

Alternatif yakıt olarak sera bitki atığı briketlerinin yakılması ve baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi

Determination of burning and flue gas emission values of greenhouse crop residue briquettes as an alternative fuel

Sefai BİLGİN¹, Can ERTEKİN¹, Ahmet KÜRKLÜ²

¹ Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, 07070 Antalya

² Serasis-Sera Sistemleri Danışmanlık Ltd. Şti., Antalya

Sorumlu yazar (*Corresponding author*): S. Bilgin, e-posta (*e-mail*): sbilgin@akdeniz.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 26 Nisan 2013
Düzeltilme tarihi 1 Temmuz 2013
Kabul tarihi 8 Temmuz 2013

Anahtar Kelimeler:

Sera
Biyokütle
Briket
Baca gazı emisyonu

ÖZ

Bu çalışmada, alternatif yakıt olarak domates, biber ve patlıcan bitkisi atıklarından elde edilen briketlerin baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemelerde ortalama 57 mm çapında, ve 75 mm uzunluğunda ve 25 mm çapında merkez delikli silindirik briketler kullanılmıştır. Briketler evsel ısıtmalarda yaygın olarak kullanılan geleneksel kovalı tip sobada yakılmıştır. Baca gazı emisyonları ile ilgili olarak CO, CO₂, O₂, NO_x, SO₂ ve H₂S değerleri ile baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi bir baca gazı analizörü kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca çalışmada, briketlerin ısı değerleri belirlenmiştir. Briketlerin kovalı tip bir sobada yakılması sonucu ölçülen baca gazı emisyon değerleri yanma işlemi kararlı durumda iken düşük bulunmuştur. Kararlı durum süresince domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri için en düşük CO emisyonu sırası ile 92 ppm, 101 ppm ve 94 ppm, ortalama NO_x emisyonu 208 ppm, 235 ppm ve 200 ppm olmuş ve CO₂ emisyonu da yaklaşık olarak %7-9, %7-10 ve %7-9 arasında değişmiştir. Domates bitkisi briketleri SO₂ emisyonları meydana getirmezken, biber ve patlıcan bitkisi briketleri ise önemsiz düzeyde meydana getirmişlerdir. Yanma işlemi süresince tüm briketler H₂S emisyonu meydana getirmemişlerdir. Yanma işlemi kararlı durumdayken baca gazı sıcaklığı domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri için sırası ile ortalama 394 °C, 424 °C ve 407 °C ve yanma verimi tüm briketler için ortalama %70 olarak belirlenmiştir. Ayrıca domates, biber ve patlıcan bitkisi briketlerinin üst ısı değerleri ise sırası ile 15.74 MJ kg⁻¹, 17.89 MJ kg⁻¹ ve 17.76 MJ kg⁻¹ olarak belirlenmiştir.

ARTICLE INFO

Received 26 April 2013
Received in revised form 1 July 2013
Accepted 8 July 2013

Keywords:

Greenhouse
Biomass
Briquettes
Flue gas emission

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine the flue gas emission values of briquettes obtained from tomato, pepper and eggplant crop residues as an alternative fuel. During the experiments, 57 mm diameter and 75 mm length cylindrical briquettes having a 25 mm diameter central hole were used. Briquettes were burned in traditional bucket stoves, commonly used for household heating and cooking, and flue gas emissions (CO, CO₂, O₂, NO_x, SO₂ and H₂S), flue temperatures and combustion efficiency were measured using a flue gas analyzer. Also, the high calorific values of the briquettes were determined in the scope of the research. At the end of this study, it is found that when the combustion process had a steady-state condition, the flue gas emission values measured during burning of the briquettes in a traditional bucket type stove were very low. The lowest values of CO emissions were 92 ppm, 101 ppm and 94 ppm, average values of NO_x emissions were 208 ppm, 235 ppm and 200 ppm, and CO₂ emissions approximately varied between 7-9%, 7-10% and 7-9% for tomato, pepper and eggplant crop briquettes, respectively. While tomato crop briquettes had no SO₂ emission, SO₂ emissions of pepper and eggplant crop briquettes were at insignificant level. During the combustion process, H₂S emission for all briquettes was null. While the combustion process had a steady-state condition, the average flue gas temperatures for tomato, pepper and eggplant crop briquettes were 394 °C, 424 °C and 407 °C, respectively, and the average combustion efficiency for all briquettes was 70%. Also, the high calorific values (HHV) of briquettes of tomato, pepper and eggplant crop were 15.74 MJ kg⁻¹, 17.89 MJ kg⁻¹ and 17.76 MJ kg⁻¹, respectively.

1. Giriş

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak global enerji gereksinimi son yıllarda çok hızlı bir şekilde artmış ve gelecek 50 yıl içerisinde de sanayileşmenin yol açacağı büyüme neticesinde sürekli olarak artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir (Goswami ve Kreith 2007). Dünyada, özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, en çok kullanılan birincil enerji kaynağı fosil enerji kaynakları olan kömür ve petroldür. 2009 yılı dünya toplam birincil enerji arzının (12150 MTEP) % 80.9'u fosil enerji kaynaklarından (petrol, kömür, doğal gaz), % 5.8'si ise nükleer enerjiden karşılanmıştır (IEA 2011).

