

Orman atıklarının pelet olarak değerlendirilme imkânlarının araştırılması

The investigation of the feasibility of the utilization of forest wastes as pellet resources

Yasemin ZENGİN¹
Ayşegül EFENDİOĞLU ÇELİK²
Mahmut DOK²
Semra ÇOLAK³
Asuman İlkay KARGİDAN¹
Alaettin ÇAKIR⁴
Abdurrahman SEMERCİOĞLU¹

¹ Doğu Karadeniz Ormanlık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Trabzon

² Samsun Karadeniz Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü Müdürlüğü, Samsun

³ Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Trabzon

⁴ OGM, Kadastro ve Mülkiyet Daire Başkanlığı, Ankara

Sorumlu yazar (Corresponding author)

Yasemin ZENGİN
yaseminzengin@ogm.gov.tr

Geliş tarihi (Received)

11.11.2019

Kabul tarihi (Accepted)

26.02.2020

Sorumlu editör (Corresponding editor)

Gökhan GÜNDÜZ
ggunduz@bartin.edu.tr

Atıf (To cite this article): ZENGİN, Y., ÇELİK, A., DOK, M., ÇOLAK, S., KARGİDAN, A., ÇAKIR, A., SEMERCİOĞLU, A. (2020). Orman atıklarının pelet olarak değerlendirilme imkânlarının araştırılması. Ormanlık Araştırma Dergisi, 7 (2), 113-119.
DOI: <https://doi.org/10.17568/ogmoad.645297>



Creative Commons Atıf -
Türetilemez 4.0 Uluslararası
Lisansı ile lisanslanmıştır.

Öz

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli nedenlerinden biri fosil yakıt kullanımıdır. Fosil yakıtlar yerine biyokütle kullanımıyla doğaya daha az zararlı gazlar yayılmaktadır. Ülkemiz odunsu biyokütle atıkları bakımından son derece zengin kaynaklara sahiptir. Bu kaynakların biyoyakıt (odun peleti) olarak kullanılıp ülke ekonomisine kazandırılması büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada; Artvin Orman Bölge Müdürlüğünden temin edilen materyallerden 21 farklı varyasyonda pelet üretilmiş ve üretilen peletlerin; ısı değeri, kül içeriği, nem oranı, baca gazı emisyonları ve elementel içerik gibi özellikleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda ısı değeri 4361-4644 cal/g (18,26-19,44 MJ/kg), kül yüzdeleri %0,61-1,73, elementel içerik N %0,14-0,29, C %46,49-48,94, H %5,75-6,21, O ise %48,03-50,67 olarak bulunmuştur. Baca gazı emisyon değerleri ise O₂ %17,23-18,77, CO₂ %2,10-3,63, CO 209,67-487,67 ppm, NO 22,67-48,67 ppm, NO_x 22,33-46,67 ppm ve SO₂ 2,00-7,67 ppm olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda peletlerin ısı değeri ve emisyon değerleri bakımından standart limit değerlere sahip oldukları söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Pelet, biyokütle, ısı değeri, emisyon değerleri

Abstract

One of the most important causes of global warming and climate change is fossil fuel use. Less harmful gases are emitted to the nature by using biomass instead of fossil fuels. Turkey has very rich resources in terms of woody biomass waste. It is of great importance that these resources are used as biofuels (wood pellets) and brought into the country's economy. In this study; pellets were produced in 21 different variations from the materials obtained from the Artvin Regional Directorate of Forestry. Thermal value, ash content, moisture content determination, flue gas emissions measurement and elemental analysis were done in this pellets. As a result of analysis; thermal values are 4361-4644 cal/g (18,26-19,44 MJ/kg), the ash percentages are 0,61-1,73 %, the elemental analysis values are N 0,14-0,29%, C 46,49-48,94%, H 5,75-6,21%, O 48,03-50,67%. Flue gas emission values were determined as O₂ 17,23-18,7%, CO₂ 2,10-3,63%, CO 209,67-487,67 ppm, NO 22,67-48,67 ppm, NO_x 22,33-46,67 ppm and SO₂ 2,00-7,67 ppm. As a result of this study, it can be said that pellets have standard limit values in terms of thermal value and emission values.

Keywords: Pellets, biomass, calorific value, emissions values

1. Giriş

Nüfus artışı, kentsel gelişim ve sanayileşme ile birlikte dünya birincil enerji tüketimi de giderek artmaktadır. Enerji ihtiyacı artmasına rağmen fosil yakıt rezervleri gün geçtikçe azalmakta olup özellikle petrol ve doğalgaz rezervleri kritik seviyelere yaklaşmaktadır. Bununla birlikte fosil yakıt kullanımının gerek çevresel, gerekse ekonomik yönden pek çok olumsuzlukları vardır. (Anonim, 2015).

