

Mahmut DOK^{1a}

Ayşegül E. ÇELİK^{1b}

Mine AKSOY^{2a}

Celal YÜCEL^{3a*}

¹Karadeniz Tarımsal Araştırma
Enstitüsü-Samsun

²Osmangazi İlçe Tarım ve Orman
Müdürlüğü-Bursa

³Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi,
Tarla Bitkileri Bölümü- Şırnak

^{1a}ORCID: 0000-0002-1558-7452

^{1b}ORCID: 0000-0002-5769-5005

^{2a}ORCID: 0000-0002-3173-6577

^{3a}ORCID:0000-0001-6792-5890

*Sorumlu yazar:

celalyucel@sirnak.edu.tr

DOI

<https://doi.org/10.46291/ISPECJASv015iss4pp820-832>

Alınış (Received): 25/05/2021

Kabul Tarihi (Accepted): 26/06/2021

Anahtar Kelimeler

Tatlı sorgum, pelet, ısı değer, baca gazı emisyonları

Keywords

Sweet sorghum, pellet, calorific value, flue gas emissions

Çukurova Koşullarında Yetiştirilen Tatlı Sorgum Posasından Elde Edilen Peletlerin Yanma Özelliklerinin Belirlenmesi

Özet

Tatlı sorgum, şeker oranı, biyokütle verimi yüksek olan, fazla su ihtiyacı bulunmayan ve sıcak koşullarda yetişen bir C4 bitkisidir. Yem bitkisi olarak yetiştirilen tatlı sorgumun, şeker içeriğinin çok yüksek olması bitkinin, biyoetanol üretimde kullanılmasını ön plana çıkarmıştır. Etanol elde etmek için özsu alınmış tatlı sorgum sapları (posası), endüstride farklı alanlarda değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, 21 farklı tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotipi materyal olarak kullanılmış ve özsu alınmış bitki saplarının biyopelet olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Özsu alınmış tatlı sorgum sapları %10-15 nem içeriğine kadar kurutulup öğütüldükten sonra pelet haline getirilmiştir. Elde edilen peletlerin ısı değeri, kül miktarı ve baca gazı emisyon (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x ve SO₂) değerleri belirlenmiştir. Araştırmanın iki yıllık ortalamalarına göre ısı değeri 4239-4361 cal/g, kül içeriğinin %4.23-5.88, baca gazı emisyon değerlerinin O₂ %13.6-17.3, CO₂ %3.5-7.1, CO 459-1211 ppm, NO 85-152 ppm, NO_x 89-160 ppm ve SO₂ 0-2 ppm arasında değiştiği gözlenmiştir. Sonuç olarak belirlenen standartlara göre A ve B sınıfı peletlerin ısı değerinin 3463 cal/g ve üzerinde olması gerektiği, çalışmamızda her iki yılda da elde edilen peletlerin ısı değeri standartta belirtilen değerin çok üstünde olduğu için ısı değeri bakımından A sınıfı kalitede oldukları saptanmıştır. Tatlı sorgum saplarının pelet olarak değerlendirildiğinde kömüre alternatif, temiz, çevreci ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olabileceği görülmektedir.

Determination of Combustion Characteristics of Pellets Obtained From Sweet Sorghum Bagasse Grown Under Cukurova Conditions

Abstract

Sweet sorghum is a C4 plant with a high sugar ratio and biomass yield and grows in warm conditions that do not need much water. The high sugar content of sweet sorghum, which is grown as a forage crops, has brought the plant to the fore in the use of bioethanol production. The objectives of this work were to produce biopellets made from sorghum bagasse and to evaluate its calorific value and combustion characteristics. In this study, 21 different sweet sorghum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotypes were used as material. The extracted stalks were turned into pellets after being dried to 10-15% moisture content and milled. The calorific value, ash content and flue gas emission (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x and SO₂) values of the obtained pellets were determined. According to the two-year averages of the study, as a result of the analyzes made on the pellets, the calorific value, ash content, O₂, CO₂, CO, NO, NO_x and SO₂ varied between 4239-4361 cal/g, 4.23-5.88%, 13.6-17.3%, 3.5-7.1%, 459-1211 ppm, 85-152 ppm, 89-160 ppm and SO₂ 0-2 ppm, respectively. When the data obtained as a result are examined, it is observed that the calorific value of A and B class pellets should be 3463 cal/g, and above according to the determined standards, and since the heating value of the pellets obtained in both years in our study is much higher than the value specified in the standard, they are of A class quality in terms of calorific value. has been determined. When sweet sorghum stems could be an alternative to coal, a clean, environmentally friendly and renewable energy source when evaluated as pellets.

GİRİŞ

Son yıllarda artan sera gazlarının yoğunluğu nedeniyle küresel ısınma ve buna bağlı olarak iklim değişikliklerinin etkileri hala güncelliğini korumaktadır. Dünya genelinde sera gazlarının ve özellikle de karbondioksit (CO₂) yoğunluğunun azaltılması için yoğun çabalar gösterilmektedir. Küresel olarak CO₂ konsantrasyonunun 418.6 ppm seviyelerine ulaştığı ve bir önceki yıla göre 1.74 ppm artış gösterdiği bildirilmektedir (Anonim, 2021). Avrupa Birliği ülkelerinin, sera gazı emisyonlarını azaltma konusunda ki girişimlerinin olduğu ve bunu başarmak için de CO₂ oranını, 2020' ye kadar %20, 2030 yılına kadar %40, 2040 yılına kadar %60 ve 2050 yıllarına gelindiğinde %80 azaltma sözü verdiği bildirilmektedir (Ungureanu ve ark., 2018). Bu amaçla sera gazı emisyonlarına azaltacak, fosil yakıtların yerini alabilecek, biyokütle enerji kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. Biyokütle kaynaklarından üretilen peletin enerji amaçla kullanımı son yıllarda giderek daha da önemli konuma gelmiştir. Biyokütle peleti (odun ve orman hammaddesi) üretiminin yıllık artışı, son on yılda %20' ye yakın olmuştur (WBA, 2014). Ayrıca pelet kullanımı, son yıllarda AB'nin biyoenerji kullanım hedefleri tarafından yaratılan talep nedeniyle ve uluslararası ticarete her geçen yıl artmaktadır (Dwivedi ve ark., 2014; Purohit ve Chaturvedi, 2018). Odunsu biyokütle, enerji kullanımının en geleneksel şekli olarak bilinmektedir. Bugüne kadar yaklaşık 50 EJ veya küresel birincil enerji arzının %10' unu oluşturmakta (Edenhofer ve ark., 2011) ve çoğu gelişmekte olan ülkelerde tüketimi hızla artmaktadır (Johnson ve ark., 2010). Biyokütleden pelet üretimi, 2012 yılında 18 milyon ton iken 2019 yılında 39.6 milyon tona ulaştığı ve son on yılda %100 oranında arttığı görülmektedir (FAO, 2021). Pelet üretiminde tarımsal artıklar, enerji bitkileri, ormancılık ve odun artıkları tek olarak veya karışım halinde kullanılmakta ve farklı fiziksel-kimyasal özellikler taşıdığı bildirilmektedir (Ungureanu ve ark., 2018).

