

Şanlıurfa Ekolojisinde Farklı Tatlı Sorgum Genotipi Saplarından Elde Edilen Peletlerin Yanma Özelliklerinin Belirlenmesi

Determination of Combustion Properties of Pellets Obtained From Different Sweet Sorghum Genotype Stalks in Şanlıurfa Ecology

ÖZET

Bu çalışma ile 21 farklı tatlı sorgum (*Sorghum bicolor var. saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotipine ait sapların pelet olarak kullanılabilme potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tarla denemeleri, Şanlıurfa İli'nde ikinci ürün koşullarında tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak 2016 ve 2017 yıllarında yürütülmüştür. Araştırmada, hasat edilen bitkilerin sapları sıkılarak özsu alınıldıktan sonra geriye kalan bitki saplarında (posa) katı biyoyakıt (pelet) elde edilmiştir. Peletlerin ısı değeri (cal/g), kül miktarı (%) ve baca gazı emisyon (O, CO, CO₂, NO₂, NO_x ve SO₂) değerleri belirlenmiştir.


Araştırmada, genotiplere göre değişkenlik göstermekle birlikte elde edilen peletlerin ısı değerlerinin 4228-4357 cal/g arasında, kül içeriklerinin % 3,41-4,63 arasında değiştiği ve standartlara uygun değerler elde edilmiştir. Baca gazı emisyon değerlerinden; O₂ içeriğinin %13,1-17,4 arasında, CO₂ içeriğinin %3,4-7,6 arasında, CO içeriğinin 287-1552 ppm arasında, NO içeriğinin 46-149 ppm arasında, NO_x içeriğinin 48-156 ppm arasında olduğu tespit edilmiştir. SO₂ içeriği, kullanılan baca gazı ölçüm cihazı ile ölçülemeyecek kadar az bulunmuştur. Sonuç olarak elde edilen veriler incelendiğinde, tatlı sorgum saplarından elde edilen peletlerin ısı değeri ve kül miktarı standartlara uygun olduğu ve temiz, çevre dostu, kömüre alternatif bir yenilenebilir bir enerji kaynağı olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tatlı Sorgum, pelet, yakıt özellikleri

Sorumlu Yazar


Mahmut DOK*

mahmutdok@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1558-7452>

Mine AKSOY*

mine.aksoy@tarimorman.gov.tr

 <https://orcid.org/0000-0001-8662-6175>


Ayşegül ÇELİK*

aysegul.celik@tarimorman.gov.tr

 <https://orcid.org/0000-0002-5679-5005>

Celal YÜCEL*

celalyucel1@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6792-5890>

Gönderilme Tarihi :

18 Ocak 2021

Kabul Tarihi :

27 Nisan 2022

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the potential of using the stalks of 21 different sweet sorghum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotypes as pellets. Field experiments were carried out in the GAP Region Şanlıurfa Province under second crop conditions in a randomized block design with four replications in 2016 and 2017. In the study, solid biofuel (pellet) was obtained from the remaining plant stems (pulp) after the juices was extracted by squeezing the harvested plant stems. The heating value (cal/g), ash (%) and flue gas emissions (O, CO, CO₂, NO, NO_x and SO₂) of the pellets were determined.

In the study, although it varies according to genotypes, it was seen that the calorific value of the pellets obtained ranged between 4228-4357 cal/g, the ash content varied between 3.41-4.63% and the results were in accordance with the standards. From the flue gas emission values; It has been determined that the O₂ content is between 13.1-17.4%, the CO₂ content is between 3.4-7.6%, the CO content is between 287-1552 ppm, the NO content is between 46-149 ppm, the NO_x content is between 48-156 ppm. SO₂ content was found too low to be measured with the flue gas measuring device used. As a result, when the data obtained were examined, it was determined that the heating value and ash amount of the pellets obtained from the sweet sorghum stalks were in accordance with the standards and could be a clean, environmentally friendly, alternative renewable energy source to coal.

Keywords: Sweet sorghum, pellet, combustion characteristics

1. GİRİŞ

Dünya genelinde enerji talebinin 2005-2030 yılları arasında yaklaşık olarak % 55 oranında artış göstermesi beklenmektedir. Bu durum, küresel iklim değişikliğine neden olduğundan enerji sektöründe fosil yakıt tüketimi azaltılmalıdır. Bu nedenle tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi Ülkemizde de, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik verilmek suretiyle kaynak çeşitliliğini artırmak stratejik planlar içerisinde öncelikli amaçlar olarak

belirlenmiştir. Ülkemizin enerjide % 73 olan dışa bağımlılık oranının azaltılması için, 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi içindeki payının en az % 30 olması hedeflenmiştir (Küsek, Güngör, Öztürk ve Akdemir, 2015). Dünya’da azalan fosil enerji kaynaklarının yerine alternatif enerji kaynak arayışları devam etmektedir. Fosil yakıtların yerini alabilecek, çevreye daha az zararlı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının başında da birim alanda yüksek biyokütle potansiyeline sahip bitkiler gelmektedir.

