

Yağ Güllü Damıtma Atıkları, Kızılçam Kabuğu ve Linyit Kömür Tozundan Elde Edilen Peletlerin Baca Gazı Emisyonlarının Belirlenmesi

Orhan Alp Atay¹

Kamil Ekinci^{1,*}

Yakup Umucu²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

*Sorumlu yazar: E-mail: kamilekinci@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 04.01.2016

Kabul Tarihi (Accepted): 23.03.2016

Bu çalışmada, gül yağı işlemeden kaynaklanan yağ güllü damıtma atıkları ile linyit kömür tozu ve kızılçam ağaç kabuğu kullanarak 6 farklı karışım oranında peletler elde edilmiştir. Peletleme işlemi ile küçük ölçekli işletmeler için geliştirilmiş ve saatlik işlem kapasitesi 50-60 kg pelet olan bir peletleme makinesi kullanılmıştır. Peletlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amacı ile peletler evsel ısıtmalarda kullanılan geleneksel kovalı tip sobada yakılmıştır. Çalışmada, baca gazı emisyonları ile ilgili olarak CO, CO₂, SO₂, NO_x ve O₂ değerleri ile baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi bir baca gazı analizörü ile ölçülmüştür. Çalışma sonuçları, elde edilen tüm peletlerin (liniyit kömür tozunun %75 oranında kullanıldığı pelet hariç) Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen emisyon değerlerinin altında kaldığı ve yakma amaçlı olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Çalışma sonuçları yağ güllü damıtma atıkları ve kızılçam ağaç kabuğu organik atık veya artıkların peletleme amacıyla değerlendirilebileceğini göstermiştir. Peletlere linyit kömür tozunun belirli oranlarda ilavesinin peletlerin yanma özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Peletleme, organik atık/artık, pelet, baca gazı emisyonu

Measurement of Flue Gas Emission of Pellets Obtained from the Mixture of Rose Oil Processing Wastes, Lignite Coal Dust and Pine Barks

In this study, six different pellets were produced using six different ratios of rose oil processing wastes, lignite coal dust and pine barks. A pelletizing machine with a capacity of 50-60 kg per hour for small-scale enterprises was used to pellet. Physical and chemical properties of the pellets were determined. A flue gas analyzer was used to determine the flue gas emissions (CO, CO₂, SO₂, NO_x and O₂), flue gas temperature and combustion efficiency of pellets burned in traditional bucket stoves, commonly used for household heating and cooking. Flue gas emissions values measured after combustion of all the pellets (except for the pellets consisting of 75% of lignite coal dust) was found to be below the limit values specified in Turkish Regulation on Air Pollution Caused by Heating and they could be utilized for burning process in stoves. Furthermore, the results of the study showed that organic wastes/residues such as rose oil processing wastes and pine barks could be utilized for production of pellets. Addition of the certain amount of lignite coal dust in the mixture of pellets has been found to improve the combustion properties of the pellets.

Keywords: Pelleting, organic waste/residues, pellet, flue gas emission

Giriş

Gelişen teknoloji ile beraber enerji kullanımına yönelik talebin her geçen gün artması fosil tabanlı yakıtların kullanımını artırmış bununla beraber fosil yakıt rezervleri ile ilgili sıkıntılar ve çevresel sorunlar önemli seviyelere çıkmıştır. Dünyada enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık % 4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık, bu ihtiyacı karşılayan fosil yakıt rezervi ise çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. En iyimser tahminler bile

önümüzdeki 50 yıl içinde petrol rezervlerinin büyük ölçüde tükeneceğini ve ihtiyacı karşılayamayacağını göstermektedir (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006). Dünya nüfusunun 2030 yılında 8 milyar kişiye ulaşması beklendiğinden, kişi başına ortalama tüketimin 2kW/yıl kadar olacağı varsayımı ile 2030 yılında 16 kW/yıl olacağı hesaplanmıştır. Dünya enerji gereksiniminin büyük bir kısmı fosil yakıtlarla sağlanmakta olup, 2030 yılına kadar fosil yakıt tüketiminin 633 TW/yıl olacağı ve bunun 400 TW/yıl kadarının karbon

yakılarak sağlanacağı tahmin edilmektedir (Özdemir, 2001).

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

Tarımsal atıklar ve artıklar özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için önemli bir kaynak olup bu ülkelerin çoğunda her yıl çok miktarda atık ve artık çıkmaktadır. Birçok gelişmiş ülkede katı atıklar, biyokütlenin peletlenmesi işlemi ile yararlı, kullanılabilir ve ekonomik ürünlere dönüştürülmektedir. Biyokütlenin pelet halinde kullanımı taşıma ve sezon dışında kullanım için depolama gibi pek çok faydalar sağlamaktadır (Obenberger ve Thek, 2004). Wang ve ark. (2009) biyokütle peletlerinin ızgaralı ocaklarda ve akışkan yataklı yakma sistemlerinde, kolay depolama ve taşıma, yüksek yakma verimliliği, düşük hava kirliliği, toz ve yüksek ısı değeri nedeniyle tercih edildiğini bildirmişlerdir.

