtların giderek tükeniyor olması, fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazlarının atmosfer ve iklim dengesizliklerine yol açması

gibi sebepler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Ülkemiz de yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle enerjisini yerli kaynaklarla rahatlıkla üretebilecek kapasitededir.

Amarant ve Kinoa son yıllarda ülkemizde adı duyulmaya başlanan, yetiştiriciliği ve araştırmaları artış gösteren iki bitki türüdür. Yapılan deneme ekilişleri ile ticari açıdan karlılıkları değerlendirilmektedir. Yem ve tahıl olarak değerlendirilebilen bu bitkilerin ülkemizdeki ekiliş alanları giderek artmaktadır. Bununla beraber kinoa ve amarant tahıl olarak değerlendirilip hasat edildikten sonra birçok tarla bitkisinde olduğu gibi sap kısmı tarlada bırakılmaktadır. Bilindiği üzere Ülkemizde tarla artıkları genellikle ya toprağa karıştırılarak organik madde olarak değerlendirilmekte veya yakılarak imha edilmektedir. Bir başka alternatif de bu saplara doğrudan yakarak enerji kaynağı olarak kullanmaktır. Ama tarımsal biyokütle artıkları düşük yoğunluğa ve yüksek nem içeriğine sahip olmaları sebebiyle doğrudan yakma, taşıma ve depolama işlemleri verimli olmamaktadır.

Çalışmada ele alınacak materyaller olan kinoa ve amarant bitkisi saplara morfolojik açıdan ayçiçeği, susam, mısır saplara ile benzerlik göstermektedirler. Yani bu bitkilerle aynı yöntemlerle biyokütle yakıtı üretiminde kullanılabilirler. Kır (2016), Iğdır koşullarında farklı çeşitlerle yaptığı çalışmada kinoa bitkisinin ortalama sap verimini 697 kg/da olarak belirlemiştir. Durak (2015), Amik Ovası koşullarında farklı amarant türleri ile yaptığı çalışmada kuru biyokütle verimini 945 kg/da ile 1.945 kg/da aralığında tespit etmiştir. Mısır bitkisinin ülkemizde ortalama kullanılabilir atık miktarının 730 kg/da olduğu göz önüne alındığında (Başçetinçelik ve ark., 2009), kinoa ve amarant atıklarını da biyoyakıt kaynağı olarak değerlendirmenin mantıklı olduğu anlaşılacaktır. Bu çalışmada, yukarıdaki bilgiler ışığında kinoa ve amarant yetiştiriciliğinden sağlanan mahsul gelirinin yanında, herhangi bir kullanım alanı bulunmayan sap kısımlarının biyokütle yakıtı olarak değerlendirilerek, hem ekonomik getiri sağlama hem de enerji kaynağı olarak kullanılabilme olanakları irdelenmiştir. Ayrıca kinoa, amarant ve bunların, yaygın olarak pelet ham maddesi olarak kullanılan pirina ve ağaç talaşı ile karışımlarıyla elde edilen peletlerin fiziksel ve yanma özellikleri belirlenerek tamamen yerli, ucuz, yenilenebilir ve verimli bir enerji kaynağı elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Başçetinçelik ve ark. (2009)'nın Türkiye genelinde yaptıkları çalışmada, tarla bitkilerinden kalan yıllık atık miktarının toplam ısı değerini yaklaşık olarak 228 PJ olarak belirlemişlerdir. Toplam miktar içerisinde en büyük payın %33,4 ile mısıra ait olduğunu, bunu buğday (%27,69) ve pamuğun (%18,10) takip ettiğini bildirmişlerdir. Bahçe bitkilerinin yıllık toplam atıklarından elde edilen ısı değer yaklaşık 75 PJ'dür. Toplam miktar içerisinde en büyük pay %55,80 ile fındığa ait iken, %25,90 ile zeytin ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye'de inek, koyun ve kümes hayvanları atıklarının ısı değeri sırasıyla yaklaşık 47,8, 3,6 ve 8,7 milyon GJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Türkiye'deki mevcut bitkisel ve hayvansal atık miktarının, enerji tüketiminin %22-27'sini karşılayabileceği tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, günümüzde biyolojik kökenli yakıtların enerji üretiminde kullanılma oranı çok düşük düzeydedir.

Tüplek (2011) yaptığı çalışmada, çam talaşı ve MDF (orta yoğunlukta fiber) tozundan ve bağlayıcı madde olarak (%9) zeolit, melas ve nişasta kullanarak oluşturduğu peletlerin, uçucu madde, alt ısı değeri, üst ısı değeri, kül, toplam nem ve kükürt oranlarını belirlemiştir. Araştırmacı ayrıca, bu pelet numunelerini laboratuvar şartlarında yakarak CO, CO₂, SO₂, NO, NO_x gazlarının emisyon değerleri ölçmüştür. Ayrıca, pelet numunelerinin yanma hızlarının tespit edilebilmesi için sabit yatak yakma deney cihazı tasarlanmıştır. Pelet numunelerini, deney cihazında 550 °C'de yakarak yanma hızlarını, bağlayıcı maddelerinin ise pelet numunelerinin yanma hızına etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, çam talaşı pelet numunesinin kül içeriğinin %0,26 olduğu ve bünyesinde kükürt içermediği, alt ısı değerinin ise 4.521 cal/gr olduğunu tespit etmiştir. Bu sonuçlara göre, üretilen peletlerin linyit kömürüne göre değerlendirildiğinde, verimi daha yüksek ve çevreye yaydığı gaz emisyonlarının ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Mdf tozundan üretilen peletlerindeki NO ve NO_x emisyonlarının, çam talaşı peletlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çam talaşının zeolit ile birlikte yakılmasının, yanma hızını düşürürken, yanma verimini artırdığı ve NO_x, NO ve CO emisyon değerlerinde ise sırasıyla %79,6 %79,4 ve %59,4 kadar azalmaya neden olduğu belirlenmiştir.

Viglasky *et al.* (2009) yaptıkları çalışmada *amaranthus cruentus* bitki artıklarının ısı değer ve kül içeriklerini belirlemişlerdir. İncelenen numunelerin ısı değerleri 15,48 ile 16,61 Mj/kg aralığında belirlenirken, kül oranı %10,17 ile %22 aralığında belirlenmiştir. Külün kimyasal içeriğinde ise kadmiyum 1 mg/kg, kobalt 5,05 mg/kg, bakır 11,28 mg/kg; nikel 4,9 mg/kg ve çinko ise 34,3 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kirli bir alanda yetişen *amaranthus cruentus* bitkisinin topraktaki ağır metalleri emme kapasitesinin yüksek olduğunu bildirilmiştir. Bununla birlikte amarant bitkisinin marjinal koşullar altında yüksek verimi nedeniyle çok cazip bir biyokütle kaynağı olabileceği, biyoyakıt üretiminde ve çevre korumasında ham madde kaynağı olarak önemli bir rol oynayacağı, amarant tabanlı biyoyakıttan elde edilen enerji ile sera gazı emisyonlarının ve fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılabileceği belirtilmiştir.

Yılmaz (2018) tarımsal üretim alanlarından toplanan mısır saplarının peletlenmesi ve elde edilen peletlerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yaptığı çalışmada, 6 mm elek delik çapına sahip çekiçli değirmende öğütülmüş, nem içeriği %14,75, materyal yığın yoğunluğu 120 kg/m³ ve geometrik ortalama çapı 1,076 mm olan mısır sapsarı, 15 kW gücünde ve 8 mm kalıp delik çapına sahip, 70-100 kg/h üretim kapasitesindeki pelet makinasında peletlemiştir. Çalışmada peletlerin yığın ve parça yoğunluğu, nem içeriği, mekanik dayanıklılık direnci, basınç direnci ve nem alma durumu belirlenmiştir. Ayrıca, peletleme makinasının kapasitesi ve enerji tüketim değerleri ölçülmüştür. Çalışma sonunda, peletlerin ortalama çapı 8,27 mm, uzunluğu 32,19 mm ve kütlesi ise 2,17 g olarak ölçülmüştür. Fiziksel testler sonunda peletlerin oldukça sağlam yapıda oldukları görülmüştür. Peletlerin yığın yoğunluğu 715 kg/m³, parça yoğunluğu 1.264 kg/m³, nem içeriği %6,24, mekanik dayanıklılık direnci %96,94, basınç direnci 3.060 N ve nem alma durumu %11,53 olarak bulunmuştur. Peletleme makinasının üretim kapasitesi 66 kg/h ve enerji tüketim değeri 15,14 kWh olarak belirlenmiştir.

Güler ve Şen (2013) yaptıkları çalışmada biyokütle kaynağı olarak fındık kabuklarının (*Coryllus avellana L.*) sıkıştırılmış yakıt malzemesi olarak değerlendirilme olanaklarını araştırmışlardır. Pelet üretmek için materyali pelet değirmeni kullanarak sıkıştırmışlardır. Üretilen pelet numunelerine fiziksel, kimyasal analizler ile çeşitli

yanma, kalori ve kül testleri uygulanmıştır. Fındık kabuğundan elde edilen sıkıştırılmış biyokütle materyalin 4.300 ile 4.582 kcal/kg arasında ısı değere sahip olduğu, özellikle mangal kömürü olarak değerlendirilebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca bu peletlerin ısı değerlerinin, mangal kömürü yakıtı ile elde edilen ısı değerlere yakın özelliklerde olduğu belirlenmiştir.

Alparslan ve Ertekin (2018) örtü altı yetiştiriciliğinde ortaya çıkan karanfil sapı biyokütle artıklarının bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi amacıyla çalışma yürütmüşlerdir. Seralardan elde edilen karanfil artıkları önce kurutulup, traktör kuyruk milinden hareketli çekiçli değirmende öğütüldükten sonra 7,5 kW elektrik motor gücüne sahip peletleme makinasıyla peletleşmişlerdir. Peletleme makinasının kapasitesi materyal çeşidine bağlı olarak 70-100 kg/h'tir. Denemeler 3 farklı parçacık boyutunda (2, 4 ve 6 mm) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda, materyal boyutuna bağlı olarak ortalama 6,3-6,4 mm çap aralığında silindirik peletler elde edilmiştir. Peletlerin yığın ve parça yoğunlukları materyal boyutuna bağlı olarak sırasıyla 591,75-624,02 kg/m³ ve 1.098,37-1.146,40 kg/m³, dayanıklılık direnci değerleri %94,80 96,40 arasında, nem alma direnci %18,5-20 arasında değişmiştir. Pelet makinasının üretim kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketim değerleri ise, materyal boyutuna bağlı olarak sırasıyla 89,76-104,8 kg/h ve 6,64-7,37 kWh olarak bulunmuştur.

Örnek ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada Konya ilinde yazlık olarak yetiştirilen ketencik bitkisi saplarının kesme özellikleri ile ketencik peletinin fiziksel özellikleri ve yanma değerleri araştırmışlardır. Kesme deneyleri ketencik sapının %6,86 %10,51 ve %15,93 nem değerlerinde, 0,25 0,50 0,75 ve 1,0 mm/s yükleme hızı değerlerinde beş tekrarlı olarak yapılmıştır. Ayrıca ketencik sapları 10 mm pelet çapında ve 45 mm boyunda peletlenmiştir. Peletlerin fiziksel özellikleri ve elementel analizleri yapılmıştır. Araştırma sonucunda, ketencik sapının kesme kuvveti 8,23-23,99 N, kesme gerilmesi 0,84-1,82 N/mm², kesme enerjisi 0,027-0,082 J ve spesifik kesme enerjisi ise 0,380-1,325 mJ/mm² değerleri arasında bulunmuştur. Elementel analiz sonucunda katıksız ketencik peletinin ısı değeri 4.406 cal/g, karbon yüzdesi %40,61, hidrojen yüzdesi %5,86, sülfür yüzdesi %0,09 ve kül yüzdesi ise %4 olarak bulunmuştur.

Atay ve ark. (2016) yaptıkları çalışma ile yağ gülü damıtma atıkları, linyit kömür tozu ve kızılçam ağaç kabuğu kuru madde bazında 6 farklı oranda karıştırılarak 6 farklı pelet elde edilmiştir. Çalışma sonuçları, ana materyal olarak kullanılan yağ gülü damıtma atığının azot içeriğinin ve linyit kömürünün kükürt içeriğinin yüksek olması peletlerin azot ve kükürt içeriklerinin Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartların üstünde olduğunu göstermiştir. Peletlerin nem değerleri yaş bazda %5,39 ile 9,15 arasında değişmiş olup Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Peletlerin uçucu madde içeriği %43,8 ile %68,5 arasında, kül içerikleri %6,75-%17,37 arasında, sabit karbon değerleri %13,09 ile %32,49 ve ısı değerleri ise 14,06 MJ/kg ile 16,86 MJ/kg arasında değişmiştir. Pelet karışımlarında linyit kömür tozu miktarının artması ile pelet parça yoğunlukları artmış olup 871,07 ile 1.000,14 kg/m³ arasında değişmiştir. Peletlerin dayanım dirençleri %9 2,27-98,94 arasında değişmiştir. Dayanım direnci en az olan pelet, linyit kömür tozunun miktarının %75 olduğu pelet olup Avrupa Pelet Konseyince belirlenen standartların altında kaldığı belirlenmiştir. Diğer peletler, dayanım direnci konusundaki standartlar ile uyum içindedir. En düşük kırılma direnci, %10 yağ gülü damıtma atıkları, %15 kızılçam ağaç kabuğu ve %75 linyit kömür tozu bileşeni olan pelet için belirlenmiştir. En yüksek kırılma direnci %50 yağ gülü damıtma atıkları, %30 kızılçam ağaç kabuğu ve %20 linyit kömür tozu karışım oranlarına sahip pelet için belirlenmiştir. Nem alma direnci testi (25 °C ve %60 nispi nem koşullarında), peletlerin nem alma dirençlerinin kullanılan ana materyale bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Yağ gülü damıtma atıkları ve kızılçam ağaç kabuğu miktar olarak yüksek olduğu karışımlarda denge nem değeri daha yüksekte oluşurken, linyit kömür tozunun ağırlıklı olduğu karışımlarda denge nem değeri daha düşük seviyede gerçekleşmiştir. Peletlerin yatay sıkıştırma direnç değerleri literatür verileri ile uyumlu olup 0,29 MPa-1,69 MPa arasında değişmiştir. Sıkıştırma deneyleri sonucunda, pelet sıkıştırma dirençleri yağ gülü damıtma atıkları miktarının artması ile pelet dayanımının arttığı, kızılçam ağaç kabuğunun bağlayıcı özelliğinin olduğu, linyit kömür tozu miktarının artması ile pelet dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Termogravimetrik ve diferansiyel termogravimetrik analiz sonuçları linyit kömür tozunun ağırlıklı olduğu peletlerde yanma işleminin daha mutedil gerçekleştiği fakat yağ gülü damıtma atıkları ve kızılçam ağaç kabuğunun ağırlıklı

olduğu peletlerin daha hızlı yandığı göstermiştir. Bunun yanında, linyit kömür tozu miktarının yüksek olduğu pelette final bozunma sıcaklığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Aydemir (2017) yaptığı çalışmada, tarımsal üretim sonucunda ortaya çıkan kenevir sapları, fındık ve çeltik artıklarını; hem tek başına hem de birbirleriyle belirli oranlarda karıştırılarak (1. karışım: %30, 2. karışım: %50, 3. karışım: %70) peletlemiştir. Öğütülen materyaller üç farklı nem içeriğinde ve yukarıda belirtilen oranlarda karıştırılarak 9 farklı materyal hazırlanmıştır. Kullanılan hammaddenin çeşidi ve nem oranına göre 6,04 – 6,09 mm çaplarında dairesel peletler üretilmiştir. Üretilen peletlerin kalite özelliklerinin karşılaştırılmasında, fiziksel analizler; peletlerin hacim ve parça yoğunlukları, dayanıklılık, sıkıştırma ve kırılma dirençleri ve nem alma direnci belirlenmiştir. Kimyasal analizlerde ise nem içerikleri ısı değerleri, kül içerikleri, O₂, CO₂, CO, SO₂ ve NO₂ gazlarının emisyon değerleri ve elementel analizler yapılmıştır. Peletlerin hacim ve parça yoğunlukları sırası ile 511,90 -730,50 kg/m³ ve 1.137,40-1.331,90 kg/m³ arasında değişmiştir. Nem içeriği arttıkça peletlerin yoğunluk değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Fiziksel analiz sonuçlarına göre, oldukça sağlam peletlerin elde edildiği ve en yüksek değerlerin sade fındık zuru ve karışım 1’de, en düşük değerlerin ise kenevir sapının peletlerinde elde edildiği belirlenmiştir. Üretilen peletler kimyasal analiz sonuçlarına göre, ısı değer ve kül içeriği bakımından en iyi değerlerin kenevir sapı peletlerinde (4.455,3 cal/g - %1,01), en düşük değerlerin ise çeltik kavuzu peletlerinde (3.810,3 cal/g – %16,15) elde edildiği bildirilmiştir.

Türkoğlu ve Gökoğlu (2017) tarafından yapılan çalışmada Muğla ve çevresinde kızılçam (Pinus brutia Ten.) orman ağaçlarına uygulanan bakım ve odun ham maddesi üretimi sonucunda geriye kalan odunsu atıklar peletlenerek yakıt özellikleri incelenmiştir. Atık materyal 0,5 mm’lik partikül boyutunda öğütülmüştür. Bu materyal daha sonra açık havada kurutularak nem içeriği %10’nun altına düşürülmüştür. Kurutulan materyal, pres makinasında sıkıştırılarak peletlenmiştir. Üretilen odun peletlerinin, ısı değerleri, özkütlesi, karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O) ve azot (N) içeriği ve kül bırakma yüzdeleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, odun peletlerinin özkütlesi, ısı değeri ve kül içerikleri sırasıyla 0,671 gr/cm³ 22,17 MJ/g ve %4,91 olarak belirlenmiştir. C, H, O, N miktarları ise sırasıyla %47,52 %5,15 %42,16 ve %0,26

olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, kızılçam ağaç atıklarından üretilen peletlerin Avrupa Pelet Standardına göre EN-B kategorisinde yer aldığı bildirilmiştir.

Atay ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada şeftali çekirdeği (ŞÇ) ile linyit kömür tozundan (LKT) farklı karışımlar elde edilmiş ve 3 kW motor gücüne sahip, işleme kapasitesi 50-60 kg/h olan, dairesel sıralı delikli düz kalıp olan peletleme makinasında peletlenmiştir. Pelet kalıbının giriş delik çapı 11 mm, çıkış delik çapı 7 mm ve kalıp boyu 25 mm'dir. Peletler %100 ŞÇ, %90 ŞÇ +%10 LKT, %75 ŞÇ+%25 LKT, %50 ŞÇ +%50 LKT, %25 ŞÇ +%75 LKT, %10 ŞÇ +%90 LKT ve %100 LKT karışım oranlarında kuru halde peletlenmiştir. Pelet parça yoğunlukları 647,03 ile 1059,15 kg/m³ arasında değişmiştir. En düşük dayanıklılık direnci (%67,60) %100 LKT'da meydana gelmiştir. Şeftali çekirdeğinin artmasıyla dayanıklılık direnci artmıştır. En yüksek kırılma direnci %100 şeftali çekirdeğinde (%99,57) tespit edilmiştir.