Biyokütle enerji kaynaklarından üretilen, son dönemde önemli gelişme kaydeden ve doğrudan tarım sektörünü ilgilendiren biyoyakıtlar, günümüzde dikkat çeken önemli biyokütle kaynakları olarak bilinmektedir (Sabancı, 2010).

Tarımsal ve orman artıkları olarak adlandırılan biyokütle kaynaklarının oldukça geniş kullanım alanı **vardır**. Biyokütle tabanlı bu malzemeler, hem doğrudan biyokütle olarak, hem de biyoyakıt olarak enerji üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Türkiye’de hali hazırda yıllık toplam tarımsal artık miktarı yaklaşık olarak ortalama 50-65 MTEP ‘dir (Tolay Baileys ve Waterschoot, 2010). Biyokütle, yenilenebilir enerjinin çevreci şekli olup kullanımı küresel ısınmanın azalmasına yardımcı olmaktadır. Yakıt olarak kullanılan peletler; odun artığı, tarımsal ve orman artıkları ve enerji bitkileri dahil çeşitli biyokütle hammaddelerinden üretilmektedir (Ungureanu, Vlăduț, Biriș, Dincă, Ionescu, Zăbavă, Munteanu ve Voiccea, 2016).

Tarımsal artıkların katı yakıt olarak kullanılabilmesi için etkin yöntemlerden birisi de peletleme **işlemidir**. Pelet yakıtı, yuvarlak hayvan yemine benzeyen, küçük, genellikle silindirik bir forma sahiptir. Biyokütle materyalinin parçalandıktan sonra basınç altında daha küçük boyutlara getirilmesi işlemine peletleme denir. Peletler genellikle 6 ile 12 mm aralık çapında ve 10-30 mm uzunluğundadır. Pelet yakıtı, odun tozu, odun yongaları, tarımsal ürünlerin artıkları, tahıl sapları, fındık, badem, ceviz kabukları artık kağıt gibi materyallerden üretilmektedir. Peletlerin evlerde yakacak olarak kullanımı; doğal gaz ve fuel-oil gibi yakıtlara benzer kullanım konforu sağlamaktadır. Biyopeletler yenilenebilir enerji kaynağı olarak kömür yerine kullanıldığında CO₂ emisyonlarının azalmasına katkı sağlamaktadır.

Dünya genelindeki en büyük pelet pazarını Avrupa Ülkeleri oluşturmakta ve ihtiyacın yarısını evlerin ısıtılması için kullanmaktadırlar. Dünya toplam pelet ihtiyacı 2010 yılında yaklaşık 15 milyon ton iken, 2015 yılında 228 milyon ton ve 2030 yılında 350-400 milyon ton olarak gerçekleşebileceği tahmin edilmektedir (Karayılmazlar, Saraçoğlu, Çabuk ve Kurt, 2011).

Enerji bitkisi olarak ülkemizde çok az bilinen, dünyada ise yavaş yavaş yaygınlaşmaya başlayan bitkiler arasında en çok yetiştiriciliği yapılan bitkilerden birisi de tatlı sorgumdur. Tatlı sorgum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Graminea familyasından olup, Kuzey ve Doğu Afrika kökenli olan, tek yıllık bir enerji bitkisidir (Acar ve Akgün, 2009). Olgunlaşma süresi 90 ile 140 gün aralığında, yüksek büyüme hızına sahip tatlı sorgum, önemli bir enerji bitkisidir. Tatlı sorgum, gelişmekte olan ülkeler için enerji bitkisi olarak araştırılan ve özellikle biyoetanol üretimi için önemli bir bitkidir (Balat, Balat ve Öz, 2008).

Tatlı sorgumun şekerli suyu ve şırası alındıktan sonra geriye kalan sapsarı, hayvan beslemede kullanılabileceği gibi katı yakıt olarak da kullanılabilmektedir (Akbulut ve Özcan,

2008). Tatlı sorgum üretiminde net enerji üretimini, sadece birim üretim alanından (ha) alınan biyokütle miktarı dikkate alındığında 154.391,27 MJ/ha, üretim sonucunda kazanılan toplam çıktı (tohum+biyokütle) miktarı dikkate alındığında ise 184.144,22 MJ/ha olarak belirlendiği ifade edilmiştir (Eren, 2011).

