

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BUDAMA ARTIKLARININ PELETLENMESİ, PELETLEME  
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ ve YANMA SONU GAZ  
EMİSYONLARININ ÖLÇÜLMESİ**

**Abdülkadir KOÇER**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**OCAK 2018**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BUDAMA ARTIKLARININ PELETLENMESİ, PELETLEME  
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ ve YANMA SONU GAZ  
EMİSYONLARININ ÖLÇÜLMESİ**

**Abdülkadir KOÇER**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**OCAK 2018**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUDAMA ARTIKLARININ PELETLENMESİ, PELETLEME  
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ ve YANMA SONU GAZ  
EMİSYONLARININ ÖLÇÜLMESİ

Abdülkadir KOÇER

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 25/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

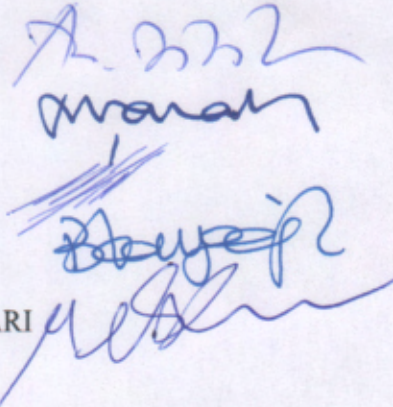
Prof. Dr. Ahmet KÜRKLÜ (Danışman)

Prof. Dr. Murad ÇANAKÇI

Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

Prof. Dr. Haydar HACİSEFEROĞULLARI



## ÖZET

### BUDAMA ARTIKLARININ PELETLENMESİ, PELETLEME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ ve YANMA SONU GAZ EMİSYONLARININ ÖLÇÜLMESİ

Abdülkadir KOÇER

Doktora Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim  
Dalı

Danışman: Prof.Dr. Ahmet KÜRKLÜ

Ocak 2018; 105 Sayfa

Ülkemiz meyve üretiminde önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır. Meyve bahçelerinden her yıl önemli miktarlarda budama artığı ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan artıkların değerlendirilmesinin ülke ekonomisine büyük katkılar sağlama potansiyeli bulunmaktadır. Bu çalışmada, zeytin, nar ve bağ yetiştiriciliğinde budama işlemleri sonucu ortaya çıkan biyokütle artıkları iki farklı nem (%10-12 ve %14-16) ve üç farklı parçacık boyutunda (2,4 ve 6 mm) peletlenmiştir. Araştırmada peletleme parametrelerinin belirlenmesi kapsamında pelet yığın yoğunluğu, pelet parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, basınç direnci, gerilme direnci ve nem alma direnci gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca peletleme makinesinin üretim kapasitesi hesaplanmış ve elektrik tüketimi ölçülmüştür. Yanma sonu gaz emisyonları için ticari amaçla üretilmiş bir pelet sobası kullanılmıştır. Peletler; üç farklı üfleme hızında yakılarak yanma sonucu atmosfere salınan baca gazı emisyon değerleri, baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi elektrokimyasal baca gazı analizörü ile ölçülmüştür. Çalışma sonunda, materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak ortalama 6 mm çapında silindirik peletler üretilmiştir. Peletleme makinesinin üretim kapasitesi 23 ile 83 kg.h<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Peletlerin yığın ve parça yoğunluğu ise sırası ile 521-793 kg.m<sup>-3</sup> ve 981-1338 kg.m<sup>-3</sup> arasında değiştiği belirlenmiştir. Nem içeriği arttıkça yoğunluk değerleri azalmıştır. Zeytin, nar ve bağ peletlerinin yakılması sonunda en düşük CO emisyon değerleri sırasıyla 103, 55 ve 897 ppm, en düşük NO<sub>x</sub> emisyon değerleri sırasıyla 6, 10 ve 46 ppm ve en düşük baca gazı sıcaklığı değerleri sırasıyla 63, 147 ve 158 °C olarak tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Biyokütle, pelet, budama artıkları, baca gazı emisyonu

**JÜRİ:** Prof. Dr. Ahmet KÜRKLÜ

Prof. Dr. Murad ÇANAKCI

Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

Prof. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI

## ABSTRACT

### PELLETING OF PRUNING BIOMASS RESIDUES, DETERMINATION OF PELLETING PARAMETERS AND MEASUREMENT OF FLUE GAS EMISSION VALUES

Abdülkadir KOÇER

PhD Thesis in Department of Agricultural Machinery and Technology  
Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Ahmet KÜRKLÜ

January 2018; 105 pages

Our country is among the leading countries in fruit production. Every year important amounts of pruning residue emerges from fruit gardens. The evaluation of the resulting residues will contribute greatly to the country's economy. In the study, olive, pomegranate and vineyard pruning biomass residues were pelleted in a pelleting machine. Different moisture content (10-12% and 14-16%) and three different particle size (2, 4 and 6 mm) were used in the experiment. The physical properties of pellets such as bulk density, particle density, durability resistance, compressive resistance, tensile strength and moisture sorption resistance were determined. Also, average capacity of pelleting machine and its energy consumption values were measured. Pellets; was automatically burned at 3 different air velocities in a commercial pellet. During burning of the pellets, emissions, temperature and combustion efficiency were measured in the flue gas by means of a flue gas analyzer. At the end of the study, depending on the material properties and moisture content, average pellet production capacity of the pelleting machine were found 23-83 kg.h<sup>-1</sup> and cylindrical pellets with an average diameter of 6 mm were produced. The bulk density and particle density of pellets were between 521-793 kg.m<sup>-3</sup> and 981-1338 kg.m<sup>-3</sup>, respectively, and pellet densities were decreased with increasing moisture content. At the end of the combustion of olive, pomegranate and vineyard pellets, the lowest CO emission values are 103, 55 and 897 ppm, respectively, the lowest NO<sub>x</sub> emission values are 6, 10 and 46 ppm, respectively, and the lowest flue gas temperature values are 63, 147 and 158 °C were determined.

**KEYWORDS:** Biomass, pellet, pruning residues, flue gas emissions

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Ahmet KÜRKLÜ

Prof. Dr. Murad ÇANAKCI

Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

Prof. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI

## ÖNSÖZ

Türkiye, nüfusu yıldan yıla artmakla birlikte, son yıllarda hızlı bir şekilde gelişme göstermektedir. Nüfus artışı ve gelişmişliğe bağlı olarak enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Türkiye'nin mevcut birincil enerji kaynakları (kömür, petrol vb) enerji ihtiyacını bugün ve gelecek yıllarda karşılaması mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle temiz, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payının hızlı bir şekilde artırılması çok önemlidir. Türkiye coğrafi yapısı ve geniş üretim alanları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve kullanımı açısından oldukça avantajlı bir konuma sahiptir. Türkiye için önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de biyokütle enerjisidir. Biyokütle kaynakları içerisinde tarımsal artıklar önemli bir yer tutmaktadır. Ancak yüksek nem içeriğine sahip olmaları ve düşük yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle nakliye, depolama ve taşıma maliyetleri artmakta ve doğrudan yakıt olarak kullanımı uygun olmamaktadır.

Peletleme tarımsal artıkların değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir yöntemdir. Yapılan çalışmanın Antalya bölgesinin hatta ülkemizin mevcut biyokütle enerji potansiyelinin yaygın kullanımına katkı sağlamasını temenni ederim.

Bu çalışmanın hazırlanması ve araştırılmasında, çalışmanın her aşamasında her türlü bilgi ve öneriyle bana yön veren ve projenin büyük oranda tamamlanmasını sağlayan ve Türkiye'nin biyokütle konusunda en iyi yetişmiş uzmanı olduğuna inandığım ilk danışmanım Yrd.Doç.Dr. Sefai BİLGİN'e, tez danışmanım Prof.Dr. Ahmet KÜRKLÜ'ye ve Prof.Dr. Afşin GÜNGÖR'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Öğretim Elemanlarına, denemeler süresince yardımlarından dolayı Arş. Gör. Hasan YILMAZ'a, her durumda benden sevgi ve desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

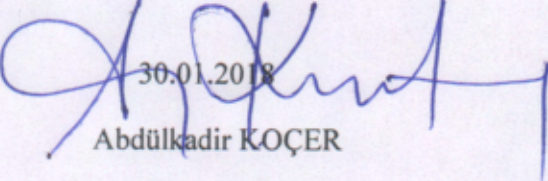
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
AKADEMİK BEYAN .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
2. KAYNAK TARAMASI .....	4
2.1. Dünyada ve Türkiye’de Biyokütle Enerjisi.....	4
3. MATERYAL VE METOT .....	21
3.1. Materyal .....	21
3.2. Metot .....	28
3.2.1. Materyallerin hazırlanması ve peletlenmesi.....	28
3.2.2. Materyal parçacık boyut dağılımı .....	30
3.2.3. Üretim kapasitesi ve enerji tüketimi.....	31
3.2.4. Pelet fiziksel özellikleri ve testler .....	31
3.2.4.1. Pelet yığın yoğunluğu .....	31
3.2.4.2. Pelet parça yoğunluğu.....	32
3.2.4.3. Pelet mekanik dayanıklılık direnci .....	32
3.2.4.4. Pelet basınç direnci .....	32
3.2.4.5. Pelet nem içeriği .....	33
3.2.4.6. Pelet nem alma dirençleri .....	33
3.2.4.7. Peletlerin Yanma Performansları.....	34
3.2.5. İstatistiksel analiz yöntemi .....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	36
4.1. Materyal parçacık boyutu dağılımları .....	36
4.2. Materyallerin Peletlenmesi.....	36
4.3. Üretim Kapasitesi ve Enerji Tüketimi.....	39

4.4. Pelet Fiziksel Özellikleri .....	41
4.4.1. Pelet nem içeriği .....	42
4.4.2. Pelet yığın ve parça yoğunluğu .....	43
4.4.3. Pelet mekanik dayanıklılık direnci .....	45
4.4.4. Peletlerin basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci .....	48
4.4.5. Peletlerin nem alma durumu .....	49
4.5. Pelet Yanma Performansları .....	50
4.5.1. Zeytin peletlerinin yanma performansları .....	50
4.5.1.1. O <sub>2</sub> emisyonları .....	51
4.5.1.2. CO emisyonları .....	54
4.5.1.3. NO <sub>x</sub> emisyonları .....	57
4.5.1.4. Baca gazı sıcaklığı .....	60
4.5.2. Nar peletlerinin yanma performansları .....	64
4.5.2.1. O <sub>2</sub> emisyonları .....	64
4.5.2.2. CO emisyonları .....	67
4.5.2.3. NO <sub>x</sub> Emisyonları .....	70
4.5.2.4. Baca gazı sıcaklığı .....	73
4.5.3. Bağ peletlerinin yanma performansları .....	77
4.5.3.1. O <sub>2</sub> emisyonları .....	77
4.5.3.2. CO emisyonları .....	80
4.5.3.3. NO <sub>x</sub> emisyonları .....	83
4.5.3.4. Baca gazı sıcaklığı .....	86
4.5.4. Tüm peletlerin yanma performans karşılaştırmaları .....	90
4.5.4.1. O <sub>2</sub> emisyonları .....	90
4.5.4.2. CO emisyonları .....	90
4.5.4.3. NO <sub>x</sub> emisyonları .....	91
4.5.4.4. Baca gazı sıcaklığı .....	91
5. SONUÇLAR .....	93
6. KAYNAKLAR .....	95
7. EKLER .....	102
ÖZGEÇMİŞ	



## AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Budama Artıklarının Peletlenmesi, Peletleme Parametrelerinin Belirlenmesi Ve Yanma Sonu Gaz Emisyonlarının Ölçülmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

  
30.01.2018  
Abdülkadir KOÇER

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$d$	: Pelet çapı (m)
$F$	: Maksimum kırılma kuvveti (N)
k.b.	: Kuru baz
$l$	: Pelet uzunluğu (m)
$M$	: Pelet nem içeriği (%)
$M_f$	: Materyalin son durumdaki nem içeriği (%)
$M_i$	: Materyalin ilk durumdaki nem içeriği (%)
$m_f$	: Pelet örneklerinin son kütlesi (g)
$m_i$	: Pelet örneklerinin ilk kütlesi (g)
$m_{yas}$	: Pelet yaş kütlesi (g)
$m_{kuru}$	: Pelet kuru kütlesi (g)
$P_a$	: Pelet örneklerinin nem alması (%)
$Q$	: Eklenecek su miktarı (g)
$W_i$	: Materyalin ilk kütlesi (g)
y.b.	: Yaş baz
$\sigma_x$	: Gerilme direnci (Pa)

### Kısaltmalar

BTEP	: Bin Ton Eşdeğer Petrol
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
IEA	: International Energy Agency
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol

TEP : Ton Eşdeğer Petrol  
TUIK : Türkiye İstatistik Kurumu  
MTA : Maden Tetkik Arama

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Budama artıklarının toplanması ve yakılması .....	3
Şekil 2.1. Düz kalıplı (a) ve çember kalıplı (b) peletleme teknolojisi .....	7
Şekil 3.1. Nar (a), bağ (b) ve zeytin (c) budama artıkları .....	21
Şekil 3. 2. Dal parçalama makinesi genel görünüşü .....	21
Şekil 3. 3. Çekiçli değirmen genel görünüşü .....	22
Şekil 3.4. Denemelerin yapıldığı peletleme makinesi .....	22
Şekil 3. 5. Pelet makinasında kullanılan kalıp şekli ve kesiti .....	23
Şekil 3.6. Materyallerin parçacık boyut dağılımlarının belirlendiği elek analiz seti .....	23
Şekil 3.7. Pelet mekanik dayanıklılık test cihazı .....	24
Şekil 3.8. Basınç direnci test cihazı .....	24
Şekil 3.9. İklimlendirme test kabini .....	25
Şekil 3.10. Portatif enerji analizörü .....	25
Şekil 3. 11. Peletlerin yakılmasında kullanılan pelet sobası ve boyutları.....	26
Şekil 3.12. Baca gazı ölçüm cihazı .....	26
Şekil 3.13. Baskül (a) ve hassas terazi (b) .....	27
Şekil 3.14. Parçalanmış zeytin (a), bağ (b) ve nar budama artıkları (c) .....	28
Şekil 3.15. Pelet yığın yoğunluğu belirleme kabı .....	32
Şekil 4. 1. Zeytin budama artıklarından elde edilen peletler .....	37
Şekil 4. 2. Nar budama artıklarından elde edilen peletler .....	37
Şekil 4. 3. Bağ budama artıklarından elde edilen peletler .....	38
Şekil 4.4. Bağ peletlerinin mekanik dayanıklılık direnci testi öncesi ve sonrası görünümü .....	46
Şekil 4.5. Zeytin peletlerinin basınç test öncesi ve sonrası görünümleri.....	48
Şekil 4. 6. %10-12 materyal nem içeriğindeki zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin yanma verim dağılımları .....	51

<b>Şekil 4. 7.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	52
<b>Şekil 4. 8.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	52
<b>Şekil 4. 9.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	52
<b>Şekil 4.10.</b> %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	53
<b>Şekil 4. 11.</b> %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	53
<b>Şekil 4. 12.</b> 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hıza göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	54
<b>Şekil 4. 13.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları .....	54
<b>Şekil 4.14.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları .....	55
<b>Şekil 4.15.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları .....	55
<b>Şekil 4.16.</b> %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları .....	56
<b>Şekil 4. 17.</b> %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları .....	56
<b>Şekil 4.18.</b> 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hıza göre CO emisyon dağılımları.....	57
<b>Şekil 4. 19.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları.....	58
<b>Şekil 4.20.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları.....	58
<b>Şekil 4.21.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları.....	58
<b>Şekil 4.22.</b> %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	59
<b>Şekil 4.23.</b> %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları.....	59

<b>Şekil 4.24.</b> 4 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	60
<b>Şekil 4. 25.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	60
<b>Şekil 4. 26.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	61
<b>Şekil 4. 27.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	61
<b>Şekil 4. 28.</b> %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	62
<b>Şekil 4. 29.</b> %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	62
<b>Şekil 4. 30.</b> 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları .....	63
<b>Şekil 4. 31.</b> %10-12 materyal nem içeriğindeki nar budama artıklarından üretilen peletlerin yanma verim dağılımları .....	64
<b>Şekil 4. 32.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	65
<b>Şekil 4. 33.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	65
<b>Şekil 4. 34.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	66
<b>Şekil 4. 35.</b> %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	66
<b>Şekil 4. 36.</b> %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	67
<b>Şekil 4. 37.</b> 4 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	67
<b>Şekil 4. 38.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları .....	68
<b>Şekil 4. 39.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları .....	68
<b>Şekil 4. 40.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları .....	68

<b>Şekil 4. 41.</b> %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları .....	69
<b>Şekil 4. 42.</b> %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları .....	69
<b>Şekil 4. 43.</b> 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre CO emisyon dağılımları.....	70
<b>Şekil 4. 44.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları.....	71
<b>Şekil 4. 45.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları.....	71
<b>Şekil 4. 46.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları.....	71
<b>Şekil 4. 47.</b> %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	72
<b>Şekil 4. 48.</b> %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	72
<b>Şekil 4. 49.</b> 4 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	73
<b>Şekil 4. 50.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	73
<b>Şekil 4. 51.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	74
<b>Şekil 4. 52.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	74
<b>Şekil 4. 53.</b> %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	75
<b>Şekil 4. 54.</b> %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	75
<b>Şekil 4. 55.</b> 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları .....	76
<b>Şekil 4. 56.</b> %10-12 materyal nem içeriğindeki bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yanma verim dağılımları .....	77
<b>Şekil 4. 57.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	78

<b>Şekil 4. 58.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	78
<b>Şekil 4. 59.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	78
<b>Şekil 4. 60.</b> %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	79
<b>Şekil 4. 61.</b> %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	79
<b>Şekil 4. 62.</b> 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımları .....	80
<b>Şekil 4. 63.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları .....	80
<b>Şekil 4. 64.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları .....	81
<b>Şekil 4. 65.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları .....	81
<b>Şekil 4. 66.</b> %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları .....	82
<b>Şekil 4. 67.</b> %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları .....	82
<b>Şekil 4. 68.</b> 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre CO emisyon dağılımları .....	83
<b>Şekil 4. 69.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	83
<b>Şekil 4. 70.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	84
<b>Şekil 4. 71.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	84
<b>Şekil 4. 72.</b> %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	85
<b>Şekil 4. 73.</b> %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	85
<b>Şekil 4. 74.</b> 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımları .....	86



<b>Şekil 4. 75.</b> 2 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	86
<b>Şekil 4. 76.</b> 4 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	87
<b>Şekil 4. 77.</b> 6 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	87
<b>Şekil 4. 78.</b> %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	88
<b>Şekil 4. 79.</b> %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları.....	88
<b>Şekil 4. 80.</b> 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızı göre baca gazı sıcaklığı dağılımları .....	89
<b>Şekil 4. 81.</b> Materyal çeşidine göre O <sub>2</sub> emisyon dağılımı .....	90
<b>Şekil 4. 82.</b> Materyal çeşidine göre CO emisyon dağılımı .....	90
<b>Şekil 4. 83.</b> Materyal çeşidine göre NO <sub>x</sub> emisyon dağılımı.....	91
<b>Şekil 4. 84.</b> Materyal çeşidine göre baca gazı sıcaklığı dağılımı.....	92

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1. Türkiye ve Antalya'daki tarım alanları dağılımı .....	2
Çizelge 1. 2. Türkiye ve Antalya'daki bazı meyve çeşitlerinin üretim alanları dağılımı .....	2
Çizelge 2. 1. Kaynak bazında dünya yıllık enerji tüketimi.....	5
Çizelge 3.1. Baca gazı emisyon ölçüm cihazına ait teknik özellikler.....	27
Çizelge 3. 2. Materyallerin bazı fiziksel özellikleri.....	28
Çizelge 3.3. Materyal çeşidi, parçacık boyut ve nem içeriğine bağlı olarak deneme deseni.....	30
Çizelge 4. 1. Materyallerin parçacık boyutu dağılımları .....	36
Çizelge 4. 2. Peletlerin ortalama uzunluk, çap ve kütleleri .....	38
Çizelge 4. 3. Zeytin peletlerinin ortalama üretim kapasiteleri.....	39
Çizelge 4. 4. Nar peletlerinin ortalama üretim kapasiteleri .....	39
Çizelge 4. 5. Bağ peletlerinin ortalama üretim kapasiteleri.....	39
Çizelge 4.6. Materyal çeşidinin peletleme ortalama üretim kapasitesi ve ortalama enerji tüketimi üzerine etkisi.....	40
Çizelge 4. 7. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin ortalama üretim kapasitesi üzerine etkisi .....	40
Çizelge 4. 8. Elde edilen peletlerin peletleme öncesi, sonrası ve 7. gün sonundaki nem içerikleri .....	42
Çizelge 4. 9. Zeytin peletlerinin parça ve yığın yoğunluğu değerleri.....	43
Çizelge 4. 10. Nar peletlerinin parça ve yığın yoğunluğu değerleri .....	43
Çizelge 4. 11. Bağ peletlerinin parça ve yığın yoğunluğu değerleri.....	43
Çizelge 4. 12. Materyal çeşidinin yığın ve parça yoğunluğu üzerine etkisi .....	44
Çizelge 4. 13. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin yığın ve parça yoğunluğuna etkisi .....	44
Çizelge 4. 14. Zeytin peletlerinin mekanik dayanıklılık dirençleri .....	46
Çizelge 4. 15. Nar peletlerinin mekanik dayanıklılık dirençleri .....	46
Çizelge 4. 16. Bağ peletlerinin mekanik dayanıklılık dirençleri .....	47

<b>Çizelge 4. 17.</b> Materyal çeşidinin mekanik dayanıklılık direnci üzerine etkisi .....	47
<b>Çizelge 4. 18.</b> Parçacık boyutu ve nem içeriğinin mekanik dayanıklılık direncine etkisi .....	48
<b>Çizelge 4. 19.</b> Materyal çeşidinin basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi .....	49
<b>Çizelge 4. 20.</b> Parçacık boyutunun basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi .....	49
<b>Çizelge 4. 21.</b> Materyal çeşidinin nem alma durumu üzerine etkisi .....	50
<b>Çizelge 4. 22.</b> Parçacık boyutunun nem alma durumu üzerine etkisi .....	50

## 1. GİRİŞ

Dünya enerji gereksinimi; nüfus artışı, sosyo-ekonomik ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak son yıllarda çok hızlı bir şekilde artmış ve gelecek 50 yıl içerisinde de özellikle sanayileşmenin yol açacağı büyümeye bağlı olarak artacağı tahmin edilmektedir (Goswam ve Kreith 2007). Dünya çapında en yaygın birincil enerji kaynağı olarak kullanılan fosil enerji kaynağı petrol ve kömürdür. 2015 yılı dünya toplam birincil enerji arzının (13647 MTEP) %81.4'ü fosil enerji kaynaklarından (petrol, kömür, doğal gaz), %4.9'u ise nükleer enerjiden karşılanmıştır (IEA 2017). Fosil enerji kaynaklarının yoğun kullanımı sonucu dünyadaki fosil enerji kaynak rezervleri giderek azalmaktadır. Bununla birlikte fosil yakıt kullanımının çevreye olan olumsuz etkileri, mevcut teknolojilerin fosil enerji kullanım verimlerinin düşük olması ve ileride bu teknolojilerin gelişerek fosil enerji kullanım verimlerinin artabileceği olasılığı nedeniyle fosil enerji kaynaklarının gelecek nesillere aktarılması gerekliliği söz konusudur.

Fosil enerji kaynaklarının kullanımının başlıca iki önemli dezavantajı vardır. Birincisi; fosil yakıtların iklim değişikliğine neden olan kirletici özellikteki sera gazlarını yaymaları, ikincisi ise; yeterli rezervlere sahip olmayan ülkelerin enerji arzlarının güvenliğindeki artan risklerle yüz yüze kalmalarıdır (EC 2005). Son yıllarda gelişmiş ülkelerde fosil yakıtların aşırı tüketimi dünya sera gazı emisyonlarını çok hızlı bir şekilde artırmış ve bunun sonucunda yüksek seviyelerde kirlilik meydana gelmiştir (Ballesteros vd. 2006). 1973 yılında atmosfere yıllık 15458 Mt karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salınımı yapılırken, 2015 yılında bu değer %109 artarak 32294 Mt CO<sub>2</sub>'ye çıkmıştır (IEA 2017).

Atmosferde milyonlarca yıldır 180-280 ppm arasında değişen eşdeğer CO<sub>2</sub> emisyonu, son elli yılda hızla artmış ve 450 ppm seviyesine çıkmıştır. Açıklanan senaryolara göre CO<sub>2</sub> emisyonu eşdeğerinin bu seviyelerde kalması durumunda dünya ortalama sıcaklığının 2 °C artacağı bildirilmiştir. Diğer bir senaryoda ise 2030 yılı için belirtilen büyüme oranının ve fosil yakıt tüketiminin devam etmesi durumunda atmosferde sera gazlarının uzun dönem konsantrasyonunun 1000 ppm CO<sub>2</sub> eşdeğerini geçeceği, buna bağlı olarak ortalama sıcaklığın 6 °C'den fazla artacağı, deniz seviyesindeki artışın 3.7 m olacağı ve deniz kenarındaki alanların %50'sinin sular altında kalacağı bildirilmiştir (IEA 2009).

Fosil enerji kaynaklarının atmosferde oluşturduğu kirliliğin farkına varılması, fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve birçok ülkede özellikle 1973 enerji krizinden sonra petrol kökenli enerji kaynaklarının yerine, biyokütle, güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal enerji gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır.

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Türkiye meyve üretiminde önde gelen ülkeler arasında yer almakta olup tarım alanlarının %14'ünde meyve üretimi yapılmaktadır. Antalya'da ise 74 787 ha alanda meyve üretimi yapılmaktadır (TÜİK 2016). Türkiye ve Antalya'daki tarım alanları dağılımı Çizelge 1.1'de verilmiştir.

**Çizelge 1. 1.** Türkiye ve Antalya'daki tarım alanları dağılımı

	Antalya		Türkiye	
	Tarım Alanı (ha)	Yüzdesi (%)	Tarım Alanı (ha)	Yüzdesi (%)
Meyve	74 787	20.49	3 329 216	14.01
Tarla	184 631	50.58	15 574 639	65.54
Sebze	50 667	13.88	804 141	3.38
Nadas	54 376	14.90	4 049 998	17.04

Çalışma kapsamında ülkemizde üretimi yaygın yapılan zeytin, nar ve bağ budama artıklarının değerlendirilmesi seçilmiştir. Ülkemizde 845 542 ha alanda zeytin, 30 530 bin ha alanda nar ve 304 956 ha alanda ise bağ (üzüm) yetiştiriciliği yapılmaktadır (TUİK 2016). Nar üretimi açısından Antalya önemli bir yere sahiptir. Türkiye ve Antalya'daki bazı meyve çeşitlerinin üretim alanları dağılımı Çizelge 1.2'de verilmiştir.

**Çizelge 1. 2.** Türkiye ve Antalya'daki bazı meyve çeşitlerinin üretim alanları dağılımı

Meyve	Üretim Alanı (ha)		Meyve	Üretim Alanı (ha)	
	Antalya	Türkiye		Antalya	Türkiye
Üzüm	2 213	304 956	Kayısı	1 657	123 805
Muz	2 550	6 225	Kiraz	1 864	84 746
Greyfurt	198	6 155	Vişne	795	22 323
Limon	1 793	30 033	Şeftali	1 807	39 015
Portakal	1 3078	52 696	Erik	1 148	20 811
Mandalina	953	46 404	Kivi	21	2 487
Elma	1 3625	173 394	Çilek	1 192	15 431
Armut	4 309	25 408	Nar	5 625	30 530
Ayva	77	6 458	Zeytin	16 625	845542

Meyve bahçelerinde budama işlemleri sonucu her yıl büyük miktarlarda biyokütle materyali ortaya çıkmaktadır. Bu artıkların bir kısmı evlerde yakacak olarak, bir kısmı parçalama makineleri yardımı ile parçalanarak toprağa karıştırılmakta ve büyük bir kısmı ise herhangi bir şekilde değerlendirilmeden yakılarak yok edilmektedir.

Bu artıkların uygun olmayan koşullarda yakılması sonucu çevre kirliliği oluşmakta ve mevcut enerji potansiyelleri boşa gitmektedir (Şekil 1.1). Çıkan artık miktarları ve bu materyallerin ısı değerleri dikkate alındığında önemli bir enerji açığı

çıkarmakta ve uygun koşullarda dönüşüm sağlanmadığında hem çevre kirliliği hem de enerji gereksinimi açısından büyük bir kayıp oluşmaktadır.



**Şekil 1.1.** Budama artıklarının toplanması ve yakılması

Meyve bahçelerinden çıkan budama artıkları çevresel kirlilik oluşturmanın yanında, üretim alanlarında çalışma koşullarını da zorlaştırmaktadır. Ayrıca artıkların herhangi bir şekilde değerlendirilmeyip yok edilmesi ekonomik bir kayıp oluşturmaktadır.

Belirtilen artıkların farklı yöntemlerle değerlendirilme olanakları bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de peletleme işlemidir. Budama artıklarının peletlenmesi ile çevre dostu yenilenebilir bir yakıt elde edilecek, artıkların neden oldukları olumsuz çevresel etkiler minimum seviyeye indirilecek ve budama artıklarının neden olabileceği hastalık ve zararlı riski de önlenmiş olacaktır. Artıklara ekonomik bir değer kazandırılarak ülkenin enerjide dışa bağımlılığının azalmasına katkı sağlanacak ve enerji ithalatına harcanan dövizlerin ülke içerisinde kalması ve katma değer oluşturması sağlanacaktır. Buna ilave olarak ülke içinde enerji çeşitliliği de sağlanmış olacaktır. Üretilen peletlerin evsel ısıtmalar yanında, sera ısıtmasında, ısı-güç santrallerinde ve termik santrallerde kömür ile birlikte yakılması mümkün olacaktır.

Bu çalışmada, meyve bahçelerinden çıkan nar, bağ ve zeytin budama artıklarının kurutulup 2, 4 ve 6 mm elek delik çaplı çekiç değirmeninde öğütüldükten sonra peletlenmesi, peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve peletlerin pelet sobasında yakılarak baca gazı emisyon değerlerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Peletleme denemeleri her bir materyal için %10-12 ve %14-16 olmak üzere iki farklı nem içeriğinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak pelet parça ve yığın yoğunluğu, nem içeriği, nem alma durumu, mekanik dayanıklılık direnci ve basınç direnci belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışma ülkemizdeki meyve bahçelerinden budama yoluyla ortaya çıkan odunsu artıkların peletlenmesi açısından yapılan ilk çalışmadır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan, çevre dostu, temiz, enerji gereksinimini sürdürülebilir olarak sağlayabilecek enerji kaynaklarından birisi de biyokütle enerjisidir. Biyokütle, yakıt üretimi için birçok avantaja sahiptir. Biyokütle kaynaklarından çeşitli işlemler sonucu katı, sıvı ve gaz yakıtlar vb. ürünler elde edilmekte ve bu yakıtların yakılması ile ısı ve elektrik üretilmesi mümkün olmaktadır. Bununla birlikte biyokütle kaynaklarının tamamı enerji eldesi için kullanılmamaktadır. Biyokütle aynı zamanda gıda, kağıt, kereste ve bazı önemli kimyasalların eldesi için de kullanılmaktadır. Bu nedenle, daha verimli değerlendirme için, biyokütle kaynakları diğer öncelikli uygulamalarla entegre edilmeli ve sürdürülebilir bir yolla kullanılmalıdır. Ayrıca, biyokütle içerisinde fosil yakıtlarda bulunan çevreye zararlı maddeler ve kükürt olmadığı için de çevre dostu bir yakıttır. Bu sayılan özellikleri ile birlikte, güneş enerjisi var olduğu sürece bitki yetiştiriciliğinin olması biyokütleye tükenmez bir enerji kaynağı niteliği kazandırmaktadır.

Biyokütle kaynaklarını karadan denize kadar her yerde bulmak mümkündür. Doğal olarak yetişen kaynakların yanı sıra son yıllarda bu kaynağı yetiştiricilik yoluyla elde etmeye yönelik çalışmalar da başlatılmıştır. Biyokütle kaynakları olarak; enerji bitkileri ve kısa döngülü enerji ormanları, tarımsal ve bitkisel artıklar, hayvansal artıklar, orman ürünleri ve artıkları, endüstriyel artıklar, belediye katı artıkları, kanalizasyon artıkları ve sucul bitkiler kullanılmaktadır.

Biyokütle artıkları çoğu gelişmekte olan ülkelerde büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Odun gibi enerji kaynaklarının yerini alıyor olmasına rağmen hala bu artıkların çok az bir kısmı yakıt olarak kullanılmaktadır. Çünkü biyokütle artıkları yüksek nem içeriğine, düşük ısıl değere sahiptir ve oldukça fazla çeşitlidir. Bu özellikleri nedeniyle nakliye, depolama ve taşıma maliyetleri artmakta ve doğrudan yakıt olarak kullanımı uygun olmamaktadır.

Dünyada her yıl büyük miktarlarda tarımsal ve bitkisel artık çıkmasına karşın bu artıkların kullanım oranları oldukça düşüktür. Tarımsal artıklar, yakıt üretimi için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Temel tarımsal artıklar ayçiçeği, mısır, pamuk ve tahıl samanları ile meyve bahçelerinde ortaya çıkan budama artıklarıdır. Bitkisel artık olarak ise domates, patlıcan, biber, enginar, salatalık ve patates artıkları sayılabilmektedir. Biyokütle artıkları var olan potansiyellerine rağmen enerji kaynağı olarak gerektiği şekilde değerlendirilememektedir. Bu artıklar daha çok gübre amacıyla toprağa karıştırılmakta, üretim alanı çevresinde toplanarak doğrudan yakılmakta ya da çürümeye bırakılmakta veya hayvanlara ot sağlamak amacı ile depolanmaktadır. Tarımsal artıklar enerji kaynağı olarak değerlendirilebilecek ölçüdedir ve ürün çeşidine bağlı olarak farklı ısıl değerlere ve kül içeriklerine sahiptir.

### 2.1. Dünyada ve Türkiye’de Biyokütle Enerjisi

Dünyada gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyaçlarının karşılanması, çevre kirliliğinin ve küresel iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması için

biyokütle enerjisine büyük önem verilmiş ve son dönemlerde kullanımı hızlı bir şekilde artmıştır.

Biyokütle enerjisi, dünyada kömür ve petrolden sonra en büyük birincil enerji kaynağı olup, dünya nüfusunun yarıdan fazlasının birincil enerji kaynağıdır (Chen vd. 2009). 1973 yılında dünya yıllık toplam birincil enerji arzının (6106 MTEP) %10.5'i biyokütleden karşılanırken, 2015 yılında yıllık toplam birincil enerji arzının (13647 MTEP) yaklaşık %10'u (1324 MTEP) biyokütle enerjisinden karşılanmıştır (IEA 2017). 2015 yılında kaynak bazında dünya yıllık toplam enerji tüketimi 9384 MTEP'dir. Çizelge 2.1'de kaynak bazında dünya yıllık enerji tüketimi verilmiştir (IEA 2017).

**Çizelge 2. 1.** Kaynak bazında dünya yıllık enerji tüketimi

	Enerji Tüketimi (MTEP)	Oranı (%)
Petrol	3847.44	41.0
Elektrik	1736.04	18.5
Doğalgaz	1398.22	14.9
Biyokütle	1051.01	11.2
Kömür	1041.62	11.1
Diğer	309.67	3.3

Son dönemlerde ABD'de ısı ve güç santrallerinde biyokütle kullanımı, biyokütleden sıvı yakıtların, kimyasalların ve biyo-ürünlerin üretimi hızlı bir şekilde artmıştır (Kaliyan ve Morey 2009). Amerika, Brezilya ve Avrupa Birliği ülkelerinin dünyanın en büyük biyoyakıt üreticisi ve tüketicisi olduğu, biyoyakıt kullanımının günlük 1 milyon varilden 2035 yılında 4.4 milyon varile çıkacağı belirtilmektedir (IEA 2010).

Avrupa Birliği Ülkelerinde yıllık toplam enerji tüketiminin yaklaşık %13'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Biyokütle enerjisinin payı ise % 8.4 olup yenilenebilir enerji kaynaklarının % 65'ini oluşturmaktadır. AB ülkeleri 2020 yılına kadar toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını ise %20'ye çıkarmayı hedeflemiştir.

Avrupa Birliği Ülkeleri içinde Finlandiya enerji ihtiyaçlarının biyokütleden karşılanmasında lider konumda olup 2015 yılı toplam birincil enerji tüketiminin %22'sini biyokütleden karşılamış ve yıllık toplam biyokütle kaynaklı tüketim miktarı 5.39 MTEP olmuştur. Avrupa Birliği Ülkelerinden İsveç yıllık enerji tüketiminin



%20.5'ini, Avusturya %13.3'ünü, Danimarka %10.3'ünü ve Almanya %6.2'sini biyokütle kaynaklarından karşılamıştır (EC 2017).

Türkiye, nüfusu yıldan yıla artan ve hızla gelişmekte olan bir ülkedir. Nüfus artışı ve gelişmişliğe bağlı olarak enerji tüketimi hızla artarken, enerji üretimi yıllardır sabit kalmıştır. Bu nedenle enerji üretimi tüketimi karşılayamamakta ve enerji açığı her geçen yıl artarak devam etmektedir. Birincil enerji tüketimi 2015 yılında 129.7 MTEP olarak gerçekleşerek 2005 yılından 2015 yılına kadar %46 oranında artış göstermiştir. Birincil enerji arzında ithal enerji kaynaklarının oranı 2015 yılında %75.9 olarak gerçekleşmiştir (ETKB 2017).

Türkiye enerjide dışa bağımlı bir ülke olup, enerji ihtiyacının yaklaşık dörtte üçünü dışarıdan ithalat yoluyla karşılamaktadır. Bu durum hem ülke ekonomisi üzerinde olumsuz bir etki yapmakta hem de ülke içinde enerji kullanımını oldukça maliyetli kılmaktadır. Ayrıca önümüzdeki yıllarda petrol ihraç eden komşu ülkeler ve dünya ülkeleri ile meydana gelebilecek anlaşmazlıklar sonucu ortaya çıkabilecek enerji krizleri ve bunun sonucu oluşabilecek petrol ithal yasağı ya da daha yüksek maliyetli petrol ithalatı ülke ekonomisini ve insan yaşamını çok daha ciddi oranda olumsuz etkileyebileceğini göz ardı etmemek gerekir. Ülkenin sahip olduğu fosil enerji kaynakları enerji ihtiyacını karşılayacak düzeyde olmayıp, mevcut linyit kömürleri hem düşük ısıl değerli hem de yüksek kükürt ve kül içeriğine sahiptir. Bu nedenle temiz, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı Türkiye için çok önemlidir. Ayrıca, Türkiye coğrafi yapısı ve geniş üretim alanları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını açısından avantajlı bir konumdadır.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahip olmasına karşın, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki ve arzındaki payı oldukça düşüktür. Ülkemizin teknik ve ekonomik açıdan mümkün olan yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli 380 MTEP olup bunun %17'sini biyokütle oluşturmaktadır. Geri kazanılabilir biyokütle potansiyeli yaklaşık olarak 65 MTEP olarak belirtilmiştir (Acaroğlu ve Aydoğan 2012). Türkiye 2016 yılı verilerine göre 23.76 milyon ha işlenen tarım alanı ile tarımsal potansiyeli zengin olan bir ülkedir. Bunun 19.71 milyon ha'lık bölümünde tarımsal üretim yapılırken, geri kalan 4.05 milyon ha alan ise nadasa bırakılmıştır (TÜİK 2016).

Ülkemizde meyve üretimi son 10 yıl içerisinde % 13 artmıştır. 2016 TÜİK verilerine göre 3 329 216 ha alanda meyve üretimi yapılmaktadır. Meyve üretimi ise %20 oranında artış göstermiştir. Meyve üretim alanlarının artmasıyla budama artık miktarları da önemli düzeyde artmıştır.

Tarımsal artıklar düşük yoğunluğa ve yüksek nem içeriğine sahip materyallerdir. Bu nedenle enerji eldesi için bu artıkların doğrudan yakılması çok etkin olmamakta (çok fazla kirletici emisyon ve partikül atmosfere salınmakta), depolama ve taşıma işlemlerinde problemler ortaya çıkmakta, taşıma ve depolama maliyetleri artmaktadır.

Bu bilgiler ışığında tarımsal artıkların hem dünyada hem de ülkemizde enerji kaynağı olarak katı yakıt formunda değerlendirilmesi büyük önem kazanmaktadır. Tarımsal artıkların, özellikleri iyileştirilmiş katı enerji kaynağı olarak kullanılmasında

en etkin yollardan birisi de pelet haline getirilmesi işlemidir. Son yıllarda peletlemenin önemi gittikçe artmış ve pelet kullanımı yaygınlaşmıştır.

## 2.2. Peletleme Teknolojileri

Pelet, hayvan yemine benzeyen, küçük, silindirik bir forma sahiptir. Biyokütle peletleri genellikle 6-12 mm çapında ve 10-30 mm uzunluğundadır. Biyokütle materyalinin basınç altında daha küçük boyutlara (yaklaşık 30 mm) getirilmesine peletleme denilmektedir (Öztürk 2012). Pelet odun talaşı, odun yongaları, ağaç kabuğu, tarımsal ürünler, ekinlerin sapları, fındık, badem, ceviz kabukları hatta artık kağıt gibi maddelerden üretilmektedir.

Günümüzde peletleme teknolojileri olarak düz ve çember kalıplı presler kullanılmaktadır (Şekil 2.2). Düz kalıp preste sıralı delikli disk üzerinde bir, iki ya da daha fazla sıkıştırma silindiri (daha çok 2 silindir) yaklaşık olarak  $2-3 \text{ m.s}^{-1}$  hızla dönmektedir. Diskler vasıtasıyla materyal kalıp deliklerinde sıkıştırılmakta ve kalıbın şeklini alarak peletlenmiş olarak çıkmaktadır. Çember kalıplı preslerde ise, dönen delikli çemberin iç çevresine bastıran sıkıştırma silindirleri (normalde 2 veya 3 adet) sürekli olarak dönmektedir. Materyal kalıp deliklerinde sürekli olarak sıkışarak peletlenmiş olarak kalıptan çıkmaktadır (Öztürk, 2012).



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

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

Pelet yoğunluğu nakliye masraflarını, taşıma ve depolama etkinliğini etkilemektedir. Daha yoğun elde edilen peletler nakliye masraflarını azaltmakta, taşıma ve depolama etkinliğini artırmaktadır (Lehtikangas 2001, Sokhansanj ve Turhollow 2004). Peletlerin son kullanıcıya gelinceye kadar dayanıklı kalması oldukça önemlidir. Yüksek dayanıklılığa sahip peletler özellikle nakliyede, taşınmada ve depolama avantajlar sağlamaktadır (Lehtikangas 2001). Pelet dayanıklılığı değerlerinin %80 ve yukarı olması yüksek kaliteli, %70-80 arasında olması orta kaliteli ve %70'in altında olması durumunda ise düşük kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Tabil ve Sokhansanj 1996, Tabil ve Sokhansanj 1997).

Mani vd. (2003) peletleme işlemine etkili faktörlerin hammadde nem içeriği, parçacık boyutu ve sıcaklık olduğunu belirtmişlerdir. Hammadde nem içeriği, pelet yoğunluğunun ve dayanıklılığının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Sağlam ve dayanıklı pelet üretimi için materyal neminin optimum değerinde olması gerekmekte, fakat optimum nem içeriği materyal çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Peletleme işleminde nem, parçacıklar arası bağları kuvvetlendiren bir yapıştırıcı gibi rol oynamaktadır. Organik ve selülozik ürünlerde su, parçacıkların gerçek temas yüzeylerini artırarak Van der Waals kuvvetlerinin bağlayıcı etkisini güçlendirmektedir. Ancak yine de suyun bu etkisi oldukça kritiktir ve tamamen materyal çeşidine bağlıdır. Yüksek nem içeriği, materyalin sıkıştırma deliklerinden daha kolay kaymasına neden olmakta ve bu durum pelet kalitesini oldukça düşürmektedir. Düşük nem içeriği ise peletleme işlemi için çok büyük basınç gerektirmekte ve bu da düşük basınçlarda materyalin kalıp deliklerinde sıkışıp kalmasına neden olmaktadır. Böyle bir durumun meydana gelmesi peletleme işlemini durdurmakta ve önemli zaman kayıplarına neden olmaktadır (Lehtikangas 2001).