Karaca ve Başçetinçelik (2010) yaptıkları çalışmada Çukurova bölgesindeki zeytinyağı çıkarma atıkları (pirina) briketlenerek alternatif yakıt oluşturulmuştur. Briketlerin uygunluğunu belirlemek amacıyla bazı fiziksel ve termal testlerin yanı sıra elementel analizleri de yapılmıştır. Briketlenme işlemi için, 15 kW gücünde elektrik motoruyla çalışan konik kalıplı helezon tip briketleme makinası kullanılmıştır. Materyal makinada preslenerek 90 mm dış çapında pirina briketleri üretilmiştir. Pirina briketleme makinasının iş kapasitesi 1.125 kg/h, özgül enerji tüketimi ise 0,0067 kW/kg olarak belirlenmiştir. Üretilen briketlerin yoğunluklarının 945-1.000 kg/m³ arasında değiştiği, kırılma dirençlerinin ise 275 N olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarında, pirina briketinin üst ısıl değerleri 20,69 MJ/kg, kül içeriği %4,10 ve uçucu madde içeriği %87,8 olarak belirlenmiştir. Briketlerin yakılması sonucunda baca gazı emisyonlarının odununkinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca briketlerin yanma verimlerinin %40-67 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Polat ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada antepfıstığının iç ve dış kabuklarını kurutup öğüttükten sonra briketlemiştir. Briketlerin kalitesini belirlemek amacıyla fiziksel testler uygulamışlardır. Araştırmacılar, briketleme işleminde %20, %30 ve %40 oranlarında zeytin pirinası kullanmışlardır. Briketleme işleminde yaklaşık 100 mm çapında ve 10–30 cm uzunluğunda briketler üretmişlerdir. Daha sonra bu briketlerin

yoğunluk, kırılma direnci, su alma direnci, nem içeriği ve eşdeğer nem içeriği değerleri gibi fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Araştırma sonucunda antepfıstığı iç ve dış kabuklarının zeytin pirinası ile karıştırılarak briketlenmesi sonucunda elde edilen ürünlerdeki zeytin pirinası oranının artmasıyla fiziksel özelliklerinin iyileştiğini belirlemişlerdir.

Özyuğuran ve Haykırı Açma (2016) yaptıkları çalışmada, Afşin-Elbistan linyitine fındık kabuğu, ayçekirdeği kabuğu ve pirina katkı maddeleri ekleyerek briketlemişlerdir. Linyit ve biyokütle numuneleri öncelikle herhangi bir bağlayıcı kullanılmaksızın 280, 555, 830 ve 1.110 MPa basınç altında ayrı ayrı briketlenmiştir. Linyit-biyokütle karışımları %2, %5, %10 ve %20 fındık kabuğu, ayçekirdeği kabuğu ve pirina içerecek şekilde hazırlanmıştır. Karışımlarda melas, linobind ve sülfite likörü olmak üzere üç farklı bağlayıcı madde kullanılmıştır. Üretilen briketlerin kırılma direnci, düşme direnci ve suya dayanıklılıkları saptanmıştır. Sonuç olarak, linyite tarımsal artık ve pirinanın eklenmesi, briketlerin düşme direncini artırırken, su alma direncini azalttığı belirlenmiştir. Yağsız pirinanın ve ayçiçeği kabuklarının %2 oranında linyite ilave edilmesi durumunda kırılma sağlamlığını önemli ölçüde artırmıştır. Bağlayıcıların kullanılmasıyla, hem kırılma direncini hem de düşme direncini azaltmıştır. Ancak, briketlerin su alma direncini artmıştır.

Harun and Afzal (2016) yaptıkları çalışmada tarımsal artıklar ile odun materyali karışımıyla üretilen peletlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bunun için yaygın olarak temin edilebilen iki orman biyokütlesi ladin ve çam ile üç tarımsal biyokütle yem kanyaşı, çayır kelp kuyruğu ve dallı darı materyalleri farklı oranlarda ve üç farklı parçacık büyüklüğünde (150-300, 300-425 ve 425-600 μm) karıştırılarak peletler üretilmiştir. Bütün örneklerde küçük partikül boyutundan (150-300 μm) üretilen peletlerin daha yüksek yoğunluk sergilediği görülmüştür (Ladin ve çam için 950-1.178 kg/m^3 ; yem kanyaşı, çayır kelp kuyruğu ve dallı darı için 668-800 kg/m^3 ; karışımli biyokütle için 900-970 kg/m^3). Sonuç olarak, düşük maliyetli ve bol miktarda mevcut olan tarımsal biyokütlenin odunsu biyokütle ile harmanlanmasının sadece peletlerin mekanik özelliklerini iyileştirmesiyle kalmayıp, gelecekte de pelet piyasası talebini karşılamaya yardımcı olacağı belirtilmiştir.

Sümer ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, genel artık potansiyelinin değerlendirilmesinde gerçekçi bir yaklaşım sunmak amacıyla zeytin üretiminde oluşan artık potansiyelini dikkate almışlardır. Daha önceki araştırmalarda bildirilen katsayı ve oranlar dikkate alınarak oluşturulan yöntem ile Çanakkale ilinin zeytin üretimi sonucunda ortaya çıkan artıkların biyokütle potansiyeli belirlenmiş, enerji ve diğer amaçlar için geri kazanım olanakları araştırılmıştır. Araştırma sonunda, Çanakkale’de pirina ve karasu için toplam metan üretim potansiyelinin 2011-2015 yılları arasında 8.803.909 m³/yıl olduğu belirlenmiştir. Pirina ve budama artıklarının ısı kapasitesinin yılda 1.548.611 GJ, pirina ve budama artıkları kaynaklı biyokömür potansiyelinin ise yıllık 27.796 ton olduğu belirlenmiştir.

Gürdil ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada %12 nem içeriğindeki fındık zurufunu 6 mm partikül boyutunda öğütüp peletleme işlemine tabi tutmuşlardır. Üretilen peletlerin uygunluğunu belirlemek amacıyla, numunelerin alt ısı değerini, kül içeriğini, nem içeriğini ve yanma sonucu açığa çıkan gaz emisyon değerlerini tespit etmişlerdir. Fındık zurufundan üretilen peletlerin yakılması sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerlerinin, Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nde (IKHKKY, 2005) belirtilen emisyon değerlerinin altında kaldığı ve yakma amaçlı olarak kullanılabilmesini bildirilmiştir. Isıl değer ve kül içeriğinin sırasıyla 4.388 cal/g ve %7,19 olarak belirlenmiştir. Fındık zurufu artığından üretilen yakıt peletlerinin biyoyakıt olarak kullanılmasının yakıt özellikleri bakımından uygun olmasının yanı sıra, çevresel faktörler bakımından da oldukça uygun olduğu bildirilmiştir.

Wistara *et al.* (2017) yaptığı çalışmada palmye gövdesi meristem kısmından hazırladığı materyali, kabuk kısmından hazırladığı materyal 100:0, 90:10 ve 70:30 oranlarında karıştırarak biyokütle peletleri üretmişlerdir. En yüksek dayanıklılığa, 130 °C’de peletlenen ve %30 kabuk içeriği bulunan pelet sahip olmuştur. Nem içeriği, birim yoğunluk, kül içeriği ve kalori değerleri sırasıyla; %3,55 - 5,35; 525,56 - 855,23 kg/m³; %2,76 - 3,44; ve %17,89 - 19,14 MJ/kg olarak belirlenmiştir. Peletlerdeki kabuk içeriğinin termogravimetrik analiz profilini etkilemediği gözlenmiştir.

Jittabut (2015), yaptığı çalışmada pirinç samanı ve şeker kamışı yaprakları ile 100:0, 80:20, 50:50, 20:80 ve 0:100 oranında karışımlar hazırlayarak ve bağlayıcı

olarak da melas kullanarak biyokütle briketleri üretmiştir. Kısa (proximate) ve nihai (ultimate) analizler ile briketlerin fiziksel ve ısıl özellikleri belirlenmiştir. Analiz sonuçlarında briketlerin sabit karbon içeriğinin %9,06 - 13,63; uçucu madde içeriğinin %64,18 - 74,67; kül içeriğinin %7,84 - 12,85 ve nem içeriğinin de %4,2 - 6,2 aralığında tespit edilmiştir. C,H,O,N ve S içeriği sırasıyla %38,6 - 43,2; %5,4 - 6,2; %34,5 - 36,4; %0,27 - 0,44 ve %0,02 - 0,04 aralığındadır. Üst ısıl değerler 16,3 - 17,83 Mj/kg aralığında, yoğunluklar 0,53 -0,58 kg/m³ aralığında, basınç dayanım değerleri ise 32,4 – 44,7 kg/cm² aralığında tespit edilmiştir. Tespit edilen ısıl ve fizikokimyasal özellikler, kullanılan tarımsal artıkların biyobriket yakıt olarak kullanılma potansiyellerinin olduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada, pelet ana materyalleri olarak amarant (*Amaranthus caudatus*) ve kinoa (*Chenopodium quinoa*) hasat artıkları kullanılmıştır. Farklı karışımların hazırlanabilmesi için kızılçam talaşı ve pirina, bağlayıcı madde olarak ise şeker pancarı melası kullanılmıştır.

3.1.1. Amarant hasat artıkları

Amarant hasat artıkları, Ağrı İli, Hamur İlçesi, Gültepe köyünde Hamur İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğüne kurulmuş olan demonstrasyon parselinden (Şekil 3.1) ve Iğdır Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) deneme amaçlı yetiştirilen amarant bitki saplarından elde edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Hamur İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü amarant demonstrasyonu



Şekil 3.2. Iğdır Üniversitesi TUAM amarant denemesi

3.1.2. Kinoa hasat artıkları

Kinoa artıkları, Ağrı'nın Hamur ve Tutak ilçelerinde üretim amaçlı yetiştirilen Kinoa (*Chenopodium Quinoa*) bitkisinin hasatından sonra tarlada kalan sap kısımlarından elde edilmiştir. (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4).



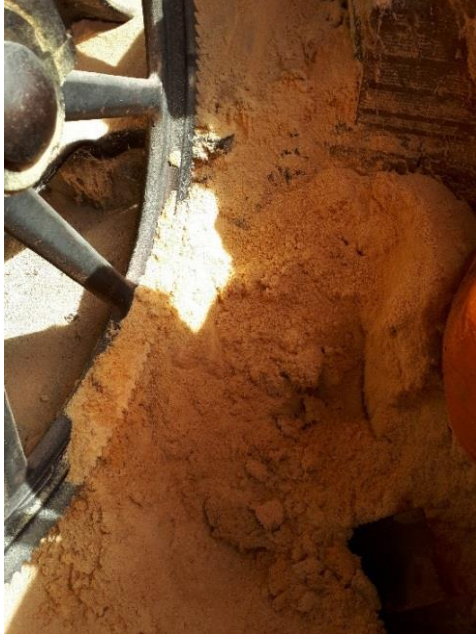
Şekil 3.3. Ağrı, Hamur'da kinoa tarlası



Şekil 3.4. Ağrı, Tutak’da kinoa tarlası

3.1.3. Kızılçam talaşı, toz pirina ve bağlayıcı madde

Diğer materyallerden kızılçam talaşı İzmir Bergama’da arı kovanı imal eden ve ağaç ham madde olarak kızılçam kullanan bir arı kovanı imalatçısından (Şekil 3.5), toz pirina ise yine İzmir Bergama’da bulunan ve pirina peleti üreten ORPİR Pirina-Yağ Katı Yakıt San. Tic. A.Ş. isimli işletmeden temin edilmiştir. Bağlayıcı madde olarak kullanılacak şeker pancarı melası ise internetten satış yapan bir alışveriş sitesinden temin edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Kızılçam talaşı



(a)



(b)

Şekil 3.6. Toz pirina (a) ve şeker pancarı melası (b)

3.2. Yöntem

3.2.1. Materyallerin hazırlanması

Çalışmanın ana materyalleri olan amarant (*Amaranthus caudatus*) ve kinoa (*Chenopodium quinoa*) hasat artıkları artıkları tarladan toplandıktan sonra 10 gün boyunca laboratuvar şartlarında bekletilerek kurumaları sağlanmıştır (Şekil 3.7).



(a)



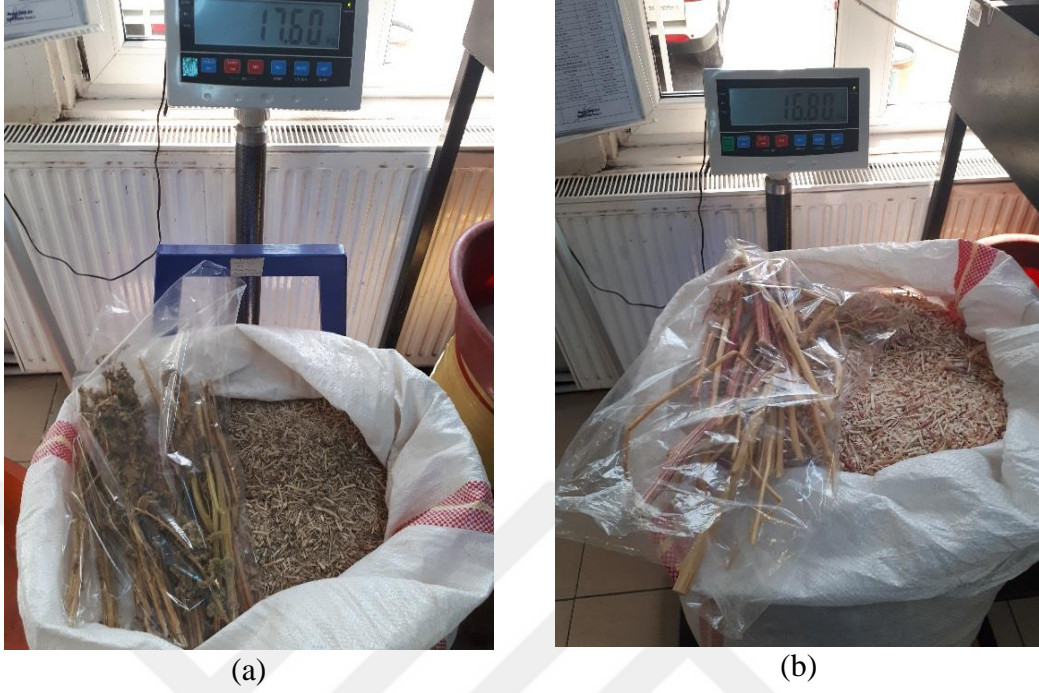
(b)

Şekil 3.7. Tarladan toplanarak kurumaya bırakılan amarant (a) ve kinoa (b) hasat artıkları

Daha sonra materyaller Manisa/Soma'da bulunan Ege Linyit İşletmesi Müdürlüğü Laboratuvarında, PRS – RETSCH/BB200 marka çekiçli değirmen ile parçalanmıştır (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9). Grover and Mishra (1996)'ya göre parçacık büyüklüğü ve şekli yoğunlaştırma için büyük öneme sahiptir. Bu sebeple materyal parçacık büyüklüğünün (%10-20'sinin toz bileşenli olması koşuluyla) 6-8 mm arasında olmasının peletleme ve briketleme için en iyi sonucu verdiği kabul edilmektedir. Amarant ve kinoa artıklarının çekiçli değirmende öğütülme işlemi sonucunda materyalin peletleme için yeterli derecede küçülmediği görülmüş ve bir un değirmeni ile 2. öğütme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.8. Çekiçli değirmen



Şekil 3.9. Parçalanmış amarant (a) ve kinoa (b) hasat artıkları

Çalışmanın yan materyallerinden kızılçam talaşı, arı kovanı imalatında kızılçam kerestelerinin testere ile işlenmesi esnasında meydana gelen artıklardan oluşmaktadır. Bu artıklar sanayiden temin edilmesinin ardından açık havada kurutulmuştur toz pirina ise, zeytin işleme fabrikasında zeytinyağı elde edildikten sonra geriye kalan ve çamur kıvamında olan zeytin posasından oluşmaktadır. Pirina büyük havuzlarda önce kurutulup daha sonra elenerek elde edildiği için herhangi bir ön işleme tabi tutulmamıştır.

3.2.2. Peletleme

Kurutma ve parçalama işlemlerinden sonra peletlemeye hazır hale getirilmiş olan ham maddeler; amaranthus caudatus hasat artıkları A_0 , chenopodium quinoa hasat artıkları Q_0 , kızılçam talaşı KT ve toz pirina da TP olarak adlandırılmıştır.

Ana materyal amarant ve kinoa bitki hasat artıkları (A_0 ve Q_0) tek başına kullanılarak A_1 ve Q_1 peletleri, yan materyaller kızılçam talaşı (KT) ve toz pirina (TP) ile kütlece yarı yarıya karıştırılarak sırasıyla A_2 , Q_2 ve A_3 , Q_3 peletleri üretilmiştir. Tüm peletlerde bağlayıcı madde olarak şeker pancarı melası kullanılmıştır. Bu şekilde üretilen 6 farklı içeriğe sahip pelet numuneleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Pelet numunelerinin içerikleri

Sıra	Numune Adı	İçerik (kütlece)
1.	A ₁	%100 Amaranthus Caudatus HA*
2.	A ₂	%50 Amaranthus Caudatus HA + %50 Kızılçam Talaşı
3.	A ₃	%50 Amaranthus Caudatus HA + %50 Toz Pirina
4.	Q ₁	%100 Chenopodium Quinoa HA
5.	Q ₂	%50 Chenopodium Quinoa HA + %50 Kızılçam Talaşı
6.	Q ₃	%50 Chenopodium Quinoa HA + %50 Toz Pirina

HA: Hasat Artıkları

Peletlerin üretimi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümüne ait Biyokütle Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Pelet yapımında 3 kW motor gücüne sahip, işleme kapasitesi 50-60 kg/h saat olan dairesel sıralı delikli düz kalıplı peletleme makinası kullanılmıştır (Şekil 3.10). Pelet kalıbının giriş delik çapı 11 mm, çıkış delik çapı 6,8 mm ve kalıp boyu 19 mm'dir. Makina üzerinde redüktörün (96 dönü/dakika) çalışmasını ve durdurulmasını sağlayan start-stop düğmeleri bulunmaktadır. Pelet makinasında pelet boyu ayarlama düzeneği bulunmamaktadır.



Şekil 3.10. Peletleme makinası

Karışımların hazırlanması ve peletleme işleminden önce, peletleme yönteminin belirlenebilmesi için, her materyalden yaklaşık 25'er gram alınarak 105 °C ısıtılmış kurutma fırınında 3 saat bekletilmiş ve Eşitlik 3.1'deki formül yardımıyla hesaplanan nem içerikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

$$M = \left[\frac{(mp_2 - mp_3)}{(mp_2 - mp_1)} \right] * 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

M: Ham madde nem içeriği (% y. b.)

mp₁: Kabin darası (g)

mp₂: Kurutmadan önceki toplam ağırlık (g)

mp₃: Kurutmadan sonraki toplam ağırlık (g)

Çizelge 3.2. Ham madde nem içerikleri

Ham madde	Nem İçeriği (%)
Amarant (A ₀)	9,59
Kinoa (Q ₀)	9,56
Kızılçam Talaşı (KT)	12,43
Toz Pirina (TP)	11,93



Şekil 3.11. Materyal nem içeriğinin belirlenmesi

Peletleme işlemine başlamadan önce düzgün peletler elde edebilmek için ön denemeler yapılmıştır. Bu ön denemelerde amarant tarla artıkları ve kızılçam talaşı kullanılmıştır. İlk olarak herhangi bir işlem uygulanmadan örnekler doğrudan, çalışma durumundaki peletleme makinasının haznesine verilmiştir. Fakat malzemenin bir kısmı kalıbın deliklerinden aşağıya akmış, kalan kısmı da silindir ile kalıbın arasına sıkışmış ve pelet üretimi gerçekleşmemiştir. Daha sonra peletleme makinasının kalıbı pürmüz ile 70 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Sonrasında materyal tekrar makinaya verilmiştir. Ancak pelet üretimi yine mümkün olmamıştır. Bundan sonra Atay ve ark. (2016) tarafından kullanılan materyalin nem içeriğinin artırılması ve ısıtılması yöntemi denenmiştir. Materyalin nem içeriğini artırmak için eklenmesi gereken su miktarı Eşitlik 3.2 yardımı ile hesaplanmıştır (Coşkun ve ark., 2006).

$$Q = \frac{W_i(M_f - M_i)}{(100 - M_f)} \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

Q : Eklenecek su miktarı (g);

W_i : Materyalin ilk ağırlığı (g);

M_i : Materyalin ilk durumdaki nem içeriği (%);

M_f : Materyalin son durumdaki nem içeriği (%)

Bu aşamada materyallerin nem içerikleri %25'e çıkarılarak pelet elde etmeye yönelik ön denemeler tekrarlanmıştır. Ancak bu nem içeriğinde de görünümü bozuk veya parçalı peletler üretilmiştir. Bu nedenle, makinadan çıkan bozuk veya parçalı peletler tekrar besleme haznesinden verilerek, malzemenin sürtünmeden kaynaklı ısısının artması sağlanmıştır. Peletleme makinasından çıkan peletler tekrar tekrar hazneye verilerek, düzgün peletler elde edilene kadar bu işleme devam edilmiştir. Bu işlem esnasında örneklerin sıcaklığı; 2. tekrarda 50 °C, 3. tekrarda 60 °C civarı, 4. ve 5. tekrarlarda 70 °C'ye ulaşmıştır (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13). Bununla birlikte 6. ve 7. tekrarlarda örneklerin peletleme için gerekli nem içeriğini kaybettiği ve bu sebeple tekrar bozuk peletler üretilmeye başlandığı, hatta hiç pelet üretilmediği görülmüştür.