Günümüzde fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar sosyal maliyet olarak kabul edilmektedir. Fosil yakıt kullanımının insanlar, bitki örtüsü, hayvanlar, hatta binalar üzerindeki olumsuz etkileriyle ilgili ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda fosil yakıtların çevreye verdiği zararın yılda yaklaşık 5 trilyon dolar (Türkiye bütçesinin neredeyse 125 katı) olduğu belirlenmiştir (Tüplek, 2011).

Son 150 yılda atmosferde biriken CO₂ miktarının 2/3'ünün fosil yakıt tüketiminden, 1/3'lük kısmının da yanlış arazi kullanımı ve ormansızlaşmadan kaynaklandığı tespit edilmiştir (Anonim, 2009).

Ülkemizde fosil yakıt olarak düşük kalorili linyit, taş kömürü, asfaltit, kok, petrol ve doğalgaz üretilmektedir. Ancak üretilen kömürlerin büyük bölümü termik santraller, demir çelik sanayinde kullanılmaktadır (Önal ve Yarbay, 2010). Bu yüzden tüketimi karşılamak ve arz güvenliğini sağlamak için ithalat yoluna gidilmekte ve her yıl ithalat bedeli olarak milyonlarca dolar ödenmektedir.

Ülkemizin de üyesi olduğu Dünya Enerji Konseyinin Yarın İçin Enerji Grubu da CO₂ emisyonu-küresel ısınma- kuraklaşma- çölleşme- erozyon kısır döngüsü yanında, enerjide dışa bağımlılık, istihdam ve kırsal fakirleşmeyle savaşımında etkin yöntem olarak biyokütle enerjisinin önemini vurgulamaktadır (Gizlenci ve Acar, 2008).

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Hem çevre kirliliğinin önlenmesi, hem de sürdürülebilir kalkınma için enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının hızla artırılması gerekmektedir (Önal ve Yarbay, 2010).

Orman endüstrisi sektörünün talebini karşılayabilmek için Türkiye'de odun üretimi yıllar içinde artma eğilimindedir. OGM 2012 yılı bilanço sonuçlarına göre 14.366.000 m³ endüstriyel odun, 5.674.000 ster yakacak odun, 2013 yılı bilanço sonuçlarına göre 13.518.000 m³ endüstriyel odun, 5.186.000 ster yakacak odun, 2014 bilanço sonuçlarına göre 14.873.000 m³ endüstriyel odun, 4.764.000 ster yakacak odun, 2015 yılı bilanço sonuçlarına göre 16.506.000 m³ endüstriyel odun, 4.396.000 ster

yakacak odun, 2016 yılı bilanço sonuçlarına göre 16.960.000 m³ endüstriyel odun, 4.376.000 ster yakacak odun, 2017 yılı bilanço sonuçlarına göre 17.153.000 m³ endüstriyel odun, 4.706.000 ster yakacak odun, 2018 yılı bilanço sonuçlarına göre 17.010.000 m³ endüstriyel odun, 4.877.000 ster yakacak odun, 2019 yılı aralık ayı sonu verilerine göre 15.105.000 m³ endüstriyel odun, 4.750.000 ster yakacak odun üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrası ormanlarda kayda değer miktarda atıl vaziyette orman atığı kalmaktadır. Saraçoğlu'na (2008) göre, ülkemizde her yıl yaklaşık 7 milyon m³ orman atığı ve 56 milyon ton zirai atık oluştuğu bildirilmektedir. Bu atıkların biyoyakıt olarak kullanılması ile hem çevresel hem de ekonomik anlamda ülkeye katkı sağlanmış olacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki biyokütle yakıtlarından olan "odun peleti", üretim teknolojisinin kolaylığı, çevre dostu olması ve benzeri özellikleri ile tüm yenilenebilir enerji kaynakları içinde öne çıkmaktadır.

Odun peleti, odun atıklarının kurutulup öğütülerek talaş hâline getirildikten sonra yüksek basınçla sıkıştırılmasından elde edilen 6-10 mm çapındaki yakıt topaklarıdır. Kurutma, öğütme ve peletleme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada yaklaşık %50-65 neme sahip olan odun tozu (talaş), yonga fırında kurutulurken nem oranı yaklaşık %10'a düşürülür. İkinci aşamada genellikle 6,4 ya da 3,2 mm çapa sahip değirmen eleğinden geçirilerek preslenir ve pelet hâline getirilir. Yaklaşık 70-90 derece sıcaklıkta preslenen peletler soğutulma işlemiyle sıcaklıkları 25 dereceye düşürülür ve paketlenir (Magellia ve ark., 2009).