Isparta, 100 yılı aşkın bir süredir süregelen gülyağı üretimi ile tanınmıştır. Yaklaşık 45 gün süren gül işleme sezonunda yağ gülü damıtma atıkları (YGDA) meydana gelmektedir. Gülyağı ve konkret üretiminin yapıldığı tesislerden kaynaklanan proses atık suyu ve katı atıklar, tesis civarında açılmış toprak çukurlara veya dere yataklarına

boşaltılmaktadır. Bu durum, Isparta ve civarındaki yüzeysel ve yeraltı suları için önemli bir kirlilik kaynağını oluşturmakta, koku ve görüntü kirliliği gibi çevre sorunlarına neden olmaktadır (Tosun ve ark., 2002). Isparta ilinde YGDA'nın yıllık ortalama değeri yaklaşık 18234,7 ton (Isparta Tarım İl Müdürlüğü, 2013; Tosun ve ark., 2002) olarak hesaplanmıştır.

Ormancılık faaliyetleri sırasında çıkan odunsu biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanılması, iklim değişikliğini azaltma konusunda alınan uluslararası kararların zorlayıcı etkisi ve yakıt fiyatlarındaki artışlar nedeniyle, son yıllarda büyük önem kazanmıştır (Saraçoğlu, 2008). Ormanlarda ağaç kesiminden dolayı ortaya çıkan yan ürünler arasında yer alan ağaç kabukları bulunmaktadır. Ağaç kabuğu doğrudan yakıt olarak kullanılabilir gibi, peletleştirilmiş yakıt üretiminde de kullanılabilir. Her türlü orman veya odun işleyen tesislerde oluşan atıklardan pelet üretmek mümkündür.

Ülkemiz kömürlerinin kalitesi genel olarak düşük olup, yüksek oranda kül, kükürt, nem ve alkali bileşikler içermektedir. Ülkemizdeki linyitlerin % 96'sı yüksek kül, %97'si yüksek kükürlü kömürler sınıfına girmektedir (Bozkurt, 2011). Özellikle linyit rezervimizin yaklaşık %1'i 4,000 kcal/kg üzerinde ısı değere sahiptir ve bu nedenle ülkemiz linyitlerinin büyük bir kısmı termik santrallerde kullanılmaktadır. Türkiye giderek artan enerji ihtiyacında dışa bağımlılığı azaltacak ve güvenilir bir şekilde tüketilmesine olanak sağlayacak enerji kaynaklarından linyit kömürü dışında önemli bir fosil yakıt rezervine sahip değildir. Dolayısıyla enerji ihtiyacının karşılanmasında; gerek rezerv, gerekse ülke geneline yayılış özelliği açısından önemli imkânlar sunan linyit kömüründen faydalanması zorunlu bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Bu rezervlerin bir kısmı pelet yapımında kullanılabilir. Ayrıca, Wang ve ark. (2009) yanma prosesinin kontrolünü sağlamak için, biyokütle materyallerinin yarı fosil turba kömürü veya fosil kömür ile karıştırılabileceğini bildirmiştir.

Orman Genel Müdürlüğü ve Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nün kendi sahalarında bulunan biyokütlenin hem orman yangınlarının azaltılmasında hem de biyokütleden kaynak sağlanmasını teşvik etmektedir. Bununla birlikte Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, linyit kömürlerinin ve linyit kömürlerinin üretiminden kaynaklanan atıklarda bulunan ince tane

boyutlarına sahip kömürlerin kazanılması yönünde teşviki bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Isparta ilinde gül yağı işlemeden kaynaklanan YGDA ile linyit kömür tozu (LKT) ve kızılçam ağaç kabuğu (KAK) kullanarak pelet yapımını gerçekleştirmek ve elde edilen peletlerin baca gazı emisyon özelliklerini belirlemektir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Denemeler Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Biyokütle Laboratuvarında yürütülmüştür. Pelet materyali olarak Biolandes gülyacağı işleme tesisinden çıkan YGDA kullanılmıştır. KAK, orman endüstrisi yan ürün olması ve pelet üretimi için doğal bağlayıcı özelliği nedeni ile kullanılmıştır. Ayrıca peletlerin kolay yanmasını sağlamak amacıyla peletleme işleminde LKT farklı karışım oranlarında kullanılmıştır. Pelet

karışımlarında kullanılan YGDA, KAK ve LKT'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Pelet yapımında kullanılan olan YGDA ve KAK'ın öğütülmesi işlemi çekiçli değirmen ile gerçekleştirilmiştir. Peletleme işlemi, 3 kW motor gücüne sahip (redüktör devir sayısı: 96 devir/dakika), işleme kapasitesi 50-60 kg/h olan, dairesel sıralı delikli düz kalıp olan peletleme makinesinde gerçekleştirilmiştir. Pelet kalıbının giriş delik çapı 11 mm, çıkış delik çapı 7 mm ve kalıp boyu 25 mm'dir. Pelet makinesinde pelet boyu ayarlama düzeneği bulunmamaktadır. YGDA,