Fosil yakıt kullanımının başlıca iki önemli dezavantajı vardır. Bunlardan birincisi; fosil yakıtların yakıldıkları zaman iklim değişikliğine neden olan kirletici özellikteki sera gazlarını yaymalarıdır. İkincisi ise; yeterli fosil yakıt rezervlerine sahip olmayan ülkelerin enerji arzlarının güvenliğinde artan risklerle karşılaşmalarıdır (EC 2005). Son yıllarda gelişmiş ülkelerin büyük kentsel alanlarında fosil yakıtların aşırı tüketimi dünya sera gazı emisyonlarını çok hızlı bir şekilde artırmış ve bunun sonucu olarak yüksek seviyelerde kirlilik meydana gelmiştir (Ballesteros ve ark. 2006). 1973 yılında atmosfere yıllık 15624 Mt karbondioksit (CO₂) salınımı yapılırken, 2009 yılında bu değer % 85 artarak 28999 Mt CO₂'ye çıkmıştır. Sera gazı emisyonlarının 2009-2035 yılı projeksiyonunda artmaya devam edeceği, 2009 yılında 29 Gt seviyesinden 2035 yılında % 21 artışla 35 Gt seviyesine çıkacağı belirtilmiştir (IEA 2010).

Atmosferde milyonlarca yıldır 180-280 ppm arasında değişen eşdeğer CO₂ emisyonu son yarım yüzyılda hızla artmış ve 450 ppm seviyesine çıkmıştır. Açıklanan senaryolara göre CO₂ emisyonu eşdeğerinin bu seviyelerde kalması durumunda dünya ortalama sıcaklığının 2°C artacağı belirtilmiştir. Açıklanan diğer senaryolarda ise 2030 yılı için belirtilen büyüme oranının ve fosil yakıt tüketiminin devam etmesi durumunda atmosferde sera gazlarının uzun dönem konsantrasyonunun 1000 ppm CO₂ eşdeğerini aşacağı, 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 belirtilmiştir (IEA 2009).

Fosil enerji kaynaklarının atmosferde oluşturduğu kirliliğin farkına varılması, fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve özellikle 1973 enerji krizinden sonra birçok ülkede petrol kökenli enerji kaynaklarının yerine, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına (biyokütle, güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal enerji vb.) yönelik çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Dünyanın artan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini, çevreyi kirlilemeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek enerji kaynaklarının en önemlisi biyokütle enerjisidir. Genellikle biyokütle yakıtları fosil yakıtlara göre daha düşük azot ve kükürt içeriğine sahip olduklarından yakma tesislerine yakın yerlerde asit yağmuru artışına katkıda bulunmazlar. Ayrıca düşük yanma sıcaklığından dolayı azot oksit (NO_x) emisyonları ve aynı zamanda kül içeriği de fosil yakıtlardan daha düşüktür. Yanma esnasında CO₂ emisyonları meydana getirmelerine rağmen, CO₂ gazının bitki büyümesi süresince fotosentezde kullanılması nedeniyle sera etkisi oluşturmazlar (Smith ve ark. 2000; Bhattacharya ve Salam 2002; Gonzalez ve ark. 2004). Son yıllarda biyokütle kullanımının önemi 1997 yılında Kyoto protokolünün kabul edilmesinden sonra ile daha da artmıştır.

Dünya toplam birincil enerji tüketiminin yaklaşık % 14'ü,

gelişmekte olan ülkelerde ise %30'u biyokütle enerjisinden karşılanmaktadır (IEA 2003a; IEA 2003b). Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin kırsal bölgelerinde toplam enerji ihtiyacının % 90'ından fazlası biyokütleden karşılanmaktadır (Bhattacharya ve Salam, 2002). Türkiye'de ise biyokütle enerjisinin toplam enerji üretimindeki payı 2010 yılı için % 14 iken, toplam birincil enerji arzındaki payı ise % 4.27 gibi oldukça düşük seviyede kalmıştır (Bilgin ve ark. 2012).

Türkiye'nin başlıca biyokütle kaynakları tarımsal atıklar, orman atıkları, gıda işleme atıkları, endüstriyel atıklar ve kağıt atıklarıdır. Türkiye geniş tarımsal üretim alanlarına sahip olduğundan tarımsal atıklar büyük önem kazanmaktadır. Tarımsal atıklar içinde seralarda üretim faaliyetleri sonucu çıkan domates, biber ve patlıcan bitkisel biyokütle atıkları da dikkat çekici bir seviyededir. Özellikle seracılığın yoğun olarak yapıldığı Antalya ilinde yetiştiricilik yapılan 17252 ha cam ve plastik sera alanından her yıl yaş bazda yaklaşık olarak 1182 bin ton, kuru bazda ise 176 bin ton bitkisel biyokütle atığı çıkmakta ve bu değerler Türkiye sera alanlarından çıkan atıkların yaklaşık olarak %70'ini oluşturmaktadır (Bilgin ve ark. 2012). Bu atıklar sera yakınlarına, deniz kenarlarına, dere yataklarına, çöp alanlarına atılarak kuruduktan sonra yakılmak suretiyle imha edilmekte veya sera içerisinde bir parçalayıcı ile parçalanıp sera toprağına karıştırılmaktadır. Atıkların bu şekilde değerlendirilmesi hava, çevre ve görüntü kirliliğine yol açmaktadır. Belirtilen olumsuzlukların önlenmesi, daha temiz, daha sağlıklı bir çevre ve hayat için seralardan çıkan çok büyük miktarlarda biyokütle atıklarından enerji elde edilerek ülke ekonomisine kazandırılması gerekmektedir. Bu nedenle atıklardan enerji elde etmede onların peletlenerek ya da briketlenerek katı yakacak olarak kullanılması en kolay ve etkin yöntemlerden birisidir.