Ülkemizde fosil yakıt olarak düşük kalorili linyit, taş kömürü, asfaltit, kok, petrol ve doğalgaz üretilmektedir. Ancak üretilen kömürlerin, büyük bölümü termik santrallerinde, demir çelik sanayinde kullanılmaktadır (Önal ve Yarbay, 2010). Bir kömür sistemi ile karşılaştırıldığında, 8.300 GWh elektrik üretmek için yalnızca peletlerin yakılması, küresel ısınma etkilerini 7.9 milyon ton CO₂ eşdeğer oranda azaltabileceğini ve bunun da sera gazı emisyonlarında %85' lik bir azalmaya eşdeğer olduğu bildirilmektedir (Wiloso ve ark., 2020). Ülkemizdeki linyit kaynağının ısı değerleri oldukça düşük olduğu, genel olarak 1.000 kcal/kg ile 4.200 kcal/kg arasında değişiklik gösterdiği ve yaklaşık %90' nın alt ısı değeri 3.000 kcal/kg' ın altında kalmaktadır (TKİ, 2019). Biyokütle kaynaklarının ısı değerleri 4000 kcal/kg dolayındadır. Havadaki karbondioksit miktarını etkilemeyen dünyadaki tek yakıt türü olduğu bilinmektedir. Özellikle tatlı sorgum, yaklaşık %15 civarında şeker içermekte olup, bu da daha verimli gazlaşmasını sağlamaktadır (Tolay, 2017). Lalak ve ark. (2016) çok yıllık buğdaygillerin uygun yakma tesislerinde yakılması durumunda kömüre benzer performans göstereceğini bildirmişlerdir. Biyokütle, kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtları ithal etme ihtiyacını azaltırken, sera etkisi ile ilişkili emisyonları azaltmak için de kullanılan yenilenebilir bir yakıt olduğunu ve aynı zamanda da ekonomiyi güçlendiren yerel çiftçilere, alternatif bir gelir kaynağı da sağlayabildiği bildirilmektedir (Arvelakis ve Frandsen, 2010). Yakıt peletleri odun atığı, tarımsal artıklar ve enerji bitkileri dâhil çeşitli biyokütle hammaddelerinden üretilmektedir (Ungureanu ve ark., 2016). Tarımsal artıkların hem dünyada hem de ülkemizde, enerji kaynağı olarak katı yakıt formunda değerlendirilmesi büyük önem kazanmaktadır (Küsek ve ark., 2015). Türkiye' de yıllık toplam tarımsal atık miktarı yaklaşık olarak 50-65 Mtep' dur (Tolay ve ark., 2010). Tarımsal artıkların, özellikleri iyileştirilmiş katı yakıt olarak

kullanılabilmesi için etkin yöntemlerden birisi de peletleme işlemidir. Biyokütle materyalinin basınç altında daha küçük boyutlara (yaklaşık 30 mm) getirilmesi işlemine peletleme denir. Pelet, hayvan yemine benzeyen, küçük, silindirik bir forma sahiptir. Biyokütle peletleri, genellikle 6-12 mm çapında ve 10-30 mm uzunluğunda ve briketlere kıyasla daha küçük boyutlardadır. Biyokütle materyalinin peletlenmesi ile hacimsel ısı değeri artmakta, taşıma ve depolama maliyetleri azalmakta, yanma özellikleri iyileşmekte, atmosfere salınan parçacık emisyonları azalmakta ve aynı boyut/şekilde daha üstün özelliklere sahip bir katı biyoyakıt elde edilmektedir. Tarımsal artıklardan elde edilen peletlerin alt ısı değerleri ve fiziksel özellikleri odundan elde edilen peletten çok farklı değildir. Artığın çeşidine göre bazıları düşük, bazıları da odundan yüksek kalitede yakıtlar olup, kömürün kullanıldığı her alanda rahatlıkla kullanılabilir (Dok, 2014). Tatlı sorgum, ülkemizde enerji tarımında henüz yeni bilinen, dünyada ise yavaş yavaş yaygınlaşmaya başlayan sıcak mevsim tek yıllık bir C4 buğdaygil bitkisidir. Ülkemizde en çok ekim alanına sahip C4 bitkisinin mısır olmasına rağmen mısırdaki çeşitlere göre su kullanım etkinliği farklı (Karaer ve ark., 2021) olsa bile tatlı sorgumdan daha fazla su kullanılmaktadır. Tatlı sorgumun, kurağa ve yüksek sıcaklığa diğer türlere göre daha toleranslı olması, kısa sürede yüksek biyokütle elde edilmesi bakımından son yıllarda en çok gelişme gösteren bitki türlerinin ilk sıralarında yer almaktadır. Tatlı sorgum, gelişmekte olan ülkelerde enerji üretimi için araştırılan bitkiler arasında özellikle biyoetanol üretimi için en ümit verici olanıdır (Balat ve ark., 2008). Bunların dışında tanesinin insan beslenmesinde, biyokütlesinin hayvan yemi olarak (Yücel ve Erkan, 2020), elyaf yapımında, yüksek kaliteli kağıt yapımında kullanılan en iyi hammaddelerden biridir (Guiying ve ark., 2003; Köppen ve ark., 2009). Ayrıca tatlı sorgumdan biyoetanol

üretiminde yan ürün olarak elde edilen CO₂, tıpta yangın söndürmede, karbonatlı içeceklerde ve kuru buz imalatında kullanılmaktadır. Ülkemizde tatlı sorgum sapsaplarında pelet yapımı ve yakıt olarak kullanımı ile ilgili yeterli çalışma ve bilgiye ulaşılamamaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de daha çok odun ve orman ürünlerinde yapılan peletler kullanılmaktadır. Bu çalışma ile endüstride etanol elde etmek için Çukurova koşullarında yetiştirilen farklı tatlı sorgum genotiplerinin özsuyu alındıktan sonra geriye kalan sapsaplarla (posa) yapılan peletlerin ısı değeri ve bazı baca gazı emisyonları saptanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Araştırmada yer alan genotiplerin adları ve materyalin temin edildiği kaynaklar;

- 1) Cowley, Dale, Grassi, M81E, Mennonita, Nebraska Sugarcane, PI579753, Ramada, Roma, Rox Orange, Smith, Sugar Drip, Theis, Topper 76, Tracy, UNL-Hybrid -3 (26297xM81 E), Williams (Prof. Dr. İsmail Dweikat, Nebraska Üniversitesi, Lincoln, ABD);
- 2) No2 USDA orijin Çin, No91 USDA orijin Tayvan, No5 USDA orijini Güney Afrika (BATAEM, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Antalya);
- 3) Lokal çeşit Gülseker (Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fak. Tarla Bitkileri Bölümü, Bursa).