Günümüzde Avrupa'nın neredeyse tamamı, Kuzey Amerika, Rusya ve İskandinavya ülkeleri yakacak ihtiyaçlarını biyokütle yakıtı olan odun peletinden karşılamaktadırlar (URL-1). Ülkemizde ise biyokütleden yakıt üreten çok az sayıda tesis bulunmaktadır. Bu tesislerin çoğunluğu ham madde olarak odun tozunu kullanmaktadırlar. Ancak piyasadaki mevcut odun tozu pelet sektörü dışında lif levha kuruluşlarınca da talep edilmektedir. Her iki sektörün yoğun talebinden dolayı fiyatlar hızla artmakta, bu da ürün maliyetini olumsuz etkilemektedir. Bu rekabetten dolayı pelet sektörü ham madde sıkıntısı yaşamakta, bu durum mevcut tesislerin üretim akışında aksamalara, hatta bir kısım tesisin de zamanla kapanmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma ile orman atıklarının pelet üretimine uygun olup olmadığı belirlenerek ham madde sıkıntısı yaşayan pelet sektörüne alternatif ham madde kaynağı sunmak amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal temini

Bu çalışmada yakacak odun (ibreli ve yapraklı) ve orman atıkları Artvin Orman İşletme Müdürlüğü üretim ve bakım bölmelerinden, kapak tahtası ve odun tozu ise Artvin Organize Sanayinde bulunan Ormanlı Orman Ürünlerinden temin edilmiştir. Artvin Orman Bölge Müdürlüğü üretim ve bakım bölmelerinde göknar (*Abies* spp.), ladin (*Picea* spp.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), kayın (*Fagus orientalis* Lipsky), kestane (*Castanea sativa* Mill.), kızılğaç (*Alnus* spp.), meşe (*Quercus* spp.) ve gürgen (*Carpinus betulus* L.) gibi ağaç türleri bulun-

maktadır. Dolayısıyla temin edilen yakacak odun ve orman atıkları bu türlerden oluşmaktadır.

2.2. Yöntem

Odun tozu haricindeki tüm materyal (ibreli ve yapraklı yakacak odun, orman atıkları, kapak tahtası) saatte 45 m³ kapasiteli Vermeer marka yongalama makinesiyle yongalanarak pelet üretimi için Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne (KTAEM) nakledilmiştir. Burada kaba yongalanmış materyalin nemi %10'un altına düşürülerek 4 mm'lik elekli çekiçli değirmende parçalanmış ve pelet üretimine hazır hâle getirilmiştir. Tüm ma-

Tablo 1. Çalışma kapsamında üretilen pelet varyasyonları
Table 1. Pellet variations produced in the study

VARYASYON		İÇERİĞİ	ORAN
No	Sembol		
1	A	Yapraklı ağaç yakacak odunu	%100
2	B	İğne yapraklı ağaç yakacak odunu	%100
3	C	Orman atığı	%100
4	D	Odun tozu	%100
5	E	Kapak tahtası	%100
6	A-B	Yapraklı ağaç yakacak odunu- İğne yapraklı ağaç yakacak odunu	%50-%50
7	A-C	Yapraklı ağaç yakacak odunu- Orman atığı	%50-%50
8	A-D	Yapraklı ağaç yakacak odunu- Odun tozu	%50-%50
9	A-E	Yapraklı ağaç yakacak odunu- Kapak tahtası	%50-%50
10	B-C	İğne yapraklı ağaç yakacak odunu- Orman atığı	%50-%50
11	B-D	İğne yapraklı ağaç yakacak odunu- Odun tozu	%50-%50
12	B-E	İğne yapraklı ağaç yakacak odunu- Kapak tahtası	%50-%50
13	C-D	Orman atığı- Odun tozu	%50-%50
14	C-E	Orman atığı- Kapak tahtası	%50-%50
15	D-E	Odun tozu- Kapak tahtası	%50-%50
16	AB-C	Yapraklı ve İğne yapraklı ağaç yakacak odunu- Orman atığı	%50-%50
17	AB-D	Yapraklı ve İğne yapraklı ağaç yakacak odunu- Odun tozu	%50-%50
18	AB-E	Yapraklı ve İğne yapraklı ağaç yakacak odunu- Kapak tahtası	%50-%50
19	A-B-C-D	Yapraklı ağaç yakacak odunu-İğne yapraklı ağaç yakacak odunu- Orman atığı- Odun tozu	%25-%25-%25-%25
20	A-B-C-E	Yapraklı ağaç yakacak odunu-İğne yapraklı ağaç yakacak odunu- Orman atığı-Kapak tahtası	%25-%25-%25-%25
21	A-B-D-E	Yapraklı ağaç yakacak odunu-İğne yapraklı ağaç- Odun tozu- Kapak tahtası	%25-%25-%25-%25

Not: Yapraklı ve iğne yapraklı ağaç yakacak odunu 1: 1 oranında karıştırılacaktır.
Note: Hardwood and soft wood firewood will be mixed in a 1: 1 ratio.

teryal %10 rutubete kadar kurutularak Tablo 1'deki plan doğrultusunda ağırlıkça karıştırılarak 21 farklı varyasyonda karışımlar elde edilmiştir.

2.2.1. Pelet örneklerinin hazırlanması

Peletleme işlemi Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (KTAEM) biyokütle ünitesinde yapılmıştır. Kullanılan pelet makinesi 380 V elektrikle çalışmaktadır ve 6 mm pelet çapı, 3 Kw motor gücü, materyale göre değişmekle birlikte 50-100 kg/h peletleme kapasitesi ve dikey pozisyonda

peletleme ünitesine sahiptir. Peletler hazırlanırken herhangi bir bağlayıcı madde kullanılmamıştır.

