

Fındık Zurufunun Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Sefai BİLGİN¹, Hasan YILMAZ¹, Abdülkadir KOÇER², Mustafa ACAR³, Mahmut DOK³

¹ Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya

² Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Antalya

³ Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Enerji Tarımı Araştırma Merkezi, Samsun
sbilgin@akdeniz.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 07.06.2015 Kabul Tarihi (Accepted): 13.07.2015

Özet: Türkiye, fındık üretiminde nicelik ve nitelik açısından dünyada ilk sırada yer almaktadır. Fındık zurufu, fındık hasadı sonrası ortaya çıkan ve çoğunlukla değerlendirilmeyen biyokütle materyalidir. Bu çalışmada, %14 nem içeriğine ve 1.023 mm geometrik ortalama çapa sahip fındık zurufu laboratuvar ölçekli 3 kW güçlü pelet makinesinde peletlenmiş ve pelet kalitesi ile ilgili fiziksel özellikler belirlenmiştir. Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak hacim yoğunluğu, parça yoğunluğu, dayanıklılık direnci, darbe direnci ve nem alma durumu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada pelet makinesinin kapasitesi hesaplanmıştır. Fiziksel testler öncesinde peletler 7 gün süre ile 24°C sıcaklık ve %55 nem içeriğine sahip çevre şartlarında bekletilmiştir.

Çalışma sonunda, ortalama 6.1 mm çapında ve 27 mm uzunluğunda peletler elde edilmiştir. Fındık zurufu peletlerinin parça ve hacim yoğunluğu sırası ile ortalama 1307 kg/m³ ve 724 kg/m³ bulunmuştur. Fındık zurufu peletlerinin fiziksel testler sonucu oldukça sağlam yapıda olduğu görülmüş, dayanıklılık direnci ve darbe direnci değerleri sırası ile %97.72 ve %99.60 olarak belirlenmiştir. Peletlerin nem alma direnci ortam sıcaklığı ve nemine bağlı olarak değişmiş ve düşük sıcaklık ve nem koşullarında peletlerin bir miktar nem kaybettikleri saptanmıştır. Pelet makinesinin kapasitesi 67 kg/h olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pelet, fındık zurufu, pelet fiziksel özellikleri

Pelleting of Hazelnut Husk and Determination of Pellet Physical Properties

Abstract: Turkey is the biggest producer and exporter in the World in terms of quantity and quality of hazelnut production. Hazelnut husk is a biomass material, emerged after harvest and not evaluated. In this study, hazelnut husk were pelleted in a laboratory-scale pelleting machine with an electrical motor power of 3 kW. Moisture content and geometric main diameter of ground hazelnut husk used in the experiment were 14% and 1.023 mm, respectively. Physical properties of pellets such as bulk density, particle density, durability, impact resistance and moisture sorption were determined. Also, the capacity of the pelleting machine was determined. Before testing, the briquettes were kept in a room at 24°C temperature and 55% relative humidity during 7 days.

At the end of this study, pellets was obtained at the average diameter of 6.1 mm and length of 27 mm. The average bulk density and particle density of hazelnut husk pellets were 1307 kg/m³ and 724 kg/m³, respectively. The results of physical tests showed that hazelnut husk pellets were quite strong, and durability and impact resistance values of pellets were 97.72% and 99.60%, respectively. Moisture sorption of pellets was changed depending on the ambient temperature and humidity, and the pellets lost the limited moisture at the low temperature and humidity conditions. The average pellet production capacity of the pelleting machine was found to be 67 kg/h.

Key words: Pellet, hazelnut husk, physical properties of pellets

GİRİŞ

Türkiye hem coğrafi yapısı hem de geniş tarımsal üretim alanları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve kullanımı açısından avantajlı bir konumdadır. Türkiye’de 2014 yılı geçici verilerine göre 15.79 milyon ha alan ekilirken, 3.24 milyon ha alanda da uzun ömürlü bitki yetiştiriciliği (meyve, içecek ve baharat bitkileri alanı) yapılmaktadır (TUİK, 2015). Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan biyokütle enerjisi ülkemiz için oldukça önemli olup, son yıllarda güncelliği daha da ön plana çıkmıştır. Ancak, biyokütle enerjisinin toplam enerji tüketimi içerisindeki oranı 2012 yılı için %2.9 gibi oldukça düşük düzeyde kalmıştır.

Ülkemizde biyokütle kaynakları oldukça geniş olup, hemen hemen her yerde bulmak mümkündür. Türkiye’de yetiştiriciliği yapılan ürünlerden birisi de findıktır. Türkiye dünyanın en büyük findık üreticisi ve ihracatçısı konumundadır ve dünya findık üretiminin yaklaşık %75’i ülkemizde üretilmektedir (Güney, 2013). Ülkemizde 2014 yılı itibari ile yaklaşık olarak 700 bin ha’lık alanda findık üretimi yapılmakta olup, 2014 yılı findık üretim miktarı 412 bin ton olmuştur (TUİK, 2015). Findık yetiştiriciliğine bağlı olarak üretim alanlarından budama artıkları, findık hasadı sonrası findık kabuğu ve findık zurufu artıkları çıkmaktadır. Genel olarak findık bitkisinde her yıl dip sürgün alma ve dal gençleştirme işlemi yapılmakta ve bunlar herhangi bir şekilde değerlendirilmeyerek atılmaktadır. Ancak bazı üreticiler, dip sürgün alma işlemini iki yılda bir yaparak çıkan artıkları yakacak olarak değerlendirmektedir. Ülkemizde her yıl kuru bazda yaklaşık olarak 1 milyon ton findık budama artığı çıkmaktadır. Findığın sert dış kabuğunu saran findık zurufu, kabuklu findığın harmanlama işleminden sonra ortaya çıkan bir yan üründür (Şekil 1).