KAK ve LKT, çekiçli değirmende öğütülmüştür. Peletlemede kullanılan materyaller %80 nem değerine ulaştırıldıktan sonra paslanmaz çelik kazanda 90°C'ye kadar ön ısıl işleme tabi tutulmuştur. Bu materyallerden altı farklı karışım elde edilmiştir. Peletler, peletleme işleminden sonra oda koşullarında (22 °C) kurumaya bırakılmıştır. Çalışma kapsamında pelet yapımında kullanılan materyallerin kuru kütle bazında karışım oranları ve karışımların isimlendirilmesi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Pelet karışımlarında kullanılan YGDA, KAK ve LKT'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Physical and chemical properties of rose oil processing wastes, lignite coal dust and pine barks

Parametre	YGDA (%)	KAK (%)	LKT (%)
Nem (%)	2,41±0,06	7,31±0,21	4,30±0,63
Uçucu madde (%)	66,49±4,17	75,43±5,66	31,26±2,00
Sabit karbon (%)	3,55±1,77	12,52±1,52	40,4±0,94
Kül içeriği (%)	27,55±2,47	4,74±3,94	24,04±0,43
Üst ısıl değer (MJ/kg)	11,31±0,09	15,48±0,39	17,4±0,01

Çizelge 2. Peletlerin yapımında kullanılan materyallerin kuru kütle bazında karışım oranları (%) ve karışımların isimlendirilmesi

Table 2. The mixture ratios (%) based on dry matter of materials used in pellets and naming of pellets

Materyaller	Peletler					
	75-15-10	50-30-20	25-25-50	25-50-25	15-75-10	10-15-75
YGDA (%)	75	50	25	25	15	10
KAK (%)	15	30	25	50	75	15
LKT (%)	10	20	50	25	10	75

Yöntem

Peletlerin kısa analizi (Proximate analysis)

Ana materyallerin ve peletlerin nem içeriği ASTM-D-3173 standardına göre tespit edilmiştir. Pelet örnekleri 105°C sıcaklıkta 2 saat kurutma fırınında kurutulmuştur. YGDA, KAK ve LKT ve pelet örneklerinin kül içeriği ISO-1171'e göre, uçucu madde içerikleri de ISO562 standardına göre tespit edilmiştir. Peletlerin sabit karbon içeriği (%) aşağıdaki bağıntıdan hesap ile elde edilmiştir.

$$FC = 100 - M - VC - a_c \quad (1)$$

a_c =Kül içeriği (%)

FC = Sabit karbon (%)

VC =Uçucu madde içeriği (%)

M =Pelet nem içeriği (% y.b)

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

$$HHV = 0,312FC + 0,1534VC \quad (2)$$

HHV = Üst ısıl değer (MJ/kg)

Baca gazı ölçümleri

Baca gazı emisyon ölçümleri baca gazı analiz cihazı (TESTO 350 M/XL-454) ile gerçekleştirilmiştir. Peletler, baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla evsel ısıtma için kullanılan geleneksel tip kovalı sobada yakılmıştır. Ölçüm cihazı ile O₂, CO, CO₂, SO₂, NO_x emisyon değerleri, baca gazı sıcaklığı ve yanma verimliliği zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Emisyon ölçümleri, Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde (IKHKKY) katı yakma tesisleri, odun ve bitkisel atıkların yakılması ile ilgili verilen %13 O₂ (standart oksijen miktarı yüzdesi) ve % 20.3 CO₂ max (her bir yakıt için kuru atık gaz içindeki maksimum karbondioksit yüzdesi) referans değerlerine göre yapılmış ve bu değerler test öncesi emisyon ölçüm cihazına girilerek tanımlanmıştır (Bilgin ve ark., 2013; IKHKKY 2005).Gaz probu, yönetmelikte belirtilen, baca çıkışından itibaren baca çapının iki katı mesafeden açılan gaz örnekleme alanına yerleştirilmiş ve ölçümler sırasında tek nokta ölçüm alınmıştır.

Peletler tutuşturulmadan önce kovada odun yakılmıştır. Yakılan odun parçaları kor hale getirildikten sonra her bir karışım örneğinden birer kg alınan numuneler sırasıyla yakılmıştır. Ölçümler peletlerin tamamen kor haline geldiği andan itibaren belirlenen gaz örnekleme alanından alınmaya başlanmıştır. Bu işlem her bir karışım örnekleri için tekrar edilmiştir. Deney boyunca kovalı sobanın birincil ve ikincil havalandırma delikleri açık tutulmuştur (Bilgin ve ark., 2013).