Şekil 3.12. Nem içeriğinin %25'e çıkarılmasıyla, sırasıyla 50, 60 ve 70 °C materyal sıcaklığında elde edilen peletler.



Şekil 3.13. Peletleme makinası ve peletlerde yapılan sıcaklık ölçümleri

Yapılan ön denemelerden, mevcut materyal ile peletleme makinası kullanılarak %25 nem içeriği ve 70 °C materyal sıcaklığında düzgün peletler elde edilebileceği anlaşılmıştır. Bu yöntemle düzgün şekilli peletler üretilmiş, üretilen peletler açık hava şartlarında bir gün kurumaya bırakılmıştır. Fakat bunu ardından yapılan denemelerde peletlerin yere düşme veya elde sıkma gibi zayıf kuvvetlerle kolayca parçalandığı

gözlenmiştir. Bu sebeple mevcut şartlarda daha dayanıklı pelet üretebilmek için bağlayıcı madde kullanılmasına karar verilmiştir.

Bağlayıcı madde olarak, iyi bir bağlayıcı olarak bildirilen melas (şeker pancarı atık malzemesi) tercih edilmiştir (Gürbüz ve ark., 2003). Melas, peletleme işleminde her bir tekerrür için %7,5 oranında, akışkanlığını artırmak için de 70 °C'ye kadar ısıtılarak kullanılmıştır (Yılmaz, 2014). Bu işlemler her bir numune için tekrarlanarak pelet üretimi tamamlanmıştır.

Elde edilen bu verilerden sonra 6 adet numuneye ait materyallerin öncelikle nem içerikleri (Eşitlik 3.2 yardımıyla hesaplanarak) %25'e çıkarılana kadar su ilave edilmiştir. Daha sonra materyal toplam kütlelerinin %7,5'i kadar melas önce 70 °C'ye kadar ısıtılmış, sonrasında materyalle karıştırılmıştır (melasın, oda sıcaklığında düşük akışkanlıkta olması sebebiyle ısıtılarak akışkanlık kazandırılmıştır) (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Kullanım öncesi ısıtılan bağlayıcı madde melas

Son karışım peletleme makinasının haznesine verilmiş, materyal sıcaklığı 70 °C'ye ulaşmış düzgün peletler üretilene kadar (4. ve/veya 5. Tekrar) materyal peletleme makinasının haznesi ile çıkış ağzı arasında devir daim yaptırılmıştır. Üretilen peletler yine bir gün açık hava koşullarında bekletildikten sonra basit dayanımları gözlenmiş, düşmeye ve ezilmeye karşı dayanıklı oldukları görülmüştür. Dayanıklı ve üniform peletlerin üretiminin mümkün olması ile aynı işlemler her bir materyal numunesi için

tekrarlanmış ve pelet üretimi bu şekilde tamamlanarak 6 farklı pelet numunesi elde edilmiştir.



a) A_1 üretimi için; öğütülmüş amarant hasat artıkları (A_0)

b) A_2 üretimi için; öğütülmüş amarant hasat artıkları ve kızılçam talaşı (A_0+KT)

c) A_3 üretimi için; öğütülmüş amarant hasat artıkları ve toz pirina (A_0+TP)

Şekil 3.15. Amarant HA içerikli pelet üretimi için hazırlanan karışımlar



a) Q_1 üretimi için; öğütülmüş kinoa hasat artıkları (Q_0)

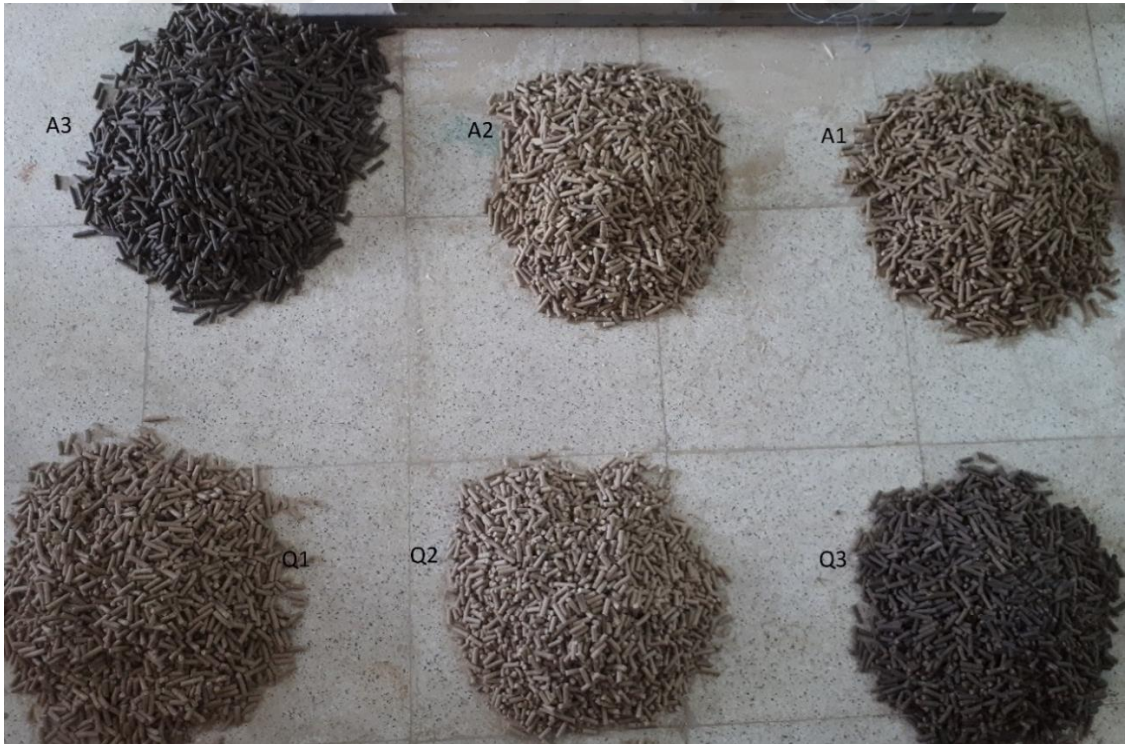
b) Q_2 üretimi için; öğütülmüş kinoa hasat artıkları ve kızılçam talaşı (Q_0+KT)

c) Q_3 üretimi için; öğütülmüş kinoa hasat artıkları ve toz pirina (Q_0+TP)

Şekil 3.16. Kinoa HA içerikli pelet üretimi için hazırlanan karışımlar



Şekil 3.17. Pelet üretimi



Şekil 3.18. Üretilen peletler

3.2.3. Fiziksel, kimyasal ve termal analizler

Materyallere ve üretilen pelet numunelerine ait; nem, kül, uçucu madde, elek, yoğunluk ve su alma direnci analizleri Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümüne ait Biyokütle Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Peletlerin ısı değer, yanma gazı emisyonu, düşme dayanımı ve elementel analizleri Karadeniz Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü (Samsun) Enerji Tarımı Laboratuvarında, termal analizleri ise Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde (EGE MATAL) gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.a. Ham madde parçacık boyut dağılımı

Ham madde materyallerine ait parçacık boyut dağılımı tespiti, elek analizi ile gerçekleştirilmiştir. Bu analiz için 200 mm çap ve 50 mm derinlikte, 2 mm 1,6 mm 1 mm 0,8 mm 0,4 mm 0,3 mm ve 0,125 mm açıklığa sahip olmak üzere 7 adet elekten oluşan Retsch AS 200 marka elek sarsıcı kullanılmıştır (Şekil 3.19). Her bir ham madde materyalinden 100 g numune en üstteki eleğe konulmuş ve numuneye 10 dakika boyunca 1,2 mm genlikte titreşim uygulanmıştır. İşlem sonrası her bir elek üzerinde kalan numune miktarı tartılmış ve kaydedilmiştir. İki elek arasındaki ham madde numune yüzdesi, elek üzerindeki numune miktarının toplam numune miktarına oranlanması ile hesaplanmıştır. Elek analizi sonrası elde edilen değerler Çizelge 3.3’de, elek üzerinde kalan materyallerin görünüşleri ise Şekil 3.20, Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de verilmiştir.



Şekil 3.19. Retsch AS 200 elek sarsıcı

Çizelge 3.3. Materyal parçacık boyut dağılımı

Elek Açıklığı (mm)	A ₀ (%)	Q ₀ (%)	KT (%)	TP (%)
> 2	10,18	14,74	1,33	27,76
2 – 1,6	7,60	8,78	0,58	15,29
1,6 - 1	18,62	28,33	4,93	21,34
1 – 0,8	6,47	6,11	5,90	6,65
0,8 – 0,4	26,74	23,75	39,32	13,30
0,4 – 0,3	7,71	4,37	14,84	2,90
0,3 – 0,125	12,89	7,36	25,74	5,39
< 0,125	9,80	6,56	7,35	7,38



> 2 mm

2 mm - 1,6 mm

1,6 mm - 1 mm

1 mm - 0,8 mm



0,8 mm - 0,4 mm

0,4 mm - 0,3 mm

0,3 mm - 0,125 mm

< 0,125 mm

Şekil 3.20. Elek analizi sonrası öğütülmüş amarant hasat artıklarının parçacık boyut dağılımı



> 2 mm

2 mm - 1,6 mm

1,6 mm - 1 mm

1 mm - 0,8 mm



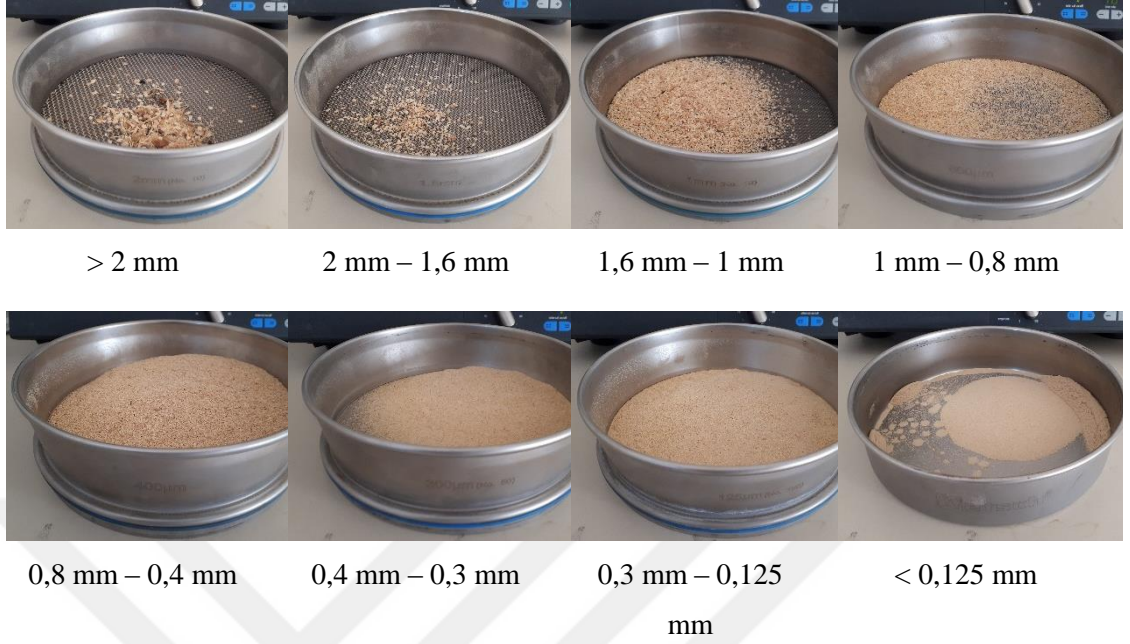
0,8 mm - 0,4 mm

0,4 mm - 0,3 mm

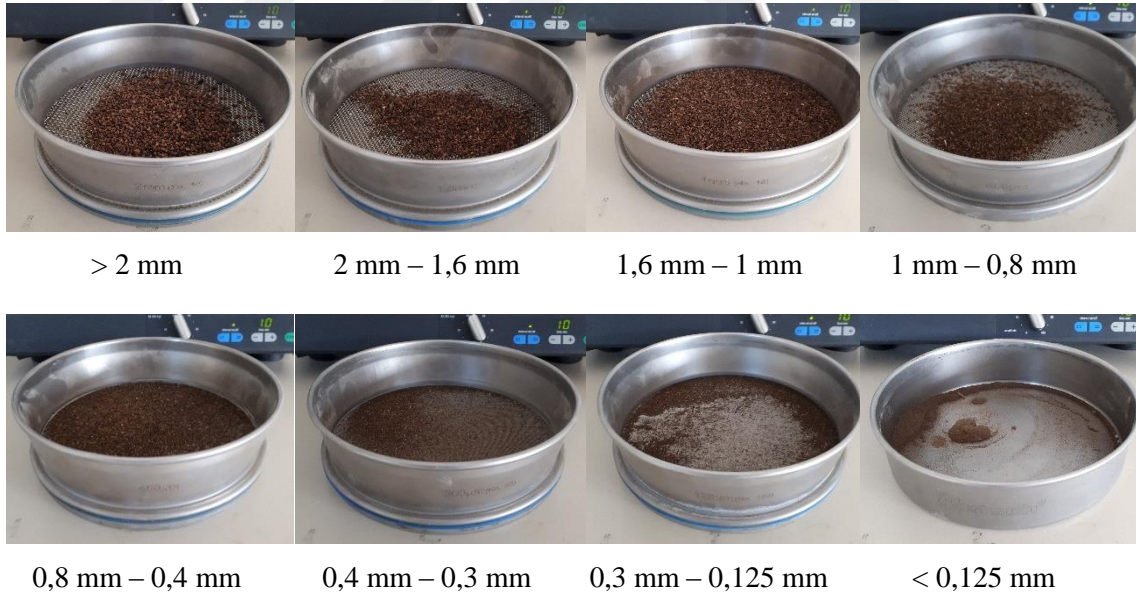
0,3 mm - 0,125 mm

< 0,125 mm

Şekil 3.21. Elek analizi sonrası öğütülmüş kinoa hasat artıklarının parçacık boyut dağılımı



Şekil 3.22. Elek analizi sonrası öğütülmüş kızılçam talaşının parçacık boyut dağılımı



Şekil 3.23. Elek analizi sonrası öğütülmüş toz pirinani parçacık boyut dağılımı

3.2.3.b. Nem içeriğinin belirlenmesi

Çalışmada kullanılan materyal ve peletlerin; nem içeriğinin belirlenmesinde Memmert UN 55 kurutma fırınından (ETÜV) yararlanılmıştır (Şekil 3.24). Peletlerin içeriğindeki su miktarı EN 14774-2 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Ham madde

ve peletler porselen krozelere konularak tartılmış, daha sonra 105 °C’de 24 saat kurutma fırınında (ETÜV) bekletilmiştir. Kurutma fırınından çıkartılan krozeler tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Ham madde ve peletlerin fırın kuru ağırlıkları kullanılarak yaş bazdaki nem içerikleri Eşitlik 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3.24. Nem içeriklerinin belirlenen peletler

3.2.3.c. Kül içeriğinin belirlenmesi

Ham madde ve peletlere ait kül içerikleri Protherm Furnaces kül fırınında belirlenmiştir (Şekil 3.25). Numuneler porselen krozelere konularak tartılmış, ardından 900 °C’de 3,5 saat boyunca kül fırınında bekletilmiştir. Kül fırınından çıkan krozeler tekrar tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Numunelerin kül içerikleri Eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanmıştır (ISO 1171, 2010).

$$\%Kül = \frac{Ağırlık_{Kroze+Kül} - Ağırlık_{Kroze}}{Ağırlık_{Kuru örnek}} * 100 \quad (3.3)$$



Şekil 3.25. Kül içeriklerinin belirlenen ham madde ve peletler

3.2.3.ç. Uçucu madde içeriğinin belirlenmesi

Ham madde ve peletlere ait uçucu madde içerikleri Protherm Furnaces kül fırınında belirlenmiştir. Numuneler porselen krozelere konularak tartılmış, ardından 900 °C’de 7 dakika boyunca kül fırınında bekletilmiştir. Kül fırınından çıkan krozeler tekrar tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Numunelerin uçucu madde içerikleri Eşitlik 3.4 yardımıyla hesaplanmıştır (ISO 562, 2010).

$$Uçucu\ Madde\ Oranı\ (\%) = \left(\frac{M_k - M_{yk}}{M_k} \right) * 100 \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

M_k: Yakma öncesi kuru materyal kütlesi (g)

M_{yk}: Yakma sonucu kalan materyal kütlesi (g)



Şekil 3.26. Uçucu madde içerikleri belirlenene ham madde ve peletler

3.2.3.d. Sabit karbon içeriğinin belirlenmesi

Ham madde ve peletlere ait sabit karbon içerikleri, daha önce belirlenen nem içeriği, uçucu madde ve kül içeriği değerlerinin Eşitlik 3.5’te verilen bağıntıda yerlerine konulmasıyla hesaplanmıştır (ASTM D3172, 2013).

$$FC = 100 - M - VC - a_c \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

FC: Sabit Karbon (%)

M: Nem İçeriği (%)

VC: Uçucu Madde İçeriği (%)

a_c : Kül İçeriği (%)

3.2.2.e. Teorik üst ısıl değerlerin belirlenmesi

Ham madde ve peletlere ait teorik üst ısıl değerler Eşitlik 3.6 kullanılarak hesaplanmıştır (Baley and Blankenhorn, 1984).

$$HHV = 0,312.(FC) + 0,1534.(VC) \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

HHV: Üst Isıl Değer (Mj/kg)

FC: Sabit Karbon İçeriği (%)

VC: Uçucu Madde İçeriği (%)

3.2.3.f. Hacim ve parça yoğunluğunun belirlenmesi

Ham maddelere ait hacim yoğunluğu hesaplamasında 1000 cc'lik silindirik kap ve RADWAG PS 6000 C/2 marka 0,01 g hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Silindirik kap önce boş olarak tartılmıştır. Daha sonra kap tamamen yoğunluğu ölçülecek materyal ile doldurulup tekrar tartılmıştır. Ağırlık farkı ölçüldükten sonra Eşitlik 3.7 yardımıyla hacim yoğunluğu hesaplanmıştır.

$$\rho_{hy} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

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

m_1 : Kabı darası (kg)

m_2 : Toplam ağırlık (kg)

V: Kabın hacmi (m^3)



