

established in
2016

MAS JOURNAL of Applied Sciences

ISSN 2757-5675

DOI: <http://dx.doi.org/10.52520/masjaps.71>

Araştırma Makalesi

Çukurova Koşullarında Yetiştirilen Tatlı Sorgum Posasından Elde Edilen Peletlerin Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Mahmut DOK^{1*}, Ayşegül E. ÇELİK¹, Mine AKSOY², Celal YÜCEL³¹ Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü-Samsun/Türkiye² Osmangazi İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü-Bursa/Türkiye³ Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü- Şırnak/Türkiye

*Sorumlu yazar: mahmutdok@hotmail.com

Geliş Tarihi: 16.02.2021

Kabul Tarihi: 23.03.2021

Özet

Endüstride etanol amaçlı kullanılmak üzere özsu alınarak tatlı sorgum sapları (posası), selüloz sanayisinde ham madde kaynağı veya pelet yapılarak ısı ve yakıt olarak da değerlendirilmektedir. Araştırmanın amacı, özsu alınmış bitki sapları (posa) ile yapılan peletlerin bazı fiziksel özelliklerini saptamaktır. Araştırmada, 21 farklı tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotipi materyal olarak kullanılmıştır. Tarla Denemeleri, Çukurova (Adana) ikinci ürün koşullarında tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak, 2016 ve 2017 yıllarında yürütülmüştür. Araştırmada bitkiler, salkımdaki tanelerin süt-hamur olum dönemine denk gelen dönemde hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkilerin yaprakları ve salkımları alınıp, saplar sıkılarak özsu alındıktan sonra geriye kalan posa, kurutularak pelet yapılmıştır. Özsu alınmış tatlı sorgum sapları %10-15 nem içeriğine kadar kurutulup öğütüldükten sonra pelet (Zibro PM 3,0 E) makinesinden geçirilerek pelet haline getirilmiştir. Elde edilen peletlerde, nem (%), dayanıklılık direnci (%), yığın yoğunluğu (kg/m³), parça yoğunluğu (kg/m³), sertlik (Newton) ve nem alma direnci (%) gibi bazı fiziksel özellikler saptanmıştır. Araştırmada, peletlerde yapılan analizler sonucunda iki yıllık ortalamalara göre; genotiplere göre değişimle birlikte nem içeriğinin %3.50-8.01, dayanıklılık direncinin %88.6-99.1, yığın yoğunluğunun 527-690 kg/m³, parça yoğunluğunun 1070-1291 kg/m³, sertlik 1396-3221 N ve nem alma direncinin %9.81-13.86 arasında değiştiği belirlenmiştir. Sonuç olarak çalışmada elde edilen peletlerin, incelenen fiziksel özellikler bakımından iyi kalitede peletler sınıfında yer aldığı görülmektedir. Ayrıca, biyokütle yoğunluğundaki ham maddenin pelet haline getirilmesi, işleme verimliliğinin artmasının yanı sıra nakliye ve depolama maliyetlerinin azalmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tatlı sorgum, posa, pelet, fiziksel özellikler

Determination of Some Physical Characteristics of Pellets Obtained From Sweet Sorghum Bagasse Grown Cukurova Condition

Abstract

Sweet sorghum stems, which are extracted for ethanol purposes in the industry, are also used as heat and fuel by making raw material or pellets in the cellulose industry. The objective of this research was to determine some physical properties of pellets made from sorghum bagasse. 21 different sweet sorghum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotypes were used as material in the study. Field experiment was conducted under second crop conditions in the Çukurova region in 2016 and 2017 years. The experiments were set up in four replications according to the randomized blocks design (RBD) with 4 replications. Harvest was performed between milk and soft dough stages. After the leaves and panicle of the plant were stripped, sap-extracted plants (bagasse) were made pellets and some physical attributes were also determined. The extracted sweet sorghum stalks were dried to 10-15% moisture content and then milled and passed through a pellet (Zibro PM 3.0 E) machine and turned into pellets. Some physical properties of pellets such as moisture content (%), durability (%), bulk density (kg/m³), particle density (kg/m³), hardness (Newton) and moisture sorption rate (%) were determined in the pellets obtained. According to average of two years, moisture content (%), durability (%), bulk density (kg/m³), particle density (kg/m³), hardness (Newton) and moisture sorption rate (%) were ranged from 3.50 to 8.01%, 88.6 to 99.1, 527 to 690 kg/m³, 1070 to 1291 kg/m³, 1396 to 3221 N and 9.81 to 13.86, respectively. As a result, it is seen that the pellets obtained in the study are in the good quality pellets class in terms of the physical properties examined. In addition, by pelletizing the biomass-dense raw material, it will improve handling efficiency and reduce transportation and storage costs.

Keywords: Sweet sorghum, bagasse, pellet, physical properties

GİRİŞ

Ülkemizde kullanılan enerjinin kaynağını, birinci derecede fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı ile çevreye daha çok sera gazları yayılmakta ve bunun sonucu olarak da küresel ısınma meydana gelmekte ve iklim değişiklikleri olumsuz etkilenmektedir. Biyokütle enerji kaynaklarından üretilen, son dönemde önemli gelişme kaydeden ve doğrudan tarım sektörünü de ilgilendiren biyoyakıtlar, günümüzde üzerinde durulması gereken önemli enerji kaynaklarının başından gelmektedir. Biyokütle, çeşitli süreçlerle kolayca saklanabilmekte, sıvı yakıt ve elektriğe dönüştürülebilmekte ve ısı gibi çok yönlü bir enerji kaynağı olarak da kullanılabilir (WEC, 1994). Biyokütle yakıtları, düşük kükürt içeriğinden dolayı kükürt dioksit emisyonuna katkı yapmamaktadır.