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Pelet fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Peletlerin belirgin özellikleri, (I) standart bir uzunluklarının olmaması, (II) peletlerin düz ve konkav şekillerinin bulunması, (III) ana materyallerin karışımları oranında renklerini almaları olarak sıralanabilir. Peletlerin nemleri yaş bazda %5,39 ile 9,15 arasında değişmiştir. Uçucu madde miktarları, LKT'nin %75 oranda kullanıldığı karışımında (10-15-75) %43,8 iken KAK'ın %75 oranda olduğu karışımında (15-75-10) ise %68,5 olarak ölçülmüştür. Uçucu madde oranının LKT'nin miktarca fazla olduğu karışımında en düşük çıkmasının nedenini kömürün uçucu madde oranının tek başına KAK ve LKT'ye göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Peletlerin sabit karbon değerleri %13,09 ile 32,49 arasında değişmiştir. Sabit karbon ile ilgili yapılan testler sonucunda elde edilen değerler uçucu madde ile ilgili bulunan değerlerle benzer eğilim göstermektedir. Kömürün içerdiği sabit karbon miktarı diğerlerine göre daha yüksektir. GYDA ve LKT'nin kül içeriğinin düşük ve LKT'nin kül içeriğinin yüksek olması oluşturulan karışımların kül içeriklerine de doğrudan yansımıştır. Peletlerin kül içeriği %6,75-%17,37 arasında değişmiştir. Peletlerin üst ısıl değerleri 14,06 MJ kg⁻¹ ile 16,86 MJ kg⁻¹ arasında değişmiştir. LKT'nin ağırlıklı olduğu 10-15-75 peletinde üst ısıl değeri 16,86 MJ kg⁻¹ saptanırken, YGDA'nın miktarının yüksek olduğu 75-15-10 peletinde üst ısıl değeri 14,06 MJ kg⁻¹ olarak ölçülmüştür. Kömür miktarının fazla olduğu karışımlarda üst ısıl değerler yüksek tespit edilmiştir. Bu değerler, biyokütle için literatürde ve kullanım açısından bildirilen ısıl değerler arasında (12,60-21,75 MJ kg⁻¹) kalmaktadır (Ünal ve Alibaş 2002; Başçetinçelik ve ark. 2005).

Çizelge 3. Pelet fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 3. Physical and chemical properties of pellets

Peletler	M (%)	VC (%)	FC (%)	a _c (%)	HHV (MJ/kg)
75-15-10	6,87±0,39	65,01±0,35	13,09±4,51	15,04±5,25	14,06±1,46
15-75-10	9,15±0,08	68,50±0,11	15,60±0,09	6,75±0,12	15,38±0,05
25-25-50	5,39±0,78	55,81±2,45	21,64±0,40	17,15±2,83	15,31±0,25
10-15-75	6,34±0,21	43,80±1,70	32,49±2,49	17,37±1,00	16,86±0,52
50-30-20	8,63±0,27	68,44±0,18	13,14±1,02	9,79±1,12	14,60±0,29
25-50-25	9,06±0,30	65,05±2,75	15,27±7,19	10,62±4,14	14,74±1,82

Baca gazı emisyon ölçümleri

Evsel ısıtma için kullanılan geleneksel tip kovalı sobada YGDA, KAK ve LKT'den elde edilen altı farklı karışım oranlarına sahip peletlerin yanması sırasında atmosfere salınan baca gazı emisyonlarının değişimi Şekil 1'de verilmiştir. 25-25-50 peletinin yanma testi esnasında ölçüm cihazında oluşan problemden dolayı baca gazı ölçümlerinde problem yaşanmıştır. Şekil 1'deki baca gazı emisyonlarının zamanın fonksiyonu olarak değişimlerine bakıldığında, yanma işleminde O₂'nin kullanılması ile CO ve CO₂ emisyonlarının yükseldiği tespit edilmiştir. 10-15-75 peletinde O₂, %13,8 seviyesine kadar düşerken, 25-50-25 peletinde en düşük O₂ konsantrasyonu %18,7 seviyesine düşmüştür. Peletler kararlı yanma rejimine ulaştıktan sonra O₂ ve CO₂ ölçümleri daha dar bir bantta gerçekleşmiştir. Fakat her bir pelet için CO emisyon değerinin zamanın fonksiyonu olarak değişiminde farklılıklar oluşmuştur. Örneğin, 10-15-75 ve 15-75-10 peletlerinde CO emisyonu sadece yanma işleminin başlangıcında maksimum yapmış ve yanmanın ilerleyen aşamalarında azalarak devam etmiştir. Diğer taraftan 25-25-50 ve 50-30-20 peletlerinde ise CO emisyonu yanmanın başlangıcında ve sonlarına doğru maksimum değerlerini almıştır.