Materyal parçacık boyutu (ortalama ve dağılım) sıkıştırma süresince elde edilen peletlerin kalitesini son derece önemli derecede etkilemektedir (Lehtikangas 2001, Mani vd. 2003). Parçacık boyutunun azalması materyalin toplam yüzey alanını, gözeneklik boyutunu ve sıkıştırma işleminde parçacıkların yapışması için temas eden nokta sayısını artırmaktadır. İyi bir pelet kalitesi için parçacık boyutunun, %10-20'sinin oldukça küçük partiküllerden oluşması koşulu ile, 6-8 mm arasında olması gerekmektedir (Grower ve Mishra 1996). Çünkü daha küçük parçacıklar daha büyük parçacıkların boşluklarını doldurmakta ve böylece daha yoğun ve daha dayanıklı sıkışmış ürünler elde edilebilmektedir. Oldukça kaba parçalanmış materyaller peletleme işlemi sırasında doğal çatlakların oluşmasına, bu durum da peletlerin oldukça dayanıksız olmasına neden olmaktadır. Yüksek kaliteli bir pelet üretimi için, biyokütlenin öğütülmesinde kullanılan çekiçli değirmenin 3.2-4 mm çap aralığında eleklerle sahip olması gerekmektedir. Daha yüksek elek delik çapına sahip çekiçli değirmenlerle öğütülen materyallerden elde edilen peletlerin ise daha düşük kaliteli oldukları belirtilmiştir (Mani vd. 2004).

Peletleme işleminde sıcaklık ürünlerin stabilitesinde, dayanıklılığında ve sıkıştırma için gereksinim duyulan enerji miktarında büyük bir rol oynamaktadır. Materyale ısı ilavesi sıcak buhar, hammaddenin ön ısıtılması veya kalıp bölümüne ısıtma sisteminin eklenmesiyle mümkün olmaktadır (Mani vd. 2003). Hammaddelere yüksek sıcaklıkta buhar ilave edilmesi pelet dayanıklılığını artırmakta ve peletleme işlemi için ihtiyaç duyulan enerji tüketimini azaltmaktadır. Tabil ve Sokhansanj (1996) tarafından yapılan bir çalışmada hammadde sıcaklığının 65 °C'den 95 °C'ye

çıkarılmasının pelet kalitesini artırdığı belirtilmiştir. Sıcaklık artışı aynı zamanda kalıp yüzeyi ile materyal arasındaki sürtünmeleri minimuma indirmekte ve peletleme işleminin daha akıcı olmasını sağlamakta ve böylece makinenin peletleme kapasitesi artmaktadır (Colley 2006). Ancak, sıcaklık hiçbir zaman biyokütlenin bozulma sınırı olan 300 °C'yi aşmamalıdır (Grover ve Mishra 1996).

Wiinikka ve Gebart (2004) yaptıkları çalışmada; küçük ölçekli (10 kW) bir pelet yakıcıda baca gazı emisyon partiküllerini etkileyen farklı dizayn parametrelerini belirlemişlerdir. Çalışmada dizayn parametreleri olarak yanma odasında birincil hava faktörü, toplam hava faktörü ve girdap gibi dönen akışın büyüklüğü dikkate alınmıştır. Reaktörden partiküller iki farklı örnekleme hattından (biri yanma bölgesinde (yakıt yatağının hemen üstüne yerleştirilen), diğeri de reaktörden sonra (duman bacasında bulunan) toplanmıştır. Çalışmada ağaç gövdesinden yapılan %8.2 nem içeriğine sahip 6 mm'lik odun peleti yakılmıştır. Çalışma sonunda ölçümler, çalışmada kullanılan yakıcının baca gazında çok düşük partikül ve CO emisyonları verdiğini göstermiştir. Yakıcıda toplam partikül emisyonları üzerine en güçlü etkiye sahip değişkenin toplam hava faktörü olduğu belirlenmiştir.

Al-Widyan vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada; dikey boru tipi bir ocakta nem içeriği %7.31 ve partikül boyutu  $\leq 0.2$  mm olan ezilmiş zeytin küspesi (prina) verimli bir şekilde yakılmış ve maksimum ısıl ve yanma verimlilikleri ile baca gazı emisyon değerleri ölçülmüştür. Denemelerde hava-yakıt oranı 5.9–10.2 arasında değişmiştir. Çalışma sonunda maksimum ısıl ve yanma verimlilikleri sırası ile %69 ve % 82 olarak belirlenmiş, maksimum alev sıcaklığı 980 °C'ye ulaşmış ve soğutma suyu sıcaklığı değişimi yaklaşık 20 °C olmuştur. NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonu sırası ile maksimum 550 ppm ve 30 ppm iken, CO emisyonunun %1.6'dan (<16 000 ppm) düşük olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek hava/yakıt oranında daha az zeytin küspesinin yakılmasının özellikle CO<sub>2</sub> emisyonunun önemli derecede azalmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Colley (2006) tarafından yapılan çalışmada; enerji bitkisi olan darı bitkisi (Switchgrass) peletlenmiş ve peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada, pelet yoğunluğu ve makinenin özgül enerji tüketimleri üzerine hammadde nem içeriği, sıcaklık ve kalıp boyutlarının etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda 3924 N bir sıkıştırma kuvveti ile pelet yoğunluğunun hammadde parçacık boyutunun azalması (7.9 mm'den 4.8 mm'ye) ile arttığını göstermiştir. Aynı zamanda, sıcaklığın artması (60-90°C) pelet yoğunluğunu artırmıştır. Sıcaklık artışının makinenin özgül enerji tüketimi üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Elde edilen peletlerin yoğunluğu 850-1250 kg.m<sup>-3</sup> arasında değişmiştir. Nem içeriği; peletlerin sertliğini, dayanıklılığını, pelet yığın yoğunluğunu ve parçacık yoğunluğunu önemli derecede etkilemiştir. En yüksek pelet dayanıklılığı %8.62 nem içeriğinde elde edilmiştir. Depolama süresince havanın bağıl nemi peletlerin nem absorbe etmesini önemli derecede etkilemiştir.

Mani vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada; buğday samanı, arpa samanı, mısır koçanı ve darı bitkisi materyalleri peletlenmiş ve peletlerin mekanik özellikleri üzerine farklı sıkıştırma kuvveti, parçacık boyutu ve nem içeriğinin etkileri araştırılmıştır. Öğütülmüş biyokütle örnekleri 5 farklı sıkıştırma kuvvetinde (1000, 2000, 3000, 4000 ve 4400 N), 3 farklı parçacık boyutunda (0.8, 1.6 ve 3.2 mm) ve 2 farklı nem içeriğinde (%12 ve %15) peletlenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek pelet yoğunluğu (1136 kg.m<sup>-3</sup>) mısır koçanı örneklerinin %12 nem içeriğinde ve 3.2 mm

parçacık boyutunda düşük sıkıştırma kuvveti uygulanarak elde edilmiştir. Mısır koçanındaki yüksek protein düşük sıkıştırma kuvvetlerinde dahi açığa çıkan yüksek sıcaklığın etkisi ile eriyerek yapıştırıcı görevi görmüştür. Sıkıştırma kuvveti, materyal parçacık boyutu ve nem içeriği peletlerin yoğunluğunu önemli derecede etkilemiştir. Materyal parçacık boyutunun azalması pelet yoğunluğunu artırırken, nem içeriğinin artması ise pelet yoğunluğunu azaltmıştır. Sıkıştırma kuvvetinin artması pelet yoğunluğunu artırmıştır.

Koyuncu ve Pınar (2007) tarafından yapılan çalışmada; evsel ısıtmada kullanılan geliştirilmiş biyokütle sobasında farklı biyokütle örnekleri yakılmış ve baca gazı emisyonları (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve is) ile sobanın ısısal etkinliği belirlenmiştir. Çalışmada biyokütle örneği olarak odun, yonga odunu, findikkabuğu, ceviz kabuğu, yerfıstığı kabuğu, kayısı çekirdeği, mısır koçanı, buğday samanı, mısır koçanı kabuğu, mısır bitkisi sapı ve mangal kömürü kullanılmıştır. Baca gazı emisyonları yanma periyodu süresince 5 dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Çalışma sonunda, baca gazı emisyonlarının biyokütle yakıtlarının karakteristiklerine bağlı olarak farklı değerlerde ve yüksek is emisyonlarına sahip oldukları belirlenmiştir. Mangal kömürünün düşük emisyonlardan dolayı sobada kullanım için en uygun biyokütle yakıtı olduğu belirtilmiş ve sobanın ısısal etkinliği yaklaşık %46 bulunmuştur.

Bergström vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada; sarıçam talaşı peletlenmiş ve peletleme işlemi ile peletlerin fiziksel ve termokimyasal karakteristikleri üzerine parçacık boyut dağılımının etkileri araştırılmıştır. Çalışmada 300 kg.h<sup>-1</sup> kapasiteli yarı endüstriyel ölçekli peletleme makinesi kullanılmış ve 8 mm çapında peletler elde edilmiştir. Peletlerin fiziksel karakteristikleri ile ilgili olarak basınç dayanımı, aşınma direnci, yoğunluk, nem içeriği ve nem alma özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda parçacık boyut dağılımının güç tüketimi ve basınç dayanımı üzerine etkisinin az olduğu, pelet yoğunluğu, nem içeriği, nem alma ve aşınma direncine belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen peletlerin yoğunluğu yaklaşık olarak 1270 kg.m<sup>-3</sup> ve aşınma direnci %99 olarak bulunmuştur.

Fassina (2008) tarafından yapılan çalışmada; yerfıstığı kabuğu ve yerfıstığı işleme tesislerinden çıkan atık karışımları laboratuvar ölçekli peletleme makinesinde peletlenerek 4.76 mm çapında peletler üretilmiştir. Materyal sıcaklığını arttırmak için peletleme öncesi numuneler sıcak buhar ile nemlendirilmiştir. Pelet nem içeriğinin pelet fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Peletleme işleminden sonra peletler, farklı nem içeriklerine getirilerek pelet fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda, pelet yığın ve parça yoğunluğunun nem içeriğindeki artış ile doğrusal olarak azaldığı belirlenmiştir. Peletleme işlemi ile materyal yığın yoğunluğu 151 kg.m<sup>-3</sup>'ten 600 kg.m<sup>-3</sup>'e çıkmıştır. Peletlerin mekanik dayanıklılığı başlangıçta nem içeriğinin artışı ile artmış ve %9.1 nem içeriğinde %90.3 ile en yüksek değere çıkmıştır. Nem içeriğinin daha da fazla artması pelet mekanik dayanıklılığını azaltarak %21.2 nem içeriğinde %76 ile en düşük değerine ulaşmıştır.

Larsson vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada; kuşyemi kamışı bitkisi laboratuvar ölçekli piston-silindir tip pelet makinesinde peletlenmiştir. Yüksek kaliteli pelet üretimi için, en uygun materyal nem içeriği, yığın yoğunluğu, buhar uygulaması ve kalıp sıcaklığı için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ön sıkıştırma işlemi ile materyalin yığın yoğunluğu 150 kg.m<sup>-3</sup>'ten 270 kg.m<sup>-3</sup>'e çıkarılmış ve sürekli bir üretim

için materyal nem içeriğinin en düşük %13.8 ve kalıp sıcaklığının 83 °C'nin altında olmasını belirtmiştir. Pelet yığın yoğunluğunun ve mekanik dayanıklılığının materyal nem içeriği ile yüksek oranda ilişkili olduğu görülmüş, fakat sonuçlar farklı uygun değerler göstermiştir. Ayrıca, yüksek kaliteli pelet için, pelet yığın yoğunluğunun en düşük 650 kg.m<sup>-3</sup> ve pelet dayanıklılığının ise en düşük % 97.5 olması gerektiği vurgulanmıştır.

Garsia-Maraver vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada; zeytin ağacı dalları ve yaprakları ayrı ayrı ticari ölçekli pelet makinesi kullanılarak peletlenmiş ve pelet fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda, zeytin ağacı dallarından elde edilen peletlerin yığın yoğunluğu 582 kg.m<sup>-3</sup>, parça yoğunluğu 1259 kg.m<sup>-3</sup> elde edilirken, yapraklardan elde edilen peletlerin ise sırası ile 481 kg.m<sup>-3</sup>, 1083 kg.m<sup>-3</sup> olarak belirlenmiştir.

Gil vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada; farklı biyokütle örnekleri (çam, kiraz, okaliptüs talaşları, selüloz artıkları, kahve kabukları ve üzüm artıkları) ve biyokütle + iki farklı kömür çeşidi peletlenmiştir. Çalışmada peletleme makinası olarak kalıp-piston düzeneği kullanılmış ve 8 mm çapında silindirik peletler üretilmiştir. En uygun materyal özelliklerinin belirlenmesi için peletlerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda üzüm artığı ve kahve kabuklarından elde edilen peletlerin en düşük, kiraz ve çam talaşından elde edilen peletlerin ise en yüksek mekanik dayanıklılığa sahip oldukları belirlenmiştir. %10-30 arasında kiraz talaşı ile çam talaşı karışımlarının pelet üretimi için en iyisi olduğu görülmüştür. Kiraz + çam talaşı ile selüloz artıkları + kömür (<%20) karışımlarından elde edilen peletlerin dayanıklılığında bir azalma olmamıştır.

Nilsson vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada; biyoyakıt peletine olan talebin son yıllarda arttığı, bunun yanında pelet üretiminde kullanılan odun talaşı ve yonganın talebi karşılama yeterli olmadığı belirtilmiş ve bu nedenle tarımsal kaynaklı hammaddeye talebin hızlı bir şekilde arttığı vurgulanmıştır. Kolza tohum küspesi, kolza küspesi ve damıtma artıklarının gıda hammaddesi olarak kullanıldıklarında daha yüksek değerlere sahip olduğu, kenevir bitkisinin ise yüksek hammadde maliyetlerine sahip olduğu bu nedenle ticari olarak daha az ilgi gördüğü belirtilmiştir. Göz önüne alınan tesisleri için üretim kapasitesinin üretim maliyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmış ve bu nedenle büyük ölçekli tesislerde makinelerin daha etkin bir şekilde kullanıldığı ve bunun sonucu olarak maliyet açısından önemli tasarruflar sağladığı belirtilmiştir. Bunun yanında hem sabit hem mobil olan küçük ölçekli peletleme tesislerinin karlı olması için ucuz hammaddeye, düşük işgücü maliyetine ve uzun kullanım süresine ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır.

Razuan vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada; hurma yağı fabrikalarından çıkan hurma çekirdeği küspesi peletlenmiş ve peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada 2.5 mm ortalama çapa ve %7.9 nem içeriğinde sahip hurma çekirdeği küspeleri maksimum sıkıştırma basıncı 70 MPa olan piston-silindir düzenekli peletleme makinesinde 5 s süre ile 20-100 °C arasındaki sıcaklıklarda peletlenmiştir. Çalışma sonunda pelet parça yoğunluğunun 1184 -1226 kg.m<sup>-3</sup> ve çekme dayanımının 930-1007 kPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Aynı şartlar altında yapıştırıcı madde olarak az miktarlarda sodyum hidroksit eklenmesinin (%1.5-2) çekme dayanımını 3055 kPa'a çıkartmıştır. Yüksek nem içeriğinde (%15) yapılan peletleme işleminde elde

edilen peletlerin hemen dağıldığı, düşük nem içeriğinde (%5) yapılan peletleme işleminde elde edilen peletlerin ise hemen kırıldığı belirlenmiştir. Peletleme basıncının ve sıcaklığın artması hem pelet yoğunluğunu hem de çekme dayanımını artırmıştır.

Stahl ve Berghel (2011) tarafından yapılan çalışmada; pelet üretiminin daha çok odun talaşı ve yongalarından elde edildiği ve bu materyallerin maksimum ölçüde kullanıldığı bildirilmiştir. Ancak, gelecekte pelete olan talebin artacağı ve pelet üretiminde kullanılacak talaşın yetersiz kalacağı bu nedenle diğer hammaddelerin ya da bunların karışımlarının kullanılacağı vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada odun talaşı ile kolza küspesinin karışımı incelenmiş ve karışım materyali ticari ölçekli bir pelet makinesi kullanılarak peletlenmiştir. Elde edilen peletlerin mekanik dayanımı, uzunluğu, nem içeriği ve yığın yoğunluğu belirlenmiştir. Pelet üretimi boyunca, yük akımı, kalıp basıncı ve kalıp sıcaklığı diğer parametrelerle birlikte ölçülmüştür. Çalışmanın ana amacının çam talaşı ve kolza küspesi karışımının peletleme makinesinin enerji tüketimini ve peletlerin mekanik dayanıklılığını nasıl etkilediğinin belirlenmesi olarak vurgulanmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar, karışım içerisindeki kolza küspesinin artışı ile küçük parçacık miktarının arttığı ve makinenin enerji tüketiminin azaldığını göstermiştir. Ancak, karışımda kolza küspe miktarının artması hem peletlerin mekanik dayanımını hem de pelet yığın yoğunluğunu azaltmıştır. Sonuç olarak enerji tüketiminin azalması ile mekanik dayanımda meydana gele azalma arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu vurgulanmıştır.

Stelle vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada; ladin talaşı, kayın talaşı ve buğday samanı gibi farklı biyokütle örnekleri peletleme makinesinde peletlenmiş ve kalıp içinde oluşan basınç üzerine hammadde tipinin, pelet uzunluğunun, kalıp sıcaklığının, nem içeriğinin ve materyal parçacık boyutunun etkileri incelenmiştir. Çalışmada kalıp sıcaklığı 20-180 °C arasında kontrol edilmiş ve 8-16 mm çaplı peletler üretilmiştir. Çalışma sonunda pelet uzunluğunun artması ile peletleme basıncının hızlı bir şekilde arttığı ve basınç artış oranının biyokütle çeşidine, sıcaklığa, nem içeriğine ve parçacık boyutuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Peletleme basıncı üzerine nem içeriğinin etkisinin tamamen materyal çeşidine bağlı olduğu belirtilmiştir. Materyal parçacık boyutundaki azalma peletleme için ihtiyaç duyulan basıncı artırmıştır. Pelet yoğunluğu üzerine peletleme basıncının etkisi incelendiğinde 200 MPa sıkıştırma basıncı üzerindeki basınçların pelet yoğunluğunda sadece küçük bir artış meydana getirdiği belirtilmiştir.

Zamorano vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada; zeytin ağacı, zeytin ağacı yaprakları, badem ağacı, kavak ve meşe ağacı budama atıkları peletlenmiştir. Çalışmada 6-8 mm aralığında öğütülmüş materyaller kullanılmış ve 8 mm çapında peletler üretilmiştir. Zeytin ağacı yapraklarından yapılan peletlerin düşük kaliteli oldukları, diğer peletlerin ise birbirine yakın kalitede oldukları belirlenmiştir. Yüksek nem içeriği, düşük pelet yoğunluğu ve pelet uzunluklarının kısa olması peletlerin basınç dirençlerini düşürmüştür.

Serrano vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada; arpa samanı ve saman + çam talaşı karışımı düz kalıp dairesel sıralı delikli peletleme makinesinde peletlenmiştir. Peletlerin mekanik dayanımı, yoğunluğu, uzunluğu ve nem içeriği gibi değerleri pelet ısı değeri ve kül içeriği ile birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda hammadde bileşiminin az da olsa peletleme işlemi ile değiştiği görülmüştür. Yüksek yoğunluklu

arpa samanı peleti üretimi için optimum nem içeriğinin %19-23 arasında olması gerektiği belirlenmiş ve elde edilen peletlerin nem içeriğinin %6.1-8.2 arasında değişmiştir. Hammadde nem içeriğinin artması peletlerin mekanik dayanımını ve pelet uzunluğunu artırırken, pelet yoğunluğunu azaltmıştır. Sadece arpa samanından elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılığı %95.5 ve arpa samanına az miktarlarda çam talaşı eklendiğinde (yaş bazda %2, 7 ve 12) bu değer %97-98 olmuştur. Pelet yoğunluğu 1300-1400 kg/m<sup>3</sup> arasında elde edilmiştir. Ayrıca peletleme işlemi arpa samanının net ısı değerinde küçük bir azalma meydana getirmiş ve arpa samanına çam talaşının eklenmesi peletlerin kül içeriğini düşürmemiş ve %10 civarında elde edilmiştir. Bu değerlerin odunsu olmayan peletler için verilen %5 üst sınırın üstünde olduğu belirtilmiştir.

Theerarattananoon vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada; mısır koçanı, buğday samanı, sorgum sapı ve çim bitkisinden elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmiş, peletin yığın ve parçacık yoğunluğu ve dayanıklılığı üzerine nem içeriğinin, çekiçli değirmen elek çapının ve kalıp delik uzunluğunun etkileri incelenmiştir. Materyaller 22 kW gücünde 1.5 t.h<sup>-1</sup> kapasiteli peletleme makinesinde peletlenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek pelet yığın yoğunluğu (495.8 kg.m<sup>-3</sup>) buğday samanı peletinde, en düşük (265.2 kg.m<sup>-3</sup>) ise sorgum sapı peletinde elde edilmiştir. Materyal nem içeriğindeki artışın peletlerin hem yığın hem de parça yoğunluğunu azalttığı belirlenmiştir. Peletlerin dayanıklılığı üzerine nem içeriğinin etkisi mısır koçanı, buğday samanı ve çim bitkisi için benzer bulunmuş ve en yüksek pelet dayanıklılığı %96.8 olmuştur. Eşdeğer nem içeriğindeki bir miktar daha artışın pelet dayanıklılığını azalttığı belirlenmiştir. Sorgum sapı için ise pelet dayanıklılığı, eşdeğer nem içeriğindeki artış ile başlangıçta artmış ve %14-16 eşdeğer nem içeriği aralığında maksimum %89.5 olmuştur. Daha büyük elek çapına sahip çekiçli değirmen kullanımı (3.2 mm'den 6.5 mm elek çapı) peletlerin yığın ve parça yoğunluğunu ve dayanıklılığını artırdığı fakat bunun önemli düzeyde olmadığı belirtilmiştir. Daha büyük kalıp delik uzunluğu (31.8 mm'den 44.5 mm) peletlerin yığın ve parça yoğunluğunu ve dayanıklılığını önemli derecede artırmıştır.

Larsson ve Rudolfsson (2012) tarafından yapılan çalışmada; %8-15 nem içeriğine sahip kuşyemi kamışı (*Phalaris arundinacea L.*) maksimum kapasitesi 300 kg.h<sup>-1</sup> olan peletleme makinesinde peletlenmiş, pelet yığın yoğunluğu ve pelet dayanıklılığının optimizasyonu farklı parametreler altında deneysel olarak gerçekleştirilmiş ve makinenin özgül enerji tüketim değerleri belirlenmiştir. Kontrol parametreleri olarak kalıp sıcaklığı, hammadde nem içeriği ve buhar ilavesi dikkate alınmıştır. Çalışma süresince sıcaklık kontrol edilmiş ve diğer faktörler bağımsız olarak değiştirilmiştir. Çalışma sonunda en yüksek pelet yığın yoğunluğu düşük hammadde sıcaklıklarında ve düşük materyal nem içeriklerinde elde edilmiştir. Kalıp sıcaklığının hem pelet yığın yoğunluğuna hem de pelet dayanıklılığına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, pelet yığın yoğunluğu ve pelet dayanıklılığı ile kalıp sıcaklığı arasında negatif bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak %97.5'ten daha yüksek pelet dayanıklılığı ve 600 kg.m<sup>-3</sup>'ten daha yüksek pelet yığın yoğunluğu elde etmek için parametrelerin 30°C kalıp sıcaklığı ve yaklaşık olarak 30-40°C materyal sıcaklığının olması gerektiği belirlenmiştir.

Santamarta vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada; kanola bitkisi peletlenmiş ve peletlerin depolama süresince kalite özelliklerindeki (pelet mekanik dayanıklılık



direnci, basınç dayanımı, pelet parça yoğunluğu ve pelet boyutları) değişimler incelenmiştir. Çalışma sonunda pelet mekanik dayanıklılık direncinin depolama süresince değişmediği, pelet parça yoğunluğu ve basınç dayanımının depolama süresinin uzunluğu ile değiştiği ve 48 haftalık depolama süresi boyunca pelet yoğunluğunun önemli derecede azaldığı belirlenmiştir.

Carroll ve Finnan (2012) tarafından yapılan bir çalışmada; öğütülmüş ahşap, söğüt, miskantüs, buğday, arpa ve kolza materyalleri peletlenmiş ve peletlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini Avrupa Birliği standartlarına (CEN) göre test edilmiştir. Üretilen peletlerin ısı değerleri içerikleri benzer çıkmıştır. En yüksek yığın yoğunluğu ( $684.6 \text{ kg.m}^{-3}$ ) kolza samanında elde edilmiştir.

Celma vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada; domates işleme tesislerinden çıkan kabuk ve tohum gibi domates artıkları kurutma işleminden sonra 6 mm çapında peletlenmiştir. Elde edilen peletlerin başta hayvan yemi olarak, likopen ekstraksiyonu ve hatta enerji üretiminde yakıt olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir. Peletleme işlemi beş farklı nem içeriğinde (%20, 25, 29, 34 ve 38) gerçekleştirilmiş ve  $50 \text{ kg.h}^{-1}$  kapasiteli düz kalıp dairesel sıralı peletleme makinesi kullanılmıştır. Çalışma sonunda peletlerin yığın ve parça yoğunluğunun, pelet sertliği ve dayanıklılığının hammadde nem içeriğinden önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir. Materyalin nem içeriğinde artışların (%67'ye kadar) meydana gelmesi peletlerin fiziksel özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlamış ve maksimum pelet yığın yoğununda %50, parça yoğunluğunda %18, pelet sertliğinde %3575 ve pelet dayanıklılığında ise %88 oranında artış olmuştur. Ancak, biyokütle nem içeriğinin %20'nin altında olması peletleme işleminin başarısız olmasına neden olmuş ve pelet fiziksel özelliklerini olumsuz etkilemiştir.

Lestander vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada; ladin, sarıçam ve kayın ağacı talaşları endüstriyel ölçekli peletleme makinesinde peletlenmiştir. Peletleme öncesi materyaller kurutulmuş ve nem içerikleri %11-14 arasına getirilmiş ve her bir materyal için karışım oranı %0-100 aralığında tutulmuştur. Çalışmada pelet yığın yoğunluğu, mekanik dayanıklılık, nem içeriği ve kül içeriği gibi değişkenler incelenmiştir. Materyallerin nem içeriğinin, kül içeriği hariç, göz önüne alınan diğer faktörler için oldukça önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Farklı oranlarda materyal karışımının sadece peletlerin dayanıklılığını ve kül içeriğini önemli derecede etkilediği belirtilmiştir. En uygun pelet kalitesinin %12.5-14 nem aralığında %45-75 ladin, %0-55 sarıçam ve %0-25 kayın talaşı karışımı kullanılması yoluyla elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, belirtilen nem içeriklerinde ve karışım oranlarında yeni elde edilmiş materyal kullanılması ile daha yüksek kaliteli peletlerin üretilebileceği vurgulanmıştır.

Liu vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada; öğütülmüş bambu bitkisi öncelikli olarak laboratuvar ölçekli peletleme makinesi kullanılarak peletlenmiş ve bambu peletlerinin özellikleri üzerine karbonlaştırma şartlarının (sıcaklık ve zaman) etkileri belirlenmiş ve ürün özellikleri değerlendirilmiştir. Peletler,  $180-220 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda 30-75 dakika süre ile karbonize edilmiştir. Karbonlaştırma işleminden sonra peletler 7 gün süre ile çevre şartlarında bekletilmiş ve pelet özellikleri 7 günün sonunda belirlenmiştir. Çalışma sonunda karbonlaştırma şartlarının bambu peletlerinin özelliklerini etkilediği belirlenmiştir.

Rabaçal vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada; çam, endüstriyel ahşap artıkları ve şeftali çekirdeklerinden üretilen peletlerin ev tipi kazanlarda yanma ve emisyon karakteristiklerini değerlendirmişlerdir. Azaltılmış ve yüksek ısı girişli olmak üzere iki farklı şekilde yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ölçümü yapılan emisyon değerleri literatürdeki değerler ile karşılaştırılmıştır. Yüksek ısı girişli kazanda (17.3 - 17.9 kW) yakılan çam, ahşap artıkları ve şeftali çekirdeklerinden elde edilen peletlerin ısı verimleri sırasıyla %86, %82, %83'dür. Azaltılmış ısı girişli kazanda ise (13.7 - 14.5 kW) ise ısı verim sırasıyla %83, %77, %75'dir. Isı yükü 11.8 kW iken 127 °C olan baca gazı sıcaklığı, ısı yükünün 17 kW 'a yükselmesiyle 168 °C ye ulaşmıştır. Şeftali çekirdekleri ve ahşap artıklarından elde edilen peletlerin yüksek CO ve HC emisyonları nedeniyle kazan yakma sistemlerinde kullanımının uygun olmadığı belirtilmiştir.

Qiu (2013) tarafından yapılan çalışmada; üç çeşit peletin (ahşap, miskantüs ve saman) evsel bir biyokütle kazanında (50 kW) çeşitli şartlarda yanması sonucu baca gazı emisyonlarını incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda 54.92 ppm NO<sub>x</sub>, %11.9 CO<sub>2</sub>, 2400 ppm CO, %8.19 O<sub>2</sub> değerlerine ulaşılmıştır. Emisyon değerlerinin insan sağlığı ve atmosfer için uygun olduğu belirtilmiştir.

Ahn vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; karaçam ve lale ağacı talaşından çeşitli yapıştırıcılar kullanarak pelet üretmişlerdir. Bu yapıştırıcıların (kolza tohumu, kahve tozu, ağaç kabuğu tozu, kozalak ve lignin tozu) pelet dayanımına etkisi incelenmiştir. Kolza tozu ve kahve tozu eklenen peletlerde, eklenen miktarın artmasıyla pelet dayanıklılığı artmıştır.

Biswas vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; ahşap peletlerinin nem içeriği ve kalıp sıcaklığının yanma karakteristiğine etkisi incelenmiştir. İki farklı nem içeriğindeki (%1 ve %12) çam ağacı parçacıklarıyla 20, 100, 150 ve 200 °C kalıp sıcaklıklarında laboratuvar ölçekli bir pelet makinesinde peletleme yapılmıştır. Peletler 800 °C' lik laboratuvar ölçekli bir fırında yakılmıştır. Biyokütlenin peletleme kalıp sıcaklığı ile nem içeriğinin artmasıyla yanma süresi de artmıştır. Tek kalıp pelet yanma karakteristiği pilot ölçekli bir pelet tesisinde üretilen peletlerden büyük oranda daha farklıdır. Bu fark pelet fiziksel özelliklerindeki farklılıklardan dolayı olmuştur. Peletleme sürecinde peletleme sıcaklığı ve nem içeriği, pelet yoğunluğunun artmasında önemli rol oynamıştır. Bununla birlikte bu peletleme koşullarında partikül deformasyonu açıklanamamıştır. Pelet yoğunluğu 1200 kg.m<sup>-3</sup> olarak tespit edilmiştir.

Zafari ve Kiammehr (2014) tarafından yapılan çalışmada; şehir atıkları, hayvan gübresi ve tarımsal atıklardan oluşturulan kompost materyali piston-silindir düzenekli hidrolik pelet makinesiyle, %35, %40 ve %45 nem içeriklerinde, 2-6 ve 10 mm.s<sup>-1</sup> piston ilerleme hızında, 4, 5 ve 6 saniye sıkıştırma süresinde, 8, 10 ve 12 mm kalıp uzunluğunda ve 0.3, 0.9, 1.5 mm materyal parçacık boyutunda peletlenmiştir. Çalışma sonunda en dayanıklı peletler %40 nem içeriğinde elde edilmiştir. Bütün bağımlı değişkenler peletlerin mekanik dayanıklılığı önemli derecede etkilemiştir. Düşük piston ilerleme hızında yapılan peletlerin mekanik dayanıklılığı daha yüksek bulunmuştur. Materyal parçacık boyutu küçüldükçe, sıkıştırma sırasında temas yüzeyi artmış ve daha iyi bir sıkışma sağlanarak daha dayanıklı peletler elde edilmiştir.

Cubero-Abraca vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; endüstriyel kahve posaları kurutularak 16 mm elek çapına sahip değirmende öğütülmüş, 3 silindirli pelet

makinasında peletlenerek 6.12 mm çapında peletler elde edilmiştir. Peletleme işlemi sırasında makina sıcaklığı 125 °C olarak ölçülmüştür. Peletleme işlemi sonunda peletlerin %10.1 nem içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen peletler hacmi belirli bir kaba konularak tartılmış ve pelet yığın yoğunluğu 600 kg.m<sup>-3</sup> bulunmuştur. Pelet parça yoğunluğu 1300 kg.m<sup>-3</sup> olarak tespit edilmiştir. Basınç direnci testinde 60 ton kapasiteli basınç direnci test cihazı kullanılmış ve 26.86 kg.cm<sup>-2</sup> olarak hesaplanmıştır. Pelet mekanik dayanıklılık direnci %75.54 değerinde bulunmuştur.

Hoover vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; mısır koçanları 4 mm ve 6 mm elek delik açıklığına sahip çekiçli değirmende öğütülmüştür. Materyaller, elektrik motor gücü 7.5 kW pelet makinası kullanılarak, 3 farklı kalıp devir hızında, materyal ön ısıtmasız ve 70 °C ön ısıtma işlemi uygulanarak peletlenmiştir. Peletleme işlemi sonunda %19-22 arasında tespit edilen pelet nem içeriğini düşürmek için peletler yatay bir soğutucu içinden geçirilmiştir. Bu işlemin sonunda, soğutulan peletler halen yüksek nem içeriğinde olduğu için 40 °C'de 7 saat bekledikten sonra peletlerin nem içeriği yaklaşık %9 değerine düşürülmüştür. Bu noktada pelet parça yoğunluğu, pelet yığın yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci değerleri ölçülmüştür. Materyal parçacık boyutunun azalması ve kalıp devir hızının artması pelet kalite göstergelerini artırmıştır. Pelet yığın yoğunluğu materyal özelliklerine bağlı işlem görmemiş materyale göre 3-6 kat daha yüksek elde edilmiştir. Peletlerin mekanik dayanıklılık direnci tüm peletleme şartları için %97.5'in üzerinde bulunmuştur.

Liu vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; 1.18 mm, 1.18-0.84 mm ve 0.84 mm'den küçük parçacık boyutlarında öğütülmüş bambu bitkisi %8-12-16 olmak üzere 3 farklı nem içeriğinde peletlenmiştir. Elde edilen peletler fiziksel testlere ve yanma testlerine tabi tutulmuş, materyal nem içeriği ve parçacık boyutunun pelet kalitesine etkileri incelenmiştir. Nem içeriğinin pelet fiziksel özelliklerine etkisinde, %8-12-16 nem içeriklerinde sırasıyla; pelet boyları 12.5, 12.7 ve 11.7 mm; pelet çapları 6.1, 6.0 ve 6.0 mm; pelet parça yoğunluğu 1050, 1140 ve 1200 kg.m<sup>-3</sup>, pelet yığın yoğunluğu 520, 620 ve 650 kg.m<sup>-3</sup>; pelet mekanik dayanıklılık direnci %95.07, %97.95 ve %98.38 olarak bulunmuştur. En düşük pelet kalitesi %12 materyal nem içeriğinde, en yüksek ise %16 nem içeriğinde elde edilmiştir. Parçacık boyutunun artması pelet mekanik dayanıklılık direncini artırmıştır.

Yılmaz (2014) tarafından yapılan çalışmada; tarımsal üretim alanlarından çıkan pamuk ve susam saplarını peletlemiştir. Materyallerin peletlenmesinde 15 kW elektrik motor gücünde, materyal çeşidine bağlı olarak 70-100 kg.h<sup>-1</sup> kapasiteli, kalıp delik çıkış çapı 8 mm olan düz kalıp pelet makinesi kullanılmıştır. Denemeler üç farklı nem içeriğinde gerçekleştirilmiştir. Peletlerin pelet yığın yoğunluğu, pelet parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, kırılma direnci, basınç direnci, gerilme direnci ve nem alma durumu araştırılmıştır. Ayrıca pelet makinesinin pelet üretim kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketim değerleri ölçülmüştür. Çalışma sonunda, materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak ortalama 8.1 - 8.97 mm çap aralığında peletler elde edilmiştir. Peletlerin fiziksel testler sonunda oldukça sağlam yapıda oldukları görülmüştür. Peletlerin yığın ve parça yoğunluğu materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak sırası ile 430-717 kg.m<sup>-3</sup> ve 922-1368 kg.m<sup>-3</sup> arasında değişmiş ve nem içeriğinin artması yoğunluk değerlerini düşürmüştür. Ortamın bağıl nemi arttıkça, peletlerin çevre havadan daha çok nem aldığı tespit edilmiştir. Peletlerin nem alması

özellikle %80 bağıl nemde daha belirgin olmuştur. Pelet makinesinin kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketimi değerleri ise, materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak, sırası ile 131-306 kg.h<sup>-1</sup> ve 18.40-22.64 kWh arasında değişmiştir.

Bilgin vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada; %14 nem içeriğine ve 1.023 mm geometrik ortalama çapa sahip fındık zurufları laboratuvar ölçekli 3 kW motor gücüne sahip pelet makinesinde peletlenmiş ve pelet kalitesi ile ilgili fiziksel özellikler belirlenmiştir. Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak yığın yoğunluğu, parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci ve nem alma durumu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada pelet makinesinin kapasitesi ölçülmüştür. Fiziksel testler öncesinde peletler 7 gün süre ile 24 °C sıcaklık ve %55 nem içeriğine sahip çevre şartlarında bekletilmiştir. Çalışma sonunda, ortalama 6.1 mm çapında ve 27 mm uzunluğunda peletler elde edilmiştir. Fındık zurufu peletlerinin fiziksel testler sonucu oldukça sağlam yapıda olduğu görülmüştür. Fındık zurufu peletlerinin parça ve yığın yoğunluğu sırası ile ortalama 1307 kg.m<sup>-3</sup> ve 724 kg.m<sup>-3</sup> bulunmuştur. Pelet mekanik dayanıklılık direnci ve darbe dayanım direnci değerleri sırası ile %97.72 ve %99.60 olarak belirlenmiştir.

Niedziolka vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada; saman, kolza ve mısır sapları ve bunların karışımları peletlenmiş ve peletlerin yığın yoğunluğu ile mekanik dayanımları belirlenmiştir. Kullanılan materyallerin nem içerikleri %16.5-18.5 aralığında değişmiştir. Çalışma sonunda pelet yığın yoğunluğunun ve mekanik dayanımının kullanılan materyale bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. En düşük pelet yığın yoğunluğu saman peletinde, en yüksek yoğunluk ise mısır sapı peletlerinde elde edilmiştir. En düşük pelet mekanik dayanımı kolza sapı peletlerinde, en yüksek ise saman+mısır sapı karışımlarından elde edilen peletlerde bulunmuştur.

Al-Shemmeri vd. (2015) tarafından yapılan; çalışmada küçük ölçekli bir biyokütle yakıcı ile farklı biyokütle yakıtların yanma performansı ve yanma sonucu yararlı enerji etkisini araştırılmıştır. Çeşitli biyokütle örneklerinin nem içeriği, kalorifik değerleri ve yanma sonu ürünleri sonuçları ortaya konmuştur. Yaygın kullanılan 6 biyokütle küçük ölçekli yakma sisteminde test edilerek sistem performansını etkileyen faktörler analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda yüksek oranda ısı enerjisinin gerekli olduğu uygulamalarda, daha küçük boyut, düşük dairesellik ve talaş gibi düşük nem içeriği parçacık malzemeler için küçük ölçekli yakıcı kullanılması şiddetle tavsiye edilmektedir.

Castellano vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada; 2 ve 4 mm elek delik çaplı çekiç değirmeninde öğütülen odunsu ve odunsu olmayan 9 farklı materyal peletlenmiştir. 2 mm elek delik çapında öğütülen materyallerden elde edilen peletlerin yüksek mekanik dayanıklılık gösterdiği belirtilmiştir. Odunsu materyallerden üretilen peletlerin çıkış hızının düşük olduğu ve materyal lignin içeriğinin fazla olmasına bağlı olarak yüksek mekanik dayanıklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Fournel vd. (2015a) tarafından yapılan çalışmada; kamış kanarya otu gibi enerji bitkilerinin yüksek azot (N), kükürt (S), potasyum (K) ve diğer kül oluşturuç elemanlar ihtiva etmesi nedeniyle, partikül madde (PM) ve emisyonların artmasının yanma esnasında kül ilişkili erime problemlerine neden olduğunu belirterek bu problemi çözmek için biyokütle içerisine çeşitli katkı maddeleri ilave etmiştir. Buna göre %50

oranında odun, %3 alüminyum silikat (lahım çamuru), kalsiyum (kireç taşı) ve sülfür (lignosülfaton) bazlı katkı maddeleri ilave edilmiştir. Karışımlar 29 kW üstten yanmalı pelet sobasında yakılarak emisyonları ve kül içerikleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre PM oranının saf biyokütleyle oranla %17-29 arasında azaldığı ve yüksek SO<sub>2</sub> değerine sahip odun karışımı ile birlikte düşük NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> değerleri elde edildiği belirtilmiştir.

Fournel vd. (2015b) tarafından yapılan çalışmada; yanma sonucu ortaya çıkan karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), azot oksit (N<sub>2</sub>O), nitrojen monoksit (NO) gibi gazların, biyokütlelerin fizikokimyasal özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Ahşap ve 4 farklı enerji bitkisinin (söğüt, filotu, çim, kamış çim) yanma sonucu emisyonları incelenmiştir. Ahşabın, diğer dört biyoyakıtta göre yanma sırasında daha az CO (%57-94), NO<sub>x</sub> (%64-74), SO<sub>2</sub> (%0-93) ve PM (%49-82) yaydığı belirtilmiştir. Peletlerin, sıkıştırılmamış ürünlere göre genellikle daha az CO (%27-86), CH<sub>4</sub> (%15-98) ve PM (%28-50) emisyon oluşturduğu bildirilmiştir.

Puig-Arnabat vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; çayır otu, yonca, sorgum, tritikale (buğday ve çavdar melezlemesinden elde edilen bitki), miscanthus ve söğüt materyalleri piston silindir düzeneğiyle peletlenmiştir. Bütün materyaller için en uygun nem içeriği yaklaşık olarak %10 civarında elde edilmiştir. Sürtünmelerin 60-90 °C derece kalıp sıcaklık aralığına kadar arttığı, daha yüksek kalıp sıcaklıklarında ise sürtünmelerin azaldığı belirlenmiştir.

Bilgin vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; %12.68 nem içeriğine ve 0.62 mm geometrik ortalama çapa sahip çay üretimi sonrası ortaya çıkan atıklar laboratuvar ölçekli 3 kW güçlü pelet makinesinde peletlenmiş ve pelet kalitesi ile ilgili fiziksel özellikler belirlenmiştir. Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak yığın yoğunluğu, parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, darbe direnci ve nem alma durumu belirlenmiştir. Çay peletlerinin parça ve yığın yoğunluğu sırası ile ortalama 1158 kg.m<sup>-3</sup> ve 601 kg.m<sup>-3</sup> bulunduğu ve çay peletlerinin fiziksel testler sonucu oldukça sağlam yapıda olduğu görülmüş, mekanik dayanıklılık direnci ve darbe direnci değerleri sırası ile %81 ve %98.23 olarak belirtilmiştir.

