

Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak *Prunus domestica* L. (Erik) ve *Cornus mas* L. (Kızılcık) Çekirdeğinin Karışımından Pelet Elde Edilmesi ve Biyoyakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi¹

Obtaining Pellets from the Mixture of *Prunus domestica* L. (Plum) and *Cornus mas* L. (Cranberry) Kernels as a Renewable Energy Source and Evaluating Its Usability as Biofuel

Birol Petek¹ 

¹T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Erzurum, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): B. Petek, e-mail (e-posta): birolpetek2016@hotmail.com

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 09.03.2025
Düzeltilme tarihi : 25.06.2025
Kabul tarihi : 27.06.2025

Anahtar Kelimeler:

Pelet
Biyoyakıt
Isıl Değer

Atıf için:

Petek, B. (2025). "Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak *Prunus domestica* L. (Erik) ve *Cornus mas* L. (Kızılcık) Çekirdeğinin Karışımından Pelet Elde Edilmesi ve Biyoyakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 21(2): 85-103.

ÖZET

Bu çalışmada ülkemizin büyük bir bölümünde yetiştirilen erik ile kızılcık meyvesinin işlendikten sonra genelde doğaya atılan çekirdeklerinin biyokütle (pelet) olarak değerlendirilmesi konusunda bir çalışma yürütülmüştür. Yenilenebilir enerji üretim teknikleri alanında günümüzde büyük ilerlemeler olmasına rağmen bu enerjinin üretim teknikleri geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır. İşlendikten sonra genelde doğaya atılan erik ve kızılcık meyvelerinin çekirdeklerinin karışımları pelet ünitesinde sıkıştırılarak belirli bir standarda sahip katı yakıt haline getirilmiştir. Daha sonra peletlerin katı biyoyakıt olarak değerlendirilebilme olanakları araştırılmıştır. Elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri (mekanik dayanıklılık direnci, yığın yoğunluğu) ve kimyasal özellikleri (nem içeriği, üst ısı değerini, kül miktarı tayini, yanma gazları (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x, SO₂) belirlenmiştir. Pelet yapımında kullanılan materyalin özelliğine göre 1.2069 g ağırlığında 6.30 mm çapında, 33.69 mm uzunluğunda silindirik peletler elde edilmiştir. Çalışmada peletlerin fiziksel test sonuçları olan peletlerin yığın yoğunluğu 609 kg/m³, mekanik dayanıklılık oranı %92.2, nem alma direnci %9.6 olarak bulunmuştur. Peletlerin kimyasal test sonuçlarında ise kül yığını %2, nem miktarı %6.9, üst ısı değer pelet haline gelmemiş hammaddede 5013 Cal/g, pelet haline gelen üründe 5016 Cal/g olarak bulunmuştur. Elemental analiz sonuçlarını oluşturan yanma gazları değerleri O₂=%16.6, CO₂=%4.2, CO=82ppm, NO=110ppm, NO_x=115ppm, SO₂=0 ppm olarak tespit edilmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre ülkemizde çıkarılan linyit kömürünün %96.6'sının ısı değeri 4000 Cal/g altında, %3.4'ünün ısı değeri ise 4000 cal/g üzerindedir. Bu oranlar dikkate alındığında, araştırmamızda elde ettiğimiz peletin (biyoyakıt) ısı değerinin "5016 cal/g" linyit kömürüne göre daha yüksek ve çevre dostu enerji kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır.

Article Info

Received date : 22.02.2025
Revised date : 24.04.2025
Accepted date : 25.04.2025

Keywords:

Pellet
Biofuel
Calorific Value

How to Cite:

Petek, B. (2025). "Obtaining Pellets from the Mixture of *Prunus domestica* L. (Plum) and *Cornus mas* L. (Cranberry) Kernels as a Renewable Energy Source and Evaluating Its Usability as Biofuel", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 21(2): 85-103.

ABSTRACT

In this research, a study was carried out on the utilization of the seeds of plum and cranberry fruits, which are grown in a large part of our country, as biomass (pellets), which are usually thrown into nature after processing. Although there has been great progress in the field of renewable energy production techniques today, the production techniques of this energy need to be developed. The mixture of plum and cranberry fruit pits, which are usually thrown into nature after processing, was compressed in the pellet unit and turned into solid fuel of a certain standard. Then, the possibilities of utilization of the pellets as solid biofuel were investigated. In this context, physical properties (mechanical strength resistance, bulk density) and chemical properties (moisture content, upper heating value determination, ash content determination, combustion gases (O₂, CO₂, CO, NO, NO_x, SO₂) of the pellets obtained were determined. Cylindrical pellets weighing 1.2069 g, 6.30 mm in diameter and 33.69 mm in length were obtained according to the characteristics of the material used in pellet making. The physical test results of the pellets in the study, the bulk density of the pellets was 609 kg/m³, the mechanical strength rate was 92.2%, and the dehumidification resistance was 9.6%. In the chemical test results of the pellets, ash pile was 2%, moisture content was 6.9%, upper calorific value was found as 5013 Cal/g in the raw material that was not pelletized and 5016 Cal/g in the pelletized product. The combustion gas values constituting the elemental analysis results were determined as O₂=16.6%, CO₂=4.2%, CO=82ppm, NO=110ppm, NO_x=115ppm, SO₂=0 ppm. According to the data of the Ministry of Energy and Natural Resources, 96.6% of the lignite coal mined in our country has a calorific value below 4000 cal/g and 3.4% has a calorific value above 4000 cal/g. Considering these ratios, it was concluded that the calorific value of the pellet (biofuel) obtained in our study, **5016 cal/g**, is higher than that of lignite coal and represents a more environmentally friendly energy source.

1. GİRİŞ

1.1. Biyokütle Enerji

Bitki ve hayvanlardan elde edilen, biyolojik kökenli olan organik madde kütlesine biyokütle denir. Biyokütle enerjinin kaynakları arasında orman sektöründeki odun ve odun atıkları, tarımsal atıklar, hayvansal atıklar, kentsel atıklar, çeşitli su bitkileri (su yosunları, algler vb.) yer alır. Biyokütle, enerji üretiminde kullanılacak bir kaynak olup, güç, ısı ve buhar elde etmenin yanı sıra taşımacılık sektöründe yakıt üretmek içinde kullanılabilir. Ayrıca gıda ve ağaç işleme sektörü ile hayvan yemi üretme alanında da kullanılmaktadır (Duku vd., 2011).