Bu çalışmada 21 adet sorgum çeşit ya da genotipi, Şanlıurfa ekolojik şartlarında yetiştirilerek şıradan şırası alınmış ve biyoetanol amaçlı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır (Resim:1). Bu makalede, artan sapsarıdan da biyoyakıt olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla pelet yakıt yapılmıştır. Elde edilen peletlerde ısı değeri (cal/g), kül içeriği (%) ve baca gazı emisyon değerleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Araştırma, GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün, Şanlıurfa Koruklu'da bulunan Talat Demirören Araştırma İstasyonu'nda, 2016 ve 2017 yıllarında yürütülmüştür. Araştırmada yer alan genotiplerin adları Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan tatlı sorgum genotiplerinin adları

Corina	Ramada	UNL-hybrid -3
Cowley	Rio	Williams
Grassi	Roma	Wray
M81-E	Smith	No91
N98	Theis	No5
Nebraska sugarcane	Topper 76	No41
P1579753	Tracy	Gülşeker

2.1.1. Yetiştirme Yapılan Alanın İklim ve Toprak Özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü yıllarda Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında diğer aylara göre daha yüksek sıcaklık değerleri ölçülmüş olup maksimum sıcaklık 40 °C 'nin

üzerine çıkmıştır. Şanlıurfa'da gündüz ve gece sıcaklıkları arasında da önemli bir fark oluşmaktadır. Özellikle sabah erken saatlerde güneş doğmadan önce sıcaklık düşmekte ancak güneşin doğması ile birlikte sıcaklık hızla artmaktadır. Bu nedenle ortalama sıcaklık değerleri düşük ölçülmektedir. Ancak gün boyunca sıcaklık değerleri en

yüksek sıcaklık değerlerine paralel olarak seyretmektedir. Denemenin yürütüldüğü 2016 yılında haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında ortalama nispi nem sırasıyla % 42,1, % 40,5, % 49,8 ve % 48,1; 2017 yılında ise % 28,0, % 25,4, % 30,6 ve % 32,1 olarak gerçekleşmiştir.

Bu çalışma, bölgede geniş bir yayılım alanına sahip ve araştırma istasyonunun tamamında yer alan Harran Toprak Serisinde yürütülmüştür. Bu seri topraklar; alüvyal ana materyalli, düz ve düze yakın eğimli ve derin profilli topraklardır. Tipik kırmızı profilleri killi bünyeli ve tüm profil çok kireçlidir. A, B, C horizonlu topraklardan olup, pH 7,3 ile 7,8 arasında değişen, organik madde içeriği düşük, kation değişim kapasitesi yüksektir. KDK, kil içeriğine bağlı olarak alt katmanlara doğru artmaktadır (Dinç, Şenol, Sayın, Kapur ve Güzel, 1988).



Resim 1-Tatlı sorgum bitkisi



Resim 3- Sorgum sapının parçalanması

2.2.2. Ölçümler ve analizler

Isıl Değer (cal/g): Örneklerin üst ısıl değerleri (HHV), TS EN ISO 18125 standardına göre IKA marka C 200 model kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Test

2.2. Metod

2.2.1.Tatlı sorgum saplarından pelet üretimi

Saplarının özsuğu Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitü bünyesinde mevcut olan ve bölge atölyelerinde yapılan bir sıkma makinesi ile sıkılan tatlı sorgum saplarından yaklaşık 10 kg yaş numune alınmış ve %10-15 nem içeriğine kadar güneş altında kurutulmuş ve 4-5 kg civarında kuru numune elde edilmiştir (Resim 1-2). Saplar, Samsun Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Biyokütle Ünitesinde mevcut çekiçli değirmende öğütüldükten sonra (Resim 3) pelet makinesinde (Zibro PM 3.0 E), (Resim 4) 6 mm çapında pelet haline getirilmiştir (Resim 5). Elde edilen peletlerin, ısı değer (cal/g), kül miktarı (%) ve baca gazı emisyonu (O₂, CO, CO₂, NO₂, NO_x ve SO₂) gibi yanma özellikleri incelenmiştir.



Resim 2-Kurutulmuş tatlı sorgum



Resim 4- Sorgumun peletlendiği makine

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 değer cal/g olarak tayin edilmiştir.

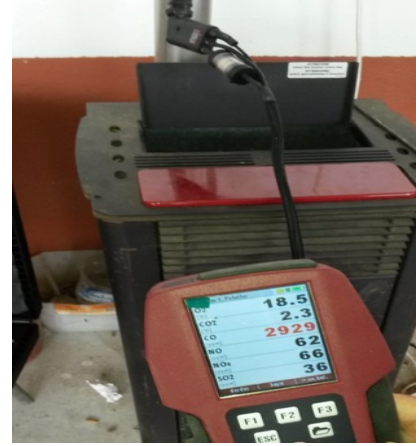
Kül İçeriği (%): Peletlerin kül içeriği NREL/TP-510-42622 prosedürüne göre belirlenmiştir (Sluiter Hames,

Ruiz, Scarlata, Sluiter, Templeton, 2008).

Baca Gazı Emisyonu: Peletlerin, pelet yakma sobasında yakılması sonucu oluşan gaz emisyon miktarı ECOM EN2 marka (Resim 6) baca gazı emisyon ölçme cihazında ölçülmüştür.