Tatlı sorgum, Dünya'nın her yerinde yıllık yağışı 400-750 mm arasında değişen bölgelerde rahatlıkla yetiştirilmektedir. Biyoyakıt için ideal bir ürün olan tatlı sorgum, şeker kamışı, şeker pancarı ve mısıra göre daha kısa büyüme mevsimine ihtiyaç duyması (4 ay) ve bu bitkilere göre daha yüksek verim sağlaması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Geniş adaptasyon kabiliyetine sahip olan tatlı sorgum, hızlı büyüme, yüksek şeker birikimi ve yüksek biyokütle üretim potansiyeline sahiptir (Reddy ve Sanjana, 2003). Şeker/tatlı sorgum, mısıra göre daha az su ve gübreye ihtiyaç duyan, kurağa ve yüksek sıcaklığa diğer türlere göre daha toleranslı olan bir C4 bitkisidir. Tatlı sorgum, gelişmekte olan ülkelerde enerji üretimi için araştırılan bitkiler arasında özellikle biyoetanol üretimi için en ümit verici olanıdır (Balat ve ark., 2008). Tatlı sorgum, hayvan yemi olarak (Yücel ve Erkan, 2020), insan beslenmesinde, elyaf yapımında, yüksek kaliteli kağıt

yapımında kullanılan sanayi hammaddelerden biridir (Köppen ve ark., 2009; Guiying ve ark., 2003).

Son yıllarda meydana gelen iklim değişiklikleri nedeniyle çevreye daha az sera gazı yayan yenilenebilir enerji kaynakları önemli konuma gelmiş bulunmaktadır. Bu enerji kaynaklarından biri de tarımsal artıkların, hem Dünya'da hem de ülkemizde, enerji kaynağı olarak katı yakıt formunda değerlendirilmesidir. Biyoetanol üretimi için potansiyel hammaddeler olan mısır özü, sorgum biyokütlesi ve buğday samanı gibi mahsul artıkları, genellikle sınırlı hasat mevsiminde hasat edilir ve düşük yığın yoğunluklu balyalar halinde depolanır (Colley ve ark., 2006; Kaliyan ve ark., 2009). Yakıt peletleri odun atığı, tarımsal artıklar ve enerji bitkileri dâhil çeşitli biyokütle hammaddelerinden üretilmektedir (Ungureanu ve ark., 2016).

Bu tarımsal artıklardan yararlanmanın en etkin yolu, biyokütlenin pelet yapılarak kullanılmasıdır. 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 uzunluğundadır. Peletler, briketlere kıyasla daha küçük boyutlardadır.

Bitkisel artıkların katı yakıt olarak kullanımında karşılaşılan en önemli sorun, bitkisel artıkların yoğunluklarının düşük ve nem içeriklerinin yüksek olmasıdır. Düşük yoğunluk ve yüksek nem içeriği, taşıma ve depolama ve maliyeti yükseltme gibi sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, bitkisel artıkları enerji üretmek amacıyla etkin ve kolay bir şekilde kullanabilmek için uygulanacak yöntemlerden birisi de, bu artıkları

kurutup, öğütüldükten sonra, preslenerek pelet haline getirilmelidir. Biyokütle materyalin peletlenmesi ile yoğunluğu artmakta, boyut ve şekilde homojenlik sağlanmakta, hacimsel ısı değeri artar, taşıma ve depolama maliyetleri azalır, yanma özellikleri iyileşir, atmosfere salınan parçacık emisyonları azalır ve aynı boyut/şekilde daha üstün özelliklere sahip bir biyoyakıt elde edilmektedir (Mani ve ark., 2006a; Hess ve ark., 2007; Küsek ve ark., 2015). Peletleme ile biyokütle yoğunluğunu 9-12 kata kadar artırabileceği bildirilmektedir (Theeraratananoon, 2012).

Tarımsal artıklardan da tıpkı odun peleti gibi kaliteli yakacak pelet 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 yerde rahatlıkla kullanılabilir (Dok, 2014). 1.12 ton sorgum peletinin enerji içeriği 1 ton kömüre eşdeğer olduğu, ayrıca, peletlerin hesaplanan fosil enerji oranı 5.8 olduğu, bu da yakıt için pelet üretiminin enerji olarak uygulanabilir olduğunu gösterdiği bildirilmektedir (Wiloso ve ark., 2020). Biyokütleden elde edilen peletlerin en önemli fiziksel özelliklerinin; partikül yoğunluğu (gerçek yoğunluk), hacim yoğunluğu, gözeneklilik, sertlik, dayanıklılık, nem emme oranı ve denge nem içeriği olduğu bildirilmektedir (Colley ve ark., 2006; Lam ve ark., 2008).

Ülkemizde tatlı sorgum posasının pelet yapılarak ısı ve yakıt olarak potansiyellerinin ortaya konulması için peletlerin bazı fiziksel özellikleri ile ilgili yeterli çalışma ve bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmada, endüstride etanol amaçlı kullanılmak üzere özsuyu alınan tatlı sorgum

saplarının (posası), pelet yapılarak bazı fiziksel özellikleri saptanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Araştırmada yer alan genotiplerin adları ve materyalin temin edildiği kaynaklar; 1) Cowley, Dale, Grassi, M81E, Menonita, Nebraska sugarcane, PI579753, Ramada, Roma, Rox Orange, Smith, Sugar Drip, Theis, Topper 76, Tracy, UNL-Hybrid -3 (26297xM81E), Williams (Prof. Dr. İsmail Dweikat, Nebraska Üniversitesi, Lincoln, ABD); 2) No2 USDA orijin Çin, No91 USDA orijin Tayvan, no5 USDA orijin Güney Afrika (BATAEM, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Antalya); 3) Lokal çeşit Gülseker (Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Bursa).