Günümüz dünyasında enerji ihtiyacının karşılanmasında genelde petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Hızlı nüfus artışı ve sanayi alanındaki ülkeler arası rekabet, enerjiye olan ihtiyacı daha da artırmıştır. Bu durum fosil kökenli enerji kaynaklarının rezervlerinin azalmasına neden olmuştur. Fosil kökenli enerji kaynaklarının gelecekte rezervlerinin tükeneceği öngörülmektedir. Ayrıca fosil kökenli enerji kaynaklarının fiyatlarının artması insanoğlunu farklı enerji kaynakları arayışına itmiştir (Yolcu, 2019). Fosil kökenli enerji kaynaklarının sera gazları yaymaları sonucu küresel iklim değişikliğine yol açmaları ve dünyadaki mevcut rezervlerinin sınırlı olması gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin daha da artacağını göstermektedir (Develi, 2020).

Biyokütle, çevre dostu ve yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Biyokütle enerjinin kaynaklarından olan tarımsal atıklar büyük bir paya sahiptir. Ülkemizin de büyük bir tarımsal potansiyele sahip olması, biyokütleden enerji alanında yararlanılması üzerine yapılacak çalışmaları önemli kılmaktadır (Yolcu, 2019).

Biyokütle enerjisini klasik ve modern olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Klasik biyokütle enerjisi; bağ ve bahçelerden, ormanlardan elde edilen işlenmemiş odun ve yakacak olarak kullanılan bitki (sera atıkları vb.) ve hayvan atıklarından oluşur. Bu gruptaki biyokütle kaynakları kırsal kesimde daha çok kullanılır. Modern biyokütle enerjisi ise orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji ormancılığı tarım sektöründeki bitkisel atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanabilir (Kaplukan, 2014). Sürdürülebilir bir şekilde üretilen modern biyokütle, biyokütlenin yakıt-odun olarak geleneksel kullanımları hariç tutar ve tarımsal ve orman kalıntıları ile katı atıklardan ısı ve elektrik üretiminin yanı sıra ulaşım yakıtlarının üretiminde içerir (Demirbaş, 2007).



Şekil 1. Türkiye atık potansiyeli (Aydemir, 2017'den alınmıştır).

Şekil 1'de Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı "Biyokütle Potansiyel Atlası" na göre en yüksek biyokütle potansiyeline sahip kaynak %78 oranla bitkisel atıklardır. Bundan dolayı bu potansiyelin hayata geçirilmesi için gerekli yatırımlar yapılmalıdır (Aydemir, 2017).

Türkiye, güneşlenme süresi uzun, tarım arazisi potansiyeli yüksek, su kaynakları bakımından zengin ve iklim koşullarının uygun olması gibi nitelikleri ile biyokütle üretimi bakımından uygun bir ülkedir (Bayraç ve Özarslan, 2018). Türkiye ayrıca zengin tarımsal potansiyele sahip bir ülkedir. Ülkemizde yıllık ortalama toplam 54.4 milyon ton tarımsal atık mevcuttur. Tarımsal atıklarda genelde yoğunluk düşük, nem oranı yüksektir. Bundan dolayı tarımsal atıklardan enerji elde etmek için doğrudan yakma yönteminin kullanılması çok verimli değildir. Ayrıca bu tarımsal atıkların depolanma ve taşınma süreçlerinde zorluklar yaşanmakta, yoğunluklarının düşük olmasından dolayı taşıma ve depolama masrafları artmaktadır (Doğan, 2017). Bu bilgiler doğrultusunda tarımsal atıkların ülkemizde yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi çok önemlidir. Bu atıklardan biyokütle enerji üretmede en çok tercih edilen şekli pelet haline getirmektir (Yılmaz, 2014).

1.2. Pelet

Pelet, hammaddenin (tarımsal atık vb.) önce kurutulması daha sonra öğütülüp talaş haline getirilmesinden sonra yüksek basınç altında sıkıştırılması sonucunda 6-12 mm çapında, 10-30 mm uzunluğunda elde edilen silindirik şeklindeki yakıt parçacıklarına denilmektedir. Pelet; ağaç kabuğu, odun yongaları, talaş, tarımsal ürünler, buğday vb. ekinlerin sapları, ceviz, fındık ve badem kabukları, atık kâğıt (karton vb.), şeker pancarı küspesi, mısır koçanları, ayçiçeği çenekleri, kurutulmuş kiraz ve zeytin gibi meyvelerin çekirdekleri ile birçok atık ürünlerden üretilebilmektedir (Severoğlu, 2010). Şekil 2’de farklı biyokütle ürünlerden elde edilmiş pelet örnekleri görülmektedir (Küsek vd., 2015).



Şekil 2. Biyopeletler

Peletler kimyasal bağlayıcı madde katarak ya da katmadan da yüksek basınç altında oluşturulurlar. Peletleme yöntemi ile biyokütlenin nitelikleri iyileşmekte, hacimsel ısı değeri yükselmekte, yanma özelliği daha da düzeltmekte, taşıma ve depolama maliyetleri azalmakta, sobalarda daha kolay yakılabilmekte, atmosferi kirleten partikül emisyonları (CO vb.) azalmakta, belli bir standarda sahip iyi bir yakıt elde edilmektedir. Örneğin odundan elde edilen pelet, aynı ağırlıktaki işlenmemiş yakacak oduna göre ısı değeri daha fazladır, daha temizdir ve yakacak oduna göre daha uzun süre yanma özelliğine sahiptir (Öztürk, 2012). Tablo 1’de peletlerin ve briketlerin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Tüzün, 2012).

Tablo 1. Pelet ve briketlerin özelliklerinin karşılaştırılması

Özellikler	Peletler	Briketler
Isıl Değeri	4300-5000 kcal/h	5500-6000 kcal/h
Yoğunluk	650-700kg/m ³	650-700kg/m ³
Çap	6-16 mm	65 mm
Uzunluk	20-30 mm	25 – 200 mm
Kül içeriği	% 0.4-1.0	%1.81
Rutubet	% 7-12	% 7-12

Tablo 1’de görüleceği gibi peletler yaklaşık olarak %7-12 arasında nem içermektedir. Pelet haline gelmiş biyoyakıtta nem içeriği düşük olduğu için yakacak oduna göre kalorisi daha yüksektir.

