



Briquetting of corn stalk as a renewable energy source and determination of physical properties of briquettes

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak mısır sapının briketlenmesi ve briket fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Mahmut DOK¹, Mustafa ACAR¹, Ayşegül E. ÇELİK¹, Gülhan ATAGÜN¹, Ufuk AKBAŞ¹

¹ Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü., Samsun Ordu Karayolu 17th Km. Tekkeköy-SAMSUN

MAKALE BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Makale tarihçesi / Article history:

Geliş tarihi /Received:09.10.2019

Kabul tarihi/Accepted:16.12.2019

Keywords:

Renewable energy, biomass, corn stalk, solid fuel, briquette.

Corresponding author: Mahmut DOK

✉: mahmutdok@hotmail.com

Ö Z E T / A B S T R A C T

Aims: Biomass is very important for Turkey which has a large amount of agricultural areas. Approximately 55-60 million tone wastes of biomass are produced from agricultural areas in Turkey every year.

Methods and Results: In this study, dried and milled corn stalk are turned into a briquette to be used as a solid fuel and determined its physical properties regarding quality of the briquette. The briquettes are produced in a spiral screwed briquetting machine which has 24 kW electric motor power. Milled corn stalk used in the study is dried as moisture content will be under 10 %. In the stage of briquetting, 4 different mould temperature and 3 different particle size are studied. The briquettes are produced in 55 mm thickness as hexagon briquettes of which central bore diameter is 12-15 mm. Before physical tests, to provide stabilization of the briquettes, they are waited in 20 °C environment temperature during 7 days. Intensity of the briquette, endurance resistance, fracture resistance, pressure resistance, heat of combustion, moisture, ash contents, emission values of stack gas and water resistance of the briquettes are determined as properties of the briquettes.

Conclusions: As a result of the conducted tests, in the produced briquettes it is seen that effect of the mould temperature is unimportant on the fracture resistance, also effect of the particle size is unimportant on endurance and fracture resistances. It is determined that the mould temperature and the particle size are markedly effective on examined other forms.

Significance and Impact of the Study: The assessment of agricultural residues will contribute to the elimination of the energy deficit while contributing to economic growth. Taking into account the benefits of the assessment of residues for environmental conditions, it will be understood that the issue is very comprehensive. Therefore, instead of producing agricultural products for renewable energy, the conversion of residues other than food products into energy would be an economic and environmental positive behavior.

Atif / Citation: Dok M, Acar M, Çelik AE, Atagün G, Akbaş U (2019) Briquetting of corn stalk as a renewable energy source and determination of physical properties of briquettes. *MKU. Tar. Bil. Derg.* 24 (Özel Sayı) :61-70

GİRİŞ

Fosil kaynakların tükenmesi ve dünya enerji ihtiyacının hızla artması, insanları yeni enerji kaynakları arayışı içerisine sokmuştur. Özellikle 1976 yılında yaşanan

petrol krizi, tüm Dünya'ya fosil kaynaklı yakıtların arzının dengesiz olduğunu göstermiş, bu nedenle sürekli arz edilebilen kaynak arayışına girilmesine neden olmuştur. Bu nedenle yenilenebilir enerji için çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda ise çevre sorunlarının

yaşamı tehdit eder nitelikte artması, insanlara yenilenebilir enerjinin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Yenilenebilir enerjinin ekonomik açıdan da avantajlı olması ülkeleri bu sektöre yatırım yapmaya yöneltmiştir (Çolakoğlu, 2018).

Yenilenebilir enerji, insan müdahalesi olmadan doğal çevreden sürekli veya tekrarlamalı olarak akan enerji şeklinde tanımlanmaktadır (Acaroğlu, 2013). Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük araştırma payına sahip olan biyokütledir. Biyokütle, tarımsal ve orman ürünlerinin işlenmesinden sonra ortaya çıkan her türlü atığa verilen ad olup. katı, sıvı ve gaz halde bulunabilmektedir. Biyokütle, bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkar yani güneş enerjisini fotosentez yoluyla depolayan bitkisel organizmalar olarak bilinmektedir. Biyokütle malzemeleri arasında sap, saman, sömek, kabuk, küspe gibi tarımsal artıkların yanında talaş, ahşap, yonga ve ağaç kabukları gibi orman artıklarının enerji potansiyelleri oldukça yüksektir (Demirbaş, 2001).

Tarımsal artıklar enerji amacıyla doğrudan yakılabilirler gibi, parçalanma, kurutma ve sıkıştırma gibi işlemlerden geçirilerek pelet ya da briket şeklinde de kullanılabilirler. Pelet küçük silindirik bir forma sahip olan genellikle 6-8-10 mm çapında ve 10-40 mm arasında uzunluğu olan, sıkıştırılmış; talaş, odun yongaları, ağaç kabuğu, ağaç dalları, ekinlerin sapları, fındık, ağaç diplerindeki kozalak gibi doğal ürün ve atıklardan elde edilen bir yakıt çeşididir. Briket ise lignin bakımından zengin orman ve tarımsal artıkların hiçbir kimyasal tutkal ve katkı kullanılmadan kurutulup öğütüldükten sonra yüksek basınçla sıkıştırılması sonucunda yoğunluğu artırılarak farklı biçimlerde üretilen ve enerji sağlamada kullanılan katı yakıttır. Pelet ve briketler evlerin ısınmasında, merkezi ısıtma sistemlerinde, termik santrallerde kömürle birlikte yakılarak ısı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. (Saraçoğlu, 2010).

Özellikle son dönemlerde, atıl durumda bulunan tarımsal atıkların evlerde ısınma amaçlı briket üretiminde hammadde olarak kullanılması hem laboratuvar ortamında hem de ticari olarak büyük önem kazanmıştır. Ülkemizde önemli miktarlarda tarımsal atık (herhangi bir şekilde değerlendirilmesi yapılamayan pamuk sapı, ayçiçeği sapı, vb tarımsal atıklar) yasak olmasına rağmen her yıl tarlada yakılmakta veya evlerde yakacak olarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Bu atıkların evlerde yakacak olarak değerlendirilmesini cazip hale getirmenin başlıca yolu ise bunların taşınmasını ve sobalarda yakılmasına imkân sağlayacak briketleme sistemleridir (Boztepe ve Karaca, 2009).

