



## Çay Fabrikası Atıklarının Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Sefai BİLGİN<sup>1</sup> Abdülkadir KOÇER<sup>2</sup> Hasan YILMAZ<sup>1</sup>  
Mustafa ACAR<sup>3</sup> Mahmut DOK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya

<sup>2</sup> Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Antalya

<sup>3</sup> Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Enerji Tarımı Araştırma Merkezi, Samsun  
e-posta: sbilgin@akdeniz.edu.tr

Alındığı tarih (Received): 08.08.2016

Online Baskı tarihi (Printed Online): 29.08.2016

Kabul tarihi (Accepted): 22.08.2016

Yazılı baskı tarihi (Printed): 31.08.2016

**Öz:** Çalışmada, çay fabrikası atıkları katı yakıt olarak kullanılmak üzere peletlenmiştir. Ögütülmüş çay atıkları, %12.68 nem içeriğinde ve 0.62 mm geometrik ortalama çapında ve laboratuvar ölçekli 3 kW güçlü pelet makinesinde çevre şartlarında peletlenmiştir. Peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özellikleri olarak hacim yoğunluğu, parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, darbe dayanım direnci, basınç direnci ve nem alma durumu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, pelet makinesinin kapasitesi ölçülmüştür. Fiziksel testler öncesinde peletler 7 gün süre ile 24 °C sıcaklık ve %55 bağıl nem şartlarında bekletilmiştir. Çalışma sonunda, ortalama 6.1 mm çapında, 23.5 mm uzunluğunda ve kütlesi 0.8 g peletler elde edilmiştir. Çay peletlerinin hacim ve parça yoğunluğu 601 kg m<sup>-3</sup> ve 1158 kg m<sup>-3</sup>, mekanik dayanıklılık direnci %81 ve basınç direnci 476 N bulunmuştur. Peletlerin nem alma direnci ortam sıcaklığı ve nemine bağlı olarak değişmiştir. Peletler düşük sıcaklık ve bağıl nem koşullarında nem kaybetmiştir. Çay peletlerinin fiziksel testler sonucu sağlam yapıda olduğu görülmüştür. Pelet makinesinin kapasitesi 46 kg h<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokütle, çay atıkları, pelet

### Pelleting of the Tea Factory Wastes and Determination of Pellet Physical Properties

**Abstract:** In this study, the tea factory wastes were pelleted for the utilization as a solid fuel. The moisture content and geometric mean diameter of ground tea wastes were 12.68% and 0.62 mm, respectively. A laboratory-scale pelleting machine with an electrical motor powers of 3 kW was used for pelleting of raw material. Physical properties related to pellet quality such as bulk density, particle density, durability, compressive resistance and moisture sorption of pellets were determined. Also, the average capacity of the pelleting machine was measured. The pellets were stored under ambient conditions of 24 °C temperature and 55% relative humidity during 7 days before testing. At the end of study, the average diameter, length and mass of the pellets were 6.1 mm, 23.5 mm and 0.8 g, respectively. The average bulk density, particle density, durability and compressive resistance of pellets were found as 601 kg m<sup>-3</sup>, 1158 kg m<sup>-3</sup>, 81% and 476 N, respectively. Moisture content of pellets were decreased at low temperature and relative humidity conditions. As a result, physical tests showed that produced pellets were strong. The average pellet production capacity of the pelleting machine was found to be 46 kg h<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Biomass, tea waste, pellet

#### 1. Giriş

Türkiye dünya çay üretiminde ilk sıralarda yer almakta olup, üretim alanı hemen hemen aynı kalmasına rağmen üretim miktarı artış göstermektedir (TUİK 2016). Son 10 yıla ait çay üretim alanları ve üretim miktarları Çizelge 1'de

verilmiştir. Özellikle çay tarımının yapıldığı Doğu Karadeniz bölgesinde yaş çay yaprağının siyah çaya dönüştürülmesi sırasında organik kökenli çöp, lif ve tozdan oluşan katı atıklar ortaya çıkmaktadır (Şekil 1). Çay yapraklarının işlenmesi sırasında, özellikle tasnif aşamasında %3.5

oranında çay yaprak atıkları ortaya çıkmakta ve çok az bir bölümü yakıt olarak değerlendirilirken geriye kalan önemli bir kısmı dere ve deniz kenarlarına dökülerek imha edilmekte ve çevre

kirliliğine yol açmaktadır (Yalınkılıç ve ark.1996). Karadeniz Bölgesinde yer yıl yaklaşık olarak kuru bazda 30 bin ton çay atığı çıkmaktadır (Dok 2014).