Şekil 1. Findık zurufu artığı

Toplam üretilen kabuklu findığın 1/3’ü kadar miktarı findık zurufu artığı olarak çıkmaktadır (Dok, 2014). Bu veriler göz önüne alındığında findık üretim miktarına bağlı olarak ülkemizde her yıl kuru bazda yaklaşık olarak 200 bin ton findık zurufu artığı çıkmaktadır (Güney, 2013). Findık zurufu çoğunlukla herhangi bir şekilde değerlendirilmeden tarlada bırakılmakta, yakılarak yok edilmekte ya da bir kısmı kuruduktan sonra yakacak olarak odun ile birlikte kullanılmaktadır (Zeytin and Baran, 2003). Findık zurufunun katı yakacak olarak doğrudan değerlendirilmesi düşük yoğunluktan dolayı çok etkin olmamakta, depolama, taşıma ve nakliye işlemlerinde sorunlar ortaya çıkmaktadır. Findık zurufunun katı yakacak olarak etkin bir şekilde değerlendirme yollarından birisi de onun pelet formuna dönüştürülmesidir. Materyallerin peletlenmesi ile yoğunluk artmakta, taşıma, depolama ve nakliye masrafları azalmakta, boyut ve şekilde homojenlik sağlanmakta, yakma sistemlerine otomatik olarak beslenebilmekte ve böylelikle materyalin daha etkin bir şekilde kullanımı sağlanmaktadır (Werther et al., 2000; Mani et al., 2003; Holm et al., 2006; Nilsson et al., 2011; Theerarattananoon et al., 2011; Garcia-Maraver et al., 2011; Celma et al., 2012).

Peletlerin fiziksel özelliklerinin bilinmesi özellikle taşıma, depolama, nakliye işlemleri ve yakma sistemleri açısından oldukça önemlidir. Peletlerin fiziksel özellikleri boyutları, yoğunluğu, porozitesi, sertliği ve dayanıklılığıdır (Balasubramanian, 2000). Pelet yoğunluğu nakliye masraflarını, taşıma ve depolama etkinliğini etkilemektedir. Daha yoğun elde edilen peletler nakliye masraflarını azaltmakta, taşıma ve depolama etkinliğini artırmaktadır (Lehtikangas, 2001; Sokhansanj and Turhollow, 2004; Tumuluru et al., 2011). Peletlerin son kullanıcıya gelinceye kadar dayanıklı kalması oldukça önemlidir. Yüksek dayanıklılığa sahip peletler özellikle nakliyede, taşımada ve depolamada avantajlar sağlamaktadır (Lehtikangas, 2001). Pelet dayanıklılığı değerlerinin %80 ve yukarı olması yüksek kaliteli, %70-80 arasında olması orta kaliteli ve %70’in altında olması durumunda ise düşük kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Tabil and Sokhansanj, 1996; Tabil and Sokhansanj, 1997).

Biyokütlenin peletlenmesi ile ilgili olarak yürütülen birçok araştırmada, farklı materyaller ve peletleme

makinaları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar ortaya konmuştur.

Buğday samanı, arpa samanı ve enerji bitkisi olan darı bitkisi peletlenmiş ve pelet fiziksel özellikleri üzerine nem içeriği, sıcaklık ve kalıp boyutlarının etkileri araştırılmıştır (Colley, 2006; Mani et al., 2006). Pelet yoğunluğu 850-1250 kg/m³ arasında değişmiş ve yoğunluğun parçacık boyutunun azalması ile arttığı, nem içeriğinin artması ile ise azaldığı belirtilmiştir.

Bergström et al. (2008), Stelte et al. (2011) ve Lestander et al. (2012) tarafından yapılan çalışmalarda farklı biyokütle materyalleri (sarçam, kayın, ladin talaşı ve buğday samanı) peletlenmiş ve pelet fiziksel özellikleri üzerine parçacık boyut dağılımının, kalıp sıcaklığının ve nem içeriğinin etkilerini belirlenmiştir. Materyal parçacık boyutundaki azalma peletleme için ihtiyaç duyulan basıncı artırırken, nem içeriğinin etkisi tamamen materyal çeşidine bağlı olduğu belirtilmiştir. Elde edilen peletlerin yoğunluğu en yüksek 1270 kg/m³ elde edilmiştir. Peletlerin dayanıklılık direncinin %99 olduğu belirtilmiştir.