Deneme alanının iklim ve toprak özellikleri

Adana lokasyonu 2016 yılı Haziran-Ekim aylarına ait ortalama sıcaklığın 25.1 °C olduğu ve bu ortalamanın 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. Adana lokasyonu 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 görülmektedir. Tarla denemelerin yürütüldüğü Adana lokasyonu toprakları Arıklı 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-tin (CL) yapısında olduğu saptanmıştır.

Yöntem

Tarla denemelerin kurulması ve bitki materyalinin elde edilmesi

Tarla denemeleri, 2016 ve 2017 yıllarında Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (DATAEM) Araştırma alanında (Doğankent, Yüreğir-Adana), Haziran-Ekim arası dönemde yürütülmüştür. Her iki yılda da ekimler, buğday hasadından sonraki döneme rastlayan Haziran ayının ikinci haftasında yapılmıştır.

Ekim öncesi dekara saf olarak 5 kg/da azot ve fosfor gelecek şekilde taban gübresi verilmiştir. Her genotip 70 cm aralıkla oluşturulan 5 m uzunluğundaki 4 sıra halindeki sırtlara, sıra üzeri 15 cm olacak şekilde ekilmiştir. Bitkiler 40-50 cm'ye ulaştığı dönemde, elle sıra arasına üst gübre olarak 5 kg/da saf azot verilmiştir. Yetiştirme sezonu süresince yaklaşık 15-20 gün aralıklarla 5 kez salma sulama yapılmıştır. Yabancı otlarla mücadele mekanik olarak yapılmıştır. İhtiyaç görülmesi durumunda sap kurduna karşı ilaçlama da yapılmıştır.

Hasat, her iki yılda da Eylül ayının 3. haftasında başlanmış olup, Ekim ayı sonu gibi tamamlanmıştır. Hasat, her genotip için salkımdaki tanelerin süt-hamur dönemine denk gelen dönemde yapılmıştır. Hasatta her parselde rastgele salkımlı 10'ar bitki seçilmiş ve bu bitkilerin salkım ve yaprakları alındıktan sonra özel tasarlanmış merdaneli makine ile saplar sıkılarak özsu alınmış ve geriye kalan posa, pelet yapımı için kurutulmaya bırakılmıştır.

Tatlı sorgum sapından pelet üretimi ve bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Etanol elde etmek için özsu alınmış ve geriye kalan saplar (posa) kurutularak pelet yapılmıştır. Pelet yapımı ve peletlerin bazı fiziksel özellikleri, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü-Samsun bünyesinde yer alan Enerji Tarımı Laboratuvarında, 2016 ve 2017 yıllarında yapılmıştır.

Özsuyu alınmış olan tatlı sorgum saplarından 4-5 kg (kuru madde bazında) alınmış ve %10-15 nem içeriğine kadar kurutulan sapların kuru ağırlıkları saptandıktan sonra pelet yapılarak ve bazı fiziksel analizler saptanmıştır.

Kurutulan posalar, öğütüldükten sonra pelet (Zibro PM 3.0 E) makinesinden geçirilerek pelet haline getirilmiştir. Elde edilen peletlerde, nem (%), dayanıklılık direnci (%), yığın yoğunluğu (kg/m³), parça yoğunluğu (kg/m³), sertlik (Newton) ve nem alma direnci (%) gibi özellikler, aşağıda belirtilen yöntemlere göre saptanmıştır.

Nem (%): Peletlerin nem içeriği NREL/TP-510-42621 yöntemine göre belirlenmiştir (Sluiter ve ark., 2008).

Dayanıklılık direnci (%): Dayanıklılık direnci, EN15210-1 standardına göre dayanıklılık test cihazı kullanılarak belirlenmiştir. 500 g pelet test cihazının içerisine yerleştirilmiştir ve 10 dakika süreyle 50 min⁻¹ 'da karıştırılarak sürekli olarak test cihazı içerisinde düşürülmüştür. Test sonrası peletler dışarı çıkarılmıştır ve 3.15 mm elekten geçirilerek elenmiştir. Elek üzerinde kalan peletlerin ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir. Test süresince oluşan ağırlık kaybına bağlı olarak pelet dayanıklılık direnci % olarak belirlenmiştir.

Yığın yoğunluğu (kg/m³): Peletler, belirli hacimdeki silindirik bir kabın içerisine yığın oluşturacak şekilde yüksekte doldurulmuştur. Kap, silme

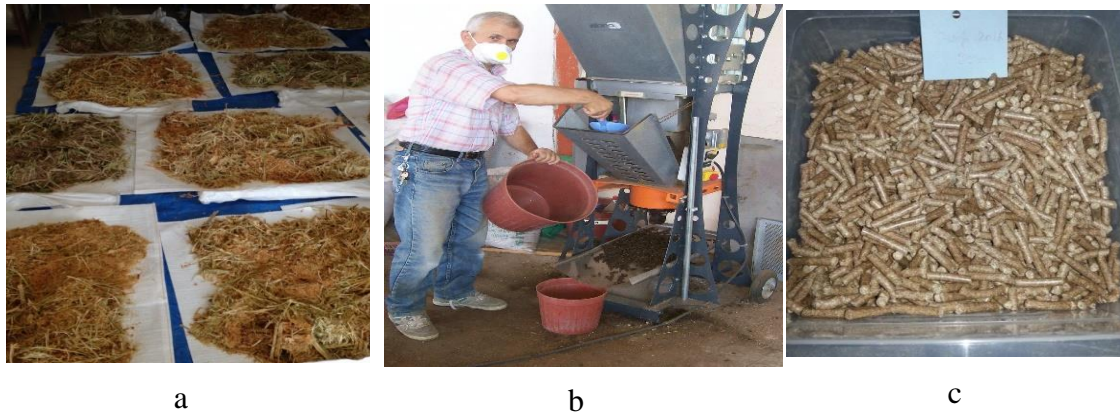
olarak doldurulduktan sonra 150 mm yükseklikten 3 kez serbest olarak düşürülmüştür. Kabin yüzeyindeki peletler, kap içerisinden çıkarılmış ve kap içindeki pelet ile birlikte tartılmıştır. Pelet ağırlığının kabin hacmine bölünmesi ile pelet yığın yoğunluğu saptanmıştır.