Altı farklı peletin maksimum CO₂, CO ve NO_x gazları salınım değeri İKHKY'nde belirtilen değerler ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4). Baca gazı ölçüm cihazından ölçülen CO ve NO_x değerleri (ppm) mevzuatta bildirilen birime (mg/Nm³) çevrimi, ideal gaz denklemini kullanarak (baca gazı sıcaklığı, basınç ve mol ağırlığı) yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, 10-15-75 peletinin maksimum CO salınımı, mevzuatta belirtilen sınırın üstünde çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak içeriğindeki LKT miktarının yüksek olması olarak gösterilebilir. YGDA oranının yüksek olduğu 75-15-

10 peletinin maksimum CO salınımı yönetmelik değerine yakın olup diğer peletlerin CO salınımları yönetmelikte bildirilen değerlerin altında gerçekleşmiştir (Çizelge 4).

Bunun yanı sıra YGDA'nın pelet içerisindeki miktarı arttıkça maksimum CO emisyon miktarında artış tespit edilmiştir. Fakat bu artış yönetmelik kapsamında belirtilen sınır değerinin altında gerçekleşmiştir. Peletlerde YGDA'nın miktarının artışı maksimum NO_x emisyonun artmasına sebep olmuştur. Örneğin, 50-30-20 peletinde maksimum NO_x emisyon miktarı 23,9 mg/Nm³ iken 75-15-10 peletinde 36,7 mg/Nm³ olarak ölçülmüştür. 10-15-75 peletinde NO_x salınımı yönetmelik sınır değerinin altında kalmış olup LKT oranının yüksek olmasından kaynaklı olarak maksimum NO_x gazı diğer peletlere göre yüksek seviyelerde gerçekleşmiştir.

Peletlerin SO₂ emisyon değerleri 1-7 ppm arasında değişmiştir. En yüksek SO₂ emisyon değerine 75-15-10 peletinde (7 ppm) ölçülürken, en düşük değeri ise 25-50-25 peletinde ölçülmüştür. Altı farklı karışım oranlarına sahip pelet materyallerinin CO, CO₂ ve NO_x gazı salınım değerleri incelendiğinde 10-15-75 peletinin dışındaki tüm peletlerin baca gazı değerleri yönetmelik sınırının altında olduğu tespit edilmiş ve baca gazı değerleri açısından bu peletlerin kullanımının uygun olduğu saptanmıştır.

Elde edilen verilerden kömür miktarının fazla olduğu karışımının salınım açısından standartlara uymadığı anlaşılmıştır. Bunun en büyük nedeni tutuşma sıcaklığı ve bünyede var olan uçucu gazların salınım sıcaklıkları ile ilgilidir. Karışımlarda kullanılan YGDA ve KAK'ın tutuşma sıcaklıklarının düşük olması sebebiyle yanma esnasında birden sıcaklığın yükselmesi ve kömürün bünyesindeki uçucu gazların standartlardan daha yüksek bir emisyon gazlarının çıkmasına sebep vermektedir.

Çizelge 4. IKHKY sınır değerleri ile pelet baca gazı maksimum emisyon değerleri

Table 4. Limit values specified in Turkish Regulation on Air Pollution Caused by Heating and maximum flue gas emissions of pellets

	CO ₂ (%)	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)
IKHKY Sınır Değerleri	20,5	4000	400
75-15-10	4,17	3587,6	36,7
50-30-20	4,89	2660,2	23,9
25-50-25	6,23	1751,3	31,3
25-25-50	2,33	1070,4	13,6
15-75-10	6,36	1856,1	37,6
10-15-75	3,92	7306,5	137,7

Baca gazı sıcaklıkları ve yanma verimleri

Peletlerin baca gazı sıcaklıkları ve yanma verimleri zamanın fonksiyonu olarak Şekil 2'de verilmiştir. Tüm peletlerde (15-75-10 peleti hariç) yanma sırasında baca gazı sıcaklıkları zamana bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, 25-25-50 ve 50-30-20 peletlerinde baca gazı sıcaklıkları düşerken yanma verimliliğinde azalma gözlemlenmiştir. Peletlerin yanma verimleri zamana bağlı olarak ortalaması alındığında, en yüksek ortalama yanma verimi (%53,8) 75-15-10 peletinde saptanırken, en düşük değer (32%) ise 25-50-25 peleti için tespit edilmiştir. 75-15-10, 15-75-10 ve 10-15-75 peletlerinde yanma verimliliği kararlılığını korurken, 25-50-25 peletinde yanma verimliliği kararlılık göstermemiştir.