Yapılan bir çalışma, pirinç kabuğu, mısır nişastası ve gliserolden biyoyakıt üretiminin teknik uygulanabilirliğini

göstermiştir. Pirinç kabuğu ve mısır kalıntıları, bitkisel kaynaklı enerji kaynakları olduğundan, yenilenebilir fosil yakıtların yerine sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir hammadde sağlamaktadır (COSTA ve ark., 2019).

Briketleme, düşük kütle yoğunluğuna sahip Tarım ve ormancılık artıklarının (biyokütle) yüksek yoğunluklu ve enerji konsantre yakıt briketlerine dönüştürülmesi işlemidir. Biyokütle briketlere dönüştürüldüğünde kullanımı, taşınması ve saklanması kolaydır. Biyokütleden yapılan briketler, doğal malzemelerden yapıldığı için kömür için mükemmel bir alternatiftir. Sera gazı veya zehirli kimyasal madde yaymazlar. Briketler, sıkıştırılmış olduğu için ve daha uzun süre yanmalarından dolayı gevşek biyokütleden daha iyidir. Briketleme, biyokütle artıklarının neden olduğu atık ve kirlilik sorununu çözmektedir. Çeltik sapları, mısır sap ve koçanı, şeker kamışı atıkları, testere tozu, bürülce samanları ve yer fıstığı kabukları, briketler için uygun hammaddelerdir. Biyokütle yakıtlardaki kükürt içeriği önemsizdir ve bu nedenle yandığında asit yağmuru oluşturan kükürt dioksit emisyonuna katkıda bulunmaz. Ayrıca yandığında tarım ve artıklar, kömürün yanmasına kıyasla daha az kül içerir. Tarım ve artıklardan elde edilen kül, çiftliklerde potasyum ve fosfor için katkı maddesi olarak kullanılabilir (Sarakıya ve Kirobo, 2018).

Tarımsal artıklar ülkemizde olduğu gibi, birçok ülkede de yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilir önemli bir yakıt kaynağıdır. Anna ve ark. (2019), Endonezya'da yaptıkları çalışmada, tropik meyve artıklarının (muz, hindistan cevizi, kakao, kahve vs.) potansiyel bir biyoyakıt kaynağı olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen briketlerin yoğunluğunun 1050 kg/m³ üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Tropikal meyve atıkları biyokütlesinin, biyo-briket üretimi için uygun bir malzeme olduğunu ve Güneydoğu Asya ülkelerinde, özellikle kırsal alanlarda birçok faydası olan potansiyel ve cazip bir enerji kaynağı olduğunu bildirmişlerdir.

Hindistan'da her yıl hava kirliliğine neden olan gevşek biçimde ya tahrip edilen ya da verimsiz bir şekilde yakılan milyonlarca ton tarımsal atık üretilmektedir. Bu atıklar herhangi bir bağlayıcı eklenmeden yüksek yoğunluklu yakıt briketlerine dönüştürerek yenilenebilir bir enerji kaynağı sağlanmaktadır. Biyokütleyi briketlemenin, taşıma ve depolama problemlerinin yanı sıra biyokömür üretimi üzerinde de avantaja sahip olduğu bildirilmiştir. Hindistan'da peletleme ve vidalama (helezon) briketleme hakim durumdadır, hidrolik pres kullanılmamaktadır. Bu iki makine tipi, talaş ve tarımsal atıkları yoğunlaştırmak için farklı işlemlerde ve şekillerde kullanılmaktadır (Maninder ve ark., 2012).

Malezya'da yüksek oranda tüketilen meyvelerde, muz kalıntılarının atılması sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu

tarımsal atık malzemenin biyokütle briketinde kullanılması çözümlerden biridir. Bu nedenle, briket yoğunluğunun, yanma oranının, kül içeriğinin, alev tutuşmasının ve kalorifik değerinin belirlenmesi için partikül büyüklüğü ve nem muhtevastaki değişiklik önemli olmuştur. Tanımlanan özelliklerin tümü için en kaliteli muz kalıntısı briketinin, partikül büyüklüğü 150 µm ve % 8 nem oranı ile olduğunda elde edildiği görülmüştür. Muz artıklarından elde edilen briketin kalorifik değeri, parçacıkların boyutu arttıkça artar. Hesaplanan briket için en yüksek ısıl değerin, 500 µm partikül büyüklüğü için 19,491 kJ / kg (4663 kcal/kg) olduğunu göstermektedir (M. Nazari ve ark., 2019).

Letonya'da tarımsal biyokütle önemli bir katı yakıt kaynağıdır. Enerji bitkilerinden özellikle kenevir (*Cannabis sativa* L.), lif keten ve keten tohumu (*Linum usitatissimum* L.), ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ve saz kanarya otu (*Phalaris arundinacea* L.) test edilmiştir. Bunlarda keten ve ayçiçekleri yüksek kalorifik değere sahiptir. Kül içeriği tüm bitki artıklarında oldukça yüksektir. En yüksek ısıl değer, 105°C ayçiçeği kuru maddesinde 20.6 MJ kg⁻¹ (4928 Kcal/kg) ve liflik keten için 18.5 MJ kg⁻¹ (4426 Kcal/kg) dir (Komlajeva ve ark. 2019).

Endonezya ve Vietnam'da bazı otsu artıklar, biyoyakıt kaynağı olarak incelenmiştir. Bahsedilen tüm atık türlerinde, nem, kül ve uçucu madde içeriği (%) ile alt ve üst ısıl değerleri (MJ kg⁻¹) analizlere tabi tutulmuştur. En yüksek kül içeriği, şeker kamışı küspesi (% 0.84), manyok sapları (% 3.14) ve su sümbüllerinden (% 14.16) elde edilmiştir. En yüksek ısıl değerleri ise manyok sapları 17.5 MJ kg⁻¹ (4187 kcal/kg); muz kabukları 17.3 MJ kg⁻¹ (4139 kcal/kg) ve su sümbülünden 12.8 MJ kg⁻¹ (3062 kcal/kg) şeklinde elde edilmiştir (Brunerová ve ark., 2018).