Parça yoğunluğu (kg/m^3): Pelet boyutlarının ölçülmesi (stereometrik yöntem) yolu ile belirlenmiştir. Peletlerin öncelikle ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra silindirik peletlerin çapı ve uzunluğu 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Pelet parça yoğunluğu, pelet ağırlığının pelet hacmine bölünmesi ile hesaplanmıştır.

Sertlik (Newton, N): Pelet sertliği, kırılmadan (parçalanmadan) önceki uygulanan maksimum yük olarak tanımlanmaktadır. Yoğunlaştırılmış ürünlerin sertliği çoğunlukla sıkıştırma direnci testi yoluyla belirlenmektedir. Bu

amaçla pelet, iki plaka arasında yerleştirilmiş ve basınç dayanımı test cihazı ile peletlere parçalanıncaya kadar artan sıkıştırma yükleri uygulanmıştır. Uygulanan sıkıştırma yükleri bilgisayara aktarılmış ve pelet parçalanmadan önceki maksimum sıkıştırma kuvveti pelet sertliği olarak kaydedilmiştir.

Nem alma direnci (%): Örneği temsil edecek şekilde rastgele seçilen 5 adet pelet, kurutma fırınında 105 ± 2 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar (yaklaşık 24 saat) bekletilmiştir. Kurutma sonrası peletler tartılıp ağırlıkları kayıt edildikten sonra, 27 °C sıcaklık ve %90 nem içeriğine sahip iklimlendirme kabininde 24 saat bekletilmiştir. Test sonunda peletler, iklimlendirme kabininden alındıktan sonra tekrar tartılmış ve peletlerin ağırlıkları saptanmıştır. Ağırlık farkına bağlı olarak peletlerin nem alma dirençleri % olarak belirlenmiştir (Liu ve ark., 2013).



Şekil 1. Tatlı sorgum posası (a), pelet yapım makinesi (b) ve pelet (c) resimleri

BULGULAR ve TARTIŞMA

Nem

Varyans analizi sonuçlarına göre nem içeriği bakımından genotipler, genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık saptanmıştır. İki

yıllık birleşik analizlere göre, peletlerin nem içeriği %%1.87-8.49 arasında değiştiği ve en yüksek nem içeriğinin araştırmanın ikinci yılında Williams genotipinde, en düşük nem içeriğinin ise yine araştırmanın ikinci yılında M81E genotipinde elde edilmiştir. Yıl

ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda, nem içeriğinin araştırmanın birinci yılında %6.71 olduğu ve ikinci yıla (%5.82) göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 1). Bu farklılık, o yıllardaki ve hasat dönemindeki bitkinin gelişme durumu ve çevresel faktörlerden etkilenmesinden kaynaklanmış olabilir. Peletlenecek biyokütle için optimum nem içeriğinin genellikle %8-12 aralığında değiştiği bildirilmektedir (Theerarattananoon, 2012). A sınıfı peletlerin nem içeriği %12' nin, B sınıfı peletlerin nem içeriğinin ise %15' in altında olması gerektiği bildirilmektedir (Anonim, 2014). Çalışmada elde edilen peletlerin nem içeriğinin %12' in altında olduğu

için, nem içeriği bakımından A sınıfı kalitede peletler sınıfında yer almıştır. Peletlerin nem içeriği, fiziksel özellikleri üzerinde bir miktar etkiye sahip olduğu, peletlerin nem içeriği arttıkça yığın yoğunluğu ve peletler genişlediği için gerçek yoğunluk değerlerinin azaldığı bildirilmektedir (Theerarattananoon ve ark., 2011). Bununla birlikte, nem içeriğinin %14'ün üzerine çıkarılması, bu peletlerin dayanıklılığını azaltmaktadır. Biyokütle hammaddesinin nem içeriği, yoğunluğu belirlemek için önemli bir faktördür. Yoğunlaştırılmış biyokütlenin dayanıklılığının ve gücünün, optimum seviyeye ulaşana kadar artan nem içeriği ile arttığı bildirilmiştir (Kaliyan ve ark., 2009).

Çizelge 1. Tatlı sorgum peletlerinin nem içeriği ve dayanıklılık direnci ortalamaları ve oluşan gruplar