Arpa samanı ve saman + çam talaşı karışımı düz kalıp dairesel sıralı delikli peletleme makinesinde peletlenmiştir (Serrano et al. 2011). Yüksek yoğunluklu arpa samanı peleti üretimi için optimum nem içeriğinin %19-23 arasında olması gerektiği belirlenmiş ve elde edilen peletlerin nem içeriğinin %6.1-8.2 arasında değiştiği görülmüştür. Hammadde nem içeriğinin artması peletlerin mekanik dayanımını ve pelet uzunluğunu artırırken, pelet yoğunluğunu azaltmıştır.

Celma et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada domates işleme tesislerinden çıkan domates biyokütle artıkları (başlıca kabuk ve tohum) peletlenmiş ve 6 mm çapında peletler elde edilmiştir. Denemeler beş farklı nem içeriğinde (%20, 25, 29, 34 ve 38) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda peletlerin hacim ve parça yoğunluğunun, pelet sertliği ve dayanıklılığının hammadde nem içeriğinden önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir. Peletlerin maksimum hacim yoğunluğunun 350 kg/m³ olduğu belirtilmiştir. Peletlerin dayanıklılık direnci nem içeriğindeki artış ile artmış ve %9.09 pelet nem içeriğinde %91.2 ile maksimum değere ulaşmıştır.

Santamarta et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada kanola sapları peletlenmiştir. Elde edilen peletlerin 48 haftalık bir depolama süresince kalite özelliklerindeki (pelet aşınma direnci, basınç dayanımı,

pelet parça yoğunluğu ve pelet boyutları) değişimler incelenmiştir. Çalışma sonunda pelet aşınma direncinin depolama süresince değişmediği, pelet parça yoğunluğu ve basınç dayanımının depolama süresinin uzunluğu ile değiştiği ve 48 haftalık depolama süresi boyunca pelet yoğunluğunun önemli derecede azaldığı belirlenmiştir.

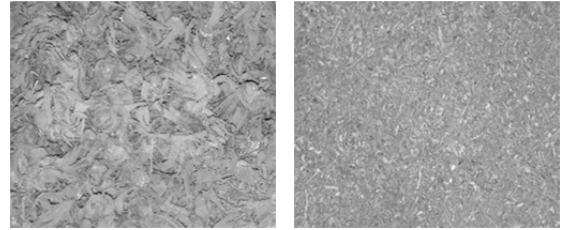
Bu çalışmada fındık üretimi sonrası ortaya çıkan fındık zurufunun kurutulup öğütüldükten sonra laboratuvar ölçekli, düz kalıp dairesel sıralı delikli bir peletleme makinesinde peletlenmesi ve pelet kalitesi ile ilgili yoğunluk, dayanıklılık, darbe direnci ve nem alma durumu gibi peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ayrıca peletleme makinesinin pelet üretim kapasitesi belirlenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Çalışmada, pelet üretimi denemeleri Samsun Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsünde, pelet kalitesi ile ilgili testler ise Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Atölyesinde yürütülmüştür.

Denemelerde peletlenecek materyal olarak kurutulup öğütülmüş fındık zurufu artıkları kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Kurutulmuş ve öğütülmüş fındık zurufu

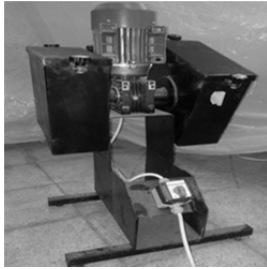
Materyalin peletlenmesi için laboratuvar ölçekli, düz kalıp dairesel delikli, kalıp delik çıkış çapı 6 mm, 2 adet sıkıştırma silindire sahip, sıkıştırma silindiri devri 86 min⁻¹ ve elektrik motor gücü 3 kW olan peletleme makinesi kullanılmıştır. Peletleme makinesi materyal besleme ünitesi, kalıp, sıkıştırma silindirleri, pelet boyu ayarlama ünitesi, pelet toplama haznesi ve elektrik motorundan oluşmaktadır (Şekil 3).

Öğütülen materyallerin parçacık boyut dağılımlarının belirlenmesinde 200 mm çapında, 50 mm derinliğinde ve 0.125, 0.30, 0.425, 0.850, 1.18, 1.7 ve 2 mm delik çaplarında 7 adet elekten oluşan elek analiz seti kullanılmıştır.



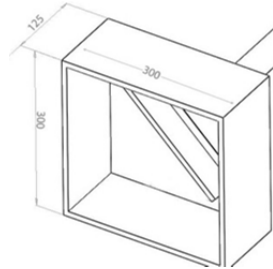
Şekil 3. Peletleme makinesi genel görünümü

Peletlerin dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesi için EN 15210-1 (2009) standardına göre yapılmış, motor gücü 0.5 BG, motor redüktör devri 50 min⁻¹, peletlerin yerleştirileceği kafes ölçüleri 300x300x125 mm ve kafes iç merkezine çapraz simetrik olarak yerleştirilen 50 mm eninde, 230 mm uzunluğunda bir levhaya (baffle) sahip dayanıklılık test cihazı kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Dayanıklılık direnci test düzeneği

Peletlerin nem alma dirençlerinin belirlenmesinde sıcaklık çalışma sınırları +10 - +60°C (±2°C), nemli çalışma sınırları %20 - %95 (± %5), zaman ayarlı, maksimum güç değeri 2.0 kW ve kullanılabilir hacmi 252 l olan İklimlendirme Test Kabini kullanılmıştır.