Aragon-Garita vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; kamış, bataklık sazı, fil otu, bambu ve sorgum olmak üzere 5 farklı enerji bitkisi peletlenmiş ve peletlerin kalite özellikleri ile ilgili olarak ısı değer, nem içeriğindeki azalma, kül içeriği ve pelet parça yoğunlukları ölçülmüştür. Materyallerin ısı değerleri 17.1-20.3 MJ.kg<sup>-1</sup> arasında değişmiş ve en yüksek sorgum bitkisinde elde edilmiştir. Materyallerin kül içerikleri %3.4-10.5 arasında değişmiş ve en yüksek kamış bitkisinde olmuştur. Peletlerin parça yoğunlukları 1129-1294 kg.m<sup>-3</sup> arasında değişmiş ve en yüksek fil otu peletinde elde edilmiştir. Peletleme öncesi materyal nem içerikleri %7.6-15 arasında değişirken, peletleme işlemi sonunda %6.7-12.6 aralığında değişmiştir.

Jackson vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; pilot ölçekli düz kalıp teknolojiye sahip peletleme makinesinde miscanthus, mısır koçanı, darı bitkisi ve buğday samanı peletlenmiş ve peletleme işlemine nem içeriğinin etkileri araştırılmıştır. Materyallerin nem içerikleri miscanthus, darı bitkisi ve buğday samanı için %10, %15, %20 ve %25 iken, mısır koçanı için ise %15, %20 ve %25'dir. Materyal çeşidine ve nemine bağlı olarak peletleme makinesinin özgül enerji tüketimi 101-324 kWh.t<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir. Materyal nem içeriği arttıkça, mısır koçanı peletinde makine

özgül enerji tüketimini artarken, diğer materyallerde ise azalmıştır. Miscanthus, darı bitkisi ve buğday samanı için nem içeriğindeki artış peletlerin mekanik dayanıklılığını artırmıştır. Mısır koçanında ise yine en yüksek pelet mekanik dayanıklılığı %20 nem içeriğinde elde edilmiş ve yaklaşık %95 olmuştur. Peletleme işlemi sonunda kalıp sıcaklığı yaklaşık olarak 90 °C ölçülmüştür. Pelet yığın yoğunluğu nem içeriğindeki artışa bağlı olarak artmış ve en yüksek pelet yığın yoğunluğu mısır koçanı peletinde %25 nem içeriğinde 918 kg.m<sup>-3</sup> olarak ölçülmüştür.

Molina-Moreno vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; badem ve zeytin ağaçlarından üretilen peletlerin yakılması için Biyokütle Sistemi teknolojisinin çalışmasını, dairesel ekonomi modelinde analiz etmektedir. Bu sistem, bu atıkların teknolojik besin maddesi olarak, enerji üreten sistemlerde kullanılarak, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların giderilmesi ve enerji ihtiyacının karşılanmasını amaçlamaktadır. Çalışmada nominal güce sahip optimum koşullardaki yanma verimi analizleri yapılmış olup buna ilaveten CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüştür. Zeytin ağacı ve badem ağacından elde edilen peletlerde sırasıyla % 87.7 ve % 86.3 değerlerinde yüksek yanma verimi elde edilmiştir. Nominal güce yakın koşullar altında, badem ağacı peleti için % 6 O<sub>2</sub>'de 225.3 ppm zeytin ağacı pelleti için, % 6 O<sub>2</sub>'de 351.6 ppm düzeyinde CO emisyonu elde edilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonları ise badem ağacı pelleti için % 6 O<sub>2</sub>'de 365.8 ppm, zeytin ağacı pelleti için ise % 6 O<sub>2</sub>'de 333.2 ppm'dir.

Chandrasekaran vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; emisyon ve verimlilik açısından, ticari olarak mevcut olan üç tip fırını (yatay besleme, alt besleme ve kapaklı besleme) dallı darı tipi pellet kullanarak karakterize etmiştir. Elde edilen sonuçlar ahşap peletlerle karşılaştırılmıştır. Yüksek ve düşük yük koşullarında PM emisyonu açısından dallı darı ve ahşap peletleri karşılaştırıldığında dallı darı peletlerinin daha yüksek kül içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Üç farklı fırın tipi için yüksek yük koşullarında CO emisyonları ahşap için 21 ile 53 g.kg<sup>-1</sup> dallı darı için ise 10 ile 28 g.kg<sup>-1</sup> arasında değişmekte olduğu görülmüştür.

Piednoir vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; biyokütle artığı karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyonları üzerindeki etkisini incelenmiştir. Biyokütle olarak üzüm ve zeytin posası, çam kabuğu, çeltik ve buğday kabuğu ve saman artığı kullanılmıştır. Bu materyallerden elde edilen peletler, hem tek başına hem de karıştırılarak laboratuvar şartlarında kullanılan bir fırında yanma deneyleri gerçekleştirilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonları ile biyokütle artıklarının N içeriği arasında lineer bir korelasyon bulunmuştur.

Sippula vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada; biyokütle hammaddelerinin partikül, gaz emisyonları ve kül davranışı üzerindeki etkilerini, ticari amaçla kullanılan 500 kW'lık pelet kazan üzerinde incelemiştir. Çalışmada kullanılan yakıtlar, yumuşak ağaç kökü, kabuğu, turba ve bu malzemelerin çeşitli karışımlarından oluşan peletlerdir. Peletlerin emisyon faktörleri 11 ila 26 mg.MJ<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Bu değerler yakıttan alkali metal salımı ile tespit edilmiştir. Turba ile ahşabı birlikte yakılması pelet emisyonlarını önemli ölçüde azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Fachinger vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada; evsel kullanımda odun ve pelet sobaları için, çeşitli gaz ve partikül kirleticilerin emisyon faktörlerinin yanma fazı, yanma durumu ve yakıt üzerindeki değişimini incelemiştir. Çalışmada 11 farklı ağaç türü (elma, dişbudak, kayın, huş, kiraz, kuzey amerika cevizi, meşe, zeytin, erik,

akçağaç) ve 4 farklı kozalaklı ağaç türü (köknar, çam, ladin ve douglas köknarı) kömür, biriket, talaş vb. gibi formlarda yakıt olarak kullanılmıştır. Yanma verimi yüksek ve düşük yanma hızlarında iyi bir sonuç vermemiştir. Kurutulmuş ve küçük odunların yakılması yaklaşık 6 katına kadar, fazla havanın kullanılması da yaklaşık 3 katına kadar emisyon değerlerini arttırmıştır.

Olave vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada; farklı biyokütle kaynaklı yakıtların emisyon değerleri ölçülmüştür. Çalışmada üç farklı söğüt türü ve sitka ladin ağaçları talaş formunda yakıt olarak kullanılmış ve bu türlerin fiziksel ve kimyasal bileşenlerinin farklılıklarından dolayı yanma sırasında gaz ve partikül emisyonları da farklılık göstermiştir. 120 kW'lık bir biyokütle sisteminde yanma sırasında hava akımı, baca gazı sıcaklıkları ve enerji çıkışı gaz emisyonları ile ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. NO<sub>x</sub>, ham yakıt külü, azot, fosfor ve potasyum gibi tüm baca gazı partikül fraksiyonlarıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir.

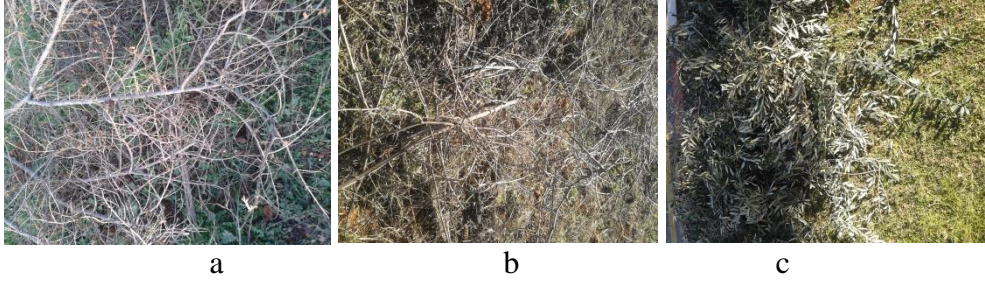
Soleimani vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada; buğday samanı ve alaçam talaşı kullanılarak pelet üretimi yapılmıştır. Materyaller 1.7 mm elek çapında bıçaklı değirmende elenmiş olup %10 nem içeriğine sahiptirler. Denemeler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada materyallere %4,8 ve %12 oranında yapıştırıcı (Glukoz, früktoz, sukroz, maltadekstrin, lignosülfat ve melas) eklenmiştir. Tekil pelet şeklinde 10 adet üretim yapılmıştır. Her pelet için 0.55 gr materyal kullanılmıştır. Eklenen yapıştırıcılar toz halinde olup peletleme 90±1 °C kalıp sıcaklığında 4000 N kuvvet, 50 mm.d<sup>-1</sup> hızında 60 s süreyle uygulanmıştır. İkinci aşamada ise ek olarak %5 oranında yağlayıcı madde (ham gliserol, saf gliserol, mineral yağı ve kanola yağı) eklenerek tekil pelet üretilmiştir. Üçüncü aşamada ise pilot ölçekli bir peletleme makinasında pelet üretimi yapılmıştır. Pelet dayanıklılığı yapıştırıcının etkisine göre % 90.1 ile % 47,4 arasında değişmek olduğu ve alaçam için pelet dayanıklılığı açısından en iyi yapıştırıcı olarak Fruktoz, buğday samanı için ise melas ile yapılan kombinasyonda bulunduğu belirtilmiştir. Yoğunluk açısından ham gliserol ve kanola yağı etkili yağlayıcı olarak bulunduğu ve yağlayıcılar ve yapıştırıcılar arasında önemli bir etkileşim tespit edildiği bildirilmiştir. Ayrıca yağlayıcıların kalorifik değeri arttırmasına rağmen enerji tüketimini düşürdüğü belirtilmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde pelet üretiminde genel olarak orman ve tarımsal bitki artıkları kullanılmış ve bunlarla ilgili sonuçlar ortaya konulmuştur. Ancak, meyve bahçelerinden çok büyük miktarlarda çıkan budama artıklarının pelet olarak değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda zeytin ve bağ budama artıklarında çok sınırlı sayıda çalışmaya rastlanırken, nar budama artıkları ile ilgili herhangi bir çalışma görülmemiştir. Yapılan bu çalışmaların literatürdeki eksikliklerin giderilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### 3. MATERYAL VE METOT

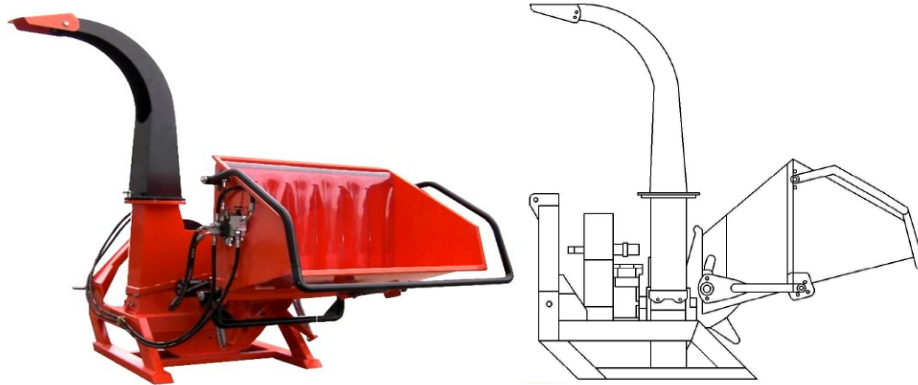
#### 3.1. Materyal

Tez çalışması Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü atölyesinde yürütülmüştür. Çalışmada, materyal olarak nar, bağ ve zeytin budama artıkları kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Nar (a), bağ (b) ve zeytin (c) budama artıkları

Budama artıkları toplandıklarında nem içerikleri %30-40 civarındadır. Bu yüzden hem kuruma süresini kısaltmak hem de çekiçli değirmende öğütme işlemlerini kolaylaştırmak için traktör kuyruk milinden hareket alan dal parçalama makinesi ile materyallere ön parçalama işlemi uygulanmıştır. Dal parçalama makinesi, hareket iletim sistemi, besleme düzeni, parçalama düzeni, materyal sevk borusu ve emniyet mekanizmasından oluşmaktadır (Şekil 3.2).

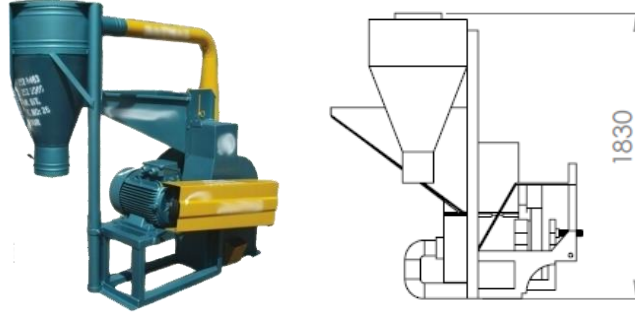


Şekil 3. 2. Dal parçalama makinesi genel görünüşü

Kurutulmuş materyallerin peletleme işlemi için uygun parçacık boyutlarına getirilmesinde traktör kuyruk milinden hareket alan, eleği değiştirilebilir ve 2, 4 ve 6



mm elek delik çapına sahip çekiçli değirmen kullanılmıştır (Şekil 3.3). Çekiçli değirmen hareket iletim sistemi, materyal besleme ağızı, öğütme ünitesi, öğütülen materyali sevk borusu, siklon ünitesi ve çuvallama ünitesinden oluşmaktadır.

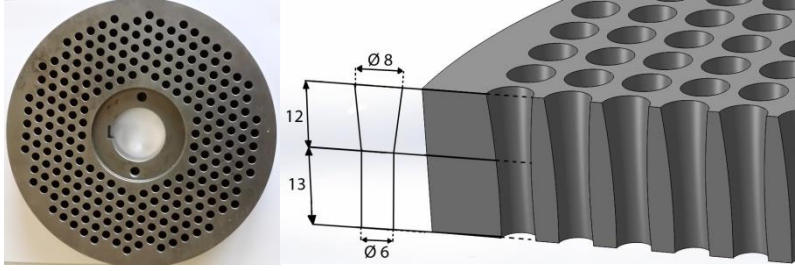


**Şekil 3. 3.** Çekiçli değirmen genel görünüşü

Materyaller, elektrik enerjisi ile çalışan, üç fazlı, peletleme ünitesi motor gücü 7.5 kW, kapasitesi materyal çeşidine bağlı olarak  $70-100 \text{ kg.h}^{-1}$ , düz kalıp dairesel sıralı delikli, kalıp çıkış delik çapı 6 mm, pelet boyu 10-40 mm arasında ayarlanabilen peletleme makinası kullanılarak peletlenmiştir. Peletleme makinesi materyal deposu, otomatik materyal besleme ünitesi, dairesel sıralı delikli düz kalıp, sıkıştırma silindirleri, materyal nemlendirme ünitesi, pelet boyu ayarlama ünitesi, pelet soğutma ünitesi ve elektrik kontrol panosundan oluşmaktadır (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).



**Şekil 3.4.** Denemelerin yapıldığı peletleme makinesi



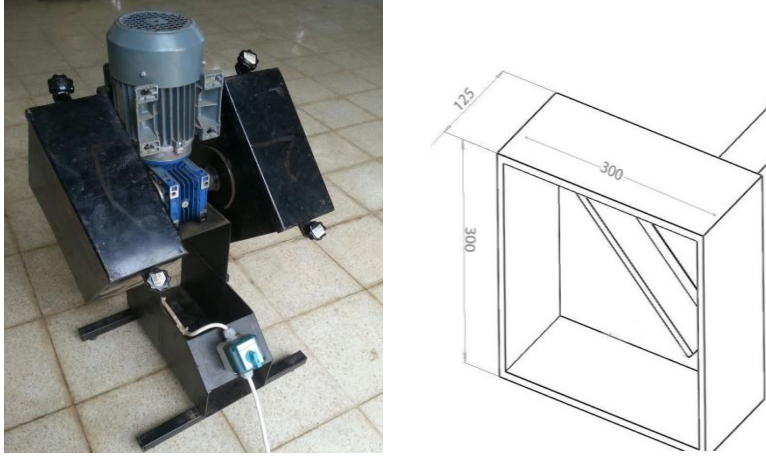
**Şekil 3. 5.** Pelet makinasında kullanılan kalıp şekli ve kesiti

Materyallerin parçacık boyut dağılımlarının belirlenmesinde 200 mm çapında, 50 mm derinliğinde 0.125-3.0 mm elek açıklığına sahip 7 elek ve elek sarsma cihazından oluşan elek analiz seti kullanılmıştır (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6.** Materyallerin parçacık boyut dağılımlarının belirlendiği elek analiz seti

Peletlerin mekanik dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesinde EN 15210-1 (2009) standardına göre yapılmış, motor gücü 0.37 kW, motor redüktör devri 50 min<sup>-1</sup>, peletlerin yerleştirileceği kafes ölçüleri 300x300x125 mm ve kafes iç merkezine çapraz olarak yerleştirilen 50 mm eninde, 230 mm uzunluğunda bir levhaya (baffle) sahip mekanik dayanıklılık test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.7).



**Şekil 3.7.** Pelet mekanik dayanıklılık test cihazı

Peletlerin sıkıştırma direncinin (basınç direnci) belirlenmesinde 200 kg kapasiteli,  $6 \text{ mm.d}^{-1}$  hızında ilerleyen ve uygulanan yüklerin anında bilgisayara aktarılıp izlenebildiği basınç direnci test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8.** Basınç direnci test cihazı

Peletlerin nem alma dirençlerinin (nem emilimi-adsorpsiyon) belirlenmesinde sıcaklık çalışma sınırları  $+10 - +60^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), nemli çalışma sınırları  $\%20 - \%95$  ( $\pm \%5$ ), zaman ayarlı, maksimum güç değeri 2.0 kW ve kullanılabilir hacmi 252 litre olan iklimlendirme test kabini kullanılmıştır (Şekil 3.9).



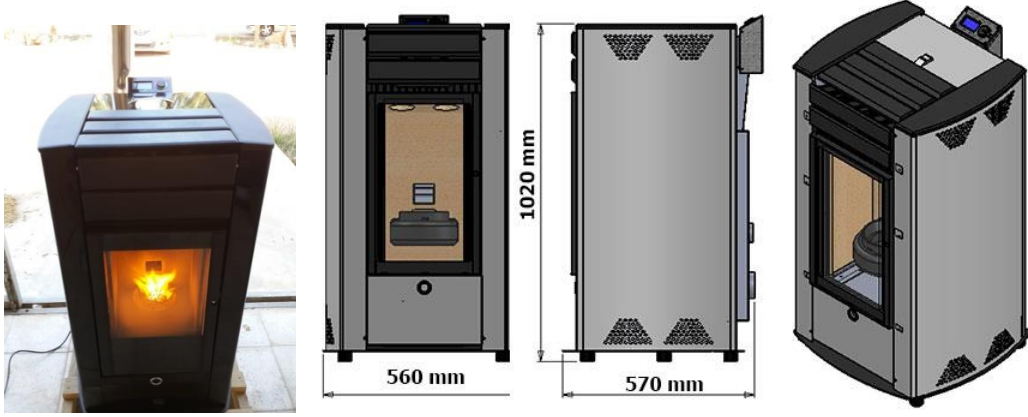
**Şekil 3.9.** İklimlendirme test kabini

Peletleme makinesinin enerji tüketim değerlerinin ölçülmesinde Chauvin Arnaux CA 8332B 3 fazlı portatif enerji analizörü kullanılmıştır (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10.** Portatif enerji analizörü

Peletlerin yakılmasında 6 mm çaplı peletleri yakabilecek şekilde tasarlanmış, 15 kg yakıt haznesine sahip otomatik beslemeli, hava üfleme hızı ayarlanabilir 3-11 kW kapasiteli ticari pelet sobası kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3. 11. Peletlerin yakılmasında kullanılan pelet sobası ve boyutları

Peletlerin yakılması sonucu atmosfere bırakılan baca gazı emisyonlarının ölçülmesi için elektrokimyasal olarak ölçüm yapabilen baca gazı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Baca gazı ölçüm cihazı; baca gazı analizör ünitesi, el kontrol ünitesi ve ölçüm probundan oluşmaktadır (Şekil 3.12). Baca gazı ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Baca gazı ölçüm cihazı

**Çizelge 3.1.** Baca gazı emisyon ölçüm cihazına ait teknik özellikler

Ölçüm aralıkları	
O <sub>2</sub>	0 - %25 ppm (hacimsel)
CO	0 - 10 000 ppm
CO <sub>2</sub> (O <sub>2</sub> hesabı ile)	0 - CO <sub>2</sub> maks.
NO	0 - 3 000 ppm
NO <sub>2</sub>	0 - 500 ppm
SO <sub>2</sub>	0 - 5 000 ppm
H <sub>2</sub> S	0 - 300 ppm
Fark Basıncı 1	± 200 hPa
Fark Basıncı 2	± 40 hPa
Baca Gazı Sıcaklığı	-40 °C - 1200 °C
Hız ölçümü	0 - 40 m.sn <sup>-1</sup>
Verimlilik	0 - % 120

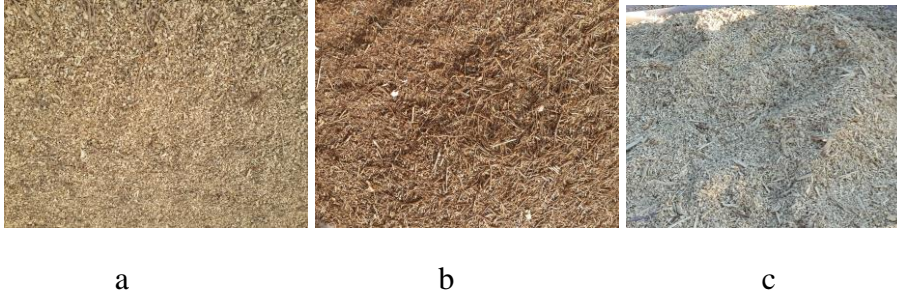
Peletleme öncesi ve sonrası materyal ve pelet kütlelerinin tartılmasında 300 kg kapasiteli ve 20 g hassasiyetli baskül ve testlerde kullanılan materyal ve pelet örneklerinin tartılmasına 3000 g kapasiteli ve 0.01g hassasiyetli hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 3.13).

**Şekil 3.13.** Baskül (a) ve hassas terazi (b)

### 3.2. Metot

#### 3.2.1. Materyallerin hazırlanması ve peletlenmesi

Tarımsal üretim alanlarından toplanan zeytin, bağ ve nar budama artıkları deneme alanına getirilmiş ve kuruma süresini kısaltmak için traktör kuyruk milinden hareket alan dal parçalama makinesi ile ön parçalamayla materyallerin boyutları 1-3 cm aralığına getirilmiştir (Şekil 3.14).



**Şekil 3.14.** Parçalanmış zeytin (a), bağ (b) ve nar budama artıkları (c)

Ön parçalama işlemi sonrası dış ortamda yaklaşık olarak %10-12 nem içeriğine kadar kurutulmuş materyaller 2, 4 ve 6 mm elek delik çapına sahip çekiçli değirmende öğütülerek peletleme denemeleri için uygun boyutlara getirilmiştir. Materyallerin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3. 2.** Materyallerin bazı fiziksel özellikleri

	Zeytin			Nar			Bağ		
	2 mm	4 mm	6 mm	2 mm	4 mm	6 mm	2 mm	4 mm	6 mm
Nem içeriği (%)	6.75	7.69	7.94	5.75	7.24	8.47	7.42	7.56	8.57
Yığın yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )	370	377	372	397	396	378	326	313	292
Geometrik ortalama çap (mm)	1.178	1.432	1.529	1.145	1.161	1.619	0.982	1.168	1.541

Peletleme denemeleri her bir materyal için %10-12 ve %14-16 nem içeriğinde ve 3 farklı parçacık boyutunda gerçekleştirilmiştir. Peletleme işlemlerinde materyal çeşidi,

parçacık boyutu ve nem içeriklerine bağlı olarak oluşturulan deneme deseni Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Peletleme işleminden önce materyal nem içerikleri belirlenerek, gerektiğinde materyallerin nem içeriğini arttırmak için su ile nemlendirme işlemi yapılmış ve nemlendirme işlemi sonucu materyal içerisinde nem dengesinin sağlanması için materyaller hava almayacak şekilde 7 gün boyunca kapalı plastik ambalaj poşeti içerisinde bekletilmiştir. Mevcut materyal nemini, istenilen nem değerine yükseltmek için eklenmesi gereken su miktarı aşağıda verilen eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır (Coşkun vd. 2005).

$$Q = W_i(M_f - M_i)/(100 - M_f) \quad (3.1)$$

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 (%)

Materyalleri ile peletleme işlemine geçmeden önce, kaliteli pelet üretimini sağlamak için kalıp 80-90 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Isıtma işlemi yaklaşık 15 dakika süre ile yağlı materyal (5 kg materyal + 0.5 l motor yağı karışımı) ile sürekli makineden geçirilmesiyle sağlanmıştır.

Deneme desenine bağlı olarak uygun nem içeriğine sahip materyaller peletleme makinesinin materyal deposuna doldurularak peletleme makinesi çalıştırılmıştır. Peletleme ünitesine beslenen materyal miktarı, makinenin güç tüketimine bağlı olarak ayarlanmış ve makinenin peletleme ünitesi için belirtilen maksimum 13 A akım değerinin üzerine çıkılmamıştır. Bir süre sonra kalıp içerisinde materyal sıkışmaya başlayarak sürekli olarak 6 mm çapında silindirik peletler elde edilmiştir. Pelet boyu kalıp altında bulunan pelet boyu ayarlama mekanizmasından ayarlanmıştır.



**Çizelge 3.3.** Materyal çeşidi, parçacık boyut ve nem içeriğine bağlı olarak deneme deseni

Kısa Kodu	Materyal (Faktör 1)	Elek Delik Çapı (mm) (Faktör 2)	Nem Aralığı (%) (Faktör 3)
Z2-11	Zeytin	2 mm	% 10-12
Z2-15			% 14-16
Z4-11		4 mm	% 10-12
Z4-15			% 14-16
Z6-11		6 mm	% 10-12
Z6-15			% 14-16
B2-11	Bağ	2 mm	% 10-12
B2-15			% 14-16
B4-11		4 mm	% 10-12
B4-15			% 14-16
B6-11		6 mm	% 10-12
B6-15			% 14-16
N2-11	Nar	2 mm	% 10-12
N2-15			% 14-16
N4-11		4 mm	% 10-12
N4-15			% 14-16
N6-11		6 mm	% 10-12
N6-15			% 14-16

### 3.2.2. Materyal parçacık boyut dağılımı

Materyallerin parçacık boyut dağılımları EN 15149-2 (2010) standardına göre belirlenmiştir. Bu testte 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 1.7, 2.36 ve 3.0 mm elek açıklığına sahip 7 elek ve elek sarsma cihazı kullanılmıştır. Hava kurusu yaklaşık 100 g materyal örnekleri en üst eleğe konularak 15 dakika süreyle titreşim uygulanmıştır. Test sonunda her bir

elek üzerinde kalan materyal tartılarak kütleleri kaydedilmiştir. Her bir elek üzerinde kalan materyal yüzdesi elek üzerinde kalan materyal kütesinin toplam materyal kütesine oranlanması ile % olarak hesaplanmıştır.

### 3.2.3. Üretim kapasitesi ve enerji tüketimi

Çalışmada deneme desenine göre yapılan tüm peletleme işlemlerinde peletleme makinesinin kapasitesi belirlenmiş, elektrik enerjisi tüketim değeri ölçülmüş ve üretim kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketim değerlerine bağlı olarak özgül elektrik enerjisi tüketim değerleri hesaplanmıştır.

Peletleme makinesinin kapasitesi, makine rejime girdikten (peletler çıkmaya başladıktan sonra) belirli bir süre için peletleme makinesinden çıkan peletler bir kapta toplanmış ve daha sonra elde edilen peletler tartılmıştır. Üretim kapasitesi, pelet ağırlığının peletleme için geçen süreye bölünmesi ile  $\text{kg.h}^{-1}$  olarak belirlenmiştir.

Peletleme makinesinin elektrik enerjisi tüketimi 3 fazlı portatif enerji analizörü kullanılarak belirlenmiştir. Enerji analizörü bir sistemdeki akım, gerilim ve güç gibi elektriksel parametrelerin ölçülmesi için tasarlanmış olan bir cihazdır. Peletleme makinesinin enerji tüketim değerinin belirlenmesi için makinenin faz-faz arası gerilim değerleri, her fazdan çekilen akım, aktif-reaktif (kapasitif ve endüktif) ve görünür güç değerleri,  $\cos\phi$  ve  $\tan\phi$  faktörü değerlerinin ölçümü yapılarak makinenin güç tüketimi belirlenmiştir. Elde edilen veriler cihaz üzerinden bilgisayara aktarılarak kaydedilmiştir.

Makinenin özgül elektrik enerjisi tüketim değeri ise elektrik enerjisi tüketim değerinin üretim kapasitesine oranlanması ile  $\text{kWh.kg}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Üretim kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketimi ile ilgili denemeler üç tekerrürlü olarak yapılmış ve ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

### 3.2.4. Pelet fiziksel özellikleri ve testler

Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak peletlerin parça ve yığın yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, basınç direnci (sıkıştırma direnci), nem içeriği, nem alma durumu belirlenmiştir. Fiziksel test öncesi peletler 7 gün süre ile kapalı ortamda çevre şartlarında bekletilmiştir. Pelet kalitesi ile ilgili bütün testler üç tekerrürlü olarak yapılmış ve ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

#### 3.2.4.1. Pelet yığın yoğunluğu

Peletlerin yığın yoğunluğu EN 15103 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde pelet örnekleri 5 l hacme sahip silindirik kap içerisine yaklaşık 200-300 mm yükseklikten tam olarak doldurulup kap 3 kez yaklaşık olarak 150 mm yükseklikten serbest olarak ahşap zemin üzerine bırakılmıştır. Daha sonra, düz ve uzun bir ahşap malzeme ile kabın üst kısmındaki fazla pelet örnekleri kap dışına taşınmıştır. Pelet yığın

yoğunluğu pelet kütlelerinin kabın hacmine oranlanması ile  $\text{kg.m}^{-3}$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.15).



**Şekil 3.15.** Pelet yığın yoğunluğu belirleme kabı

#### **3.2.4.2. Pelet parça yoğunluğu**

Peletlerin parça yoğunlukları EN 16127 (2012) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde 80-100 g kütleyle sahip pelet örnekleri (yaklaşık 100 adet) alınarak her bir peletin çapı, uzunluğu ve kütlesi ölçülerek kaydedilmiştir. Pelet parça yoğunluğu  $\text{kg.m}^{-3}$  olarak hesaplanmıştır.

#### **3.2.4.3. Pelet mekanik dayanıklılık direnci**

Peletlerin mekaniksel dayanımları EN 15210-1 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Test öncesi pelet örnekleri 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek yardımı ile elenmiştir. Daha sonra elek üzerinde kalan  $500 \pm 10$  g pelet örnekleri test cihazına yerleştirilmiş ve 10 dakika süreyle  $50 \pm 2 \text{ min}^{-1}$ 'da karıştırılarak kafes içinde hareketlendirilmiştir. Test sonrası peletler dışarı alınarak 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek ile tekrar elenmiştir. Peletlerin mekanik dayanıklılık dirençleri test öncesi ve sonrası meydana gelen kütle kaybına bağlı yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

#### **3.2.4.4. Pelet basınç direnci**

Yoğunlaştırılmış ürünlerin sertliği çoğunlukla basınç direnci (sıkıştırma direnci) testi yoluyla belirlenmektedir. Bu testte, pelet örnekleri içerisinde rastgele seçilen 30 adet pelet kullanılmıştır. Uygulanan sıkıştırma yükleri bilgisayara aktarılmıştır. Peletlerin basınç direnci N, peletlerin özgül basınç direnci ise basınç direncinin pelet uzunluğuna oranlanması yoluyla  $\text{N.mm}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Peletlerin gerilme direnci ise pelet çapı ve uzunluğuna bağlı olarak pelet yüzey alanının yarısına

uygulanan basınç olarak aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır (Tabil 1996, Shaw vd. 2009, Kashaninejad ve Tabil 2011).

$$\sigma_x = 2F/\pi dl \quad (3.2)$$

Eşitlikte,  $\sigma_x$ : Gerilme direnci (Pa); F: Maksimum kırılma kuvveti (N); d: Pelet çapı (m); l: Pelet uzunluğu (m)

### 3.2.4.5. Pelet nem içeriği

Deneme desenine göre elde edilen peletlerin nem içeriklerinin belirlenmesi için, peletleme makinesinden çıkış nemleri belirlenmiştir. Daha sonra peletler denge haline gelmesi için 7 gün süresince 20-22°C ve %60-65 bağıl neme sahip kapalı çevre şartlarında üstü açık olarak bekletilmiş ve 7. gün sonunda pelet nem içerikleri belirlenmiştir. Nem içerikleri EN 14774-2 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde 300 g pelet örnekleri kurutma fırınına (ETÜV) konularak sabit ağırlığa gelinceye kadar (yaklaşık 24 h) 105±2°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma fırınından alınan örnekler 15 saniye içinde tekrar tartılarak kütleleri kaydedilerek meydana gelen kütle kaybına bağlı olarak nem içeriği yaş bazda yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

$$M = \left( \frac{m_{yaş} - m_{kuru}}{m_{yaş}} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

Eşitlikte; M: Pelet nem içeriği (% y.b.);  $m_{yaş}$ : Pelet yaş ağırlığı (g);  $m_k$ : Pelet kuru ağırlığı (g)

### 3.2.4.6. Pelet nem alma dirençleri

Peletlerin nem alma dirençleri pelet ağırlığındaki değişim yoluyla belirlemiştir Liu vd. (2013). Bu testte rastgele seçilen 5 pelet kurutma fırınında 105 ± 2 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar (24 h) bekletilmiş, kurutma sonrası peletler tartılarak ilk ağırlıkları kaydedilmiştir. Peletler daha sonra 27 °C sıcaklık ve %90 nem içeriğine sahip iklimlendirme kabiniinde 24 h süreyle bekletilmiştir. Test sonunda peletler iklimlendirme kabiniinden alındıktan sonra tekrar tartılmış ve peletlerin son ağırlıkları kaydedilmiştir. Peletlerin nem alma dirençleri aşağıdaki eşitlik yardımı ile yüzde (%) olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$P_a = \frac{(m_f - m_i)}{m_i} \times 100 \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

$P_a$ : Pelet örneklerinin nem alması (%)

$m_i$ : Pelet örneklerinin ilk ağırlıkları (g)

$m_f$ : Pelet örneklerinin son ağırlıkları (g)

### 3.2.4.7. Peletlerin Yanma Performansları

Zeytin, nar ve bağ budama artıklarından üretilen peletler otomatik beslemeli, 3 farklı hava üfleme hızına sahip ve 6 mm çaplı peletleri yakacak şekilde dizayn edilmiş pelet sobasında (Şekil 3.10) yakılmıştır. Yanma sonucu atmosfere salınan baca gazı emisyon değerleri ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $H_2S$ ) ile baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi elektrokimyasal baca gazı analizörü ile ölçülerek anlık olarak bilgisayara aktarılmıştır. Denemelerde ölçüm probu pelet soba borusuna açılan gaz numune alma noktasına ve soba borusu kesit merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Denemeler süresince tek bir noktadan ölçüm yapılmıştır. Yanma odasına pelet besleme hızı pelet sobasına peletin ısı değeri girilerek ısı değere bağlı olarak pelet sobası tarafından otomatik olarak ayarlanmıştır. Yakma denemeleri otomatik besleme hızında ve 3 farklı hava üfleme hızında gerçekleştirilmiştir. Yanma işlemi kararlı duruma girdikten sonra emisyon ölçümleri bilgisayar üzerinden başlatılarak ölçüm sonuçları bilgisayardan izlenmiştir. Tüm yakma denemeleri için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Peletlerin yanma verimleri eşitlik 3.5'e göre cihaz üzerinden okunmuştur. Her bir pelet ortalama yarım saat süre ile yakılmıştır.

$$\eta_{yanma} = \frac{Q}{HV} \quad (3.5)$$

Eşitlikte,  $\eta_{yanma}$ : Yanma verimi;  $Q$ : Yanma boyunca açığa çıkan ısı (kW),  $HV$ : Yanan yakıtın ısı değeri (kW).

Ön denemeler sonucunda, 3 farklı kademe olarak 110,120 ve 130 hava hız kademeleri seçilmiştir. Kullanılan pelet sobası otomatik beslemeli olup besleme miktarı  $100 \text{ g.d}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Soba boşta iken anemometre yardımıyla fan üfleme hızları belirlenmiş olup 110,120 ve 130 kademeleri için sırasıyla 6, 9 ve  $11 \text{ m.s}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. Peletlerin yanma performansları; sobanın üç farklı fan üfleme kademesinde (110, 120 ve 130), pelet sobası yanma gücü olarak 5 kW ve sabit besleme hızında belirlenmiştir. Deneyler esnasında her bir pelet türünün sobada yakılması sonucunda kararlı rejime geldikten sonraki veriler kullanılmıştır.

Budama artıklarından üretilen peletlerin parçacık boyutu ve nem karşılaştırmaları yapılırken fan üfleme hızı  $6 \text{ m.s}^{-1}$  ( $V_1$ , kademe: 110) olan tek yanma hızına göre değerlendirme yapılmıştır.

Peletlerin yanma performanslarını belirlemek için baca gazı sıcaklığı ve  $O_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$  emisyon değerleri ölçülmüştür. Zeytin, nar ve bağ budama artıklarından üretilen tüm peletlerin pelet sobasında yakılması sonucunda  $H_2S$  ve  $SO_2$  emisyonunun çıkmadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak yakıt bileşimindeki kükürt (S) içeriğinin önemsiz değerde olduğu söylenebilir. Spliethoff ve Hein (1998) tarafından yürütülen bir çalışmada  $SO_2$  emisyonları ile yakıtın kükürt (S) içeriği arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin olduğu ifade edilmiştir.

Yanma esnasında  $CO$  emisyon değerinin yüksek olması eksik yanma olduğunu, düşük olması ise tam yanmaya daha yaklaştığını gösterir. Yani peletin daha iyi yandığını gösterir. Aynı şekilde  $O_2$  emisyon değerinin yüksek olması peletin yanmadığını, düşük olması ise peletin yanma performansının iyi olduğunu gösterir. Bu nedenle yanma performansı incelenirken öncelikle  $O_2$  ve  $CO$  emisyon değerleri göz önüne alınmıştır. Baca gazı emisyonlarının çevreye etkileri incelendiğinde,  $NO_x$  emisyonları çevresel açıdan önemli bir yer tutmaktadır. Atmosfere salınan  $NO_x$  emisyonları çeşitli reaksiyonlar sonucu asit yağmurlarına dönüşmektedir. Tarımsal atıkların  $NO_x$  emisyonu, odunla karşılaştırıldığında oldukça yüksektir (Piednoir vd. 2016). Yakıtın  $NO_x$  emisyonu, nitrik oksit ( $NO$ ) ve azot dioksit ( $NO_2$ ) bileşiklerini kapsamaktadır ve Nitrojen (N) emisyonların en büyük bileşenidir. Bu direkt olarak yakıt N içeriği ile ilgilidir (Oberberger vd. 2006, Sartor vd. 2014). Bu nedenle yanma performanları  $O_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$  emisyonları, baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

### 3.2.5. İstatistiksel analiz yöntemi

Üretim kapasitesi, enerji tüketimi ve pelet kalitesi ile ilgili fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan denemelerde 3 tekerrürlü olarak elde edilen verilerin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunup bulunmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Veri setinde ikiden daha fazla özellik bulunduğu ve bu özelliklerin ortalamaların arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı tespit edilmek istendiği için kullanılması gereken istatistiksel yöntem tek yönlü varyans analizidir. Yapılan testler için  $H_0$  hipotezi “özellikler arasında anlamlı bir farklılık yoktur” iken,  $H_1$  hipotezi “en az bir özellik farklıdır” şeklindedir. Tek yönlü varyans analizi istatistiği sonucunda  $H_0$  hipotezinin reddedilmesi durumunda yani anlamlı bir farklılık bulunması durumunda farklılığı oluşturan grup veya grupların tespiti için Duncan karşılaştırma testi uygulanmıştır. ANOVA ve Duncan testleri için SPSS 17.0 programı kullanılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Materyal parçacık boyutu dağılımları

Materyallerin parçacık boyutu dağılımlarını belirlemek için yapılan elek analizi sonucunda ortaya çıkan parçacık boyutu dağılımları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 1.** Materyallerin parçacık boyutu dağılımları

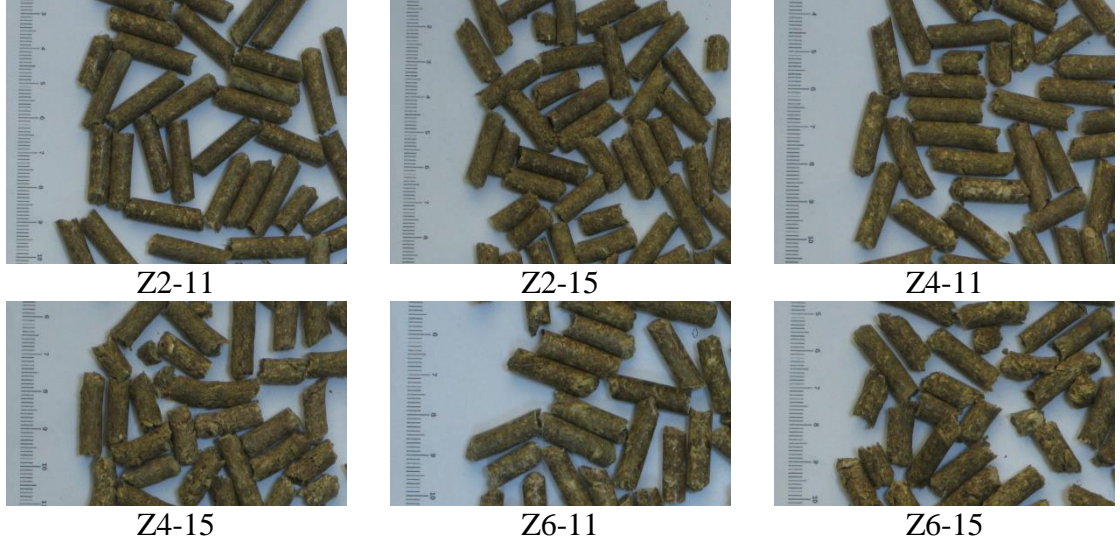
Materyal	Parçacık boyutu (mm)	Elek açıklığı (mm)							
		>3.00	2.36 – 3.00	1.7 – 2.36	1.00 – 1.70	0.50 – 1.00	0.25 – 0.50	0.125 – 0.250	0 – 0.125
Zeytin	2	0	0.36	2.6	13.76	32.51	23.34	10.26	17.18
	4	0.25	1.83	12.1	21.88	18.79	16.85	10.9	17.4
	6	7.59	11.83	28.53	24.88	14.14	7.11	2.53	3.4
Nar	2	0	0.61	3.24	11.06	34.14	24.5	10.7	15.76
	4	0.1	0.67	6.32	26.95	29.76	19.27	8.09	8.84
	6	6.81	6.97	23.84	27.45	14.52	9.11	4.93	6.36
Bağ	2	0	0.1	0.68	3.11	22.95	39.24	16.27	17.64
	4	0.18	0.87	5.22	19.73	27.51	24.95	9.58	11.97
	6	5.35	8.99	20.29	19.84	16.65	15.5	6.1	7.28

Öğütülmüş zeytin budama atıklarının elek analizi sonucu parçacık boyutu dağılımında 0-1 mm boyutlarındaki materyal yüzdesi 2 mm için % 83.28, 4 mm için % 63.94 ve 6 mm için % 27.18’dir. Öğütülmüş nar budama atıklarının elek analizi sonucu parçacık boyutu dağılımında 0-1 mm boyutlarındaki materyal yüzdesi 2 mm için % 85.10, 4 mm için %65.96 ve 6 mm için %34.93’dir. Öğütülmüş bağ budama atıklarının elek analizi sonucu parçacık boyutu dağılımında 0-1 mm boyutlarındaki materyal yüzdesi 2 mm için % 96.10, 4 mm için %74.01 ve 6 mm için %45.53’dir.