Genotipler	Peletlerin Nem İçeriği (%)			Peletlerin Dayanıklılık Direnci (%)		
	2016	2017	Ort.	2016	2017	Ort.
Cowley	6.71 cd ⁺	5.41 g	6.06 h	98.4 hr ⁺	97.8 ab	98.1 ab
Dale	7.52 b	8.19 b	7.86 ab	98.8 c-f	84.3 f	91.5 h
Grassi	6.82 cd	7.36 d	7.09 ef	96.1 l	81.1 g	88.6 i
M81E	5.50 g	1.87 k	3.68 k	98.9 bcd	86.3 ef	92.6 gh
Mennonita	7.72 ab	3.44 ı	5.58 ı	98.7 dg	91.1 d	94.9 de
N.sugarcane	6.18 df	7.34 d	6.76 fg	99.0 ac	99.2 a	99.1 a
PI579753	6.46 de	2.75 j	4.60 j	98.0 k	99.5 a	98.7 a
Ramada	5.77 fg	6.48 f	6.13 h	98.8 ce	98.8 a	98.8 a
Roma	7.90 ab	8.11 bc	8.01 a	98.7 eg	99.0 a	98.8 a
Rox Orange	7.38 bc	6.73 ef	7.05 ef	97.8 k	98.9 a	98.3 a
Smith	6.68 d	6.54 f	6.61 g	98.6 gh	94.6 c	96.6 c
Sugar Drip	6.66 d	8.27 ab	7.46 cd	99.0 ab	99.2 a	99.1 a
Theis	4.27 h	2.73 j	3.50 k	98.6 gh	80.8 g	89.7 ı
Topper 76	7.82 ab	3.33 ı	5.57 ı	98.4 ij	91.1 d	94.7 de
Tracy	6.68 d	6.82 e	6.75 fg	99.0 ab	88.6 e	93.8 ef
UNL-Hyb-3	5.86 eg	3.59 ı	4.73 j	98.3 j	95.7 bc	97.0 bc
Williams	6.74 cd	8.49 a	7.61 bc	99.1 a	98.0ab	98.5 a
No2	8.40 a	5.25 g	6.82 fg	94.7 m	96.1 bc	95.4 d
No91	6.77 cd	4.96 h	5.86 hı	98.3 ij	97.7 ab	98.0 ab
No5	6.53 de	7.84 c	7.19 de	98.6 fh	98.8 a	98.7 a
Gülşeker	6.61 d	6.75 ef	6.68 g	93.3 n	92.2 d	92.8 fg
Ortalama	6.71 A¹	5.82 B		98.0 A¹	93.8 B	
DK (%)		3.15			0.67	
F Çeşit		**			**	
F Yıl		**			**	
F Çeşit x Yıl İnt.		**			**	

+) 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.

Dayanıklılık direnci

Varyans analizi sonuçlarına göre dayanıklılık direnci bakımından genotipler, genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde

istatistikî olarak önemli farklılık saptanmıştır. İki yıllık birleşik analizlere göre, dayanıklılık direncinin %80.8-99.5 arasında değiştiği ve en yüksek dayanıklılık direncinin araştırmanın

ikinci yılında PI579753 genotipinde, en düşük dayanıklılık direncinin ise yine araştırmanın ikinci yılında Theis genotipinde elde edilmiştir. Peletlerin dayanıklılık direnci 2016 ve 2017 yılı için sırasıyla %98.0 ve %93.8 olarak bulunmuştur. Araştırmanın birinci yılındaki nem içeriğinin ikinci yıla göre yüksek olması, dayanıklılık direncinin de yüksek olmasına neden olarak gösterilebilir (Çizelge 1). Nitekim Colley ve ark. (2006), nem içeriği ile dayanıklılık arasında olumlu ilişkiler olduğunu bildirmiştir. Dayanıklılık direnci, pelet kalitesinin ölçüsü olup ve birçok faktörden etkilenir. Yüksek dayanıklılık direncine sahip peletlerin, yüklenme-boşaltılması, dağıtımı, taşınması ve depolanması için çok önemli özelliktir. Peletler, dağıtıldığında ve yüksek hızla depolama odalarına boşaltıldığında, düşük dayanıklılık direncine sahip peletler, ezilir ve toz haline gelebilmektedir. Düşük dayanıklılık direncine sahip pelet besleme, toz emisyonları içerisinde dağılımlara neden olur ve pelet yükleme-boşaltma ve depolama esnasında patlama riski artmaktadır (Ungureanu ve ark., 2016). Theerarattananoon ve ark. (2011), sorgum sapı peletinin dayanıklılık direncinin %85.7-93.5 arasında değiştiğini saptamışlardır. A sınıfı peletlerin dayanıklılık direnci %97.5 ve üzeri, B sınıfı peletlerin dayanıklılık direnci ise %96.0 ve üzeri olması gerektiği bildirilmektedir (Anonim, 2014). Sorgum sapları ile yapılan peletlerin, %14 ile 16 nem içeriğinde dayanıklılık değeri, %89.5 ulaşmakta olduğu bildirilmiştir (Theerarattananoon ve ark., 2011). Colley ve ark. (2006), Dallı darı sapı ile yapılan peletlerin en yüksek dayanıklılığı (%95.91), %8.6 nem içeriğinde elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu durumun nem içeriği ile dayanıklılık arasında olumlu ilişkiler olduğunu

göstermektedir. Biyokütlenin yoğunlaştırılması, temelde biyokütleyi daha yoğun ve dayanıklı bir forma dönüştürür. Dayanıklılık, peletin fiziksel kalitesinin en önemli tanımlayıcısıdır ve peletlerin nakliye sırasında tahrip edici yüklere ve kuvvetlere dayanma kabiliyeti olarak tanımlanır (Tabil ve Sokhansanj, 1996).

Yığın yoğunluğu

Varyans analizi sonuçlarına göre yığın yoğunluğu bakımından incelenen genotipler, genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunmuştur. İki yıllık birleşik analizlere göre, yığın yoğunluğu $446-728 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiği ve en yüksek yığın yoğunluğu, araştırmanın birinci yılında Theis genotipinde, en düşük yığın yoğunluğunun ise araştırmanın ikinci yılında Grassi genotipinde elde edilmiştir. Yıl ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda, yığın yoğunluğu 2016 yılında (643 kg/m^3), 2017 yılına (626 kg/m^3) göre daha yüksek bulunmuştur.