Yöntem

Materyalin peletlenmesi

Fındık zurufu artıkları deneme alanına getirilmiş ve dış ortamda kurutulmuştur. Daha sonra materyaller 4 mm elek delik çapına sahip çekiçli değirmende öğütülerek peletleme işlemi için uygun boyutlara getirilmiştir. Denemelerde kullanılan materyalin özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Peletleme denemelerine geçilmeden önce kalıp delikleri daha önceki denemelerden kalan sıkışmış materyallerden temizlenmiştir. Daha sonra peletleme makinesi çalıştırılmış ve materyaller besleme ünitesine kürek yardımı ile sürekli olarak elle beslenmiştir. Materyal kalıp deliklerinde yavaş yavaş sıkışmış ve bir süre sonra peletler çıkmaya başlamıştır. Deneme sonunda ortalama 6.1 mm çapında ve 27 mm uzunluğunda peletler elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Fındık zurufu peletleri

Makine kapasitesi

Peletleme makinesinin kapasitesinin belirlenmesi için, makine rejime girdikten (peletler çıkmaya başladıktan bir süre sonra) bir dakikalık süre için peletleme makinesinden çıkan peletler bir kaptan toplanmış ve tartılmıştır. Makine kapasitesi, pelet kütlesinin zamana bölünmesi ile kg/h olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Denemelerde kullanılan fındık zurufu özellikleri

Materyal	Nem içeriği (%)	Yoğunluk (kg/m ³)	Geometrik ortalama çap (mm)	Kül içeriği (%)	Alt ısı değer (MJ/kg)			
	14	189	1.023	8.59*	19.87*			
	Elek Analizi, %							
Fındık zurufu	0-0.125 mm	0.125-0.30 mm	0.30-0.425 mm	0.425-0.85 mm	0.85-1.18 mm	1.18-1.7 mm	1.7-2.0 mm	>2.0 mm
	6.73	5.78	3.68	10.79	12.05	14.07	8.78	38.12

*Gürdil ve ark., 2014

Çizelge 2. Pelet kalitesi ile ilgili fiziksel özellikler ve makine kapasitesi

Ürün	Nem içeriği (%)	Parça yoğunluk (kg/m ³)	Hacim yoğunluk (kg/m ³)	Dayanıklılık direnci (%)	Darbe direnci (%)	Sıkıştırma direnci (N)	Makine kapasitesi (kg/h)
Fındık zurufu peleti	10.4	1307	724	97.72	99.60	3040	67

Pelet kalitesi ile ilgili özellikler ve testler

Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak parça ve hacim yoğunluğu, dayanıklılık direnci, darbe direnci ve nem alma durumu (emilimi-sorption) belirlenmiştir. Fiziksel testler öncesinde peletler 7 gün süre ile 24°C sıcaklık ve %55 nem içeriğine sahip çevre şartlarında bekletilmiştir.

Pelet kalitesi ile ilgili bütün testler 3 tekerrürlü olarak yapılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.

Pelet hacim yoğunluğu

Peletlerin hacim yoğunluğu EN 15103 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde peletler 5 l hacme sahip silindirik kap içerisine yaklaşık 200-300 mm yükseklikten doldurulmuş ve kap 3 kez yaklaşık olarak 150 mm yükseklikten serbest olarak ahşap zemin üzerine bırakılmıştır. Daha sonra, düz ve uzun bir ahşap malzeme ile kabın üst kısmındaki fazla pelet örnekleri kap dışına taşınmıştır. Pelet hacim yoğunluğu pelet kütlelerinin kabın hacmine oranlanması ile kg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Pelet parça yoğunluğu

Peletlerin parça yoğunlukları EN 16127 (2012) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde 80-100 g kütleyle sahip pelet örnekleri (yaklaşık 100 adet) rastgele alınmış ve her bir peletin çapı, uzunluğu ve kütlesi ölçülerek kaydedilmiştir. Pelet parça yoğunluğu kg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Pelet dayanıklılık direnci

Peletlerin mekanik dayanımlarının belirlenmesi için yapılan bu test EN 15210-1 (2009) standardına göre yapılmıştır. Test öncesi pelet örnekleri 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek yardımı ile elenmiştir. Daha sonra elek üzerinde kalan 500±10 g pelet örnekleri test cihazına yerleştirilmiş ve 10 dakika süreyle 50±2 min⁻¹'da döndürülmüştür. Test sonrası peletler dışarı alınmış ve 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek kullanılarak tekrar elenmiştir. Peletlerin dayanıklılık

dirençleri test öncesi ve sonrası meydana gelen kütle kaybına bağlı yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Pelet darbe direnci

Peletlerin darbe dayanımlarının belirlenmesinde rastgele seçilen 10 adet pelet 1.85 m yükseklikten sert zemine 4 kez düşürülmüştür. Test sonunda peletler 3.15 mm yuvarlak delik çaplı elek kullanılarak elenmiştir. Pelet darbe dayanımı test süresince oluşan kütle kaybına bağlı yüzde (%) olarak belirlenmiştir (Kaliyan and Morey, 2009).