Bu çalışma, ülkemizin büyük bir bölümünde yetiştirilen erik ile kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından pelet elde ederek bunun biyoyakıt olarak kullanılabilirliğini belirlemek için yapılmıştır. Çalışmamızın alt amaçları ise;

- Peletlerin fiziksel, kimyasal özelliklerini belirlemek,
- Araştırma kapsamında elde edilecek peletlerin ısı ve gaz emisyon değerlerini belirlemek,
- Erik ve kıvılcık meyvesinin tarımsal atıkları olan çekirdeklerinin sıfır (0) atık kapsamında ülkemizde yaygınlaşmasını sağlamak
- Fosil kökenli yakıtlara alternatif olabilecek yenilenebilir temiz bir enerji kaynağı geliştirerek, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığının azaltılmasına bir çözüm önerisi sunmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu araştırma, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü’ne bağlı, Enerji Tarımı Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı ile Atatürk Üniversitesi bünyesinde bulunan Kimya Bölümü Laboratuvarında yürütülmüştür. Bu çalışmada materyal olarak Erzurum Tortum ilçesinin Suyatağı Mahallesi ile Bağbaşı (haho) Mahallesi’nden temin edilen erik ile kıvılcık çekirdeklerinin karışımı kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kurutulmuş erik ve kıvılcık çekirdeği karışımı

Öğütme ve peletleme işleminden önce materyal uygun nem içeriğine getirilmiştir. Materyalin parçalama işleminde çekiçli değirmen kullanılmıştır. Bu çekiçli değirmen; 60 cm’lik materyal besleme ünitesine, 22 kw motor gücüne ve 4 mm’lik eleğe sahiptir (Şekil 4).



Şekil 4. Çekiçli değirmen

Materyalin peletlenmesinde 6 mm pelet çapına sahip pelet makinası kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu peletleme makinası dairesel sıralı delikli düz kalıp, sıkıştırma silindirleri ve pelet boyu ayarlama ünitesinden oluşmaktadır (şekil 5).



şekil 5. Pelet makinası

Peletlerin dayanıklılık direnci TS EN ISO 17831-1 standardına göre yapılmıştır. Motor gücü 0.5 BG, “peletlerin yerleştirileceği kafes ölçüleri 300x300x125 mm ve kafes i merkezine çapraz simetrik olarak yerleştirilen 50 mm eninde 230 mm uzunluğunda bir levhaya sahip dayanıklılık test cihazı” kullanılarak peletlerin dayanıklılık değerleri ölçülmüştür (şekil 6).



şekil 6. Pelet dayanıklılık test cihazı

Peletlerin st ısl değerleri TS EN ISO 18125 standardına uygun kalorimetre cihazı kullanılarak ölçülmüştür (şekil 7). Pelet yakıtlarının st ısl değeri cal/g cinsinden bulunmuştur.



şekil 7. Kalorimetre cihazı

Peletlerin kül içerikleri TS EN ISO 18122 standardına uygun kül fırını kullanılarak belirlenmiştir. Baca gazı emisyon değerlerinin ölçümü için ise Şekil 8'de verilmiş olan pelet sobası ve 5 adet elektrokimyasal sensöre sahip baca gazı analiz cihazı kullanılmıştır. Ölçüm cihazı ile O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_x , SO_2 emisyon değerleri hesaplanmıştır.



(a)



(b)

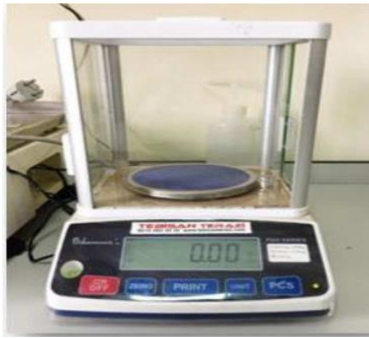
Şekil 8. Pelet sobası (a) ve baca gazı emisyon cihazı (b)

Peletlerin yığın yoğunluklarını belirlemek için TS EN ISO 17828 standardına sahip kalıp kullanılmıştır. Yığın yoğunluğunu belirleme yönteminde peletler 5 lt hacme sahip kap içerisine doldurulmuş ve sonra bu kap üç kez yaklaşık 15 cm yükseklikten serbest olarak sert zemine bırakılmıştır. Bu işlemi takiben düz ve uzun bir ahşap malzeme ile kabın üst kısmındaki fazla pelet örnekleri kabın dışına itilmiş ve kabın üst kısmında oluşan daha büyük boşluklar el ile doldurulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Pelet yığın yoğunluğunu belirleme işlemi

Peletlerin ağırlıklarının ölçülmesinde hassas terazi kullanılmış ve peletlerin uzunluk ve çap ölçümleri dijital kumpas yardımıyla tespit edilmiştir (Şekil 10).



(a)



(b)

Şekil 10. Elektronik hassas terazi (a), dijital kumpas (b)

2.2. Yöntem

Erzurum ilinin Tortum ilçesine bağlı Suyatağı Mahallesi ile Bağbaşı (haho) Mahallesi'nden temin edilen erik ve kıvılcık çekirdeği tarımsal atıkları açık ortamda sert bir zemin üzerine serilmiş ve yaklaşık 1 ay boyunca kurutulmuştur. Daha sonra bu materyal peletleme için Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Enerji Tarımı Araştırma Merkezi'ne sevk edilmiştir. Tarımsal çekirdek atıkları

%30 EÇ+%70 KÇ oranında karıştırılarak işleme alınmıştır. Materyallerin nem içerikleri %10'un altında olduğu tespit edilince çekiçli değirmende 4 mm inceliğinde ön öğütme yapılmış, peletleme işlemi için uygun boyutlara getirilmiş ve peletleme işlemi başlayınca kadar kapalı çuvallar içinde hava almayacak şekilde bekletilmiştir. Ortalama nem içeriği %8-10 materyal ile peletleme yapılmıştır. Peletleme işlemine geçmeden önce erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdekleri ile pelet makinasında yaklaşık 13 dakika çalışılmış ve kalıp sıcaklığı yaklaşık 70-80 C° sıcaklığa yükseltilmiştir. Bu işlemden sonra tarımsal atık materyali, pelet makinasında materyali kıran diskin bulunduğu materyal deposuna aralıksız şekilde bir kürek yardımı ile doldurulmuştur. Pelet makinasının kalıp deliklerindeki kesit daralmasına bağlı olarak peletler silindirik halde çıkmaya başlamıştır. Üretilen peletlerin uzunluğu yaklaşık 3-4 cm'dir. Böylece peletleme işlemi tamamlanmıştır. Elde edilen peletler Şekil 11'de verilmiştir



Şekil 11. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletler

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Pelet Ağırlık, Çap ve Uzunluk Değerleri

Peletlerin çap, uzunluk ve ağırlık değerlerine ilişkin analiz sonuçlarının görünümüleri (Şekil 12).