Pelet yoğunluğu ürün özelliklerini belirlemede çok önemlidir. Taşıma, yükleme-boşaltma ve depolama yeri ihtiyacı peletlerin yığın yoğunluğuna bağlıdır. Daha yüksek yığın yoğunluğu daha iyi taşıma etkinliği ve daha az depolama yeri ihtiyacı olduğu bildirilmektedir (Liu ve ark., 2013). Tumuluru (2019), sorgum ve çam tozu karışımıyla yaptığı peletlerin yığın yoğunluğunun 550 kg/m^3 'ün üzerinde olduğu ve dayanıklılık direncinin de %95'in üzerinde olduğunu belirlemiştir. Theerarattananoon ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada 3 farklı öğütme boyutu ve kalıp kalınlığı kombinasyonu için sorgum sapı peletinin yığın yoğunluklarının, $365.2-478.6 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Daha kalın kalıp kalınlığı ve daha geniş öğütme boyutu pelet yoğunluğunda

artışa neden olmuştur. Anonim (2014)'e göre A ve B sınıfı peletlerin yığın yoğunluğu 600 kg/m^3 ve üzerinde olması gerekmektedir. Araştırmada peletlerin yığın yoğunluğu yıl birleştirmesi göz önüne alındığında 4 genotip standardın altında kalmıştır. Sıcaklık, uygulanan basınç, tutma süresi, kalıbın boyutu ve kalıp geometrisi gibi biyokütle yoğunlaştırma işlemi değişkenlerinin yoğunlaştırılmış biyokütlenin yığın yoğunluğunu ve dayanıklılığını etkilediği bulunmuştur (Larsson ve ark., 2008; Mani ve ark., 2003; Mani ve ark., 2006 b).

Parça yoğunluğu

Varyans analizi sonuçlarına göre parça yoğunluğu bakımından incelenen genotipler, genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık bulunmuştur (Çizelge 2). İki yıllık birleşik analizlere göre, parça yoğunluğu

$920\text{-}1319 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmekte ve en yüksek parça yoğunluğu, araştırmanın birinci yılında Ramada genotipinde, en düşük parça yoğunluğu ise araştırmanın ikinci yılında Grassi genotipinde elde edilmiştir. Yıl ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda, parça yoğunluğu 2016 yılının (1259 kg/m^3), 2017 yılına (1184 kg/m^3) göre daha yüksek bulunmuştur. Puig-Arnabat ve ark. (2016), sorgumdan elde edilen peletlerin parça yoğunluğunu $1049 \pm 99 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlemişlerdir. Tenorio ve ark. (2015), Costa Rica tropik ikliminde sorgumdan üretilen peletlerin parça yoğunluğunu 1.11 g/cm^3 (1110 kg/m^3) olarak saptamışlardır. Partikül boyutu ve partikül boyutu dağılımı da peletlerin fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Zhao ve ark. (2008), mısır sapının yığın yoğunluğunun, peletlerin partikül boyutu arttıkça azaldığını bildirmektedirler.

Çizelge 2. Tatlı sorgum peletlerinin yığın ve parça yoğunluğu ortalamaları ve oluşan gruplar

Genotipler	Yığın Yoğunluğu (kg/m^3)			Parça Yoğunluğu (kg/m^3)		
	2016	2017	Ort.	2016	2017	Ort.
Cowley	659 efg ⁺	666 e	662 cd	1261 df	1224 a	1243 be
Dale	623 h	473 k	548 l	1259 dg	976 gh	1117 h
Grassi	609 ı	446 l	527 m	1221 fh	920 h	1070 ı
M81E	672 cd	643 g	657 de	1272 ce	1260 ab	1266 ad
Mennonita	629 h	667 e	648 f	1256 dg	1257 ab	1257 ae
N.sugarcane	679 c	672 de	675 b	1309 ac	1246 ab	1278 ac
PI579753	608 ı	693ab	650 f	1219 gh	1235 ab	1227 de
Ramada	695 b	684 bc	690 a	1319 a	1263 ab	1291 a
Roma	652 fg	680 cd	666 c	1272 ce	1232 ab	1252 ae
Rox Orange	609 ı	690 ab	649 f	1245 eg	1278 a	1262 ad
Smith	652 g	599 h	625 h	1290 ad	1141 de	1215 ef
Sugar Drip	652 fg	672 de	662 cd	1274 be	1234 ab	1254 ae
Theis	728 a	577 ı	652 ef	1319 a	1246 ab	1282 ab
Topper 76	609 ı	655 f	632 g	1248 dg	1244 ab	1246 be
Tracy	667 de	529 j	598 ı	1314 ab	1035 fg	1175 fg
UNL-Hyb-3	665 de	636 g	651 ef	1285 ae	1230 ab	1257 ae
Williams	665 de	639 g	652 ef	1283 ae	1202 ad	1242 be
No2	523 k	608 h	565 k	1079 ı	1147 ce	1113 hı
No91	665 de	699 a	682 b	1260 dg	1215 ad	1238 ce
No5	662 ef	645 g	653 ef	1260 dg	1187 bd	1224 de
Gülşeker	582 j	570 ı	576 j	1200 h	1091 ef	1145 gh
Ortalama	643 A¹	626 B		1259 A	1184 B	
DK (%)		0.57			1.94	
F Çeşit		**			**	
F Yıl		**			**	
F Çeşit x Yıl İnt.		**			**	

+) 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.

Sertlik

Varyans analizi sonuçlarına göre sertlik bakımından incelenen genotipler, genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. İki yıllık birleşik sonuçlara göre, peletlerin sertliğinin, 203 ile 5427 N arasında değiştiği ve en yüksek sertlik derecesinin, araştırmanın birinci yılında Tracy genotipinde, en düşük sertlik derecesinin ise araştırmanın ikinci yılında Grassi genotipinde elde edilmiştir. Yıl ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda, pelet sertliğinin araştırmanın birinci yılında (3771 N),

ikinci yılına (1121 N) göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3). Theerarattananoon (2011), sorgum saplarından elde edilen peletlerde sertliğin, nem ile arttığını ve %14-16 nemde maksimuma ulaştığını saptamıştır. Pelet sertliği, yükleme-boşaltma ve taşıma ile bağlantılı önemli bir faktördür (Liu ve ark., 2013). Bu test, taşıma ve depolama süresince üstteki peletlerin alttaki peletlere uyguladıkları basınçları hesaplamak için yapılmaktadır. En yüksek sertliğe sahip peletler, en kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Celma ve ark., 2012).