Biyokütleden ısı elde etmek için onun yakılması gerekmektedir ve bu amaçla biyokütle yakma sobalarına ihtiyaç vardır. Geleneksel sobaların mevcut yapıları yanma sürecini etkilemekte ve bu tip sobalarda yanma işlemi tam olarak gerçekleşmemektedir (Miah ve ark. 2009). Geleneksel biyokütle sobaları, geliştirilmiş biyokütle sobaları ile karşılaştırıldığında daha düşük ısı verimliliğe ve yüksek baca gazı emisyonlarına sahiptirler. Ancak, genel olarak biyokütle sobaları biyokütle yakıtlarının özelliklerine ve formasyonuna bağlı olarak yüksek baca gazı emisyonları yaymaktadırlar. Bu sobalardan çıkan baca gazları ciddi sağlık problemlerine ve çevresel hava kirliliğine neden olmaktadır (Bhattacharya ve ark. 2002). Son yıllarda, biyokütlenin evsel ihtiyaçlar için yakılmasından kaynaklanan zericiklerin sağlığı negatif olarak etkilediği gözlemlenmiştir (Lighty ve ark. 2000). Küçük ölçekli biyokütle yakılması sonucu meydana gelen bu zararlı partiküller uçucu kül ve kurumdan oluşmakta ve boyutları genellikle 0.1-0.3 µm arasında değişmektedir (Johansson 2002).

Biyokütlenin farklı yakma sistemlerinde yakılması ve baca gazı emisyonlarının ölçülmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda biyokütle nem içeriğinin fazla olmasının emisyonları önemli derecede artırdığı, baca gazı emisyonlarının biyokütle yakıtlarının karakteristiklerine bağlı olduğu ve özellikle biyokütle sobalarının yüksek emisyonlara neden olduğu, elde edilen enerjinin büyük bir kısmının baca yolu ile atmosfere atıldığı belirlenmiş ve bu nedenlerle biyokütle sobalarının iyi bir yanma ve düşük emisyonlar için geliştirilmesinin yanı sıra sobaların yeterli havalandırmanın olduğu yerlerde kullanılması gerektiği belirtilmiştir (Ndiema ve ark. 1998; Dare ve ark. 2001; Koyuncu ve Pınar 2007; Bilgin 2010; Bilgin ve ark. 2012).

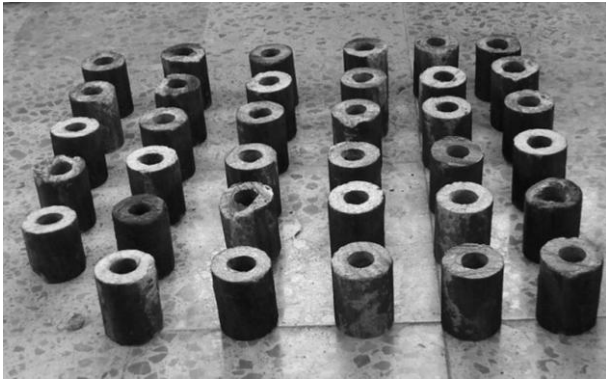
Biyokütle'nin ısı değeri'nin belirlenmesi yakıldığında birim kütle'sinden açığa çıkacak enerji miktarının bilinmesi açısından son derece önemlidir. Yakıtın ısı değeri'nin belirlenmesi ile biyokütle miktarına bağlı olarak toplam elde edilebilecek enerji miktarı ve ihtiyaç duyulan toplam yakıt miktarı da belirlenebilmektedir. Ayrıca ısı değeri, diğer yakıtların özellikleri ile ilgili karşılaştırmalarda ve yakma sistemlerinin tasarımı açısından da oldukça önem taşımaktadır. Isı değeri yakıtın kül içeriğine bağlı olarak değişmekte ve kül içeriği arttıkça yakıtın ısı değeri azalmaktadır. Ayrıca yakıtın nem içeriğinin artması yakıldığında elde edilebilecek enerji değeri düşürmektedir. Biyokütle'nin ısı değeri'nin belirlenmesi konusunda değişik çalışmalar yürütülmüş ve bunlarla ilgili sonuçlar ortaya konmuştur. Biyokütle'nin ısı değeri biyokütle çeşidine bağlı olarak 12.60-21.75 MJ kg⁻¹ arasında değişmektedir (Ünal ve Alibaş 2002; Başçetinçelik ve ark. 2005; Ferre ve ark. 2011).

Bu çalışmada, seralarda üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan domates, biber ve patlıcan bitkisi atıklarından elde edilen briketlerin evsel ısıtmada ve yemek pişirmede yaygın olarak kullanılan kovalı tip sobada yakılması sonucu atmosfere salınan baca gazı emisyon değeri'nin, baca gazı sıcaklığının ve yanma veriminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca çalışmada, briketlerin üst ısı değeri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, yakacak materyal olarak domates, biber ve patlıcan bitkisi atıklarından elde edilen ortalama 57 mm çapında 25 mm merkez delikli dış yüzeyi karbonize olmuş silindirik briketler kullanılmıştır (Şekil 1). Briketler kalıp ısıtmalı konik helezon tip briketleme makinesinde elde edilmiştir. Briketleme işlemi süresince herhangi bir yapıştırıcı madde kullanılmamıştır. Denemeler, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Atölyesinde yürütülmüştür.



Şekil 1. Denemelerde kullanılan briket örnekleri.

Figure 1. Briquette samples used in experiments.

Materyallerin üst ısı değeri'nin belirlenmesi amacı ile analizler TÜBİTAK-MAM Enerji Enstitüsünde yaptırılmış ve ısı değeri'ler adyabatik kalorimetre cihazı (LECO AC 350) kullanılarak belirlenmiştir.

Briketlerin yakılması sonucu atmosfere bırakılan baca gazı emisyonlarının ölçülmesi için baca gazı ölçüm cihazı (TESTO 350 M XL-454) kullanılmıştır. Baca gazı ölçüm cihazı; baca gazı analizör ünitesi, el kontrol ünitesi ve ölçüm probundan oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Baca gazı ölçüm cihazı.

Figure 2. Flue gas analyzer.