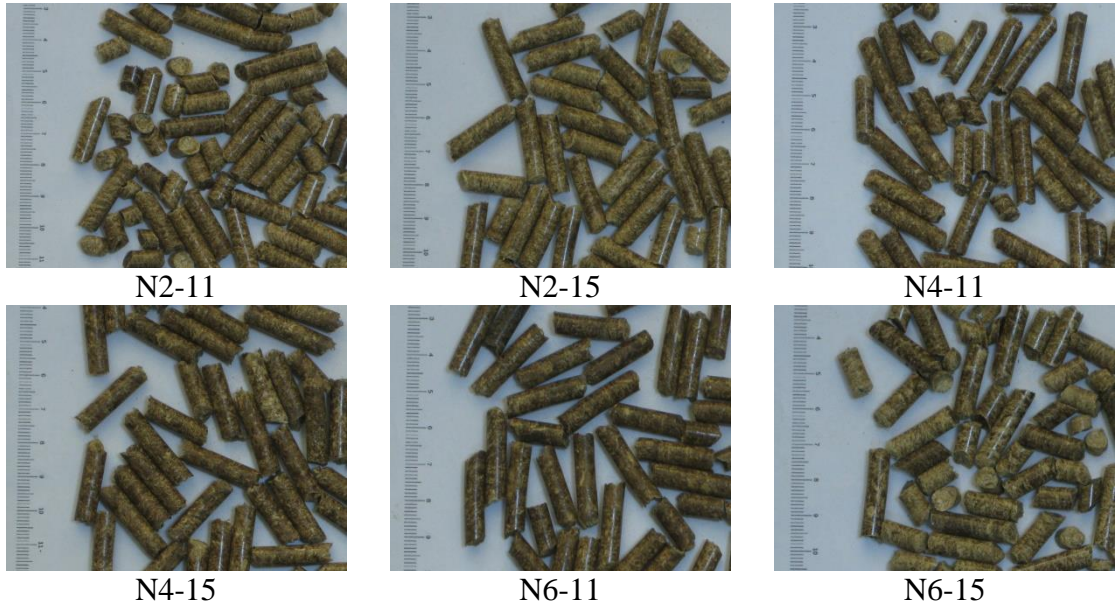
### 4.2. Materyallerin Peletlenmesi

Deneme desenine göre peletleme işlemi yapılmıştır. Peletleme işlemi bittikten sonra sonra kalıp sıcaklığı ölçülmüş ve materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak kalıp sıcaklığının yaklaşık 105-165°C değerleri arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Üretilen peletlerin görünüşleri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilmiştir. Peletlerin ortalama uzunluk, çap ve kütleleri ise Çizelge 4.2’de verilmiştir.

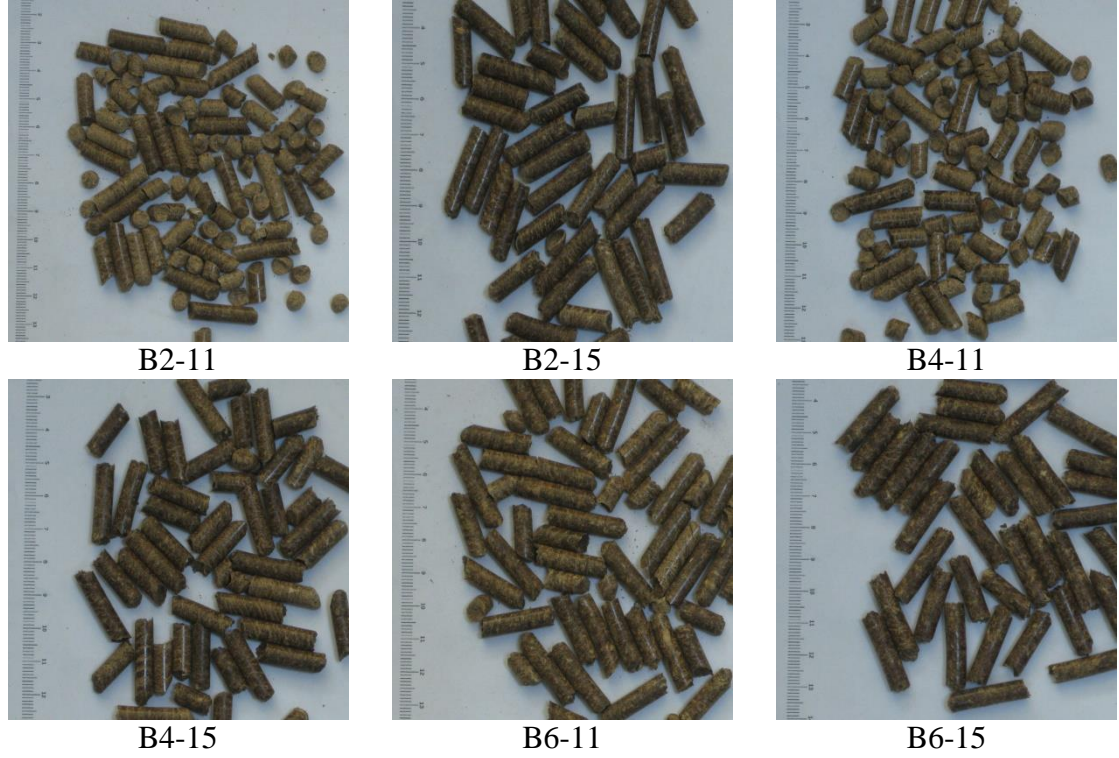


Şekil 4. 1. Zeytin budama artıklarından elde edilen peletler



Şekil 4. 2. Nar budama artıklarından elde edilen peletler





Şekil 4. 3. Bağ budama artıklarından elde edilen peletler

Çizelge 4. 2. Peletlerin ortalama uzunluk, çap ve kütleleri

	Parçacık boyutu (mm)	Nem içeriği (%)	Ortalama pelet uzunluğu (mm)	Ortalama pelet çapı (mm)	Ortalama pelet kütlesi (g)
Zeytin	2	10-12	20.25	6.07	0.72
		14-16	17.69	6.22	0.57
	4	10-12	19.27	6.22	0.64
		14-16	16.52	6.23	0.49
	6	10-12	19.38	6.06	0.65
		14-16	16.85	6.30	0.52
Nar	2	10-12	22,39	6,00	0,85
		14-16	22,08	6,00	0,81
	4	10-12	24,01	6,00	0,89
		14-16	21,18	6,00	0,76
	6	10-12	23,63	6,00	0,87
		14-16	23,38	6,04	0,84
Bağ	2	10-12	19,52	6,00	0,70
		14-16	23,07	6,00	0,83
	4	10-12	20,89	6,00	0,75
		14-16	21,04	6,00	0,75
	6	10-12	22,69	6,04	0,81
		14-16	23,74	6,00	0,83

### 4.3. Üretim Kapasitesi ve Enerji Tüketimi

Deneme desenine göre üretilen peletlerin üretim kapasitesi, materyal parçacık boyutu ve nem içeriğine göre değişmiştir. Zeytin, nar ve bağ peletlerinin makine kapasiteleri Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir. Varyans analiz sonuçları EK-1 ve EK-2’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 3.** Zeytin peletlerinin ortalama üretim kapasiteleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nemi (%)	Üretim kapasitesi (kg.h <sup>-1</sup> )	
2	10-12	60	68
	14-16	76	
4	10-12	63	73
	14-16	83	
6	10-12	67	71
	14-16	75	
			70.56

**Çizelge 4. 4.** Nar peletlerinin ortalama üretim kapasiteleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nemi (%)	Üretim kapasitesi (kg.h <sup>-1</sup> )	
2	10-12	23	28
	14-16	32	
4	10-12	40	43
	14-16	45	
6	10-12	34	38
	14-16	41	
			36.11

**Çizelge 4. 5.** Bağ peletlerinin ortalama üretim kapasiteleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nemi (%)	Üretim kapasitesi (kg.h <sup>-1</sup> )	
2	10-12	40	42
	14-16	43	
4	10-12	35	40
	14-16	46	
6	10-12	59	54
	14-16	49	
			45.83

Materyallerin üretim kapasitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ). Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek üretim kapasitesi zeytin, en düşük ise nar budama artığı materyallerinden elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Materyal parçacık boyutu ve nem içeriğinin üretim kapasitesine etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Materyal çeşidinin peletleme ortalama üretim kapasitesi ve ortalama enerji tüketimi üzerine etkisi

Materyal	Üretim kapasitesi (kg.h <sup>-1</sup> )	Güç tüketimi (kW)	Özgül enerji tüketimi (kWh.t <sup>-1</sup> )
Zeytin	70.56a <sup>z</sup>	7.76a	109.98
Nar	36.11b	8.28b	229.30
Bağ	45.83c	8.30c	181.10
Önemlilik	*		

\*: Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

<sup>z</sup>: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Çizelge 4.7 incelendiğinde materyal parçacık boyutunun ve materyal nem içeriğinin üretim kapasitesi üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek üretim kapasitesi 6 mm elek delik çapında öğütülen materyallerde ve %14-16 materyal nem içeriğinde elde edilmiştir.

Üretim kapasitesi, materyal parçacık boyutunun artması ile artmıştır. Üretim kapasitesi açısından nem içeriğinin %14-16’ya çıkması üretim kapasitesini artırmıştır.

**Çizelge 4. 7.** Parçacık boyutu ve nem içeriğinin ortalama üretim kapasitesi üzerine etkisi

Elek çapı (mm)	Üretim kapasitesi (kg.h <sup>-1</sup> )	Nem (%)	Üretim kapasitesi (kg.h <sup>-1</sup> )
2	45.83a <sup>z</sup>	10-12	47.33a
4	51.72b	14-16	54.67b
6	54.94c		
Önemlilik	*		

\*: Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

<sup>z</sup>: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Üretim kapasitesi materyaller açısından incelendiğinde ise, materyal çeşidi üretim kapasitesini etkilemiştir. Materyaller içerisinde özellikle nar budama artıkları diğerlerine göre daha odunsu bir yapıya sahip olmasına bağlı olarak sert olması, peletleme ünitesinin akım değerini hızlı bir şekilde artırmış, sistemi korumak ve pelet üretiminin durmaması için materyal besleme miktarı düşürülmüştür. Bu durum, nar budama artıklarında üretim kapasitesinin daha düşük olarak elde edilmesine neden olmuştur.

Peletleme denemelerinde zeytin budama atıklarının, diğer materyallere göre bütün parçacık boyutu ve nem içeriklerinde daha kolay peletlendiği gözlemlenmiştir. Bağ budama artıklarında ise peletleme esnasında besleme ünitesinde materyal sıkışmalarına neden olmuştur. Bu durum üretim kapasitesini ve üretilen pelet miktarını olumsuz etkilemiştir.

Zeytin budama artıklarından elde edilen peletler için üretim kapasitesi incelendiğinde nem içeriği arttıkça üretim kapasitesi artmıştır. En yüksek kapasite 83 kg.h<sup>-1</sup> ile %14-16 materyal nem içeriğine ve 4 mm parçacık boyutuna sahip (Z4-15) peletlerde, en düşük üretim kapasitesi ise 60 kg.h<sup>-1</sup> ile %10-12 materyal nem içeriğine ve 2 mm parçacık boyutuna sahip (Z2-11) peletlerde elde edilmiştir.

Nar budama artıklarından elde edilen peletler için üretim kapasitesi incelendiğinde nem içeriği arttıkça üretim kapasitesi artmıştır. En yüksek kapasite 45 kg.h<sup>-1</sup> ile %14-16 materyal nem içeriğine ve 4 mm parçacık boyutuna sahip (N4-15) peletlerde, en düşük üretim kapasitesi ise 23 kg.h<sup>-1</sup> ile %10-12 materyal nem içeriğine ve 2 mm parçacık boyutuna sahip (N2-11) peletlerde elde edilmiştir.

Bağ budama artıklarından elde edilen peletler için üretim kapasitesi incelendiğinde nem içeriği arttıkça üretim kapasitesi artmıştır. Ancak %14-16 materyal nem içeriğine ve 6 mm parçacık boyutuna sahip (B6-15) peletlerde ise durumun aksine üretim kapasitesi düşmüştür. En yüksek kapasite 59 kg.h<sup>-1</sup> ile %10-12 materyal nem içeriğine ve 6 mm parçacık boyutuna sahip (B6-11) peletlerde, en düşük üretim kapasitesi ise 35 kg.h<sup>-1</sup> ile %14-16 materyal nem içeriğine ve 4 mm parçacık boyutuna sahip (B4-11) peletlerde elde edilmiştir.

Enerji tüketim değerlerine bakıldığında ise materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak peletleme makinesinin enerji tüketim değeri 7.49 ile 8.58 kWh arasında değişmiştir. Özgül enerji tüketim değerleri ise üretim kapasitesine bağlı olarak 95.48 ile 351.38 kWh.t<sup>-1</sup> arasında değişmiştir. Nem içeriğinin enerji tüketimi üzerine etkisi her iki materyal için istatistiksel olarak önemsiz olmasına rağmen, yine de %14-16 nem içeriğine sahip materyallerde daha düşük enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak nem içeriğinin artması materyalin kalıp içerisinden geçişini kolaylaştırmış bu da enerji tüketiminin az da olsa azalmasına sebep olmuştur.

#### 4.4. Pelet Fiziksel Özellikleri

Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak peletlerin parça ve yığın yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, basınç direnci (sıkıştırma direnci), nem içeriği, nem alma

durumu belirlenmiştir. Fiziksel test öncesi peletler 7 gün süre ile kapalı ortamda çevre şartlarında bekletilmiştir. Pelet kalitesi ile ilgili bütün testler üç tekerrürlü olarak yapılmış ve ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

#### 4.4.1. Pelet nem içeriği

Peletlerin peletleme makinesinden çıkış nemleri (1. gün) ve 7. gün sonu nem içerikleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde tüm materyallerin peletleme işlemi sırasında sürtünmelere bağlı olarak oluşan sıcaklık yükselmesi nem kayıplarına neden olmuştur. Peletleme işlemi sonunda hızlı bir şekilde nem içeriği düşmüştür.

Avrupa Pelet Konseyi; pelet standartları olarak ENplus-A1 ve ENplus-A2 ve ENplus-B sınıfı üç farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin nem içeriklerinin  $\leq 10$  olması gerektiği belirtilmiştir (EN 14961-2 2015). Bu sonuçlara göre üretilen peletlerin Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 4. 8.** Elde edilen peletlerin peletleme öncesi, sonrası ve 7. gün sonundaki nem içerikleri

Pelet	Peletleme öncesi nem içeriği (%)	Peletleme sonrası nem içeriği (%)	7.gün sonunda nem içeriği (%)
Z2-11	10.61	5.38	6.20 ↑
Z2-15	14.96	10.13	9.50 ↓
Z4-11	10.01	5.88	6.68 ↑
Z4-15	14.50	10.93	8.72 ↓
Z6-11	11.05	5.16	5.14 ↓
Z6-15	15.22	9.75	8.78 ↓
N2-11	11.07	0.64	3.16 ↑
N2-15	15.09	4.06	4.78 ↑
N4-11	10.61	2.30	3.22 ↑
N4-15	14.37	3.80	5.07 ↑
N6-11	10.11	1.40	3.25 ↑
N6-15	14.11	7.07	6.50 ↓
B2-11	10.30	2.74	3.86 ↑
B2-15	15.74	7.44	7.15 ↓
B4-11	11.18	2.95	3.69 ↑
B4-15	14.17	8.13	7.68 ↓
B6-11	10.07	6.33	5.80 ↓
B6-15	15.64	9.59	8.74 ↓

#### 4.4.2. Pelet yığın ve parça yoğunluğu

Deneme desenine göre üretilen peletlerin parça ve yığın yoğunluğu değerleri Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de verilmiştir. Varyans analiz sonuçları EK-1 ve EK-2’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 9.** Zeytin peletlerinin parça ve yığın yoğunluğu değerleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nemi (%)	Parça yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )			Yığın yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )		
2	10-12	1232.30	1145.95	1108.94	683.60	626.02	603.50
	14-16	1059.60			568.44		
4	10-12	1222.88	1101.79	1108.94	627.11	573.92	603.50
	14-16	980.70			520.73		
6	10-12	1159.62	1079.08	1108.94	683.03	610.56	603.50
	14-16	998.54			538.08		

**Çizelge 4. 10.** Nar peletlerinin parça ve yığın yoğunluğu değerleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nemi (%)	Parça yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )			Yığın yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )		
2	10-12	1338.27	1316.93	1296.84	792.55	774.02	749.40
	14-16	1295.58			755.48		
4	10-12	1313.88	1291.56	1296.84	772.70	749.29	749.40
	14-16	1269.24			719.87		
6	10-12	1303.75	1282.04	1296.84	745.36	727.89	749.40
	14-16	1260.33			710.41		

**Çizelge 4. 11.** Bağ peletlerinin parça ve yığın yoğunluğu değerleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nemi (%)	Parça yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )			Yığın yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )		
2	10-12	1275.62	1272.62	1262.14	686.28	692.99	696.47
	14-16	1269.62			699.70		
4	10-12	1272.61	1270.14	1262.14	694.89	705.24	696.47
	14-16	1267.67			715.59		
6	10-12	1250.72	1243.67	1262.14	707.00	691.20	696.47
	14-16	1236.62			675.39		

Materyallerin yığın ve parça yoğunluğu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ). Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek pelet yığın yoğunluğu nar, en düşük ise zeytin budama artığı materyalinde elde

edilmiştir. Pelet parça yoğunluğunda ise en yüksek değer nar, en düşük değer ise zeytin budama artığı materyallerinden elde edilmiştir (Çizelge 4.12).

**Çizelge 4. 12.** Materyal çeşidinin yığın ve parça yoğunluğu üzerine etkisi

Materyal	Pelet yığın yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )	Pelet parça yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )
Zeytin	603.50a <sup>z</sup>	1108.94a
Nar	749.40b	1296.84b
Bağ	696.47c	1262.14c
Önemlilik	*	

\*: Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

<sup>z</sup>: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Literatürde materyal nem içeriğinin pelet parça yoğunluğu ve pelet yığın yoğunluğuna önemli derecede etkilediği belirtilmiştir (Colley 2006; Mani vd. 2006; Liu vd. 2014). Materyal parçacık boyutu ve nem içeriğinin yığın ve parça yoğunluğuna etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 13.** Parçacık boyutu ve nem içeriğinin yığın ve parça yoğunluğuna etkisi

Elek çapı (mm)	Pelet yığın yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )	Pelet parça yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )	Nem (%)	Pelet yığın yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )	Pelet parça yoğunluğu (kg.m <sup>-3</sup> )
2	697.68a	1245.17a	10-12	710.28a	1263.29a
4	675.15b <sup>z</sup>	1204.49b	14-16	655.97b	1181.99b
6	676.54b	1201.60b			
Önemlilik	*				

\*: Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

<sup>z</sup>: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Çizelge 4.13 incelendiğinde materyal parçacık boyutunun ve materyal nem içeriğinin yığın ve parça yoğunluğuna etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek yığın ve parça yoğunluğu 2 mm elek delik çapında öğütülen materyallerden elde edilen peletlerde ve %10-12 materyal nem içeriğinde elde edilen peletlerde tespit edilmiştir. Yığın ve parça yoğunluğu, materyal parçacık boyutunun ve nem içeriğinin artması ile azalmıştır.

Zeytin budama artıklarından elde edilen peletler için yığın ve parça yoğunluğu incelendiğinde nem içeriği arttıkça yığın ve parça yoğunluğu azalmış, en yüksek yığın ve parça yoğunluğu sırasıyla 683.60 kg.m<sup>-3</sup> ve 1232.30 kg.m<sup>-3</sup>, en düşük yığın ve parça

yoğunluğu ise sırasıyla 520.73 kg.m<sup>-3</sup> ve 980.70 kg.m<sup>-3</sup> olarak tespit edilmiştir. Peletlerin yığın ve parça yoğunlukları, materyal nem içeriğine bağlı olarak materyal yoğunluğunun sırasıyla 2.1 ve 3.9 katı olduğu tespit edilmiştir.

Nar budama artıklarından elde edilen peletler için yığın ve parça yoğunluğu incelendiğinde nem içeriği arttıkça yığın ve parça yoğunluğu azalmış, en yüksek yığın ve parça yoğunluğu sırasıyla 792.55 kg.m<sup>-3</sup> ve 1338.27 kg.m<sup>-3</sup>, en düşük yığın ve parça yoğunluğu ise sırasıyla 710.41 kg.m<sup>-3</sup> ve 1260.33 kg.m<sup>-3</sup> olarak tespit edilmiştir. Peletlerin yığın ve parça yoğunlukları, materyal nem içeriğine bağlı olarak materyal yoğunluğunun sırasıyla 2.3 ve 4.0 katı olduğu tespit edilmiştir.

Bağ budama artıklarından elde edilen peletler için yığın ve parça yoğunluğu incelendiğinde nem içeriği arttıkça yığın ve parça yoğunluğu azalmış, en yüksek yığın ve parça yoğunluğu sırasıyla 715.59 kg.m<sup>-3</sup> ve 1275.62 kg.m<sup>-3</sup>, en düşük yığın ve parça yoğunluğu ise sırasıyla 675.39 kg.m<sup>-3</sup> ve 1236.62 kg.m<sup>-3</sup> olarak tespit edilmiştir. Peletlerin yığın ve parça yoğunlukları, materyal nem içeriğine bağlı olarak materyal yoğunluğunun sırasıyla 3.2 ve 5.8 katı olduğu tespit edilmiştir.

Larsson ve Rudolfsson (2012) farklı nem içeriklerine sahip biyokütle materyallerinden ürettikleri peletlerde en yüksek pelet yığın yoğunluğuna en düşük materyal nem içeriğinde ulaşmışlardır. Colley (2006), Mani vd. (2006), Liu vd. (2014) ise materyal nem içeriğinin pelet yığın ve parça yoğunluğuna etkisinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Pelet yoğunluğu, pelet kalitesiyle doğrudan ilişkili olduğundan, materyal nem içeriğinin artması pelet kalitesini düşürmüş ve yoğunluğunu azaltmıştır. Materyal nem içeriklerinin pelet yığın ve parça yoğunluğu üzerine etkisi için elde edilen sonuçlar literatür verileri ile uyumluluk göstermiştir.

Avrupa Pelet Konseyi tarafından pelet kalitesi ile ilgili standartlarda yoğunluk olarak yığın yoğunluğu, pelet çapı ve pelet uzunluğu dikkate alınmıştır. Avrupa Konseyi tarafından belirlenen ENplus-A1, Enplus-A2 ve ENplus-B sınıfı pelet standartlarında pelet yığın yoğunluğunun 600 ile 750 kg.m<sup>-3</sup> arasında olması, pelet uzunluğunun ise 3.15-40 mm arasında olması gerektiği belirtilmiştir (EN 14961-2 2015). Zeytin, nar ve bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yığın yoğunluğu ve pelet uzunluğu bakımından Avrupa Konseyi tarafından belirlenen standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

#### 4.4.3. Pelet mekanik dayanıklılık direnci

Mekanik dayanıklılık direnci, peletlerin özellikle mekanik veya pnömatik sistemlerle taşınma özelliklerinin tanımlanması açısından önemlidir. İmalat sanayisinde mekanik dayanıklılık direnci yüksek olan peletler, yüksek kaliteli peletler olarak ifade edilmektedir (Kaliyan ve Morey 2009). Peletlerin mekanik dayanıklılık direnci testi öncesi ve sonrası görünümü Şekil 4.4'de verilmiştir. Varyans analiz sonuçları EK-1 ve Ek-2'de verilmiştir.





**Şekil 4.4.** Bağ peletlerinin mekanik dayanıklılık direnci testi öncesi ve sonrası görünümü

Deneme desenine göre üretilen peletlerin mekanik dayanıklılık dirençleri Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’de verilmiştir.

Materyallerin mekanik dayanıklılık direnci üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ). Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek mekanik dayanıklılık direnci nar, en düşük ise bağ budama artığı materyallerinden elde edilmiştir (Çizelge 4.17).

**Çizelge 4. 14.** Zeytin peletlerinin mekanik dayanıklılık dirençleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nemi (%)	Mekanik dayanıklılık direnci (%)		
2	10-12	98.94	97.83	96.60
	14-16	96.73		
4	10-12	98.30	95.72	
	14-16	93.15		
6	10-12	98.81	96.25	
	14-16	93.69		

**Çizelge 4. 15.** Nar peletlerinin mekanik dayanıklılık dirençleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nemi (%)	Mekanik dayanıklılık direnci (%)		
2	10-12	96.52	94.94	96.63
	14-16	93.37		
4	10-12	96.71	97.58	
	14-16	98.45		
6	10-12	97.44	97.38	
	14-16	97.31		

**Çizelge 4. 16.** Bağ peletlerinin mekanik dayanıklılık dirençleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nemi (%)	Mekanik dayanıklılık direnci (%)		
2	10-12	78.26	87.44	91.30
	14-16	96.62		
4	10-12	81.55	89.35	
	14-16	97.15		
6	10-12	95.34	97.11	
	14-16	98.88		

Tabil ve Sokhansanj (1996) ve Tabil ve Sokhansanj (1997) pelet mekanik dayanıklılık direncinin %80 ve üzeri olması durumunda pelet kalitesinin iyi olduğunu belirtmiştir. Avrupa Pelet Konseyi ise ENplus-A1 sınıfı pelet standartlarında mekanik dayanıklılık direncinin  $\geq 98$ , ENplus-A2 ve ENplus-B sınıfı pelet standartlarında ise  $\geq 97.5$  olması gerektiği belirtilmiştir (EN 14961-2 2015). Mekanik dayanıklılık dirençleri açısından zeytin ve nar budama artıklarından üretilen peletlerin ilgili standartlara uygun olduğu, bağ budama artıklarından üretilen peletlerin % 91 civarındaki dayanımları ile bu standartların altında kaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ilgili standardardın odunsu yapıya sahip biyokütleler için olduğu, bağ budama artıklarının ise lifli bir yapıda olması gösterilebilir.

**Çizelge 4. 17.** Materyal çeşidinin mekanik dayanıklılık direnci üzerine etkisi

Materyal	Mekanik dayanıklılık direnci (%)
Zeytin	96.60a <sup>z</sup>
Nar	96.63a
Bağ	91.30b
Önemlilik	*

\*: Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

<sup>z</sup>: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Materyal parçacık boytu arttıkça mekanik dayanıklılık direnci artmaktadır. Aynı şekilde materyal nem içeriğinin artması mekanik dayanıklılık direncini arttırmıştır (Çizelge 4.18).

**Çizelge 4. 18.** Parçacık boyutu ve nem içeriğinin mekanik dayanıklılık direncine etkisi

Elek çapı (mm)	Mekanik dayanıklılık direnci (%)	Nem (%)	Mekanik dayanıklılık direnci (%)
2	93.40a <sup>z</sup>	10-12	93.54a
4	94.22b	14-16	96.15b
6	96.91c		
Önemlilik	*		

\*: Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

<sup>z</sup>: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

#### 4.4.4. Peletlerin basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci

Zeytin, nar ve bağ budama artıklarından 2 farklı nem içeriğine (%10-12 ve %14-16) ve 3 farklı parçacık boyutuna (2, 4, 6 mm) sahip materyallerden elde edilen peletlerin basınç direncinin belirlenmesi kalite açısından önemli bir parametredir. Sertlik değeri en yüksek olan pelet, yüksek kaliteli pelet olarak değerlendirilir (Celma vd. 2012). Peletlerin test öncesi ve sonrası görünüşleri Şekil 4.5 'de verilmiştir. Varyans analiz sonuçları EK-1 ve EK-2'de verilmiştir.

**Şekil 4.5.** Zeytin peletlerinin basınç test öncesi ve sonrası görünüşleri

Materyallerin basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir ( $p < 0.05$ ). Ancak parçacık boyutunun etkisi istatistiksel olarak önemsizdir. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direncinin en yüksek değeri zeytin, en düşük değeri ise nar budama artığı materyallerinden elde edilmiştir (Çizelge 4.19 ve 4.20).

**Çizelge 4. 19.** Materyal çeşidinin basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi

Materyal	Basınç direnci (N)	Özgül basınç direnci (N.mm <sup>-1</sup> )	Gerilme direnci (MPa)
Zeytin	594.14a <sup>z</sup>	30.76a	3.18a
Nar	489.78b	21.04b	2.23b
Bağ	508.42b	22.30b	2.36b
Önemlilik	*		

\*: Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

<sup>z</sup>: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

**Çizelge 4. 20.** Parçacık boyutunun basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi

Elek Çapı (mm)	Basınç direnci (N)	Özgül basınç direnci (N.mm <sup>-1</sup> )	Gerilme direnci (MPa)
2	532.40a <sup>z</sup>	24.90a	2.62a
4	529.98a	25.05a	2.63a
6	529.96a	24.14a	2.53a
Önemlilik	*		

\*: Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

<sup>z</sup>: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Bergström vd. (2008), farklı biyokütle peletleri için belirlenen özgül basınç direnci değerlerinin 40.1-61.2 N.mm<sup>-1</sup> arasında olduğunu bildirmiştir. Gilbert vd. (2009) tarafından farklı biyokütle materyallerinden elde edilen peletlerin gerilme direnci değerleri 0.13-0.48 MPa arasında olduğu, Liu vd. (2014) tarafından farklı biyokütle ve karşım örneklerinden elde edilen peletlerin ise 0.96-7.50 MPa arasında olduğu belirtilmiştir. Budama artıklarından elde edilen peletlerin özgül basınç direnci ve gerilme direnci değerleri literatür verileri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

#### 4.4.5. Peletlerin nem alma durumu

Saklama ve depolama koşullarının belirlenmesinde pelet nem içeriği oldukça önemlidir. Nem alma durumlarına bakılarak özellikle düşük neme sahip peletlerin yüksek nem koşullarına maruz bırakılmaması gerekmektedir. Materyallerin nem alma durumu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05). Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre nem alma durumu en yüksek değeri zeytin, en düşük değeri ise nar budama artığı materyallerinden elde edilmiştir (Çizelge 4.21 ve 4.22).

**Çizelge 4. 21.** Materyal çeşidinin nem alma durumu üzerine etkisi

Materyal	Nem Alma (%)
Zeytin	14.28a <sup>z</sup>
Nar	10.37b
Bağ	12.46c
Önemlilik	*

\*:Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

<sup>z</sup>:Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

**Çizelge 4. 22.** Parçacık boyutunun nem alma durumu üzerine etkisi

Elek Çapı (mm)	Nem Alma (%)
2	12.62a <sup>z</sup>
4	12.67a
6	11.81b
Önemlilik	*

\*:Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %5 alfa düzeyinde önemlidir.

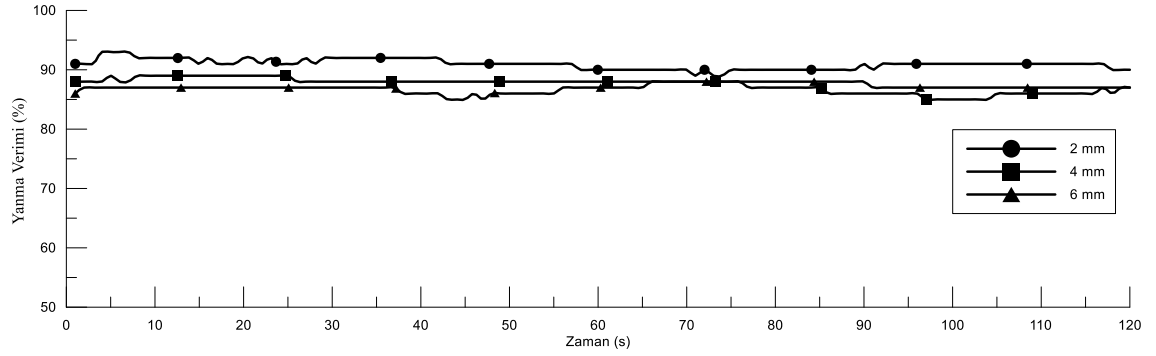
<sup>z</sup>:Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Peletlerin nem alma durumları genel olarak incelendiğinde saklama ve depolama koşullarındaki sıcaklık ve nem değerleri ile pelet nem içeriğine bağlı olarak nem kaybetme veya nem alma durumu ortaya çıkmaktadır. Uzun süreli saklama ve depolama durumunda peletlerin su ile teması önlenerek yüksek nemli ortamlardan uzak tutulmalıdır. Nemin ve suyun oluşturacağı olumsuz etkilerin önüne geçmek için peletler uygun saklama ve depolama koşullarında tutulmalıdır. Ayrıca hava ve su geçirmez şekilde paketlenmelidir.

#### 4.5. Pelet Yanma Performansları

##### 4.5.1. Zeytin peletlerinin yanma performansları

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin, eşitlik 3.5'e göre belirlenen ve cihazdan okunan yanma verimlerinin %70 ile 93 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. En yüksek yanma verimi %93 ile 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük yanma verimi ise %73 ile 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin verim dağılımları Şekil 4.6'de verilmiştir.



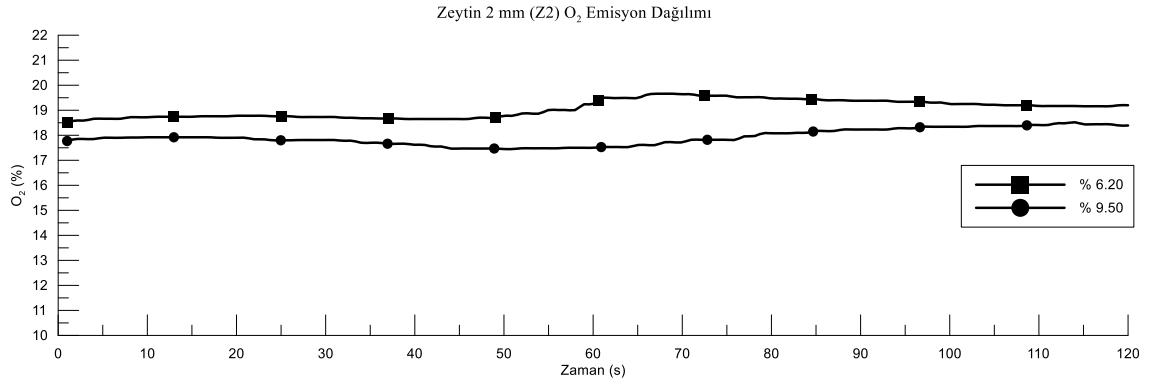
**Şekil 4. 6.** %10-12 materyal nem içeriğindeki zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin yanma verim dağılımları

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin yanması sonucu tespit edilen verim değerleri, Al-Widyan vd. (2006) ile Permchart ve Koupryanov (2004) tarafından farklı biyokütle örneklerinin yakılması ile elde edilen %69-82 arasındaki yanma verimi değerleri ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.

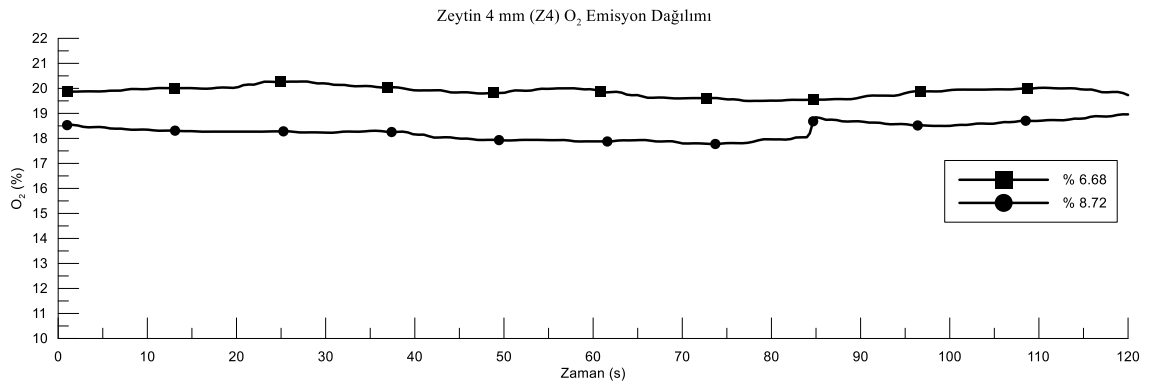
#### 4.5.1.1. O<sub>2</sub> emisyonları

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazındaki O<sub>2</sub> emisyonu değerleri %16.28 ile %21.08 aralığında değişim göstermiştir. En yüksek O<sub>2</sub> emisyonu %21.08 ile 4 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük O<sub>2</sub> emisyonu ise %16.28 ile 6 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Bu durum materyal parçacık boyutunun artmasının yanmayı olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Ancak 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nem içeriğine sahip peletlerde O<sub>2</sub> emisyon değeri ölçüm sınırlarının dışında kalarak havadaki oksijen değerine yakın olan %20-21 aralığında kalmıştır (Şekil 4.9 ve Şekil 4.11). Bunun nedeni bu şartlar altında peletlerin verimli yanmadığıdır.

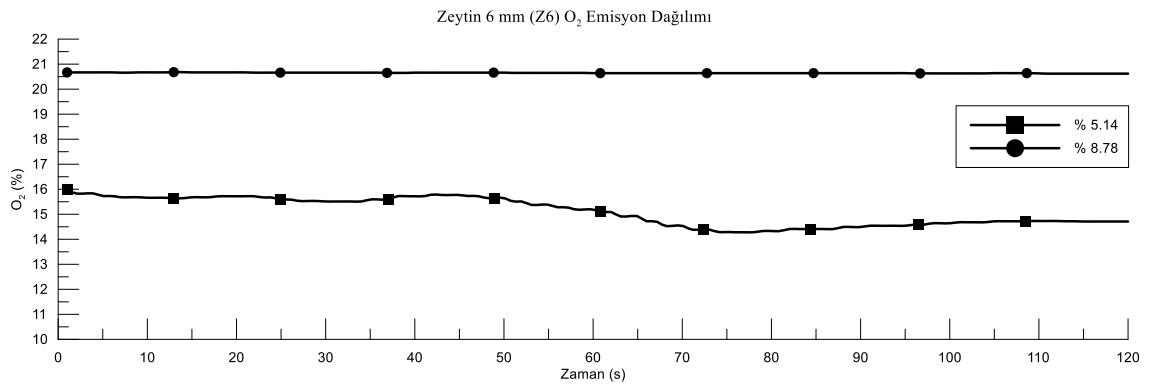
Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre O<sub>2</sub> emisyonları değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artması ile O<sub>2</sub> emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. 2, 4 ve 6 mm paracık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmiştir.



**Şekil 4. 7.** 2 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

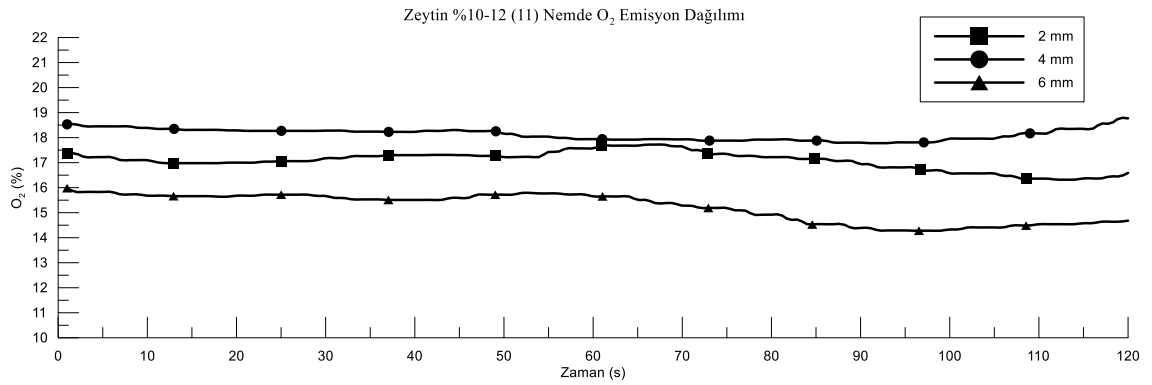


**Şekil 4. 8.** 4 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

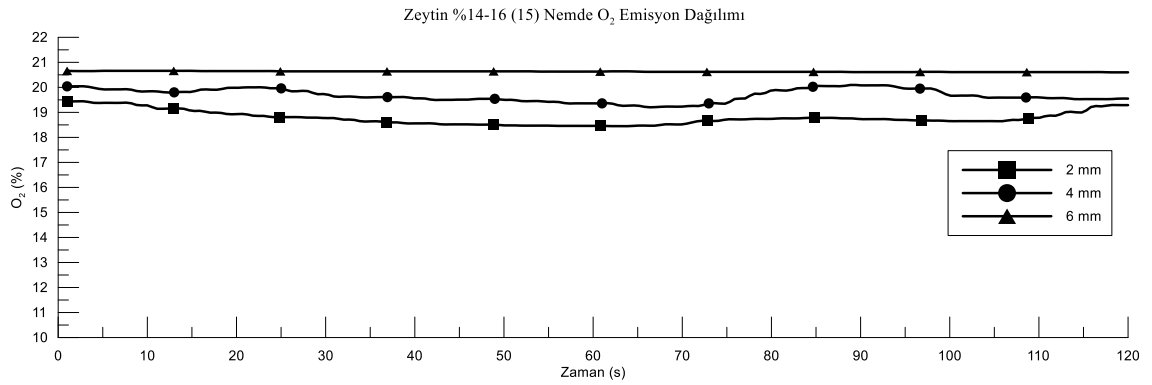


**Şekil 4. 9.** 6 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre aynı nemde O<sub>2</sub> emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutu arttıkça baca gazındaki O<sub>2</sub> emisyonunun arttığı görülmektedir. Ancak %10-12 nem içeriğine ve 6 mm parçacık boyutuna sahip peletler için artış %10-12 nem içeriğine ve 4 mm parçacık boyutuna sahip peletlerin altında kalmıştır. Baca gazındaki O<sub>2</sub> oranının düşüşü, pelet yanmasının parçacık boyutunun küçülmesi ile olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre emisyon dağılımları Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.



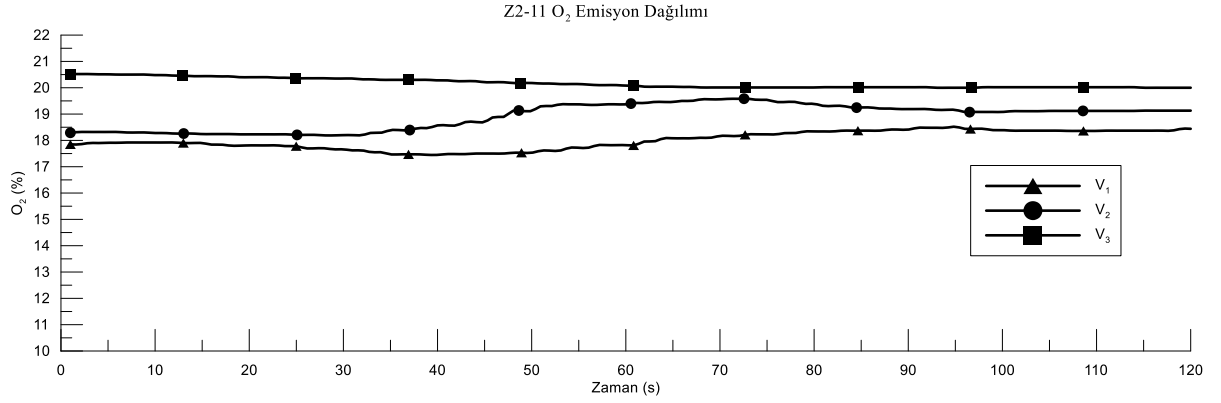
**Şekil 4.10.** %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları



**Şekil 4. 11.** %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

Zeytin budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında (6, 9 ve 11 m.s<sup>-1</sup>) yakılması sonucu ortaya çıkan O<sub>2</sub> emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artması, O<sub>2</sub> emisyon değerinin artmasına neden olmuştur. 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları Şekil 4.12’de verilmiştir.