Tarla denemeleri, Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (DATAEM) Araştırma alanında Doğankent, Yüreğir-Adana'da 2016 ve 2017 yıllarında, Haziran-Ekim döneminde yürütülmüştür. Adana ilinin 2016 yılı Haziran-Ekim aylarına ait ortalama sıcaklığın 25.1 °C olduğu ve bu ortalamasının uzun yıllar ortalama sıcaklığa çok benzer olduğu görülmektedir. Ancak Haziran ve Ağustos aylarında sıcaklığın 41.5 °C civarlarında olduğu saptanmıştır. Bu döneme ait ortalama nispi nemin % 79.0 ve toplam yağışın ise 46.2 kg/m² olduğu görülmektedir. 2017 yılı Haziran-Ekim

aylarına ait ortalama sıcaklığın 24.8 °C olduğu ve bu ortalamanın 2016 ve uzun yıllar ortalama sıcaklığa yakın olduğu görülmektedir. Ancak Temmuz ve Ağustos aylarında sıcaklığın 42 ve 43 °C civarlarında olduğu saptanmıştır. Bu döneme ait ortalama nispi nemin % 79.6 ve toplam yağışın ise 48.2 kg/m² olduğu görülmüştür. Denemelerin yürütüldüğü topraklar, arıkl toprak serisi olup, 0-15 ve 15-30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde yapılan analizler sonucunda; pH'nın 7.0-7.50 arasında, toplam tuz % 0.22-0.27, N % 0.10-0.19, organik karbon (OC) % 0.63-0.90, fosfor (P) 0.63-0.90 mg/kg, kireç içeriği (CaCO₃) % 32.5-35.0, kum; %24-28, silt % 41-43, kilin ise % 30-33 arasında değiştiği ve toprak tekstür sınıfının killi-tın (CL) yapısında olduğu saptanmıştır.

Yöntem

Tatlı sorgum sapından pelet üretimi ve bazı yakıt özelliklerinin belirlenmesi

Etanol elde etmek için her genotipten rastgele seçilen 10' ar bitkinin yaprak ve salkımları alındıktan sonra, özel tasarlanmış makineden sıkılarak özsuyu alınmış ve geriye kalan saplar (posa) kurutulularak pelet yapılmıştır. Özsuyu alınmış tatlı sorgum

saplarından 4-5 kg (kuru madde bazında) alınmış ve %10-15 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Saplar öğütüldükten sonra pelet (Zibro PM 3.0 E) makinesinden geçirilerek pelet haline getirilmiştir. Elde edilen peletlerde, ısı değeri (cal/g), kül (%) ve baca gazı emisyonu (O, CO, CO₂, NO₂, NO_x ve SO₂) özellikleri incelenmiştir.

Isıl Değer (cal/g): Örneklerin üst ısı değeri (HHV), TS EN ISO 18125 standardına göre IKA marka C 200 model kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Test öncesi öğütülmüş örnekler 24 saat 105 °C' de bekletilerek içerisindeki nem uzaklaştırılmıştır. 0.5 g ağırlığında kurutulmuş örnekler, standart koşullarda bir kalorimetre bombasında oksijen ortamında yakılıp kalorimetre kabı içindeki suyun sıcaklık derecesinin artışına ve sistemin ortalama gerçek ısı sığasına göre ısı değeri cal/g olarak tayin edilmiştir.

Kül İçeriği (%): Peletlerin kül içeriği NREL/TP-510-42622 prosedürüne göre belirlenmiştir (Sluiter ve ark., 2008).

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



a

Şekil 1. (a) Sorgum Peleti,



b

(b) Pelet Sobası ve Baca Gazı Emisyonu Ölçüm Sistemi

BULGULAR ve TARTIŞMA

Isıl Değer ve Kül İçeriği

Isıl değer

Varyans analizi sonuçlarına göre ısı değeri bakımından genotipler, genotip x yıl etkileşimini ve yıllar arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli

farklılık bulunmuştur. İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, peletlerin ısı değeri 4106-4417 cal/g arasında değiştiği ve en yüksek ısı değeri, araştırmanın ikinci yılında Grassi ve Smith çeşitlerinde, en düşük ısı değeri ise araştırmanın birinci yılında Cowley çeşidinde elde edilmiştir. Çeşit ortalamasında ısı değerinin 4239-4361 cal/g arasında değiştiği ve Grassi, M81E, Roma, Smith, UNL-Hyb-3 ve No91 çeşit ve hatlarında 4340 cal/g üzerinde değere sahip olduğu ve istatistiki olarak aynı grupta yer aldıkları saptanmıştır (Tablo 1). Yıl ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda, ısı değerinin 2017 yılında (4354 cal/g) 2016 yılına (4234 cal/g) göre daha yüksek bulunduğu saptanmıştır. Yıllar arasındaki farklılık, o yıllara ait iklim değerlerinin farklı olmasından kaynaklanmış olabilir. Yapılan önceki çalışmalarda sorgumdan elde edilen peletlerin ısı değerinin 4220 cal/g (Puig-

Arnavat ve ark., 2016), 4038 cal/g (Tenorio ve ark., 2015), 3605.3 cal/g (Ferreira ve ark., 2019) olduğu bildirilmiştir. Yine benzer diğer çalışmalarda da görüleceği gibi sorgum biyokütlesinden elde edilen peletlerin net ısı değerinin 3653-4856 cal/g arasında değiştiği bildirilmektedir (Aragon-Garita ve ark., 2016; Lalak ve ark., 2016; Simeone ve ark., 2018). Wiloso ve ark. (2020) sorgum peletlerinin ısı değerinin 4156 kcal/kg olduğunu bildirmişlerdir. Zengin ve ark. (2020), farklı orman mamulleri ile yapılan peletlerin ısı değerlerinin 4361-4644 cal/g arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Çalışmada yer alan genotiplerin ısı değerlerinin 3463 cal/g üzerinde olduğu ve TS EN-ISO-17225-6 (2014) standardına göre A ve B sınıfı peletler olduğu (Tablo 1) ve odun peletlerinin ısı değerine yakın ısı değere sahip oldukları görülmektedir.