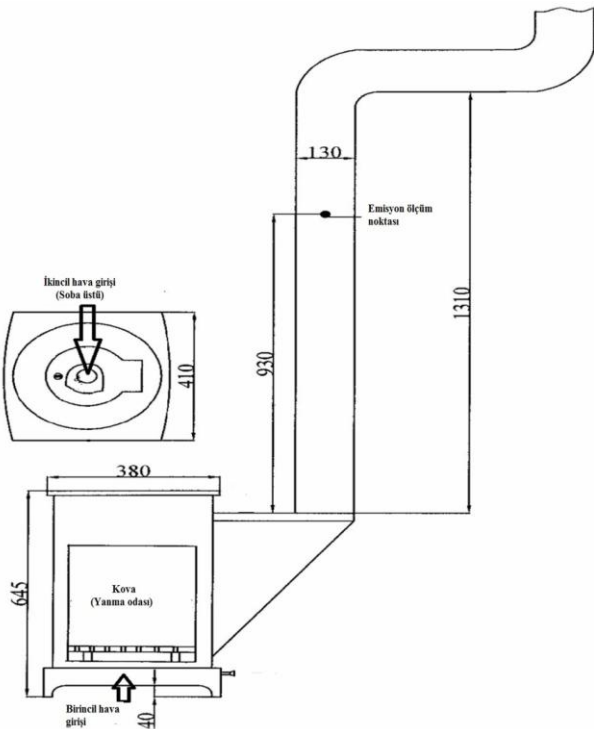
Briketlerin yakılmasında evsel ısıtmalarda yaygın olarak kullanılan birincil hava girişi alttan, ikincil hava girişi üstten ve materyal yüklemesi üst kısımdan olan geleneksel kovalı tip soba kullanılmıştır (Şekil 3). Türkiye'de özellikle kırsal alanlarda evsel ısınma ihtiyaçları için kovalı tip ve tuğlalı tip sobalar kullanılmaktadır. Geliştirilmiş yakma sistemleri ise daha çok toplu yaşam alanlarında tercih edilmektedir. Kovalı tip sobalar, tuğlalı tip sobalara göre yakıtın daha kolay doldurulması, kovanın kolaylıkla değiştirilebilmesi, yanma sonrası ortaya çıkan külün boşaltım kolaylığı, daha temiz olması ve fiyat açısından daha ucuz olması gibi avantajlara sahiptir.

2.2. Yöntem

Domates, biber ve patlıcan bitkisi atıklarından elde edilen briketlerin üst ısı değeri ASTM D 5865-04 standardına göre kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Test öncesi briketler bir parçalayıcıda parçalanmış ve 24 h süreyle 105°C'de bekletilerek içerisindeki nem uzaklaştırılmıştır. Isı değeri testinde 1 g ağırlığındaki fırın kuru örnekler standart koşullarda bir kalorimetre bombasında oksijen ortamında yakılmıştır. 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 hesaplanmıştır. Isı değeri analizleri TÜBİTAK-MAM (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu-Marmara Araştırma Merkezi) tarafından yapılmıştır.

Baca gazı emisyon değeri'nin belirlenmesi amacıyla briketler, evsel ısıtmalarda kullanılan geleneksel kovalı tip sobada yakılmış ve yanma sonucu oluşan baca gazı emisyon değeri (O₂, CO, CO₂, SO₂, NO_x, H₂S) ile baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi baca gazı analizörü ile ölçülerek online olarak bilgisayara aktarılmıştır. Emisyon ölçümleri, Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde katı yakma tesisleri, odun ve bitkisel atıkların yakılması ile ilgili verilen % 13 O₂ (standart oksijen miktarı yüzdesi) ve % 20.3 CO_{2max} (her bir yakıt için kuru atık gaz içindeki maksimum karbondioksit yüzdesi) referans değeri'ne göre yapılmış ve bu değeri'ler test öncesi emisyon ölçüm cihazına girilerek tanımlanmıştır (IKHKY 2005). Denemelerde ölçüm probu

dikey soba borusunun orta noktasının bir miktar yukarısına açılan gaz numune alma noktasına ve soba borusu kesit merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiş (Şekil 3) ve denemeler süresince tek bir noktadan ölçüm alınmıştır. Ölçümlere başlamadan önce soba içerisinde parça odun yakılmış ve yanma işlemi rejime girdikten sonra (soba içerisinde alev olmadığı ve kor ateş durumu) her bir deneme için üç adet briket (yaklaşık 600 g) yanma odasına dikey olarak yerleştirilmiştir. Daha sonra bilgisayar üzerinden baca gazı analizörü çalıştırılmış, analizör içerisindeki pompa yardımıyla gaz örneği ölçüm probu içerisinden çekilerek cihaz içerisindeki elektro-kimyasal hücreler içerisinden geçirilmiş ve ölçülen değerler online olarak bilgisayara aktarılarak daha sonra değerlendirilmek üzere kaydedilmiştir. Ölçüm işlemi yanmanın başlangıcından bitimine kadar sürmüştür ve her bir deneme işlemi için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Deneme süresince birincil ve ikincil hava giriş açıklıkları % 100 açık tutulmuştur.



Şekil 3. Briketlerin yakılmasında kullanılan geleneksel kovalı tip soba ve boyutları.