Malavi'de 2016 yılında, muz kabuğu ve testere tozu karışımı ile yakıt briketlerinin yanma karakteristikleri üzerine bir araştırma yürütülmüştür. Muz kabukları + talaş ve atık kağıt + talaş işlemleri incelenmiş, kül içeriği, sırasıyla % 10.1 ve % 10.5 olmuştur. Yanma oranı, kül içeriği, nem içeriği, kuru madde ve işlemler arasında uçucu madde bakımından önemli bir fark bulunmamıştır. Sonuçlar, muz kabuğunu, yanmayı destekleyen iyi kaynak yakıt briketi olarak kullanma olasılığını doğrulamaktadır (Thulu ve ark., 2016).

Ülkemizde tarla bitkileri artıklarının yanı sıra, meyve budama artıkları da yenilenebilir enerji kaynağı olarak, önemli bir potansiyele sahiptir. Dok ve ark, (2018), yaptıkları bir çalışmada, şeftali budama artıklarından elde edilen pelet ve briketlerin yakıt özelliklerinin incelenmesi sonucunda, AB pelet ve briket standartları yönünden ve sınımdan kaynaklanan hava kirliliğinin

kontrolü yönetmeliği yönünden her hangi bir sakıncanın olmadığını belirlemişlerdir.

Türkiye'de tarım alanlarından her yıl yaklaşık 55-60 milyon ton biyokütle artıkları üretilmektedir. Ülkemizde mısır ekim alanı, 600,000 ha civarında, üretim ise 5,500-5,600 milyon ton civarındadır (Anonymous, 2019). Hasattan sonra kalan hasat artığı miktarı da yaklaşık elde edilen ürünün yarısı kadardır. Bazı tarım ürünlerinde hasattan sonra dekar başına elde edilen artık miktarı belirlenmiş olup mısır için 528 kg/da civarında bir artığa denk gelmektedir (Çolakoğlu, 2018). Bunların parçalanmak şartıyla tarlada bırakılması arzu edilir. Aksi takdirde sonraki ürünün ekimine engel teşkil eder. Bu artıkların bazı bölgelerde buğday anızı gibi yakıldığı görülmektedir. Halbuki bu artıklar değerli bir enerji kaynağıdır. Bu artıkların % 65'inin toplanıp katı yakıt olarak değerlendirilmesi suretiyle yıllık yaklaşık 2 milyon ton civarında katı yakıt pelet ya da briket elde etmek mümkündür.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada materyal olarak, ülkemizde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan mısır bitkisinin hasattan sonra artı kalan ve herhangi bir şekilde değerlendirilmeyen mısır sapı kullanılmıştır. Ayrıca materyal olarak helezon briket makinesi, sap öğütücüler, kurutma fırını, çekiçli değirmen ve fiziksel test araçları kullanılmıştır.

Tarımsal artıkların briketlenmesinde helezon tip briketleme makinesi kullanılmıştır. Kullanılan briket makinesi, kalıp ısıtılmalı 6 gen kalıplı briketleme makinası olup makina hareketini 24 kW gücünde trifaze bir elektrik motorundan almaktadır. Briket makinasının kalıp kısmının ısıtılması amacıyla termostat kontrollü 2.2 kW gücünde plakalı tip ısıtıcılar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan mısır sapları, hasattan sonra Enstitümüz biyokütle ünitesine getirilmiştir. Briketleme işlemi yapılacak ürünler üç farklı ebatla hazırlanmıştır. Bu ebatlar aşağıda verilmiştir.

- Kalın öğütülmüş (6 mm)
- Orta incelikte öğütülmüş (4 mm)
- İnce öğütülmüş (2 mm)

Mısır sapları, çekiçli değirmen ve öğütücüden geçirilerek yukarıda belirtilen boyutlara getirilmiştir. Daha sonra parçalanmış materyallerin nem oranı % 10'dan aşağıya düşürülünceye kadar (% 7 ile 8) biyokütle ünitesindeki mevcut kurutma fırınında kurutulmuştur.

Briketleme işlemi, helezon tip briket makinesinde, kalıp

sıcaklığı 225, 250, 275 ve 300 °C olmak üzere 4 farklı sıcaklıkta yapılmıştır. Materyal önce her biri 60 kg olacak şekilde 3 parçaya ayrılmış olup, çekiçli değirmende 2, 4 ve 6 mm lik eleklerden geçirilerek parçalanmış, daha sonra her materyal 15 er kg olacak şekilde bölünerek 4 farklı sıcaklıkta briketleme işlemine tabi tutulmuştur.

Elde edilen briketlerde ısı değer, Nem, Kül, Briket yoğunluğu, Kırılma Direnci (Shatter), Dayanıklılık Direnci (Tumbler), Briketlerin deformasyon kuvveti direnci. Su alma direnci. Eşdeğer nem içeriği ve Baca gazı emisyon değerleri (O₂, CO, CO₂, SO₂, NO_x, NO₂, SO₂) analizleri yapılmıştır