Çizelge 3. Tatlı sorgum peletlerinin sertlik ve nem alma direnci ortalamaları ve oluşan gruplar

Genotipler	Sertlik (N)			Nem Alma Direnci (%)		
	2016	2017	Ort.	2016	2017	Ort.
Cowley	3700 f*	1906 jk	2803 de	10.69 hij	11.48 cd	11.08 g-j
Dale	3628 f	216 w	1922 k	12.59 be	13.44 b	13.01 abc
Grassi	3105 h	203 w	1654 l	12.70 bcd	13.49 b	13.10 ab
M81E	4327 e	1453 mno	2890 cd	10.46 ij	9.16 gh	9.81 k
Menonita	2864 ı	1460 mno	2162 ij	11.45 dı	8.20 h	9.83 k
N.sugarcane	5194 b	1008 qr	3101 b	9.92 j	11.41 cd	10.66 h-k
PI579753	3125 gh	2004 j	2564 gh	11.81 c-h	9.52 fg	10.67 h-k
Ramada	4827 c	1616 lmn	3221 a	10.96 f-j	9.64 efg	10.30 jk
Roma	3772 f	1226 p	2499 h	12.11 c-f	10.40 def	11.26 ghı
Rox Orange	3582 f	1716 kl	2649 fg	12.90 bc	10.38 def	11.64 efg
Smith	4194 e	772 st	2483 h	12.37 b-e	12.00 c	12.19 c-f
Sugar Drip	3307 g	863 rs	2085 j	11.50 d-ı	11.56 cd	11.53 fgh
Theis	4551 d	1436 no	2994 bc	11.36 e-ı	12.11 c	11.74 d-g
Topper 76	4223 e	1304 op	2764 ef	13.49 ab	10.35 d-g	11.92 d-g
Tracy	5427 a	328 o	2878 cde	10.28 ij	14.88 a	12.58 bcd
UNL-Hyb-3	3627 f	1508 mn	2568 gh	10.35 ij	9.36 fgh	9.86 k
Williams	4711 cd	645 tu	2678 fg	11.50 d-ı	13.35 b	12.43 b-e
No2	1642 lm	1150 pq	1396 m	14.36 a	13.36 b	13.86 a
No91	2835 ı	1483 mno	2159 ij	10.78 g-j	10.49 def	10.64 jk
No5	3738 f	783 st	2260 ı	11.35 e-ı	10.74 de	11.04 g-j
Gülşeker	2810 ı	467 uv	1638 l	12.02 c-g	14.11 ab	13.07 ab
Ortalama	3771 A¹	1121 B		11.66 B	11.40 A	
DK (%)		2.68			4.18	
F Çeşit		**			**	
F Yıl		**			*	
F Çeşit x Yıl İnt.		**			**	

+) 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 farksızdır.

Nem alma direnci

Varyans analizi sonuçlarına göre nem alma direnci bakımından incelenen genotipler, genotip x yıl interaksyonu ve yıllar arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistikî olarak önemli farklılık

bulunmuştur (Çizelge 3). İki yıllık birleşik analizlere göre, nem alma direnci %8.20-14.88 arasında değiştiği ve en yüksek nem alma direnci araştırmanın ikinci yılında Tracy genotipinde, en düşük nem alma direnci

ise yine araştırmanın ikinci yılında Mennonita genotipinde elde edilmiştir. Çeşit ortalaması %9.81-13.86 arasında değişmekte olup en düşük değer M81E genotipinde elde edilmiş ve bunu sırasıyla Mennonita ve UNL hyb-3 numaralı genotipler takip etmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemizde enerji ihtiyacının karşılanmasında çoğunlukla fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması ile çevreye salınan sera gazlarının yoğunluğu artmakta ve buda küresel ısınmaya ve bunun sonucunda iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Son yıllarda meydana gelen iklim değişikliklerinin etkilerini azaltmak ve çevreye daha az sera gazı yayan yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimini artırmak önemli bir strateji olmaktadır.

Tatlı sorgumun yüksek sıcaklığa ve kuraklığa diğer ürünlere göre daha toleranslı olması, marijinal alanlarda yetiştirilme potansiyeli olması, üretim girdilerinin düşük olması ve farklı amaçlarla kullanılması (enerji, gıda, yem) nedeniyle son yıllarda üzerinde durulan en önemli ürünlerin başında gelmektedir. Saplarında içerdiği su miktarı ve suyunda şeker içeriğinin ortalama % 15-20 oranında olması şeker ve biyoetanol elde edilmesi için sanayinin önemli bir hammadde kaynağını oluşturmaktadır.

Biyoetanol üretimi için öz suyu alınan saplar (posa) hayvan yemi olarak, selüloz sanayisinde ve tekrardan enerji amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra sorgum posası, yakıt ve ısı olarak da değerlendirilmektedir. Sorgum posası gibi tarımsal atıkların, yoğunluğu nedeniyle depolanması ve taşınması önemli sorun olmaktadır. Tarımsal artıkların, özellikleri iyileştirilmiş katı yakıt olarak kullanılabilmesi için etkin yöntemlerden birisinin de pelet yapılarak

değerlendirilmesidir. Biyokütle materyalin peletleme işlemi ile materyalin yoğunluğu artmakta, depolama ve nakliye giderleri azalmakta, boyut ve şekilde homojenlik sağlanmakta, ısı amaçlı kullanımlarda yakma sistemlerine otomatik olarak beslenebilmekte ve böylelikle materyalin daha etkin bir şekilde kullanımını sağlanmaktadır.