(a)



(b)

Şekil 12. Peletlerin uzunluk değeri (a), peletlerin çap değeri (b)

Avrupa Pelet Konseyi'nin belirlemiş olduğu ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıflarına ait pelet standartlarında pelet uzunluğunun 3.15-40 mm arasında, pelet çap değerinin ise 6-9 mm arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin ağırlık değeri 1.2069 g, uzunluk değeri 33.69 mm, çap değeri 6.30 mm olarak tespit edilmiştir. Peletlerin çap ve uzunluk değerleri Avrupa Pelet Konseyi'nin belirlediği standartlara uygundur. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada peletlerin çapları 7.89-8.15 mm aralığında, uzunluk değerleri ise 14.66-33.69 mm aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Sezer (2022) tarafından bulunan pelet uzunluk değeri bu araştırma sonucuyla benzerlik göstermektedir. Elfakı (2024) tarafından yapılan çalışmada farklı katkı maddeleri içeren domates bitkisinden elde edilen peletlerin uzunluk değeri 40.67-48.44 mm arasında, pelet ağırlık değerleri 1.64-1.85 g arasında, pelet çaplarının ise 6.02-6.05 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada tespit edilen pelet uzunluk ve ağırlık değerleri Elfakı (2024) tarafından elde edilen sonuçlardan düşük, pelet çap değerleri ise yüksektir. Bu farklılığın oluşmasında peletlenen hammaddenin özelliklerinin etkili olduğu düşünülmektedir.

3.2. Pelet Mekanik Dayanıklılık Direnci

Pelet dayanıklılık direnci peletlerin taşınması sürecinde çok önemlidir. İmalat endüstrisinde dayanıklılık direnci yüksek olan peletler, kalitesi yüksek peletler olarak kabul edilmektedir (Kaliyan ve Morey, 2009). Peletlerin dayanıklılık direnci test sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Peletlerin mekanik dayanıklılık direnci test sonuçları

<i>Numune</i>	<i>Mekanik dayanıklılık direnci (%)</i>
%30 EÇ+%70 KÇ	92.2

Tablo 2'de görüldüğü gibi peletlerin dayanıklılık direnci %92.2 bulunmuştur. Tabil ve Sokhansanj (1997) peletlerin mekanik dayanıklılık direncinin %80 ve üzeri olduğu durumlarda pelet kalitesinin iyi olduğunu belirtmişlerdir. Fakat Avrupa Pelet Konseyinin açıklamış olduğu B sınıfı pelet standartlarında odun paletlerinin dayanıklılık direncinin ≥ 97.5 olması gerektiği belirtilmiştir. Avrupa Pelet Konseyi'nin açıklamış olduğu standart değerler dikkate alındığında (Tablo 3) erik ve kıvılcık çekirdeği karışımından elde edilen peletlerin Avrupa Pelet Konseyi'nin açıklamış olduğu standartlara uygun olmadığı görülmüştür.

Miranda vd. (2012) pelet nem oranının yüksek olmasının peletlerin dayanıklılık direncini düşürdüğünü ve pelet üretim denemelerinde kullanılan materyalin çeşidine, karışım oranlarına ve peletlerin bünyesindeki nem içeriğine bağlı olarak dayanıklılık direncinin %85.83-%97.08 aralığında değiştiğini belirtmişlerdir. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada peletlerin mekanik dayanıklılık direnci %82.2-96.9 aralığında bulunmuştur. Bu çalışmada dayanıklılık direnci için elde edilen sonuçlar Tabil ve Sokhansanj (1996), Miranda vd. (2012), Sezer (2022) tarafından elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Erdem (2023) tarafından yapılan çalışmada şeker pancarı atıklarından elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılık direnci; farklı nem oranı, öğütme inceliği ve çapa bağlı olarak 94.13- 98.03 aralığında tespit edilmiştir. Akpınar (2023) tarafından yapılan çalışmada %8-10 ve %10-12 nem içeriğinde çerezlik kabak tarımsal atıklarından elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılık değerleri %88.08-97.45 aralığında tespit edilmiştir. Elfakı (2024) tarafından yapılan çalışmada farklı katkı maddesi içeren domates hasat atıklarından elde edilen peletlerin dayanıklılık direnci %89.10-96.90 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada

tespit edilen dayanıklılık direnci değeri Akpınar (2023) ve Elfakı (2024) tarafından tespit edilen değerlerin bazılarında düşük bazılarında yüksek çıkmıştır. Bu farklılığın oluşmasında bu araştırmada hammaddenin tek bir nem oranı içeriğinde paletlenmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Avrupa pelet konseyi tarafından belirlenen pelet parametreleri ve standartları Tablo 3'te verilmiştir (ENplus, 2022).

Tablo 3. Avrupa pelet konseyi tarafından belirlenen pelet parametreleri ve standartları

Property	Unit	ENplusA1	ENplusA2	ENplusB	Testing standard
Çap	mm	6 ± 1 or 8 ± 1			ISO 17829
Uzunluk	mm	3,15 < L ≤ 40 ⁴⁾			ISO 17829
Nem	w-% ²⁾	≤ 10			ISO 18134
Kül	w-% ³⁾	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0	ISO 18122
Mekanik dayanıklılık	w-% ²⁾	≥ 98,0 ⁵⁾	≥ 97,5 ⁵⁾		ISO 17831-1
Katkı maddesi (< 3,15 mm)	w-% ²⁾	≤ 1,0 ⁶⁾ (≤ 0,5 ⁷⁾			ISO 18846
Peletlerin sıcaklığı	°C	≤ 40 ⁸⁾			
Net ısııl değer	kWh/kg ²⁾	≥ 4,6 ⁹⁾			ISO 18125
Kütle yoğunluğu	kg/m ³²⁾	600 ≤ BD ≤ 750			ISO 17828
Katkı maddeleri	w-% ²⁾	≤ 2 ¹⁰⁾			-
Azot	w-% ³⁾	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	ISO 16948
Kükürt	w-% ³⁾	≤ 0,04	≤ 0,05		ISO 16994
Klor	w-% ³⁾	≤ 0,02		≤ 0,03	ISO 16994
Küldeformasyon sıcaklığı	°C	≥ 1200	≥ 1100		CEN/TC 15370-1
Arsenik	mg/kg ³⁾	≤ 1			ISO 16968
Kadmiyum	mg/kg ³⁾	≤ 0,5			ISO 16968
Krom	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Bakır	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Kurşun	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Cıva	mg/kg ³⁾	≤ 0,1			ISO 16968
Nikel	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Çinko	mg/kg ³⁾	≤ 100			ISO 16968