Çizelge 1. Mısır sapından elde edilen briketlerde incelenen fiziksel karakterler

Faktörler	İncelenen parametreler			
	Briketlerin Nemi (%)	Üst ısı değer (kcal/kg)	Kül (%)	Eşdeğer Nem (% de artış)
Parça boyu (A)				
2 mm	4:7.33-A	4:4318-A	6:6.63-A	2:0.54-A
4 mm	6:6.90-B	2:4312-B	4:6.40-A	6:0.49-B
6 mm	2:6.32-C	6:4288-C	2:5.94-B	4:0.43-C
Önemlilik	**	**	**	**
Sıcaklık(B)				
225 °C	225:8.80-A	275:4329-A	250:6.74-A	275:0.77-A
250 °C	300:6.90-B	300:4309-B	225:6.35-AB	300:0.49-B
275 °C	250:6.43-C	225:4308-B	300:6.21-B	250:0.45-B
300 °C	275:5.27-D	250:4278-C	275:6.00-B	225:0.24-C
Önemlilik	**	**	*	**
AxB interaksiyonu				
	4-225:9.91-A	4-275:4339-A	4-250:7.23	2-275:1.11-A
	2-225:8.40-B	4-225:4336-A	6-250:6.78	4-275:0.76-B
	6-225:8.10-C	6-275:4334-A	6-275:6.62	2-300:0.63-C
	4-300:7.70-D	2-225:4333-A	6-300:6.60	6-250:0.53-D
	4-250:7.40-E	4-300:4330-A	6-225:6.53	6-300:0.52-D
	6-250:7.29-F	2-275:4312-B	2-225:6.33	6-225:0.46-DE
	6-300:6.70-G	2-300:4304-BC	2-250:6.21	6-275:0.45-DE
	2-300:6.29-H	2-250:4299-C	4-225:6.20	4-250:0.42-EF
	2-275:6.00-I	6-300:4294-C	4-300:6.17	2-250:0.39-EF
	6-275:5.51-J	4-250:4269-D	4-275:6.01	4-300:0.33-F
	2-250:4.60-K	6-250:4267-DE	2-300:5.85	4-225:0.22-G
	4-275:4.30-L	6-225:4256-E	2-275:5.37	2-225:0.05-H
Önemlilik	**	**	ÖD	**
DK (%)	0.67	0.18	7.75	11.22

BULGULAR ve TARTIŞMA

Mısır hasat edildikten sonra, elde edilen ürünün yaklaşık yarısı tarlada artık olarak kalmaktadır. Bu artıklar toprağa karıştırılarak toprağın organik maddesinin yükselmesine yardımcı olur. Toprak için en iyisi de budur. Ancak bazı bölgelerde bu artıklar toprağa karıştırılmayarak

yakılmakta ve topraklar için büyük kayıplar olmaktadır. Rastgele yakılan bu artıklar toplanıp biyoyakıt olarak pelet ya da briket yapılırsa iyi bir enerji kaynağı olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada mısır sapı artıkları briketlenmek suretiyle değerlendirilmişlerdir. Elde edilen briketlerde incelenen kriterler ve yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2. Mısır sapından elde edilen briketlerde incelenen fiziksel karakterler

Faktörler	İncelenen parametreler			
	Dayanıklılık direnci-Tumbler (%)	Kırılma direnci-Shatter (%)	Sıkışma direnci (Newton/m ²)	Briket Yoğ. (Kg/m ³)
Parça boyu (A)				
2 mm	05:33.5	05:37.0	4:15616-A	6:995-A
4 mm	03:33.1	07:36.6	6:14330-B	4:995-A
6 mm	07:31.8	03:26.4	2:11694-C	2:927-B
Önemlilik	ÖD	ÖD	**	**
Sıcaklık(B)				
225 °C	250:96.26-A	225:98.40	225:15764-A	225:1026-A
250 °C.	225:95.26-A	250:98.32	250:15391-A	300:964-B
275 °C.	300:90.63-B	300:89.33	275:13979-B	250:960-B
300°C	275:89.07-B	275:87.28	300:10386-C	275:939-B
Önemlilik	**	ÖD	**	**
AxB interaksiyonu				
	6-250:97.07-A	4-225:99.63	4-225:18527-A	4-225:1089-A
	6-225:96.63-A	6-250:99.60	6-225:17617-AB	2-250:1068-AB
	4-250:96.37-A	4-300:99.33	4-250:16532-AB	4-275:1059-AC
	4-225:95.80-A	6-225:99.03	4-275:15897-BC	4-300:1023-BD
	2-275:95.67-A	4-250:98.50	6-250:15572-BD	6-225:1007-BD
	4-300:95.40-A	6-300:97.87	2-250:14069-CE	6-250:1003-CD
	2-250:95.33-A	2-250:96.87	6-275:13478-DF	6-275:994-D
	2-225:93.33-A	2-225:96.53	2-275:12560-EG	2-225:984-D
	6-300:88.30-B	4-275:90.43	4-300:11508-FG	6-300:976-D
	2-300:88.20-B	6-275:90.03	2-225:11148-FH	2-300:894-E
	4-275:86.27-B	2-275:81.37	6-300:10653-GH	4-250:808-F
	6-275:85.27-B	2-300:70.80	2-300:8998-H	2-275:763-F
Önemlilik	**	ÖD	*	**
DK (%)	2.99	13.72	10.35	3.77

Üst ısıl değer

Mısır sapından elde edilen briketlerin üst ısıl değeri, parça boyutu ve kalıp sıcaklığından önemli derecede etkilenmişlerdir. Denemede elde edilen ısıl değerlere ait veriler çizelge 1'de görülmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi, parça boyutunun küçülmesiyle ısıl değer yükselmiş, kalıp sıcaklığının yüksek olması yine ısıl değer yükselmiştir. En yüksek ısıl değer 275 derecelik kalıp sıcaklığından 4329 kcal/kg ile en düşük ısıl değer de 250 derece kalıp sıcaklığından 4278 kcal/kg ile elde edilmiştir. Elde edilen ısıl değer TSEN-ISO-17225-7 (çizelge:4) standardının A sınıfı ürünlerinin üzerinde olduğu ve ısıl değer yönünden iyi bir yakıt olabileceğini göstermektedir. Kalıp sıcaklığı x parça boyutu interaksiyonu da önemli bulunmuş ve en yüksek ısıl değer, 4 mm parça ve 275 derece kalıp sıcaklığından ölçülmüştür.

Briket nemi

Denemede elde edilen briket nemine ait veriler çizelge 1'de görülmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi genel olarak briketlerin nemi % 10 un altında bulunmuştur. Parça boyutu büyüdükçe nem oranı düşük olurken orta kalıp sıcaklığından da düşük nemde ürünler elde edilmiştir. İnteraksiyon değerleri incelendiğinde de en düşük nem değerlerinin üç parça boyunda da 275 derece civarında elde edildiği görülmektedir. Elde edilen briketlerin neminin düşük olması, briketlerin muhafazası ve kaliteli yakıt için önemlidir. Briket nem değerleri, TSEN-ISO-17225-7 standardının A sınıfı ürünlerinin altında olduğu ve briket nemi yönünden kabul edilebilir iyi bir yakıt olabileceğini göstermektedir.