Tablo 1. Tatlı sorgum peletlerin ısı değeri ve kül içeriği ortalamaları ve oluşan gruplar

| Genotipler | Isı Değer (cal/g) | | | Kül İçeriği (%) | | |
|--------------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
| | 2016 | 2017 | Ort. | 2016 | 2017 | Ort. |
| Cowley | 4106 k⁺ | 4372 c | 4239 ı | 5.54 b | 5.35 ef | 5.45 cd |
| Dale | 4185 ij | 4320 ef | 4252 fi | 5.32 bc | 5.93 b | 5.62 b |
| Grassi | 4304 a | 4417 a | 4361 a | 4.06 ı | 4.41 j | 4.23 j |
| M81E | 4304 ab | 4410 ab | 4357 a | 4.61 gh | 4.84 hı | 4.73 hı |
| Mennonita | 4172 j | 4330 e | 4251 fi | 6.08 a | 5.48 de | 5.78 a |
| N.sugarcane | 4222 f-ı | 4304 efg | 4263 fi | 5.07 ce | 5.38 df | 5.22 ef |
| PI579753 | 4238 d-g | 4304 efg | 4271 fg | 4.84 d-h | 4.53 j | 4.69 ı |
| Ramada | 4276 a-d | 4382 bc | 4329 bd | 4.88 d-g | 4.70 ı | 4.79 hı |
| Roma | 4268 a-d | 4412 ab | 4340 ac | 5.00 df | 5.32 ef | 5.16 f |
| Rox Orange | 4221 gı | 4328 e | 4274 f | 5.43 b | 5.52 d | 5.47 bd |
| Smith | 4260 c-f | 4417 a | 4339 ac | 4.75 fh | 4.99 gh | 4.87 gh |
| Sugar Drip | 4197 hij | 4283 g | 4240 hı | 5.40 b | 6.35 a | 5.88 a |
| Theis | 4265 b-e | 4366 cd | 4315 ce | 4.18 ı | 5.08 g | 4.63 ı |
| Topper 76 | 4226 fh | 4374 c | 4300 e | 5.11 cd | 5.28 f | 5.19 ef |
| Tracy | 4203 gj | 4289 fg | 4246 gı | 5.32 bc | 5.34 ef | 5.33 de |
| UNL-Hyb-3 | 4298 ac | 4385 ac | 4341 ab | 4.60 h | 4.71 ı | 4.65 ı |
| Williams | 4212 gı | 4337 de | 4275 f | 4.81 e-h | 5.41 df | 5.11 f |
| No2 | 4229 eh | 4380 bc | 4304 de | 5.07 ce | 4.83 hı | 4.95 g |
| No91 | 4306 a | 4410 ab | 4358 a | 4.92 def | 4.84 hı | 4.88 gh |
| No5 | 4217 gı | 4312 eg | 4264 fh | 4.77 fh | 5.53 d | 5.15 f |
| Gülşeker | 4206 gj | 4307 eg | 4256 fi | 5.46 b | 5.74 c | 5.60 bc |
| Ortalama | 4234 B¹ | 4354 A | | 5.01 B | 5.72 A | |
| DK (%) | 0.32 | | | 1.68 | | |
| 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 önemli.

1) Benzer büyük harf ile gösterilen yıl ortalamaları istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Kül içeriği

Varyans analizi sonuçlarına göre kül içeriği bakımından genotipler, genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık saptanmıştır. İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, kül içeriğinin %4.06-6.35 arasında değiştiği ve en yüksek kül içeriğinin araştırmanın ikinci yılında Sugar Drip çeşidinde, en düşük kül içeriğinin ise araştırmanın birinci yılında Grassi çeşidinde elde edilmiştir. Çeşit ortalaması %4.23-5.88 arasında değişmekte olup en düşük kül içeriği Grassi çeşidinde ve en yüksek kül içeriği ise Sugar Drip çeşidinden elde edilmiştir. Yıl ortalamalarına göre kül içeriğinin araştırmanın birinci yılının (%5.22) ikinci yılına (%5.01) göre daha yüksek bulunmuştur. Isıl değeri yüksek olan çeşitlerin kül içerikleri de genelde düşük bulunmuştur. İncelenen özellikler arası ilişkilerde görüleceği gibi ısıl değer ile kül içeriği arasında önemli ve olumsuz ilişkiler saptanmıştır (Tablo 5). Sorgum peletlerinin kül içeriğinin %3.0-7.28 arasında değiştiği bir çok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir (Tenorio ve ark., 2015; Aragon-Garita ve ark., 2016; Lalak ve ark., 2016; Simeone ve ark., 2018; Ferreira ve ark., 2019; Zengin ve ark. (2020), orman mamulleri ile yapılan peletlerin kül içeriğinin %0.61-1.73 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. TS EN-ISO-17225-6 (2014) standardına göre A sınıfı peletlerin kül içeriği %6'nın altında olması istenmektedir. Araştırmada peletlerin kül içeriğinin %6'nın altında olduğu için A sınıfı kalitede peletler olduğu görülmektedir (Tablo 1).

Baca Gazı Emisyonları

Oksijen (O₂)

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre oksijen (O₂) içerikleri bakımından genotipler, genotip x yıl interaksyonu $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunurken, yıllar arasında istatistikî olarak önemli farklılık bulunmamıştır (Tablo 2). İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, O₂ içeriğinin %11.8-19.1 arasında değiştiği ve en yüksek

O₂ içeriği, araştırmanın ikinci yılında Dale çeşidinde, en düşük O₂ içeriğinin ise yine araştırmanın ikinci yılında Topper 76 çeşidinde elde edilmiştir. Çeşitlerin O₂ ortalaması %13.6-17.3 arasında değişmekte olup, en düşük değer Topper 76 elde edilmiş ve bunu sırasıyla M81E çeşidi izlemiştir. Genelde ısıl değeri yüksek olan çeşitlerin O₂ değerlerinin de düşük olduğu görülmektedir. Nitekim incelenen özellikler arası ilişkilerde ısıl değer ile O₂ arasında önemli ve olumsuz ilişkiler saptanmıştır (Tablo 5). Zengin ve ark. (2020), farklı varyasyonda orman mamulleri ile yapılan peletlerin; O₂ içeriklerinin %17.23-18.77 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Simeone ve ark. (2018) sorgum peletlerin oksijen değerinin %49.1 olarak saptamıştır. Wiloso ve ark. (2020) sorgum peletlerin O₂ değerinin %37.84 olduğunu bildirmişlerdir.

Karbondiyoksit (CO₂)

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre CO₂ (%) içeriği bakımından genotipler, genotip x yıl interaksyonu $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık saptanmıştır. İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, CO₂ içeriği %1.8-9.0 arasında değiştiği ve en yüksek CO₂ içeriği araştırmanın ikinci yılında Topper 76 çeşidinde, en düşük CO₂ içeriği ise yine araştırmanın ikinci yılında Dale çeşidinde elde edilmiştir. Çeşit ortalamasının %3.5-7.1 arasında değiştiği en düşük değer Dale çeşidinde, en yüksek değer ise Topper 76 çeşidinde elde edildiği ve bunu istatistikî olarak aynı gruba giren M81E çeşidi izlemiştir. Araştırmada genelde oksijen değerinin yüksek olduğu çeşitlerin de CO₂ oranlarının düşük olduğu ve böylece oksijen ile karbondiyoksit arasında önemli ve olumsuz bir ilişki olduğu görülmektedir (Tablo 5). Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için verilen CO₂ sınır değeri maksimum %20.5 olarak belirtilmiştir. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği' ne göre katı yakıtlı yakma tesislerinde, CO₂ ise maksimum %20.3 olması gerekmektedir (Anonim, 2005a). Çalışmamızda yer alan