Figure 3. Technical drawing of traditional bucket type stove and its sizes

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Isıl değer

Domates, biber ve patlıcan bitkilerinden elde edilen briketlerin üst ısıl değerleri sırası ile 15.74 MJ kg^{-1} , 17.89 MJ kg^{-1} ve 17.76 MJ kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi en yüksek üst ısıl değer biber bitkisi briketinde, en düşük ise domates bitkisi briketinde elde edilmiştir. Isıl değer materyalin yetiştiricilik süresince fotosentez yoluyla güneşten gelen enerjiyi depolama kapasitesiyle ilgili olmakla beraber, materyalin kül içeriğiyle de doğrudan ilgili olup, kül içeriğinin artması materyalin ısıl değerini azaltmaktadır. Bilgin ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada domates, biber ve patlıcan bitkisinin kül içerikleri belirlenmiş ve kül içeriğinin en yüksek

değeri domates bitkisinde, en düşük değeri ise biber bitkisinde elde edilmiştir. Domates bitkisinin kül içeriğinin yüksek olması, elde edilen domates bitkisinin ısıl değerini olumsuz olarak etkilemiştir. Dolayısı ile ısıl değer için elde edilen sonuçlar, kül içerikleri ile arasındaki ilişkiyi doğrulamaktadır.

Briketlerin üst ısıl değerleri Ünal ve Alibaş (2002), Topal ve ark. (2003), Başçetinçelik ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmalarda diğer tarımsal ürünler için verilen ısıl değerler ile karşılaştırılmıştır. Özellikle biber ve patlıcan bitkisi briketlerinin ısıl değerleri birçok tarımsal ürününkinden yüksek (arpa, çavdar ve yulaf samanı, pirinç samanı ve kabuğu, tütün sapı, pamuk çiğiti posası, ayçiçeği posası ve sapı, buğday sapı), bazılarınkinden (mısır sapı ve sömeği, pamuk sapı, yerfıstığı kabuğu, soya samanı ve prina) ise düşük bulunmuştur.

Sonuç olarak seralardan çıkan domates, biber ve patlıcan bitkilerinden elde edilen briketlerin yüksek ısıl değerlerinden dolayı yakma sistemlerinde enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği görülmüştür. Ayrıca briketlerin ısıl değerlerinin, ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği kontrolü yönetmeliğince biyokütle briketlerin için belirlenen sınır değerinin (15.49 MJ kg^{-1}) üstünde oldukları belirlenmiştir.

3.2. Baca gazı emisyonları

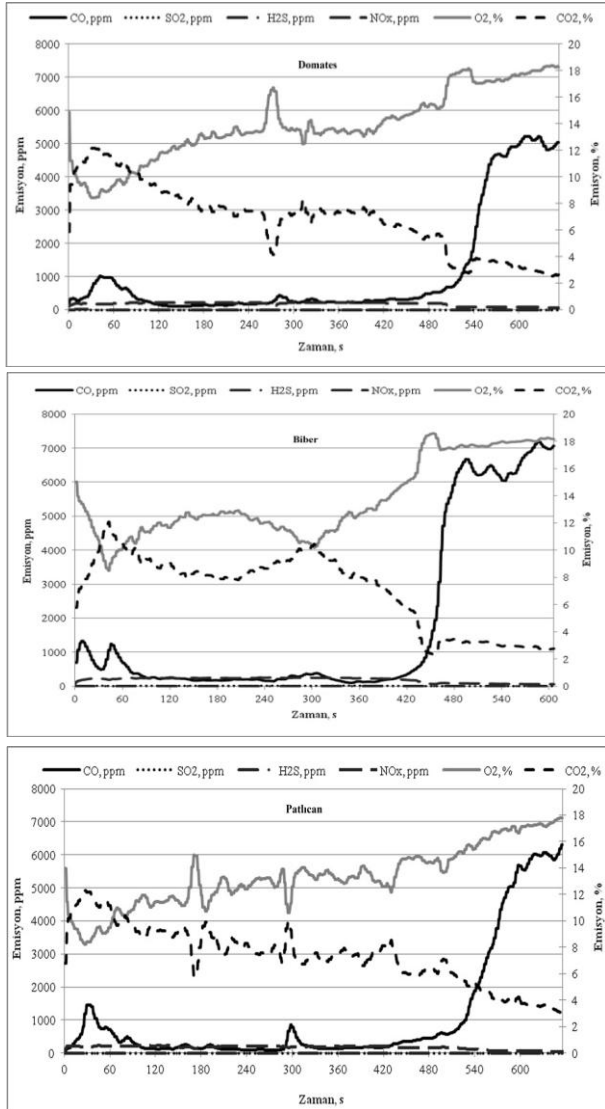
Baca gazı emisyon denemeleri öncesi domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri bir gün süreyle güneşli ortamda bekletilmiş ve briketlerin nem içerikleri (yaş bazda) sırası ile % 5.77, % 5.97 ve % 5.66 olarak belirlenmiştir.

Biyoyakıtların başlıca avantajlarından birisi, onların çevreye zarar vermeden kullanılabilmesidir (Nendel ve ark. 1998). Domates, biber ve patlıcan bitkisi briketlerinin evlerde ısınma amacıyla yaygın olarak kullanılan kovalı tip bir sobada yakılması sonucu atmosfere salınan baca gazı emisyon değerlerinin değişimi Şekil 4'te verilmiştir.