Çizelge 3. Mısır sapından elde edilen briketlerde incelenen su alma indeksi ve baca gazı emisyon değerleri (*)

Faktörler	İncelenen parametreler					
	(%) Su alma- 60 sn.de	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO (%)	NOx (ppm)
Parça boyu (A)						
2 mm	2:28.28-A	6:18.88-A	2:2.64-A	2:1800-A	4:66.25-A	4:69.67-A
4 mm	6:17.74-B	4:18.38-B	4:2.51-B	4:1445-B	2:60.25-B	2:63.25-B
6 mm	4:14.01-C	2:18.24-C	6:2.00-C	6:1419-C	6:53.33-C	6:56.08-C
Önemlilik	**	**	**	**	**	**
Sıcaklık(B)						
225 °C	300:33.93-A	250:19.40-A	300:3.34-A	225:1986-A	300:81.56-A	300:85.67-A
250 °C	225:19.79-B	225:18.77-B	275:2.57-B	275:1507-B	275:66.67-B	275:70.00-B
275 °C	275:14.66-C	275:18.30-C	225:2.11-C	300:1396-C	225:55.22-C	225:58.11-C
300 °C	250:11.67-C	300:17.52-D	250:1.51-D	250:1329-D	250:36.33-D	250:38.22-D
Önemlilik	**	**	**	**	**	**
AxB interaksiyonu						
	2-300:58.47-A	2-250:19.50-A	2-300:4.03-A	2-225:2918-A	4-300:108.33-A	4-300:114.00-A
	2-225:29.53-B	6-250:19.40-AB	4-300:3.90-B	6-275:1976-B	2-300:84.33-B	2-300:88.33-B
	6-300:23.90-BC	6-225:19.30-B	6-275:2.80-C	2-300:1831-C	6-275:79.00-C	6-275:83.00-C
	6-275:19.77-CD	4-250:19.30-B	2-225:2.73-C	4-225:1706-D	4-275:62.33-D	2-225:65.33-D
	4-300:19.43-CD	4-225:18.87-C	4-275:2.50-D	4-275:1527-E	2-225:62.00-D	4-275:65.33-D
	6-225:15.73-DE	6-300:18.80-C	2-275:2.40-D	2-250:1431-F	2-275:58.67-E	2-275:61.67-E
	2-275:15.67-DE	2-275:18.50-D	6-300:2.10-E	6-225:1335-G	4-225:54.33-F	4-225:57.33-F
	4-225:14.10-DF	4-275:18.40-D	4-225:2.00-E	6-250:1321-G	6-300:52.00-F	6-300:54.67-G
	4-250:13.97-DF	2-225:18.13-E	4-250:1.63-F	4-300:1312-G	6-225:49.33-G	6-225:51.67-H
	6-250:11.57-EF	6-275:18.00-F	6-225:1.60-FG	4-250:1234-H	4-250:40.00-H	4-250:42.00-I
	2-250:9.47-F	4-300:16.93-G	6-250:1.50-GH	6-300:1045-I	2-250:36.00-I	2-250:37.67-J
	4-275:8.53-F	2-300:16.83-G	2-250:1.40-H	2-275:1018-I	6-250:33.00-J	6-250:35.00-K
Önemlilik	**	**	**	**	**	**
DK (%)	17.5	0.38	3.19	1.67	2.53	2.41

(*) SO₂ değeri 0 olarak ölçülmüştür.**Kül içeriği**

Mısır sapından elde edilen briketlerin kül oranları çizelge 1' de görülmektedir. Kül içeriği % 7 nin altında gerçekleşmiştir. Ürünlerin kül içeriği, parçacık boyutuna ve kalıp sıcaklığına göre değişmekle birlikte, genel olarak % 6 civarında bulunmuştur. Parça boyu büyüdükçe kül oranı da yükselmiştir. Genel olarak tarla bitkilerinin kül oranları, ağaç türünden yapılan ürünlerin kül oranından yüksektir. Ancak elde edilen briketlerin kül oranı, TSEN-ISO-17225-7 standardının B sınıfı ürünlerine uygun olduğu görülmektedir(çizelge:4).

Eşdeğer nem içeriği

Briketin üretildiği andaki ve 21 gün sonraki ağırlığındaki artışın göstergesidir. Depolama sırasında açıkta kalan briketler, havanın neminden de etkilenebilir ve bünyelerine nem çekerler. Havadan alınan nemin düşük olması, briketin uzun süreli muhafazası için önemli bir kriterdir. Denemede elde edilen briketlerin eş değer nem içeriklerine ait veriler çizelge 1'de görülmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi Eşdeğer nem içeriğinin düşük olması, mısır sapından elde edilen briketlerin iyi

bir yakıt olabileceğini göstermektedir. Bunun için parçacık boyutunun küçük ve kalıp sıcaklığının da düşük sıcaklıkta (225-250°C civarında) olması gerektiği görülmektedir.

Briket dayanıklılık direnci (Tumbler)

Briketlerin nakliye sırasında dayanıklılığının ölçülerinden birisidir. Özel cihazlarla yapılan bu testten % 95 üzeri elde edilen sonuçlar, kaliteli ürünün göstergesidir. Denemede elde edilen briketlerin dayanıklılık direncine ait veriler çizelge 2'de görülmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi genel olarak mısır sapından elde edilen briketlerin dayanıklılık dirençleri, yüksek olmakla birlikte, standartlarda istenen değerlerden düşük bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, parça boyutunun dayanıklılık direncine etkisi önemsiz, kalıp sıcaklığının etkisi de önemli bulunmuştur. Mısır sapından elde edilen briketlerin dayanıklılık direncinin yüksek olması için 225-250 derece civarında kalıp sıcaklığının yeterli olduğu görülmektedir. Parça boyu - kalıp sıcaklığı interaksiyonu incelendiğinde de büyük parçaların düşük

kalıp sıcaklığında üretildiğinde, standartlara uygun (% 95 ve üzeri) briketler elde edildiği görülmektedir (çizelge 2).