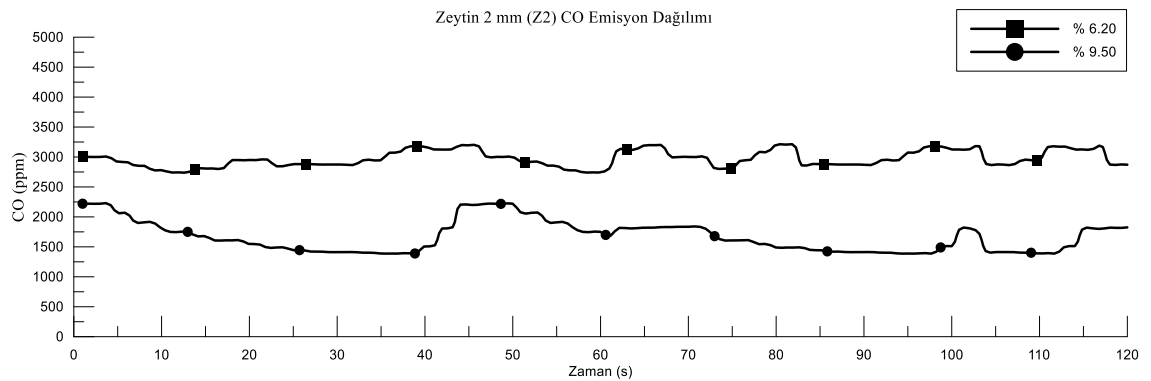


**Şekil 4. 12.** 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

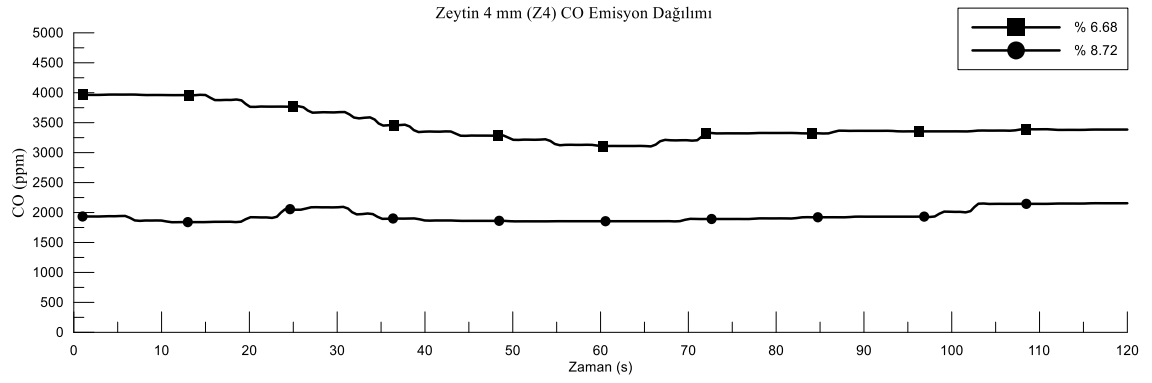
#### 4.5.1.2. CO emisyonları

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazındaki CO emisyonu değerleri 103 ile 4123 ppm aralığında değişim göstermiştir. En yüksek CO emisyonu 4123 ppm ile 4 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük CO emisyonu ise 103 ppm ile 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Bu durum materyal parçacık boyutunun artması, CO emisyonu değerlerinin düştüğünü ve yanma verimin arttığını göstermiştir.

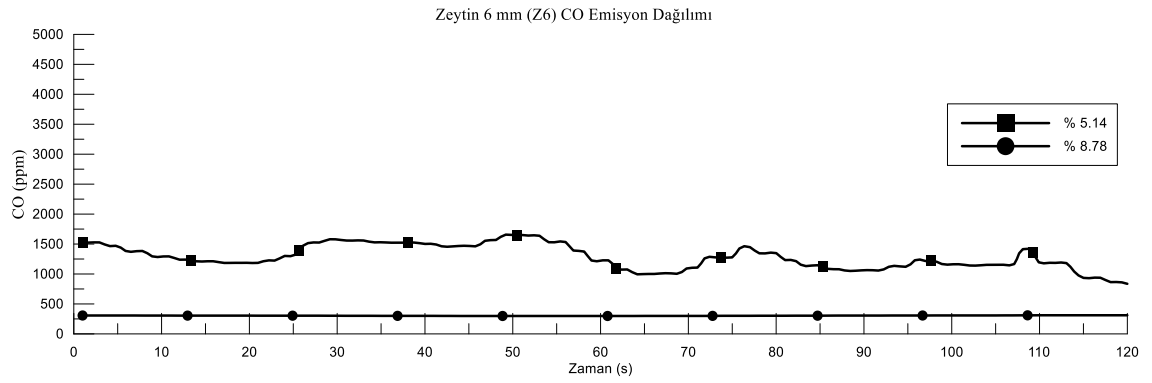
Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre CO emisyonları değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artması ile CO emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. 2, 4 ve 6 mm parçacık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre emisyon dağılımları Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 'de verilmiştir.



**Şekil 4. 13.** 2 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları

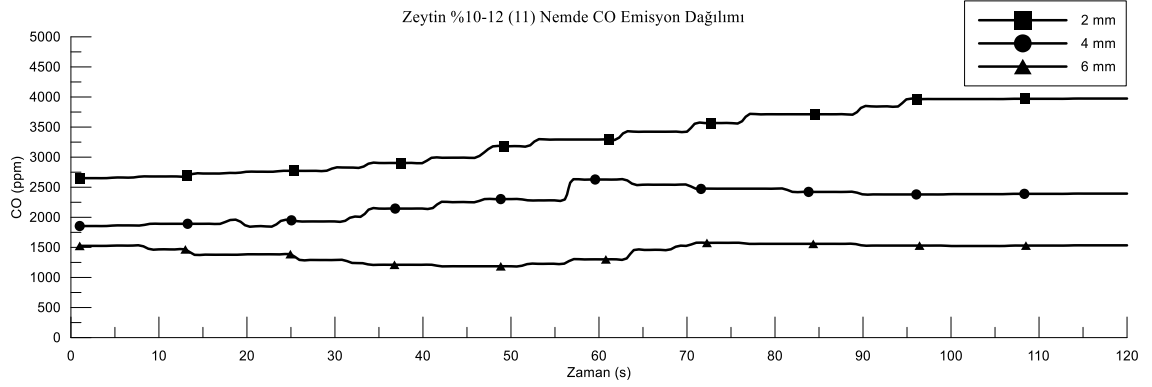


**Şekil 4.14.** 4 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları

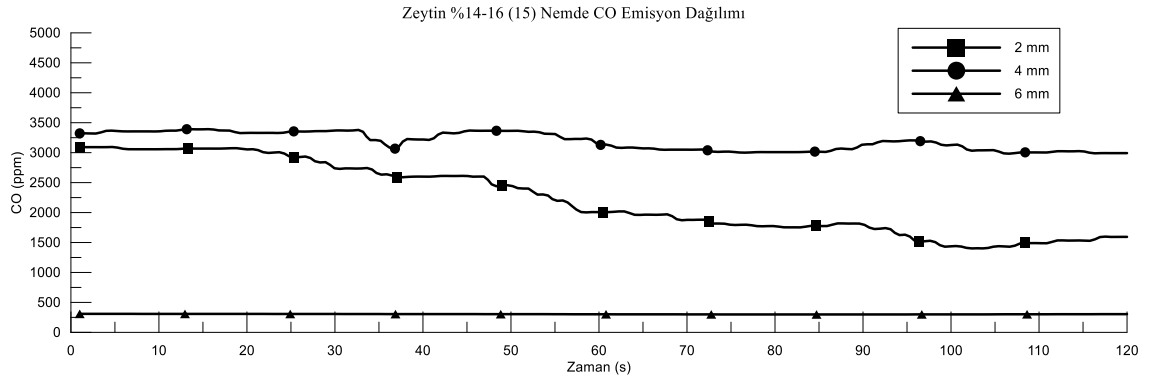


**Şekil 4.15.** 6 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre CO emisyonları değerlendirildiğinde; %10-12 nem içeriğinde materyal parçacık boyutu arttıkça baca gazındaki CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. %14-16 nem içeriğinde ise tersi bir durum gözlenmiştir. Ayrıca 6 mm parçacık boyuna sahip ve %14-16 nem içeriğindeki peletlerde verimli yanma olmadığı için CO değerleri sağlıklı şekilde alınamamıştır. Baca gazındaki CO oranının düşüşü, iyi yanmanın olduğunu ve pelet yanmasının parçacık boyutu ile olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre emisyon dağılımları Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de verilmiştir.

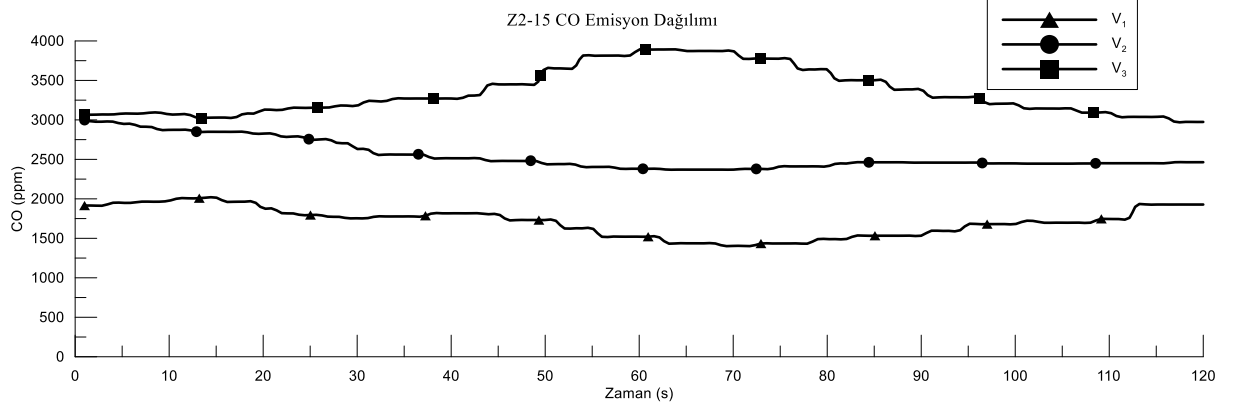


**Şekil 4.16.** %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları



**Şekil 4. 17.** %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları

Zeytin budama artıklarında üretilen pelletler 3 farklı fan üfleme hızında (6, 9 ve 11 m.s<sup>-1</sup>) yakılması sonucu ortaya çıkan CO emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artması, CO emisyon değerini artmasına neden olmuştur. Böylece fan üfleme hızının artması, yanmanın olumsuz yönde etkilendiğini göstermiştir. 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre CO emisyon dağılımları Şekil 4.18’de verilmiştir.



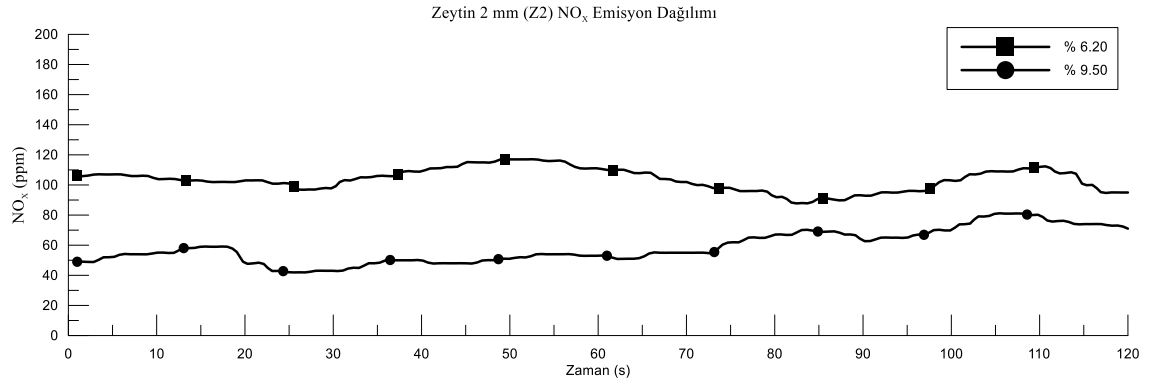
**Şekil 4.18.** 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre CO emisyon dağılımları

Garcia-Maraver vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; zeytin budama artıklarının CO emisyon değerlerinin 1300-1900 ppm arasında olduğu belirtilmiştir. Du vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada; emisyon ölçümlerindeki farklılıkların nedenlerinin, deney ortamı, yakma teknolojisi, yakıt özellikleri ve test protokolleri olarak belirtilmiştir.

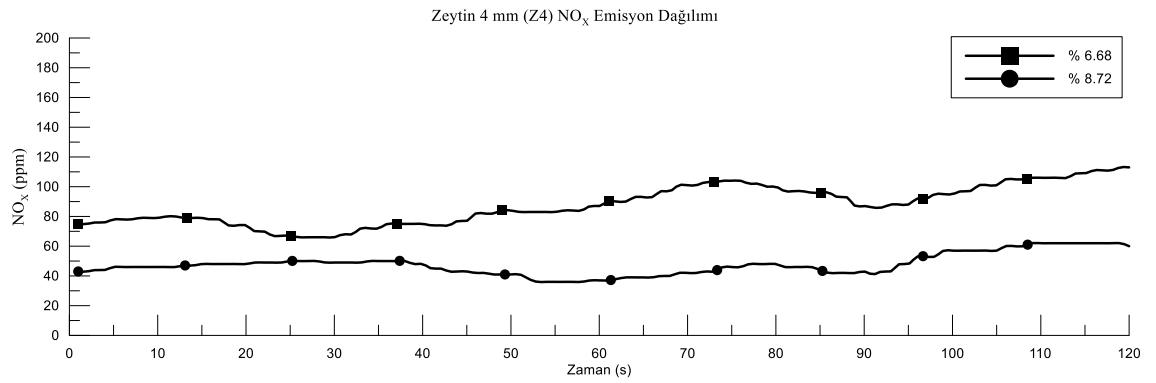
#### 4.5.1.3. NO<sub>x</sub> emisyonları

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazındaki NO<sub>x</sub> emisyonu değerleri 6 ile 103 ppm aralığında değişim göstermiştir. En yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu 103 ppm ile 6 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük NO<sub>x</sub> emisyonu ise 6 ppm ile 4 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin NO<sub>x</sub> emisyon değerleri irdelendiğinde çevresel açıdan iyi bir sonuç ortaya çıkmıştır.

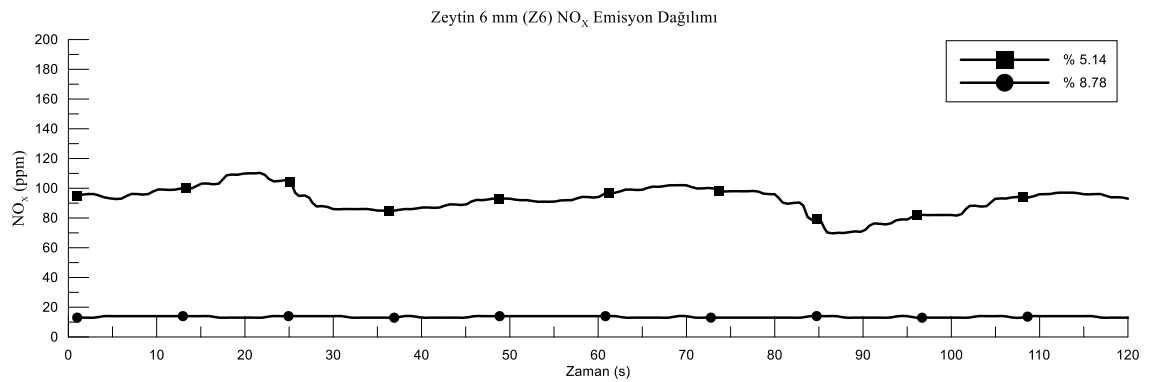
Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre NO<sub>x</sub> emisyonları değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyon değerleri düşmüştür. Bu durum ise çevresel açıdan iyi bir sonuç olup pelet nem içeriğinin önemini ortaya koymuştur. 2, 4 ve 6 mm paracık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre emisyon dağılımları Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.



**Şekil 4.19.** 2 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

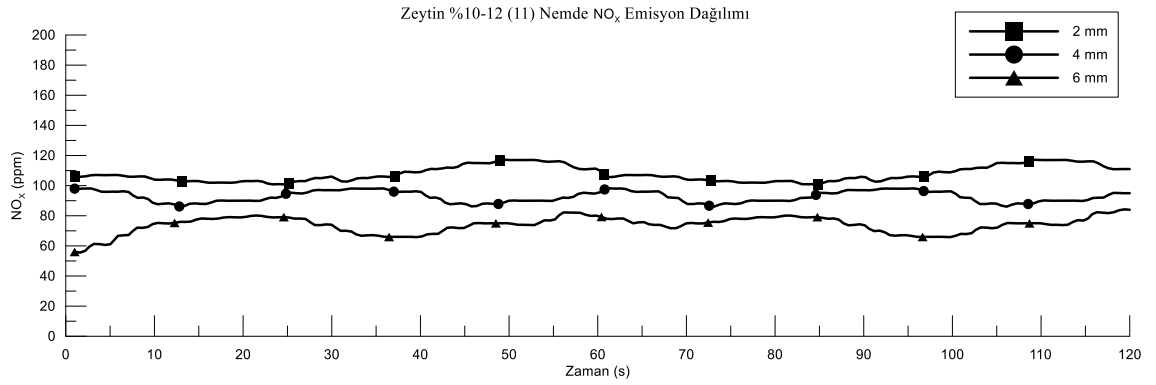


**Şekil 4.20.** 4 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

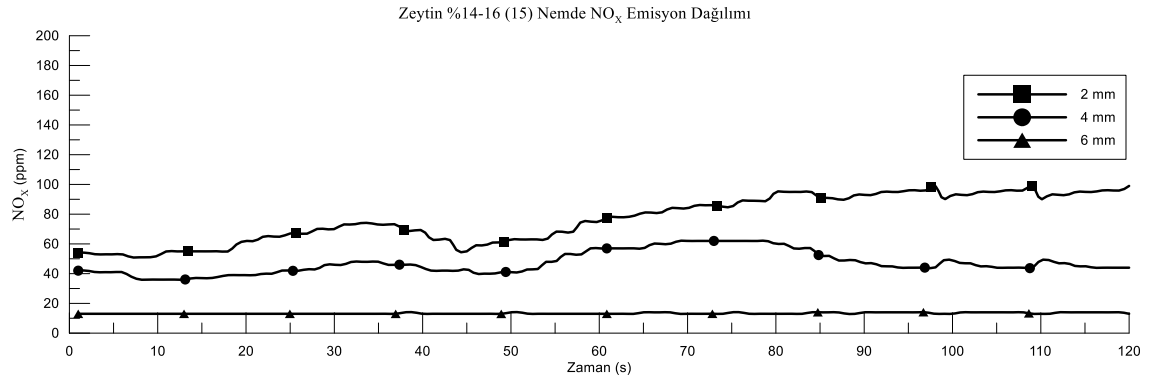


**Şekil 4.21.** 6 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre  $\text{NO}_x$  emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutunun artması baca gazındaki  $\text{NO}_x$  emisyonunun azalmasına neden olmuştur. Baca gazındaki  $\text{NO}_x$  oranının düşük olması çevresel açıdan istenen bir durumdur. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre emisyon dağılımları Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de verilmiştir.

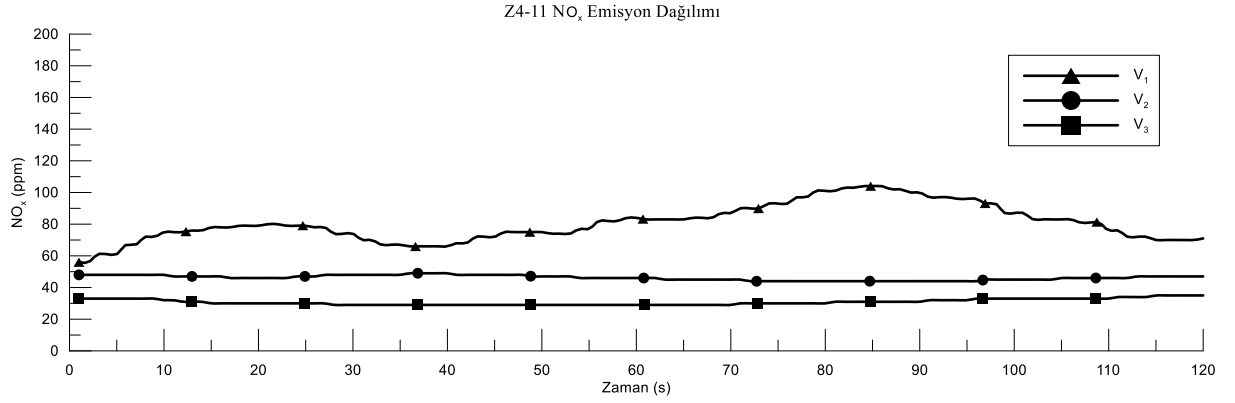


**Şekil 4.22.** %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre  $\text{NO}_x$  emisyon dağılımları



**Şekil 4.23.** %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre  $\text{NO}_x$  emisyon dağılımları

Zeytin budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında ( $6, 9$  ve  $11 \text{ m.s}^{-1}$ ) yakılması sonucu ortaya çıkan  $\text{NO}_x$  emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla  $\text{NO}_x$  emisyon değerleri düşmüştür.  $4 \text{ mm}$  parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre  $\text{NO}_x$  emisyon dağılımları Şekil 4.24’de verilmiştir.

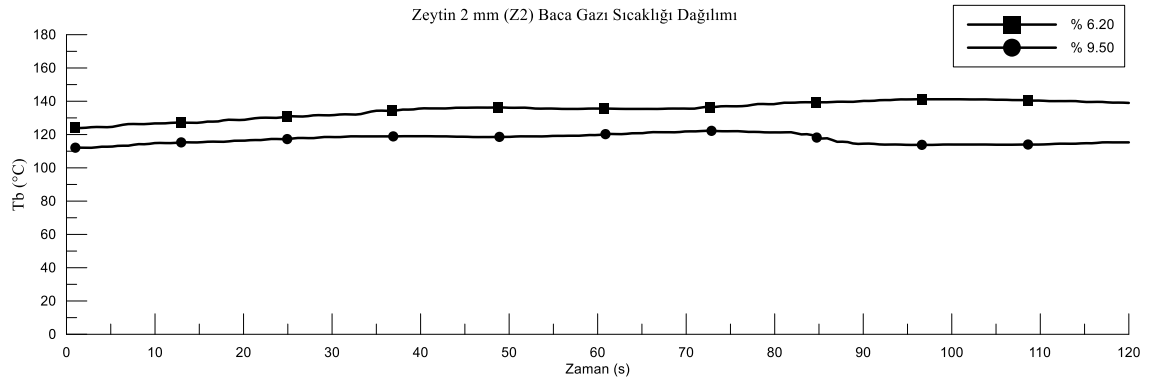


**Şekil 4.24.** 4 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

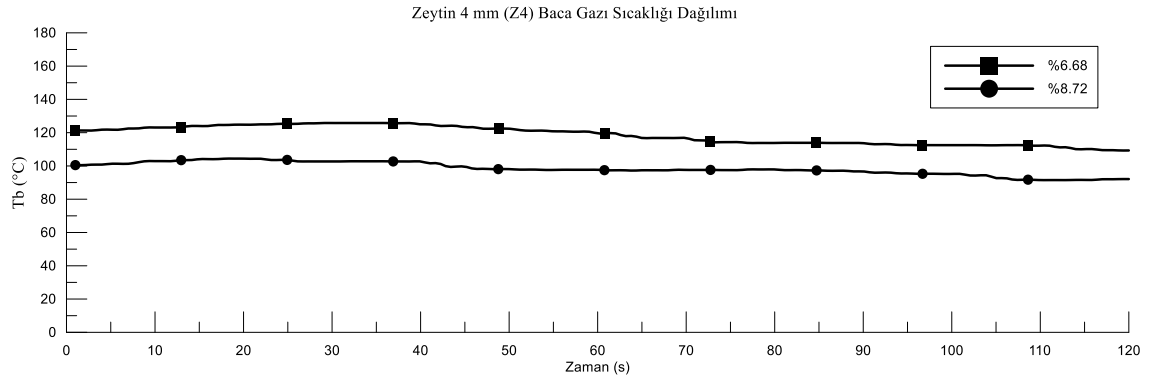
#### 4.5.1.4. Baca gazı sıcaklığı

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazı sıcaklığı değerleri 63 ile 175 °C aralığında değişim göstermiştir. En yüksek baca gazı sıcaklığı 175 °C ile 6 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük baca gazı sıcaklığı ise 63 °C ile 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin baca gazı sıcaklığı değerleri irdelendiğinde yanma performansı açısından materyal parçacık boyutununun artışı baca gazı sıcaklığının artmasına neden olmuştur. Bu durum ise yanma performansı açısından istenmeyen bir sonuçtur.

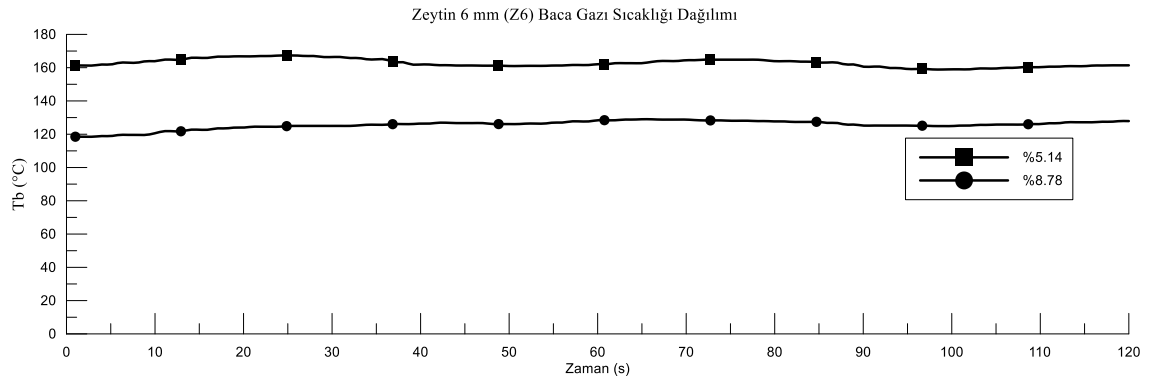
Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre baca gazı sıcaklığı verileri değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artmasıyla baca gazı sıcaklığı düşmüştür. Bu durum da yanma performansı açısından olumlu bir sonuçtur. 2, 4 ve 6 mm parçacık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilmiştir.



**Şekil 4. 25.** 2 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları



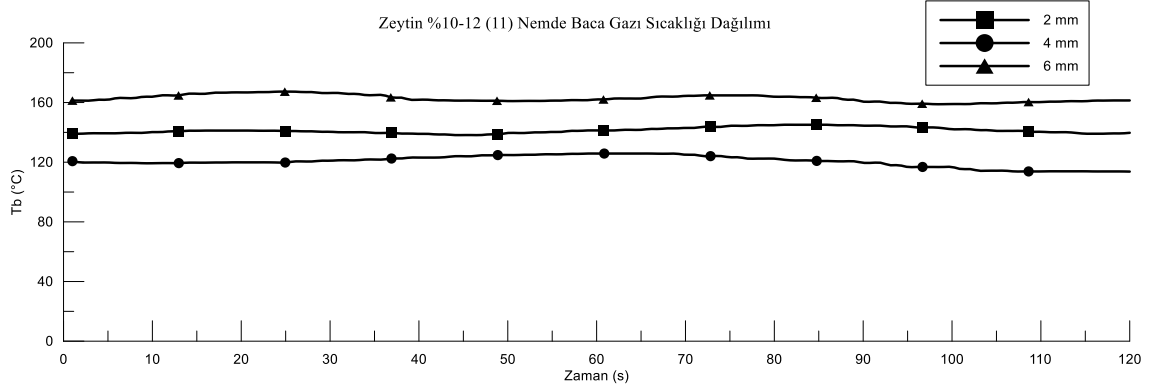
**Şekil 4. 26.** 4 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları



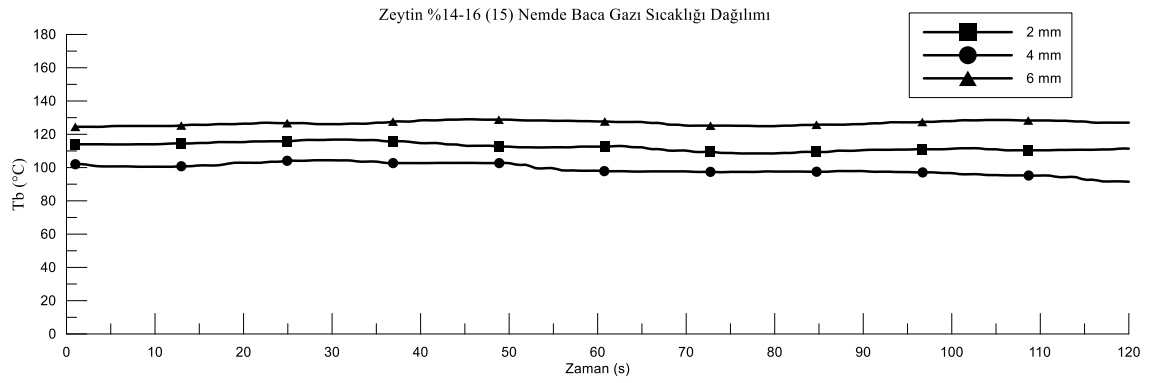
**Şekil 4. 27.** 6 mm parçacık boyutuna sahip zeytin budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı verileri değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutunun artması, 4 mm parçacık boyuna sahip peletler hariç olmak üzere, baca gazı sıcaklığının artmasına neden olmuştur. 4 mm parçacık boyutundaki farklılığın sebebi; materyal içeriğindeki uçucu maddelerin paracık boyutuna göre farklılık göstermesiyle açıklanabilir. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilmiştir.



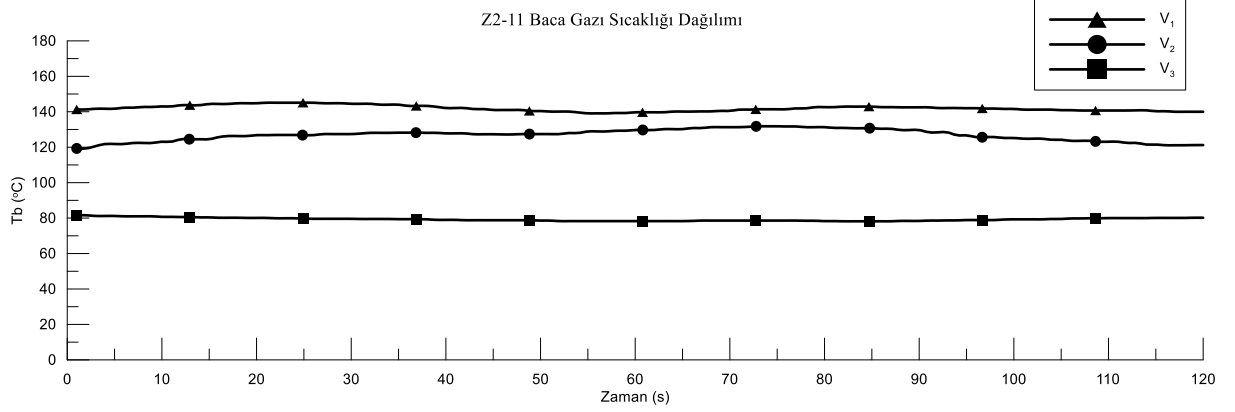


**Şekil 4. 28.** %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları



**Şekil 4. 29.** %14-16 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

Zeytin budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında (6, 9 ve 11 m.s<sup>-1</sup>) yakılması sonucu ortaya çıkan baca gazı sıcaklığı verileri irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla baca gazı sıcaklığı düşmüştür. Baca gazı sıcaklığının düşük olması yanma performansı açısından istenen bir sonuçtur. 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.30’de verilmiştir.



**Şekil 4. 30.** 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip zeytin budama artıklarının fan üfleme hızına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

Baca gazı sıcaklığının gereğinden yüksek olması, yanma sonucu elde edilen enerjinin önemli bir kısmının baca ile atmosfere atıldığını göstermiştir. Yanma performansı açısından baca gazı sıcaklığının düşük olması gerekmektedir. Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin baca gazı sıcaklığı değerlerinin, literatürde belirtilen değerlerden düşük çıkması geleneksel sobalar yerine pelet sobası kullanımının avantajını ortaya koymasından önemlidir (Winikka ve Gebart 2004, Bilgin vd. 2013).

Sonuç olarak 2 farklı nem içeriğine (%10-12 ve %14-15) ve 3 farklı parçacık boyutuna (2, 4, 6 mm) sahip zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin yanma performansları; pelet nemi, materyal parçacık boyutu ve fan üfleme hızı bağlamında irdelenmiştir.

Zeytin budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre baca gazı emisyonları değerlendirildiğinde; pelet nem içeriğinin artmasıyla, O<sub>2</sub> emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. Aynı şekilde CO emisyonlarının düşmesiyle tam yanma ortaya çıkmakta ve yanmanın olumlu yönde olduğunu desteklemektedir. Pelet nem içeriğinin artmasıyla, NO<sub>x</sub> emisyon değerleri düşmüştür. Bu durum ise çevresel açıdan bakıldığında iyi bir sonuçtur. Aynı şekilde pelet nem içeriğinin artması baca gazı sıcaklığı değerlerini düşürmüştür.

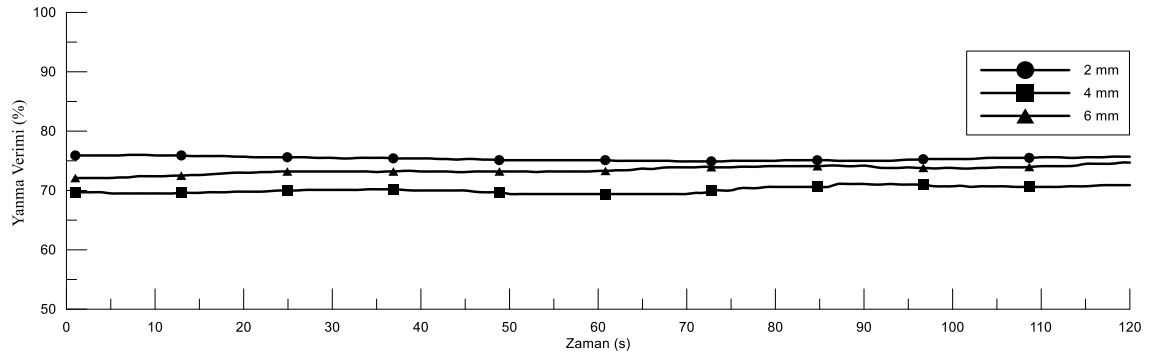
Materyal parçacık boyutuna göre baca gazı emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutunun artmasıyla, O<sub>2</sub> emisyonları artmakta ve yanma olumsuz yönde etkilenmektedir. Aynı şekilde CO emisyonlarının artmasıyla eksik yanma ortaya çıkmakta ve yanma olumsuz yönde desteklenmektedir. Aynı şekilde materyal parçacık boyutunun artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyon değerleri de düşmüştür. Bu durum ise çevresel açıdan bakıldığında olumlu bir sonuçtur. Baca gazı sıcaklığı değerlerine bakıldığında ise materyal parçacık boyutunun artması baca gazı sıcaklığını arttırmıştır.

Üretilen peletlerin 3 farklı fan üfleme hızında yakılması sonucu ortaya çıkan baca gazı emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artması, O<sub>2</sub> emisyon değerinin artmasına neden olmuştur. Bu durum ise yanmayı olumsuz yönde etkilemiştir. Aynı şekilde CO emisyonlarının yükselmesiyle eksik yanma ortaya çıkmakta ve yanmanın olumsuz yönde olduğunu desteklemektedir. Ancak NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinde tersi bir

durum gözlemlenmiştir. Fan üfleme hızının artması, NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Bu durum ise çevresel açıdan bakıldığında iyi bir sonuçtur. Baca gazı sıcaklığı değerlerine bakıldığında ise fan üfleme hızının artması baca gazı sıcaklığını düşürmüştür.

#### 4.5.2. Nar peletlerinin yanma performanları

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin, eşitlik 3.5'e göre belirlenen ve cihazdan okunan yanma verimlerinin %52 ile 83 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. En yüksek yanma verimi %83 ile 6 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük yanma verimi ise %52 ile 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Nar budama artıklarından üretilen peletlerin verim dağılımları Şekil 4.31'de verilmiştir.



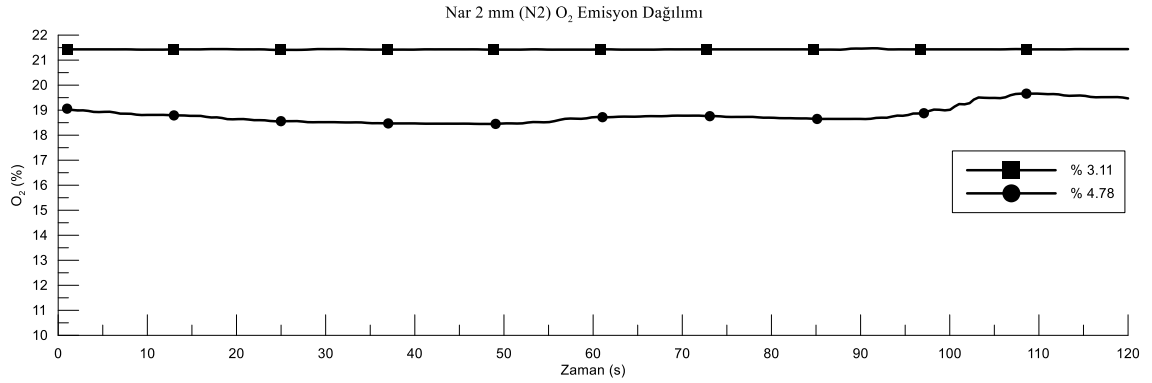
**Şekil 4. 31.** %10-12 materyal nem içeriğindeki nar budama artıklarından üretilen peletlerin yanma verim dağılımları

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin yanması sonucu tespit edilen verim değerleri, Al-Widyan vd. (2006) ile Permchart ve Kouprianov (2004) tarafından farklı biyokütle örneklerinin yakılması ile elde edilen %69-82 arasındaki yanma verimi değerleri ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.

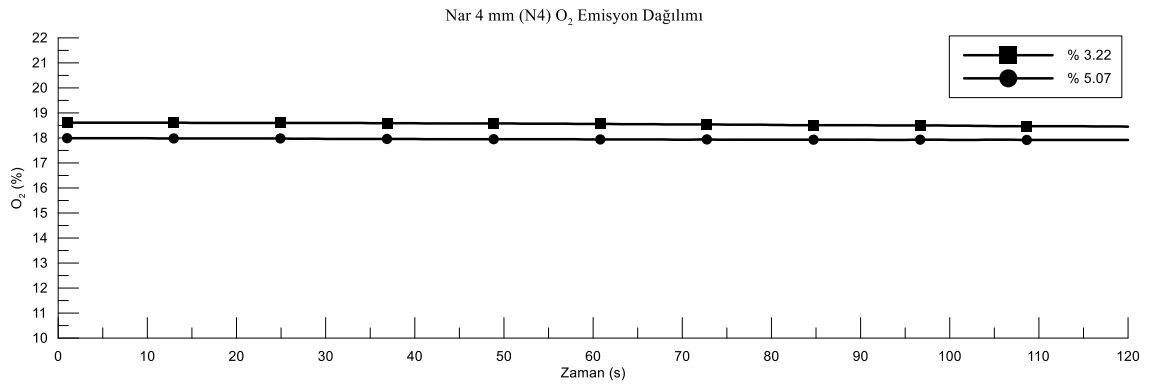
#### 4.5.2.1. O<sub>2</sub> emisyonları

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazındaki O<sub>2</sub> emisyonu değerleri %16.84 ile %19.57 aralığında değişim göstermiştir. En yüksek O<sub>2</sub> emisyonu %19.57 ile 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük O<sub>2</sub> emisyonu ise %16.84 ile 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Bu durum materyal parçacık boyutunun artması yanmayı olumlu yönde etkilemiştir. Ancak 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nem içeriğine sahip peletlerde O<sub>2</sub> emisyon değeri ölçüm sınırlarının dışında kalarak havadaki oksijen değerine yakın olan %20-21 aralığında kalmıştır. Bunun nedeni bu şartlar altında peletlerin yanmadığıdır.

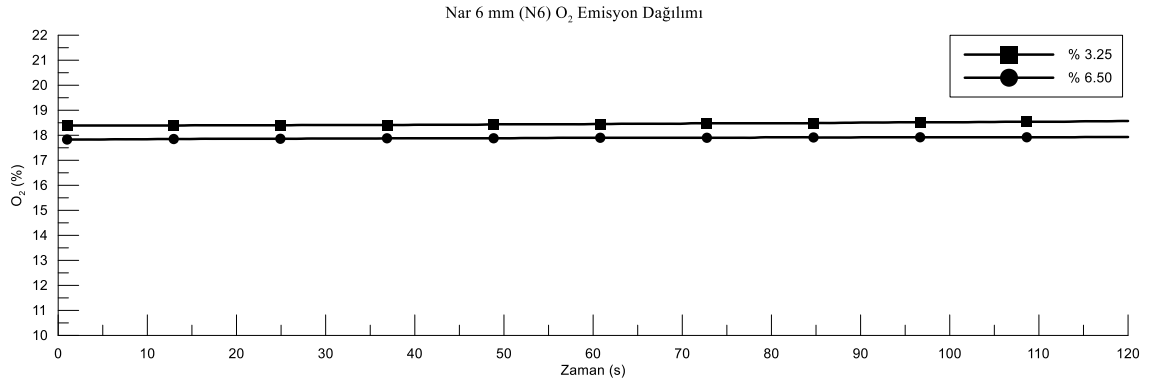
Nar budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre  $O_2$  emisyonları değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artması ile  $O_2$  emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. 2, 4 ve 6 mm paracık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre  $O_2$  emisyon dağılımları Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'de verilmiştir.



Şekil 4. 32. 2 mm paracık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre  $O_2$  emisyon dağılımları

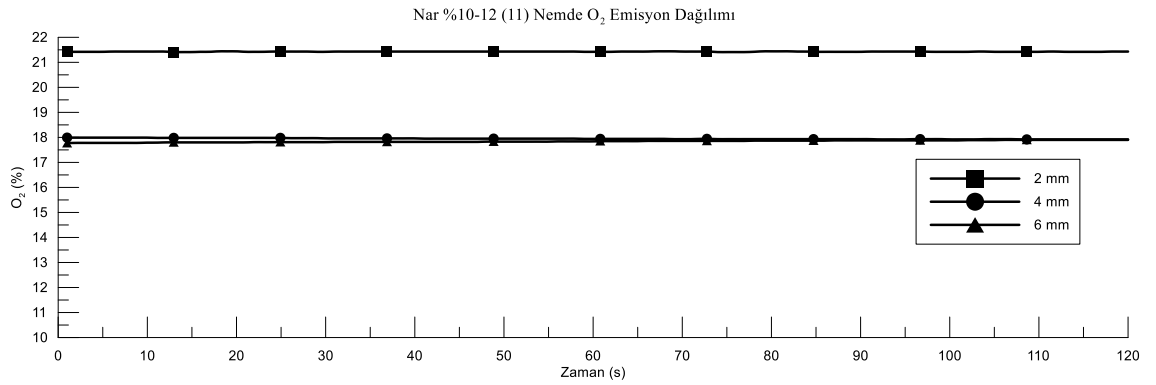


Şekil 4. 33. 4 mm paracık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre  $O_2$  emisyon dağılımları

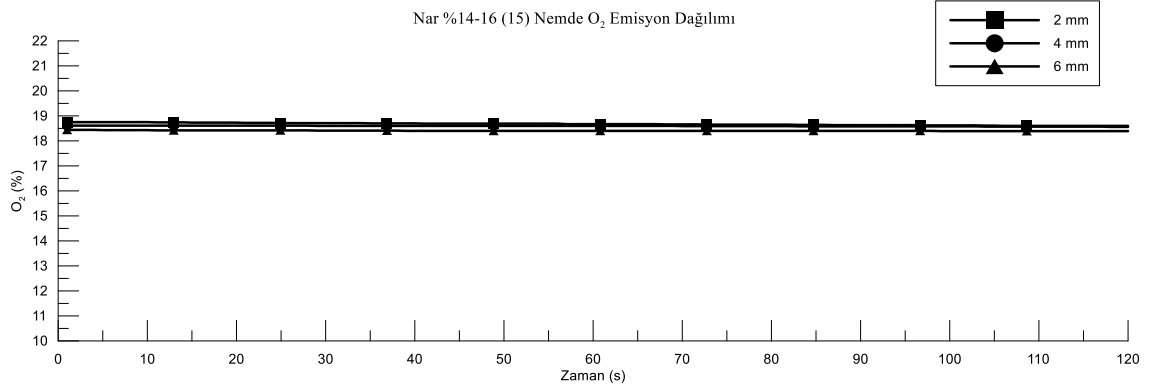


**Şekil 4. 34.** 6 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre O<sub>2</sub> emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutu arttıkça baca gazındaki O<sub>2</sub> emisyonunun azaldığı görülmektedir. Baca gazındaki O<sub>2</sub> oranının düşüşü, pelet yanmasının parçacık boyutu ile olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre emisyon dağılımları Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da verilmiştir. Ayrıca %14-16 nem içeriğine sahip peletlerde O<sub>2</sub> emisyonu değerleri önemli bir farklılık göstermemiştir (Şekil 4.36).