Şekil 3.27. Silindirik kap ve hassas terazi

Parça yoğunluğu analizi için AND GF 600 marka 0,001 g hassasiyetli terazi ve Mutitoyo Digimatic marka 0,01 mm hassasiyetli dijital kumpas kullanılmıştır. Peletlerin parça yoğunluğu EN 16127 standardına göre belirlenmiştir. Bu standarda göre, belirli

ağırlıktaki 40 adet pelet rastgele seçilmiştir. Bu peletlerin çap ve uzunluk değerleri 0,01 mm hassasiyetli dijital kumpas ile ağırlık değerleri ise 0,001 hassasiyetli hassas terazi yardımıyla ölçülüp kaydedilmiştir. Bu ölçümlerden elde edilen kütle ve hacim değerleri kullanılarak pelet parça yoğunluğu (particle density) Eşitlik 3.8 ve Eşitlik 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_u = \frac{\pi d^2 l}{4} \quad (3.8)$$

$$\rho_u = \frac{m_u}{V_u} \quad (3.9)$$

Eşitlikte;

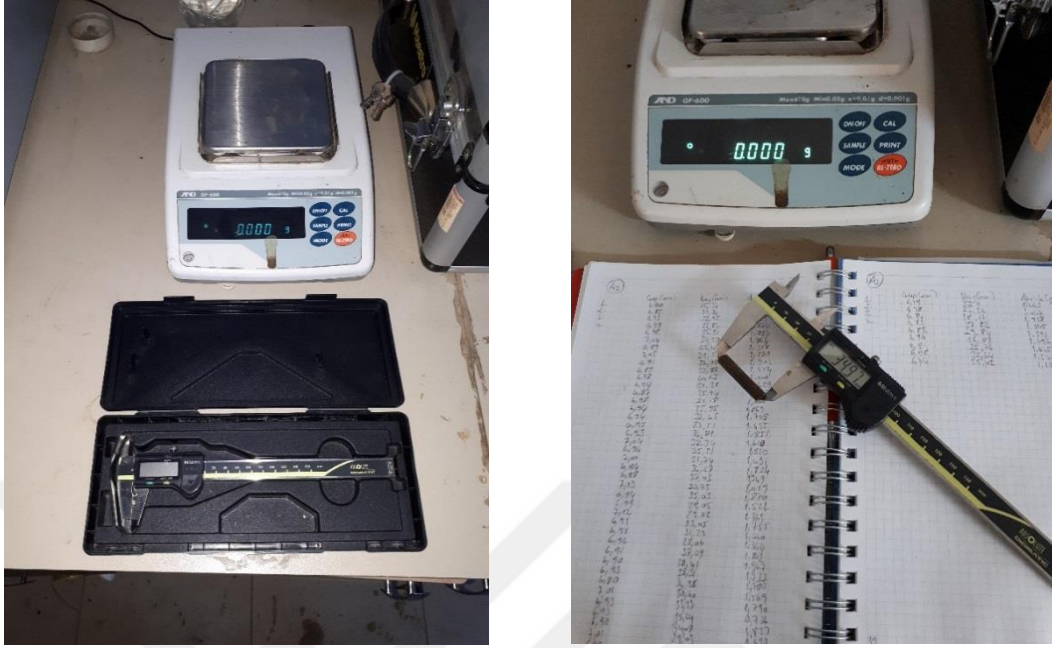
V_u : Bir peletin ortalama hacmi (m^3)

d : Peletin ortalama çapı (m)

l : Pelet uzunluğu (m)

ρ_u : Peletin parça yoğunluğu (kg/m^3)

m_u : Bir peletin ortalama ağırlığı (kg)



Şekil 3.28. Peletlerin tartılması ve boyutların ölçülmesinde kullanılan hassas terazi ve dijital kumpas

3.2.3.g. Su alma direncinin belirlenmesi

Su alma direnci, suya daldırılan peletin bünyesine aldığı suyun yüzde (%) olarak ölçüsüdür (Demirel ve Gürdil, 2017). Bu test için bir beherglas ve beherglasın ağzından destek olarak peleti suyun içinde tutan bir sarkaçtan yararlanılmıştır (Şekil 3.29). Beherglasın içerisine bir miktar şebeke suyu konulup su seviyesi işaretlenmiştir. Peletler hazırlanan düzenek içindeki suya daldırılmadan önce tartılmıştır. Daha sonra her bir pelet, sarkacın ucuna asılarak beherglasın içerisindeki şebeke suyuna daldırılıp, 25 mm derinlikte bekletilmiştir. Daldırma işleminin 1. ve 2. dakikasının sonunda peletler tekrar tartılarak ağırlık değerleri kaydedilmiştir. Peletlerin suya daldırmadan önceki ve suya daldırdıktan sonraki ağırlık değerleri kullanılarak, Eşitlik 3.10 yardımıyla ağırlıktaki artış miktarı ve su alma direnci oransal (%) olarak hesaplanmıştır.

$$SA = \left[1 - \left(\frac{M_{sa} - M_k}{M_k} \right) \right] * 100 \quad (3.10)$$

Eşitlikte;

SA : peletin su alma direnci (%)

M_{sa} : su almış peletin kütlesi (kg)

M_k : kuru peletin kütlesi (kg)



(a)



(b)

Şekil 3.29. Pelet su alma düzeneği (a) ve su alma testi uygulanmış peletler (b)

3.2.3.ğ. Dayanıklılık direncinin belirlenmesi

Peletlerin thumblers (dayanıklılık) testi EN 15210-1 (2009) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Testin yapılmasında motor gücü 0,5 BG ve redüktör devri 50 dev/dak olan, 300 X 300 X 125 mm ölçülere sahip iki adet döner kafes ve bu kafeslerin içine 230 X 50 mm boyutlarında çapraz yerleştirilmiş levhalardan oluşan bir düzeneden kullanılmıştır (Şekil 3.30). Peletler 3,15 mm çaplı yuvarlak delikli elek ile elendikten sonra her bir tekerrür için 500 gramlık pelet örnekleri test cihazının haznesine yerleştirilmiştir. Daha sonra örnekler kafesler içindeki haznede, 50 dev/dak hızda 10 dakika boyunca döndürülerek karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem her pelet örneği için üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrası peletler tamamıyla hazneden çıkartılmış ve 3,15 mm çapındaki yuvarlak delikli elek ile tekrar elenmiştir. Testten önceki ve sonraki pelet ağırlıkları kullanılarak Eşitlik 3.11’de verilen bağıntı yardımıyla peletlerin dayanıklılık dirençleri yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

$$D_d = \frac{M_a}{M_e} * 100 \quad (3.11)$$

Eşitlikte;

D_d = Dayanıklılık direnci (%)

M_a = Test öncesi elenmiş pelet ağırlığı (g),

M_e = Test sonrası elenmiş pelet ağırlığı (g),



(a)



(b)

Şekil 3.30. Thumber test düzeneği (a) ve 3,15 mm delik çaplı elek (b)

3.2.3.h. Elementel analiz

Peletlerin karbon (C), hidrojen (H), azot (N) ve kükürt (S) içeriklerini belirlemeye yönelik elementel analizler Thermo Scientific FLASH 2000 Serisi CHNS / O Analyzer elementel analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.31). Her bir karışımdan üretilen peletlerden rastgele numuneler alınarak öğütülmüştür. Öğütülmüş numuneler kurutulduktan sonra yüksek sıcaklıklarda yakılarak gazlaştırılmakta, pelet numunesi içerisindeki elementler yüzde cinsinden hesaplanmaktadır.



Şekil 3.31. Elementel analiz cihazı

3.2.3.1. Isıl değerin belirlenmesi

Peletlerin üst ısıl değlerinin belirlenmesi EN 14918 (2009) standardı dikkate alınarak IKA C200 kalorimetre ve IKA C240 O₂ dolun cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.32). Peletler test öncesinde, bir parçalayıcı yardımıyla parçalandıktan sonra 1 mm çapındaki elekten geçirilmiştir. Daha sonra ETÜV’de 24 saat 105 °C’de bekletilerek içeriğindeki su uzaklaştırılmıştır. Elde edilen fırın kuru örnekler kalorimetre cihazının yakıt bombasında oksijen ortamında yakılmıştır. Kalorimetre kabının içerisindeki su sıcaklığının artışına ve sistemin ortalama gerçek ısı sığasına bağlı olarak ısıl değ cihaz tarafından cal/g cinsinden belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.32. Kalorimetre (a) ve O₂ dolun cihazı (b)

3.2.3.i. Yanma gazları emisyon değerlerinin belirlenmesi

Yanma gazları analizleri (Emisyon ölçümleri), yanma sonucu atmosfere salınan atık gazlardan oluşmaktadır. Peletlerin yakılması sonucu salınan gazlarının oranlarının/miktarlarının belirlenmesinde Optima 7 baca gazı emisyon cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.33a). Yanma gazlarının emisyon değerlerini belirlemek için peletler, özel tasarım bir sobanın yakıt deposunda yakılmıştır. Ateşlenme ve tam yanma gerçekleştiğinde, yanma sonucu oluşan gaz emisyon değerleri O₂(%), CO(ppm), CO₂(%), NO(ppm), NO_x(ppm), SO₂ (ppm) gaz analizörü yardımıyla birer dakika aralıklarla üç okuma yapılarak gerçekleştirilmiştir. Denemelerde cihazın ölçüm algılayıcısı, baca borusu üzerine ve kazanın çıkışından yaklaşık 1 metre uzağa açılan deliğe yerleştirilmiştir (Şekil 3.33b). Algılayıcının ucu, soba borusunun kesit merkezine gelecek şekilde ayarlanmıştır. Bu işlem her bir tekrür için pelet sobasının deposu ve yanma haznesi temizlenerek tekrarlanmıştır.

Yanma gazları analizi sonucu CO, NO, NO_x ve SO₂ gazlarının konsantrasyonlarına ait ppm cinsinden elde edilen veriler, hava kirliliği mevzuatı ile karşılaştırma yapmak üzere Eşitlik 3.12 yardımı ile mg/Nm³ birimine çevrilmiştir (Anonim, 2019c).

$$Konsantrasyon \left(\frac{mg}{Nm^3} \right) = \frac{Konsantrasyon (ppm) \times moleküler ağırlık (g)}{molar hacim (lt) (0^\circ C ve 1 atm basınç)} \quad (3.12)$$

(Nm³ veya normal metreküp: 0 °C sıcaklık ve 1 atm basınç altındaki gaz hacmi)



(a)



(b)

Şekil 3.33. Baca gazı emisyon cihazı (a) ve yanma gazları analizinde kullanılan pelet sobası (b)

3.2.3.j. Termal analiz

Peletlerin termal davranış özelliklerinin belirlenmesine yönelik TermoGravimetrik Analiz (TGA) ve Diferansiyel TermoGravimetri (DTG) analizleri, Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (EGE MATAL), Mekanik ve Termal Analiz Laboratuvarında bulunan TA Instruments SDT Q600 marka eşzamanlı termogravimetrik çözümleyici ve diferansiyel taramalı kalorimetre ile yapılmıştır. (Şekil 3.34). Termal analizler 25 ile 1.000 °C aralığında, 10 °C/dak. tarama hızında, N₂ gazı ortamında göre gerçekleştirilmiştir (TS ISO EN 11358-1, 2014).

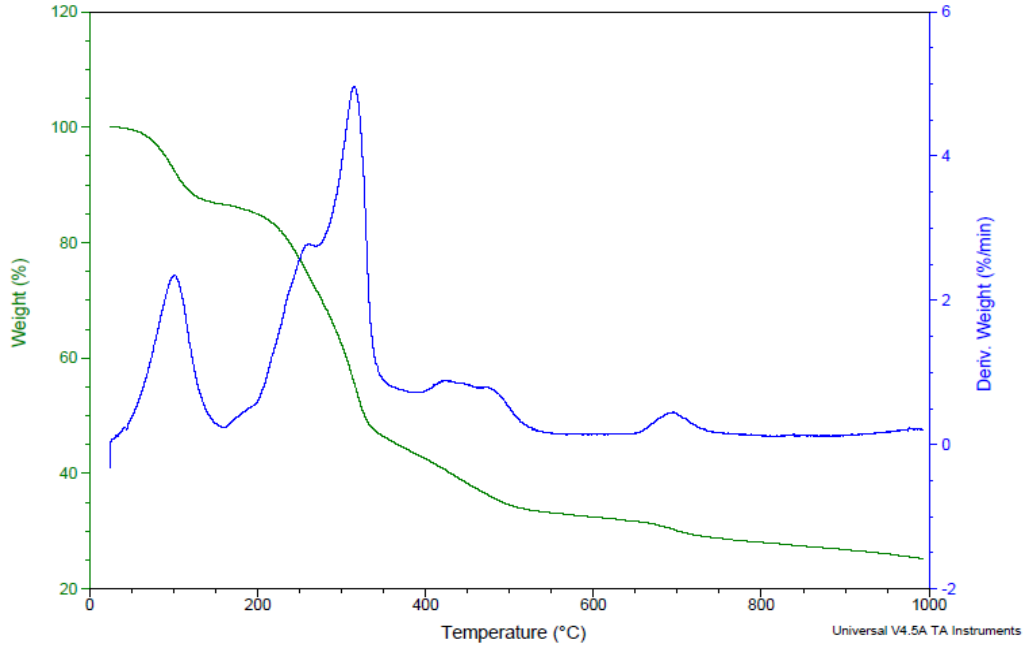
TGA; kontrollü bir ortamda ısıtılan numunede meydana gelen kütle değişiminin, zamana veya sıcaklığa karşı ölçüldüğü bir tekniktir. DTG ise TGA'nın birinci türevi olup birim zamanda numunede meydana gelen kütle kaybını belirleyen bir tekniktir. Her pelet numunesinden 20 - 25 mg civarında örnek termal analiz cihazına yerleştirilerek 25 °C'den 1.000 °C'ye kadar ısıtılmış, bu sıcaklık aralığında meydana gelen kütle kaybı ve kütle kayıp oranı eş zamanlı olarak cihaz tarafından kaydedilmiş ve bir grafiğe

yansıtılmıştır. Bu grafiklere termogram veya termal bozunma grafiği adı verilmektedir (Şekil 3.35). Bu termogramlar yardımı ile numunelerin başlangıç, maksimum, final bozunma sıcaklıkları ve kütle kaybı oranları belirlenerek peletlerin yanma davranışları detaylı bir şekilde incelenebilmektedir.



Şekil 3.34. Eşzamanlı termogravimetrik çözümleyici ve diferansiyel taramalı kalorimetre

Şekil 3.35'teki örnekte verilen ve A₁ pelet numunesine ait termogramda; yeşil renkli (azalan) eğri, sıcaklık artışına bağlı olarak numune kütleindeki azalmayı % cinsinden belirtirken (TGA), mavi renkli (dalgalı) eğri ise sıcaklık artışına bağlı olarak birim zamanda (1 dakikada) gerçekleşen kütle kaybını yine % cinsinden belirtmektedir (DTG).



Şekil 3.35. Örnek bir termogram (A_1 peleti)

3.2.4. İstatistiksel analizler

Verilerin istatistiksel analizinde SPSS paket programı kullanılmıştır. Parametrelerin, amarant ve kinoa hasat artıklarından elde edilen peletlerin, fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) testi uygulanmıştır. Bununla birlikte, farklı karışımlardan elde edilen peletler arasında istatistiksel olarak fark olup-olmadığını tespit etmek için Duncan çoklu karşılaştırma testleri yapılmıştır. Analiz sonuçları, amarant ve kinoa peletleri için ayrı değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

4.1.1. Ham maddeye ait fiziksel ve kimyasal analizler

Peletlemede kullanılacak ham maddelere (amarant, kinoa, kızılçam talaşı ve pirina) peletleme öncesinde uygulanan kısa analiz (nem, kül, uçucu madde, yığın yoğunluğu analizleri ve bu analiz değerleri kullanılarak hesaplanan sabit karbon ve teorik üst ısıl değer) sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Pelet ham maddelerine ait kısa analiz sonuçları

Ham madde*	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu madde (%)	Sabit karbon (%)	Yığın yoğunluğu (kg/m ³)	Teorik üst ısıl değer**	
						kcal/kg	Mj/kg
A ₀	9,59	10,75	65,66	14,00	302,40	3.449,00	14,44
Q ₀	9,56	6,36	74,33	9,78	161,74	3.449,00	14,44
KT	12,43	1,93	75,29	10,35	186,35	3.532,59	14,79
TP	11,93	3,30	64,68	20,10	569,21	3.866,98	16,19

*:A₀; amarant hasat artığı, Q₀; kinoa hasat artığı, KT; kızılçam talaşı, TP; toz pirina

** : 1 Megajoule = 238,85 kilocalori

Ham maddelere ait kısa analiz (proximate analysis) sonuçları incelendiğinde, peletleme öncesi ham madde nem oranlarının %9,56 ile %12,43 arasında olduğu görülmektedir. Tarımsal artıklar ile katı biyoyakıt üretiminde nem içeriği genellikle %10 - 15 olacak şekilde mümkün olduğunca düşük olmalıdır (Öztürk, 2012). Çizelgede en yüksek kül içeriğine sahip ham madde %10,75 ile A₀ iken, onu %6,36 ile Q₀ takip etmektedir.

Kül; sabit karbonun yanmasından sonra kalan inorganik atıklar olarak tanımlanabilir. Kül yanma teknolojisini belirlemede önemli parametrelerden biridir. Kül miktarının veya oranının yüksek olması yetersiz yanmaya sebep olarak ısıl değeri ve yanma verimini düşürür (Garcia *et al.*, 2014). Katı yakıtlardaki kül içeriğinin kaynağının inorganik maddeler olduğu göz önüne alındığında amarant ve kinoa artıklarının, çalışmada kullanılan kızılçam talaşı ve toz pirinaya göre daha yüksek oranda inorganik madde içerdiği söylenebilir.

Biyokütle materyalinin ısıl değerinin yüksek olmasındaki en önemli iki faktör, içeriğindeki uçucu madde ve karbon miktarıdır. Uçucu madde çeşitli hidrokarbonlardan oluşur. Sabit karbon ile birlikte yakıtın asıl yanıcı kısmını oluşturur (Tüplek, 2011). Biyokütlenin yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasıyla salınan kısmıdır. Uçucu madde termal ayrışmayı ve tesis tasarımını etkileyen önemli bir bileşendir. Yüksek uçucu madde içeriği düşük sıcaklıklarda ateşlemeyi kolaylaştırır, bu da yanmayı zenginleştirir (Garcia *et al.*, 2014). Amarantın bir C4 bitkisi olması sebebiyle C3 bitkisi olan kinoadan daha fazla sabit karbon içeriğine sahip olduğu düşünülmektedir. Buna rağmen ısıl değerlerinin birbiriyle aynı olmasının sebebi kinoa hasat artışıdaki uçucu madde miktarının amarant hasat artışıdaki uçucu madde miktarından yüksek olmasıdır. A_0 ham madde yoğunluğunun Q_0 ham madde yoğunluğundan belirgin bir şekilde yüksek olmasının kinoa bitkisi saplarının süngerimsi dokuya sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Toz pirina, diğer ham maddeler gibi bitki gövdesi artıklarından değil, yoğunluğu yüksek olan zeytin posası ve zeytin çekirdeği parçalarından oluşması sebebiyle çalışmadaki en yüksek yoğunluğa sahip ham maddedir.

Isıl değer, bir yakıtın birim kütledeki veya hacmindeki enerji değeridir (Öztürk, 2013). Bu değer katı yakıtlar için genellikle Megajoule/kilogram (Mj/kg) veya Kilokalori/kilogram (Kcal/kg) olarak ifade edilir. Yakıtların ısıl değerlerinin belirlenmesinde kalorimetre denilen cihazlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak cihaz ile ölçüm imkânının olmadığı durumlarda kısa analiz verileri (kül, uçucu madde ve sabit karbon içerikleri) kullanılarak biyokütlenin ısıl değeri hızlı bir şekilde, deneysel olarak belirlenen ısıl değere çok yakın olarak tespit edilebilmektedir (Duranay ve Yılgin, 2018). Çizelge 4.1 incelendiğinde A_0 , Q_0 ve KT ham maddelerin hesaplanan ısıl değerleri sırasıyla, 14,44, 14,44 ve 14,79 Mj/kg olarak birbirine yakın değerlerde iken, TP ham maddenin 16,19 Mj/kg ile en yüksek ısıl değere sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin de pirina içeriğindeki sabit karbon miktarının (%20,10) diğer materyallere göre yüksek olması olarak görülmektedir.