Briket kırılma direnci (Shatter)

Briketlerin nakliye ve depolanması sırasında dökülmelerden kaynaklanan sağlamlık ölçülerinden birisidir. Bunda da % 95 ve üzeri değerlerin elde edilmesi arzu edilir. Elde edilen veriler incelendiğinde, mısır sapından elde edilen briketlere parça boyutunun, kalıp sıcaklığının ve interaksyonun önemsiz olduğu bulunmuştur. Ancak parça boyunun 2 mm olduğu konulardan elde edilen briketlerin kırılma direnç, % 95 in altında bulunmuştur. Yine kalıp sıcaklığının 275 ve 300 derece olduğu konulardan elde edilen briketlerin de kırılma direnci % 95 in altında bulunmuştur. Her ne kadar istatistiki açıdan önemsiz olsa da, standartlara uygun bir ürün elde edilebilmesi için parça boyunun büyük (4-6 mm) ve kalıp sıcaklığının da düşük (225-250 derece arasında) olması gerekmektedir. Denemeden elde edilen kırılma direncine ait veriler çizelge 2' de verilmiştir.

Deformasyon (Sıkışma) direnci

Briketlerde incelenen bu özellik briketlerin fiziksel darbelere karşı dayanıklılık ve sağlamlığının ölçüsüdür. Özellikle depolama sırasında ürünlerin üstüste konulması ile ortaya çıkan kayıpların az olması arzu edilir. Denemede elde edilen briket sıkışma direncine ait veriler çizelge 2' de görülmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi genel olarak mısır sapından elde edilen briketlerin sıkışma dirençleri, 18,500 ile 9000 N/m² arasında gayet yüksek değerlerde bulunmuştur. Bu değerler, mısır sapından sıkışma direnci yüksek briketler elde edildiğini göstermektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi, orta parça

boyutlu ve düşük kalıp sıcaklığı ile sıkışma direnci yüksek ürünler elde edilmiştir.

Briket yoğunluğu

Briket yoğunluğu, briketin kalitesini belirleyen bir fiziksel karakterdir ve yüksek olması arzu edilir. Mısır sapının hammadde yoğunluğu 173 Kg/m³ olduğu düşünüldüğünde, briketlemeyle biyokütlenin hacminin ne kadar azaltıldığı görülebilir. Denemede elde edilen briket yoğunluğuna ait veriler çizelge 2' de görülmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi genel olarak orta parça boyutlu briketlerinin daha yüksek yoğunlukta olduğu görülmektedir. Kalıp sıcaklığı yönünden ise, düşük ve orta kalıp sıcaklığından daha yüksek değerli briketler elde edildiği, interaksyon değerlerinde ise orta parça boyutunda ve düşük sıcaklıkların uygun olduğu görülmüştür. Elde edilen briketlerin yoğunluğu, TSEN-ISO-17225-7 standardının A sınıfı ürünlerinin üzerinde olduğu ve briket yoğunluğu yönünden iyi bir yakıt olabileceğini göstermektedir. Karaca ve Başçetinçelik, yarfıstığını helezon tip briket makinesinde briketleyerek fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Briketlemeden önce hammadde nemi: 9.21, briket nemi: 6.43, olarak ölçülmüştür. Hammadde yoğunluğu: 181.45, briket yoğunluğu da 1573.58 kg/m³, sıkışma direnci, 4555 N/m², üst ısıl değeri, 19.57 Mj/kg (4682 kcal/kg). olarak belirlenmiştir. Yarfıstığı kabuğu briketi ve odunun baca gazı emisyonları kıyaslandığında CO, CO₂ ve SO₂ emisyonlarının odunun yanması sonucu oluşan emisyonlardan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Fakat NO_x emisyonu odununkinden yüksek çıkmıştır (Karaca ve Başçetinçelik, 2011). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bizim bulduğumuz sonuçlara benzerlik göstermektedir.

Çizelge: 4 Öğütülmüş odunsu olmayan-bitkilerden elde edilen briketlerin fiziksel özellikleri- TS EN-ISO-17225-7 standardı-(Ocak-2015).

SINIFI	KAYNAK		BİTKİSEL BİYOKÜTLE	
	A	B	A	B
Nem (%)	12≤12	15≤15		
Kül (%)	6≤6	10≤10		
Mekanik dayanıklılık (%) Tumbler	95≥95	95≥95		
Parçacık dağılımı (%)	2≤2	5≤5		
Bileşenler-Katkılar (%)	≤5	≤5		
Briket yoğunluğu (Kg/m ³)	900≤900	600≤600		
Isıl değer (MJ/kg)	14.5 ≥ 14.5	14.5≥ 14.5		
Isıl değer (Kcal/kg)	3463≥3463	3463≥3463		

Briketin su alma direnci (%)

Hangi malzemeden yapılırsa yapılsın, briketlerin muhafazası çok önemlidir. Depolanması sırasında ve diğer aşamalarında briketler, suyla kesinlikle temas

etmemelidirler. Şayet bu şartlar sağlanamayıp briketler suyla temas ederlerse, suya karşı dirençlerinin göstergesi olarak briket üretildikten yaklaşık bir hafta-10 gün sonra su alma testine tabi tutulurlar. Buradaki kıstas, 60 saniye

boyunca suda bekletmek şeklinde olmaktadır. Kalite kriteri olarak 60 saniye sonunda, briketin su alma direncinin % 50'nin altında olması beklenir. Denemede elde edilen briketlerin su alma dirençlerine ait veriler çizelge 3'de görülmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi genel olarak, orta-büyük boy (4-6 mm) parçalı materyalden ve orta kalıp sıcaklığında (250 derece) elde edilen ürünlerin suya karşı daha dayanıklı oldukları görülmüştür. İnteraksiyon tablosu incelendiğinde de 6-4 mm boyutlu ve 250-275 kalıp sıcaklığındaki ürünlerden su alma direnci yüksek ürünler elde edildiği görülmektedir.