Pelet nem alma durumu

Peletlerin nem alma durumları iklimlendirme test kabini kullanılarak belirlenmiştir. Bu testte 300 g kütledeki pelet örnekleri iklimlendirme test kabini içerisinde 3 farklı sıcaklıkta (15, 25 ve 40 ± 2°C) ve 3 farklı nem içeriğinde (%45, 60 ve 80 ± %5) bekletilmiştir. Örnekler her saatte bir dışarı alınarak tartılmış ve kütleleri kaydedilmiştir. Pelet kütlelerinde saatlik 0.01 gramdan daha fazla değişim meydana gelmediği durumda test sonlandırılmıştır (Fasina, 2008). Test sonrası peletlerin nem içerikleri belirlenmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Fındık zurufu materyalinin laboratuvar ölçekli peletleme makinesinde peletlenmesi ile elde edilen peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özellikleri ve makine kapasitesi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Pelet nem içeriği, peletler elde edildikten 7.gün sonunda %10.4 olarak belirlenmiştir. Peletleme işlemi süresince sürtünmelere bağlı olarak oluşan sıcaklık yükselmesi materyal nem içeriğinin düşmesine neden olmuştur. Avrupa Pelet Konseyi pelet standartları ile ilgili olarak ENplus-A1 ve Enplus-A2 sınıflarının yanı sıra EN-B sınıfı olmak üzere üç farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin nem içeriklerinin ≤10 olması gerektiği belirtilmiştir (EN 14961-2, 2013). Dolayısı ile, elde edilen pelet neminin standartlara oldukça yakın olduğu görülmektedir. Yine

de pelet neminin standartlara uygun olması için peletleme işleminin sonunda peletler hızlı bir şekilde soğutulmalı ve hemen ambalajlanarak peletlerin ortam neminden etkilenmesi önlenmelidir.

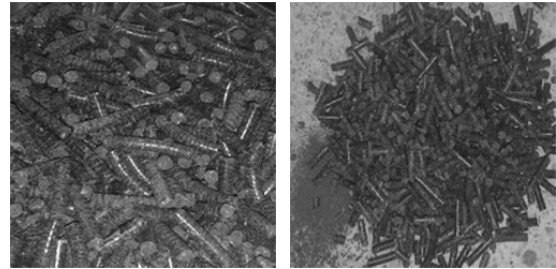
Peletlerin yoğunlukları incelendiğinde ise hem parça yoğunluğunun hem de hacim yoğunluğunun oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Fındık zurufunun peletlenmesi ile parça yoğunluğu dikkate alındığında, hammadde yoğunluğuna göre yaklaşık 7 kat, hacim yoğunluğuna göre ise 4 kat daha yoğunlukta ürün elde edilmiştir. Bu da peletleme işleminin oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Farklı araştırmacılar tarafından farklı biyokütle materyalleri için yapılan peletleme çalışmalarında pelet parça yoğunlukları 850-1270 kg/m³, pelet hacim yoğunlukları ise 350-640 kg/m³ aralığında elde edilmiştir (Colley et al., 2006; Mani et al., 2006; Bergström et al., 2008; Fasina, 2008; Razuan et al., 2011; Theerarattananoon et al., 2011; Celma et al., 2012). Görüldüğü gibi fındık zurufunun peletlenmesi ile elde edilen yoğunluk sonuçları literatür verilerinin üzerinde yer almıştır. Avrupa Pelet Konseyi tarafından pelet kalitesi ile ilgili standartlarda yoğunluk olarak hacim yoğunluğu, pelet çapı ve pelet uzunluğu ölçüt olarak dikkate alınmıştır. Konsey tarafından belirlenen ENplus-A1, Enplus-A2 ve EN-B sınıfı pelet standartlarında pelet hacim yoğunluğunun ≥ 600 kg, pelet uzunluğunun ise 3.15-40 mm arasında olması gerektiği belirtilmiştir (EN 14961-2, 2013). Hem pelet hacim yoğunluğu hem de pelet uzunluğu için elde edilen sonuçlar standartlara uygun bulunmuştur.

Dayanıklılık (aşınma) ve darbe direnci (kırılma direnci ya da düşme direnci) özellikle peletlerin mekanik ya da pnömatik sistemlerle taşınma özelliklerinin tanımlanması ve nakliye araçlarından boşaltılması ya da ambalaj paketlerine doldurulması esnasında karşılaşılan kuvvetlerin simülasyonu açısından önemlidir. Dayanıklılık direnci testleri pelet üretim tesislerinde sıkıştırma işleminin, dolayısı ile pelet kalitesinin kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır ve yüksek dayanıklılık direncine sahip peletler yüksek kaliteli peletler olarak tanımlanmaktadır (Kaliyan and Morey, 2009). Pietsch (2002) pelet üretiminin güvenli yüksekliğini belirlemede düşürme testlerinin kullanılabileceğini belirtmiştir.