3.3. Pelet Yığın Yoğunluğu Değerleri

Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin yığın yoğunluk değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Pelet yığın yoğunluğu değerleri

Numune	Yığın yoğunluğu(kg/m ³)
%30 EÇ+ %70 KÇ	609 kg/m ³

Tablo 4'te görüldüğü gibi pelet yığın yoğunluğu 609 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıfı pelet standartlarında pelet yığın yoğunluğunun $600 \leq BD \leq 750$ kg/m³ olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin bu değer aralığında olduğu görülmektedir. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada pelet yığın yoğunluğu 517.12-617.79 kg/m³ aralığında, Topkoç

(2023) tarafından yapılan çalışmada en düşük pelet yoğunluğu 970 kg/m^3 ile kavak+kozalak peletinde, en yüksek pelet yoğunluğu 1270 kg/m^3 ile fındık küspesi peletinde tespit edilmiştir. Elfakı (2024) tarafından yapılan çalışmada en düşük yığın yoğunluğu 567.00 kg/m^3 ile katkısız peletlerde (KP), en yüksek yığın yoğunluğu ise 624.67 kg/m^3 ile sepiyolit ilaveli pelette (SP) tespit edilmiştir. Bu araştırmada elde edilen pelet yığın yoğunluğu değeri literatürle hem benzerlik hem de farklılık göstermektedir. Bu farklılığın oluşmasında peletlenen hammadde olan erik ve kıvılcık çekirdeklerinin hiçbir katkı maddesi olmadan ve farklı tarımsal atıklarla karıştırılmadan peletlenmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Tablo 5’de peletlerin nem alma direnci sunulmuştur.

3.4. Pelet Nem Alma Direnci Değerleri

Tablo 5. Peletlerin nem alma direnci değerleri

<i>Numune</i>	<i>Nem alma direnci (%)</i>
%30 EÇ+%70 KÇ	9.6

Peletlerin taşınması ve depolanmasında nem oranının yüksek olması pelet kalitesini olumsuz etkilemektedir (Kaliyan ve Morey, 2009). Peletlerin depolanması sürecinde nem alması peletlerin dayanım dirençlerini azaltmaktadır. Peletlerin sertlik düzeyinin yüksek olması kaliteli bir pelet için aranan özelliklerden biridir (Celma vd., 2012). Peletlerin nem içeriği arttığı zaman pelet yoğunluğu düşer ve peletlerin dirençleri azalır (Zamarona vd., 2011). Yılmaz (2014) tarafından yapılan çalışmada peletlerin nem içerikleri %7-8 aralığında bulunmuş ve nem içeriğinin %10’un altındaki peletlerin ortam koşullarından fazla etkilenmeden depolanabileceği belirtilmiştir. Akpınar (2023) tarafından yapılan çalışmada peletlerin nem alma direnci %8-10 nem içeriğine sahip peletlerde %7.63-12.13 aralığında, %10-12 nem içeriğine sahip peletlerde %6.42-9.53 aralığında tespit edilmiştir. Erdem (2023) tarafından yapılan çalışmada pelet nem alma direnci %6.53-13.22 aralığında, Elfakı (2024) tarafından yapılan çalışmada ise peletlerin nem alma direnci %7.12-9.21 aralığında tespit edilmiştir. Bu araştırmada elde edilen pelet nem alma direnci değeri literatürde bildirilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

3.5. Pelet Kül Değeri

Tablo 6. Peletlerin kül değeri

<i>Numune</i>	<i>Kül değeri (%)</i>
%30 EÇ+ % 70 KÇ	2

Tablo 6’da görüldüğü gibi pelet kül değeri %2 olarak bulunmuştur. Avrupa Pelet Konseyi pelet kül içeriğiyle ilgili 3 standart belirlemiştir. ENplus- A1 için kül değeri ≤ 0.7 , ENplus-A2 için kül değeri ≤ 1.2 ve EN-B sınıfı peletler için ≤ 2.0 değerlerinde olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin kül değeri olan %2’lik değer EN-B standardına uygundur. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada peletlerin kül içeriği değerleri %3.4-4.7 aralığında bulunmuştur. Topkoç (2023) tarafından yapılan çalışmada farklı materyallerden elde edilen peletlerin kül oranı %0.54-18.47 aralığında tespit edilmiştir. Erdem (2023) tarafından yapılan çalışmada şeker pancarından elde edilen peletlerin kül içeriği %7,28 olarak, Akpınar (2023) tarafından yapılan çalışmada ise çerezlik kabak tarımsal atıklarından elde

edilen peletlerin kül içeriği %8.24, Altun (2025) tarafından yapılan çalışmada ağaç atığı peletlerinde kül oranı %2.92, çimen+yaprak peletlerinde ise %15.51 olarak tespit edilmiştir. Bu araştırmada tespit ettiğimiz pelet kül değeri Erdem (2023), Akpınar (2023), Altun (2025) tarafından tespit edilen değerlerden daha düşük çıkmıştır. Bu sonuç bu araştırmada elde edilen peletin kalitesi hakkında bilgi vermektedir.

3.6. Pelet Nem Miktarı

Tablo 7. Pelet nem miktarı

<i>Numune</i>	<i>Nem miktarı (%)</i>
%30 EÇ+ %70 KÇ	6.9

Tablo 7’de görüldüğü gibi pelet nem miktarı %6.9 olarak bulunmuştur. Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen ENplus –A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıfı olmak üzere 3 farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin nem içeriklerinin ≤ 10 olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin nem değeri Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirtilen standartlara uygundur. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada peletlerin nem içeriği değerleri %7.38-9.14 aralığında bulunmuştur. Topkoç (2023) tarafından yapılan çalışmada farklı materyalden yapılmış peletlerde nem oranı %6.06-17.22 aralığında tespit edilmiştir. Bu sonuç, bu araştırmada pelet örneğinde tespit edilen nem miktarı değeriyle uyumlu bulunmuştur. Altun (2025) tarafında yapılan çalışmada çimen+yaprak peletinde nem miktarı %7.65, ağaç atığı peletlerinde ise %7.35 olarak bulunmuştur. Kaliteli bir peletin nem oranı genelde %10’un altında olmalıdır. Düşük nem oranına sahip peletler daha verimli yanar ve daha az kül üretir.