**Şekil 1.** Çay üretimi atıkları  
*Figure 1. Tea production wastes*

Çay atıklarının değerlendirilmesi üzerine birçok çalışmalar yürütülmüş olup, bu çalışmaların geneli organik gübre (kompost) veya kafein üretimi üzerine yoğunlaşmıştır (Yalınkılıç ve ark. 1996; Aşık ve Kütük 2012; Altun 1998; Öksüz ve Demirci 1984).

Tarımsal artıkların hem dünyada hem de ülkemizde enerji kaynağı olarak katı yakıt formunda değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Tarımsal artıkların, özellikleri iyileştirilmiş katı enerji kaynağı olarak kullanılmasında en etkin yollardan birisi de pelet haline getirilmesi işlemidir. Peletleme işlemi ile materyalin yoğunluğu artmakta, taşıma, depolama ve nakliye masrafları azalmakta, boyut ve şekilde homojenlik sağlanmakta, ısıl amaçlı kullanımlarda yakma sistemlerine otomatik olarak beslenebilmekte ve böylelikle materyalin daha etkin bir şekilde kullanımı sağlanmaktadır (Werther ve ark. 2000; Mani ve ark. 2003; Holm ve ark. 2006; Nilsson ve ark. 2011; Theerarattananoon ve ark. 2011; Celma ve ark. 2012).

Biyokütle peletlerinin fiziksel özelliklerinin bilinmesi özellikle taşıma, depolama ve nakliye işlemleri açısından oldukça önemlidir. Peletlerin fiziksel özellikleri biçim, çap ve uzunluk olarak boyutları, hacim ve parça yoğunluğu, sertliği ve

dayanıklılığıdır (Balasubramanian 2000). Peletlerin uzunluk ve çap gibi boyutları yakma işlemleri ve yakma sistemlerinin tasarımı açısından oldukça önemlidir. İnce peletler özellikle küçük kapasiteli yakma sistemlerinde daha iyi bir yanma oranı sağlarken, pelet uzunluğu yakıtın otomatik olarak yakma sistemine beslenmesi açısından önem arz etmekte, daha kısa peletler daha rahat bir akış sağlamaktadırlar (Lehtikangas 2001). 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 ve Turhollow 2004). Peletlerin son kullanıcıya gelinceye kadar dayanıklı kalması oldukça önemlidir. Yüksek dayanıklılığa sahip peletler özellikle nakliyede, taşınmada ve depolama 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 ve Sokhansanj 1996; Tabil ve Sokhansanj 1997).

Mani ve ark. (2003) peletleme işlemine etkili faktörlerin hammadde nem içeriği, parçacık boyutu ve sıcaklık olduğunu belirtmişlerdir. Hammadde nem içeriği, pelet yoğunluğunun ve dayanıklılığının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Sağlam ve dayanıklı pelet üretimi için materyal neminin en uygun değerinde olması gerekmekte, fakat en uygun nem içeriği tamamen materyal çeşidine bağlı olarak değişmektedir. İyi bir pelet kalitesi için parçacık boyutunun, materyal çeşidine bağlı %10-20'sinin oldukça küçük partiküllerden oluşması koşulu ile ortalama çapın 0.5-0.8 mm arasında olması gerekmektedir (Turner 1995; Grower ve Mishra 1996; Franke ve Rey 2006).

Biyokütlelerin peletlenmesi ile ilgili olarak yürütülen birçok araştırmada, farklı materyaller ve peletleme makineleri 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 ve ark. 2006). Pelet yoğunluğu 850-1250 kg m<sup>-3</sup> arasında değişmiş ve yoğunluk sıkıştırma basıncı ve sıcaklığın artması ve parçacık boyutunun azalması ile artmış, nem içeriğinin artması ise yoğunluğu olumsuz olarak etkilemiştir.