4.1.2. Pelet kimyasal analizleri

Pelet üretiminin ardından numuneler laboratuvar koşullarında açık şekilde 24 saat bekletilmiştir (Şekil 4.1). Daha sonra peletler üzerinde kimyasal analizler

sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere dayanılarak yapılan varyans analizi ve çoklu karşılaştırma testinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Peletlerin genel görünümü

Çizelge 4.2. Pelet kimyasal analiz sonuçları

Pelet	Nem içeriği (%)	Kül içeriği (%)	Uçucu madde içeriği (%)	Sabit karbon içeriği (%)	Teorik üst ısıl değer*	
					Kcal/kg	Mj/kg
A ₁	15,62a	10,70a	58,14b	15,55b	3.301,67c	13,82
A ₂	13,10b	6,40c	62,10a	18,41a	3.662,33a	15,33
A ₃	12,79b	7,43b	61,83a	17,95a	3.617,67b	15,15
<i>P</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	-
Q ₁	14,79a	8,21a	60,18c	16,82b	3.471,67c	14,53
Q ₂	13,43b	5,76b	62,49a	18,33a	3.669,67a	15,36
Q ₃	14,67a	5,91b	61,15b	18,26a	3.616,00b	15,14
<i>P</i>	<i>0,007</i>	<i>0,000</i>	<i>0,001</i>	<i>0,004</i>	<i>0,000</i>	-

*: 1 Megajoule = 238,85 kilocalori

Çizelge 4.2'ye göre pelet karışım materyalinin, hem amarant hem de kinoa pelet üretiminde nem içeriğine olan etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, A₂ ile A₃ peletleri ve Q₁ ile Q₃ peletlerinin ortalama nem değerleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Genel olarak kontrol gruplarından (A₁ ve Q₁) elde edilen peletlerin nem içeriği daha yüksek bulunmuştur. Pelet üretimi öncesi, yöntem gereği nem oranı %25'e çıkarılan materyallerin, pelet makinası içindeki işlem esnasında meydana gelen içsel ve sıkıştırma elemanları ile yaşadığı sürtünmeler sebebiyle sıcaklığı artmıştır. Bu sebeple makinadan çıkan peletlerin nem içeriğinin, materyalin peletlemeden önceki nem içeriğine göre azaldığı gözlenmiştir. Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere en düşük pelet nem içeriği %12,79 ile A₃ peletinde ölçülürken en yüksek nem içeriği ise %15,62 ile A₁ peletine aittir. Bu değerlerin EN 14961-2 (2011) standardında belirtilen pelet nem sınırının (\leq %10) ve DIN 51731 (1996) standardında belirtilen pelet nem sınırının (\leq %12) bir miktar üzerinde olduğu görülmüştür.

Karışım materyalinin, hem amarant hem de kinoa pelet üretiminde kül içeriğine olan etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, amarant peletlerinden elde edilen kül oranları

istatistiki olarak birbirinden farklı iken, Q_2 ve Q_3 kinoa peletlerinden geriye kalan kül oranları arasında fark yoktur. Hem amarantta hem de kinoada karışım materyallerinin kullanılması pelet kül içeriğini azaltmıştır Kontrol gruplarından elde edilen peletlerin kül içeriği daha yüksek bulunmuştur. Kül oranı en fazla pelet %10,7 ile A_1 peleti olurken kül oranı en düşük pelet ise %5,76 ile Q_2 peleti olmuştur. Pelet kül içerikleri, içerdikleri ham maddelerin kül oranına paralellik göstermektedir. Kül içeriği en yüksek ham madde A_0 materyali iken, tamamen A_0 ham maddeden üretilen A_1 peleti en yüksek kül içeriğine sahiptir. Kül içeriği bakımından ikinci sırada olan materyal Q_0 iken, tamamen Q_0 materyalden üretilen Q_1 peleti yine kül içeriği bakımından ikinci sıradadır. DIN 51731 (1996) standardına göre peletlerde olması gereken maksimum kül oranı %1,5 iken bu oran EN 14961-2 (2011) standardında maksimum %3 olarak belirlenmiştir. Çalışmadaki peletlerin kül içeriklerinin bu oranların üzerinde olduğu, bununla birlikte amarant ve kinoa bitkisi hasat artıklarının kızılcım talaşı ve toz pirina ile karıştırılarak üretilen peletlerin yalın olarak üretilen peletlere göre kül oranının daha düşük olduğu görülmektedir.

Karışım materyalinin, hem amarant hem de kinoa pelet üretiminde uçucu madde içeriğine olan etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. Aynı çizelgede verilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, kinoa peletlerinin uçucu madde oranlarının tamamı birbirinden, amarantta ise A_1 peletinin uçucu madde oranı A_2 ve A_3 'ten istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Kontrol gruplarından elde edilen peletlerin uçucu madde içeriği daha düşük bulunmuştur. Peletlere karışım materyalinin eklenmesi uçucu madde oranlarını artırmıştır Ham maddelere ait uçucu madde içerikleri %64,68 ile %75,29 aralığında iken, pelet uçucu madde içeriklerinin %58,14 ile %62,49 aralığında olduğu görülmektedir.

Pelet karışım materyalinin, hem amarant hem de kinoa pelet üretiminde sabit karbon ve teorik üst ısıl değere olan etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, amarant ve kinoada kontrol grubundan elde edilen peletlerin sabit karbon içeriği karışım materyallerinden elde edilenden istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Teorik üst ısıl değerinde ise hem amarant hem de kinoa peletlerinin tamamı istatistiki olarak farklıdır. Kontrol gruplarından elde edilen peletlerin sabit karbon içeriği ve teorik üst ısıl değerleri daha

düşük bulunmuştur. En yüksek sabit karbon içeriğine sahip pelet %18,82 ile Q₁ peleti olurken en düşük sabit karbon içeriği %15,55 ile A₁ peletine aittir. Amaran hasat artığı ham maddesine ait sabit karbon oranı %14,00 iken, amaran hasat artığı kullanılarak üretilen A₁ pelet numunesine ait sabit karbon oranı %15,55; kinoa hasat artığı ham maddesine ait sabit karbon oranı %9,78 iken, amaran hasat artığı kullanılarak üretilen Q₁ pelet numunesine ait sabit karbon oranı %16,82 olarak tespit edilmiştir. Peletlerin sabit karbon içeriklerinin yapıldıkları ham maddelerin sabit karbon içeriklerinden yüksek çıkmasının, üretim esnasında pelet içeriğine bağlayıcı olarak eklenen ve organik bir madde olan melasın içeriğinde bulunan sabit karbondan kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.3. Pelet fiziksel analizleri

Peletler üzerinde yapılan ve parça yoğunluğu, su alma direnci ve düşme dayanıklılık direnci ölçüm sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Karışım materyalinin, hem amaran hem de kinoa pelet üretiminde pelet parça yoğunluğuna ve düşme dayanıklılık direncine etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Pelet fiziksel analiz sonuçları

Pelet Numunesi	Pelet parça yoğunluğu (kg/m ³)	Düşme dayanıklılık direnci (%)	Su alma direnci (%) 1. dakika	Su alma direnci (%) 2. dakika
A ₁	1.306,09b	98,67a	75,58a	73,11a
A ₂	1.351,44a	96,70b	80,70b	73,79a
A ₃	1.328,49ab	98,28a	81,58b	76,98a
<i>P</i>	<i>0,004</i>	<i>0,000</i>	<i>0,023</i>	<i>0,425</i>
Q ₁	1.297,29a	98,71a	67,50a	66,41a
Q ₂	1.255,24b	96,20b	78,95ab	72,15a
Q ₃	1.310,18a	98,99a	81,77b	75,57a
<i>P</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,077</i>	<i>0,192</i>

Çizelge 4.3’e göre, karışım materyalinin amaran peletlerinin birinci dakika sonundaki su alma direncine etkisi önemli ($P<0,05$) iken, ikinci dakika sonundaki su alma direncine etkisi önemsizdir. Bununla birlikte, karışım materyalinin, kinoa

peletlerinin su alma direncinin hem birinci hem de ikinci dakikasına etkisi önemsizdir. Bu sonuç, birinci dakikadaki su alma direncinin kızılçam talaşı ve pirinaya bağlı olarak daha yüksek olduğunu, ancak ikinci dakika sonunda bu materyallerin sağladığı direncin, pelet bünyesine alınan su miktarına bağlı olarak azaldığını göstermektedir.

Biyokütle yakıtlarda mevcut olan düşük yoğunluk özelliği depolama ve nakliye zorluklarını beraberinde getirmektedir. Ancak biyokütlenin sıkıştırılması ile (peletleme ve briketleme) bu sorunlar aşılabilmektedir. Çizelge 4.3'te verilen pelet karışım materyalinin, hem amarant hem de kinoa pelet üretiminde pelet parça yoğunluğuna etkisi istatistiksel olarak çok önemli ($P < 0,01$) bulunmuştur. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, kontrol gruplarından elde edilen peletlerden A_1 peletinin parça yoğunluğunun A serisi pelet parça yoğunluklarından daha düşük, Q_1 peletinin parça yoğunluğunun ise Q_2 peletinden yüksek, Q_3 peletinden ise düşük olduğu tespit edilmiştir. En düşük yoğunluğa sahip pelet $1.255,24 \text{ kg/m}^3$ ile Q_2 peleti olurken en yüksek yoğunluk $1.351,44 \text{ kg/m}^3$ ile A_2 peletine aittir. Bu çalışmada, Çizelge 4.1'de verilen ham materyalin (amarant, kinoa, kızılçam talaşı ve pirina) ortalama yığın yoğunluğu ile Çizelge 4.3'te verilen pelet ortalama parça yoğunluğu karşılaştırıldığında, biyokütle yoğunluğunun 4,29 kat arttığı görülmüştür. Tüm pelet yoğunluk değerleri EN 14961-2 (2011) standardınca belirlenmiş pelet parça yoğunluğu değeri olan $\geq 600 \text{ kg/m}^3$ değerinin üzerinde bulunmuştur.

Düşme dayanıklılığı (aşınma) direncinin belirlenmesi, peletlerin imalatından sonra özellikle mekanik veya pnömatik sistemler aracılığıyla taşınması durumunda önem arz etmektedir. Bununla birlikte, imalat sanayinde sıkıştırma işleminin ve buna bağlı olarak pelet kalitesinin kontrolünde önemli rol oynamaktadır. Çünkü imalat sanayinde dayanıklılık direnci yüksek olan peletler, yüksek kaliteli peletler olarak kabul edilmektedir (Kaliyan and Morey 2009; Yılmaz, 2014). Çizelge 4.3'deki Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, amarantta A_1 ile A_3 arasında ve kinoa da ise Q_1 ile Q_3 arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Amarantta A_2 ve kinoa da Q_2 peletleri diğerlerinden farklı bulunmuştur. Kontrol gruplarından elde edilen peletlerden A_1 peletinin düşme dayanıklılık direnci A_2 ve A_3 peletlerinden daha yüksek bulunurken Q_1 peletinin düşme dayanıklılık direnci Q_2 peletinden yüksek, Q_3 peletinden düşük bulunmuştur. Ölçülen pelet düşme dayanımları (Q_2 peleti hariç), EN 14961-2 (2011)

standardına göre belirlenmiş EN-B pelet mekanik dayanıklılık değerinin ($\geq 96,5$) üzerindedir.

Peletlerin su içerisinde 25 mm derinlikte bekletilerek 1. ve 2. dakika sonunda bünyesine aldığı su miktarlarına ait Duncan testi sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelgeye göre, amarant peletlerinin su alma oranlarının 1. dakikası sonunda, A_1 ’de elde edilen değer A_2 ve A_3 ’te elde edilen değerlerden istatistiksel olarak farklıdır. Ancak A_2 ve A_3 ’teki değerleri arasında fark yoktur. Kinoa da ise Q_1 ile Q_2 ve Q_2 ile Q_3 peletlerinin 1. dakika sonunda bünyesine aldıkları su miktarları arasında istatistiksel olarak fark bulunamamıştır. Bunun yanı sıra, Q_1 ile Q_3 peletlerinin su alma dirençleri birbirinden farklıdır. Bununla birlikte, hem amarant hem de kinoa peletlerinin 2. dakika sonunda bünyelerine aldıkları su oranları arasında istatistiksel olarak fark bulunamamıştır. Kontrol gruplarından (A_1 ile Q_1) elde edilen peletlerin su almaya karşı direnci daha düşük bulunmuştur. Birinci dakika sonunda su alma direnci en yüksek olan pelet Q_3 iken, ikinci dakika sonunda su alma direnci en yüksek pelet ise A_3 peleti olmuştur. Su alma testi sonucunda tüm peletlerde şişme ve şekil bozulmaları yaşanmasına rağmen dağılma gözlenmemiştir.

4.2. Peletlerin Yanma Özelliklerine Ait Analizler

4.2.1. Peletlerin elementel ve ısı değer analizleri

Elementel analiz sonucunda elde edilen peletlere ait karbon (C), hidrojen (H), azot (N), kükürt (S) miktarları ve ısı değer analizi sonucunda elde edilen pelet ısı değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelge’ye göre, elementel analiz sonucu pelet karışım materyalinin A serisi peletler için karbon (C) içeriği üzerine etkisi çok önemli ($P < 0,01$), hidrojen (H) içeriği üzerine etkisi önemli ($P < 0,05$), azot (N) içeriği üzerine etkisi ise çok önemli bulunmuştur ($P < 0,01$). Pelet karışım materyalinin Q serisi peletler için karbon (C) ve hidrojen (H) içeriklerine etkisi önemsiz ($P > 0,05$), azot (N) içeriği üzerine etkisi ise önemli bulunmuştur ($P < 0,05$). Her iki üründe de karışım materyallerinin ısı değere etkisi çok önemli ($P < 0,01$) bulunmuştur. Hem A serisi hem de Q serisi peletlerinin kükürt içeriklerinin çok düşük olduğu tahmin edildiğinden elementel analiz cihazı tarafından okunamadığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.4. Pelet elementel analiz ve ısııl değer sonuçları

Pelet Numunesi	Elementel içerik				Üst ısııl değer**	
	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	(kcal/kg)	(Mj/kg)
A ₁	39,80b*	5,27b	1,20b	0,00	3.653,00c	15,29
A ₂	44,68a	5,71a	0,97b	0,00	4.188,00b	17,53
A ₃	45,43a	5,46b	1,79a	0,00	4.241,67a	17,76
<i>P</i>	<i>0,000</i>	<i>0,014</i>	<i>0,001</i>	-	<i>0,000</i>	-
Q ₁	41,62a	5,42a	0,94b	0,00	3.821,00c	16,00
Q ₂	41,60a	5,36a	1,18ab	0,00	4.160,33b	17,42
Q ₃	42,28a	5,21a	1,41a	0,00	4.281,00a	17,92
<i>P</i>	<i>0,834</i>	<i>0,172</i>	<i>0,031</i>	-	<i>0,000</i>	-

** : 1 megajoule = 238,85 kilocalori

Elementel analizlerden elde edilen bulgular, yanma için ihtiyaç duyulan hava miktarının, yanma gazı bileşiminin ve hacminin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Biyokütlenin yakılmasıyla oluşan ısının hemen hemen tamamı içeriğindeki karbon ve hidrojenin yanmasıyla oluşmaktadır. Kütlesi belli olan örneğin yakılmasıyla, karbondioksit, su buharı, elementel azot ve/veya azot oksitler, kükürt oksitler ve oksiasitler ile hidrojen halojenlerinden oluşan yanma gazları ve kül ortaya çıkmaktadır (Tırıs, 2014; Türkoğlu ve Gökoğlu, 2017). Karbon biyokütlenin organik ve mineral karbonat formunu, hidrojen biyokütlerdeki organik maddeleri ve su buharını, azot içeriği ise tamamen organik yapıyı temsil etmektedir (Aydemir, 2017). Çizelge 4.4'te verilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre; karbon (C) içeriği bakımından A serisi peletlerde, A₂ ve A₃ peletleri arasında istatistiksel fark bulunmazken, Q serisi peletlerin tamamı istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Hidrojen (H) içeriği bakımından ise A serisi peletlerde, A₁ ve A₃ peletleri arasında istatistiksel fark bulunmazken, Q serisi peletlerin tamamı istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Azot (N) içeriği bakımından A₁ ve A₂ peletleri arasında istatistiksel fark bulunmazken, A₃ peleti bunlardan farklı bulunmuştur. Bununla birlikte, azot içeriği bakımından Q serisi peletlerde, sadece Q₁ ve Q₃ peletleri istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Peletlerin kükürt içerikleri, elementel analiz cihazından okunamadığından varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılamamıştır.

Isıl değer, yakıtın birim ağırlığının tamamen yanmasıyla açığa çıkan ısı miktarıdır. Yanma ısısı veya kalorifik değer de denir. Kalorimetre bombasında, meydana gelen yanma esnasında öncelikle biyokütle içeriğindeki nem buharlaşır, daha sonra sıvı yoğunlaşarak ısısını verir. Açığa çıkan bu ısıya, üst ısı değer denir (Türkoğlu ve Gökoğlu, 2017). Peletlere ait, bombalı kalorimetre cihazı ile ölçölmüş üst ısı değerlere ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları izelge 4.4'te verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre, karışım materyallerine bağlı olarak elde edilen peletlerin üst ısı değerleri her iki üründe de istatistiki olarak birbirinden farklı bulunmuştur. Çizelge 4.4 incelendiğinde, kontrol gruplarından elde edilen peletlerin ısı içeriği daha düşük bulunmuştur. Peletlerin ısı değerleri ham maddelerin ısı değerleri ile paralellik arz etmektedir. Yalın olarak A_0 ham maddesinden üretilen A_1 ve Q_0 ham maddesinden üretilen Q_1 peletleri çalışmadaki en düşük ısı değere sahip peletler olurken, kızılçam talaşı (KT) karışımı peletler ikinci en yüksek, toz pirina (TP) karışımı peletler ise en yüksek ısı değere sahip peletler olmuştur. Çalışmadaki peletlerin ısı değerleri (Q) A_1 peleti haricinde EN14961-2 standardınca tanımlanmış EN-B pelet ısı değerleri aralığı içerisinde (16 Mj/kg $\leq Q \leq$ 19 Mj/kg). Linyit/alt bitümlü sahalar ölkemizin bütün bölgelerine yayılmış olup, bu sahalarda linyit/alt bitümlü kömürün ısı değerleri 1.000-5.000 kcal/kg aralığında değişmektedir. Ölkemizin toplam linyit/alt bitümlü kömür rezervlerinin yaklaşık %68'i düşük kalorili, %23,5'nin ısı değeri 2.000-3.000 kcal/kg, %5,1'nin ısı değeri 3.000-4.000 kcal/kg ve %3,4'nün ısı değeri ise 4.000 kcal/kg'ın üzerindedir (Anonim, 2018). Buna göre çalışmada üretilen peletlerin, Ölkemizde ıkarılan linyit/alt bitümlü kömürün %91,5'lik kısmının ısı değerinden daha fazla ısı değere sahip olduğu görölmektedir.