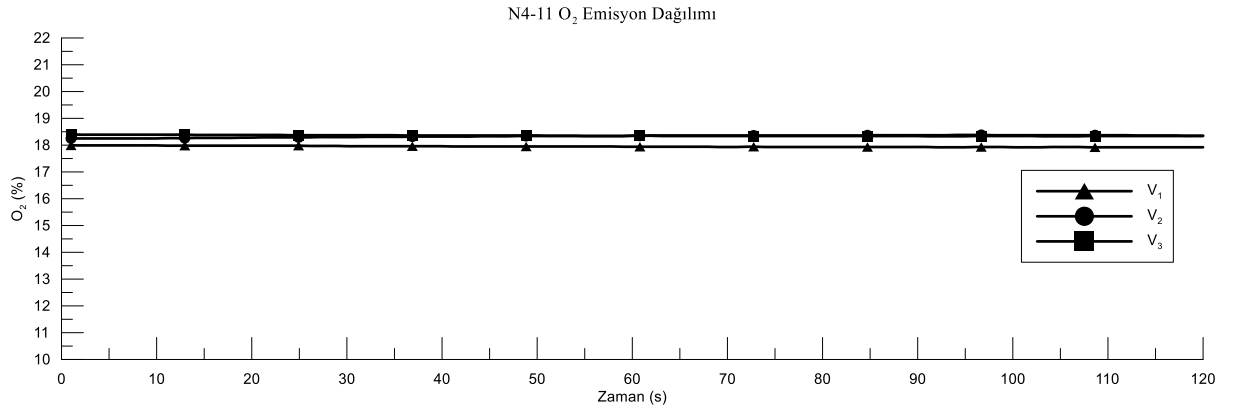


**Şekil 4. 35.** %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları



**Şekil 4. 36.** %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

Nar budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında (6, 9 ve 11 m.s<sup>-1</sup>) yakılması sonucu ortaya çıkan O<sub>2</sub> emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla O<sub>2</sub> emisyon değerleri artmıştır. Böylece fan üfleme hızının artması, yanmanın olumsuz yönde etkilendiğini göstermiştir. 4 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları Şekil 4.37’de verilmiştir.

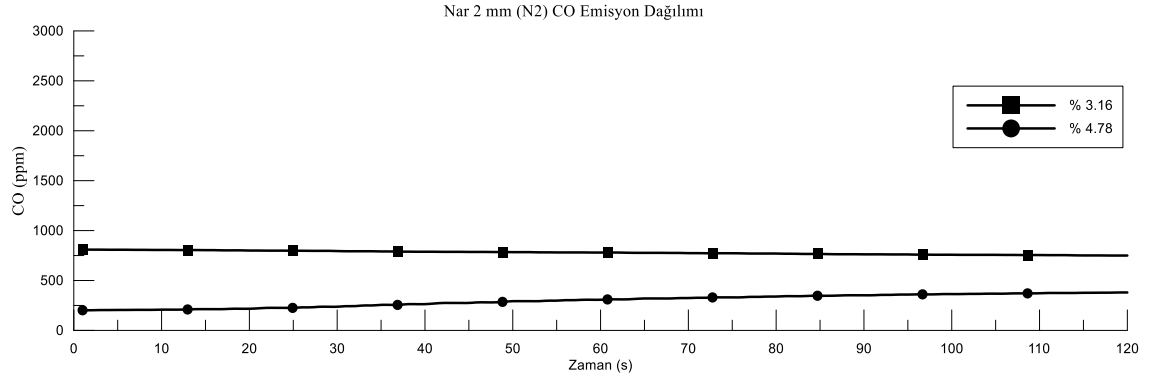


**Şekil 4. 37.** 4 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

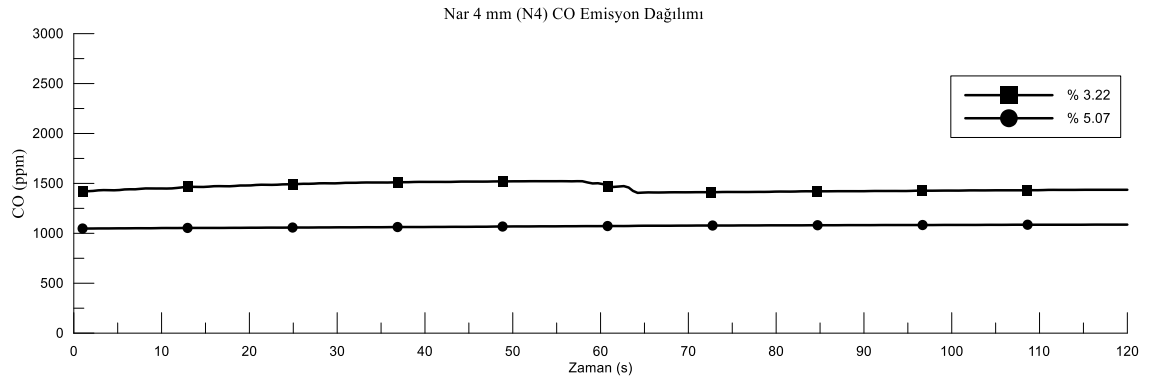
#### 4.5.2.2. CO emisyonları

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazındaki CO emisyonu değerleri 55 ile 2152 ppm aralığında değişim göstermiştir. En yüksek CO emisyonu 2152 ppm ile 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük CO emisyonu ise 55 ppm ile 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir.

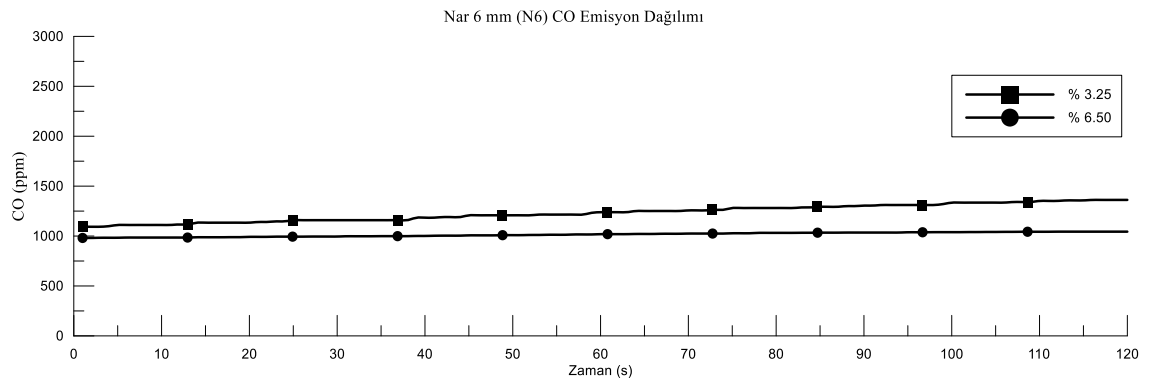
Nar budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre CO emisyonları değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artması ile CO emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. 2, 4 ve 6 mm parçacık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre emisyon dağılımları Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da verilmiştir.



**Şekil 4. 38.** 2 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları

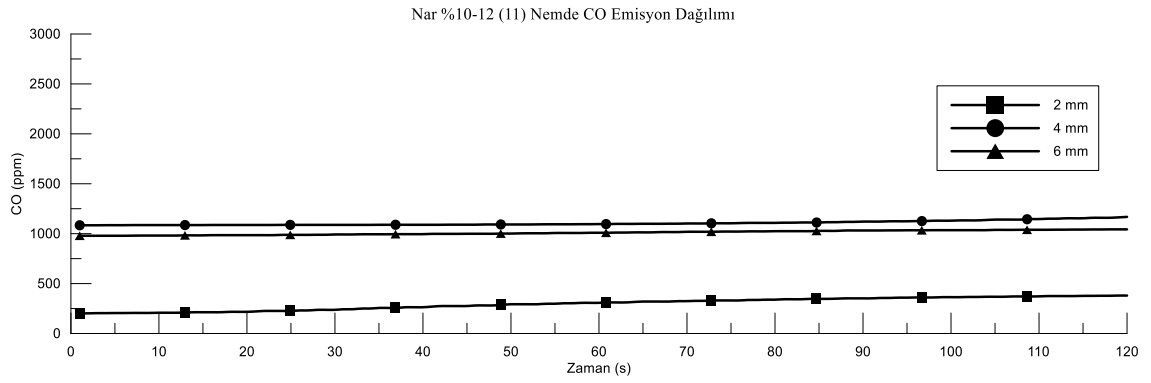


**Şekil 4. 39.** 4 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları

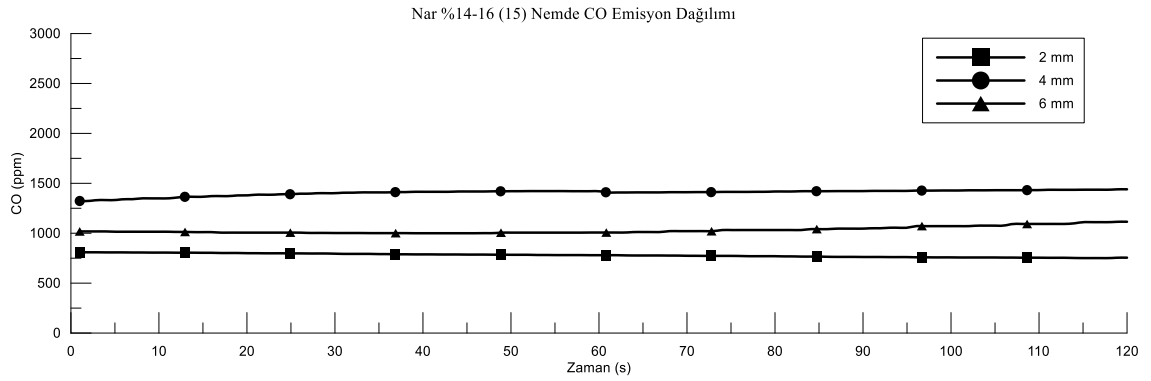


**Şekil 4. 40.** 6 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre CO emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutu arttıkça baca gazındaki CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. Baca gazındaki CO oranının düşüşü, tam yanmanın olduğunu ve pelet yanmasının parçacık boyutu ile olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir. Ancak 6 mm parçacık boyutuna sahip peletlerde ise emisyon değerleri beklenenin tersine düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum ise uygun parçacık boyutu seçiminde yol gösterici bir sonuçtur. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre emisyon dağılımları Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de verilmiştir.



**Şekil 4. 41.** %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları

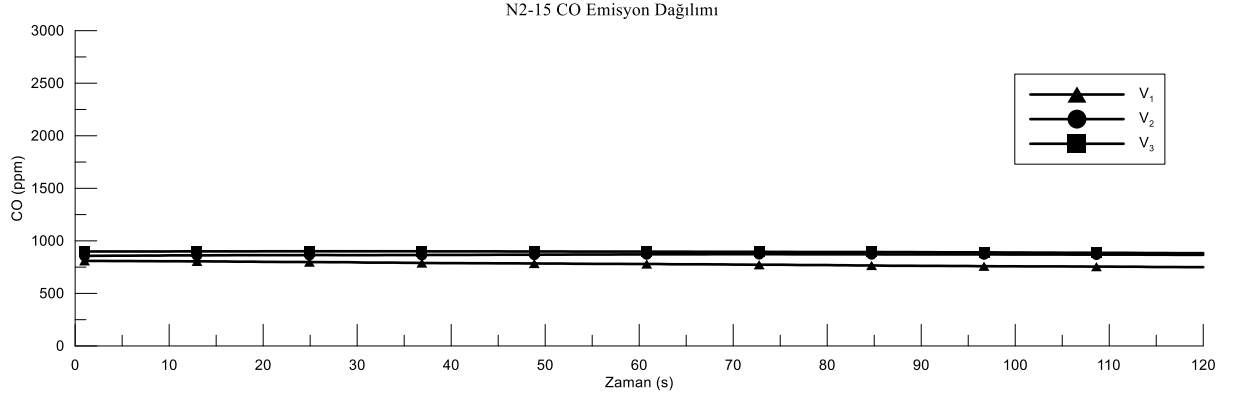


**Şekil 4. 42.** %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları

Nar budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında ( $6, 9$  ve  $11 \text{ m.s}^{-1}$ ) yakılması sonucu ortaya çıkan CO emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla CO emisyon değerleri artmıştır. CO emisyonunun artması tam yanma açısından istenmeyen bir sonuçtur. Böylece fan üfleme hızının artması, yanmanın olumsuz yönde etkilendiğini göstermiştir. 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem



içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre CO emisyon dağılımları Şekil 4.43’de verilmiştir.

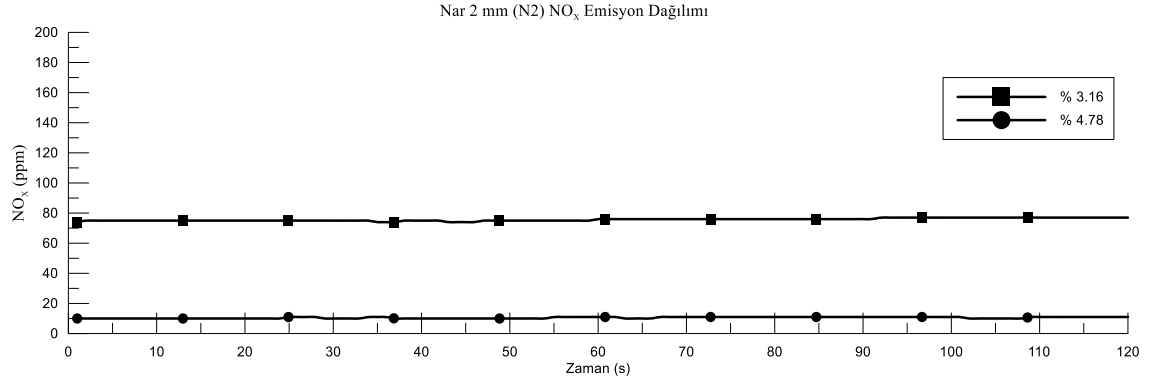


**Şekil 4. 43.** 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre CO emisyon dağılımları

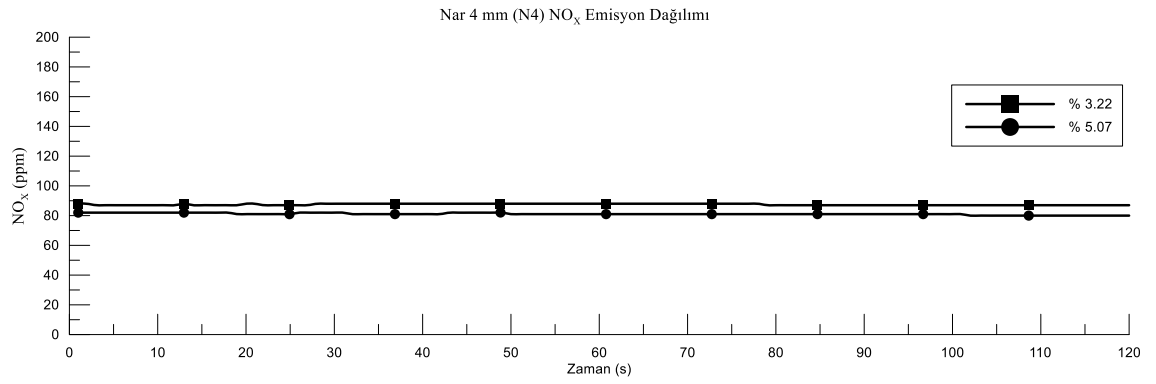
#### 4.5.2.3. NO<sub>x</sub> Emisyonları

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazındaki NO<sub>x</sub> emisyonu değerleri 10 ile 108 ppm aralığında değişim göstermiştir. En yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu 108 ppm ile 6 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük NO<sub>x</sub> emisyonu ise 10 ppm ile 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Nar budama artıklarından üretilen peletlerin NO<sub>x</sub> emisyon değerleri irdelendiğinde çevresel açıdan iyi bir sonuç ortaya çıkmıştır.

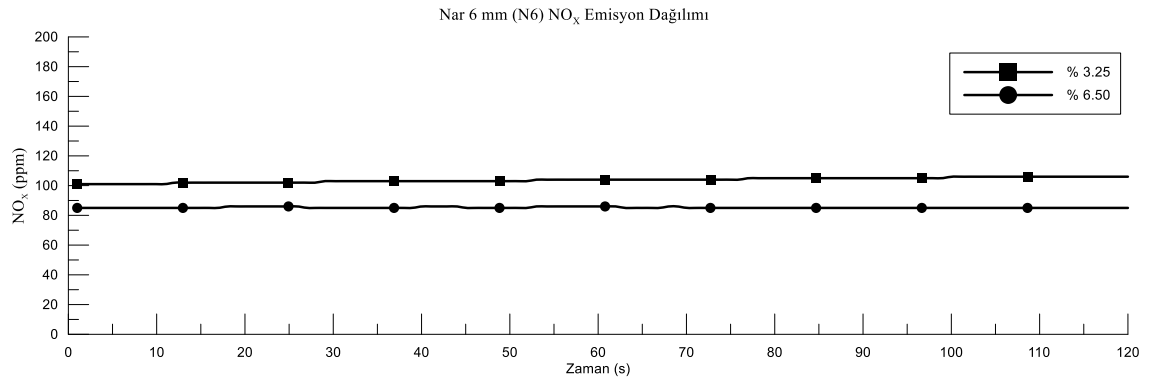
Nar budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre NO<sub>x</sub> emisyonları değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonu azalmıştır. Bu durum ise çevresel açıdan beklenen bir sonuç olup pelet nem içeriğinin önemini ortaya koymuştur. 2, 4 ve 6 mm paracık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre emisyon dağılımları Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46’da verilmiştir.



**Şekil 4. 44.** 2 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları



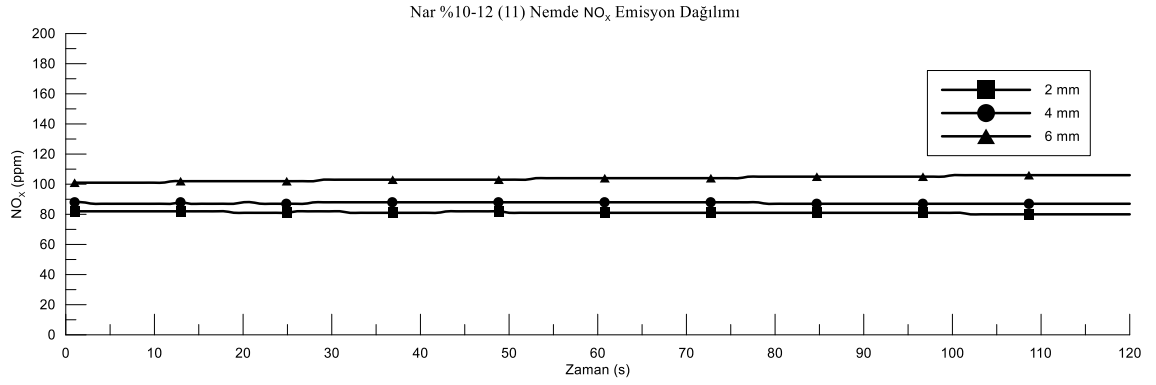
**Şekil 4. 45.** 4 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları



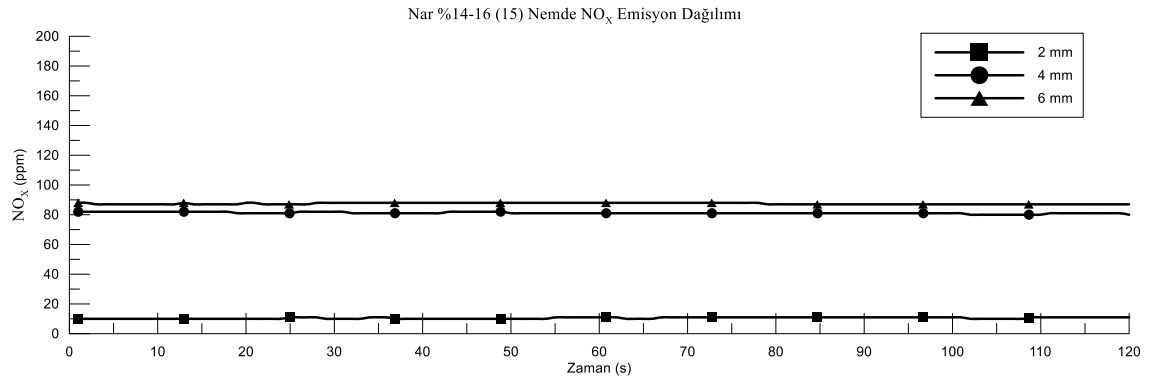
**Şekil 4. 46.** 6 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre NO<sub>x</sub> emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutunun artmasıyla baca gazındaki NO<sub>x</sub> emisyonu artmıştır. Baca gazındaki NO<sub>x</sub> oranının yüksek olması çevresel açıdan istenmeyen bir durumdur. Böylece materyal parçacık boyutunun, NO<sub>x</sub>

emisyonu açısından önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre emisyon dağılımları Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de verilmiştir.

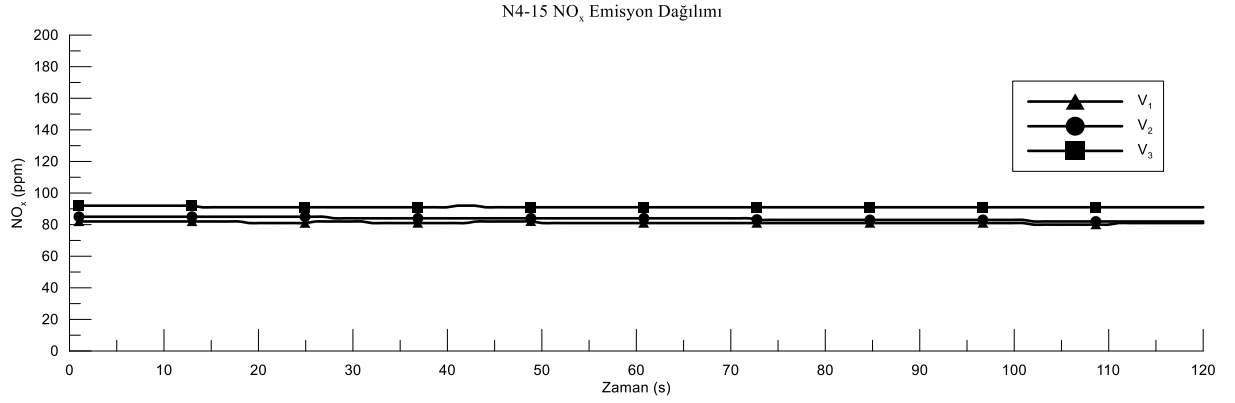


**Şekil 4. 47.** %10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları



**Şekil 4. 48.** %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

Nar budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında (6, 9 ve 11 m.s<sup>-1</sup>) yakılması sonucu ortaya çıkan NO<sub>x</sub> emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyon değerleri artmıştır. Baca gazındaki NO<sub>x</sub> oranının yüksek olması çevresel açıdan istenmeyen bir durumdur. 4 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları Şekil 4.49’da verilmiştir.

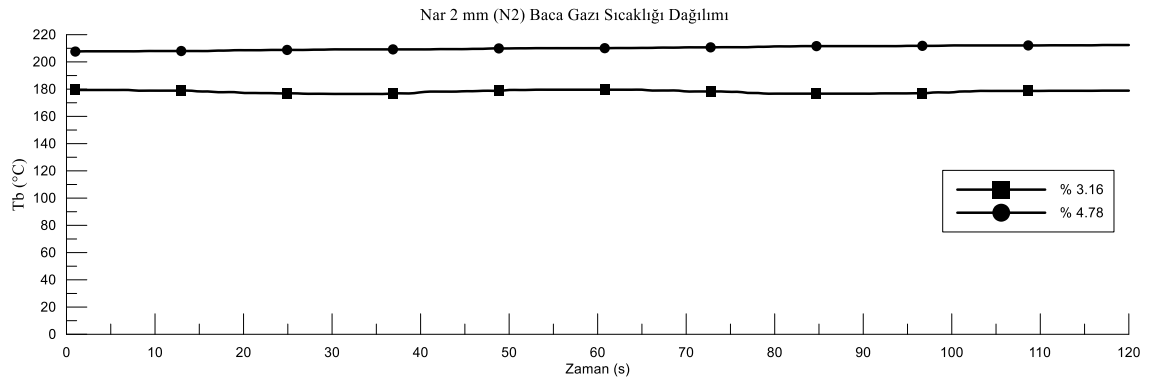


**Şekil 4. 49.** 4 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

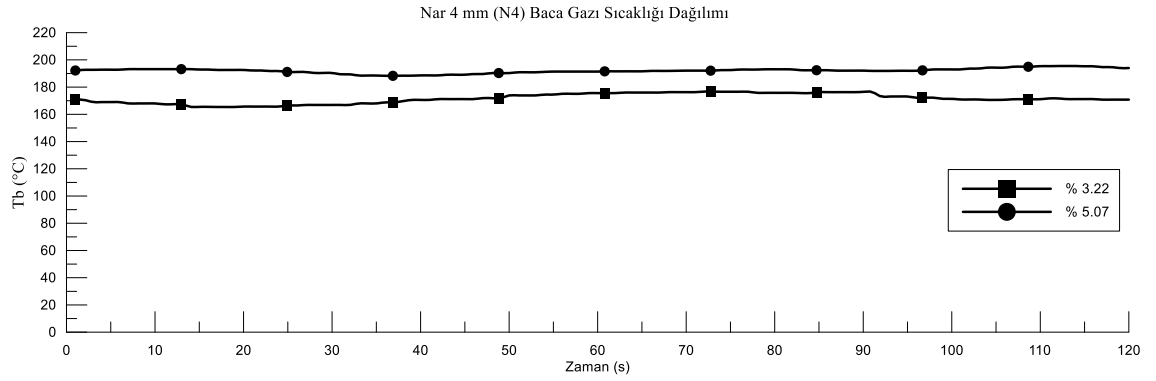
#### 4.5.2.4. Baca gazı sıcaklığı

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazı sıcaklığı değerleri 147 ile 210 °C aralığında değişim göstermiştir. En yüksek baca gazı sıcaklığı 210 °C ile 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük baca gazı sıcaklığı ise 147 °C ile 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Nar budama artıklarından üretilen peletlerin baca gazı sıcaklığı değerleri irdelendiğinde yanma performansı açısından materyal parçacık boyutununun artışı baca gazı sıcaklığının azalmasına neden olmuştur. Bu durum ise yanma performansı açısından iyi bir sonuçtur.

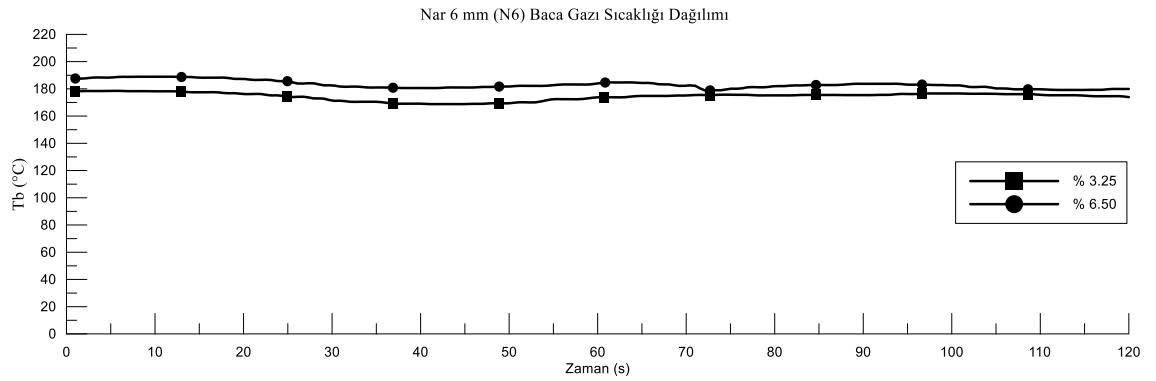
Nar budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre baca gazı sıcaklığı verileri değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artması, baca gazı sıcaklığının artmasına neden olmuştur. Bu durum da yanma performansı açısından beklenmeyen bir sonuçtur. 2, 4 ve 6 mm paracık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.50, Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de verilmiştir.



**Şekil 4. 50.** 2 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

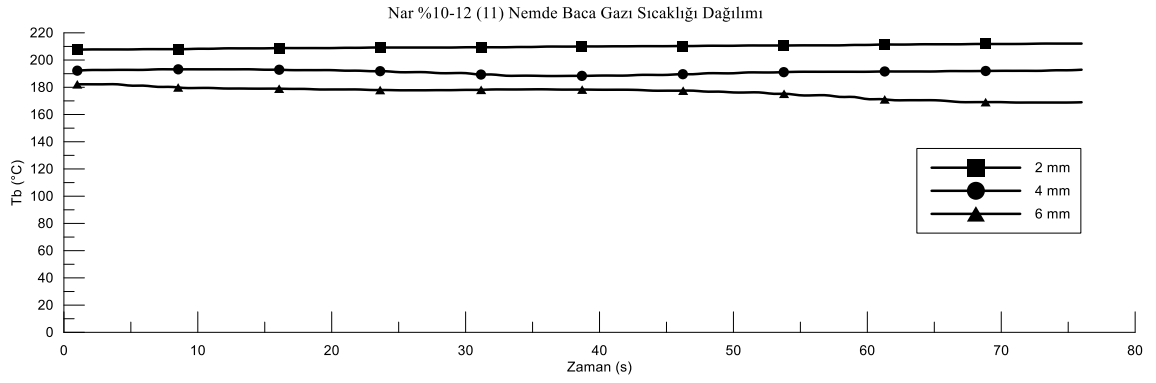


**Şekil 4. 51.** 4 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

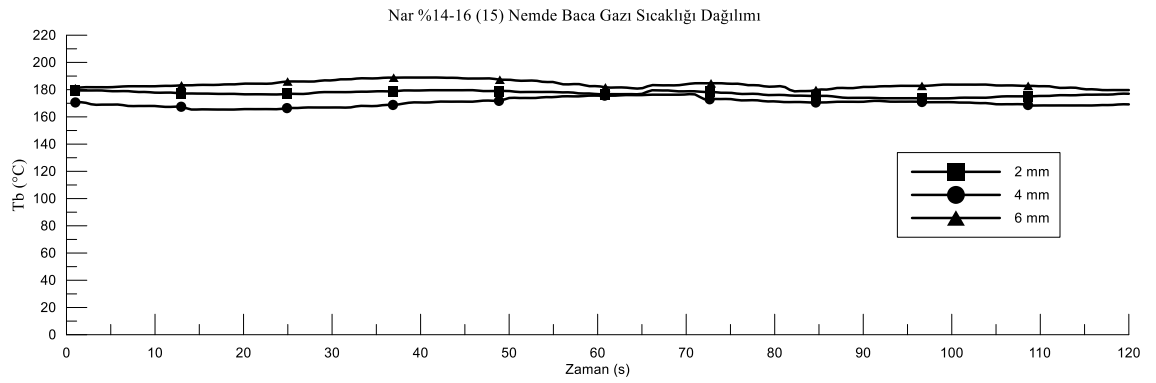


**Şekil 4. 52.** 6 mm parçacık boyutuna sahip nar budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

Nar budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı verileri değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutunun artmasıyla baca gazı sıcaklığı değerleri azalmıştır. Bu durum da yanma performansı açısından iyi bir sonuçtur. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’de verilmiştir.

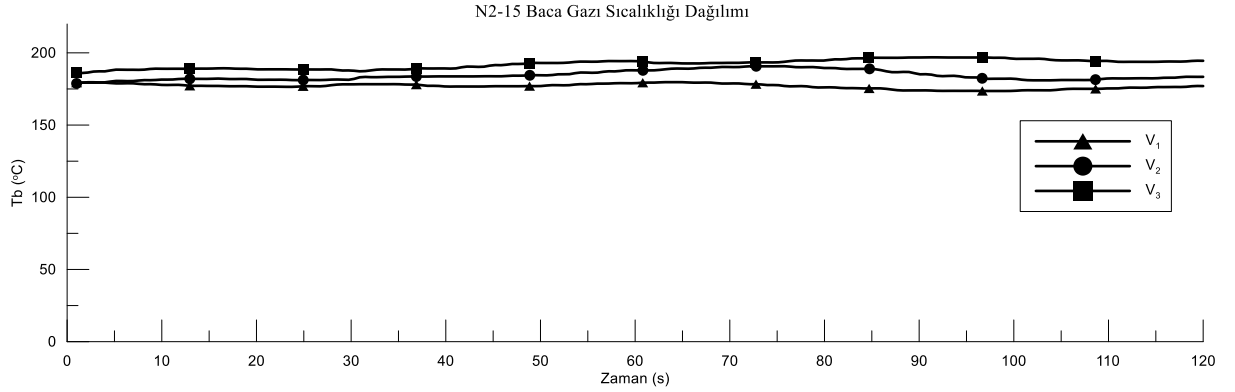


**Şekil 4. 53.** % 10-12 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları



**Şekil 4. 54.** % 14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

Nar budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında ( $6, 9$  ve  $11 \text{ m.s}^{-1}$ ) yakılması sonucu ortaya çıkan baca gazı sıcaklığı verileri irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla baca gazı sıcaklığı değerleri artmıştır. Baca gazı sıcaklığının yüksek olması yanma performansı açısından olumsuz bir durumdur. 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.55’de verilmiştir.



**Şekil 4. 55.** 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip nar budama artıklarının fan üfleme hızına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

Sonuç olarak 2 farklı nem içeriğine (%10-12 ve %14-15) ve 3 farklı parçacık boyutuna (2, 4, 6 mm) sahip nar budama artıklarından üretilen peletlerin yanma performansları; pelet nemi, materyal parçacık boyutu ve fan üfleme hızı bağlamında irdelenmiştir.

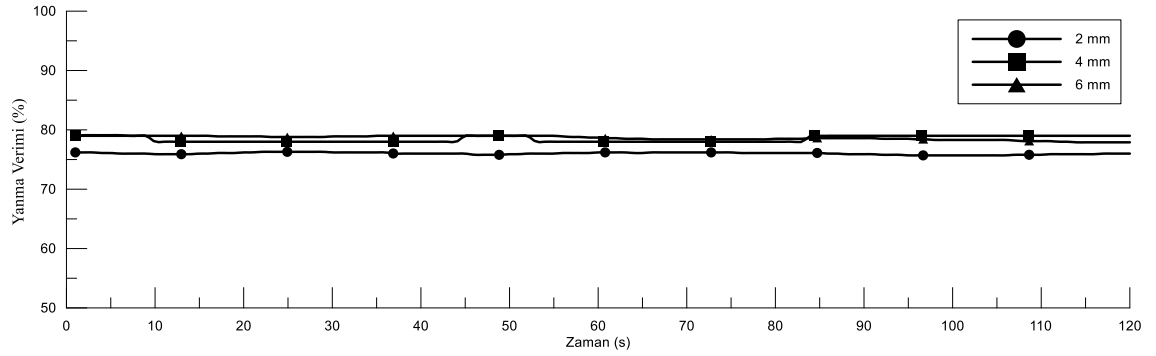
Nar budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre baca gazı emisyonları değerlendirildiğinde; pelet nem içeriğinin artmasıyla, O<sub>2</sub> emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. Aynı şekilde CO emisyonlarının düşmesiyle yanmanın tam olduğu ortaya çıkmakta ve yanmanın olumlu yönde olduğu desteklenmektedir. Aynı şekilde pelet nem içeriğinin artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyon değerleri de düşmüştür. Bu durum ise çevresel açıdan bakıldığında olumlu bir sonuçtur. Baca gazı sıcaklığı değerlerine bakıldığında ise pelet nem içeriğinin artması baca gazı sıcaklığını arttırmıştır.

Materyal parçacık boyutuna göre baca gazı emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutunun artmasıyla, O<sub>2</sub> emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. Aynı şekilde CO emisyonlarının düşmesiyle tam yanma ortaya çıkmakta ve yanmanın olumlu yönde olduğu desteklenmektedir. Aynı şekilde materyal parçacık boyutunun artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyon değerleri de düşmüştür. Bu durum ise çevresel açıdan bakıldığında olumlu bir sonuçtur. Baca gazı sıcaklığı değerlerine bakıldığında ise materyal parçacık boyutunun artmasıyla baca gazı sıcaklığı değerleri azalmıştır.

Üretilen peletlerin 3 farklı fan üfleme hızında yakılması sonucu ortaya çıkan baca gazı emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla O<sub>2</sub> emisyon değeri artmış ve yanma olumsuz yönde etkilenmiştir. Aynı şekilde CO emisyonlarının artmasıyla eksik yanma ortaya çıkmakta ve yanmanın olumsuz yönde olduğu desteklenmektedir. Aynı şekilde fan üfleme hızının artması, NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin artmasına neden olmuştur. Bu durum ise çevresel açıdan bakıldığında istenmeyen sonuçtur. Baca gazı sıcaklığı değerlerine bakıldığında ise fan üfleme hızının artmasıyla baca gazı sıcaklığı değerleri artmıştır.

### 4.5.3. Bağ peletlerinin yanma performanları

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin, eşitlik 3.5'e göre belirlenen ve cihazdan okunan yanma verimlerinin %71 ile 83 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. En yüksek yanma verimi %83 ile 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük yanma verimi ise %71 ile 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin verim dağılımları Şekil 4.56'da verilmiştir.



**Şekil 4. 56.** %10-12 materyal nem içeriğindeki bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yanma verim dağılımları

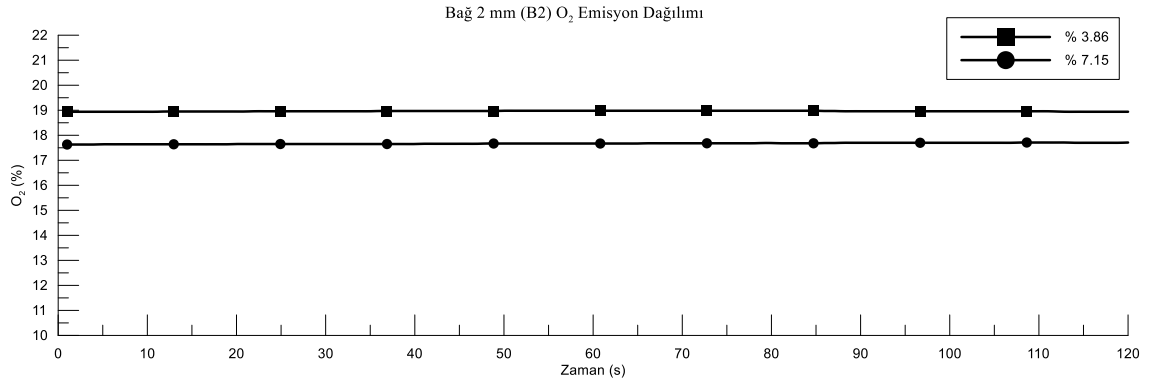
Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yanması sonucu tespit edilen verim değerleri, Al-Widyan vd. (2006) ile Permchart ve Kouprianov (2004) tarafından farklı biyokütle örneklerinin yakılması ile elde edilen %69-82 arasındaki yanma verimi değerleri ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.

#### 4.5.3.1. O<sub>2</sub> emisyonları

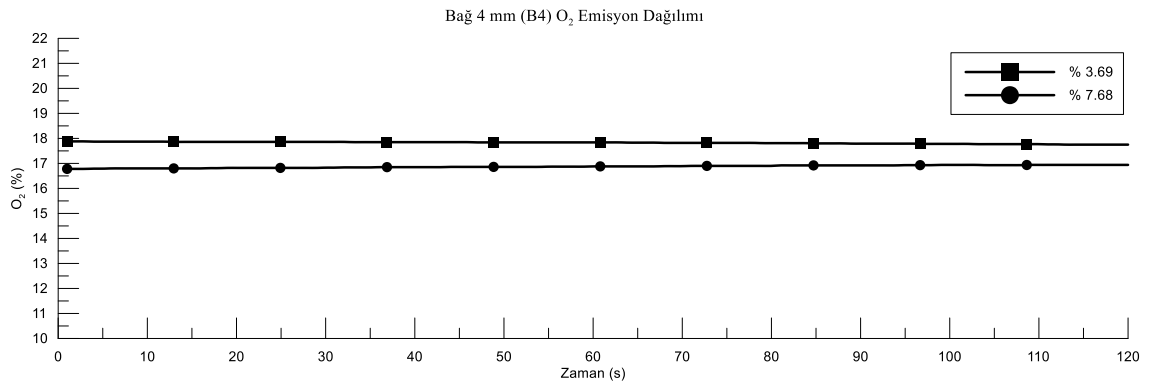
Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazındaki O<sub>2</sub> emisyonu değerleri %16.91 ile %18.94 aralığında değişim göstermiştir. O<sub>2</sub> emisyonunun düşük çıkması yanmanın iyi olduğunu, yüksek çıkması ise peletlerin iyi yanmadığını göstermiştir. En yüksek O<sub>2</sub> emisyonu %18.94 ile 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük O<sub>2</sub> emisyonu ise %16.91 ile 4 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Bu durum materyal parçacık boyutunun artması yanmayı olumlu yönde etkilemiştir.

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre O<sub>2</sub> emisyonları değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artması ile O<sub>2</sub> emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. 2, 4 ve 6 mm paracık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları Şekil 4.57, Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'da verilmiştir.