Baca gazı emisyon değerleri

Mısır sapından elde edilen briketler, baca gazı emizyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla briket sobasında yakılarak çevreye salmış oldukları gaz miktarları (O_2 , CO , CO_2 , SO_2 , NO_x , NO_2) tespit edilmiştir. Belirlenen baca gazı miktarlarının, Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğindeki kabul edilebilir sınırların altında oldukları görülmektedir, hatta SO_2 miktarının birçok konularda hiç olmadığı görülmüştür(çizelge:3). Karaca ve Başçetinçelik (2014), defne yaprağı briketi ve odunun baca gazı emisyonları kıyaslandığında CO , CO_2 , SO_2 ve NO_x emisyonlarının odunun yanması sonucu oluşan emisyonlardan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü (IKHKKY) biyokütle ve odun yakıtı için verilen emisyon sınırları ile kıyaslandığında çalışmada kullanılan atıkların bu sınırların çok altında kaldığı belirtmişlerdir. Yapılan bir çalışmada, yüksek rutubet içeriğinde, düşük kalorifik değere sahip olan kümes atıklarının, yakılabilir kuruluğa getirildiğinde kalorifik değerinin yükseldiği, enerji değeri yüksek biyoyakıt kaynakları ile bir araya getirildiğinde, yanma özellikleri ve emisyon değerlerinde iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. Yakıt özellikleri iyileştirildiğinde, kümes atıkları üretildikleri kümeste yakıt olarak kullanılmak üzere katma değer eklenmiş yenilenebilir enerji kaynağı haline getirilebilir. Diğer yandan, kümes atıklarının yakılmasıyla ortaya çıkan yanma gazı emisyonları yönetmelik sınır değerlerini sağlamaktadır. Kül emisyonlarında ise toprak metalleri ve fosfor oranı yüksektir ve çevresel açıdan risk taşımamaktadır. Külün içerdiği yüksek oranlı fosfor geri kazanıldığında gübre ham maddesi olarak da değerlendirilebilir. Çalışmada kullanılan mısır sapının üst ısı değerinin 4287 kcal/kg, nem miktarı 11.62, kül: %7.16, baca gazları, O_2 :18.37, CO_2 :2.53, CO : 1172, NO :126, NO_x : 137 ve SO_2 de 5.10 olarak tespit edilmiştir(Er ve Özdemir, 2018). Bu çalışmada elde edilen verilerle bizim almış olduğumuz verilerin paralellik gösterdikleri görülmektedir.

Tarımsal atıkların değerlendirilmesi enerji açığının giderilmesine fayda sağlarken, ekonomik büyümeye de katkı sağlayacaktır. Atıkların değerlendirilmesinin çevre koşullarına sağladığı yarar da göz önüne alınırsa, konunun çok kapsamlı olarak değer taşıdığı anlaşılabilecektir. Bu nedenle yenilenebilir enerji için tarım ürünü üretmek yerine, gıda için üretilen ürünlerden arta kalan atıkların enerjiye dönüştürülmesi ekonomik ve çevresel açıdan olumlu bir davranış olacaktır. Tarımsal atıkların geleneksel kullanım yöntemlerinin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılması, Türkiye ekonomisi açısından son derece önemlidir (Çolakoğlu, 2018).

Bu çalışma sonucunda tarımsal artıklardan birisi olan mısır sapının biyoyakıt olarak briketlenebileceği ve yakıt özelliklerine uygun özelliklerde bir ürün olabileceği belirlenmiştir. Yapılan fiziki testler ve analizler sonucunda mısır sapından elde edilen briketlerin TS EN-ISO-17225-7 standardında belirtilen B sınıfı ürünlerinden daha kaliteli, A sınıfına eşdeğer ürünler olduğu görülmüştür. Uygun kalıp sıcaklığı ve parça boyutu kullanıldığı taktirde bu çalışmada olduğu gibi, diğer tarım ürünleri artıklarından da kaliteli ve standartlara uygun ürünler elde etmek mümkün olabilecektir. Dolayısıyla tarımsal artıklardan elde edilen ürünler, odunun kullanıldığı her yerde ikame ürün olarak yerini alabileceklerdir. Böylece hem çevre kirliliğinin önüne geçilmiş, hem atıl durumdaki tarımsal artıklarımız kaliteli bir ürüne dönüşerek ekonomik olarak değerlendirilmiş, hem de yeni ve yenilenebilir bir yakıt türüne kavuşmuş olunacaktır. Bu çalışmada kullanılan mısır sapı artığı küçümsenecek bir miktar değildir. Çalışmada belirtilen miktarın yarısı bile değerlendirilebilse, ithal ettiğimiz linyit kömürünün en az onda biri oranında azalma sözü konusu olacaktır. Ayrıca bu ürünler katı yakıt olarak kömürün kullanıldığı her türlü ortamda kullanılabilirler. Dolayısıyla kömür ithalatının azalmasına katkıda bulunmuş olur. Ülkemizde her yıl ısınma amaçlı yaklaşık 7.000.000 ton linyit kömür ithal edilmektedir(Dok ve ark, 2018). Ülkemizin değişik bölgelerinde "artık" olarak bilinen her türlü tarımsal artık ve meyve budama artıklarının pelet ve briket halinde değerlendirilmesi durumunda, kömür ithalatının belirli bir kısmını karşılamak mümkün olacaktır. Böylece yeterli tesis ve işletmeler kurulduğu takdirde, ülkemizin tarımsal artıkları değerlendirilmiş olacak, yeni bir istihdam kapısı açılarak ülke ekonomisine katkı sağlanmış, yerli ve milli olan kaynaklarımız değerlendirilmiş olacaktır. Köylerden büyük kentlere olan göç olayı da planlı bir organizasyon yapıldığı takdirde son bulacak ve köylü köyünde şehir konforunu yaşayacaktır.

ÖZET

Amaç: Geniş tarım alanlarına sahip Türkiye için biyokütle enerjisi çok önemlidir. Türkiye’de tarım alanlarından her yıl yaklaşık 55-60 milyon ton biyokütle artıkları üretilmektedir.