3.7. Pelet Üst Isıl Değeri

Tablo 8. Pelet üst ısı değeri

<i>Numune</i>	<i>Üst ısı değeri (cal/g)</i>
Hammadde	5013
Pelet	5016

Tablo 8’de görüldüğü gibi hammaddede (erik ve kıvılcık çekirdeğinin işlenmemiş hali) üst ısı değeri 5013 cal/g, pelet haline gelmiş üründe 5016 cal/g olarak bulunmuştur. Hammaddenin ve peletlerin ısı değeri kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Avrupa Pelet Konseyi pelet standartlarıyla ilgili olarak üç farklı standart belirlemiş ENplus –A1, ENplus-A2 ve EN-B ve tüm standartlarda peletlerin $\geq 4.6=16\text{MJ/kg}=3821.5\text{ cal/g}$ olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin ısı değeri $5016\text{ cal/g}=21.0\text{ MJ/kg}$ Avrupa Pelet Konseyi’nin belirlediği standartlara uygundur. Sezer (2022) tarafından yapılan çalışmada defne karışım peletlerin üst ısı değerleri 4556-4826 kcal/kg aralığında, Topkoç (2023) tarafından yapılan çalışmada peletlerin üst ısı değeri 3797-4741 kcal/kg aralığında, Erdem (2023) tarafından yapılan çalışmada 3733 cal/g, Akpınar (2023) tarafından yapılan çalışmada 4099 cal/g olarak bulunmuştur. Altun (2025) tarafından yapılan çalışmada ise çimen+yaprak peletinde üst ısı değeri 3834 cal/g, ağaç atık peletinde 4643 cal/g olarak tespit edilmiştir. Bu araştırmada erik ve

kızılılık çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin üst ısı değeri (5016 cal/g) literatürde bildirilen değerlerden yüksektir. Bu farklılığın oluşmasında özellikle kızılılık çekirdeğinin kimyasal yapısı ve yanma özelliğinin etkili olduğu düşünülmektedir.

3.8. Pelet Yanma Gazları Değerleri

Erik ve kızılılık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin yanma gazları değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Pelet yanma gazları değerleri

O_2 (%)	CO_2 (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO_x (ppm)	SO_2 (ppm)
16.6	4.2	82	110	115	0

Tablo 9’da görüldüğü gibi pelet yanma gazları değerleri $O_2=16.6$, $CO_2=4.2$, $CO=82$ ppm, $NO=110$ ppm, $NO_x=115$ ppm, $SO_2=0$ ppm olarak tespit edilmiştir. Araştırmada elde edilen peletlerin yanma gazları (baca gazları) emisyon değerleri ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği kontrolü yönetmeliğinde biyokütle yakıtı için belirtilen üst sınır değerlerin altında kalmıştır. Tablo 10’da IKHKKY (Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü) baca gazı emisyon sınır değerleri verilmiştir (Yolcu, 2019).

Tablo 10. IKHKKY baca gazı emisyon sınır değerleri

O_2 (%)	CO_2 (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO_x (ppm)	SO_2 (ppm)
18.1	20.5	3049	400	148	200

Tablo 10 incelendiğinde erik ve kızılılık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin yanma sonucu açığa çıkan yanma gazları emisyon değerleri IKHKKY sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Havadaki kükürt dioksit (SO_2) çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olur. Bu etkilerin başında hava, toprak ve su kirliliği gelir. Ayrıca insan solunum sistemlerine ciddi zararlar verir. Öksürük, astım ve kronik bronşit gibi rahatsızlıklara neden olur. Bu araştırmada erik ve kızılılık çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin SO_2 değerinin sıfır (0) çıkması bu peletin çevre dostu bir biyoyakıt olduğunu gösterir.

4. SONUÇ

Ülkemizde oldukça geniş bir alanda üretimi yapılan erik ve kızılılık meyvesinin çekirdekleri (%30 EÇ- %70 KÇ) karışım oranında karıştırılarak pelet haline getirilmiş ve daha sonra peletin fiziksel, kimyasal özellikleri ile elemental analizi yapılmıştır. Elde edilen peletler, pelet sobasında yakılarak yanma gazları değerleri belirlenmiştir. Erik ve kızılılık meyvesinin biyokütle atıkları (çekirdekleri) katı yakacak olarak değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Peletlerin çap ve uzunluk değerlerinin ISO 17829 standardına uygun olduğu görülmüştür.
- Peletlerin nem oranı %6.9 olarak bulunmuştur. Avrupa Pelet Konseyi ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıfı olmak üzere 3 farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin nem içeriklerinin ≤ 10 olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kızılılık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletlerin nem değeri Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirtilen

değerden düşük olduğu için araştırma kapsamında elde edilen peletlerin Avrupa Pelet Konseyi standartlarına uygun olduğu söylenebilir.

- Pelet mekanik dayanıklılık direnci %92.2 olarak bulunmuştur. Bu değer Avrupa Pelet Konseyinin belirlediği değerlere (ENplus- A1 $\geq$ 98.0, (ENplus-A2- ENplus-B $\geq$ 97.5) uygun değildir.
- Pelet yığın yoğunluğu değerleri 609 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B sınıfı pelet standartlarında pelet yığın yoğunluğunun $600 \leq \text{BD} \leq 750 \text{ kg/m}^3$ olması gerektiği belirtilmiştir. Araştırmada elde edilen peletlerin standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.
- Peletlerin nem alma direnci %9.6 olarak tespit edilmiştir. Pelet nem alma direncinin
- %10'dan düşük çıkması, araştırmada elde edilen peletlerin belli bir standarda sahip olduğunu gösterir. Ayrıca nem alma direnci %10' dan düşük peletler ortamdaki hava koşullarından fazla etkilenmedikleri için depolanmaları daha kolaydır.
- Peletlerin kül içeriği %2 olarak belirlenmiştir. Avrupa Pelet Konseyi pelet kül içeriğiyle ilgili 3 standart belirlemiştir. ENplus- A1 için kül değeri ≤ 0.7 , ENplus-A2 için kül değeri ≤ 1.2 ve EN-B sınıfı peletler için ≤ 2.0 değerlerinde olması gerektiği belirtilmiştir. Kül içeriği bakımından araştırma kapsamında elde edilen peletlerin Avrupa Pelet Konseyi'nin belirlediği standartlara uygun olduğu görülmüştür.
- Peletlerin üst ısı değerleri hammaddede (erik ve kıvılcık çekirdeğinin işlenmemiş hali) üst ısı değeri 5013 cal/g , pelet haline gelmiş üründe 5016 cal/g olarak bulunmuştur. Avrupa Pelet Konseyi pelet standartlarıyla ilgili olarak üç farklı standart belirlemiştir. ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B) ve tüm standartlarda paletlerin $\geq 4.6=16 \text{ MJ/kg}=3821.5 \text{ cal/g}$ olması gerektiği belirtilmiştir. Erik ve kıvılcık meyvesinin çekirdeklerinin karışımından elde edilen peletin ısı değeri $5016 \text{ cal/g}=21.0 \text{ MJ/kg}$ Avrupa Pelet Konseyi'nin belirlediği standartlara uygundur.
- Peletlerin yanma sonucunda açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği kontrolü yönetmeliğinde (IKHKY) belirtilen sınır değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı araştırma kapsamında elde edilen peletin (biyoyakıt) çevre dostu olduğu söylenebilir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayınladığı verilerine göre ülkemizde çıkarılan linyit kömürünün %96.6'sının ısı değeri 4000 cal/g altında, %3.4'ünün ısı değeri ise 4000 cal/g üzerindedir. Yapılan araştırmalar tarımsal atıkların ısı değeri bakımından linyite göre daha yüksek değerlere sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca biyoyakıtların kül oranı ve baca gazı emisyon değerleri linyit kömürüne göre daha düşüktür. Bundan dolayı biyoyakıtların çevre dostu enerji kaynağı olduğu söylenebilir.