En yüksek baca gazı sıcaklığı (462,5°C) 10-15-75 peleti için tespit edilirken, en düşük sıcaklık (208,4°C) ise 75-15-10 peleti için ölçülmüştür. Pelet karışımlarında LKT miktarının (25-25-50 ve 10-15-75) artması ile üst yanma ısıl değerleri artmıştır (Çizelge 3). Bu sonuca paralel olarak, peletlerin yanma esnasında ölçülen maksimum baca gazı sıcaklıkları da artmıştır. Pelet karışımlarında YGDA miktarının artması ile ölçülen maksimum baca gazı sıcaklık değerleri düşmüştür (50-30-20 ve 75-15-10). Pelet karışımlarında KAK miktarının artması ile ölçülen maksimum baca gazı sıcaklıkları da artma eğilimi göstermiştir.

Peletlerin yanma verimlilikleri açısından irdelendiğinde tüm peletlerin yanma verimlerinin, Bilgin ve ark. (2013)'ün briket için bildirdiği yanma veriminden (%70) düşük olduğu tespit edilmiştir. Peletler baca gazı emisyonları açısından değerlendirildiğinde ise 10-15-75 peleti hariç tüm peletlerin yakma amaçlı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Peletlerin akışkan yataklı veya kontrollü yanmanın gerçekleştiği yakma

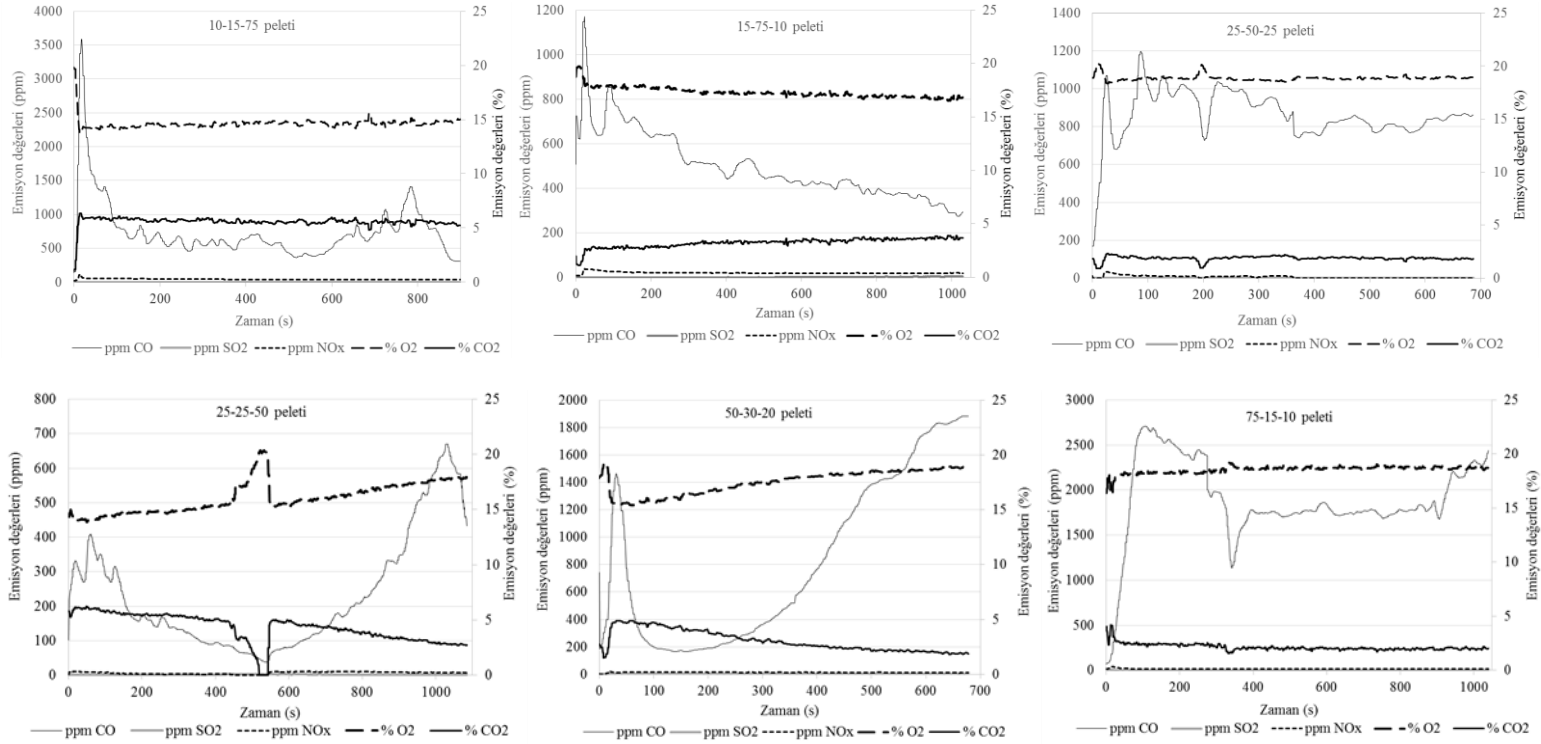
sistemlerinde daha yüksek yanma verimleriyle kullanılabileceği öngörülmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Yağ gülü damıtma atıkları, linyit kömür tozu ve kızılçam ağaç kabuğundan, peletleme makinesi kullanarak altı farklı pelet yapımı gerçekleştirilmiştir. Peletlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Peletlerin, evsel ısıtma ve pişirme amaçlı olarak kullanılabileceği kovalı bir sobada baca gazı emisyon değerleri, baca gazı sıcaklıkları ve yanma verimleri ölçüm cihazı ile belirlenmiştir.