tüm genotiplerden elde edilen peletlerin CO₂ değeri belirtilen limitin çok çok altında kalmıştır. Zengin ve ark. (2020), orman

mamulleri ile yapılan peletlerin; CO₂ içeriğinin %2.10-3.63 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Tablo 2. Tatlı sorgum peletlerinin O₂ ve CO₂ içerikleri ortalamaları ve oluşan gruplar

| Genotipler | O ₂ (%) | | | CO ₂ (%) | | |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------------|--------------|--------------|
| | 2016 | 2017 | Ort. | 2016 | 2017 | Ort. |
| Cowley | 17.3 b ⁺ | 14.4 hj | 15.9 c | 3.6 j | 6.4 def | 5.0 e |
| Dale | 15.5 de | 19.1 a | 17.3 a | 5.2 gh | 1.8 n | 3.5 g |
| Grassi, | 15.0 efg | 16.5 d | 15.8 c | 5.7 def | 4.4 jk | 5.0 e |
| M81-E | 14.3 hi | 13.1 l | 13.7 g | 6.4 bc | 7.6 b | 7.0 a |
| Mennonita | 14.7 gh | 15.7 ef | 15.2 d | 6.1 cd | 5.1 hi | 5.6 d |
| N.sugarcane | 15.6 de | 14.0 ik | 14.8 ef | 5.3 fh | 6.8 ce | 6.0 bc |
| PI579753 | 16.1 c | 13.9 jk | 15.0 de | 4.7 i | 6.9 cd | 5.8 cd |
| Ramada | 14.9 fg | 17.1 c | 16.0 c | 5.9 de | 3.8 l | 4.8 e |
| Roma | 13.7 j | 18.3 b | 16.0 c | 7.0 a | 2.6 m | 4.8 e |
| Rox Orange | 15.4 ef | 14.9 gh | 15.1 de | 5.5 eg | 5.9 fg | 5.7 cd |
| Smith | 15.9 cd | 16.3 de | 16.1 bc | 4.9 hi | 4.6 ik | 4.7 ef |
| Sugar Drip | 13.7 j | 18.0 b | 15.9 c | 7.0 a | 2.8 m | 4.9 e |
| Theis | 14.7 g | 14.5 hi | 14.6 f | 6.1 cd | 6.3 df | 6.2 b |
| Topper 76 | 15.5 de | 11.8 m | 13.6 g | 5.3 fh | 9.0 a | 7.1 a |
| Tracy | 15.4 de | 14.5 hi | 15.0 de | 5.3 fh | 6.3 ef | 5.8 cd |
| UNL-Hyb-3 | 16.2 c | 15.8 ef | 16.0 c | 4.6 i | 5.1 hi | 4.8 e |
| Williams | 16.9 b | 15.3 fg | 16.1 bc | 3.9 j | 5.5 gh | 4.7 ef |
| No:2 | 13.9 ij | 16.6 cd | 15.2 d | 6.9 ab | 4.2 kl | 5.6 d |
| No:91 | 17.0 b | 13.4 kl | 15.2 d | 3.8 j | 7.4 bc | 5.6 d |
| No5 | 17.0 b | 15.9 ef | 16.4 b | 3.8 j | 4.9 hij | 4.4 f |
| Gülşeker | 18.2 a | 16.1 de | 17.1 a | 2.7 k | 4.7 ijk | 3.7 g |
| Ortalama | 15.6 | 15.5 | | 5.2 | 5.3 | |
| DK (%) | 1.38 | | | 3.93 | | |
| F çeşit | ** | | | ** | | |
| F yıl | Ö.D | | | Ö.D | | |
| 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.

Karbondioksit (CO₂)

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre CO₂ (%) içeriği bakımından genotipler, genotip x yıl interaksyonu P≤0.01 seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık saptanmıştır. İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, CO₂ içeriği %1.8-9.0 arasında değiştiği ve en yüksek CO₂ içeriği araştırmanın ikinci yılında Topper 76 çeşidinde, en düşük CO₂ içeriği ise yine araştırmanın ikinci yılında Dale çeşidinde elde edilmiştir. Çeşit ortalamasının %3.5-7.1 arasında değiştiği en düşük değer Dale çeşidinde, en yüksek değer ise Topper 76 çeşidinde elde edildiği ve bunu istatistikî olarak aynı gruba giren M81E çeşidi izlemiştir. Araştırmada genelde oksijen değerinin yüksek olduğu çeşitlerin de CO₂ oranlarının düşük olduğu

ve böylece oksijen ile karbondioksit arasında önemli ve olumsuz bir ilişki olduğu görülmektedir (Tablo 5). Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için verilen CO₂ sınır değeri maksimum %20.5 olarak belirtilmiştir. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği' ne göre katı yakıtlı yakma tesislerinde, CO₂ ise maksimum %20.3 olması gerekmektedir (Anonim, 2005a). Çalışmamızda yer alan tüm genotiplerden elde edilen peletlerin CO₂ değeri belirtilen limitin çok çok altında kalmıştır. Zengin ve ark. (2020), orman mamulleri ile yapılan peletlerin; CO₂ içeriğinin %2.10-3.63 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Karbonmonoksit (CO)

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre CO (ppm) içeriği bakımından incelenen genotipler, yıl ve genotip x yıl interaksyonu $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılıklar saptanmıştır (Tablo 3). İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, CO içeriği 198-2049 ppm arasında değiştiği ve en yüksek CO içeriği araştırmanın ikinci yılında Roma çeşidinde, en düşük CO içeriği ise araştırmanın birinci yılında Nebraska Sugarcane çeşidinde elde edilmiştir. Çeşit ortalamasının 459-1211 ppm arasında değiştiği ve en düşük değer UNL Hbr-3 genotipinde, en yüksek değer ise Gülşeker çeşidinde elde edilmiştir (Tablo 3). Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için verilen CO sınır değeri maksimum 4000 mg/Nm^3 (3200 ppm) (Anonim, 2005a) olarak belirlemişlerdir. Araştırmada elde edilen peletlerin CO değeri belirtilen limitin çok altında yer aldıkları saptanmıştır (Tablo 3). Karbonmonoksit değeri düşük olan genotiplerin, ham kül içeriği, ısıl değeri ve CO_2 değerlerinin yüksek ve O_2 değerinin de düşük olduğu da saptanmıştır. Nitekim incelenen özellikler arası ilişkilerde de görüleceği üzere; CO değeri ile ham kül içeriği, ısıl değeri ve CO_2 içeriği arasında önemli ve olumsuz, O_2 değeri ile olumlu ve önemli ilişkiler saptanmıştır (Tablo 5). Zengin ve ark. (2020), farklı orman mamulleri ile yapılan peletlerin; CO değerinin 209.7-487.7 ppm arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Azotmonoksit (NO)