4.2.2. Peletlerin yanma gazları emisyon değerleri

Yanma sonucu atmosfere salınan gaz miktarlarının tespiti amacıyla baca gazı emisyon ölçümü yapılır. Ölçümü yapılan gazlar; genel olarak, O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_x ve SO_2 'dir. Karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x) ve kükürt dioksit (SO_2) gazları atmosferde yaygın olarak bulunan ve belli konsantrasyonların üzerine çıktığında insan sağlığını olumsuz etkileyen kirleticilerdendir. Karbon monoksit (CO) gazı renksiz ve kokusuzdur. Katı, sıvı ve gaz yakıtlardaki karbonun tam yanmamasıyla ortaya çıkar. Özellikle kentsel bölgelerde CO emisyonlarının büyük bir kısmı motorlu taşıt

egzozlarından atılır. Kükürt dioksit ise genellikle katı ve sıvı yakıtların yanmasıyla içeriğindeki kükürdün yanması sonucu açığa çıkan, renksiz, yanmayan ve parlamayan bir gazdır. Atmosferde bulunun nemin içinde çözülerek, güneş ışığı ve bazı kimyasallar ile birlikte sülfürik aside dönüşür. Bu şekilde asit yağmurlarının oluşumuna en büyük katkıyı yapar. Azot oksitler, asidik karakterli olup, bu gazları büyük oranda atmosfere bırakan iki kaynak vardır. Birincisi katı, sıvı veya gaz yakıt kullanan termik santraller, endüstriler ve evsel ısınma sistemleridir. İkincisi ise motorlu taşıtlardır. Yakıtların yanması sonucu genellikle diğerlerine göre daha az miktarda da azot dioksit oluşur. Azot monoksit atmosferde azot dioksite hızlı bir şekilde dönüşür. Azot dioksit, nitrat asidi oluşturmak için reaksiyona girer ve asit yağmurlarının oluşmasına katkıda bulunur (Tecer, 2011; Seven, 2014). Egzoz gazları içinde bulunan karbondioksit (CO₂), su buharı (H₂O), hidrojen (H₂) ve azot (N₂) gazları kirletici olarak kabul edilmemektedir (Anonim, 2019d).

Yanma sonucu atmosfere salınan gaz miktarlarının tespiti amacıyla baca gazı emisyon ölçüm değerlerine uygulanan varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Çizelge 4.5'e göre, karışım materyalinin sadece kinoa da SO₂ gazına olan etkisi istatistiksel olarak önemli (P<0,05) iken, diğer gazlarda; hem amarant hem de kinoa pelet üretiminde baca gazı emisyon içeriğine olan etkisi çok önemli (P<0,01) bulunmuştur. Duncan testi sonuçlarına göre, karışım materyallerine bağlı olarak elde edilen amarant peletleri (A₁, A₂ ve A₃); O₂ ve CO₂ gazlarının her birinde, emisyon ölçümünün ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmuştur. Aynı şekilde, karışım materyallerine bağlı olarak elde edilen kinoa peletlerinde de (Q₁, Q₂ ve Q₃); O₂, CO₂, CO ve SO₂ gazlarının her birindeki emisyon ölçümünün ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmuştur.

Yanma sonucunda O₂ salınımının en yüksek değeri %19,57 ile A₁ peletine ait iken, en düşük değeri %16,73 ile Q₂ peletine aittir. CO₂ salınımında ise en yüksek değer %4,10 ile Q₂ peletine ait iken, %1,40 ile en düşük değer A₁ peletine aittir. Peletlere ait O₂ ve CO₂'e ait değerler birlikte incelendiğinde, peletler arasında O₂ salınımının değerinin artmasıyla CO₂ salınımı değerinin düştüğü görülmektedir. Buna göre en yüksek O₂ salınımına sahip pelet en düşük CO₂ salınımına, en düşük O₂ salınımına sahip pelet ise en yüksek CO₂ salınımına sahip olmuştur. A serisi peletlerde, karışım

peletlerinin kirletici gaz salınımı bakımından kontrol peletlerine oranla daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu durum Q serisi peletlerde ise sadece azot oksit (NO ve NO_x) değerleri için geçerlidir. A₃ peletinin kirletici gaz salınımı bakımından diğer peletlere oranla yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Peletlerin baca gazı emisyon sonuçları

Pelet	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)
A ₁	19,57a	1,40c	7.213,33b	59,00b	62,00b	49,33b
A ₂	17,87b	3,00b	7.563,33b	122,33a	127,00a	49,67b
A ₃	17,23c	3,57a	14.100,00a	143,00a	149,67a	116,00a
<i>P</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>
Q ₁	18,87a	2,03c	6.849,67a	70,33b	73,67b	45,33a
Q ₂	16,73c	4,10a	3.510,67c	106,00a	111,00a	24,33c
Q ₃	17,53b	3,30b	4.477,67b	109,33a	115,00a	33,67b
<i>P</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	<i>0,021</i>

Çizelge 4.6’da pelet yanma gazları emisyon değerleri ile Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (IKHKKY, 2005) biyokütle ve odun yakıtı için izin verilen emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Buna göre, peletlerin O₂ ve CO emisyon değerlerinin, Yönetmelik değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte CO₂, NO, NO_x ve SO₂ değerlerinin ise Yönetmeliğin izin verdiği değerler içinde olduğu (A₃ peletine ait SO₂ emisyonu hariç) görülmüştür.

Yakıt tamamen yandığında, içerisindeki karbon (C); karbondioksit (CO₂), hidrojen (H₂) su buharı (H₂O), kükürt (S) ve kükürt dioksite (SO₂) dönüşmektedir. Yetersiz oksijen sonucu karbonun karbondioksite dönüşmeden, karbonmonoksit (CO) halinde kalmasıyla kaybedilen enerji miktarı %70 kadar olmaktadır. Bu kaygıyla, mükemmel yanmanın sağlanması için, genel bir kural olarak yakıtta verilen hava belirli oranda artırılmaktadır. Buna hava fazlalık katsayısı denilmektedir. Yakıt cinsine bağlı olarak değişen bu katsayının gereğinden az olması halinde karbonmonoksit oluşmakta, üretilen enerji azalmakta, islilik başlamakta ve yanma verimi düşmektedir. Hava fazlalık

katsayısının gereğinden fazla olması halinde ise karbonmonoksit azalırken, yanmaya girmeyen hava ocakta ısıtılarak bacadan atılmakta, yanma bozulmakta ve yanma verimi düşmektedir (Bilgin, 2011). Çizelge 4.6’da peletlere ait CO₂ salınım değerleri Yönetmelik sınırının çok altında ölçülürken CO değerleri ise sınırın çok üzerinde ölçülmüştür. Buna göre peletlerde, yanma tepkimesi esnasında yetersiz oksijen sebebiyle eksik yanma gerçekleştiği, buna bağlı olarak da CO salınımının yüksek değerlere ulaştığı, bununla birlikte enerji verimliliğinde de düşüş yaşandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.6. Pelet yanma gazları emisyon değerleri ile Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (IKHKKY, 2005) biyokütle ve odun yakıtı için izin verilen emisyon değerlerinin karşılaştırılması

	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/Nm ³)	NO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	SO ₂ (mg/Nm ³)
IKHKKY	13	20,5	4000	400	400	200
A₁ peleti	19,57	1,40	9.016	79	127	141
A₂ peleti	17,87	3,00	9.453	164	261	142
A₃ peleti	17,23	3,57	17.623	192	307	332
Q₁ peleti	18,87	2,03	8.561	94	151	130
Q₂ peleti	16,73	4,10	4.388	142	228	70
Q₃ peleti	17,53	3,30	5.596	146	236	96

4.2.3. Peletlerin termal analizi

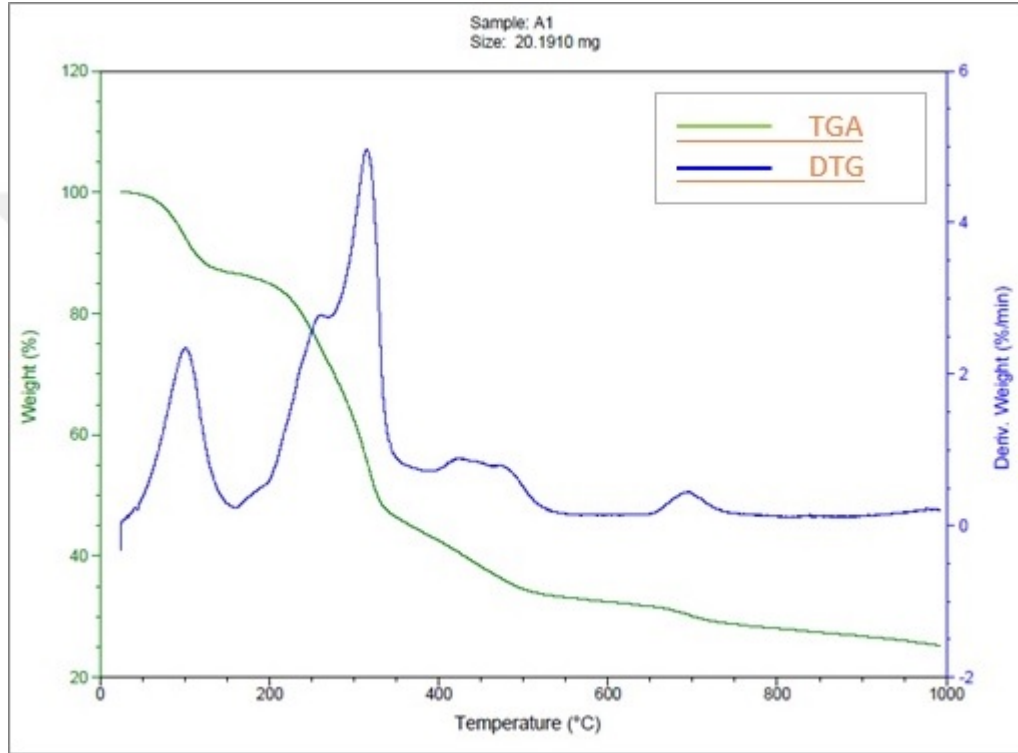
Biyokütlerde yanma olayı temelde üç basamaktan oluşmaktadır. Bu aşamalar; 1) biyokütlenin ısınması sonucu uçucu madde çıkışı, 2) uçucu maddenin gaz fazında yanması ve 3) karbonca zengin yarı-kokun yanması şeklinde gerçekleşmektedir (Berkowitz, 1985; Açma, 1999). Öncelikle nem çıkışı ve sıcaklığın yükselmeye devam etmesi ile uçucu madde çıkışı gerçekleşir. Yakıtın içerisindeki organik maddeler bozunmaya başlar, çıkan uçucu madde ortamdaki oksijen ile birleşerek yanar. Karbonca zenginleşmiş, oksijen ve hidrojenle fakirleşmiş ve mineral maddelerin çoğunu içeren gözenekli katı kısım yarıkok olarak adlandırılır. Uçucu madde çıkışı ve yanması

tamamlanınca ortamdaki oksijen yarıkok yüzeyine ulaşır ve taneciğin içine difüze olur (Berkowitz, 1985; Kopuz, 2011). Uçucu maddenin çıkışı ve yanması çok hızlı gerçekleşirken, yarıkokun yanma hızı oldukça yavaştır. Dolayısıyla, kömürün ve biyokütlenin yanma kinetiğinde hız belirleyici adım yarıkokun yanma basamağıdır (Williams *et al.*, 2000; Kopuz, 2011).

Peletlerin TermoGravimetrik Analiz (TGA) ve Diferansiyel TermoGravimetri analizlerine (DTG) ait termal bozunma eğrileri (termogramlar) Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da verilmiştir. Her bir numuneye ait TGA ve DTG eğrisi bir şekil üzerinde bütünleşik olarak gösterilmiştir. TGA eğrilerinde nem çıkışı sonucu meydana gelen kütle kaybı, DTG eğrilerinde ise sıcaklığa bağlı olarak nem çıkışından kaynaklanan kütle kayıp hızındaki değişim görülmektedir. Çalışmadaki peletlerde yanma aşamaları DTG eğrilerinde pik şeklinde izlenmekte ve her DTG eğrisinde üç adet pik yani üç farklı kütle kayıp bölgesi görülmektedir. Bunlardan birinci pik, sıcaklık artışı sebebiyle nem çıkışından kaynaklanan kütle kaybını, ikinci pik, selüloz ve hemiselülozun parçalanması ile uçucu madde çıkışından kaynaklanan kütle kaybını, üçüncü pik ise yarıkokun yanmasından kaynaklanan kütle kaybını ifade etmektedir.

Şekil 4.2’deki termogramlar incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla birlikte A₁ peletine ait numunede kütle kaybı yaşanmaya başladığı görülmektedir. İlk aşamadaki kütle kaybı pelet bünyesinde bulunan nemin buharlaşması sebebiyle gerçekleşmektedir. Bu aşamada A₁ numunesinde suyun kaynama sıcaklığına yakın bir değer olan 101,7 °C’de en yüksek kütle kayıp oranına ulaşılmış olup bu oran %2,34’ dür. Bundan sonra sıcaklık artmasına rağmen kütle kayıp oranı azalmaya başlamış, 159,56 °C’de %0,24 değerine kadar düşmüştür. Analizin bu noktasına kadar pelet bünyesindeki su tamamen buharlaşmış ve yaşanan kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %13,38 olmuştur. Bu noktadan sonra sıcaklık artışı ile uçucu madde çıkışı başladığı için kütle kayıp oranı değeri tekrar artmaya başlamıştır. Sıcaklığın 315,16 °C’ye ulaşmasıyla birlikte kütle kayıp oranı %4,96’ya çıkmış ve hem bu aşamanın hem de analizin en yüksek kütle kayıp oranı değeri olmuştur. Daha sonra bu değer de düşmeye başlayarak 393,49 °C’de %0,72 değerine gerilemiştir. Analizin bu aşamasında yaşanan kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %43,62 olmuş ve en büyük kütle kaybı burada yaşanmıştır. Bu noktadan

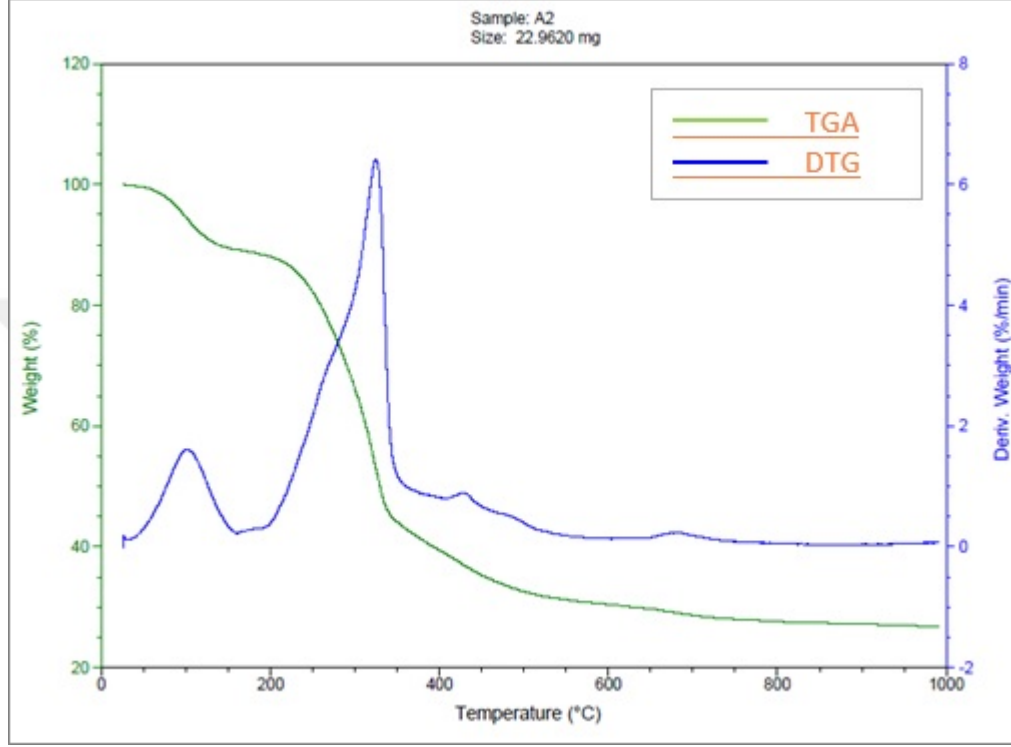
sonra tepkimenin üçüncü aşaması olan yarıkokun bozunması olayı başlamıştır. Sıcaklığın 426,65 °C'ye ulaşması ile birlikte kütle kayıp oranı %0,89'a yükselmiş, bu noktadan sonra düşüşe geçerek analizin bitiş sıcaklığı olan 1.000 °C'de %0,21 ile analiz tamamlanmıştır. Analiz sonunda pelet numunesinin toplam kütle kaybı %74,78 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. A₁ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri

Şekil 4.3'deki A₂ peletine ait termogramlar incelendiğinde; suyun buharlaşma bölgesinde en yüksek kütle kayıp oranının %1,62 olduğu ve 101,05 °C sıcaklıkta gerçekleştiği görülmektedir. Bu noktadan sonra sıcaklık artışı devam etmiş, kütle kayıp oranı 160,58 °C'de %0,22'ye kadar düşmüştür. Suyun tamamen buharlaşmasının ardından yaşanan kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %10,79 olmuştur. Bu noktadan sonra uçucu madde çıkışı ile birlikte kütle kayıp oranı değeri tekrar yükselmeye başlamış 324,91 °C'de analizin en yüksek değeri olan %6,41'e ulaşmıştır. Sıcaklık artışının devam etmesi ile kütle kayıp oranı azalmaya başlayarak 407,17 °C'de %0,80'e kadar gerilemiş ve bu aşamadaki kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %50,36 olmuştur. Bu noktadan sonra ikinci aşama biterek yarıkok bozunması başlamıştır. Bu aşamada

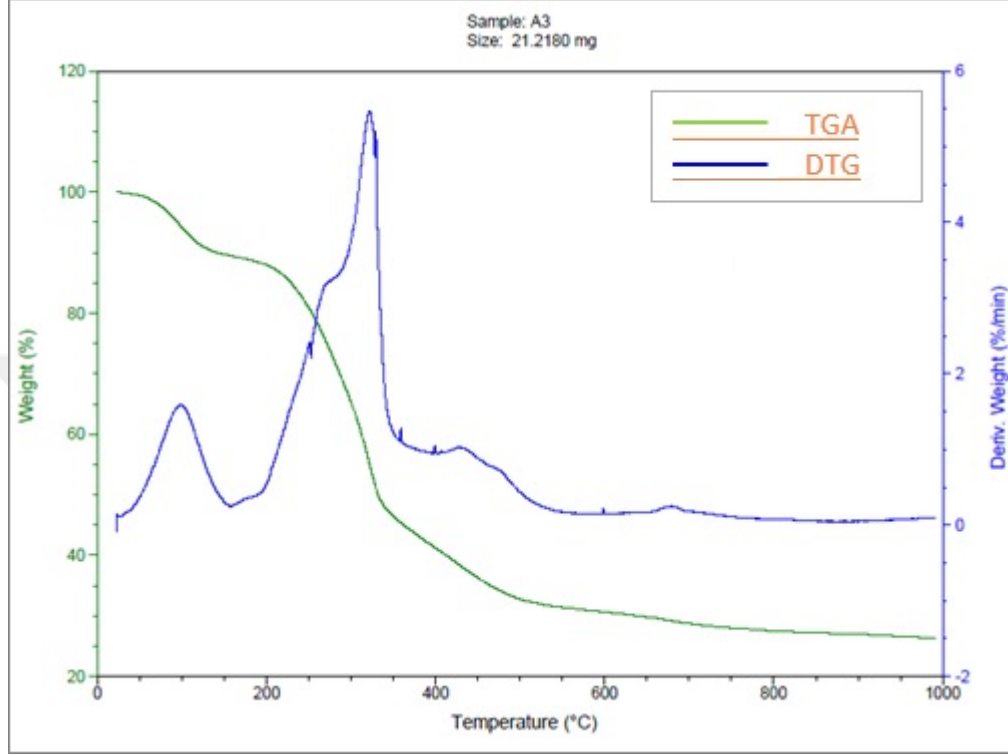
sıcaklık 428,76 °C değerine geldiğinde kütle kaybı oranı %0,90'a yükselmiş ve bu değerden sonra azalarak 1.000 °C'de %0,07 ile analiz tamamlanmıştır. Analiz sonunda pelet numunesinin toplam kütle kaybı %73,27 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3. A₂ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri

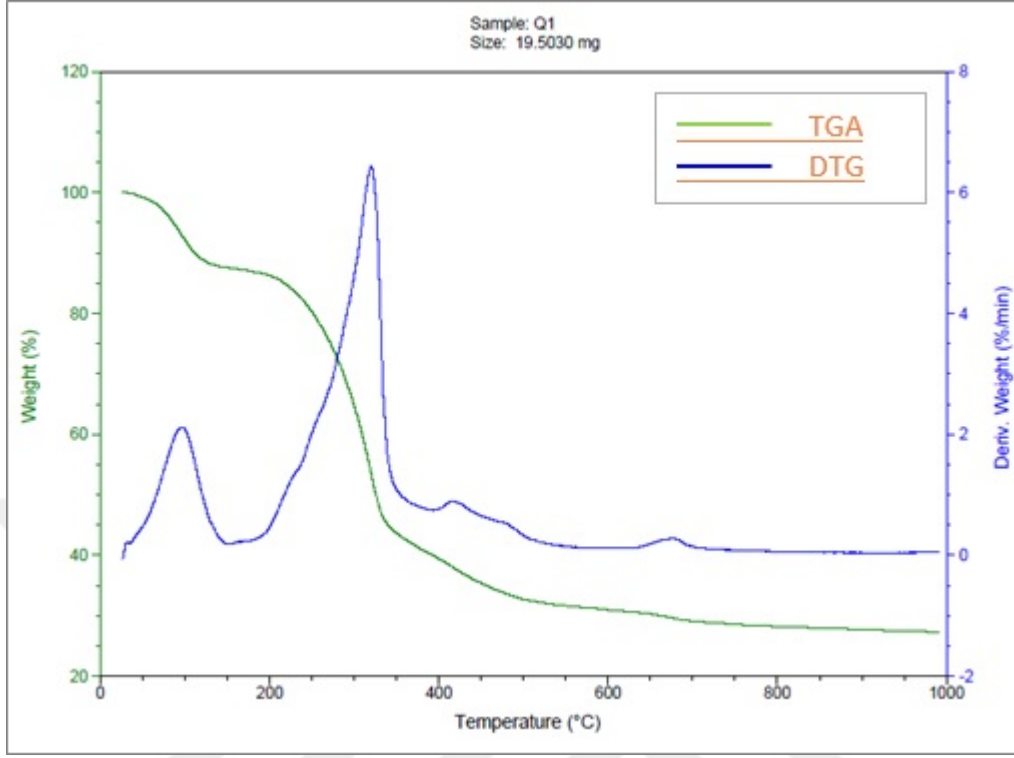
Şekil 4.4'deki A₃ peletine ait termogramlar incelendiğinde; suyun buharlaşma bölgesinde en yüksek kütle kaybı oranının %1,59 olduğu ve 98,94 °C sıcaklıkta gerçekleştiği görülmektedir. Bu noktadan sonra sıcaklık artışı devam etmiş, kütle kaybı oranı 157,70 °C'de %0,25'e kadar düşmüştür. Suyun tamamen buharlaşmasının ardından yaşanan kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %10,51 olmuştur. Bu noktadan sonra uçucu madde çıkışı ile birlikte kütle kaybı oranı değeri tekrar yükselmeye başlamış 322,20 °C'de analizin en yüksek değeri olan %5,47'e ulaşmıştır. Sıcaklık artışının devam etmesi ile kütle kaybı oranı azalmaya başlayarak 403,60 °C'de %0,94'e kadar gerilemiş ve bu aşamadaki kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %48,60 olmuştur. Bu noktadan sonra ikinci aşama bitmiş ve yarıkok bozunması başlamıştır. Bu aşamada sıcaklık 428,29 °C değerine geldiğinde kütle kaybı oranı %1,03'a yükselmiş ve bu

değerden sonra azalarak 1.000 °C'de %0,09 ile analiz tamamlanmıştır. Analiz sonunda pelet numunesinin toplam kütle kaybı %73,70 olarak belirlenmiştir.



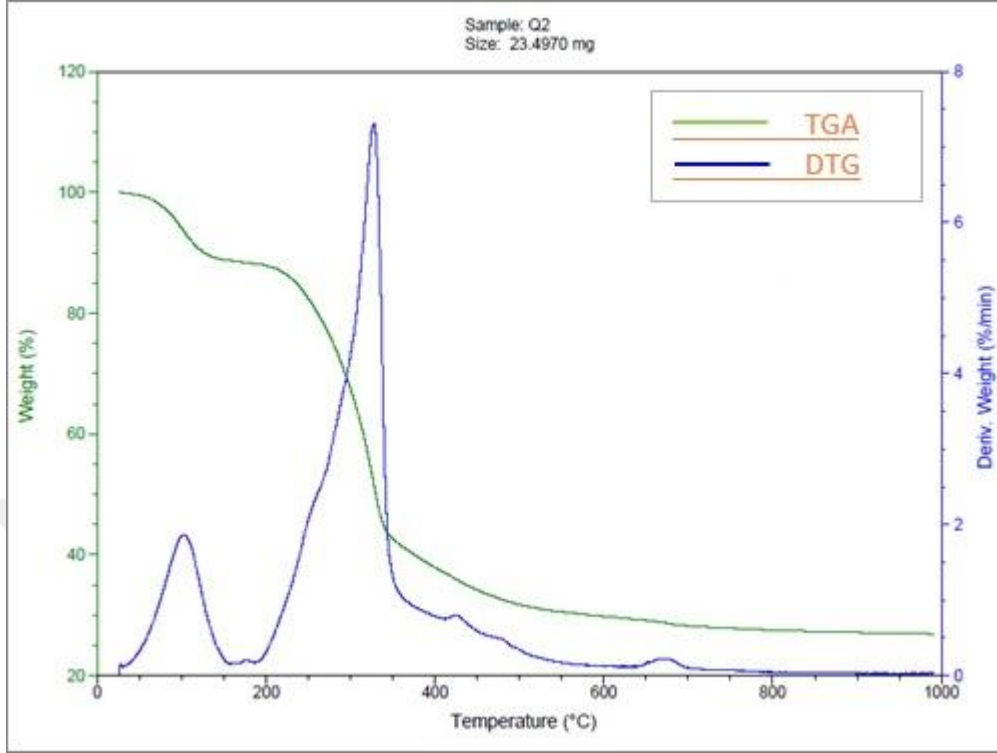
Şekil 4.4. A₃ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri

Şekil 4.5'deki Q₁ peletine ait termogramlar incelendiğinde; suyun buharlaşma bölgesinde en yüksek kütle kaybı oranının %2,12 olduğu ve 96,65 °C sıcaklıkta gerçekleştiği görülmektedir. Bu noktadan sonra sıcaklık artışı devam etmiş, kütle kaybı oranı 151,18 °C'de %0,18'e kadar düşmüştür. Suyun tamamen buharlaşmasının ardından yaşanan kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %12,43 olmuştur. Bu noktadan sonra uçucu madde çıkışı ile birlikte kütle kaybı oranı değeri tekrar yükselmeye başlamış 320,16 °C'de analizin en yüksek değeri olan %6,42'ye ulaşmıştır. Sıcaklık artışının devam etmesi ile kütle kaybı oranı azalmaya başlayarak 393,57 °C'de %0,75'e kadar gerilemiş ve bu aşamadaki kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %47,65 olmuştur. Bu noktadan sonra ikinci aşama bitmiş ve yarıkok bozunması başlamıştır. Bu aşamada sıcaklık 417,43 °C değerine geldiğinde kütle kaybı oranı %0,89'a yükselmiş ve bu değerden sonra azalarak 1.000 °C'de %0,06 ile analiz tamamlanmıştır. Analiz sonunda pelet numunesinin toplam kütle kaybı %72,70 olarak belirlenmiştir.



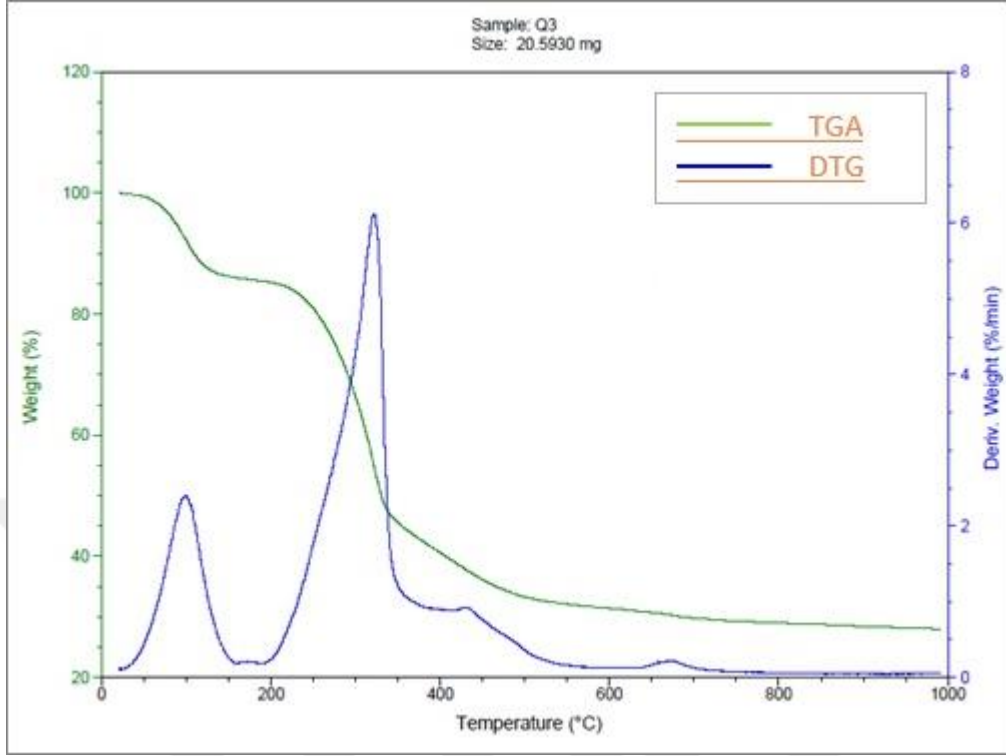
Şekil 4.5. Q₁ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri

Şekil 4.6'daki Q₂ peletine ait termogramlar incelendiğinde; suyun buharlaşma bölgesinde en yüksek kütle kaybı oranının %1,87 olduğu ve 103,83 °C sıcaklıkta gerçekleştiği görülmektedir. Bu noktadan sonra sıcaklık artışı devam etmiş, kütle kaybı oranı 157,47 °C'de %0,15'e kadar düşmüştür. Suyun tamamen buharlaşmasının ardından yaşanan kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %11,26 olmuştur. Bu noktadan sonra uçucu madde çıkışı ile birlikte kütle kaybı oranı değeri tekrar yükselmeye başlamış 327,50 °C'de analiz en yüksek değeri olan %7,31'e ulaşmıştır. Sıcaklık artışının devam etmesi ile kütle kaybı oranı azalmaya başlayarak 411,79 °C'de %0,75'e kadar gerilemiş ve bu aşamadaki kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %51,73 olmuştur. Bu noktadan sonra ikinci aşama bitmiş ve yarıkok bozunması başlamıştır. Bu aşamada sıcaklık 427,09 °C değerine geldiğinde kütle kaybı oranı %0,81'a yükselmiş ve bu değerden sonra azalarak 1.000 °C'de %0,06 ile analiz tamamlanmıştır. Analiz sonunda pelet numunesinin toplam kütle kaybı %73,12 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Q₂ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri

Şekil 4.7'deki Q₃ peletine ait termogramlar incelendiğinde; suyun buharlaşma bölgesinde en yüksek kütle kaybı oranının %2,41 olduğu ve 99,27 °C sıcaklıkta gerçekleştiği görülmektedir. Bu noktadan sonra sıcaklık artışı devam etmiş, kütle kaybı oranı 160,25 °C'de %0,19'a kadar düşmüştür. Suyun tamamen buharlaşmasının ardından yaşanan kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %14 olmuştur. Bu noktadan sonra uçucu madde çıkışı ile birlikte kütle kaybı oranı değeri tekrar yükselmeye başlamış 321,91 °C'de analizin en yüksek değeri olan %6,12'ye ulaşmıştır. Sıcaklık artışının devam etmesi ile kütle kaybı oranı azalmaya başlayarak 416,51 °C'de %0,88'e kadar gerilemiş ve bu aşamadaki kütle kaybı başlangıç kütlelerine göre %46,89 olmuştur. Bu noktadan sonra ikinci aşama bitmiş ve yarıkok bozunması başlamıştır. Bu aşamada sıcaklık 429,93 °C değerine geldiğinde kütle kaybı oranı %0,93'a yükselmiş ve bu değerden sonra azalarak 1.000 °C'de %0,05 ile analiz tamamlanmıştır. Analiz sonunda pelet numunesinin toplam kütle kaybı %72,01 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Q₃ peletinin TGA ve DTG bozunma eğrileri

Çizelge 4.7’de pelet numunelerine ait TGA ve DTA analizleri sonucu elde edilen maksimum kütle kayıp oranları ve bu oranların yaşandığı andaki sıcaklık noktaları (maksimum bozunma sıcaklığı) ile pelet numunesinin analizi boyunca yaşamış olduğu kütle kaybına ait oranlar verilmiştir. Çizelge 4.7 incelendiğinde peletlere ait maksimum bozunma sıcaklıkları ile maksimum kütle kayıp oranlarının paralel olarak değişmediği görülmektedir. Q₂ peletinin hem en yüksek kütle kayıp oranına hem de en yüksek maksimum bozunma sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir. En düşük maksimum bozunma sıcaklığı değerine sahip pelet A₁ peleti olurken, en düşük maksimum kütle kayıp oranı A₃ peletinde tespit edilmiştir. En yüksek kütle kaybı değeri A₁ peletine ait iken, en düşük kütle kaybı değeri ise Q₁ peletine aittir.

Çizelge 4.7. Peletlere ait maksimum bozunma sıcaklıkları, maksimum kütle kayıp oranları ve toplam kütle kaybı değerleri

Pelet	Maksimum bozunma sıcaklığı (°C)	Maksimum kütle kayıp oranı (%/dak)	Toplam kütle kaybı (%)
A₁	315,16	4,96	74,78
A₂	324,91	6,41	73,27
A₃	322,20	5,47	73,70
Q₁	320,16	6,42	72,70
Q₂	327,50	7,31	73,12
Q₃	321,91	6,12	72,01

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, zengin besin değerleri, insan sağlığına yararları ve zayıflama ürünü olarak kullanılması gibi özellikleriyle popüler manada ön plana çıkan kinoa ve kinoa kadar tanınmasa da yine onun kadar zengin besin içerikli ve sağlığa faydalı özellikleri bulunan amarant bitkisinin biyokütle enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kinoa ve amarant bitki hasat artıkları kurutulup öğütülmesinin ardından hem yalın olarak hem de yaygın olarak kullanılan katı biyokütle kaynakları pirina ve çam talaşı ile harmanlanarak peletlenmiş, elde edilen peletlerin yakıt özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Ana materyal amarant ve kinoa bitki hasat artıkları (A_0 ve Q_0) tek başına kullanılarak A_1 ve Q_1 peletleri, yan materyaller kızılçam talaşı (KT) ve toz pirina (TP) ile kütlece yarı yarıya karıştırılarak sırasıyla A_2 , Q_2 ve A_3 , Q_3 peletleri üretilmiştir.
- 2- Mevcut peletleme makinası ile sadece ham madde kullanılarak peletleme yapılması mümkün olmamış, düzgün pelet üretilmek için bağlayıcı madde kullanmak, materyal nem miktarını artırmak, materyalin ve bağlayıcı maddenin sıcaklığını artırmak gerekmiştir. Mevcut ham maddelerin peletleme için uygun olup olmadığının anlaşılması için farklı materyallerle de denemeler yapılmış fakat yine pelet üretilmemiştir. Yapılan gözlemler, peletleme makinası disk çapının ve silindir genişliğinin, makinanın ürettiği güce nazaran fazla olduğu, bu sebeple silindirlerin sıkıştırma için yeterli basıncı oluşturamadığı ve sürtünme kuvvetini yenemeyen silindirin materyali kalıbın içine itemediği kanaatine varılmıştır. Bu sebeple sürtünme kuvvetini yenebilmek için materyal nem miktarı artırılmış, peletlerin bütünlüğünü sağlayabilmek için de bağlayıcı madde kullanılmış ve materyal ısıtılmıştır.
- 3- Peletleme öncesi %9,56 ile %12,43 aralığında olan materyal nem miktarı %25'e çıkartılmış, bağlayıcı madde melas ve materyal sıcaklığı 70 °C'ye çıkartılmış, bundan sonra makinaya verilen materyalden düzgün peletler üretilmiştir.

- 4- Peletleme öncesi tüm materyallerin nem oranı %25 iken peletleme sonrası en düşük nem içeriğine sahip pelet %12,79 ile A₃ peleti, en yüksek nem içeriğine sahip pelet de %15,62 ile A₁ peleti olmuş ve bu değerler EN-B pelet nem içeriği standardı üst değerinin (≤ 10) bir miktar üzerinde kalmıştır.
- 5- Kinoa ve amarant hasat artıklarının pirina ve kızılçam talaşı ile karıştırılması ile elde edilen peletlerde, yalın olarak üretilen peletlere göre ısıl değer, uçucu madde ve sabit karbon miktarının yüksek olduğu ve kül miktarının ise düşük olduğu görülmüştür. Buna göre kinoa ve amarant biyokütlesine, pirina ve kızılçam talaşı ilavesinin yanma verimini artırdığı söylenebilir.
- 6- Tüm peletlerin baca gazı emisyon değerleri incelendiğinde O₂ ve CO değerleri, Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (IKHKKY) biyokütle ve odun yakıtı için izin verilen emisyon değerlerinin üzerinde çıkarak uygun olmadığı tespit edilirken, CO₂, NO NO_x, SO₂ değerlerinin ise yönetmeliğin izin verdiği sınırlarda olduğu görülmüştür.
- 7- En düşük mekanik dayanıklılık değeri %96,20 ile Q₂ peletine ait iken en yüksek mekanik dayanıklılık %98,99 ile Q₃ peletine aittir. Q₂ peleti hariç tüm peletler EN-B mekanik dayanıklılık standardına ($\geq 96,5$) uygun bulunmaktadır. Nitekim Q₂ peleti de minimum standart değerinin neredeyse hemen altındadır. Buna göre bu çalışma sonucu dayanıklı peletler üretildiği söylenebilir.
- 8- Pelet parça yoğunlukları 1.255,24 kg/m³ ile 1.351,44 kg/m³ arasında değişmektedir.
- 9- En düşük ısıl değer 15,23 Mj/kg ile A₁ peletine ait iken en yüksek ısıl değer 17,92 Mj/kg ile Q₃ peletine aittir. A₁ peleti hariç tüm peletler EN-B ısıl değer standardının ($16,0 \leq Q \leq 19$) üzerindedir.
- 10- Peletlere ait termogramlar incelendiğinde yanma olayının üç kademe gerçekleştiği görülmektedir. Bunlar; i) peletin bünyesinde bulunan nemin buharlaşması ii) uçucu bileşenlerin ayrılması ve yanması iii) yarı kokun (sabit karbonun) yanması kademeleridir.