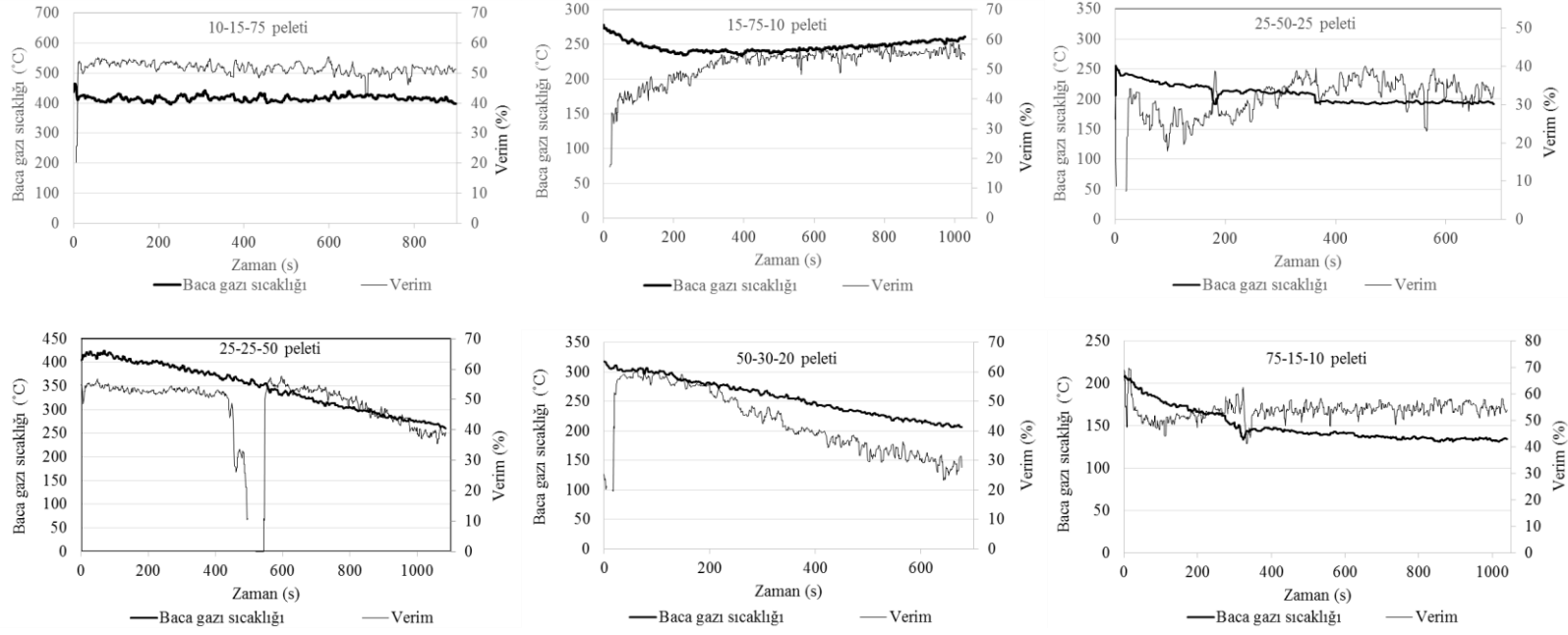
Elde edilen tüm peletlerin (liniyit kömür tozunun %75 oranında kullanıldığı pelet hariç) Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen emisyon değerlerinin altında kaldığı ve yakma amaçlı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Diğer taraftan, yakma işleminin kontrolsüz koşullarda gerçekleşmesinin peletlerin yanma verimlerini düşürdüğü ve linyit kömür tozu oranının yüksek olduğu pelet de baca gazı sıcaklığının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, peletlerin yakmanın daha kontrollü olarak gerçekleştiği yakma sistemlerinde yakılması tavsiye edilmiştir. Geleneksel kovalı tip sobada yakılan altı farklı karışım oranlarına sahip peletlerin, atmosfere salınan baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmanın sonuçları ve sonuçlar doğrultusunda verilen öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Elde edilen peletlerin üst ısıl değerleri literatürde bildirilen değerler arasında yer almış olup üst ısıl değer 14,06 ile 16,86 MJ/kg arasında değişmiştir.