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.

Çukurova bölgesinde hem de ikinci ürün şartlarında yürütülen bu çalışmadan elde edilen sonuçlar çok önemlidir. Böylece tatlı sorgum bitkisinin ekim nöbetinde yer almasıyla, hem yenilenebilir enerji kaynağı olan biyoetanol üretimi gerçekleşmiş olacak, hem artıklarından kaliteli bir biyoyakıt olan pelet elde edilmiş olacak, hem de diğer artıkların bu şekilde değerlendirilmesine öncülük yapılmış olunacaktır.

Isınmada kullandığımız yerli linyitlerimizin ısı değerinin % 90'ının 3000 kcal/kg altında olduğu düşünüldüğünde, tarımsal artıklardan, özellikle de tatlı sorgum artıklarından elde edilen peletlerin ne kadar önemli bir yakıt olacağı açıkça ortadadır. Yerel halkı kalkındırma ve kaynakları yerinde değerlendirme farkındalık yaratma çerçevesinde; şeker sorgum gibi tarımsal artıkların tarlada bırakılmasının önüne geçilerek bunların değerlendirilmesi sağlanabilir.

Tatlı sorgum posası ile yapılan peletlerin önemli fiziksel özelliklerinin incelendiği bu çalışmada, peletlerin fiziksel özellikleri bakımından iyi

kalitede olduğu, ısı ve yakıt olarak çok rahat kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

- 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.
- Celma, A.R., Cuadros, F., Rodriguez, F.L. 2012. Characterization of Pellets from Industrial Tomato Residues, *Food and Bioproducts Processing*, 90: 700-706.
- Colley, Z., Fasina, O.O., Bransby, D., Lee, Y.Y. 2006. Moisture effect on the physical characteristics of switchgrass pellets. *Trans ASAE*. 49(6): 1845-1851.
- Dok, M. 2014. Karadeniz bölgesinin tarımsal atık potansiyeli ve bunlardan pelet yakıt olarak yararlanılması. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, 28-29 Mayıs, s: 211-222, Samsun.
- Guiying, L., Weibin, G., Hicks, A., Chapman, K.R. 2003. A training manual for sweet sorghum. *FAO-TCP/CPR/0066*, 1-73. Erişim: 31.10.2013.
- Hess, J.R., Wright, C.T., Kenney, K.L. 2007. Cellulosic biomass feedstocks and logistics for ethanol production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 1: 181–190.
- Kaliyan, N., Morey, R.V., White, M.D., Doering, A. 2009. Roll-press briquetting and pelleting of corn stover and switchgrass. *Trans. ASABE*. 52(2): 543-555.
- 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.
- Lam, P.S., Sokhansanj, S., Bi, X., Lim, C.J., Naimi, L.J., Hoque, M., Mani, S., Womac, A.R., Ye, X.P., Narayan, S. 2008. Bulk density of wet and dry wheat straw and switchgrass particles. *Appl. Eng. Agric.* 24(3): 351-358.
- Larsson S.H., Thyrel, M., Geladi, P., Lestander, T.A. 2008. High-quality biofuel pellet production from pre-compacted, low-density raw materials. *Bioresource Tech.* 99(15): 7176- 7182.
- Liu, Z., Jiang, Z., Cai, Z., Fei, B., Yu Y., Liu, X. 2013. Effects of carbonization conditions on properties of bamboo pellets. *Renewable Energy*, 51:1-6.
- Mani, S., Tabil, L., Sokhansanj, S. 2006b. Effects of compressive force, particle size, and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30: 648–654.
- Mani, S., Sokhansanj, S., Bi, X., Turhollow, A. 2006a. Economics of producing fuel pellets from biomass. *Appl. Eng. Agric.* 22(3): 421-426.
- Mani, S., Tabil, L.G. Sokhansanj, S. 2003. An overview of compaction of biomass grinds. *Powder Handling and Processing*. 15(3): 160-168.
- Puig-Arnabat, M., Shang L., Sárossy Z., Ahrenfeldt J.V., 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.
- Reddy, B.V.S., Sanjana, R.P. 2003. Sweet sorghum: characteristics and potential. *International Sorghum and Millets Newsletter*, 44:26–28.
- Sluiter, A., Hames, B., Hyman, D., Payne, C., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Wolfe, J. 2008. Determination of total solids in

- biomass and total dissolved solids in liquid process samples, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-510-42621.
- Tabil, L., Sokhansanj, S. 1996. Process conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. *Appl. Eng. Agric.* 12 (3): 345–350.
- 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.
- Theerarattananoon, K. 2012. Evaluation and characterization of pelleted biomass from selected resouces for ethanol production. Department of Biological and Agricultural Engineering College of Engineering, pHd Thesis, Kansas State University, p. 152.
- Theerarattananoona, K, F. Xua, J. Wilsonb, R. Ballardc, L. Mckinneyb, S. Staggenborgc, Vadlanib, P.Peid, Z.J., Wanga, D. 2011. Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem. *Industrial Crops and Products* 33 (2011): 325–332.
- Tumuluru, J.S. 2019. Pelleting of Pine and Switchgrass Blends: Effect of Process Variables and Blend Ratio on the Pellet Quality and Energy Consumption. *Energies*, 12, 1198.
- Ungureanu, N., Vlăduț, V., Biriș, S.Ș., 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.
- WEC, 1994. World Energy Council. <http://www.worldenergy.org/>
- 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(2020): 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) (August):923-930.
- Zhao B., Ileleji, K.E., Ejeta, G. 2008. Physical property relationships of bulk corn stover particles. *Trans. ASABE*. 51(2): 581-590.