Resim 5-Elde edilen pelet yakıt



Resim 6- Pelet baca gazının ölçülmesi

3. Bulgu ve Tartışma

3.1. Isıl Değer (cal/g)

Şanlıurfa ilinde 2016-2017 yıllarında yetiştirilen farklı tatlı sorgum genotiplerinin saplarından elde edilen peletlerin ısı değerine ilişkin değerler ve çoklu karşılaştırmaları, Tablo 2'de verilmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre ısı değer yönünden incelenen genotipler için; genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0,01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık bulunmuştur (Tablo 2). İki yıllık birleştirilmiş analiz sonuçlarına göre, peletlere ait ısı değerler 4107-4433 cal/g arasında değişmektedir. En yüksek ısı değer araştırmanın ikinci yılında 91 numaralı genotipte, en düşük ısı değer ise araştırmanın birinci yılında N.98 numaralı genotipte elde edilmiştir. Çeşit ortalaması 4228-4357 cal/g arasında değişmiş, en düşük değer N.98 numaralı genotipte elde edilmiştir ve bunu sırasıyla Williams ve N. Sugarcane genotipleri takip etmiştir. Yıl ortalamaları gözönüne alındığında, ısı değerler 2017 yılında 4343 cal/g ile 2016 yılındaki 4248 cal/g değerine göre daha yüksek bulunmuştur.

Puig-Arnabat, Shang, Sárossy, Ahrenfeldt ve Henriksen (2016), farklı hammaddelerden laboratuvar ölçekli pelet

makinesi ile pelet üretimi gerçekleştirdikleri çalışmalarında; sorgumdan elde edilen peletlerin ısı değerini $17,67 \pm 0,06$ MJ/kg ($4220 \pm 14,33$ cal/g) olarak belirlemişlerdir. Tenorio, Moya, Filho ve Valaert (2015), Costa Rica'nın tropik ikliminde yetiştirilen farklı bitkilerden elde edilen peletlerin kalite özelliklerini inceledikleri çalışmalarında sorgumdan üretilen peletlerin ısı değerini 16,906 kJ/kg (- 4038 cal/g) olarak saptamışlardır. TS EN-ISO-17225-6 standardına göre ise A ve B sınıfı peletlerin ısı değerlerinin 3463 cal/g ve üzerinde olması gerekmektedir (Anonim, 2014). Peletlerin ısı değerleri, yukarıdaki standartta belirtilen ısı değerinin üstünde olduğu için ısı değeri bakımından A sınıfı kalitede peletler elde edilmiştir.

3.2. Kül Miktarı (%)

Genotiplerden elde edilen peletlerin kül miktarları yapılan varyans analizi ile genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0,01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık bulunmuştur (Tablo 2). İki yıllık birleştirilen analiz sonuçlarına göre, kül miktarı %3,28-5,50 arasında değişmekte ve en yüksek kül miktarı araştırmanın birinci yılında N.98 numaralı genotipte, en düşük kül miktarı ise araştırmanın ikinci yılında N. Sugarcane genotipte elde edilmiştir. Çeşit ortalaması % 3,41-4,63 arasında

değişmekte olup, en düşük değer Grassi genotipinde elde edilmiştir, bunu sırasıyla Theis ve M81.E genotipleri izlemiştir. Yıl ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda kül miktarı 2016 yılında (% 4,18), 2017 yılına (%3,74) göre daha yüksek bulunmuştur.

Tenorio vd., (2015), Costa Rica' nın tropik ikliminde yetiştirilen farklı bitkilerden üretilen peletlerin kalite özelliklerini inceledikleri çalışmalarında sorgumdan üretilen peletlerin kül içeriğini %5,50 olarak belirlemişlerdir. TS EN-ISO-17225-6 standardında göre A sınıfı peletlerin kül

içeriği %6, B sınıfı peletlerin kül içeriğinin ise %10' un altında olması gerekmektedir. Tabloda da görüldüğü gibi, tüm genotiplerden elde edilen peletlerin kül miktarının % 6' nın altında olduğu için kül miktarı bakımından A sınıfı kalitede peletler elde edildiği anlaşılmıştır. Isıl değer ve kül muhtevalarının yıllara göre farklı çıkmasının nedeni, bitkilerin yetiştirildiği yılki iklim ve toprak şartlarına bağlı olabileceği tahmin edilmektedir. Aynı şekilde genotipler arasındaki farklılığın bitkinin içerdiği elementlerden kaynaklandığı söylenebilir. Bitkinin gelişme boyunca aldığı besin elementleri de bu farklılığa neden olabilir.