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre azotmonoksit (NO) içeriği bakımından incelenen genotipler, yıl ve genotip x yıl interaksyonu $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılıklar bulunmuştur (Tablo 3). İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, NO içeriği 49-179 ppm arasında değiştiği ve en yüksek değer araştırmanın ikinci yılında PI579753 çeşidinde, en düşük değer ise yine araştırmanın ikinci yılında Dale çeşidinde elde edilmiştir. Çeşit ortalamasının 85-152 ppm arasında

değiştiği en düşük ortalamasının Dale çeşidinde ve en yüksek ortalamasının ise Rox Orange çeşidinde elde edildiği görülmektedir (Tablo 3). Azotmonoksit değerleri yüksek olan genotiplerin ham kül, ısıl değerleri ve CO_2 değerlerinin düşük ve oksijen değerlerinin de yüksek olduğu görülmektedir. İncelenen özellikler arası ilişkilerde de görüleceği üzere NO ile ham kül, ısıl değer ve CO_2 arasında olumlu ve önemli O_2 arasında ise önemli ve olumsuz ilişkiler saptanmıştır. Zengin ve ark. (2020), orman mamulleri ile yapılan peletlerin NO içeriğinin 22.67-48.67 ppm arasında değiştiğini bildirmişlerdir. 2005 tarih ve 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”a göre, biyokütlenin katı yakıt olarak kullanıldığı tesislerin sekonder hava beslemeli yakma sistemi özelliğine sahip olması gerekmektedir. Ayrıca NO 400 mg/Nm^3 (195 ppm) baca gazı emisyon değerlerini sağlanması zorunludur (Anonim, 2005b). Çalışmada yer alan tatlı sorgum genotiplerin posası ile yapılan peletlerin yukarıda belirtilen standart değerlerin altında kaldığı görülmektedir.

Azotoksit (NOx)

Varyans analizi sonuçlarına göre azotoksit (NO_x) içeriği bakımından incelenen genotipler, genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunmuştur (Tablo 4). İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, NO_x içeriği 52-188 ppm arasında değişmekte olup, en yüksek NO_x içeriği araştırmanın ikinci yılında PI579753 çeşidinde, en düşük NO_x içeriği ise yine araştırmanın ikinci yılında Dale çeşidinde elde edilmiştir. Çeşit ortalamasının ise 89-160 ppm arasında değiştiği en düşük değer Dale çeşidinde, en yüksek değer ise Rox Orange çeşidinde saptanmıştır. Zengin ve ark. (2020), farklı varyasyonda orman mamulleri ile yapılan peletlerin NO_x değerinin 22.33-46.67 ppm arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı

için verilen NO_x sınır değerinin maksimum 400 mg/Nm³ (195 ppm)' tür. Araştırmada yer alan genotiplerin posası ile yapılan

peletlerin, NO_x değeri belirtilen limitin altında kalmaktadır.

Tablo 3. Tatlı sorgum peletlerinin CO ve NO içerikleri ortalamaları ve oluşan gruplar

| Genotipler | CO (ppm) | | | NO (ppm) | | |
|--------------------|--------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2016 | 2017 | Ort. | 2016 | 2017 | Ort. |
| Cowley | 393 ef ⁺ | 1515 c | 954 c | 86 ij | 146 eg | 116 f |
| Dale | 256 k | 1495 cd | 876 de | 120 ef | 49 m | 85 h |
| Grassi, | 337 hı | 1279 fh | 808 fg | 113 fg | 108 jk | 111 fg |
| M81E | 347 hı | 675 m | 511 ı | 128 ce | 151 df | 139 c |
| Mennonita | 529 b | 883 kl | 706 h | 123 df | 128 hı | 125 de |
| N.sugarcane | 198 l | 754 lm | 476 ı | 137 bc | 163 bd | 150 ab |
| PI579753 | 419 de | 910 k | 664 h | 106 gh | 179 a | 142 bc |
| Ramada | 768 a | 1091 ij | 929 ce | 133 cd | 119 ij | 126 d |
| Roma | 301 j | 2049 a | 1175 a | 144 b | 78 l | 111 fg |
| Rox Orange | 384 fg | 1370 df | 877 de | 134 bc | 171 ac | 152 a |
| Smith | 424 d | 1657 b | 1041 b | 120 ef | 107 jk | 113 fg |
| Sugar Drip | 300 j | 1418 ce | 859 ef | 158 a | 73 l | 116 f |
| Theis | 755 a | 1182 gı | 968 c | 104 gh | 148 df | 126 d |
| Topper 76 | 382 fg | 1166 hı | 774 g | 127 cde | 173 ab | 150 ab |
| Tracy | 426 d | 944 k | 685 h | 121 ef | 156 ce | 138 c |
| UNL-Hyb-3 | 269 k | 650 m | 459 ı | 106 g | 132 gı | 119 df |
| Williams | 335 ı | 630 m | 482 ı | 95 hı | 139 fh | 117 ef |
| No2 | 348 hı | 1780 b | 1064 b | 122 ef | 104 jk | 113 fg |
| No91 | 341 hı | 1302 eg | 822 eg | 75 k | 162 bd | 118 df |
| No5 | 363 gh | 1008 jk | 685 h | 88 ı | 120 ij | 104 g |
| Gülşeker | 481 c | 1941 a | 1211 a | 77 jk | 102 k | 89 h |
| Ort | 398 B¹ | 1224 A | | 115 B | 129 A | |
| DK (%) | 4.54 | | | 4.18 | | |
| F Çeşit | ** | | | ** | | |
| F Yıl | ** | | | * | | |
| F Çeşit x Yıl İnt. | ** | | | ** | | |

⁺) 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 önemli.

¹) Benzer büyük harf ile gösterilen yıl ortalamaları istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Kükürtdioksit (SO₂)

Araştırmada yer alan genotiplerin posası ile yapılan peletlerin SO₂ değerlerinin belirlenmesi için bazı genotiplere ait peletlerde SO₂ tayin edilemediği için istatistik analiz yapılmamış, sadece tekrar ortalamaları Tablo 4' de verilmiştir. İki yıllık birleştirilmiş analizlere göre, araştırmanın birinci yılındaki peletlerin hiç birinde SO₂ içeriğine rastlanmadı, araştırmanın ikinci yılında ise özellikle Topper 76 ve Tracy çeşitlerinde maksimum

4 ppm olduğu ve bunu Grassi, Smith ve Gülşeker çeşitlerinin takip ettiği gözlenmiştir. Zengin ve ark. (2020), farklı v orman mamulleri ile yapılan peletlerin SO₂ içeriğinin 2.00-7.67 ppm arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Lalak ve ark. (2016, sorgum peletlerin S içeriğinin %0.0, Simeone ve ark. (2018) sorgum peletlerin kükürt içeriğinin %0.06 olduğunu bildirmişlerdir. Wiloso ve ark. (2020) sorgum peletlerin S değerinin %0.09 olduğunu bildirmişlerdir.