Şekil 1. Farklı peletlerin baca gazı emisyonlarının zamana bağlı olarak değişimi

Figure 1. Flue gas emission of pellets as a function of time



Şekil 2. Farklı peletlerin baca gazı sıcaklıkları ve yanma verimlerinin zamana bağlı olarak değişimi

Figure 2. Flue gas temperature and combustion efficiency of pellets as a function of time

- Yanma kararlı durumdayken 10-15-75 peleti dışındaki peletlerin atmosfere salınan baca gazı emisyonlarının sınır değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir. Fakat bulunan bu yüksek emisyon değerleri, yanmanın ilk aşamasında ortaya çıkmış, yanma rejimine ulaştıktan sonra emisyon değerlerinin tüm pelet karışımları için sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.
- Yanma işleminin kararlı olduğu sırada, peletler için SO₂ emisyonu 25-25-50 peleti için sıfır olduğu, diğer peletlerin SO₂ emisyonlarının önemsiz düzeyde oldukları tespit edilmiştir.
- YGDA, KAK ve LKT materyallerinden elde edilen altı farklı karışım oranlarına sahip peletlerin kullanımının, yanmanın etkin olduğu modern soba ve/veya kazanlarda ısıtma amaçlı kullanımlarının çevreci olacağı kanısına varılmıştır.
- Çalışma sonuçları GYDA ve KAK materyallerinin peletleme amacı ile geri dönüşümünün sağlanabileceğini göstermiştir.
- Peletlerin yanma verimliliklerinin artırılması ve kararlılıklarının sağlanabilmesi için akışkan yataklı modern kazanların kullanılması daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, 4336-YLI-15 proje numarasıyla, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Al-Widyan, M.I., G. Tashtoush, A.I. Khair, 2002. Briquettes of Olive Cake as a Potential Source of Thermal Energy. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 28: 51–59.
- Baley, R.T. and P.R. Blankenhorn, 1984. Calorific and Porosity Development in Carbonized Wood. *Wood Science*, 15:19–28.
- Başçetinçelik, A., C. Karaca, H.H. Öztürk, M. Kacira, K. Ekinci, 2005. Agricultural Biomass Potential in Turkey. Proceedings of the 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & 27th International Conference of CIGR Section IV: The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy

Sources in Agriculture, Sep. 27-29, 2005, İzmir-TURKEY.

- Başçetinçelik, A., H.H. Öztürk, K. Ekinci, D. Kaya, M. Kacira, C. Karaca, 2009a. Strategy Development and Determination of Barriers for Thermal Energy and Electricity Generation from Agricultural Biomass in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 27(4): 277-294.
- Başçetinçelik, A., H.H. Öztürk, K. Ekinci, D. Kaya, M. Kacira, C. Karaca, 2009b. Assessment of the Applicability of EU Biomass Technologies in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 27(4): 295-306.
- Bilgin, S., C. Ertekin, A. Kürklü, 2013. Alternatif Yakıt Olarak Sera Bitki Atığı Briketlerinin Yakılması ve Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1): 11-17.
- Bozkurt, P.A., 2011. Atık Lastik-Kömür Karışımlarının Piroлиз ve Kritik Üstü Ekstraksiyonla Değerli Ürünler Dönüştürülmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya A.B.D.
- Isparta Tarım İl Müdürlüğü, 2013. 2013 yılı Faaliyet Raporu. www.ispartatarim.gov.tr
- Kurtuluş, E., 2004. Yüksek Pirininin Bir Yakıt Olarak Kullanımı ve Eldesi. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Obernberger, I., G. Thek, 2004. Physical Characterisation and Chemical Composition of Densified Biomass Fuels With Regard to Their Combustion Behaviour. *Journal of Biomass and Bioenergy*, (27): 653–669.
- Özdemir, İ.A., 2001. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Pirininin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği A.B.D.
- Saraçoğlu, N., 2008. Biyokütleden Enerji Üretiminde Enerji Ormancılığının Önemi. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-21 Aralık 2008, İstanbul.
- Şenpınar, A., M.T. Gençoğlu, 2006 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması. Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Tosun, İ., M.T. Gönüllü, E. Arslankaya, 2002. Gülyağı Sanayi Proses Atıkları Özelliklerinin Belirlenmesi, 1.Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu, Atatürk Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma Merkezi Müdürlüğü, 1, 864-873, 16-18 Ekim 2002, Erzurum.
- Ünal, H., K. Alibaş, 2002. Buğday ve ayçiçeği saplarının yakılması için gerekli yanma havası ve baca gazı miktarlarının belirlenmesi. IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, s. 841-851.
- Wang, C., F. Wang, Q. Yang, R. Liang, 2009. Thermogravimetric studies of the behavior of wheat straw with added coal during combustion. *Biomass and Bioenergy*, (33):50-56.
- Yılmaz, H., 2014. Bazı Tarımsal Artıkların Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği A.B.D.