¹BİLGİLENDİRME

Bu araştırma makalesi, TÜBİTAK (2204-B) Ortaokul Öğrencileri Araştırma Projeleri Yarışması kapsamında Tübitak projesi olarak sunulmuştur. (Proje No: 1689B012320034). Sunumdan sonra literatür kısmı geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akpınar, S. (2023). *Çerezlik kabak tarımsal artıklarından elde edilen peletlerin, fiziko-mekanik ve ısısal parametrelerinin tespit edilerek görüntü işleme yöntemiyle peletlerin sınıflandırılması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Erciyes Üniversitesi.
- Altun, B. (2025). *Kütahya Tavşanlı Belediyesi park bahçe atıklarının pelet yakıtı olarak kullanılabilirliği ve sürükleyici kanat ilavesi ile pelet yakıt presi tasarım iyileştirmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- Aydemir, T. (2017). *Farklı tarımsal atıklar kullanılarak hazırlanan karışım peletlerinde kenevir sapı kullanımının pelet kalite özellikleri üzerine etkisi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Namık Kemal Üniversitesi.
- Bayraç, H. N. ve Özarslan, B. (2018). Biyokütle enerjisi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ampirik bir analizi: Türkiye örneği. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(17), 1-17.
- Celma A.R., Cuadros, F. ve Lopez-Rodriguez, F. (2012). Characterization of pellets from industrial tomato residues. *Food and Bioprocess Processing*, 90(4), 700-706.
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.01.007>
- Demirbas, A. (2007). Modernization of biomass energy conversion facilities. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 2(3), 227-235. <https://doi.org/10.1080/15567240500402784>
- Develi, C. H. (2020). *Antep fıstığı kabuğu ve zeytin küspesinden biyoyakıt amaçlı pelet elde edilmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Sütçü İmam Üniversitesi.
- Doğan, B. (2017). *Mısır ve buğday tarımsal atıklarından pelet biyoyakıt üretimi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Duku, M. H., Gu, S. ve Hagan, E. B. (2011). A comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 404-415.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.033>
- Elfakı, M.A. (2024). *Domates hasat artıklarından yapılan silaj ve peletlerin yem değerinin in vitro yöntemlerle belirlenmesi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- ENplus (2022). *Pellet quality requirements for companies*. Place du Champ de Mars 2 1050 Brussels,
- Erdem, N.H. (2023). *Şeker pancarı yetiştiriciliği sonucu açığa çıkan tarımsal artıkların peletlenmesi ve fiziko mekanik ve ısısal özelliklerinin belirlenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Erciyes Üniversitesi.
- Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. (2005). *T.C. Resmi Gazete* (25699, 13.01.2005).
- Kaliyan, N. ve Morey, R. V. (2009). Factor affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 337-359.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>

- Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: Biyokütle enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (30). <https://doi.org/10.14781/mcd.98631>
- Küsek, G., Güngör, C., Öztürk, H. H. ve Akdemir, Ş. (2015). Tarımsal atıklardan biyopelet üretimi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 137-145.
- Miranda, M. T, Arranz, J. I, Montero, I, Román, S., Rojas, C. V. ve Nogales, S. (2012). Characterization and combustion of olive pomace and forest residue pellets. *Fuel Processing Technology*, 103, 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.10.016>
- Öztürk, H. H. (2012). *Enerji bitkileri ve biyoyakıt üretimi*. Hasad Yayıncılık
- Severoğlu, A. (2010). *Katı biyoyakıt üretimi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Sezer, B. (2022). *Defne atıklarından biyopelet yakıtı üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Mustafa Kemal Üniversitesi.
- Tabil, L. G. ve Sokhansanj, S. (1996). Process conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(3), 345-350.
- Topkoç, E. (2023). *Çeşitli tarımsal atıklardan elde edilen biyopeletlerin bazı yakıt özelliklerinin değerlendirilmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Tarsus Üniversitesi.
- TS EN ISO 17828 (2015). Solid biofuels — Determination of bulk density.
- TS EN ISO 17831-1 (2015). Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 1: Pellets.
- TS EN ISO 18122 (2016). Solid biofuels - Determination of ash content
- TS EN ISO 18125 (2017). Solid biofuels — Determination of calorific value.
- Tüzün, K. M. (2012). *Katı yakıtlı kazanlara uyumlu pelet brülörü tasarımı ve imalatı* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Yıldız, Z. ve Topkoç, E. (2023). Tarımsal atıklardan elde edilen biyopeletlerin bazı yakıt özelliklerinin uluslararası pelet standartları ile karşılaştırılması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 1-9. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1231448>
- Yılmaz, H. (2014). *Bazı tarımsal atıkların peletlenmesi ve pelet fiziksel özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Akdeniz Üniversitesi.
- Yolcu, E. (2019). *Çay işleme fabrikalarından çıkan çay atıklarının pelet biyoyakıt olarak kullanılabilme olanaklarının araştırılması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Zamorano, M., Popov, V., Rodríguez, M. L. ve García-Maraver, A. (2011). A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues. *Renewable Energy*, 36, 3133-3140. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.020>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