Tablo 4. Tatlı sorgum genotiplerinin elde edilen peletlere ilişkin baca gazı değerlerinden NO_x ve SO₂ içerikleri ortalamaları ve oluşan gruplar

| Genotipler | NO _x (ppm) | | | SO ₂ (ppm) | | |
|--------------------|-----------------------|--------------|--------------|-----------------------|-------------|-------------|
| | 2016 | 2017 | Ort. | 2016 | 2017 | Ort. |
| Cowley | 90 ij ⁺ | 153 eg | 121 f | TE | TE | TE |
| Dale | 126 ef | 52 m | 89 h | TE | TE | TE |
| Grassi, | 119 fg | 114 jk | 116 fg | TE | 1.0 | 1.0 |
| M81-E | 134 ce | 159 df | 146 c | TE | TE | TE |
| Menonita | 129 df | 134 hı | 131 de | TE | TE | TE |
| N.sugarcane | 143 bc | 171 bd | 157 ab | TE | TE | TE |
| PI579753 | 111 g | 188 a | 149 bc | TE | TE | TE |
| Ramada | 139 cd | 125 ij | 132 d | TE | TE | TE |
| Roma | 152 b | 82 l | 117 fg | TE | TE | TE |
| Rox Orange | 141 bc | 179 ac | 160 a | TE | TE | TE |
| Smith | 126 ef | 112 jk | 119 fg | TE | 2.0 | 1.0 |
| Sugar Drip | 166 a | 77 l | 121 f | TE | TE | TE |
| Theis | 110 gh | 156 df | 133 d | TE | TE | TE |
| Topper 76 | 134 ce | 181 ab | 157 ab | TE | 4.0 | 2.0 |
| Tracy | 127 ef | 164 ce | 145 c | TE | 4.0 | 2.0 |
| UNL-Hyb-3 | 111 g | 139 gı | 125 df | TE | TE | TE |
| Williams | 99 hı | 145 fh | 122 ef | TE | TE | TE |
| No:2 | 128 ef | 109 jk | 119 fg | TE | TE | TE |
| No:91 | 78 k | 170 bd | 124 df | TE | TE | TE |
| No5 | 93 ı | 125 ij | 109 g | TE | TE | TE |
| Gülşeker | 80 jk | 108 k | 94 h | TE | 2.0 | 1.0 |
| Ortalama | 121 | 135 | | TE | 0.62 | 0.33 |
| DK (%) | 4.20 | | | | | |
| 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. TE) Tespit edilemedi.

İncelenen özellikler Arasındaki İlişkiler

Sorgum peletlerinde incelenen özellikler arasındaki ikili ilişkiler için saptanan korelasyon katsayıları, Tablo 5'de verilmiştir. Tablodan izlendiği gibi;

Ham kül ile CO₂ ve NO arasında olumlu ve önemli ilişkiler, ısıl değer ve CO arasında önemli ve olumsuz ilişkiler saptanırken, diğer özellikler arasında önemsiz ilişkiler saptanmıştır.

Isıl değer ile CO₂, NO ve S içeriği arasında olumlu ve önemli ilişkiler, O₂ ve CO arasında önemli ve olumsuz ilişkiler saptanırken, diğer özellikler arasında önemsiz ilişkiler saptanmıştır.

Oksijen ile CO içeriği arasında olumlu

ve önemli ilişkiler, CO₂, NO, NO_x ve S arasında önemli ve olumsuz ilişkiler saptanmıştır.

CO₂ ile NO ve S içeriği arasında olumlu ve önemli ilişkiler, CO arasında önemli ve olumsuz, NO_x arasında ise önemsiz ilişkiler saptanmıştır.

CO ile NO ve S içeriği arasında olumsuz ve önemli ilişkiler, NO_x arasında ise önemsiz ilişkiler saptanmıştır.

NO ile S içeriği arasında olumsuz ve önemli ilişkiler, NO_x arasında ise önemsiz ilişkiler saptanmıştır.

NO_x ile S içeriği arasında olumlu ve önemli ilişkiler saptanmıştır.

Tablo 5. Peletlerin incelenen özellikler arasındaki korelasyon katsayıları (n=84)

| Özellikler | Isıl değer | O | CO ₂ | CO | NO | NO _x | S |
|-----------------|------------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|
| Kül | -0,2356** | -0,0830 | 0,2557** | -0,2209** | 0,2699** | -0,1497 | 0,1026 |
| Isıl değer | | -0,7037** | 0,7552** | -0,6829** | 0,7230** | 0,1114 | 0,7206** |
| O ₂ | | | -0,7882** | 0,7069** | -0,6338** | -0,3781** | -0,7970** |
| CO ₂ | | | | -0,8548** | 0,9049** | 0,0352 | 0,8201** |
| CO | | | | | -0,7925** | -0,1451 | -0,8313** |
| NO | | | | | | -0,0574 | 0,7397** |
| NO _x | | | | | | | 0,4303** |

*) P≤0.05 hata sınırları içinde önemli; **) P≤0.01 hata sınırları içinde önemli

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payını artırmak ve yerli kaynaklara öncelik verilmek suretiyle kaynak çeşitlendirmesini sağlamak stratejik plan içerisinde öncelikli amaçlar olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile yenilenebilir enerji kaynağı olan biyoetanol üretiminde hammadde kaynağı olan tatlı sorgum bitkisinin ekim nöbetinde yer alması ile biyoetanol üretimi yanında, hem kaliteli bir katı biyoyakıt olan pelet elde edilmiş, hem de diğer artıkların bu şekilde değerlendirilmesine öncülük yapılmış olacaktır. Çukurova bölgesinde ikinci ürün şartlarında, çoğunlu yurtdışı kaynaklı ve ticari farklı tatlı sorgum çeşitleri ile yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar oldukça önem taşımaktadır. Ülkemizde ısınma amaçlı kullandığımız yerli linyitlerimizin %90' ının ısı değeri 3000 kcal/kg altında olduğu, zararlı gaz emisyonları ve yüksek kül içerikleri düşünüldüğünde, tarımsal artıklardan, özellikle de tatlı sorgum artıklarından elde edilen peletlerin (tatlı sorgum peletinin ısı değeri 4100-4360 cal/g arasında) ne kadar önemli bir yakıt olacağı açıkça ortadadır. Sorgum posası ile yapılan peletlerin ısı değeri, kül ve baca gazı emisyonları bakımından odun ve odun mamulleri ile yapılan peletlerden elde edilen parametrelere yakın olduğu ve ayrıca peletlerle ilgili yayınlanan tüm standartlar bakımından daha üstün olduğu ve alternatif biyoyakıt olarak kullanılabilirliği görülmektedir. Ayrıca bu çalışma ile yerel halkı kalkındırma, kaynakları yerinde değerlendirmede farkındalık yaratma, tatlı sorgum gibi yüksek biyokütle potansiyeline sahip bitki artıklarının tarlada

birakılmasının yerine katı biyoyakıt olarak değerlendirilmesine katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Biyokütle peleti üretiminin rasyonel hale getirilmesi ile de bazı bölgelerimizde değişik kapasitelerde çalışan biyokütle yakma tesislerinin kurulmasına imkân sağlanabilir.