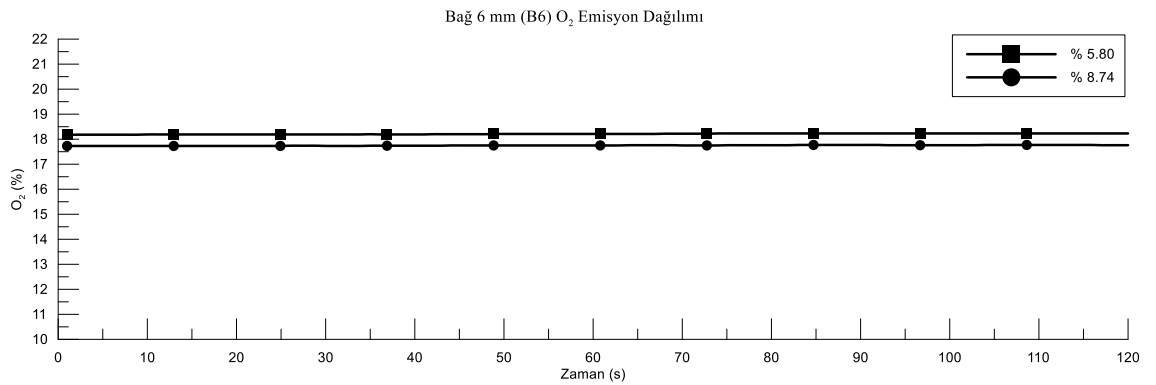




**Şekil 4. 57.** 2 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları



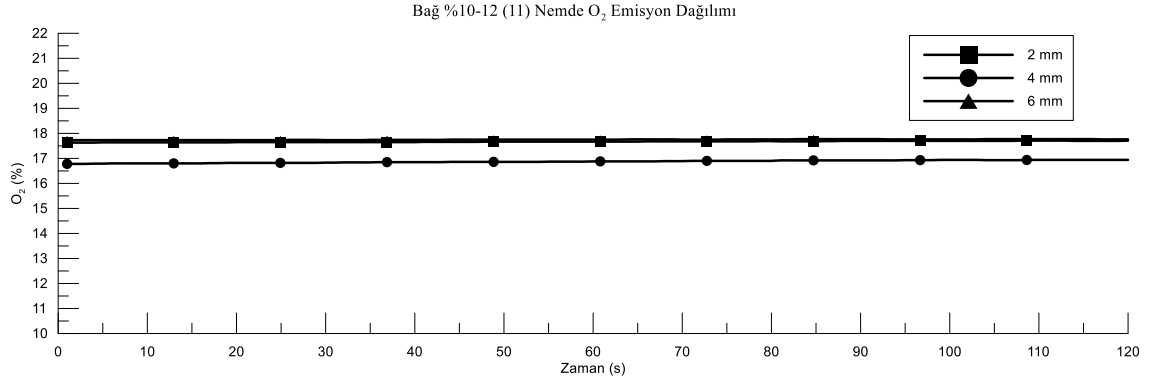
**Şekil 4. 58.** 4 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları



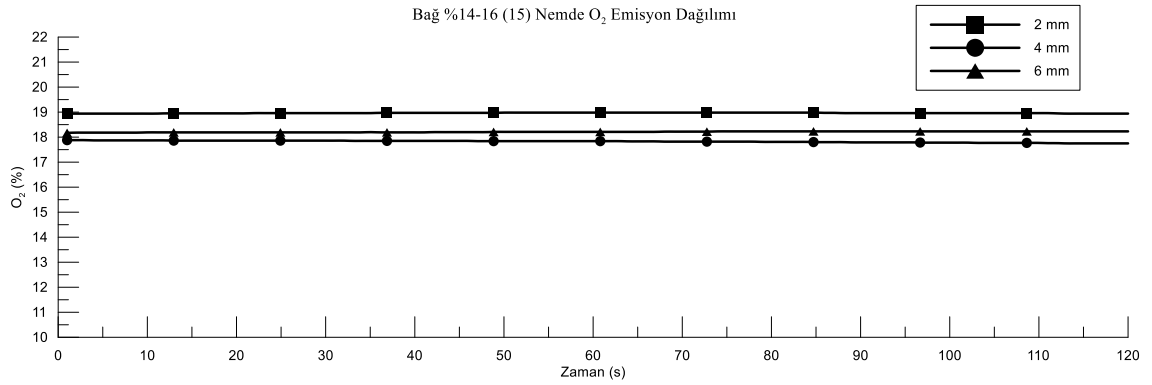
**Şekil 4. 59.** 6 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre O<sub>2</sub> emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutu arttıkça baca gazındaki O<sub>2</sub>

emisyoununun azaldığı görülmektedir. Baca gazındaki  $O_2$  oranının düşüşü, pelet yanmasının parçacık boyutu ile olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre emisyon dağılımları Şekil 4.60 ve Şekil 4.61’de verilmiştir.

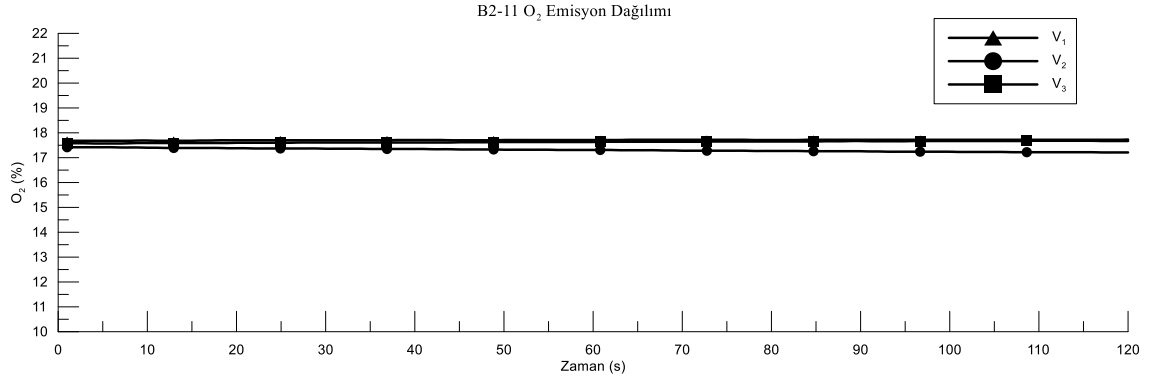


**Şekil 4. 60.** %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre  $O_2$  emisyon dağılımları



**Şekil 4. 61.** %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre  $O_2$  emisyon dağılımları

Bağ budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında ( $6, 9$  ve  $11 \text{ m.s}^{-1}$ ) yakılması sonucu ortaya çıkan  $O_2$  emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla  $O_2$  emisyon değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Bu durum ise yanma açısından olumlu bir sonuçtur. 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre  $O_2$  emisyon dağılımları Şekil 4.62’de verilmiştir.

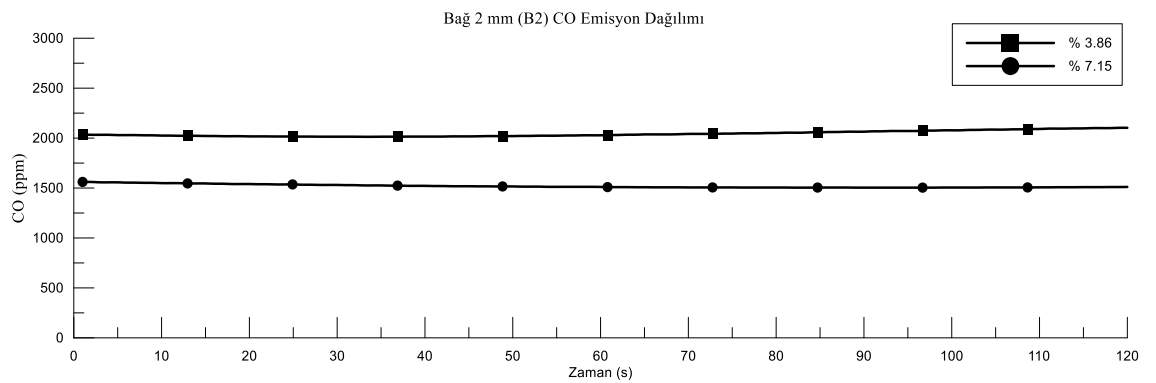


**Şekil 4. 62.** 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımları

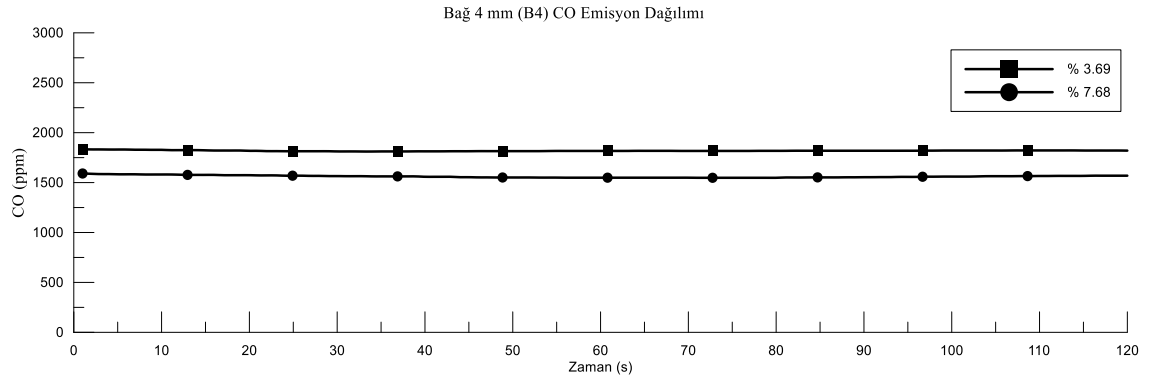
#### 4.5.3.2. CO emisyonları

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazındaki CO emisyonu değerleri 987 ile 2088 ppm aralığında değişim göstermiştir. En yüksek CO emisyonu 2088 ppm ile 4 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük CO emisyonu ise 987 ppm ile 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Bu durum materyal parçacık boyutunun artması ile CO emisyonu değerlerinin düşürerek tam yanma sağlandığı durum ortaya çıkmıştır.

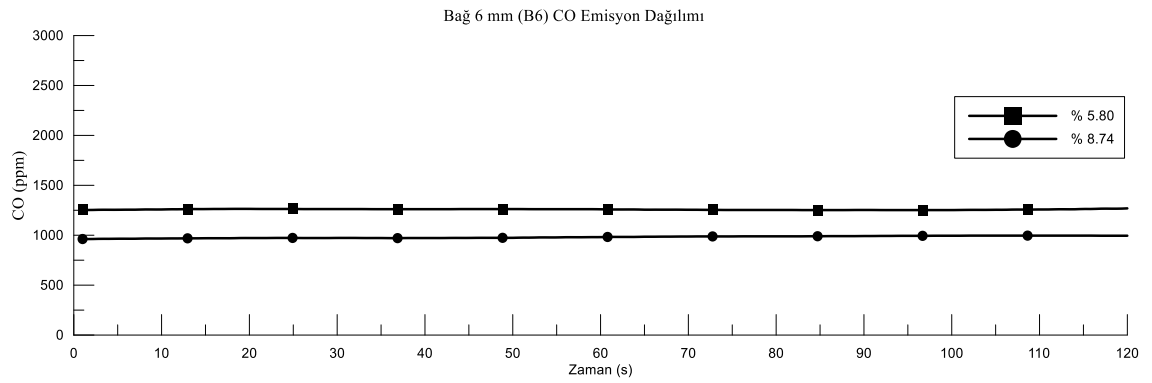
Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre CO emisyonları değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artması ile CO emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. 2, 4 ve 6 mm paracık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre emisyon dağılımları Şekil 4.63, Şekil 4.64 ve Şekil 4.65’de verilmiştir.



**Şekil 4. 63.** 2 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları

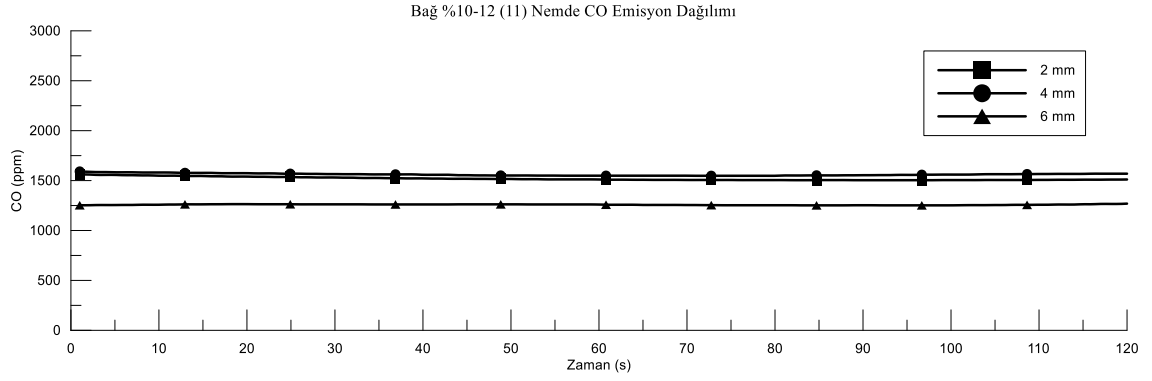


**Şekil 4. 64.** 4 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları

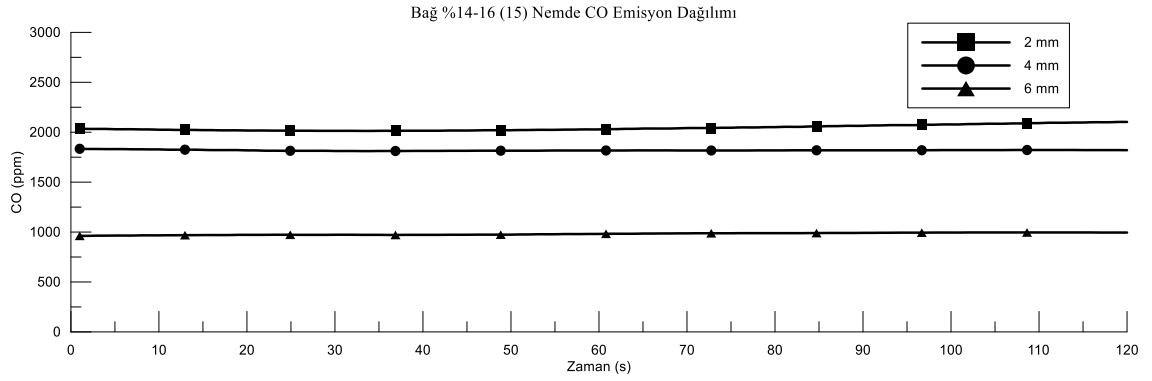


**Şekil 4. 65.** 6 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre CO emisyon dağılımları

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre CO emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutu arttıkça baca gazındaki CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. Baca gazındaki CO oranının düşüşü, iyi yanmanın olduğunu ve pelet yanmasının parçacık boyutu ile olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre emisyon dağılımları Şekil 4.66 ve Şekil 4.67’de verilmiştir.

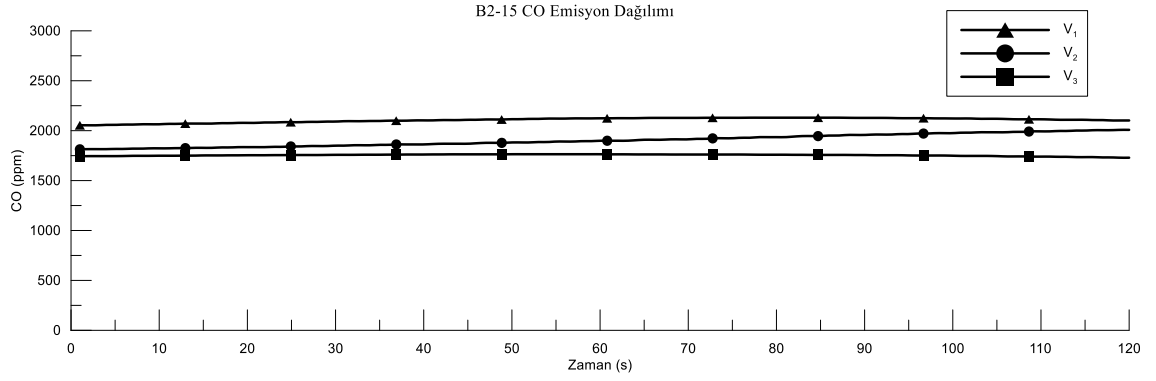


**Şekil 4. 66.** %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları



**Şekil 4. 67.** %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre CO emisyon dağılımları

Bağ budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında ( $6, 9$  ve  $11 \text{ m.s}^{-1}$ ) yakılması sonucu ortaya çıkan CO emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla CO emisyon değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Bu durum ise yanma açısından olumlu bir sonuçtur. 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre CO emisyon dağılımları Şekil 4.68'de verilmiştir.

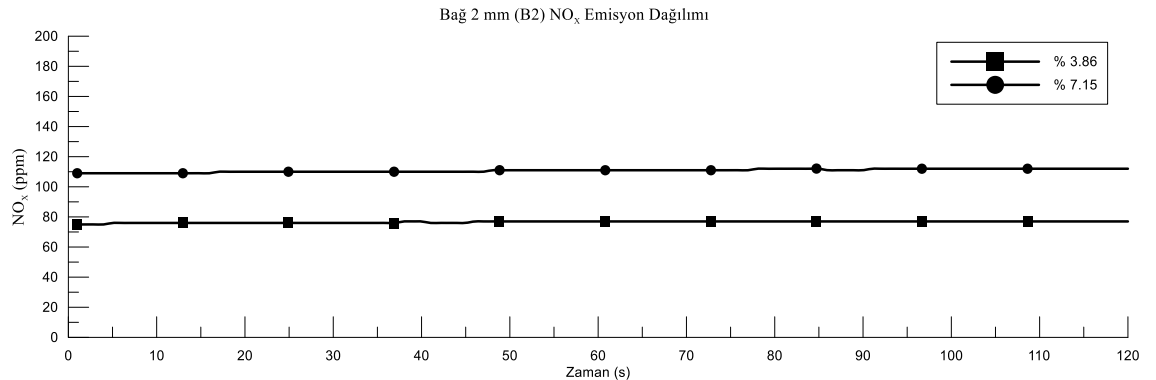


**Şekil 4. 68.** 2 mm parçacık boyutuna ve %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre CO emisyon dağılımları

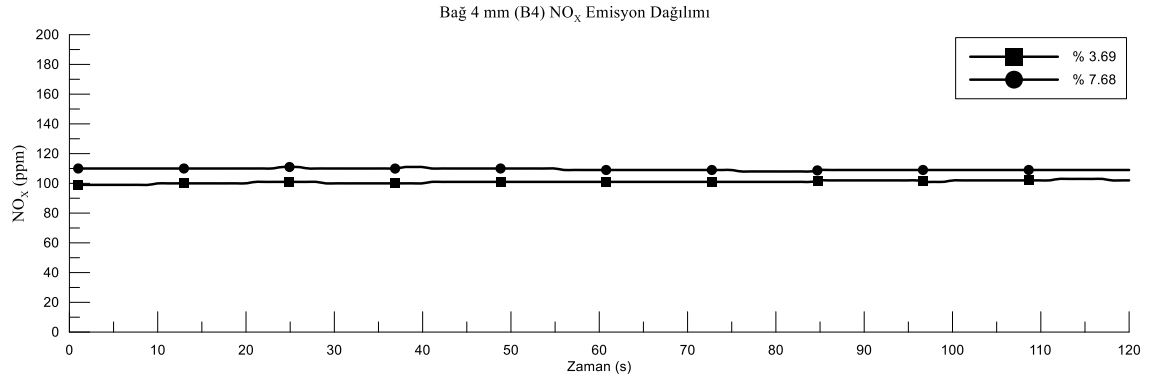
#### 4.5.3.3. NO<sub>x</sub> emisyonları

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazındaki NO<sub>x</sub> emisyonu değerleri 46 ile 111 ppm aralığında değişim göstermiştir. En yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu 111 ppm ile 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük NO<sub>x</sub> emisyonu ise 46 ppm ile 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin NO<sub>x</sub> emisyon değerleri irdelendiğinde çevresel açıdan iyi bir sonuç ortaya çıkmıştır.

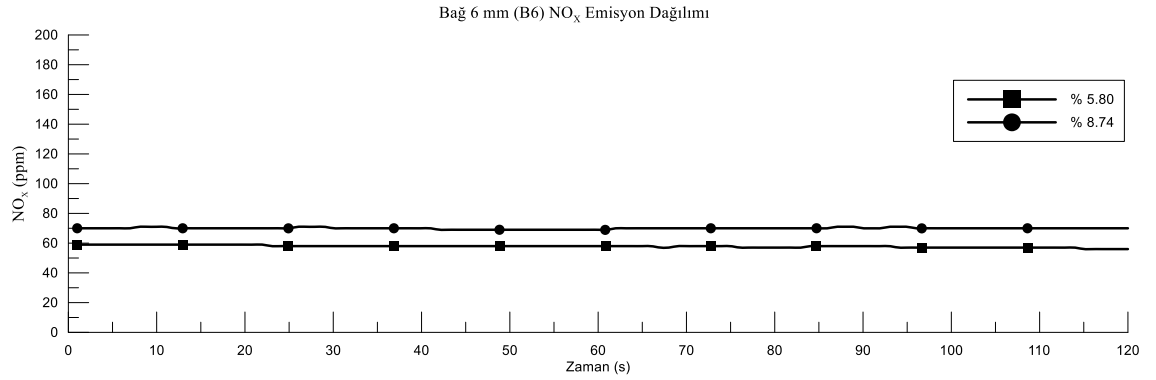
Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre NO<sub>x</sub> emisyonları değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonunun artmasına neden olmuştur. Bu durum ise çevresel açıdan beklenmeyen bir durum olup düşük nem içeriğine sahip peletlerin tercih edilmesinin önemini ortaya koymuştur. 2, 4 ve 6 mm parçacık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre emisyon dağılımları Şekil 4.69, Şekil 4.70 ve Şekil 4.71’de verilmiştir.



**Şekil 4. 69.** 2 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

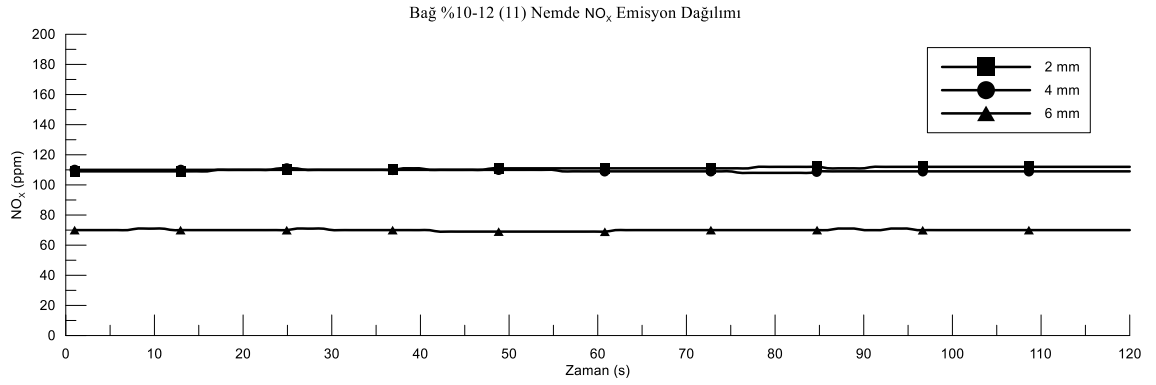


**Şekil 4. 70.** 4 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

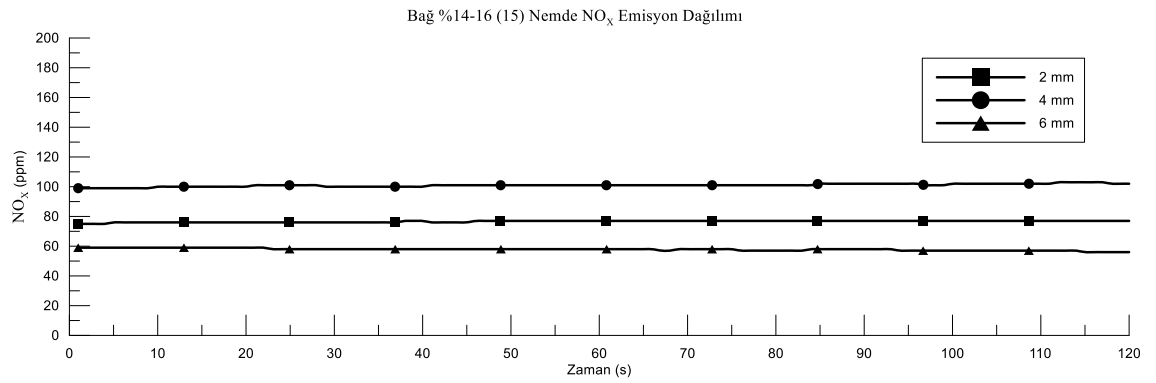


**Şekil 4. 71.** 6 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre NO<sub>x</sub> emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutunun artması baca gazındaki NO<sub>x</sub> emisyonunun azalmasına neden olmuştur. Baca gazındaki NO<sub>x</sub> oranının düşük olması çevresel açıdan beklenen bir durumdur. Böylece materyal parçacık boyutunun, NO<sub>x</sub> emisyonu açısından önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre emisyon dağılımları Şekil 4.72 ve Şekil 4.73’de verilmiştir.



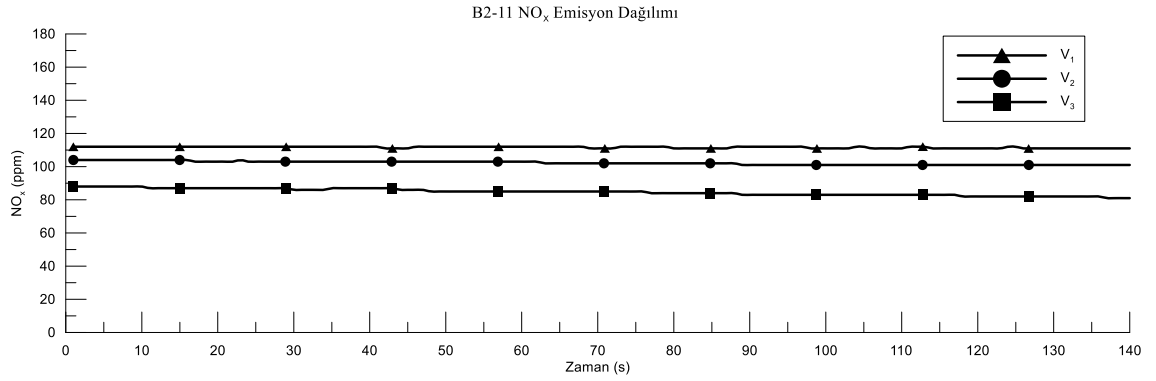
**Şekil 4. 72.** %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları



**Şekil 4. 73.** %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

Bağ budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında (6, 9 ve 11 m.s<sup>-1</sup>) yakılması sonucu ortaya çıkan NO<sub>x</sub> emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artması NO<sub>x</sub> emisyon değerinin azalmasına neden olmuştur. NO<sub>x</sub> emisyonunun düşük olması çevresel açıdan olumlu bir sonuçtur. 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları Şekil 4.74'de verilmiştir.



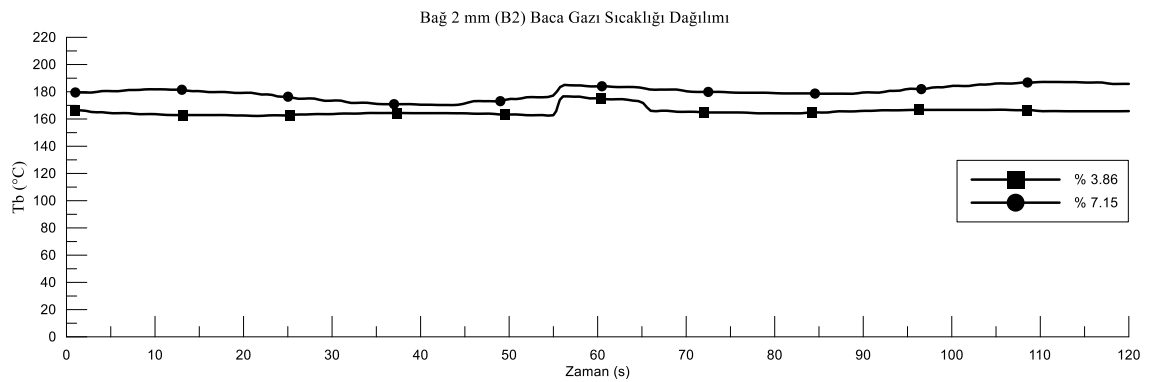


**Şekil 4. 74.** 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları

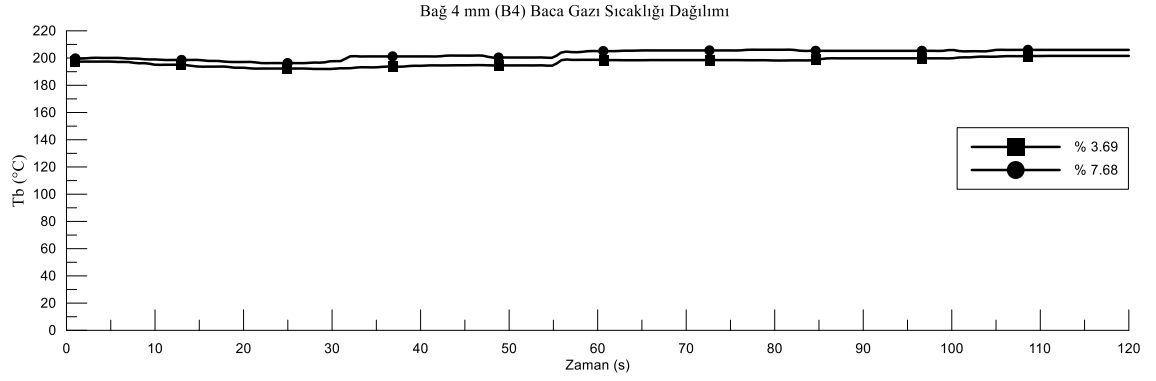
#### 4.5.3.4. Baca gazı sıcaklığı

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yanma sonucu baca gazı sıcaklığı değerleri 158 ile 213 °C aralığında değişim göstermiştir. En yüksek baca gazı sıcaklığı 213 °C ile 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 materyal nemine sahip peletlerde, en düşük baca gazı sıcaklığı ise 158 °C ile 6 mm parçacık boyutuna ve %14-16 materyal nemine sahip peletlerde tespit edilmiştir. Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin baca gazı sıcaklığı değerleri irdelendiğinde yanma performansı açısından materyal parçacık boyutununun artışıyla baca gazı sıcaklığı düşmüştür. Bu durum ise yanma performansı açısından iyi bir sonuçtur.

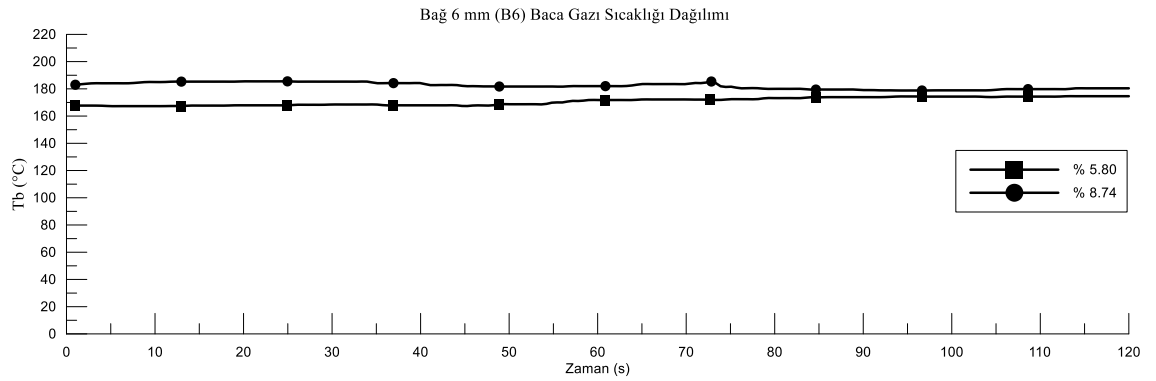
Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre baca gazı sıcaklığı verileri değerlendirildiğinde pelet nem içeriğinin artması, baca gazı sıcaklığının artmasına neden olmuştur. Bu durum da yanma performansı açısından beklenmeyen bir sonuçtur. 2, 4 ve 6 mm paracık boyutuna sahip peletlerin nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.75, Şekil 4.76 ve Şekil 4.77’de verilmiştir.



**Şekil 4. 75.** 2 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

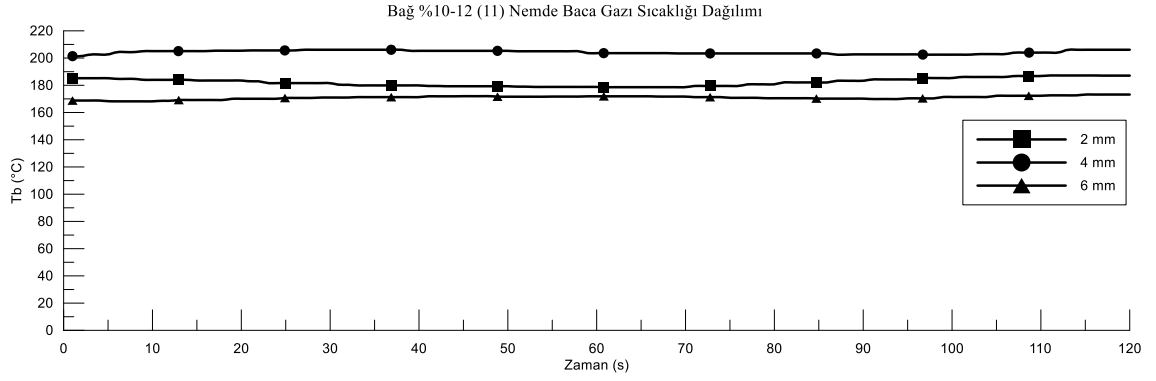


**Şekil 4. 76.** 4 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

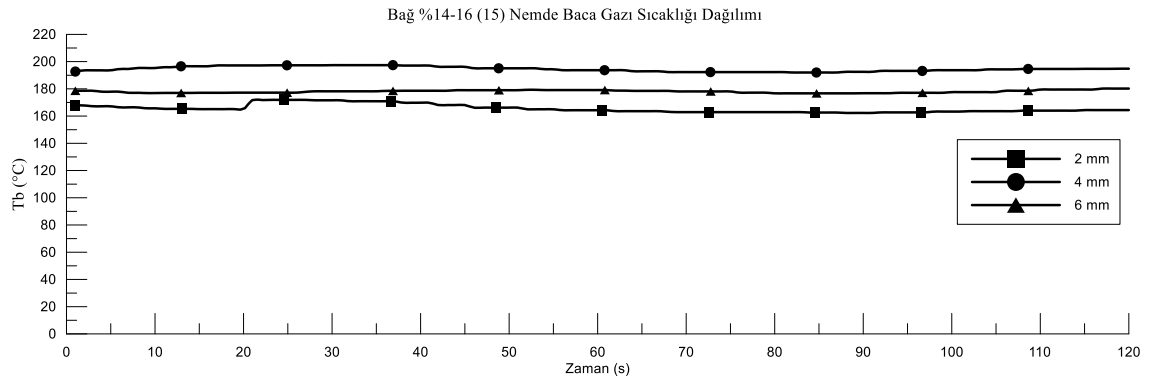


**Şekil 4. 77.** 6 mm parçacık boyutuna sahip bağ budama artıklarının nem oranına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı verileri değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutunun artmasıyla baca gazı sıcaklığı artmıştır. Bu durum da yanma performansı açısından istenmeyen bir sonuçtur. Ancak 6mm parçacık boyutuna sahip peletlerde tersi bir durum gözlemlenmiştir. %10-12 ve %14-16 nem aralığına sahip materyallerden üretilen peletlerin parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.78 ve Şekil 4.79'da verilmiştir.

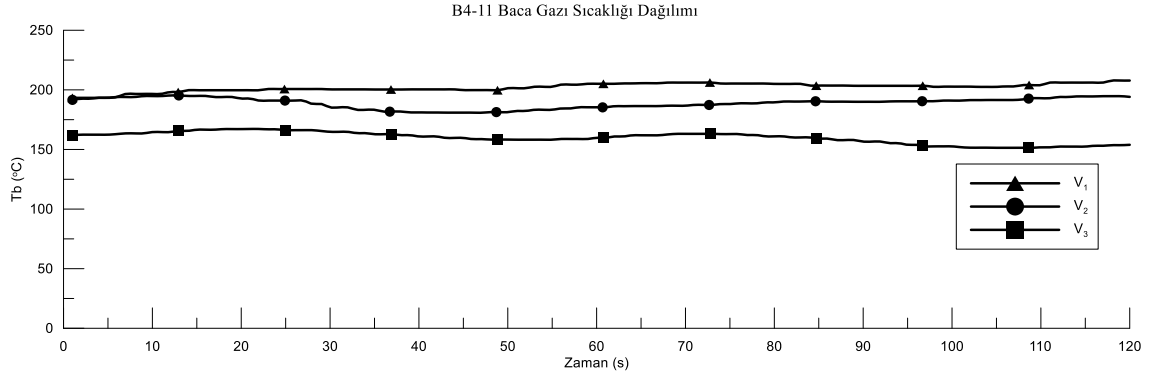


**Şekil 4. 78.** %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları



**Şekil 4. 79.** %14-16 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının parçacık boyutuna göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

Bağ budama artıklarında üretilen peletler 3 farklı fan üfleme hızında ( $6, 9$  ve  $11 \text{ m.s}^{-1}$ ) yakılması sonucu ortaya çıkan baca gazı sıcaklığı verileri irdelendiğinde; fan üfleme hızının artması baca gazı sıcaklığının azalmasına neden olmuştur. Baca gazı sıcaklığının düşük olması yanma performansı açısından olumlu bir sonuçtur. 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.80'de verilmiştir.



**Şekil 4. 80.** 2 mm parçacık boyutuna ve %10-12 nem içeriğine sahip bağ budama artıklarının fan üfleme hızına göre baca gazı sıcaklığı dağılımları

Sonuç olarak 2 farklı nem içeriğine (%10-12 ve %14-15) ve 3 farklı parçacık boyutuna (2, 4, 6 mm) sahip bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yanma performansları; pelet nemi, materyal parçacık boyutu ve fan üfleme hızı bağlamında irdelenmiştir.

Bağ budama artıklarından üretilen peletlerin nem durumuna göre baca gazı emisyonları değerlendirildiğinde; pelet nem içeriğinin artmasıyla, O<sub>2</sub> emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. Aynı şekilde CO emisyonlarının düşmesiyle yanmanın tam olduğu ortaya çıkmakta ve yanmanın olumlu yönde olduğu desteklenmektedir. Ancak NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinde tersi durum gözlemlenmiştir. Pelet nem içeriğinin artması, NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin artmasına neden olmuştur. Bu durum ise çevresel açıdan bakıldığında istenmeyen bir durumdur. Baca gazı sıcaklığı değerlerine bakıldığında ise pelet nem içeriğinin artması baca gazı sıcaklığını arttırmıştır.

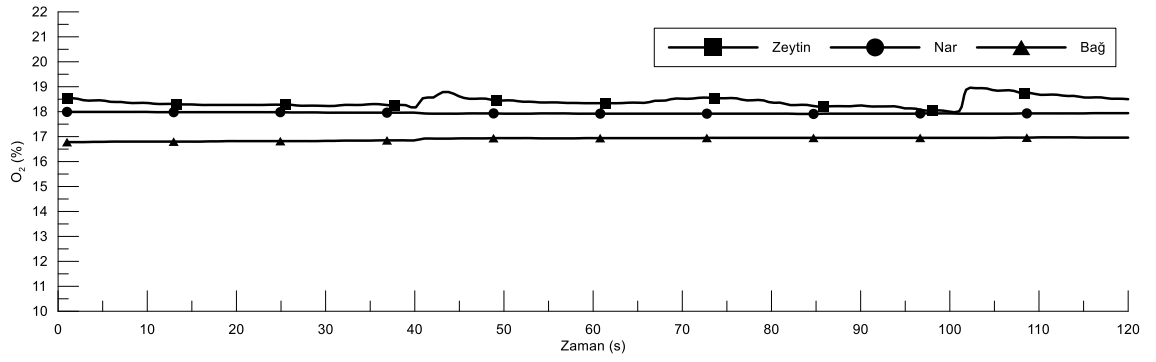
Materyal parçacık boyutuna göre baca gazı emisyonları değerlendirildiğinde; materyal parçacık boyutunun artmasıyla, O<sub>2</sub> emisyonları azalmakta ve yanma olumlu yönde etkilenmektedir. Aynı şekilde CO emisyonlarının düşmesiyle tam yanma ortaya çıkmakta ve yanmanın olumlu yönde olduğu desteklenmektedir. Aynı şekilde materyal parçacık boyutunun artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyon değerleri de düşmüştür. Bu durum ise çevresel açıdan bakıldığında olumlu bir sonuçtur. Baca gazı sıcaklığı değerlerine bakıldığında ise materyal parçacık boyutunun artmasıyla baca gazı sıcaklığı artmıştır.

Üretilen peletlerin 3 farklı fan üfleme yakılması sonucu ortaya çıkan baca gazı emisyonları irdelendiğinde; fan üfleme hızının artmasıyla O<sub>2</sub> emisyon değeri azalmış ve yanma olumlu yönde etkilenmiştir. Aynı şekilde CO emisyonlarının azalmasıyla tam yanma ortaya çıkmakta ve yanmanın olumlu yönde olduğunu desteklenmektedir. Aynı şekilde fan üfleme hızının artmasıyla, NO<sub>x</sub> emisyon değerleri düşmüştür. Bu durum ise çevresel açıdan bakıldığında istenen bir sonuçtur. Baca gazı sıcaklığı değerlerine bakıldığında ise fan üfleme hızının artması baca gazı sıcaklığını azaltmıştır.

#### 4.5.4. Tüm peletlerin yanma performans karşılaştırmaları

##### 4.5.4.1. O<sub>2</sub> emisyonları

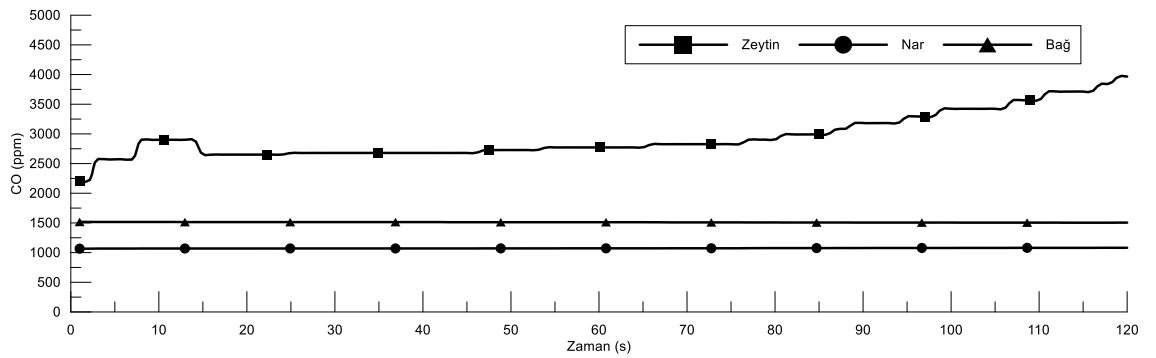
O<sub>2</sub> emisyonununun düşük çıkması yanmanın iyi olduğunu, yüksek çıkması ise peletlerin iyi yanmadığını göstermiştir. Zeytin, nar ve bağ budama artıklarının O<sub>2</sub> emisyon dağılımlarına bakıldığında, en düşük O<sub>2</sub> emisyon değerleri bağ budama artıklarından üretilen peletlerde görülmektedir. Dolayısıyla O<sub>2</sub> emisyonu açısından en verimli yanan peletlerin bağ budama artıkları olduğu söylenebilir. İlgili peletlerin (4 mm ve %10-12 Nem) O<sub>2</sub> emisyon dağılımları Şekil 4.81’de verilmiştir. O<sub>2</sub> emisyon değerinin düşük olması yanmanın olumlu olduğunu göstermiştir. Her üç materyal için ölçülen verim değerleri, Al-Widyan vd. (2006) ile Permchart ve Kouprianov (2004) tarafından farklı biyokütle örneklerinin yakılması ile elde edilen %69-82 arasındaki yanma verimi değerleri ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 81. Materyal çeşidine göre O<sub>2</sub> emisyon dağılımı

##### 4.5.4.2. CO emisyonları

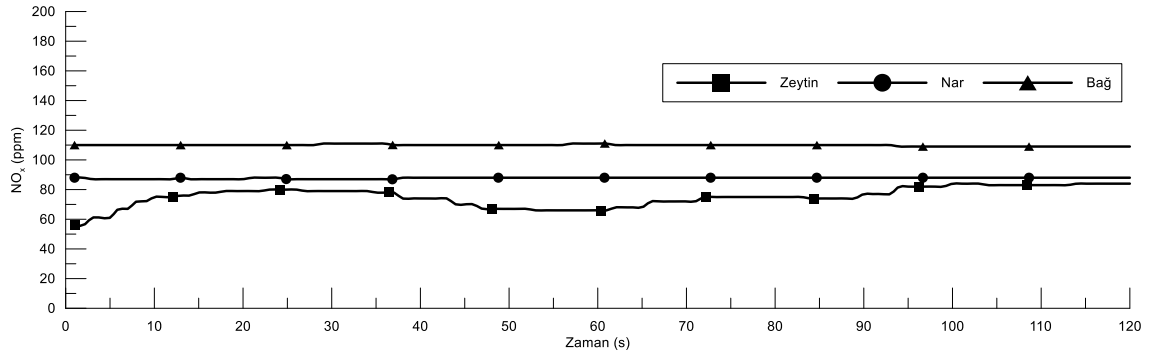
Zeytin, nar ve bağ budama artıklarının CO emisyon dağılımlarına bakıldığında, en düşük CO emisyon değerleri nar budama artıklarından üretilen peletlerde görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında en verimli yakılan peletlerin nar artıkları olduğu söylenebilir. İlgili peletlerin (4 mm ve %10-12 Nem) CO emisyon dağılımları Şekil 4.82’de verilmiştir.