2.2.2. Laboratuvar analizleri

Hazırlanan peletler Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (KTAEM) laboratuvarında 3 tekerrürlü olarak analizlere tabi tutulmuştur.

2.2.2.1. Isıl değerlerinin belirlenmesi

Örneklerin üst ısıl değerleri (HHV), ASTM D 5865-04 standardına göre İKA marka C 200 model

kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Test öncesi öğütülmüş örnekler 24 saat 105°C'de bekletilerek içerisindeki nem uzaklaştırılmıştır. 0,5 g ağırlığında kurutulmuş örnekler standart koşullarda bir kalorimetre bombasında oksijen ortamında yakılıp kalorimetre kabı içindeki suyun sıcaklık derecesinin artışına ve sistemin ortalama gerçek ısı sığasına göre ısı değeri tayin edilmiştir. Yanma ısı, yanma işleminden önce, yanma işlemi anında ve yanma işleminden sonraki sıcaklığın izlenmesi ve bunlara termo-kimyasal ve ısı değişimi düzeltmelerinin uygulanması ile hesaplanmış ve cal/g olarak kaydedilmiştir.

2.2.2.2. Kül içeriğinin belirlenmesi

Porselen krozeler 575±25°C'de kül fırınında minimum 4 saat bekletilmiştir. Daha sonra desikatöre alınarak soğutulmuş ve tartım yapılmıştır. Tekrar kül fırınına yerleştirilerek sabit ağırlığa gelmesi beklenilmiştir. Porselen krozeler sabit ağırlığa ulaşınca her birinin içine 0,5-2 g örnek (etüvde kurutulmuş) konularak fırına yerleştirilmiştir. Fırın sıcaklığı belli bir artış programına göre yükseltilmiştir. Sıcaklık artış programı: Fırın sıcaklığı oda sıcaklığından 105°C'ye yükseltip bu sıcaklıkta 12 dakika, 10°C/dakika artışla 250°C'ye yükseltip bu sıcaklıkta 30 dakika, 20°C/dakika artışla 575°C'ye yükseltip bu sıcaklıkta 180 dakika bekletilmiştir. Sıcaklığın 105°C'ye düşmesi beklenip krozeler desikatöre alınmıştır. Soğutulduktan sonra tartılmış ve aşağıda verilen formül yardımıyla kül içeriği hesaplanmıştır (NREL/TP-510-42622).

$$\% \text{ Kül} = \frac{\text{Ağırlık}_{\text{kroze+kül}} - \text{Ağırlık}_{\text{kroze}}}{\text{Ağırlık}_{\text{kuru örnek}}} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2.3. Nem oranının belirlenmesi

Darası alınan alüminyum kaplar 105 ±3°C'deki etüvde en az 4 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda desikatöre alınarak soğutulmuş ve tartım yapılmıştır. Alüminyum kaplara 0,5-2 g örnek konularak 105 ±3°C'de etüvde sabit ağırlığa gelene kadar (genellikle 1 gece) bekletilmiştir. Desikatöre alınıp soğutulmuş tartım yapılmış ve aşağıda verilen formül yardımıyla nem içeriği hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Nem} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100 \quad (2)$$

M₁: Kurutulmuş boş kurutma kabının ağırlığı (g)

M₂: Analiz örneği + kurutma kabının ağırlığı (g)

M₃: Analiz örneği + kurutma kabının kurutma işleminden sonraki ağırlığı (g)

2.2.2.4. Elementel analiz

Numunelerin C, H, N, S ve O tayini Thermo Marka Flash 2000 model elementel analiz cihazı ile yapılmıştır. Cihazın çalışma prensibi üç ayrı aşamada tamamlanmaktadır (C, H, N, S için). İlk aşamada numune kalay (Sn) bir kapsüle konulmuş ve daha sonra yakılarak yükseltgenmiştir. Sonuçta oluşan gaz karışımı, taşıyıcı inert bir gaz ile (He) bir kromatografi kolonuna gönderilmiştir. Burada oksijen (O₂) gazı ile yakılarak oluşan ve ayrılan karışım gazları bir termo kondüktif dedektöre (TCD) yönlendirilerek ayrılan her bir gazın miktarı ile orantılı bir elektrik sinyali elde edilmiştir. Bu elektrik sinyali daha sonra spektrumda elde edilen eğri alanlarıyla orantılı olarak değerlendirilerek örneğin elementel bileşim yüzdesi tespit edilmiştir. Oksijen analizi için ise numune gümüş kapsül içinde cihaza verilerek ve piroliz sonucu oluşan gazın miktarı ile orantılı olarak elektrik sinyali elde edilmiştir. Diğer element analizindeki gibi numunedeki oksijen yüzdesi hesaplanmıştır (Krotz ve Giazzi, 2010).