AÇIKLAMA

TÜBİTAK tarafından desteklenen 1140948 nolu projenin bir bölümüdür. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK' teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Anonim, 2005a. Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğini kontrolü yönetmeliği, 13.01.2005 Tarihli Resmi Gazete Sayısı: 25699.

Anonim, 2005b. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun, kanun numarası: 5346 Kabul Tarihi: 10/ 5/ 2005 Yayımlandığı R.Gazete: Tarih: 18/5/2005, Sayı: 25819 Yayımlandığı Düstur: Tertip: 5 Cilt: 44

Anonim, 2021. 14 Mayıs 2021 tarihindeki CO₂ konsantrasyonu değerleri. <https://www.co2.earth/daily-co2> erişim tarihi 15 Mayıs 2021.

Aragon-Garita, S., Moya, R., Bond, B., Valaert, J., Filho, M. F. 2016. Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential energy crops in the Northern Region of Costa Rica. Biomass and Bioenergy 87: 84-95.

Arvelakis, S., Frandsen, F.J. 2010. Rheology of fly ashes from coal and biomass co-combustion. Fuel, 89: 3132-3140.

Balat, M., Balat, H., Öz, C. 2008. Progress in bioethanol processing. Progress in Energy and Combustion Science, 34: 551-573.

Dok, M. 2014. Karadeniz bölgesinin tarımsal atık potansiyeli ve bunlardan pelet yakıt olarak yararlanılması. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, 28-29 Mayıs 2014, sayfa. 211-222. Samsun.

Dwivedi, P., Khanna, M., Bailis, R., Ghilardi, A. 2014. Potential greenhouse gas benefits of transatlantic wood pellet trade. Environ Res Lett., 9: 1-11.

Edenhofer, O., et al. (Eds.). 2011. IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Cambridge/New York: Cambridge University Press.

FAO. 2021. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Accessed 3 May 2021.

Ferreira, I.R., dos Santos, R., Castro, R., Carneiro, A.C.O., Castro, A.F., Santos, C.P.S., Costa, S.E.L., Mairinck, K. 2019. Sorghum (*Sorghum bicolor*) Pellet Production and Characterization. Floresta e Ambiente, 26(3): e20171001.

Guiying, L., Weibin, G., Hicks, A., Chapman, K.R. 2003. A training manual for sweet sorghum. Under The FAO Project TCP/CPR/0066, 1-73. Erişim: 31.10.2013.

Johnson, F., Tella, P., Israilava, A., Takama, T., Diaz-Chavez, R., Rosillo-Calle, F. 2010. What woodfuels can do to mitigate climate change (FAO Forestry Paper). Available at: <http://www.fao.org/docrep/013/i1756e/i1756e00.pdf>. Accessed Mar 2011.

Karaer, M., Gülümser, E., Mut, H., Gültaş, T.H. 2021. Irrigation water use efficiency and economic analysis in main crop silage maize cultivation. ISPEC Journal of Agricultural Sciences, 5(3): 652-658.

Köppen, S., Reinhardt, G., Gartner, S. 2009. Assessment of energy and greenhouse gas inventories of Sweet Sorghum for first and second generation bioethanol. Environment and Natural

Resources Management series, 30, FAO, Rome, 1-86.

Küsek, G., Güngör, C., Öztürk, H.H., Akdemir, Ş. 2015. Tarımsal Artıklardan Biyopelet Üretimi. U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 2: 137-145.

Lalak, J., Martyniak, D., Kasprzycka, A., Żurek, G., Moroń, W., Chmielewska, M., Wiącek, D., Tys, J. 2016. Comparison of selected parameters of biomass and coal. Int. Agrophys., 30: 475-482.

Önal, E., Yarbay, R. Z. 2010. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 18:77-96, İstanbul.

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.

Purohit, P., Chaturvedi, V. 2018. Biomass pellets for power generation in India: a techno-economic evaluation. Environmental Science and Pollution Research, 25:29614–29632.

Simeone, M.L.F., Parrella, R. A da C., Schaffert, R.E., e Sorgo, Rodovia, E.M. 2018. Quality of high biomass sorghum pellet. Sorghum in the 21st Century. Cape Town, South Africa, 9-12 April 2018.

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 costarican tropical climates. BioResources, 10: 482-498.

TKİ. 2019. Kömür (Linyit) Sektör Raporu 2018. Türkiye Kömür işletmeleri. Ankara, <http://www.tki.gov.tr/depo/TK%C4%B0%20-%202018%20K%C3%96M%C3%96R%20SEKT%C3%96R%20RAPO%20RU.pdf>. Erişim: 20.01.2021.

TS EN ISO 18125. Katı biyoyakıtlar-Kalorifik değerin belirlenmesi (ISO 18125:2017).

Tolay, M., Baileys, R., Waterschoot, A. 2010. Tarım ve Orman Atıklarından Enerji Üretimi.

Tolay, M. 2017. Biyokütle (Orman ve Tarım Atıkları) Yakıtlı Santraller. Türkiye’de Termik Santraller. TMMOB, MMO Yayın No: 668, syf (91-99), Ankara, Nisan 2017.

TS EN ISO 17225-6. 2014. Katı biyoyakıtlar-Yakıt özellikleri ve sınıfları - Bölüm 6. Ögütülmüş odunsu olmayan peletler.

Ungureanu, N., Vladut, V., Voicu, G., Dinca, M.N., Zabava, B.S. 2018. Influence of biomass moisture content on pellet properties – Review. Engineering For Rural Development, Jelgava, 23, 25.05.2018.

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.

WBA 2014. Pellets: a fast growing energy carrier. World Bioenergy Association (WBA), Stockholm.

Wiloso, E.I., Setiawan, A.A.R., Prasetya, H., Muryanto, Wiloso, A.R., Subyakto, Sudiana, I. M., Lestari, R., Nugroho, S., Hermawan, D., Fang, K., Heijungs, R. 2020. Production of sorghum pellets for electricity generation in Indonesia: A life cycle assessment. Biofuel Research Journal, 27: 1178-1194.

Yucel, C., Erkan, M.E. 2020. Evaluation of forage yield and silage quality of sweet sorghum in the Eastern Mediterranean region. The Journal of Animal and Plant Sciences, 20(4): 923-930.

Zengin, Y., Çelik, A.E., Dok, M., Çolak, S., Kargidan, A., Çakır, A., Semercioglu, A. 2020. Orman atıklarının pelet olarak değerlendirilme imkânlarının araştırılması. Ormancılık Araştırma Dergisi, 7(2): 113-119.