Briketlerin kovalı tip bir sobada yakılması sonucu atmosfere salınan baca gazı emisyon değerlerinin değişimi incelendiğinde, briketlerin tutuşması ile birlikte yanmanın hemen başında yanma odasında oksijen (O_2) içeriğinin hızla düşmesi sonucu karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO_2) emisyonlarının hızlı bir şekilde arttığı saptanmıştır. Bu artış domates, biber ve patlıcan bitkisi briketlerinde sırası ile CO emisyonu için 1012 ppm, 1336 ppm ve 1455 ppm'e, CO_2 emisyonu için ise % 12.17, % 12.08 ve % 12.32'ye kadar olmuştur. Bu arada O_2 içeriği domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri için sıra ile % 8.41, % 8.50 ve % 8.25'e kadar düşmüştür. Daha sonra yanma işleminin yavaş yavaş kararlı duruma gelmesi sonucu, yanma odasındaki O_2 içeriğinin artışı ile birlikte CO ve CO_2 emisyonları düşmeye başlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar Tremee ve Jawurek (1996), Bhattacharya ve ark. (2002), El Saeidy (2004), Al-Widyan (2006), Koyuncu ve Pınar (2007), Bilgin (2010) ve Bilgin ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla paralellik göstermiştir. Yanma işlemi tam olarak kararlı duruma geldikten sonra (tüm briketler için yaklaşık ikinci dakikanın sonu) kararlı durumun sonuna kadar CO emisyonu tüm briketler için neredeyse yatay bir seyir izlemiş ve domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri için en düşük sırası ile 92 ppm, 101 ppm ve 94 ppm olmuştur. Bu sırada CO_2 emisyonu ise domates, biber ve patlıcan bitkileri için sırası ile yaklaşık olarak % 7-9, % 7-10 ve % 7-9 arasında değişmiştir. Yanma işleminin yavaş yavaş sona ermesi ile birlikte yanma odasındaki O_2 içeriğinin artması sonucu tüm briketler için CO emisyonu tekrar hızlı bir şekilde artmaya başlamış ve yanma işleminin sonunda domates, biber ve

patlıcan bitkisi briketleri için sırası ile 5217 ppm, 7194 ppm ve 6312 ppm'e kadar çıkmıştır. CO₂ emisyonu, yanma olayının sona ermeye başlaması ile birlikte yanma odasındaki O₂'in yanma olayına girmeden baca gazından dışarı çıkması sonucu tüm briketler için düşmeye başlamıştır.

Şekil 4 incelendiğinde yanma süresince bazı dönemlerde özellikle O₂, CO ve CO₂ emisyonlarında kısa süreli pik noktaların oluştuğu görülmüştür. Bu durum tamamen bu tip yakma sistemlerinde yanma odasında yakıt/hava oranının kontrol edilememesinden kaynaklanmıştır.



Şekil 4. Domates, biber ve patlıcan bitkisi briketlerinin yanma zamanına bağlı olarak baca gazı emisyon değerlerinin değişimi.

Figure 4. Variation of flue gas emission values of tomato, pepper and eggplant crop briquettes.

Domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri için yanma süresince NO_x emisyonlarının oldukça düşük düzeylerde kaldığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuç El Saeidy (2004), Koyuncu ve Pınar (2007), Bilgin (2010) ve Bilgin ve ark. (2012) tarafından farklı biyokütle örnekleri ile yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Yanma başlangıcından, kararlı durumun sonuna kadar NO_x emisyonları

neredeyse fazla değişim göstermemiş ve kararlı durum süresince domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri için sırası ile 180-227 ppm, 220-257 ppm ve 170-228 ppm aralığında değişmiş, ortalama 208 ppm, 235 ppm ve 200 ppm olmuştur. Bu değerler Al-Widyan ve ark. (2006) tarafından prina yakıtından elde edilen NO_x emisyon değerlerinin altında kalmıştır.

Domates bitkisi briketleri yanma süresince SO₂ emisyonu meydana getirmezken, patlıcan bitkisi briketleri yanma işleminin başlangıcında çok kısa bir süre için (13 saniye) maksimum 8 ppm, biber bitkisi briketleri ise yanma işleminin başlangıcından kararlı durumun sonuna kadar maksimum 16 ppm SO₂ emisyonu meydana getirmişlerdir. Bu durumun patlıcan ve biber bitkisi briket yakıtlarının sahip oldukları kükürt (S) içeriklerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Çünkü Spliethoff ve Hein (1998) tarafından yapılan bir çalışmada SO₂ emisyonları ile yakıtın kükürt (S) içeriği arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin olduğu belirtilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen SO₂ emisyon değerleri, Bilgin (2010) ve Bilgin ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla paralellik göstermiş, Topal ve ark. (2002) tarafından kömür için elde edilen değerlerden oldukça önemsiz düzeyde, Al-Widyan ve ark. (2006) tarafından prina yakıtında belirlenenden ise daha düşük bulunmuştur.

Domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri yanma işleminin başlangıcından sonuna kadar H₂S emisyonları meydana getirmemiştir.

Sonuç olarak domates, biber ve patlıcan bitkisi briketlerinin, kovalı tip bir sobada yakılması sonucu ölçülen emisyon değerleri açısından oldukça iyi oldukları belirlenmiştir. Briketlerin merkez delikli olması yanma odasına giren havanın yakıtla iyi bir şekilde karışmasını sağlamış bu da özellikle yanma işleminin kararlı durumu süresince tüm briketler için düşük baca gazı emisyonlarının elde edilmesine neden olmuştur. Ayrıca briketler, dış yüzeylerinin karbonize olmasından dolayı çok kısa sürede tutuşmuş ve yanma işleminin sonuna kadar bir bütün halinde yanmıştır.