Tablo 2. Peletlerin ısıl değerleri ve kül miktarları

Genotipler	Isıl Değer (cal/g)			Kül Miktarı (%)		
	2016	2017	Ort.	2016	2017	Ort.
Corina	4336 a	4291 ij	4314 cd	4,28 def	3,78 efg	4,03 ef
Cowley	4305 a-d	4266 k	4285 ef	4,57 b	3,89 de	4,23 c
Grassi	4326 ab	4322 gh	4324 bcd	3,46 k	3,36 lm	3,41 j
M81-E	4322 abc	4326 fgh	4324 bcd	3,86 hij	3,40 klm	3,63 ı
N98	4107 h	4349 ef	4228 j	5,50 a	3,76 e-h	4,63 a
N. sugarcane	4193 g	4303 hij	4248 hij	4,55 bc	3,28 m	3,91 fg
P1579753	4320 abc	4394 b	4357 a	4,01 ghı	3,64 ghı	3,82 gh
Ramada	4217 efg	4346 efg	4281 ef	3,98 hij	3,51 ijk	3,74 hı
Rio	4186 g	4350 e	4268 fgh	4,20 efg	3,47 jkl	3,84 gh
Roma	4263 de	4375 bcd	4319 bcd	4,71 b	4,05 bc	4,38 b
Smith	4262 def	4308 hij	4285 ef	4,34 cde	3,61 hij	3,98 ef
Theis	4276 cd	4358 de	4317 bcd	3,44 k	3,50 ı-l	3,47 j
Topper 76	4222 efg	4315 hı	4269 fgh	3,80 ij	4,35 a	4,07 de
Tracy	4180 g	4384 bc	4282 ef	4,31 de	3,70 fgh	4,01 ef
UNL-hyb -3	4290 a-d	4396 b	4343 ab	4,06 fgh	3,81 def	3,94 fg
Williams	4176 g	4289 jk	4232 ij	4,05 gh	3,96 cd	4,01 ef
Wray	4198 g	4313 hij	4255 ghı	4,49 bcd	3,84 def	4,17 cd
No91	4214 fg	4433 a	4323 bcd	3,80 ij	3,83 def	3,82 gh
No5	4223 efg	4378 bcd	4301 de	4,61 b	3,73 fgh	4,17 cd
No41	4298 a-d	4368 cde	4333 abc	4,07 fgh	3,89 de	3,98 ef
Gülşeker	4287 bcd	4348 ef	4318 bcd	3,78 j	4,19 b	3,98 ef
Genel Ort.	4248	4343		4,18	3,74	
DK (%)	0,34			1,80		
F çeşit	**			**		
F yıl	**			**		
F çeşit x yıl int.	**			**		

(*) Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar arasında Tukey testine göre $P \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur. **) $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

3.3. Baca Gazı Emisyonu

Baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla özel yapılmış olan pelet sobasında peletler yakılmış ve yanma sırasında baca gazı emisyon cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Sorgum genotiplerine ait baca gazı emisyon değerleri Tablo 3-5' de verilmiştir.

Genotiplerin O₂ ve CO₂ içerikleri yapılan varyans

analizi ile incelenmiş ve genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında P ≤ 0,01 seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık bulunmuştur. İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, ortalama O₂ içeriği % 13,10-17,40 arasında değişmektedir ve ortalama en yüksek O₂ içeriği N98 genotipinden, ortalama en düşük değer, Tracy genotipinden elde edilmiştir. Çeşit ortalaması 2016 yılında % 14,70 ve 2017 yılında da % 16,80 olarak gerçekleşmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Peletlerin baca gazı emisyon değerlerinden O₂ ve CO₂ içerikleri

Genotip Adı	O ₂ (%)			CO ₂ (%)		
	2016	2017	Ort.	2016	2017	Ort.
Corina	15,8 cd	18,8 abc	17,3 ab	5,0 kl	2,2 j	3,6 lm
Cowley	14,5 hı	16,5 h	15,5 f	6,3 fg	4,3 e	5,3 f
Grassi	13,3 jk	19,2 a	16,3 d	7,4 bc	1,7 k	4,6 ı
M81-E	13,6 j	18,3 de	15,9 e	7,1 cd	2,6 hı	4,9 h
N98	16,1 bc	18,8 ab	17,4 a	4,8 lm	2,1 j	3,4 m
N, sugarcane	14,1 ı	16,9 gh	15,5 f	6,6 e	3,9 f	5,3 f
P1579753	14,5 hı	18,2 e	16,3 d	6,4 efg	2,7 hı	4,5 ı
Ramada	14,8 gh	17,1 fg	15,9 e	6,1 gh	3,8 f	4,9 gh
Rio	16,8 a	13,6 k	15,2 g	4,1 n	7,1 b	5,6 e
Roma	13,1 k	13,3 k	13,2 k	7,7 ab	7,4 b	7,5 a
Smith	15,2 ef	17,5 f	16,4 d	5,6 ij	3,4 g	4,5 ı
Theis	15,1 fg	18,9 ab	17,0 bc	5,7 ı	2,0 jk	3,8 jk
Topper 76	14,2 ı	14,7 j	14,4 ı	6,6 ef	6,1 c	6,3 c
Tracy	13,7 j	12,5 l	13,1 k	7,1 d	8,2 a	7,6 a
UNL-hyb -3	14,1 ı	17,2 fg	15,7 ef	6,7 e	3,6 fg	5,1 fg
Williams	12,6 l	18,3 cde	15,4 fg	8,0 a	2,6 ı	5,3 f
Wray	14,3 ı	15,4 ı	14,9 h	6,4 ef	5,4 d	5,9 d
No91	16,2 b	18,0 e	17,1 bc	4,6 m	2,9 h	3,8 kl
No5	15,8 cd	18,7 bed	17,2 ab	5,0 kl	2,2 j	3,6 klm
No41	15,1 fg	12,3 l	13,7 j	5,8 hı	8,4 a	7,1 b
Gülşeker	15,6 de	18,1 e	16,8 c	5,2 jk	2,8 hı	4,0 j
Genel Ort.	14,7	16,8		6,1	4,1	
DK (%)	1,01			2,61		
F çeşit	**			**		
F yıl	**			**		
F çeşit x yıl int.	**			**		