- 11- Peletlere ait TGA ve DTG termogramları arasında önemli farklılıklar bulunmayıp genel olarak yanma davranışları birbirlerine yakın seyretmiştir. En yüksek bozunma sıcaklığı ve en yüksek kütle kayıp oranı piki sırasıyla 327,50 °C ve 7,31 %/dak. ile Q₂ peletine ait iken, en düşük bozunma sıcaklığı ve en düşük kütle kayıp oranı piki sırasıyla 315,16 °C ve 4,96 %/dak. ile A₁ peletine aittir.
- 12- Kinoa ve amarant hasat artıklarına pirina ve kızılçam talaşı ilavesinin, peletlerin, uçucu madde içeriğini, sabit karbon içeriğini ve ısı değerini artırıp kül içeriğini düşürdüğü, bu sebeple yakıt özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir.
- 13- Peletlerin bazı özelliklerinin standartlar ile uyumsuz olduğu görülse de genel olarak kinoa ve amarant bitki artıkları ile bunların farklı tür biyokütle ham maddeleri ile karışım yapılarak biyokütle yakıt üretimi yapılabileceği ve bunun da enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan kinoa ve amarant bitkilerinin Ağrı ve Iğdır illerinde yetiştirilmiş olması sebebiyle bu bitkiler Doğu Anadolu Bölgesi için hem tarımsal üretim hem de enerji potansiyeli açısından cazip bir alternatif olarak görülmektedir.

5.2. Öneriler

- 1- Bu çalışmada üretim yöntemi gereği peletleme öncesi materyal nemi %25'e çıkarılmış, buna bağlı olarak da üretilen peletlerin nem değerleri izin verilen standardın üzerinde sonuçlanmıştır. Bu sebeple pelet nem değerinin standart içinde kalmasını sağlayacak peletleme öncesi nem oranını belirlenmesine yönelik çalışma yapılmalıdır.
- 2- Çalışmada kullanılan ham maddeler ile bağlayıcı maddesiz ve farklı bağlayıcı maddeler ile peletleme yapılarak elde edilen peletlerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenebilir.
- 3- Aynı ham maddeler kullanılarak biyobriket üretme olanakları araştırılmalıdır.
- 4- Bu ve buna benzer bir çalışma ile üretilen pelet ve briketlerin piroliz süreci ile kalori değerlerinin artırılması olanakları araştırılmalıdır. Piroliz işleminde enerji kaynağı olarak imkan varsa jeotermal, güneş vb. yenilenebilir enerji

kaynaklarının kullanımı hem üretim maliyetini düşürecek hem de ekstra enerji harcanmasının önüne geçecektir.

- 5- Peletlerin uzun süre depolanmaya karşı dayanıklılığı incelenmelidir.
- 6- Katı biyokütle üretimi ve elde edilen ürünlerin analiz aşamalarında makina, ekipman ve yardımcı maddeler kullanılmakta, bu aşamalarda biyokütle materyalleri toz ve partikül yayabilmektedir. Makina ve ekipman kullanımında iş kazalarına meydan vermemek, materyal ve malzemelerin olumsuz etkilerine maruz kalmamak için iş sağlığı ve güvenliği kurallarına riayet edilmelidir.



KAYNAKLAR

- Acar, M., 2015. Tarım ve Biyoyakıtlar. *Türktarım Dergisi*, 224, 50-53.
- Acar, M., Gizlenci, Ş., Dok, M., Erdoğan, M., Efendioğlu Çelik, A., 2016. Bazı Tarımsal Atık-Artıkların Biyokütle Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi. **2. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu**, Samsun, 57-65.
- Açma, H., 1999. *Kömürün Mineral İçeriğinin Yanma Özelliklerine Etkisi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, İstanbul, 163.
- Akın, S., 2005. Biyokütle Olarak Pirininin Enerji Üretiminde Kullanılması. **III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu**, Mersin, 329-333.
- Akubugwo, I.E., Obasi, N.A., Chinyere, G.C., Ugbogu, A.E., 2008. Mineral and Phytochemical Contents in Leaves of *Amaranthus Hybridus L.* and *Solanum Nigrum L.* Subjected to Different Processing Methods. *African Journal of Biochemistry Research* 2, 40-44.
- Alemdağ, İ.S., 1980. Manual of Data Collection and Processing for the Development of Forest Biomass Relationships. **Petawawa National Forest Institute, Canadian Forest Service, Information Report PI-X-4**, 38.
- Alparslan, S., Ertekin, C., 2018. Karanfil Bitkisi Biyokütle Artıklarının Peletlenmesinde Parça Boyutunun Etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*. 14 (1), 7-13.
- Anonim, 2004. *Türkiye Çevre Atlası*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Ankara, 457.
- Anonim, 2013. *Orman Atlası*. Orman Genel Müdürlüğü, Bilgi Sistemleri Dairesi Başkanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Şube Müdürlüğü, Ankara, 108.
- Anonim, 2018. Kömür. T.C. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Bilgi Merkezi, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>, (03.08.2018).
- Anonim, 2019a. Türk Dil Kurumu Sözlükleri. sozluk.gov.tr Erişim Tarihi (27.06.2019).
- Anonim, 2019b. Biyokütle Enerjisi ve Biyoyakıt Kullanımı. Tesisat Bilgi ve Haber Portalı, <https://www.tesisat.org/biyokutle-enerjisi-biyoyakit-kullanimi.html> Erişim Tarihi (28.06.2019).

- Anonim, 2019c. Enofis Çevre, Enerji ve İnşaat Müh. Dan. Hiz. Ltd. Şti., <http://enofis.com.tr/mevzuat/EKOREHBER.pdf> (03.07.2019).
- Anonim, 2019d. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Hava Kirliliği Kaynakları ve Hava Kirliliği Boyutları, <http://havaizleme.csb.gov.tr/hava-kirliligi-kaynaklari-ve-ve-hava-kirliligi-boyutlari-i-80201> (23.04.2019).
- ASTM D3172-13, 2013. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke, ASTM International.
- Atay, O.A., Ekinci, K., Umucu, Y., 2016. Yağ Güllü Damıtma Atıkları, Kızılçam Kabuğu ve Linyit Kömür Tozundan Elde Edilen Peletlerin Baca Gazı Emisyonlarının Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13 (2), 1-9.
- Atay, O.A., Ekinci, K., Üçok, S., Kaçar, H., Kumbul, B.S., Aybek, A., 2018. Şeftali Çekirdeği ve Linyit Kömür Tozundan Yapılan Peletlerin Fiziko Mekanik Özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı*, 274-280.
- Aydemir, T., 2017. *Farklı Tarımsal Artıklar Kullanılarak Hazırlanan Karışım Peletlerinde Kenevir Sapı Kullanımının Pelet Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 79.
- Bacak, S., Külcü, R., Ekinci, K., 2009. Türkiye ve AB Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Politikaları ve Hedefler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 5 (1), 9-14.
- Baley, R.T., Blankenhorn, P.R., 1984. Calorific and Porosity Development in Carbonized Wood. *Wood Science*, 15,19-28.
- Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Karaca, C., 2009. Türkiye’de Tarımsal Biyokütleden Enerji Üretimi Olanakları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 109, 7-13.
- Baykal, N., 2018. Alternatif Enerji Kaynakları ve Türkiye. Tübitak Bilim Genç, <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/alternatif-enerji-kaynaklari-ve-turkiye> Erişim Tarihi (27.06.2019).

- Bayram, A., 2000. Nükleer Enerji ve Türkiye, **GAP Çevre Kongresi Bildiriler Kitabı**, Şanlıurfa, s. 617-624.
- Berganza, B.E., Moran, A.W., Rodriguez, G.M., Coto, N.M., Santamaria, M., Bressani, R., 2003. Effect of Variety And Location on The Total Fat, Fatty Acids and Squalene Content of Amaranth. **Plant Foods for Human Nutrition**, 58, 1-6.
- Berkowitz, N., 1985. **Chemistry of Coal Science and Technology**. Elsevier, Amsterdam, 528.
- Bhargava, A., Shukla, S., Ohri, D. 2007. Genetic Variability and Interrelationship Among Various Morphological and Quality Traits in Quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*). **Field Crops Research**, 101 (1), 104-116.
- Bilgin, A., 2011. Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyonlar. **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 122, 59-65.
- Boz, H., 2013. *Amaranthus Spp*: Kimyasal Bileşimi ve Fırın Ürünlerinde Kullanımı. **Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 27 (2), 147-153.
- Coşkun M.B., Yalçın İ., Özarlan C., 2006. Physical Properties of Sweet Corn Seed (*Zea mays saccharata Sturt.*). **Journal of Food Engineering**, 74(4), 523–528.
- Çıtak, E., Kılınç Pala, P.B., 2016. Yenilenebilir Enerjinin Enerji Güvenliğine Etkisi. **Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 2016 (3), 79-102.
- Demirel, B., Gürdil G.A.K., 2017. Fındık zurufu atığından yakıt briketi elde edilmesi ve briketeye ait bazı özelliklerin belirlenmesi. **Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi**, 33, 24-29.
- Demirel, Y., 2012. **Energy: Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling**. Springer-Verlag London Limited 2012, 507.
- DIN 51731, 1996. Testing of Solid Fuels - Compressed Untreated Wood - Requirements and Testing.

- Durak, D., 2015. *Amaranth sp. Türlerinin Yem Olarak Kalite Kriterleri ve Toksisitesinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 49.
- Duranay, N., Yılgin, M., 2018. Kısa Analiz Verileri Kullanılarak Biyokütlenin Üst Isı Değerinin Hesaplanması. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6 (2), 103-108.
- EN 14774-2, 2009. Solid Biofuels. Determination of Moisture Content. Oven Dry Method. Total Moisture. Simplified method
- EN 14918, 2009. Solid Biofuels - Determination Of Calorific Value.
- EN 15210-1, 2009. Solid Biofuels - Determination of Mechanical Durability of Pellets and Briquettes - Part 1: Pellets.
- EN 14961-2, 2011. Solid Biofuels - Fuel Specifications and Classes - Part 2: Wood Pellets for Nonindustrial.
- Ergun, M., Özbay, N., Osmanoğlu, A., Çalkır, A., 2014. Sebze ve Tahıl Olarak Amarant (*Amarant spp*) Bitkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 4(3), 21-28.
- Garcia, R., Pizarro, C., Lavín, A.G., Bueno, J.L., 2014. Spanish Biofuels Heating Value Estimation Part II: Proximate Analysis Data. *Fuel*, 117, 1139-1147.
- Geren, H., Kavut, Y.T., Altınbaş, M. 2015. Bornova Ekolojik Koşullarında Farklı Sıra Arası Uzaklıkların Kinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*)’da Tane Verimi ve Bazı Verim Özellikleri Üzerine Etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52 (1), 69-78.
- Görel, Ö., Doymaz İ., Akgün, N.A., 2003. Zeytinyağı Fabrikası Atıklarının Enerji Amaçlı Kullanımı. *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, İzmir, 253-259.
- Görez, T., Alkan A., 2005. Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidroelektrik Enerji Potansiyeli. *Yeksem 2005 III.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 123-127.

- Grover, P.D., and Mishra, S.K., 1996 ***Biomass briquetting: Technology and practices.*** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Tailand,43.
- Güler, C., Şen, S., 2013. The Utilization of Hazelnut Shell (*Coryllus Avellana L.*) Residues as Compressed Combustible Fuel. ***Ormançılık Dergisi***, 9 (2), 111-116.
- Gürbüz, Y., Yazgan, O., Kamalak, A., 2003. Karma Yemlerdeki Farklı Pelet Bağlayıcıların Pelet Kalitesine Etkileri. ***KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi***, 6 (1), 160-167.
- Gürdil, G.A.K., Baz, Y.Ö., Dok, M., Acar, M., Demirel, Ç., 2016. Fındık Zurufundan Üretilen Yakıt Peletinin Isısal Parametreleri. ***2. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu***, Samsun, 107-113.
- Harun, N.Y., Afzal M.T., 2016. Effect of Particle Size on Mechanical Properties of Pellets Made from Biomass Blends. ***Procedia Engineering***, 148, 93-99.
- IEA, 2018. What is renewable energy. International Energy Agency, <https://www.iea.org/about/faqs/renewableenergy/> Erişim Tarihi (12.02.2018).
- IKHKKY, 2005. ***Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliği Yönetmeliği.*** Resmi Gazete Sayısı: 25699.
- ISO 1171, 2010. International Standarts, Solid Mineral Fuels, Determination of Ash Content.
- ISO 562, 2010. International Standarts, Hard Coal And Coke, Determination of Volatile Matter
- Jittabut, P., 2015. Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses. ***Energy Procedia***, 79, 2 - 9
- Kaliyan, N., and Morey, R.V., 2009. Factor Affecting Strength and Durability of Densified Biomass Products. ***Biomass and Bioenergy***, 33, 337-359.

- Kapluhan, E., 2014. Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (30), 97-125.
- Karaca, C., Başçetinçelik, A., 2010. Zeytinyağı Çıkarma Atıklarının (Pirina) Briketleme Özelliklerinin ve Yanma Emisyonlarının Belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23 (2), 22-30.
- Karaosmanoğlu, F., 2006. Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ Araştırmalar. **ENKÜS 2006-İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi Bildiri Kitabı**, İstanbul, 110-146.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y., Kurt, R., 2011. Biyokütlenin Türkiye'de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (19), 63-75.
- Kır, A.E. 2016. *Iğdır Ekolojik Koşullarında Farklı Kinoa (chenopodium quinoa willd.) Çeşit ve Populasyonlarının Tohum Verimi ve Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Iğdır. 43.
- Kır, A.E., Temel, S., 2016. Iğdır Ovası Kuru Koşullarında Farklı Kinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) Çeşit ve Populasyonlarının Tohum Verimi ile Bazı Tarımsal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (4), 145-154.
- Kirveli, Ş. 2007. *Biyokütle Enerji Kaynağı Olarak Pirinanın Doğrudan Yakılmasında Klinoptilolit Kullanımının Isıl Davranış ve Emisyon Değerlerine Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir 81.
- Klass, D.L., 1998. *Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals*. Academic Press, London, 651.
- Kopuz, D., 2011. *Kömür-Biyokütle Karışımlarının Yanma Davranımlarının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 97.

- Kraujalis, P., Venskutonis, P.R., Kraujalienė, V., Pukalskas, A. 2013. Antioxidant Properties and Preliminary Evaluation of Phytochemical Composition of Different Anatomical Parts of Amaranth. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68, 322-328.
- Kumbur, H., Özer Z., Özsoy, H.D., Avcı E.D., 2005. Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması, *Yeksem 2005 III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 36-42.
- Kurtuluş, E., 2003. Pirinanın bir yakıt olarak kullanımı ve eldesi. *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Kayseri. 105-108.
- Kuş, E., Yıldırım, Y., Çokgez Kuş, A., Demir, B., 2016. Iğdır İli Tarımsal Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Eşdeğeri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (1), 65-73.
- Küsek, G., Güngör, C., Öztürk, H.H., Akdemir, Ş., 2015. Tarımsal Artıklardan Biyopelet Üretimi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29 (2), 137-145.
- Örnek, M.N., Şeflek, A.Y., Kayahan, N., Acaroğlu, M., Haciseferoğulları, H., 2016. Ketencik Bitkisi Sapının Bazı Teknolojik Özellikleri. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 3 (1), 86-90.
- Öztürk, H.H., 2012. **Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi**. Hasad Yayıncılık, İstanbul, 272.
- Öztürk, H.H., 2013. **Yenilenebilir Enerji Kaynakları**. Birsen Yayınevi, Kod. No: Y.0029, İstanbul, 442.
- Özyuğuran, A., Haykırı Açma, H., 2016. Afşin-Elbistan Linyitinin Biyokütle ve Bağlayıcı Katkısıyla Briketlenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (3), 103-113.
- Paju, P., and Alakangas, E., 2002. Puupellettien Tuotanto,- Jakelu- Ja Käyttöketjun Tekniikka, Talous Ja Markkinat. OPET Report 1, Jyväskylä, Finland. 27-29.

- Polat, R., Oğuz, H., Erdoğan, A.E., Bilim, H.İ.C., 2013. Antepfıstığı İç ve Dış Kabuklarının Yakacak Olarak Kullanılması İçin Briketlenmesi ve Briket Özelliklerinin Belirlenmesi. **28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi**, Konya, 289-295.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., and Serno, L.A., 2011. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) as a Source of Dietary Fiber and Other Functional Components. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 31(1), 225-230.
- Risi, C.J. and Galwey, N.W., 1989. Chenopodium, Granis of the Andes: A Crop for Temperate Latitudes. in; *New Crops for Food and Industry*, G.E. Wickens, N. Hog, and P. Day (eds.), pp. **Choapman and Hall London and Newyork**, 222-232.
- Seven, B., 2014. **Pamuk Sapları-Atık Hayvansal Yağ Karışımlarından Elde Edilen Briketlerin Yanma Performansının İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 56.
- Sungur, B., Topaloğlu, B., Özbey, M., 2018. Pelet Yakıtlı Yakma Sistemlerinin Isıl Performans ve Emisyon Açısından İncelenmesi. **Mühendis ve Makina**, 59 (693), 64-84.
- Sümer, S.K., Çiçek, G., Say, S.M., 2016. Çanakkale İlinde Zeytin Üretimi Artık Potansiyelinin Belirlenmesi ve Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması. **Tarım Makinaları Bilimi Dergisi**, 12 (2), 103-111.
- Şenel, M.C., 2012. **Rüzgar türbinlerinde güç iletim mekanizmalarının tasarım esasları-dinamik davranış**. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 183.
- Şenpınar, A., Gençoğlu M.T., 2006. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması. **Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları**. 4(2), 49-54.
- Tan, M., Yöndem, Z., 2013. İnsan ve Hayvan Beslenmesinde Yeni Bir Bitki: Kinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). **Alnteri Zirai Bilimler Dergisi**, 25 (B), 62-66.

- Tecer, L.H., 2011. Hava Kirliliği ve Sağlığımız. *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim*, Sayı 135, 15-29.
- Tırıs, Ç., 2014. Biyokütle Enerji İçerikleri, Biyokütle Karakterizasyonu. Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, www.eusolar.ege.edu.tr, (20/12/2014).
- TS ISO EN 11358-1, 2014. Plastics - Thermogravimetry (TG) of Polymers - Part 1: General Principles.
- Tüplek, A., 2011. *Odun Talaşı Ve Tozundan Pelet Biyoyakıt Üretilmesi Ve Yanma Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 79.
- Türe, S., 2001. Biyokütle Enerjisi, *Temiz Enerji Vakfı*, Ankara. 1-5.
- Türkoğlu, T., Gökoğlu, C., 2017. Kızılçam Ormanları Hasat Artıklarından Yapılan Odun Peletinin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (1), 58-63.
- Üçgül, İ., 2010. Biyokütle Teknolojisi. *Yekarum Dergi*, 1 (1), 3-11.
- Viglasky, J., Andrejcek, I., Huska, J., Suchomel J., 2009. Amaranth (*Amarantus L.*) is A Potential Source of Raw Material for Biofuels Production. *Agronomy Research*, 7 (2), 865-873.
- White, L.P., and Plaskett, L.G., 1981. *Biomass As Fuel*. Academic Pres, Londra, 211.
- Williams, A., Pourkashanian, M., Jones, J.M., 2000. *Combustion and Gasification of Coal*. Taylor&Francis, New York, 336.
- Wistara, N.J., Rohmatullah, M.A., Febrianto, F., Pari, G., Lee, S.H., Kim, N.H., 2017. Effect of Bark Content and Densification Temperature on The Properties of Oil Palm Trunk-Based Pellets. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 45 (6), 671-681.
- Yılmaz, H., 2014. *Bazı Tarımsal Artıkların Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 67.

Yılmaz, H., 2018. Mısır Saplarının Peletlenmesi ve Pelet Özelliklerinin Belirlenmesi.
Mediterranean Agricultural Sciences, 31 (3).



ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında İzmir’de doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini İzmir’de tamamladı. 2002 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Teknolojileri Bölümünde yükseköğrenimine başladı. 2008 yılında Tarım Makinaları Bölümünden mezun oldu ve aynı yıl T.C. Ziraat Bankası A.Ş.’de göreve başladı. 2014 yılında buradaki görevinden ayrılarak Tarım ve Orman Bakanlığı taşra teşkilatında ziraat mühendisi olarak göreve başladı. 2015 yılında Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