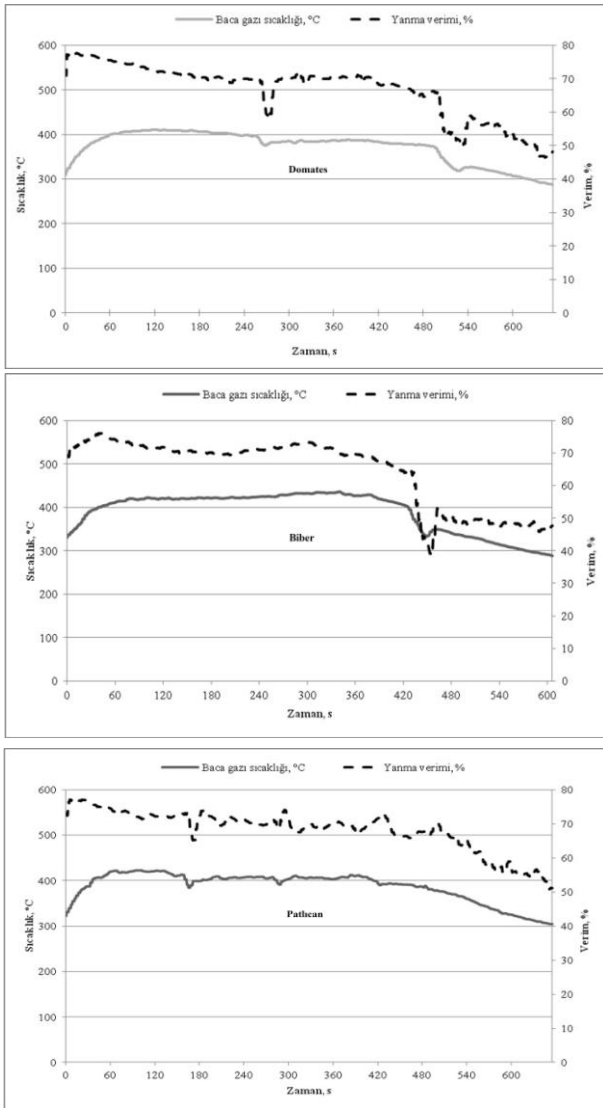
3.3. Baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi

Domates, biber ve patlıcan bitkisi briketlerinin yanması sonucu elde edilen baca gazı sıcaklık ve yanma verimi değerlerinin değişimi Şekil 5'te verilmiştir.

Şekilde de görüldüğü gibi tüm briketler yanma odasına birbirlerine yakın baca gazı sıcaklıklarında konulmuştur. Yanma işleminin başlaması ile birlikte baca gazı sıcaklığı yükselmeye başlamış ve domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri için sırası ile yaklaşık 410°C, 422°C ve 423°C'ye kadar çıkmıştır. Daha sonra baca gazı sıcaklıkları, yanma işlemi kararlı durumu başlangıcından sonuna kadar yataya yakın bir seyir izlemiş ve kararlı durum süresince ortalama olarak domates bitkisi briketi için 394°C, biber bitkisi briketi için 424°C ve patlıcan bitkisi briketi için ise 407°C olmuştur. Isıl değerlerin en yüksekte en küçüğe doğru biber, patlıcan ve domates bitkisi briketlerinde olması, kararlı durum süresince ortalama baca gazı sıcaklığının da en yüksekte en küçüğe doğru aynı sıra ile gerçekleşmesine neden olmuştur. Yanma işlemi kararlı durumundan sonra baca gazı sıcaklığının düşmeye başlaması yanma işleminin sona ermeye başladığını göstermiştir.

Baca gazı sıcaklığının tüm briketler için yüksek olması, yanma sonucu elde edilen enerjinin büyük bir kısmının baca ile atmosfere atıldığını göstermiş ve bu durum geleneksel sobaların ısınma amacıyla kullanımındaki olumsuz özelliklerinden birisini oluşturmuştur.

Briketlerin yanma verimi değerleri kararlı durum süresince domates ve biber bitkisi briketlerinde patlıcan bitkisi briketine göre daha dengeli bir dağılım göstermiştir. Yine de tüm briketler için yanma verimi kararlı durum süresince yaklaşık ortalama % 70 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Bilgin (2010) ve Bilgin ve ark. (2012) tarafından farklı biyokütle örneklerinin sobalarda yakılması ile elde edilen yanma verimi değerleri ile paralellik gösterirken, Topal ve ark. (2002), Al-Widyan (2006), Permchart ve Kouprianov (2004) tarafından akışkan yatakta değişik biyokütle örneklerinin yakılması ile belirledikleri yanma verimi değerlerinin altında bulunmuştur. Bu durum bu tip sobalarda yanma işleminin ve hava/yakıt oranının kontrol edilememesinin yanı sıra yanmamış karbonlardan dolayı yüksek enerji kayıplarının meydana gelmesinden de kaynaklanmıştır.



Şekil 5. Domates, biber ve patlıcan bitkisi briketlerinin yanma zamanına bağlı olarak baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi değerlerinin değişimi.

Figure 5. Variation of flue gas temperature and combustion efficiency values of tomato, pepper and eggplant crop briquettes.

4. Sonuçlar

Briketlerin kovalı tip bir sobada yakılması sonucu atmosfere salınan baca gazı emisyon değerlerinin ölçülmesi amacı ile yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Materyallerin üst ısıl değerlerinin oldukça yüksek oldukları belirlenmiş ve en yüksek ısıl değer biber bitkisinde elde edilmiştir.
- Domates, biber ve patlıcan bitkilerinin kovalı tip sobada yakılması sonucu baca gazı emisyon değerleri, yanma işlemi kararlı durumdayken oldukça düşük bulunmuştur.
- Domates bitkisi briketleri SO₂ emisyonları meydana getirmezken, biber ve patlıcan bitkisi briketleri ise önemsiz düzeyde SO₂ emisyonu meydana getirmişlerdir.
- Bütün briketler H₂S emisyonu meydana getirmemişlerdir.
- Briketlerin dış yüzeyinin karbonize olması kolay tutuşmayı sağlamış ve briketlerin merkez delikli olması da baca gazı emisyon değerlerinin düşmesine neden olmuştur.
- Briketlerin kovalı tip bir sobada yakılması yanma verimini düşürmüştür.
- Evsel ve sera ısıtmasında yaygın olarak kullanılan kovalı tip sobalar daha verimli yanma için geliştirilmelidir.
- Briketlerin yakma sistemlerinde (örneğin akışkan yatak yakma sistemi) yakılması ile hem baca gazı emisyonları daha da düşürülebilecek hem de yanma verimleri artırılabilir.
- Briketlerin evsel ve sera ısıtması için sobalarda yakılması mümkündür.