2.2.2.5. Baca Gazı Emisyonlarının Ölçülmesi:

Peletlerin yanma özelliklerinin ve çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla yanma sonucunda oluşan baca gazı emisyon değerleri belirlenmiştir. Öncelikle peletler, pelet yakma sobasında yakılmıştır. Yanma sonucu oluşan baca gazı emisyon (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x ve SO₂) değerleri ECOM EN2 marka baca gazı analizörü ile ölçülmüştür.

3. Bulgular

3.1. Kimyasal analiz bulguları

21 farklı varyasyonda üretilen peletlere ait nem, kül, ısı değeri(cal/g), elementel analiz(C, H, N ve O tayini) ve baca gazı emisyon (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x ve SO₂) değerleri belirlenmiştir. Örneklerde kükürt (S) tayin limitinin altında olduğu için tespit edilememiştir. Çalışma kapsamında 21 farklı varyasyonda üretilen peletlere ait analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de görüldüğü gibi tüm varyasyonlara ait odun peletlerinin ortalama ısı değeri, kül yüzdesi ve N, C, H, O miktarları sırasıyla; 4459 cal/g (18,67 MJ/kg), %1,19, %0,23, %47,27, %5,89 ve %49,71 olarak bulunmuştur. Baca gazı emisyon değerleri; O₂, CO₂, CO, NO, NO_x, SO₂ ise sırasıyla %18,20, %2,68, 366,56ppm, 35,71 ppm, 37,36 ppm ve 4,43 ppm olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2. Örnek gruplarına ilişkin ortalama değerler
Table 2. Average values of sample groups

Numune Kodu	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	Nem (%)	Kül (%)	Isıl Değer		N (%)	C (%)	H (%)	O (%)
									(cal/g)	MJ/kg				
A	18,40	2,50	449,33	35,33	37,33	4,00	6,58	1,26	4439	18.59	0,24	46,49	6,00	50,67
B	18,00	2,83	339,00	38,67	40,00	4,33	6,78	1,32	4644	19.44	0,20	48,40	5,98	48,63
C	18,43	2,47	234,67	44,33	46,67	2,00	6,29	1,73	4524	18.94	0,29	47,07	5,89	49,94
D	17,23	3,63	416,00	48,67	50,67	5,00	6,78	0,61	4514	18.90	0,14	47,20	5,84	50,00
E	17,50	3,37	455,33	41,33	43,00	5,67	4,98	1,24	4432	18.56	0,22	47,39	5,86	49,78
A-B	18,77	2,13	209,67	27,33	28,33	2,00	6,58	1,21	4504	18.86	0,24	47,00	5,87	50,04
A-C	18,60	2,30	427,67	33,00	34,67	3,33	5,07	1,48	4395	18.40	0,29	47,54	5,79	49,42
A-D	17,50	3,33	296,00	38,67	40,33	4,33	4,41	0,80	4394	18.40	0,20	46,56	5,93	50,58
A-E	18,13	2,77	325,00	38,00	40,00	3,67	6,25	1,17	4362	18.26	0,26	48,94	6,21	48,03
B-C	18,40	2,50	375,67	37,67	39,67	6,00	6,26	1,57	4524	18.94	0,28	47,98	5,94	48,99
B-D	18,10	2,80	380,33	32,00	33,33	5,67	6,01	0,99	4464	18.69	0,19	46,80	5,88	50,24
B-E	17,77	3,10	362,67	38,33	40,33	5,00	5,86	1,15	4480	18.76	0,21	46,98	5,79	49,99
C-D	17,50	3,30	407,00	43,00	45,33	7,67	4,88	1,22	4447	18.62	0,23	47,11	5,81	49,80
C-E	18,70	2,20	388,00	40,33	42,33	4,00	7,21	1,34	4437	18.58	0,27	47,55	5,94	49,47
D-E	18,50	2,40	272,00	23,67	24,67	3,33	6,62	0,87	4446	18.61	0,18	46,72	5,84	50,34
AB-C	18,20	2,67	379,00	43,33	45,67	4,00	5,21	1,40	4453	18.64	0,29	48,11	5,96	48,90
AB-D	18,77	2,10	372,67	22,67	22,33	5,00	5,99	0,91	4361	18.26	0,19	47,32	5,96	49,61
AB-E	18,50	2,33	487,67	25,33	26,67	4,00	6,33	1,13	4491	18.80	0,22	46,75	5,77	50,33
A-B-C-D	17,97	2,90	308,67	39,67	41,67	4,00	6,38	1,21	4434	18.56	0,26	48,15	5,94	48,92
A-B-C-E	18,53	2,37	452,33	32,67	34,00	6,00	5,99	1,31	4432	18.56	0,26	46,92	5,78	50,04
A-B-D-E	18,70	2,17	359,00	26,00	27,67	4,00	5,63	1,01	4461	18.68	0,22	46,61	5,75	50,36
ORT.	18,20	2,68	366,56	35,71	37,36	4,43	6,00	1,19	4459	18,67	0,23	47,27	5,89	49,71

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada 21 farklı varyasyonda üretilen peletlerinin ısı değerleri 4361-4644 cal/g(18,26-19,44 MJ/kg), kül yüzdeleri %0,61-1,73; N %0,14- 0,29; C %46,49-48,94; H %5,75- 6,21; O %48,03-50,67; O₂ %17,23-18,77; CO₂ %2,10-3,63; CO 209,67- 487,67 ppm; NO 22,67-48,67 ppm; NO_x 22,33- 46,67 ppm ve SO₂ ise 2,00- 7,67 ppm arasında değiştiği tespit edilmiştir.