(*) Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar arasında Tukey testine göre P≤0.05 seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

(**) P≤0.01 seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, ortalama CO₂ içeriği %3.40-7.60 arasında değişmektedir ve ortalama en yüksek CO₂ içeriği ortalaması Tracy genotipinde, ortalama en düşük CO₂ içeriği ise N.98 numaralı genotipte elde edilmiştir. Çeşit ortalaması 2016 yılında %6,10, 2017 yılında da %4,10 olarak tespit edilmiştir (Tablo 3). Isınmadan kaynaklanan hava kirliliği kontrol yönetmeliğine göre biyokütle yakıtı için verilen CO₂ sınır değeri maksimum %20,5' tir. Çalışmada peletlerden elde edilen CO₂ değeri belirtilen limitin altındadır.

CO ve NO emisyonu bakımından genotip x yıl interaksyonunu ve yıllar arasında P≤0.01 seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık bulunmuştur. İki yıllık birleştirilmiş analizler sonuçlarına göre, ortalama CO içeriği 287-1552 ppm arasında değişmiştir. Ortalama en yüksek CO içeriği N.Sugarcane genotipinden, ortalama en düşük CO içeriği ise Corina genotipinden elde edilmiştir. Çeşit ortalaması 2016 yılında 305, 2017 yılında da 738 ppm olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4). Isınmadan kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için belirlenen CO sınır değeri maksimum 4000 mg/Nm³ (3200 ppm)' tür. Peletlerin CO değeri belirtilen limitin altındadır.

Tablo 4. Peletlerinden baca gazı emisyon değerlerinden CO ve NO içerikleri

Genotip Adı	CO (ppm)			NO (ppm)		
	2016	2017	Ort.	2016	2017	Ort.
Corina	189 k	384 ı	287 j	83 k	58 kl	70 k
Cowley	211 j	642 ef	427 g	100 g	85 g	93 f
Grassi	270 h	380 ı	325 l	113 e	30 o	71 jk
M81-E	206 j	963 b	584 c	107 f	54 lm	80 gh
N98	490 a	856 c	673 b	107 f	43 n	75 ij
N. sugarcane	341 f	2763 a	1552 a	118 d	85 g	102 e
P1579753	333 f	679 de	506 ef	97 gh	69 ij	83 g
Ramada	360 e	500 g	430 g	100 g	98 f	99 e
Rio	289 g	706 d	497 f	70 l	180 a	125 c
Roma	397 cd	803 c	600 c	143 a	154 b	149 a
Smith	390 d	702 d	546 d	88 ijk	77 h	82 g
Theis	235 ı	502 g	368 h	91 ij	45 n	68 k
Topper 76	363 e	946 b	654 b	92 hı	137 d	114 d
Tracy	275 h	422 hı	349 hı	124 bc	150 bc	137 b
UNL-hyb -3	403 c	653 def	528 de	109 ef	73 hı	91 f
Williams	429 b	428 hı	429 g	128 b	67 ij	98 e
Wray	207 j	655 de	431 g	119 cd	109 e	114 d
No91	113 l	634 ef	374 h	29 m	63 jk	46 l
No5	217 j	472 gh	345 hı	89 ij	49 mn	69 k
No41	289 g	811 c	550 d	106 f	146 c	126 c
Gülşeker	408 c	594 f	501 ef	86 jk	70 ij	78 hı
Genel Ort	305	738		100	88	
DK (%)	3,11			2,60		
F çeşit	**			**		
F yıl	**			**		
F çeşitx yıl int.	**			**		

(*) Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar arasında Tukey testine göre P≤0.05 seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

(**) P≤0.01 seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

İki yıllık birleştirilmiş varyans analizi sonuçlarına göre, NO içeriği 46-149 ppm arasında değişmiştir. Ortalama en yüksek NO içeriği No:91 genotipinden, ortalama en düşük NO içeriği ise Roma genotipinden elde edilmiştir. Genotip ortalaması 2016 yılında 100 ppm, 2017 yılında da 88 ppm olarak elde edilmiştir (Tablo 4).