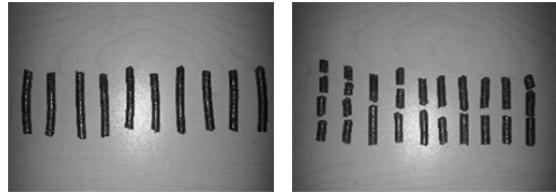
Çizelge 2'de görüldüğü gibi peletlerin dayanıklılık ve darbe direnci değerlerinin sırası ile %97.72 ve %99.60 olarak belirlenmiştir. Tabil ve Sokhansanj

(1996) ve Tabil and Sokhansanj (1997) pelet dayanıklılık direncinin %80 ve üzeri olması durumunda pelet kalitesinin iyi olduğunu belirtmelerine rağmen, Avrupa Pelet Konseyi ENplus A1 ve ENplus-A2 sınıfı pelet standartlarında odun peletlerinin dayanıklılık direncinin ≥ 97.5 , EN-B sınıfı pelet standartlarında ise ≥ 96.5 olması gerektiği belirtilmiştir. Dolayısı ile, peletlerin dayanıklılık açısından standartları sağladığı ve oldukça kalite olduğu belirlenmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, materyal çeşitlerine, materyal karışım oranlarına ve materyal nem içeriğine bağlı olarak dayanıklılık direncinin %85.83-%97.08 arasında değiştiği belirlenmiştir (Miranda et al., 2011; Serrano et al., 2011; Miranda et al., 2012; Celma et al., 2012; Liu et al., 2013; Ahn et al., 2014; Kashaninejad et al., 2014; Tumuluru, 2014). Dayanıklılık direnci için elde edilen sonuçlar literatür verileri ile paralellik göstermiş ve yoğunlukla literatür verilerinin üzerinde bulunmuştur.

Fındık zurufu peletlerinin dayanıklılık ve darbe direnci test öncesi ve test sonrası görünüşleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Dayanıklılık direnci test öncesi ve sonrası



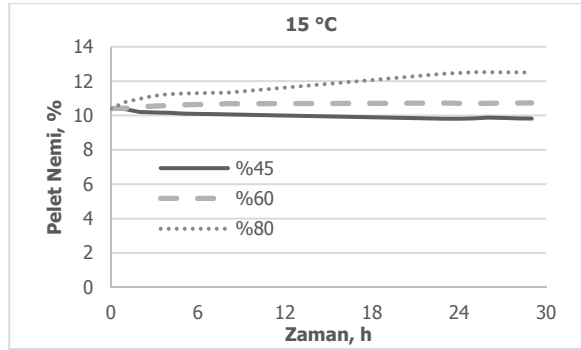
Şekil 7. Darbe direnci test öncesi ve sonrası

Peletlerin dayanıklılık ve darbe direnci test öncesi ve sonrası görünüşleri incelendiğinde, dayanıklılık direnci testinde peletlerde kırılmaların meydana gelmediği, darbe direnci testinde ise peletlerin tamamında kırılmaların meydana geldiği görülmüştür. Darbe direncinde peletlerde kırılmalar meydana gelmiş olmasına rağmen, kırılan parçalar 3.15 mm delik çapına sahip elek üzerinde kaldığı için kayıp olarak değerlendirilmemiştir. Dayanıklılık direnci testinde

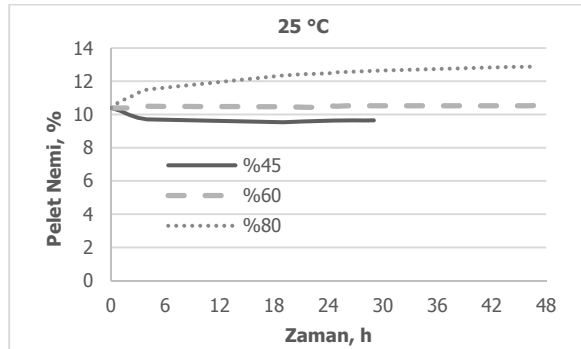
meydana gelen kayıpları, pelet uç noktalarından oluşan ufalanmaların oluşturduğu belirlenmiştir.

Peletleme makinesinin pelet üretim kapasitesi 67 kg/h olarak belirlenmiştir. Makine kapasitesinin makine elektrik motor gücünün oldukça düşük olmasına rağmen yine de oldukça iyi olduğu söylenebilir. Makine kapasitesi özellikle materyal çeşidine, materyal parçacık boyut dağılımına, materyal nem içeriğine, materyalin makineye beslenme şekline ve beslenen materyal miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Fındık zurufu peletlerinin farklı sıcaklık ve nem koşullarında iklimlendirme kabini bekletilmesi sonucu nem alma durumu ile ilgili değişimleri Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.