21 farklı varyasyon içinde en yüksek nem oranı %7,21 ile orman atığı-kapak tahtası karışımında, en düşük nem oranı ise %4,41 ile yapraklı yakacak-odun tozu karışımında tespit edilmiştir. Gündüz ve ark. (2016) orman gülü, defne ve kestane peletinin nem miktarını sırasıyla %6,33; %6 ve %6,08 olarak tespit etmişlerdir. Özgen ve ark. (2014), odunsu biyokütleye ait bazı karakteristikleri belirlemişlerdir. Buna göre nem miktarı kayında %9,5; gürgende %9,8; meşede %10; yalancı akasyada %9,2 ve ladinde %0,4'tür. Toscano ve ark. (2014) kayın peletinin nem miktarını %7; ladin peletinin ise %6,8 olarak belirlemişlerdir. TS EN ISO 17225-2: 2014 standardına göre 21 farklı varyasyonda üretilen peletlerin nem değerleri açısından B kategorisinde yer aldıkları ve bu bakım-

dan iyi birer yakıt oldukları söylenebilir.

21 farklı varyasyon içinde en yüksek kül miktarı %1,73 ile orman atığında, en düşük kül miktarı ise %0,61 ile odun tozunda gözlenmiştir. Sarıçam gövde ve dallarının kül içerikleri tespit edilmiştir. Kül içeriği bakımından kabuksuz gövde odunu %0,40; kabuk %2,55; kabuklu gövde odunu %0,62; kabuklu dal odunu %1,03; ibreler %2,35; dal ve gövde dâhil bütün ağaç 0,76 olarak belirlenmiştir (Hakkila ve ark., 1995; Nurmi, 1993). Sarıçam odun talaşının %0,6; huş odun talaşının %0,4-0,6; istihsal kesim atıklarının %1,33; Avrupa ladini kesim atıklarının %2,0-6,0; dip kütüğünün %0,50; söğüt odun yongasının %1,7; kabuklu sarıçam testere talaşının %1,1; kabuksuz sarıçam testere talaşının 0,08; sarıçam kabuğunun %1,70; Avrupa ladini kabuğunun %2,34-2,80 ve huş kabuğunun %1,60 oranında kül içerdiği tespit edilmiştir (Talpale, 1996; Tahvanainen, 1995). Kül miktarı, odun atıklarında %0,4-1; biçme atıklarında %0,5-2; testere talaşında %0,4-0,5; kontrplak atıklarında ise %0,4-0,8'dir. Sadece kabuk kullanılarak üretilen peletlerin kül içeriği %2-3; kabuksuz odun kullanılarak üretilen peletlerin %0,2-0,4; orman atıkları kullanılarak üretilen peletlerin ise yaklaşık olarak

%2'dir (Impola, 1998; Alakangas, 2005).

Yapılan çalışmalarda genel olarak kabuk oranının artmasıyla kül miktarının arttığı görülmektedir. Bu çalışma sonucunda tespit edilen kül miktarları %0,61 ile %1,73 arasında değişmekte olup değerler literatürle uyumaktadır. En yüksek kül oranı literatürle uyumlu olarak orman atıklarında tespit edilmiştir (Taipale, 1996; Tahvanainen, 1995). 21 farklı varyasyonun kül değerleri TS EN ISO 17225-2: 2014'e göre B kategorisinde yer almaktadır. İyi bir yakıtın kül oranının düşük olması istenmektedir. Materyallerin kül miktarları arasında farklılıklar görülmekle birlikte 21 farklı varyasyonun kül miktarı bakımından standarda uygun birer yakıt olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada en yüksek ısı değer 4644 cal/g (19,44 MJ/kg) ile ibreli yakacak odunda, en düşük değer ise 4361 cal/g (18,26 MJ/kg) ile "yapraklı ve ibreli yakacak odun-odun tozunda" belirlenmiştir. Odunun ısı değerini etkileyen başlıca etmenler; ağaç türü, özgül ağırlık, nem, kül ve ekstraktif madde miktarlarıdır. Yanma sonucunda oluşan ısının bir kısmı odun içerisindeki suyun buharlaşmasına harcadığı için nem miktarının artmasıyla kalori değeri azalmaktadır. Ekstraktif madde miktarının artmasıyla da kalori değeri artmaktadır. Odun atıkları ve biçme atıklarının kalori değeri 18,5-20 MJ/kg, testere talaşı ve kontrplak atıklarının kalori değeri ise 19-19,2 MJ/kg arasında değişmektedir (Impola, 1998; Alakangas, 2005). Sarıçamın gövde ve dallarının kalori değerleri tespit edilmiştir. Kalori değeri bakımından kabuksuz gövde odunu 19,31 MJ/kg, kabuk 19,53 MJ/kg, kabuklu gövde odunu 19,33 MJ/kg, kabuklu dal odunu 20,23 MJ/kg, ibreler 21,00 MJ/kg, dal ve gövde dâhil bütün ağaç 19,56 MJ/kg'dir (Hakkila ve ark., 1995; Nurmi, 1993).

Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde prina briketlerin alt ısı değeri 3700 kcal/kg(min)'dir (Anonim, 2005a). 21 farklı varyasyonda üretilen peletlerde tespit edilen kalori değerleri yönetmelikteki değerden oldukça yüksektir. Odunsu atıkların tarımsal atıklara göre daha yüksek kalori değerine sahip olmaları beklenen bir durumdur.

Bu çalışma sonucunda tespit edilen ısı değer miktarları 4361-4644 cal/g (18,26-19,44 cal/g) arasında değişmekte olup değerler literatürle uyumaktadır. TS EN ISO 17225-2: 2014'e göre ısı değerler bakımından tüm varyasyonlar B kategorisinde yer almaktadır. İyi bir yakıtın en önemli ölçütlerinden biri ısı değeri yüksek olmasıdır. Buna göre 21 farklı varyasyonda üretilen peletlerin ısı değeri bakımından oldukça iyi bir yakıt olduğunu söylenebilir.

21 farklı varyasyon içinde en yüksek N (azot) değeri %0,29 ile orman atığı ve (yapraklı-ibreli yakacak odun)-orman atığı karışımında, en düşük değer ise %0,14 ile odun tozunda belirlenmiştir. En yüksek C (karbon) değerinin %48,94 ile yapraklı yakacak odun-kapak tahtası karışımında, en düşük değeri ise %46,49 ile yapraklı yakacak odunda, en yüksek H (hidrojen) değerinin %6,21 ile yapraklı yakacak odun-kapak tahtası karışımında, en düşük değeri ise %5,75 ile yapraklı yakacak odun-ibreli yakacak odun-odun tozu-kapak tahtası karışımında, en yüksek O (oksijen) değerinin %50,67 ile yapraklı yakacak odunda, en düşük değeri ise %48,03 ile yapraklı yakacak odun-kapak tahtası karışımında olduğu belirlenmiştir. S (kükürt) değerleri tayin limitinin altında olduğu için tespit edilememiştir.

Bir numunenin emisyon değerleri yakma yöntemine göre farklılık göstermektedir. Buna göre CO ve NO_x'in açık şöminede, kapalı şöminede, geleneksel sobada, modern sobada ve pelet sobasında yakılmasıyla farklı değerler elde edilmektedir (Özgen ve ark., 2014).

Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre katı yakıtlı yakma tesislerinde CO 400-3200 ppm, CO₂ ise maksimum %20,3 olması gerekmektedir (Anonim, 2005a). Buna göre çalışmada 21 farklı varyasyonda üretilen peletlerin CO değerleri 209,67-487,67 ppm, CO₂ değerleri ise %2,10-3,63 arasında değişmektedir ve bu değerler bakımından yönetmeliğe uygundur.

2005 tarih ve 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun"a göre, biyokütle katı yakıt olarak kullanıldığı tesislerin sekonder hava beslemeli yakma sistemi özelliğine sahip olması gerekmektedir. Ayrıca NO 400 mg/Nm³ (195 ppm), SO_x 200 mg/Nm³ (70 ppm) baca gazı emisyon değerlerini sağlanması zorunludur (Anonim, 2005b). Yapılan bu çalışmada NO 22,67-48,67 ppm, SO₂ ise 2,00-7,67 ppm arasında değişmektedir. Buna göre çalışma kapsamında üretilen 21 farklı varyasyondaki peletlerin CO, CO₂, NO ve SO₂ değerleri bakımından iyi bir yakıt olduğu söylenebilir.

21 farklı varyasyon ve 13 farklı değişkeni ele aldığımızda, baca gazı emisyon değerleri (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x ve SO₂), elementel analiz sonuçları (N, C, H, O ve S) ve nem miktarlarının standart limit değerleri içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Monedero ve ark. (2015), kavak ve çam odun tozundan üretilen peletlerde materyal bileşim oranının pelet kalitesi üzerine etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır. Yaptığımız çalışmada da literatürle uyumlu olarak materyal bileşim oranının pelet ka-

litesini etkilediği tespit edilmiştir.