In today's world, fossil fuels such as oil, natural gas and coal are generally used to meet energy needs. Rapid population growth and competition between countries in the industrial field have further increased the need for energy. This situation has caused the reserves of fossil-based energy resources to decrease. It is predicted that fossil-based energy resources will run out of reserves in the future. In addition, the increase in the prices of fossil-based energy resources has pushed mankind to search for different energy sources (Yolcu, 2019). The fact that fossil-based energy sources cause global climate change as a result of emitting greenhouse gases and that their current reserves in the world are limited shows that the importance of renewable energy sources will increase in the future (Develi, 2020). Turkey is a suitable country for biomass production with its long sunshine hours, high agricultural land potential, rich in water resources and favorable climatic conditions (Bayraç and Özarslan, 2018). Turkey is also a country with rich agricultural potential. In our country, there is a total of 54.4 million tons of agricultural waste annually. Agricultural wastes generally have low density and high moisture content. Therefore, it is not very efficient to use direct incineration method to obtain energy from agricultural wastes. In addition, there are difficulties in the storage and transportation processes of these agricultural wastes, and transportation and storage costs increase due to their low density (Doğan, 2017). In line with this information, it is very important to utilize agricultural wastes as a renewable energy source in our country. The most preferred way to produce biomass energy from these wastes is to turn them into pellets (Yılmaz, 2014). This study was carried out to obtain pellets from a mixture of plum and cranberry fruit pits grown in a large part of our country and to determine its usability as biofuel.

Methodology

Plum and cranberry seed agricultural wastes obtained from Suyatağı and Bağbaşı (haho) neighborhoods of Tortum district of Erzurum province were laid on a hard surface in an open environment and dried for about 1 week. This material was then shipped to the Energy Agriculture Research Center of the Black Sea Agricultural Research Institute Directorate for pelletization. Agricultural seed wastes were processed by mixing 30% plum seeds (PS) + 70% cranberry seeds (CS). When it was determined that the moisture content of the materials was below 10%, they were pre- grinded in a hammer mill to a fineness of 4 mm, brought to the appropriate size for pelletizing and kept in airtight closed bags until the pelletizing process started. Pelletizing was performed with an average moisture content of 8-10%. Before pelletizing, plum and cranberry fruit pits were worked with the pellet machine for about 13 minutes and the mold temperature was raised to about 70-80C°. After this process, the agricultural waste material was filled continuously with a shovel into the material tank where the disk breaking the material in the pellet machine was located. Due to the narrowing of the cross-section in the mold holes of the pellet machine, the pellets started to come out in cylindrical form. The length of the pellets produced is approximately 3-4 cm. Thus, the pelletizing process was completed.

Results and Conclusions

The seeds of plum and cranberry fruits, which are produced in a wide area in our country, were made into pellets by mixing (30% PS - 70% CS) at a mixture ratio and then the physical, chemical

properties and elemental analysis of the pellet were carried out. The pellets were burned in a pellet stove and combustion gas values were determined. The results obtained in this study, which was carried out to utilize the biomass waste (pits) of plum and cranberry fruit as solid fuel, are given below.

The diameter and length values of the pellets were found to comply with ISO 17829 standard. The moisture content of the pellets was found to be 6.9%. The European Pellet Council has defined 3 different standards as ENplus-A1, ENplus-A2 and EN-B class and it is stated that the moisture content of the pellets should be ≤ 10 in all standards. Since the moisture content of the pellets obtained from the mixture of plum and cranberry fruit kernels is lower than the value specified by the European Pellet Council, it can be said that the pellets obtained within the scope of the research comply with the European Pellet Council standards. Pellet mechanical durability resistance was found to be 92.2%. This value does not comply with the values determined by the European Pellet Council (ENplus- A1 ≥ 98.0 , (ENplus-A2- ENplus-B ≥ 97.5). Pellet bulk density values were determined as 609 kg/m³. In ENplus-A1, ENplus-A2 and EN-B class pellet standards determined by the European Pellet Council, it is stated that the pellet bulk density should be $600 \leq BD \leq 750$ kg/m³. It was determined that the pellets obtained in the research were in compliance with the standards. The dehumidification resistance of the pellets was determined as 9.6%. The fact that the pellet dehumidification resistance is lower than 10% indicates that the pellets obtained in the research have a certain standard. In addition, pellets with a dehumidification resistance lower than 10% are easier to store as they are not affected much by the weather conditions in the environment. The ash content of pellets is set at 2%. The European Pellet Council has set 3 standards for pellet ash content. It is stated that the ash value should be ≤ 0.7 for ENplus- A1, ≤ 1.2 for ENplus-A2 and ≤ 2.0 for EN-B class pellets. In terms of ash content, the pellets obtained within the scope of the research were found to comply with the standards set by the European Pellet Council. The upper heating value of the pellets was found to be 5013 cal/g for the raw material (unprocessed plum and cranberry seeds) and 5016 cal/g for the pelletized product. The European Pellet Council has set three different standards regarding pellet standards. ENplus-A1, ENplus-A2 and EN-B) and in all standards it is stated that pellets should be $\geq 4.6=16\text{MJ/kg}=3821.5\text{cal/g}$. The calorific value of the pellet obtained from the mixture of plum and cranberry fruit pits is $5016\text{cal/g}=21.0\text{MJ/kg}$ which is in compliance with the standards set by the European Pellet Council. The flue gas emission values released as a result of the combustion of the pellets were found to be lower than the limit values specified in the regulation on air pollution control from heating (IKHKKY). Therefore, it can be said that the pellet (biofuel) obtained within the scope of the research is environmentally friendly.

Yazarların Biyografisi



Birol PETEK

Uzman Öğretmen Birol PETEK, 2008 yılında Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilgiler Eğitimi Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Sosyal Bilgiler Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimini tamamlamıştır. Aynı bölümde doktora eğitimi devam etmektedir. 2015 yılından itibaren MEB bünyesinde Sosyal Bilgiler Öğretmeni olarak çalışmaya başlamıştır. Birol PETEK, TÜBİTAK (2204-B) proje yarışmaları kapsamında hazırlanan yenilenebilir enerji kaynakları, doğal gıda kaynakları, tıbbi ve aromatik bitkiler alanlarında hazırlanan projelere öncülük ve danışmanlık yapmaya devam etmektedir.

İletişim

birolpetek2016@hotmail.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0009-0005-0189-1719>