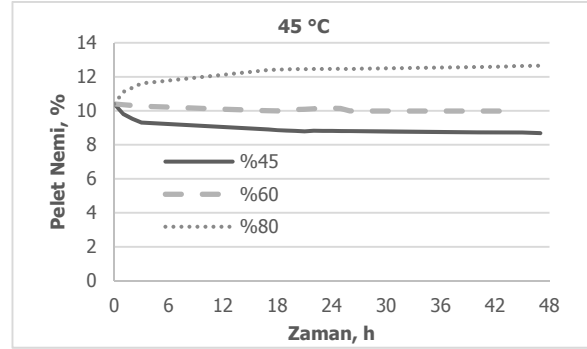
Şekil 8. Pelet nem içeriklerinin 15 °C ve %45, 60 ve 80 bağıl nem şartlarında değişimi



Şekil 9. Pelet nem içeriklerinin 25 °C ve %45, 60 ve 80 bağıl nem şartlarında değişimi

Peletlerin nem alma durumları incelendiğinde, ortam koşullarından çok fazla etkilenmemekle birlikte, peletlerin 15-25 °C sıcaklık ve %45 bağıl nem içeriğinde, 40 °C sıcaklık ve %45-60 bağıl nem içeriklerinde nem kaybettikleri, diğer koşullarda nem

aldıkları belirlenmiştir. %45 bağıl nem koşulu için sıcaklık arttıkça peletler daha fazla nem kaybetmişlerdir. En fazla nem kaybı 40 °C sıcaklık ve %45 bağıl nem koşullarında gerçekleşirken, en fazla nem alımı 25 °C sıcaklık ve %80 bağıl nem koşullarında gerçekleşmiştir. Tüm sıcaklık ve %60 bağıl nem koşulları için peletlerin nem içeriği test sonunda hemen hemen değişmemiştir. Peletlerin denge nemine gelme süreleri ortam sıcaklık ve nem koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Peletlerin nem alma durumlarının belirlenmesi için yapılan testler sonunda elde edilen sonuçlar Fasina (2008) tarafından elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Peletleme işleminden sonra peletler yine de uzun süreli yüksek neme maruz bırakılmamalı ya da kesinlikle su ile teması önlenmelidir.



Şekil 10. Pelet nem içeriklerinin 40 °C ve %45, 60 ve 80 bağıl nem şartlarında değişimi