Yöntemler ve Sonuçlar: Bu çalışmada kurutulmuş ve öğütülmüş mısır sapı, katı yakıt olarak kullanılmak üzere briket haline getirilmiş ve briket kalitesine ilişkin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Briketler, 24 kW elektrik motor gücüne sahip helezon vidalı briketleme makinesinde üretilmiştir. Çalışmada kullanılan öğütülmüş mısır sapı, nem içeriği % 10 un altında olacak şekilde kurutulmuştur. Briketleme aşamasında 4 farklı kalıp sıcaklığı ve 3 farklı parçacık boyutu çalışılmıştır. Briketler, 55 mm kalınlığında, merkezi delik çapı 12-15 mm olan altıgen briketler olarak üretilmiştir. Fiziksel testlerden önce, briketlerin stabilize olmalarını sağlamak için 7 gün boyunca, 20 ° C sıcaklık ortamında bekletilmiştir. Briketlerin, briket yoğunluğu, dayanıklılık direnci, kırılma direnci, sıkışma direnci, ısıl değer, nem, kül içerikleri, baca gazı emisyon değerleri ve briketlerin su dayanımı özellikleri belirlenmiştir.

Genel Yorum: Yapılan testler sonucunda, üretilen briketlerde, kalıp sıcaklığının etkisi kırılma direnci üzerinde önemsiz, parçacık boyutunun etkisi de dayanıklılık ve kırılma dirençlerinde önemsiz olduğu görülmüştür. Kalıp sıcaklığı ve parçacık boyutunun incelenen diğer karakterler üzerinde önemli derecede etkili oldukları belirlenmiştir.

Çalışmanın Önemi ve Etkisi: Tarımsal kalıntıların değerlendirilmesi, ekonomik büyümeye katkıda bulunurken enerji açığının ortadan kaldırılmasına katkıda bulunacaktır. Çevresel koşullar için kalıntıların değerlendirilmesinin faydalarını dikkate alarak, konunun çok kapsamlı olduğu anlaşılacaktır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji için tarım ürünleri üretmek yerine, gıda ürünleri dışındaki kalıntıların enerjiye dönüştürülmesi ekonomik ve çevresel olumlu bir davranış olacaktır.enerjiye dönüştürülmesi ekonomik ve çevresel açıdan olumlu bir davranış olacaktır.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji biyokütle mısır sapı katı yakıt briket.

ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Yazar(lar) çalışma konusunda çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu M (2013) “Alternatif Enerji Kaynakları”, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Anna B, Roubík H, Brožek M, Herák D, Šleger V, Mazancová J (2019) Potential of Tropical Fruit Waste Biomass for Production of Bio-Briquette Fuel: Using Indonesia as an Example. <https://www.researchgate.net/publication> Erişim: 19.07.2019
- Anonymous 2019. http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=30187&tipi=17&sube=0 Erişim:17,07,2019
- Boztepe E, Karaca A (2009) Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Tarımsal Atıklar. Enerji Kongresi. 21-23 Ekim.2009. İzmir.
- Brunerová A, Roubík H, Brožek M, Velebil J (2018) Agricultural residues in Indonesia and Vietnam and their potential for direct combustion: with a focus on fruit processing and plantation crops. Agronomy Research, <https://doi.org/10.15159/AR.18.113>.
- Çolakoğlu B (2018) Tarımsal Atıkların Alternatif Kullanım Alanları Konusunda Üretici Eğilimleri. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ-2018.
- Costa SC, Barcelos R, Magnago RF (2019) Solid Biofuel From Glycerol And Agricultural Waste As A Source Of Energy. [http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8\(2017\)/p.765-774.pdf](http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8(2017)/p.765-774.pdf). Erişim:15,07,2019.
- Demirbaş A (2001) Biomass resource facilities and biomass conversion processing or fuels and chemicals, Energy Conversion and Management, Turkey, 1357-1378.
- Dok M, Acar M, Çelik AE, Atagün G, Akbaş U (2018) Şeftali Budama Artıklarından Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Yararlanma İmkânlarının Araştırılması. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 14 (3): 193-198.
- Er A, Özdemir S (2018) Tavuk gübresi ve tarımsal atıkların biyoyakıt karakterlerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2): 489-494.
- Karaca C, Başçetinçelik A (2011) Yerfıstığı Kabuğunun Briketleme Özelliklerinin Ve Yanma Emisyonlarının Belirlenmesi. VI. Yeni Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ekim 2011, KAYSERİ, Yayın No: E/2011/565.
- Karaca C, Başçetinçelik A (2014) Defne Yaprağının Briketleme Ve Yanma Özellikleri. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, 28-29 Mayıs 2014, Samsun.

- Komlajeva Ļ, Adamovičs A, Poiša L (2019) Comparison Of Different Energy Crops For Solid Fuel Production In Latvia. Latvia University of Agriculture. Lubasha_k@inbox.lv; Aleksandrs.Adamovics@llu.lv; lienapoisa@inbox.Eriřim:18.07.2019.
- Nazari MM, Wan Othman WNA, Yusuff KM (2019) Banana Residue as Biomass Briquette: An Alternative of Fuel Energy. The 7th International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry in Regional and Global Context, ICSAFEI2015 erişim:18.07.2019.
- Maninder R, Kathuria S, Grover S (2012) Using Agricultural Residues as a Biomass Briquetting: An Alternative Source of Energy. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSRJEEE), ISSN: 2278-1676 Volume 1, Issue 5 (July-Aug. 2012), PP 11-15.
- Saraçoğlu N (2010) Küresel İklim Deđiřimi, Biyoenerji ve Enerji Ormancılığı. Ankara: Efil Yayınevi.
- Sarakikya H, Kirobo A (2018) Opportunities for Different Agricultural and Forest Wastes as Sources of Energy in Tanzania: An overview. International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET), ISSN 2278 – 0882. Volume 7, Issue 2, February 2018.
- Thulu FGD, Kachaje O, Mlowa T (2016) A Study of Combustion Characteristics of Fuel Briquettes from a Blend of Banana Peelings and Saw Dust in Malawi. International Journal of Thesis Projects and Dissertations, 4 (3): 135-158.