Genotipler NO_x içeriği yönüyle yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında P≤0,01 seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunmuştur (Tablo 5). İki yıllık birleştirilmiş varyans analizi sonuçlarına göre, NO_x içeriği 48 ppm ile 156 ppm arasında değişmektedir. En düşük No:91, en yüksek Roma

genotipinden elde edilmiştir. Çeşit ortalaması 2016 yılında 105 ppm, 2017 yılında da 92 ppm olarak gerçekleşmiştir. “Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”nde (Anonim, 2005) biyokütle yakıtı için verilen NO_x sınır değeri en fazla 400 mg/Nm³ (195 ppm)’ tür. Peletlerin NO_x değeri belirtilen limitin altında olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Baca gazı emisyon değerlerinin yıllar arasında farklı çıkması, yakılan peletin elde edilmiş şekline, materyallerin muhafaza şartlarına ve hammadeden peletleme sürecine kadar geçirdiği depolama şartlarına bağlı olabilir. Hatta baca gazı ölçmede kullanılan sobanın yanma hızı ve hava sirkülasyonuna göre de değişebilir.

Tablo 5. Peletlerin baca gazı emisyon değerlerinden NO_x ve SO₂ içerikleri

Genotip Adı	NO _x (ppm)			SO ₂ (ppm)		
	2016	2017	Ort.	2016	2017	Ort.
Corina	87 j	60 jk	74 k	0	2	1
Cowley	105 f	89 f	97 f	0	3	2
Grassi	118 d	32 n	75 jk	0	0	0
M81-E	113 de	56 kl	84 gh	0	0	0
N98	112 de	45 m	79 ij	0	0	0
N. sugarcane	124 c	90 f	107 e	0	7	4
P1579753	102 fg	73 hi	87 g	0	0	0
Ramada	105 f	103 e	104 e	0	0	0
Rio	73 k	189 a	131 c	0	0	0
Roma	150 a	162 b	156 a	0	0	0
Smith	92 hij	81 g	87 g	0	0	0
Theis	95 hi	47 m	71 k	0	0	0
Topper 76	96 gh	144 c	120 d	0	1	1
Tracy	130 bc	157 b	143 b	0	0	0
UNL-hyb -3	114 de	77 gh	95 f	0	0	0
Williams	135 b	70 hi	102 e	0	0	0
Wray	125 c	115 d	120 d	0	0	0
No91	31 l	66 ij	48 l	0	1	1
No5	93 hi	51 lm	72 k	0	0	0
No41	112 e	154 b	133 c	0	4	2
Gülşeker	90 ij	73 hi	82 hi	0	0	0
Genel Ort.	105	92		0	0	
DK (%)	2,67					
F çeşit	**					
F yıl	**					
F çeşitx yıl int.	**					

(*) Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar arasında Tukey testine göre P≤0,05 seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

(**) P≤0,01 seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

Her iki yılda için de tatlı sorgum genotiplerinde SO₂ içeriği, kullanılan baca gazı emisyonu ölçüm cihazının ölçüm limitlerinin altında kaldığı için istatistiksel analiz gerçekleştirilememiştir (Tablo 5).

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Tarımsal artıkların özelliklerini iyileştirerek katı yakıt olarak kullanılabilmesi için kullanılan etkin yöntemlerden birisi de peletleme işlemidir. Biyokütle materyalinin peletleme işlemi ile yoğunluğu artmakta dolayısıyla taşıma, depolama ve nakliye giderleri azalmaktadır. Ayrıca boyut ve şekilde homojenlik sağlandığından ısı amaçlı kullanımlarda yakma sistemlerine otomatik olarak beslenebilmektedir. Yapılan bu çalışma sonuçları, önemli bir biyokütle kaynağı olan tatlı sorgum genotiplerinin saplarından katı yakıt pelet yapılması durumunda önemli bir çevre dostu yakıt elde edilebileceğini göstermektedir. Tatlı sorgum sap verimi 7000-18.000 kg/da arasında değişmektedir. Şırası alındıktan sonra sapların verimi 3000-8000 kg/da aralığında değişmekte olup, ortalama verim 5000 kg/da'dır. Kurutulduktan sonra pelet yapımında kullanılacak miktarın yaklaşık 2500 kg/da civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Isıl değerinin 4100-4400 cal/kg arasında olduğu belirlenen ve diğer yakıt özelliklerinin de AB pelet standartlarına uygun olduğu tespit edilmiş olan bu artığın kaliteli bir katı yakıt olabileceği görülmektedir. Çalışmada elde edilen peletlerin kül oranının düşük olması da kaliteli bir katı yakıt olabileceği görülmektedir. Bu çalışma ile ortaya konulduğu gibi, yenilenebilir enerji kaynaklarının mümkün olabildiği kadar uygulanması, kullanışlı bir nitelik taşıyan ve önemli bir potansiyele sahip olan tarımsal artıklardan pelet elde edilmesi ve bunun özellikle küçük yerleşim yerlerinde tüketilmesi, iyi bir alternatif teşkil etmektedir. Isınmada kullandığımız yerli linyitlerimizin büyük çoğunluğu 3000 kcal/kg ve altında enerji değerine sahiptir. Bu çalışmayla elde edilen tatlı sorgum peletlerinin ekonomiyeye kazandırılması ile çoğunluğunu ithal ettiğimiz kömür yerine ikame edilebilecek önemli yerli ve milli bir enerji kaynağına kavuşmuş olunacaktır.