TS EN ISO 17225-2'ye göre 21 farklı varyasyonda üretilen peletlerin tümü menşe ve kaynak, nem içeriği, kül içeriği, ısıl değer, N (%) ve S (%) parametreleri bakımından B kategorisinde yer almaktadır. Sonuç olarak 21 farklı varyasyonda üretilen peletlerin kalite değerleri açısından pelet üretimine uygun oldukları belirlenmiştir. Gerek kalite gerekse maliyet açısından en uygun materyal odun tozu olmakla birlikte pelet sektörünün ciddi ham madde sorununa çözüm bulmak adına orman atıklarının da kullanılması uygundur.

Teşekkür

Bu makale T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Doğu Karadeniz Ormanlık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne yürütülen 03.7707/2016-2019 proje numaralı "Orman Atıklarının Pelet Olarak Değerlendirilme İmkanlarının Araştırılması" isimli araştırma projesi kapsamında hazırlanmıştır.

Kaynaklar

Alakangas, E., 2005. Properties of Wood Fuels Used in Finland. Biosouth Project, Project Report, 104 s.

Anonim, 2005a. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğini Kontrolü Yönetmeliği, 13.01.2005 Tarihli Resmi Gazete Sayısı: 25699

Anonim, 2005 b. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Kanun Numarası: 5346 Kabul Tarihi: 10/ 5/ 2005 Yayımlandığı R.Gazete: Tarih: 18/5/2005, Sayı: 25819 Yayımlandığı Düstur: Tertip: 5 Cilt: 44

Anonim, 2009. OGM Biyoenerji Komisyon Raporu, Mayıs-2009 Ankara

Anonim, 2015. T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü 01 Ocak 2015 itibarıyla, Sayı 07

Gizlenci, Ş., Acar, M., 2008. Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Enerji Bitkileri ve Biyoyakıtlar Sektörel Rapor, SAMSUN.

Gündüz, G., Saraçoğlu, N., Aydemir, D., 2016. Characterization and elemental analysis of wood pellets obtained from low-valued types of wood, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. Volume 38, 2016- Issue 15.

Hakkıla, P., Kalaja, H.& Saranpaa, P., 1995. Etela-Suomen Ensiharvennumanniköt Kuitu- Ja Energialahtena. Helsinki, Finnish Forest Research Institute, Research Notes 582.

Impola, R. 1998. Puupolitoaineiden Laatuohje. Jyvas-

kyla, FINBIO, Publication 5.33 p.

Krotz, L. Ve Giazzi, G., 2010. BiomassandBio-fuelscharacterizationusingtheThermoScientific FLASH 2000 CHNS/O Analyzer, Application Note: 42151

Magellia, F., Boucher, K., Bib, H.T., Melin, S. Bonolia, A., 2009. An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe, *Biomass and Bioenergy* 33, 434-441.

Monedero, E., Portero, H., Lapuerta, M., 2015. Pellet Blends of Poplar and Pine Sawdust: Effects of Material Composition, Additive, Moisture Content and Compression Die on Pellet Quality, *Fuel Processing Technology*, 132, 15-33.

NREL/ TP-510-42622, 2008. National renewable energy laboratory, Determination of ash in biomass, technical report.

Nurmi, J., 1993. Pienkokoisten puiden maanpaallisen biomassan lampoarvo. *Acta Forestalia Fennica* 236, The Finnish Forest Research Institute.

Önal, E., Yarbay, R. Z. , 2010. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Geleceği. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Sayı: 18, Sayfa: 77-96, İstanbul. [37] Kurt, G., Nacar Koçer, N., 2010. Malatya

Özgen, S., Caserini, S., Galante, S., Giugliano, M., Angelino, E., Marongiu, A., Hugony, F., Migliavacca, G., 2014. Emission Factors from Small Scale Appliances Burning Wood and Pellets, *Atmospheric Environment* 94(2014), 144-153.

Saraçoğlu, N., 2008. Modern Enerji Ormanlığı- Ormanlardan Biyokütle Enerjisi Üretimi ve Çözümlemeler, Orman Genel Müdürlüğü Toplantısı, 19 Kasım 2008 – ANKARA

Tahvanainen, L., 1995. Pajun Viljelyn Perusteet. Basics of Willow Cultivation. *Silva Carelica* 30. University of Joensuu, Faculty of Forestry 86. 126 p.

Taipale, R., 1996. Kiinteiden Polttoaineiden Ominaisuudet Jyväskylä, University of Jyväskylä, Master's Thesis. 138 p

Toscano, G., Duca, D., Amota, A., Pizzi, A., 2014. Emission from realistic utilization of wood pellet stove, *Energy* 68(2014), 644-650.

TS EN ISO 17225-2, Katı biyoyakıtlar- Yakıt özellikleri ve sınıfları- Bölüm 2: Sınıflandırılmış ahşap peletler (EN ISO 17225- 2: 2014), Ekim 2014.

Tüplek, A., 2011. Odun Talaşı ve Tozundan Pelet Biyoyakıt Üretilmesi ve Yanma Analizi, Şelçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD. Yüksek Lisans Tezi, Ekim 2011 KONYA

URL-1. <http://biomassmagazine.com/articles/9836/fao>. Erişim 21.11.2019