Şekil 4. 82. Materyal çeşidine göre CO emisyon dağılımı

#### 4.5.4.3. NO<sub>x</sub> emisyonları

Zeytin, nar ve bağ budama artıklarının NO<sub>x</sub> emisyon dağılımlarına bakıldığında, en düşük NO<sub>x</sub> emisyon değerleri zeytin budama artıklarından üretilen peletlerde görülmektedir. İlgili peletlerin (4 mm ve %10-12 Nem) NO<sub>x</sub> emisyon dağılımları Şekil 4.83’de verilmiştir.



Şekil 4. 83. Materyal çeşidine göre NO<sub>x</sub> emisyon dağılımı

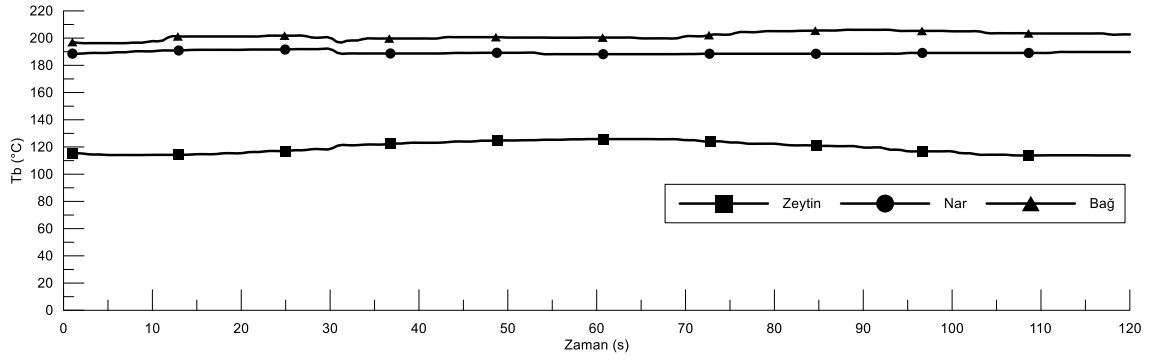
Zeytin, nar ve bağ budama artıklarından üretilen peletlerin yanma performansı incelenirken, çevresel açıdan NO<sub>x</sub> emisyonunun düşük olması beklenen bir sonuçtur. Molina-Moreno vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; zeytin ağacından üretilen peletlerin NO<sub>x</sub> emisyonlarını 333-366 ppm aralığında olduğunu ve bunun Avrupa mevzuatı için yeterli olduğunu belirtmiştir.

Tarımsal atıkların NO<sub>x</sub> emisyonu, odunla karşılaştırıldığında oldukça yüksektir (Piednoir vd. 2016). Yakıtın NO<sub>x</sub> emisyonu, nitrik oksit (NO) ve azot dioksit (NO<sub>2</sub>) bileşiklerini kapsamaktadır ve Nitrojen (N) emisyonların en büyük bileşenidir. Bu direkt olarak yakıt N içeriği ile ilgilidir (Oberberger vd. 2006, Sartor vd. 2014).

#### 4.5.4.4. Baca gazı sıcaklığı

Baca gazı sıcaklığının yüksek olması, yanma sonucu elde edilen enerjinin büyük bir kısmının baca ile atmosfere atıldığını göstermiştir. Yanma performansı açısından baca gazı sıcaklığının düşük olması gerekmektedir.

Zeytin, nar ve bağ budama artıklarının baca gazı sıcaklığı dağılımlarına bakıldığında, en düşük baca gazı sıcaklığı zeytin budama artıklarından üretilen peletlerde görülmektedir. Baca gazı sıcaklığı açısından en verimli yanan peletlerin zeytin artıkları olduğu söylenebilir. İlgili peletlerin (4 mm ve %10-12 Nem) baca gazı sıcaklığı dağılımları Şekil 4.84’de verilmiştir.



Şekil 4. 84. Materyal çeşidine göre baca gazı sıcaklığı dağılımı

Zeytin, nar ve bağ budama artıklarından üretilen peletlerin baca gazı sıcaklığı değerleri, literatürde belirtilen değerlerden düşük çıkması geleneksel sobalar yerine pelet sobası kullanımının avantajını ortaya koyması açısından önemlidir (Winikka ve Gebart 2004, Bilgin vd. 2013).

## 5. SONUÇLAR

Gelişen teknoloji ve artan nüfus ile birlikte enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Türkiye meyve üretiminde önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır. Buna bağlı olarak meyve bahçelerinden her yıl büyük miktarlarda biyokütle materyali çıkmaktadır. Çalışma kapsamında, ortaya çıkan artıkların ekonomiye kazandırılması ve etkili kullanılması için budama sonucu açığa çıkan zeytin, nar ve bağ budama artıkları peletlenerek pelet sobasında yanma denemeleri yapılmıştır.

Zeytin, nar ve bağ budama artıklarından %10-12 ve %14-16 nem aralığında kaliteli peletler üretilmiştir. Zeytin budama artıklarının peletlenmesinde makine ve kalıp kaynaklı herhangi bir sorun yaşanmaz iken nar ve bağ budama artıklarının peletlenmesinde kalıpta materyal sıkışması olmuştur. Özellikle bağ budama artıklarının peletlenme esnasında, peletleme ünitesinde nem artışı ve kalıp deliklerinde tıkanmalar meydana gelmiştir. Peletleme işleminin rahat olması için kalıp yağlı materyal kullanılarak ısıtılmıştır. Bunun yerine pelet kalıp ısıtma sistemleri tasarlanabilir. Özellikle nar ve bağ gibi odunsu ve lifli materyallerde kalıp ısıtması verim açısından oldukça önemlidir.

Peletlerin parça yoğunlukları; materyal çeşidine, parçacık boyutuna ve nem içeriğine bağlı olarak materyal yoğunluğunun 3.9 ile 5.8 katı arasında artmıştır. Yığın yoğunluklarının artışı ise materyal yoğunluğunun 2.1 ile 3.2 katı arasındadır. Mekanik dayanıklılık direnci, peletlerin özellikle mekanik veya pnömatik sistemlerle taşınma özelliklerinin tanımlanması açısından önemlidir. Üretilen peletlerin mekanik dayanıklılık dirençleri %91.3 ile %96.60 arasında bulunmuştur. Üretilen peletlerin yığın ve parça yoğunlukları ve mekanik dayanıklılık dirençleri oldukça yüksek olup Avrupa pelet konseyi tarafından hazırlanan standartlar ile uyumludur.

Peletler depolama süresince çevre şartlarından çok az etkilenmiştir. Depolama ortamının nem içeriğinin artması peletlerin nem alma hızını artırmıştır. Materyal nem içeriğinin artması pelet yoğunluklarını olumsuz etkilemiştir. Diğer taraftan materyal nem içeriğinin artışı üretim kapasitesini arttırmıştır.

Peletler, ticari pelet sobasında yakılmıştır. O<sub>2</sub> emisyonunun düşük çıkması yanmanın iyi olduğunu, yüksek çıkması ise peletlerin iyi yanmadığını göstermiştir. CO emisyonlarının düşmesiyle tam yanma ortaya çıkmakta ve yanmanın olumlu yönde olduğu bilinmektedir. NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin ise çevresel açıdan düşük çıkması önemlidir. Ayrıca yanma verimi açısından baca gazı sıcaklığının da düşük olması gerekmektedir.

O<sub>2</sub> emisyon dağılımlarına bakıldığında, En düşük O<sub>2</sub> emisyon değerleri bağ budama artıklarından üretilen peletlerde görülmektedir. Dolayısıyla O<sub>2</sub> emisyonu açısından en verimli yanan peletlerin bağ budama artıkları olduğu söylenebilir. CO emisyon dağılımlarına bakıldığında ise, en düşük CO emisyon değerleri nar budama artıklarından üretilen peletlerde görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında en verimli yakılan peletlerin nar artıkları olduğu söylenebilir.

NO<sub>x</sub> emisyon dağılımlarına bakıldığında, en düşük NO<sub>x</sub> emisyon değerleri zeytin budama artıklarından üretilen peletlerde görülmektedir. Baca gazı sıcaklığı



dağılımlarına bakıldığında ise, en düşük baca gazı sıcaklığı yine zeytin budama artıklarından üretilen peletlerde görülmektedir. Baca gazı sıcaklığı açısından en verimli yanan peletlerin zeytin artıkları olduğu söylenebilir.

Ölçülen emisyon değerleri, ilgili standartlar dikkate alındığında evsel ısıtmada kullanımı uygundur. Peletlerin daha verimli şekilde yakılması için yakma sistemleri geliştirilebilir. Özellikle yakıt besleme sistemlerinin tasarımı konusunda yapılan çalışmalar önem arz etmektedir.

Peletlerin materyal çeşidine göre fiziksel özelliklerinde farklılıklar gösterdiği dikkate alındığında; farklı materyaller için peletleme denemeleri yapılarak artıkların en verimli şekilde değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Farklı peletlerin farklı koşullarda yakma denemeleri yapılarak uygun şartlar belirlenmelidir. Ayrıca peletleme işlemi öncesi materyale ön ısıtma veya sıcak buhar uygulaması ile pelet kalitesi, üretim kapasitesi ve enerji tüketimi üzerine etkileri belirlenmelidir.

Peletlerin depolama şartlarından nasıl etkilendiğinin belirlenmesi amacı ile belirli aralıklarla pelet kalitesi ile ilgili testler tekrarlanarak depolama şartlarının pelet kalitesine etkisi tespit edilmelidir. Zeytin, nar ve bağ budama artıklarının potansiyelinin yüksek olduğu bölgelere peletleme tesisleri kurularak bu tür enerji içeren biyokütle kaynakları ekonomiye kazandırılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

- Acaroğlu M., Aydoğan H. 2012. Biofuels energy sources and future of biofuels energy in Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 36: 69-76.
- Ahn, B. J., Chang, H., Lee, S.M., Choi, D.H., Cho, S.T., Han., G., and Yang, I. .2014. Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. *Renewable Energy*, 62: 18-23
- Al-shemmeri, R. Yedla R. , Wardle D. 2015. Thermal characteristics of various biomass fuels in a small-scale biomass combustor. *Applied Thermal Engineering* 85 (Supplement C): 243-251.
- Al-widyan, M.I., Tashtoush, G. and Hamasha, A. M. 2006. Combustion and emissions of pulverized olive cake in tube furnace. *Energy Conversion and Management*, 47: 1588–1596.
- Aragon-Garita, S., Moya R., Bond B., Valaert J. 2016. Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential energy crops in the Northern Region of Costa Rica, *Biomass and Bioenergy*, 87, 84-95.
- Balasubramanian, D. 2000. Physical Properties of Raw Cashew Nut, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, 291-7.
- Ballesteros, I., Negro, M.J., Oliva, J.M., Cabanas, A., Manzanares, P., and Ballesteros, M. 2006. Ethanol production from steam-explosion pretreated wheat straw. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 130:496-508.
- Başçetinçelik, A., Karaca, C., Öztürk, H.H., Kaçira, M., ve Ekinçi, K. 2005. Agricultural biomass potential in Turkey. 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture and 27th International Conference of CIRG Section IV, p. 195-199, 27-29 September, İzmir, Turkey.
- Bergström, D., Israelson, S., Öhman, M., Dahlqvist, S., Gref, R., Boman, C., Wästerlund, I. 2008. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of scots pine sawdust fuel pellets. *Fuel Processing Technology*, 89: 1324-1329.
- Biswas, A. K., Rudolfsson, M., Broström, M., and Umeki, K. 2014. Effect of pelletizing conditions on combustion behaviour of single wood pellet. *Applied Energy*, 119: 79-84.
- Bilgin, S., Ertekin, C., Kürklü, A. 2013. Alternatif yakıt olarak sera bitki atığı briketlerinin yakılması ve baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 26(1), 11-17.

- Bilgin, S., Yılmaz H., Koçer A., Acar M., Dok M. 2015. Fındık Zurufunun Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi, *Tarım Makinaları Bilim Dergisi*, 11, 265-273.
- Bilgin, S., Koçer A., Yılmaz H., Acar M., Dok M. 2016. Çay Üretim Atıklarının Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi, *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, vol.33, pp.70-80.
- Celma, A.R., Cuadros, F., Rodriguez, F.L. 2012. Characterization of pellets from industrial tomato residues. *Food and Bioproducts Processing*, 90: 700-706.
- Carroll, J. P. AND Finnan J. 2012. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. *Biosystems Engineering* 112(2): 151-159.
- Castellano, J. M., Gomez, M., Fernandez, M., Esteban, L.S., and Carrasco, J.E. 2015. Study on the effects of raw materials composition and pelletization conditions on the quality and properties of pellets obtained from different woody and non woody biomasses. *Fuel*,139: 629-636.
- Chandrasekaran, S. R., Sharma, B. K., Hopke, P. K., and Rajagopalan, N. 2016. Combustion of Switchgrass in Biomass Home Heating Systems: Emissions and Ash Behavior. *Energy & Fuels*, 30(4), 2958-2967.
- Chen, L., Xing, L., and Han, L. 2009. Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13:2689-2695.
- Colley, Z.J. 2006. Compaction of Switchgrass for Value Added Utilization, (M. Sc), The Graduate Faculty of Auburn University.
- Cubero-Abraca, R., Moya R., Valaret J., Filho M. T. 2014. Use of coffee (coffea arabica) pulp for the production of briquettes and pellets for heat generation, *Ciênc. Agrotec.* 38(5), 461-470.
- Coşkun, M. B., Yalçın, I. ve Özarlan, C. 2005. Physical properties of sweet corn seed (*Zea mays saccharata* Sturt). *Journal of Food Engineering*, 74(4): 523-528.
- Du, W., Shen, G., Chen, Y., Zhu, X., Zhuo, S., Zhong, Q., ... Xing, B. 2017. Comparison of air pollutant emissions and household air quality in rural homes using improved wood and coal stoves. *Atmospheric Environment*, 166, 215-223.
- EC. 2005. Biomass Green Energy for Europe. European Communities. Luxembourg.
- EC. 2017. EU Energy in Figures. Statistical Pocketbook 2017, doi:10.2833/80717, Luxembourg.
- EN 14774-2. 2009. Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Total moisture. Simplified method.

- EN 14961-2. 2013. European Pellet Council. ENplus Handbook, Part 3: Pellet Quality Requirements (Version 3.0, August 2015)
- EN 15103. 2009. Solid biofuels. Determination of bulk density
- EN 15149-2. 2010. Solid biofuels. Determination of particle size distribution. Vibrating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and below
- EN 15210-1. 2009. Solid biofuels. Determination of mechanical durability of pellets and briquettes – Part 1: Pellets
- EN 16127. 2012. Solid biofuels. Determination of length and diameter of pellets
- ETKB. 2017. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <http://www.eie.gov.tr>. [Son erişim tarihi: 30.01.2018].
- Fachinger, F., Drewnick, F., Gieré, R., and Borrmann, S. 2017. How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: Emission factors for different fuels and burning conditions. *Atmospheric Environment*, 158, 216-226.
- Fassina, O.O. 2008. Physical Properties of Peanut Hull Pellets, *Bioresource Technology*, 99, 1259-66.
- Fournel S., Palacios J.H., Godbout S., Heitz M. 2015a. Effect of Additives and Fuel Blending on Emissions and Ash-Related Problems from Small-Scale Combustion of Reed Canary Grass. *Agriculture* 5(3): 561-576.
- Fournel S., Palacios J.H., Morissette R., Villeneuve J., Godbout S., Heitz M., Savoie P. 2015b. Influence of biomass properties on technical and environmental performance of a multi-fuel boiler during on-farm combustion of energy crops. *Applied Energy* 141: 247-259.
- Garcia-Maraver, A., Zamorano, M., Fernandes, U., Rabaçal, M., Costa, M. 2014. Relationship between fuel quality and gaseous and particulate matter emissions in a domestic pellet-fired boiler. *Fuel*, 119, 141-152.
- Garcia-Maraver, A., Ramos-Ridao A. F., Ruiz D.P., Zamorano M. 2010. Quality of pellets from olive grove residual biomass. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10), Granada-Spain.
- Gil, M.V., Oulego P., Casal M.D., Pevida C., Pis J.J., Rubiera, F. 2010. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends, *Bioresource Technology*, 101, 8859-8867.
- Gilbert, P., Ryu, C., Sharifi, V., and Swithenbank, J. 2009. Effect of process parameters on pelletisation of herbaceous crops. *Fuel*, 88: 1491-1497.

- Goswami, D.Y., and Kreith, F. 2007. Global energy system. In: Kreith F, Goswami D, editors. Handbook of energy efficiency and renewable energy. Florida. Taylor and Francis Group, LLC, p. 1-20.
- Grover, P.D., and Mishra, S.K. 1996. Biomass briquetting: Technology and practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, 43 pp.
- Hoover, A. N., Tumuluru J. S., Teymour F., Moore J., Gresham G. 2014. Effect of pelleting process variables on physical properties and sugar yields of ammonia fiber expansion pretreated corn stover, *Bioresouruce Technology*, 164, 128-135.
- IEA. 2009. World energy outlook. International Energy Agency, Paris.
- IEA. 2010. World energy outlook, Executive Summary. International Energy Agency, Paris.
- IEA. 2017. Key World Energy Statistics. International Energy Agency, Paris.
- Jackson, J., Turner A., Mark T., Montross M. 2016. Densification of biomass using a pilot scale flat ring roller pellet mill, *Fuel Processing Technology*, 148, 43-9.
- Kaliyan, N., and Morey, R.V.2009. Factor affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33: 337-359.
- Kashaninejad, M., and Tabil, L.G. 2011. Effect of microwave-chemical pre-treatment on compression characteristics of biomass grinds. *Biosystem Engineering*, 108 (1): 36-45.
- Koyuncu, T. ve Pinar, Y. 2007. The emissions from a space-heating biomass stove. *Biomass and Bioenergy*, 31 (1): 73-79.
- Larsson, S.H. and Rudolfsson, M. 2012. Temperature control in energy grass pellet production – effects on process stability and pellet quality. *Applied Energy*, 97: 24-29.
- Larsson, S.H., Thyrel M., Geladi P., Lestander T.A. 2008. High quality biofuel pellet production from pre-compacted low density raw materials, *Bioresouruce Technology*, 99(15), 7176-7182.
- Lehtikangas, P. 2001. Quality Properties of Pelletised Sawdust, Logging Residues and Bark, *Biomass and Bioenergy*, 20, 351-60.
- Lestander, T.A., Finell M., Samuelsson R., Arshadi M., Thyrel M. 2012. Industrial scale biofuel pellet production from blends of unbarked softwood and hardwood stems-the effects of raw material composition and moisture content on pellet quality, *Fuel Processing Technology*, 95, 73-7.

- Liu, X., Liu, Z., Fei, B., Cai, Z., Jiang, Z., and Liu, X. 2013. Comparative properties bamboo, rice straw pellets. *Bio Resource*, 8(1): 638-647.
- Liu, X., Fei, B., Jiang, Z., Cai, Z., and Liu, Z. 2014. Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China. *Wood Sci Technol*, 48: 903–917.
- Mani, S., Tabil, L.G., Sokhansanj, S. 2003. An Overview of Compaction of Biomass Grinds, *Powder Handling and Process*, 15, 160-8.
- Mani, S., Tabil, L.G., Sokhansanj, S. 2004 Grinding Performance and Physical Properties of Wheat and Barley Straws, Corn Stover and Switchgrass, *Biomass and Bioenergy*, 27, 339-52.
- Mani, S., Tabil, L.G., and Sokhansanj, S. 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical of biomass pellets from Grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30: 648-654.
- Molina-Moreno, V., Leyva-Díaz, J. C., and Sánchez-Molina, J. 2016. Pellet as a Technological Nutrient within the Circular Economy Model: Comparative Analysis of Combustion Efficiency and CO and NOx Emissions for Pellets from Olive and Almond Trees. *Energies*, 9(10), 777.
- Niedziolka, I., Szpryngiel M., Kachel-Jakubowska M., Kraszkievicz A., Zawislak K., Sobczak P., Nadulsk R. 2015. Assessment of the energetic and mechanical properties of pellets produced from agricultural biomass, *Renewable Energy*, 76, 312-7.
- Nilsson, D., Bernesson S., Hansson P.A. 2011. Pellet production from agricultural raw materials – a systems study, *Biomass and Bioenergy*, 35, 679-689.
- Olave, R. J., Forbes, E. G. A., Johnston, C. R. and Relf, J. 2017. Particulate and gaseous emissions from different wood fuels during combustion in a small-scale biomass heating system. *Atmospheric Environment*, 157, 49-58.
- Permchart, W. and Kouprianov V.I. 2004. Emission performance and combustion efficiency of a conical fluidized-bed combustor firing various biomass fuels. *Bioresource Technology*, 92(1): 83-91.
- Piednoir, B., Commandré, J. M., Benoist, A., EL Fassi, S., and Vaitilingom, G. 2016. Biomass blending as a way to reduce NOx emissions during the combustion of biomass residues.
- Puig-Arnabat, M., Shang L., Sárossy Z., Ahrenfeldt J., Henriksen, U.B. 2016. From a single pellet press to a bench scale pellet mill-Pelletizing six different biomass feedstock, *Fuel Processing Technology*, 142, 27-33.

- Razuan, R., Finney K.N., Chen Q., Sharifi V.N., Swithenbank J. 2011. Pelletised fuel production from palm kernel cake, *Fuel Processing Technology*, 92(3), 609-615.
- Rabaçal, M., Fernandes, U. and Costa, M. 2013. Combustion and emission characteristics of a domestic boiler fired with pellets of pine, industrial wood wastes and peach stones. *Renewable Energy* 51(0): 220-226.
- Qiu, G. Q. 2013. Testing of flue gas emissions of a biomass pellet boiler and abatement of particle emissions. *Renewable Energy* 50: 94-102.
- Obernberger, I., Brunner, T., Bärnthaler, G. 2006. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. *Biomass and Bioenergy*, 30(11), 973-982.
- Öztürk, H.H. 2012. Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi, Hasad Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, ss. 272.
- Santacroce F. C. 2010. Vineyard pruning cycle for heat production in east Veneto, Italy.
- Santamarta, L.C., Chaney, K., Godwin, R.J., White, D.R. 2012. Physical Quality Changes During The Storage of Canola (Brassica Napus L.) Straw Pellets, *Applied Energy*, 95, 220-6.
- Sartor, K., Restivo, Y., Ngendakumana, P., Dewallef, P. 2014. Prediction of SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> emissions from a medium size biomass boiler. *Biomass and Bioenergy*, 65, 91-100.
- Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M., and Portero, H. 2011. Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw Pellets. *Fuel Processing Technology*, 92: 699-706.
- Shaw, M.D., Karunakaran, C., and Tabil, L.G. 2009. Physicochemical characteristics of densified untreated and steam exploded poplar wood and wheat straw grinds. *Biosystem Engineering*, 103 (2): 198-207.
- Sippula, O., Lamberg, H., Leskinen, J., Tissari, J., & Jokiniemi, J. 2017. Emissions and ash behavior in a 500kW pellet boiler operated with various blends of woody biomass and peat. *Fuel*, 202, 144-153.
- Sokhansanj, J., Turhollow, A.F. 2004. Biomass Densification-Cubing Operations and Cost for Corn Stover, *Applied Engineering in Agriculture*, 20, 495-9.
- Soleimani, M., Tabil, X. L., Grewal, R. and Tabil, L. G. 2017. Carbohydrates as binders in biomass densification for biochemical and thermochemical processes. *Fuel*, 193, 134-141.
- Stahl, M., Berghel J. 2011. Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake, *Biomass and Bioenergy*, 35, 4849-4854.

- Stelte, W., Holm J.K., Sanadi A.R., Barsberg S., Ahrenfeldt, J., Henriksen U.B. 2011. Fuel pellets from biomass: the importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions, *Fuel*, 90, 3285-3290.
- Spliethoff H, Hein K.R.G. 1998. Effect of co-combustion of biomass on emissions in pulverized fuel furnaces. *Fuel Processing Technology*, 54: 189-205
- Tabil, L.G. 1996. Pelleting and binding characteristics of alfalfa. Ph. D. Thesis Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Canada, 219 p.
- Tabil, L.G., Sokhansanj, S. 1996. Pocess Condiions Affecting the Physical Quality of Alfalfa Pellets, *Applied Engineering in Agriculture*, 12, 345-50.
- Tabil, L.G., Sokhansanj, S. 1997. Bulk Properties of Alfalfa Grind in Relation oo Its Compaction Characteristics, *Applied Engineering in Agriculture*, 13, 499-05.
- Theerarattananoon, K., XU, F., Wilson, J., Ballard, R., Mckinney, L., STAGGENBORG, S., VADLANI, P., PEI, Z.J., WANG, D. 2011. Physical Properties of Pellets Made from Sorghum Stalk, Corn Stover, Wheat Straw, And Big Bluestem, *Industrial Crops and Products*, 33(2), 325-32.
- TUİK. 2016. Bitkisel Üretim İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr>. [Son erişim tarihi: 30.01.2018]
- Wiinikka, H. ve Gebart, R. 2004. Experimental investigations of the influence from different operating conditions on particle emissions from a small-scale pellets combustor. *Biomass and Bioenergy*, 27: 645-652.
- Yılmaz, H. 2014. Bazı Tarımsal Artıkların Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Zafari, A., Kianmehr M. H. 2014. Factors affecting mechanical properties of biomass pellet from compost, *Environmental Technology*, 35(4), 478-486
- Zamorano, M., Popov V., Rodríguez M.L., García-Maraver A. 2011. A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues, *Renewable Enery*, 36, 3133-314



**7. EKLER**

EK-1. Üretilen peletlerin materyal çeşidine göre varyans analiz tablosu

Üretim kapasitesi	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	11352.778	2	5676.389	82.838
	Grup içi	3494.722	51	68.524	
	Toplam	14847.500	53		

Enerji tüketimi	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	3.470	2	1.735	48.683
	Grup içi	1.818	51	.036	
	Toplam	5.288	53		

Yığın yoğunluğu	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	196385.345	2	98192.672	51.585
	Grup içi	97079.203	51	1903.514	
	Toplam	293464.548	53		

Parça yoğunluğu	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	431455.247	2	215727.624	62.967
	Grup içi	174727.855	51	3426.036	
	Toplam	606183.102	53		

Mekanik dayanıklılık direnci	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	339.460	2	169.730	6.363
	Grup içi	1360.470	51	26.676	
	Toplam	1699.930	53		

Basınç direnci	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	111503.880	2	55751.940	26.761
	Grup içi	106249.786	51	2083.329	
	Toplam	217753.666	53		

Özgül basınç direnci	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	1006.087	2	503.043	52.106
	Grup içi	492.366	51	9.654	
	Toplam	1498.453	53		

Gerilme direnci	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	9.590	2	4.795	49.647
	Grup içi	4.925	51	0.097	
	Toplam	14.515	53		

EK-2. Üretilen peletlerin materyal parçacık boyutuna göre varyans analiz tablosu

Üretim kapasitesi	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	768.444	2	384.222	1.392
	Grup içi	14079.056	51	276.060	
	Toplam	14847.500	53		

Enerji tüketimi	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	0.174	2	0.087	0.869
	Grup içi	5.114	51	0.100	
	Toplam	5.288	53		

Yığın yoğunluğu	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	5735.637	2	2867.818	0.508
	Grup içi	287728.911	51	5641.743	
	Toplam	293464.548	53		

Parça yoğunluğu	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	21365.191	2	10682.595	0.932
	Grup içi	584817.912	51	11467.018	
	Toplam	606183.102	53		

Mekanik dayanıklılık direnci	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	121.472	2	60.736	1.962
	Grup içi	1578.458	51	30.950	
	Toplam	1699.930	53		

Basınç direnci	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	71.221	2	35.610	0.008
	Grup içi	217682.445	51	4268.283	
	Toplam	217753.666	53		

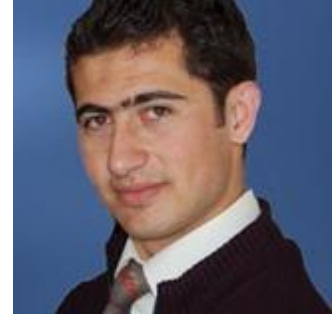
Özgül basınç direnci	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	8.617	2	4.308	0.147
	Grup içi	1489.836	51	29.212	
	Toplam	1498.453	53		

Gerilme direnci	Varyans kaynağı	KT	SD	KO	F Değeri
	Gruplar arası	0.102	2	0.051	0.181
	Grup içi	14.413	51	0.283	
	Toplam	14.515	53		

## ÖZGEÇMİŞ

**ABDÜLKADİR KOÇER**

**akocer@akdeniz.edu.tr**



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

<b>Doktora</b>	Akdeniz Üniversitesi
2012-Halen	Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya
<b>Yüksek Lisans</b>	Gazi Üniversitesi
2003-2005	Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü, Ankara
<b>Lisans</b>	Gazi Üniversitesi
1998-2002	Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Öğretmenliği, Ankara

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

<b>Öğretim Görevlisi</b>	Akdeniz Üniversitesi
2005- Devam Ediyor	Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
<b>Öğretim Görevlisi</b>	Gazi Üniversitesi
2004-2005	Teknik Eğitim Fakültesi, Atatürk Meslek Yüksekokulu (Misafir Öğretim Elemanı)

## **ESERLER:**

### **Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler**

- 1- Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A. (2017). Evaluation of greenhouse residues gasification performance in hydrogen production, International Journal of Hydrogen Energy, vol.42, pp.23244-23249
- 2- Yılmaz, A., Ünvar, S., Koca, T. ve Koçer, A. (2017) Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri, Technological Applied Sciences (NWSATAS),12(4):218-232
- 3- Koçer A., Şevik S., Güngör A. (2016). Determination of Solar Collector Optimum Tilt Angle for Ankara and Districts", Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, vol.21, pp.63-78
- 4- Yaka İ.F., Önal S., Koçer A., Güngör A. (2016). Binalarda Enerji Performansının Belirlenmesinde Farklı İllerin Karşılaştırılması, Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi, vol.3, pp.127-135
- 5- Koçer A., Gökçek M., Yaka İ.F., Güngör A. (2016). Global Güneş Işınım Değerleri Tahmininde Ampirik Modellerin Karşılaştırılması, Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi, vol.3, pp.12-18
- 6- Akyol E., Yaka İ.F., Koçer A., Güngör A., Hacıhafızoğlu O.(2016). Sabit Yataklı Gazlaştırıcı Açısından Trakya Bölgesi Biyokütle Potansiyeli, Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi, vol.3, pp.155-162
- 7- Bilgin S., Koçer A., Yılmaz H., Acar M., Dok M. (2016). Çay Fabrikası Atıklarının Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ", Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG), vol.33, pp.70-80
- 8- Koçer A., Atmaca İ., Ertekin C.(2015). A Comparison of Flat Plate and Evacuated Tube Solar Collectors with F-Chart Method, Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi-Journal of Thermal Science And Technology, vol.35, no.1, pp.77-86
- 9- Yaka İ.F., Koçer A., Güngör A. (2015). Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Karbon Ayak İzinin Tespiti, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, vol.12, pp.37-45
- 10- Koçer A., Güngör S., Gökçek M., Yaka İ.F., Güngör A. (2015). Kömür Gazlaştırma Sisteminin Ekserji Analizinde Bypass Oranının Önemi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, vol.12, pp.1-13
- 11- Bilgin S., Yılmaz H., Koçer A., Acar M., Dok M. (2015). Fındık Zurufunun Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, vol.11, pp.265-273

- 12- Güngör A., Gökçek M., Yalçın F., Koçer A., Yaka İ.F., Sardoğan G.T. (2015) Determining the best model for estimation the monthly mean daily global solar radiation on a horizontal surface – A case study in Nigde, Turkey, *World Journal of Engineering*, vol.13, no.3, pp.307-312
- 13- Koçer A., Gökçek M., Güngör A. (2015). Comparison of Empirical Models for the Estimation of Monthly Global Solar Radiation at Nigde in Turkey, *British Journal of Applied Science & Technology*, vol.11, no.2, pp.1-8
- 14- Koçer A., Yaka İ.F., Sardoğan G.T., Güngör A. (2015). Effects of Tilt Angle on Flat-Plate Solar Thermal Collector Systems, *British Journal of Applied Science & Technology*, vol.9, no.1, pp.77-85
- 15- Bilgin S., Yılmaz H., Koçer A. (2015) Briquetting of Greenhouse Pepper Crop Residues, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol.Spc. Issue, no.1, pp.185-192
- 16- Bilgin S., Yılmaz H., Koçer A., Acar M., Dok M. (2014). Ayçiçeği saplarının konik helezon tip briket makinesinde briketlenmesi, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, cilt.27, no.2, ss.91-97

**Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceeding) basılan bildiriler**

- 1- Koçer A., Yaka İ.F., Yılmaz H., Güngör A. (2017). Farklı Oranlardaki Mısır Sapı Biyokütlesi İle Kömür Karışımının Gazlaştırma Performansı, 1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya, Türkiye, pp.515-519
- 2- Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A. (2017). Hydrogen Purification Using Gasification Of Tea Factory Wastes, 2st International Mediterranean Science And Engineering Congress (IMSEC2017), Adana, Türkiye, pp.0-0
- 3- Yılmaz H., Koçer A., Canbazoğlu E., Yaka İ.F., Güngör A. (2017). Tarımsal Atıklardan Üretilen Peletlerin Parça Yoğunluğu ve Dayanıklılık Direnci Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, 1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya, Türkiye, pp.1187-1192
- 4- Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A. (2017). Hydrogen Purification of Groundnut Shell Residues, *International Advanced Researches & Engineering Congress-2017*, Osmaniye, Türkiye
- 5- Canbazoğlu E., Koçer A., Aksoy E., Yaka I.F., Güngör A. (2017). Mobil Uygulama ile Etkili Sunum Değerlendirme, I. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Konferansı, Antalya, pp.60-69

- 6- Yaka I.F., Koçer A., Canbazoğlu E., Güngör A. (2017). Karbon Ayak İzi Açısından Turizm Sektörü: Otel Örneği, I. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Konferansı, Antalya, pp.130-136
- 7- Yaka I.F., Koçer A., Güngör A. (2017). Atık Hurda Bakır Kablolarının Toz Metalurjisi Açısından Değerlendirilmesi, I. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Konferansı, Antalya, S.508-514
- 8- Güngör A., Yaka I.F., Yazman E., Koçer A. (2017). Trijenerasyon Sistemi Enerji Ve Ekserji Analizi: Üniversite Örneği, I. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Konferansı, Antalya, pp.520-528
- 9- Yaka I.F., Koçer A., Güngör A. (2017). Determination Of Hydrogen Production Potential From Greenhouse Wastes By Gasification Antalya Example, V. International Energy Technologies Conference (ENTECH 17), İstanbul, pp.87-87
- 10- Yaka I.F., Koçer A., Güngör A. (2017). Effect Of Solar Energy In Reducing Carbon Footprint, V. International Energy Technologies Conference (ENTECH 17), İstanbul, pp.86-86
- 11- Canbazoğlu E., Gundak İ., Koçer A. (2016). Sınav Hazırlama Ve QR Kod Destekli Not Giriş Sistemi Geliştirilmesi, Uluslararası Multidisipliner Konferansı (IMUCO 2016), Antalya, Türkiye, Pp.695-701
- 12- Yaka İ.F., Güngör A., Koçer A. (2016). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanarak Karbon Ayak İzinin Düşürülmesi: 5 Yıldızlı Otel Örneği, I. Uluslararası Turizm ve Mikrobiyal Gıda Güvenliği Kongresi, Antalya, Türkiye, pp.11-11
- 13- Güngör A., Yaka İ.F., Koçer A. (2016). Sürdürülebilir Turizm İçin Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sisteminin Önemi: 5 Yıldızlı Otel İçin Antalya Örneği, I. Uluslararası Turizm Ve Mikrobiyal Gıda Güvenliği Kongresi, İstanbul, Türkiye, pp.10-10
- 14- Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A. (2016). Importance Of Tilt Angle On Flat-Plate Solar Thermal Collector Systems For Antalya Districts, 20th International Research/Expert Conference - Trends in The Development of Machinery and Associated Technology - TMT 2016, Venedik, İtalya, pp.173-176
- 15- Canbazoğlu E., Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A. (2016). Learning The Greenhouse Temperature And Wind Rates Via Mobile Phones, 20th International Research/Expert Conference - Trends İn The Development of Machinery And Associated Technology - Tmt 2016, Venedik, İtalya, pp.193-196



- 16- Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A. (2016). Evaluation Of Greenhouse Residues Gasification Performance in Hydrogen Production, 1st International Mediterranean Science And Engineering Congress (IMSEC2016), Adana, Türkiye, Pp.0-0
- 17- Ay I.E., Kocer A, Yılmaz A. (2016). Proton Change Membrane (PEM) Fuel Cells, International Engineering, Science And Education Conference, Diyarbakir/Turkey pp. 36-44
- 18- Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A. (2016). A Comparison Of Heat Transfer Enhancement In Flat-Plate Solar Collectors With Inner Tube Apparatus, SOLARTR 2016 Solar Conference & Exhibition, İstanbul, Türkiye, pp.426-431
- 19- Yılmaz A., Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A. (2016). Determination Of Optimum Tilt Angle On Solar Thermal Collectors For Batman Province Of Turkey, SOLARTR 2016 Solar Conference & Exhibition, İstanbul, Türkiye, pp.674-678
- 20- Bilgin S., Yılmaz H., Koçer A., Acar M., Dok M., Alparslan S. (2015). Briquetting Of Rice Straw And Determination of Briquette Physical Properties, International Scientific XXXVI Ciosta & CIGR Section V Conference, Saint Petersburg, Rusya, pp.78-87
- 21- Koçer A., Güngör A. (2015). Farklı Oranlardaki Çeltik - Kömür Karışımının Gazlaştırma Verimi Açısından İncelenmesi, International Science And Technology Conference (ISTEC2015), St.Petersburg, Rusya, pp.62-66
- 22- Koçer A., Güngör A., Yaka İ.F. (2015). Global Güneş Işınım Değerleri Tahmininde Farklı Ampirik Modellerin Değerlendirmesi, International Science And Technology Conference (ISTEC2015), St.Petersburg, Rusya, pp.89-95
- 23- Yaka İ.F., Güngör A., Koçer A. (2015). Akdeniz Bölgesi Biyokütle Yakıtlarının Gazlaştırılarak Enerjiye Dönüştürülmesinin Sürdürülebilir Çevre Üzerindeki Etkileri, International Science And Technology Conference (ISTEC2015), St.Petersburg, Rusya, pp.102-109
- 24- Koçer A., Gökçek M., Güngör A. (2015). Comparison Of Empirical Models Of The Monthly Mean Daily Global Solar Radiation On A Horizontal Surface, 3.European Conference On Renewable Energy System, Antalya, Türkiye, pp.202-209
- 25- Koçer A., Güngör S., Gökçek M., Güngör A. (2015). Tarımsal Atıkların Gazlaştırma Yöntemi ile Değerlendirilmesi, 13.Uluslararası Yanma Sempozyumu, Bursa, Türkiye, pp.82-90
- 26- Yaka İ.F., Koçer A., Güngör A. (2015). Use Of Renewable Energy In Reducing Carbon Footprint Of Akdeniz University Health Services Vocational, III. International Energy Technologies Conference ENTECH '15, İstanbul, Türkiye, pp.52-55

- 27- Yaka İ.F., Koçer A., Güngör A. (2015). Calculation And Reduction Of Carbon Footprint: Tourism Example, IV. International Energy Technologies Conference ENTECH '16, İstanbul, Türkiye, pp.13-18
- 28- Yaka İ.F., Koçer A., Güngör A. (2015). Carbon Footprint Calculation Of A Family, IV. International Energy Technologies Conference ENTECH '16, İstanbul, Türkiye, Pp.237-240
- 29- Kocer A., Gungor A. (2013). Future Of Solar Collectors: Tilt Angle Optimization For Maximum Performance, 3rd International Exergy, Life Cycle Assessment, And Sustainability Workshop & Symposium (ELCAS3), Nisyros - Greece
- 30- Güngör A., Kocer A. (2013). Efficiency And Economical Assessment Of South Facing Solar Collectors For Building Applications", Solar Energy For World Peace, İstanbul, Türkiye, pp.168-168

#### **Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan bildiri kitabında basılan bildiriler**

- 1- Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A. (2016). Bir Konutun Elektrik İhtiyacının Yazılım Desteği İle Tespit Edilmesi, XVIII. Akademik Bilişim Konferansı, Aydın Türkiye
- 2- Yaka İ.F., Koçer A., Güngör A. (2016). Android Tabanlı Mobil Uygulama ile Araç Karbon Salınım Hesabı, XVIII. Akademik Bilişim Konferansı, Aydın Türkiye
- 3- Canbazoğlu E., Koçer A. (2016). Phonegap İle Çoklu Mobil Ortamlara Uygulama Geliştirme: Web Servis Örneği, XVIII. Akademik Bilişim Konferansı, Aydın Türkiye
- 4- Koçer A., Güngör A. (2015). Google Map Api İle Android Cihazlarda Optimum Kollektör Eğim Açısının Hesaplanması, XVII. Akademik Bilişim Konferansı, Eskişehir, Türkiye
- 5- Koçer A., Uzunsakal L. (2015). Akdeniz Üniversitesi Gerçek Panoramik Fotoğraflarla Kampüs Gezintisi, XVII. Akademik Bilişim Konferansı, Eskişehir, Türkiye
- 6- Güngör S., Koçer A., Gökçek M., Güngör A. (2015). Kömür Gazlaştırma Sistemi Dizaynında Termodinamik Analizin Önemi, 20. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi, Balıkesir, Türkiye
- 7- Koçer A., Yaka İ.F., Güngör A., Beştaş E., Boyacılar M., Muhammetoğlu A. (2015). İçmesuyu Temin Sistemlerinde Enerji Üretiminde Kullanılabilecek Türbin Sistemlerinin Değerlendirilmesi, 3.Anadolu Enerji Sempozyumu (AES2015), Muğla, Türkiye, s.641-646

- 8- Gungor A., Kocer A.,Sardogan G. T. (2014). Effects Of Tilt Angle On Flat-Plate Solar Thermal Collector Systems, Solartr Konferans Ve Sergisi, İzmir, Türkiye
- 9- Albayrak Y., Koçer A., Uslu S. (2013). Web Servis Aracılığıyla Android Cihazlardan Sıcaklık Kontrolü, Akademik Bilişim 2013 – XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Antalya, Türkiye, s. 157-160
- 10- Ercan U., Akar H., Koçer A. (2013). Paralel Programlamada Kullanılan Temel Algoritmalar, Akademik Bilişim 2013 – XV. Akademik Bilişim Konferansı, Antalya, Türkiye, s.812-816
- 11- Güngör A., Koçer A., Demirci E. (2013). Güneş Enerjisinin Kullanımında Optimum Tilt Açısının Önemi, 6. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin, Türkiye