SONUÇ

Fındık zurufu artıklarının laboratuvar ölçekli peletleme makinesinde peletlenmesi ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Materyaller herhangi bir yapıştırıcı kullanılmadan oldukça yüksek kalitede peletlenmiştir.
- Peletlerin parça ve hacim yoğunlukları oldukça yüksek elde edilmiştir.
- Peletlerin dayanıklılık ve darbe direnci değerleri oldukça yüksektir.
- Peletlerin Avrupa Birliği standartlarına uygun olduğu görülmüştür.
- Peletleme makinesinin pelet üretim kapasitesi 67 kg/h bulunmuştur.
- Peletler düşük nem koşullarında nem kaybederken, yüksek nem koşullarında ise nem almışlardır.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Ahn, B. J., Chang, H., Lee, S. M., Choi, D. H., Cho, S. T., Han, G., Yang, I., 2014. Effect of Binders on the Durability of Wood Pellets Fabricated from Larix kaemferi C. and Liriodendron Tulipifera L. Sawdust. *Renewable Energy*, 62: 18-23.
- Balasubramanian, D., 2000. Physical Properties of Raw Cashew Nut. *Journal of Agricultural Engineering Reserach*, 78: 291-297.
- Bergström, D., Israelson, S., Öhman, M., Dahlqvist, S., Gref, R., Boman, C., Wasterlund, I. 2008. Effects of Raw Material Particle Size Distribution on the Characteristics of Scots Pine Sawdust Fuel Pellets. *Fuel Processing Technology*, 89: 1324-1329.
- 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. J., 2006. Compaction of Switchgrass for Value Added Utilization. M. Sc. Thesis, The Graduate Faculty of Auburn University, 132 p.
- Dok, M., 2014. Karadeniz Bölgesinin Tarımsal Atık Potansiyeli ve Bunlardan Pelet Yakıt Olarak Yararlanılması. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, 28-29 Mayıs, Samsun, 211-222.
- EN 14774-2. 2009. Solid Biofuels. Determination of Moisture Content. Oven Dry Method. Total Moisture. Simplified method.
- EN 14961-2. 2013. European Pellet Council. Handbook for the Certification of Wood Pellets for Heating Purposes, Version 2.0.
- EN 15103. 2009. Solid Biofuels. Determination of Bulk Density
- EN 15210-1. 2009. Solid Biofuels. Determination of Mechanical Durability of Pellets and Briquettes – Part 1: Pellets
- EN 16127. 2012. Solid biofuels. Determination of length and diameter of pellets
- Fasina, O.O. 2008. Physical Properties of Peanut Hull Pellets. *Bioresource Technology*, 99: 1259-1266.
- Garcia-Maraver, A., Popov, V., Zamorano, M. 2011. A Review of European Standards for Pellet Quality. *Renewable Energy*, 36: 3537-3540.
- Guney, M. S., 2013. Utilization of Hazelnut Husk as Biomass. *Sustainable Energy Technology and Assessments*, 4: 72-77.
- Gürdil, G.A.K., Demirel, B., Acar, M., Dok, M. 2014. Samsun'da Tarımsal Faaliyetler Sonucu Açığa Çıkan Bazı Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Briketlerin Özellikleri. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, 28-29 Mayıs, Samsun, 123-130.
- Holm, J. K., Henriksen, U. B., Hustad, J. E., Sorensen, L. H., 2006. Toward an Understanding of Controlling Parameters in Softwood and Hardwood Pellet Production. *Energy and Fuel*, 20: 2686-2694.
- Kaliyan, N., Morey, R. V., 2009. Factor Affecting Strength and Durability of Densified Biomass Products. *Biomass and Bioenergy*, 33: 337-359.
- Kashaninejad, M., Tabil, L. G., Knox, R., 2014. Effect of Compressive Load and Particle Size on Compression Characteristics of Selected Varieties of Wheat Straw Grinds. *Biomass and Bioenergy*, 60: 1-7.
- Lehtikangas, P., 2001. Quality Properties of Pelletized Sawdust, Logging Residues and Bark. *Biomass and Bioenergy*, 20: 351-360.
- Lestander, T. A., Finell, M., Samuelsson, R., Arshadi, M., Thyrel, M. 2012. Industrial Scale Biofuel Pellet Production from Blends of Unbarked Softwood and Hardwood Stems—The Effects of Raw Material Composition and Moisture Content on Pellet Quality. *Fuel Processing Technology*, 95: 73-7.
- Mani, S., Tabil, L. G., Sokhansanj, S., 2003. An Overview of Compaction of Biomass Grinds. *Powder Handling and Process*, 15: 160-168.
- Mani, S., Tabil, L. G., Sokhansanj, S., 2006. Effects of Compressive Force, Particle Size and Moisture Content on Mechanical of Biomass Pellets from Grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30: 648-654.
- Miranda, M. T., Arranz, J. I., Roman, S., Rojas, S., Montero, I., Lopez, M., Cruz, J. A., 2011. Characterization of Grape Pomace and Pyrenean Oak Pellets. *Fuel Processing Technology*, 92: 278-283.
- Miranda, M. T., Arranz, J. I., Montero, I., Roman, S., Rojas, C.V., Nogales, S., 2012. Characterization and Combustion of Olive Pomace and Forest Residue Pellets. *Fuel Processing Technology*, 103: 91-96.
- Nilsson, D., Bernesson, S., Hansson, P. A., 2011. Pellet Production from Agricultural Raw Materials – A Systems Study. *Biomass and Bioenergy*, 35: 679-689.
- Pietsch, W. 2002. Agglomeration Processes: Phenomena, Technologies, Equipment. Weinheim: Wiley-VCH, 614 p.
- Razuan, R., Finney, K. N., Chen, Q., Sharifi, V. N., Swithenbank, J., 2011. Pelletised Fuel Production from Palm Kernel Cake. *Fuel Processing Technology*, 92(3): 609-615.
- Santamarta, L. C., Chaney, K., Godwin, R. J., White, D. R., 2012. Physical Quality Changes During the Storage of Canola (*Brassica Napus L.*) Straw Pellets. *Applied Energy*, 95: 220-226.
- Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M., Portero, H., 2011. Effect of Moisture Content, Particle Size and Pine Addition on Quality Parameters of Barley Straw Pellets. *Fuel Processing Technology*, 92: 699-706.
- Sokhansanj, J., Turhollow, A. F., 2004. Biomass Densification-Cubing Operations and Cost for Corn Stover. *Applied Engineering in Agriculture*, 20: 495-499.
- Stelte, W., Holm, J. K., Sanadi, A. R., Barsberg, S., Ahrenfeldt, J., Henriksen, U. B., 2011. Fuel Pellets From Biomass: The Importance of the Pelletizing Pressure and Its Dependency on the Processing Conditions. *Fuel*, 90, 3285-3290.
- Tabil, L. G., Sokhansanj, S., 1996. Process Conditions Affecting the Physical Quality of Alfalfa Pellets. *Applied Engineering in Agriculture*, 12: 345-350.

- Tabil, L. G., Sokhansanj, S., 1997. Bulk Properties of Alfalfa Grind in Relation to Its Compaction Characteristics. *Applied Engineering in Agriculture*, 13: 499-505.
- Theeraratnanon, K., Xu, F., Wilson, J., Ballard, R., McKinney, L., Staggenborg, S., Vadlani, P., Pei, Z. J., Wang, D., 2011. Physical Properties of Pellets Made from Sorghum Stalk, Corn Stover, Wheat Straw, and Big Bluestem. *Industrial Crops and Products*, 33(2): 325-332.
- TUİK. 2015. Bitkisel Üretim İstatistikleri, Tarım ve Orman Alanları, Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr> . [Son erişim tarihi: 22.05.2015]
- Tumuluru, J. S., Wright, C. T., Hess, J. R., Kenney, K. L., 2011. A review of Biomass Densification systems to Develop Uniform Feedstock Commodities for Bioenergy Application. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5: 683-707.
- Werther, J., Sanger, M., Hartge, E. U., Ogada, T., Siagi, Z., 2000. Combustion of Agricultural Residues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26: 1-27.
- Zeytin, S., Baran, A. 2003. Influences of Composted Hazelnut Husk on Some Physical Properties of Soils. *Bioresource Technology*, 88: 241-244.