6. AÇIKLAMA

TÜBİTAK tarafından desteklenen 114O948 nolu projenin bir bölümüdür. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Bu araştırma için etik kurul izni ve/veya yasal/ özel izin alınmasına gerek duyulmamıştır. Yazarlar arasında herhangi bir "Çıkar Çatışması" bulunmamaktadır. Makalede yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

7. KAYNAKÇA

- Acar, R. ve Akgün, N., 2009. Şeker darısının (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *saccharatum*) yeşil ot verimi ve verim öğelerine farklı azot dozlarının etkisi. Türkiye VIII. Tarla Bitkileri Kongresi, Hatay, 1: 637-640, 19-22 Ekim 2009.
- Akbulut, M. and Özcan, M.M. 2008. Some physical, chemical and rheological properties of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) pekmez (molasses). International Journal of Food Properties, 11(1): 79-91.
- Anonim, 2005. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğini Kontrolü Yönetmeliği, 13.01.2005 Tarihli Resmi, Gazete Sayısı: 25699
- Anonim, 2014. TS EN ISO 17225-6.: 2014. Katı biyoyakıtlar - Yakıt özellikleri ve sınıfları - Bölüm 6. Öğütülmüş odunsu olmayan peletler.
- Balat, M., Balat, H., Öz, C., 2008. Progress in bioethanol processing. Progress in Energy and Combustion Science, 34: 551-573.
- Dinç, U., Şenol, S., Sayın, M., Kapur, S. ve Güzel, N., 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAT), I. Harran Ovası , TÜBİTAK, Tarım Ormancılık Araştırma Grubu Güdümlü Araştırma Projesi kesin sonuç raporu ,TOAG – 534, Adana.
- Eren, Ö., 2011. Çukurova bölgesinde tatlı sorgum (*sorghum bicolor* (L.) moench) üretiminde yaşam döngüsü enerji ve çevresel etki analizi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 1-196.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y., Kurt, R., 2011. Biyokütlenin Türkiye'de enerji üretiminde

- değerlendirilmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 13 (19):63-75.
- Küsek, G., Güngör. C., Öztürk, H. H., Akdemir, Ş. 2015. “Tarımsal Artıklardan Biyopelet Üretimi”, U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 2, 137-145.
- Puig-Arnabat, M., Shang L., Sárossy Z., Ahrenfeldt J., Henriksen U.B. 2016. “From a single pellet press to a bench scale pellet mill-Pelletizing six different biomass feedstocks”, Fuel Processing Technology, 142, 27-33.
- Sabancı, A., 2010. Türkiye’de biyodizel ve biyoetanol üretiminin tarım sektörü açısından değerlendirilmesi. Ziraat Mühendisleri Odası 7. Teknik Kongresi, Ankara, 2:933-953.
- Sluiter A., Hames B., Ruiz R., Scarlata C., Sluiter J., Templeton, D. 2008. Determination of ash in Biomass, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-510-42622, 1-5.
- Tenorio, C., Moya R., Filho M.T., Valaert J. 2015. “Quality of pellets made from agricultural and forestry crops in costa rican tropical climates”, BioResources, 10, 482-498.
- TS EN ISO 18125. Katı biyoyakıtlar-Kalorifik değerin belirlenmesi (ISO 18125:2017).
- Tolay M., R. Baileys, A. Waterschoot, 2010. Tarım ve Orman Atıklarından Enerji Üretimi,
- VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2010, 1-5 Aralık 2010, Bursa.
- Ungureanu, N., Vlăduț. V., Biriș S.Ş., Dincă M., Ionescu M., Zăbavă B.S., Munteanu, G.B., Voicea L. 2016. “A review on the durability of biomass pellets”, 5th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, TE-RE-RD 2016, At Golden-Sands / Bulgaria, Volume: 2016, section 2.