Briketlerin merkezi ısıtma sistemlerinde kömür yerine veya kömür ile birlikte yakılması ile baca gazı emisyonları düşürülerek özellikle kış aylarında hava kirliliği büyük ölçüde önenebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, 2004.03.0121.006 proje numarasıyla, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiş olan Doktora tez projesinin bir bölümüdür.

Kaynaklar

- Al-Widyan MI, Tashtoush G, Hamasha AM (2006) Combustion and emissions of pulverized olive cake in tube furnace. Energy Conversion and Management 47: 1588-1596.
- Ballesteros I, Negro MJ, Oliva JM, Cabanas A, Manzanares P, Ballesteros M (2006) Ethanol production from steam-explosion pretreated wheat straw. Applied Biochemistry and Biotechnology 130: 496-508.
- Başçetinçelik A, Karaca C, Öztürk HH, Kaçıra M, Ekinci K (2005) Agricultural biomass potential in Turkey. 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture and 27th International Conference of CIRG Section IV, İzmir, Turkey, pp. 195-199.
- Bhattacharya SC, Albina DO, Khaing AM (2002) Effects of selected parameters on performance and emission of biomass-fired cookstoves. Biomass and Bioenergy 23: 387-395.
- Bhattacharya SC, Salam PA (2002). Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries. Biomass and Bioenergy 22: 305-317.

- Bilgin S, Ertekin C, Kürklü A (2012) Türkiye'deki sera bitkisel biyokütle atık miktarının belirlenmesi. 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Samsun, s. 499-508.
- Bilgin S (2010) Determination of flue gas emission values of cotton and sesame stalk briquettes. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi* 6 (1): 37-43.
- Dare P, Gifford J, Hooper RJ, Clemens AH, Daminao LF, Gong D, Matheson TW (2001) Combustion performance of biomass residue and purpose grown species. *Biomass and Bioenergy* 21: 277-287.
- EC (2005) Biomass Green Energy for Europe, European Communities, Luxembourg.
- El Saeidy E (2004) Technological fundamentals of briquetting cotton stalks as a Biofuel. Ph.D. Thesis, Humboldt-University of Berlin, Berlin.
- González JF, González-García CM, Ramiro A, González J, Sabio E, Ganán J, Rodríguez MA (2004) Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler. *Biomass and Bioenergy* 27: 145-154.
- Goswami DY, Kreith F (2007) Global energy system. In: Kreith F, Goswami DY (Eds), *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy*. CRC Press, Florida, pp: 1-20.
- IEA (2003a) Energy balances of non-OECD and OECD countries, 2000-2001. International Energy Agency, Paris.
- IEA (2003b) Statistics, Renewable information. International Energy Agency, Paris.
- IEA (2009) World energy Outlook. International Energy Agency, Paris.
- IEA (2010) World energy outlook, executive summary. International Energy Agency, Paris.
- IEA (2011) Key world energy statistics. International Energy Agency, Paris.
- IKHKKY (2005) Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği. Resmi Gazete: Tarih: 13 Ocak 2005, Sayı:25699.
- Johansson LS (2002) Characterisation of particle emissions from small-scale biomass combustion. Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Koyuncu T, Pınar Y (2007) The emissions from a space-heating biomass stove. *Biomass and Bioenergy* 31: 73-79.
- Lighty SL, Veranth JM, Sarofim AF (2000) Combustion aerosols: Factors governing their size and composition and implication to human health. *Journal of the Air and Waste Management Association* 50: 1565-1618.
- Miah Md.D, Al Rashid, H, Shin MY (2009) Wood fuel use in the traditional cooking stoves in the rural floodplain areas of Bangladesh: A socio-environmental perspective. *Biomass and Bioenergy* 33: 70-78.
- Ndiema CKW, Mpendazoe FM, Williams A (1998) Emission of pollutants from a biomass stove. *Energy Conversion and Management* 39: 1357-1367.
- Nendel K, Clauß B, Böttger U (1998) The preconditioning of biomass by briquetting technology and the influence on the combustion behaviour. The 10th European Conference on Biomass for Energy and Industry, Würzburg, Germany.
- Permchart W, Kouprianov VI (2004) Emission performance and combustion efficiency of a conical fluidized-bed combustor firing various biomass fuels. *Bioresource Technology* 92: 83-91.
- Smith KR, Uma R, Kishore VVN, Zhang J, Joshi V, Khalil MAK (2000) Greenhouse implications of household stoves: An analysis for India. *Annual Review of Energy and the Environment* 25: 741-763.
- Spliethoff H, Hein KRG (1998) Effect of co-combustion of biomass on emissions in pulverized fuel furnaces. *Fuel Processing Technology* 54: 189-205.
- Topal H, Atımyay A, Durmaz A (2002) Temiz enerji eldesi için akışkan yatakta prına yakılması ve emisyon karakteristiklerinin incelenmesi. IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, İstanbul, s. 833-840.
- Topal H, Yüksel S, Kaynak B, Durmaz A, Atımsay AT (2003) Enerji üretiminde biyokütle yakılması uygulamaları. I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Denizli, s. 173-176.
- Tremeer GB, Jawurek HH (1996) Comparison of five rural, wood-burning cooking devices: Efficiencies and emissions. *Biomass and Bioenergy* 11(5): 419-430.
- Ünal H, Alibaş K (2002) Buğday ve ayçiçeği saplarının yakılması için gerekli yanma havası ve baca gazı miktarlarının belirlenmesi. IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, s. 841-851.