Bergström ve ark. (2008), Stelte ve ark. (2011) ve Lestander ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmalarda farklı biyokütle ürünleri (sarıçam, kayın, ladin talaşı ve buğday samanı) peletlenmiştir. Materyal parçacık boyutundaki azalma peletleme için ihtiyaç duyulan basıncı artırırken, nem içeriğinin etkisi tamamen materyal çeşidine bağlıdır. Elde edilen peletlerin yoğunluğu yaklaşık 1270 kg m<sup>-3</sup>'e kadar çıkarken, daha yüksek basınç artışları pelet yoğunluğunu fazla etkilememiştir.

Stahl ve Berghel (2011) tarafından yapılan çalışmada odun talaşı, kolza küspesi ve karışımı peletlenmiştir. Elde edilen peletlerin mekanik dayanımı, uzunluğu, nem içeriği ve hacim yoğunluğu belirlenmiştir. Karışım içerisindeki daha küçük boyutlu kolza küspesi oranının

artması makinenin enerji tüketimini, peletlerin mekanik dayanımını ve pelet hacim yoğunluğunu azaltmıştır.

Biswas ve ark. (2014) laboratuvar ölçekli bir peletleme makinesinde iki farklı nem içeriğinde (%10 ve %12) ve dört farklı kalıp sıcaklığında çam talaşını peletlemişlerdir. Pelet parça yoğunlukları yaklaşık 1200 kg m<sup>-3</sup> bulunmuştur.

Bilgin ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada %14 nem içeriğine ve 1.023 mm geometrik ortalama çapa sahip fındık zurufları laboratuvar ölçekli 3 kW motor gücüne sahip pelet makinesinde peletlenmiştir. Fındık zuruflu peletlerinin parça ve hacim yoğunluğu sırası ile ortalama 1307 kg m<sup>-3</sup> ve 724 kg m<sup>-3</sup> bulunmuştur. Pelet mekanik dayanıklılık direnci ve darbe dayanım direnci değerleri sırası ile %97.72 ve %99.60 olarak belirlenmiştir. Peletlerin nem alma durumu özellikle havanın bağıl nemine bağlı olarak değişmiş ve düşük nem koşullarında peletlerin bir miktar nem kaybettikleri saptanmıştır. Pelet makinesinin kapasitesi 67 kg h<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur.

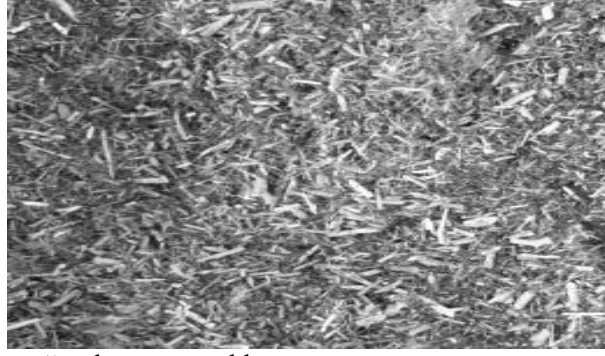
Bu çalışmada çay üretimi sonrası fabrikada ortaya çıkan çay atıklarının kurutulup öğütüldükten sonra laboratuvar ölçekli, düz kalıp dairesel sıralı delikli bir peletleme makinesinde peletlenmesi ve pelet kalitesi ile ilgili yoğunluk, mekanik dayanıklılık direnci, basınç direnci ve nem alma durumu gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ayrıca peletleme makinesinin pelet üretim kapasitesi belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada, pelet üretimi 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 çay atıkları kullanılmıştır (Şekil 2).

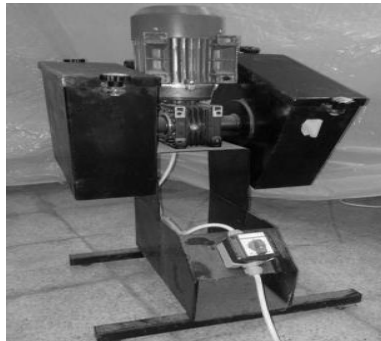


**Şekil 2.** Kurutulmuş ve öğütülmüş çay atıkları  
*Figure 2. Dried and ground tea wastes*

Materyalin peletlenmesi için laboratuvar ölçekli, düz kalıp dairesel delikli, kalıp delik çıkış çapı 6 mm, 2 adet sıkıştırma silindire sahip, sıkıştırma silindiri devri  $86 \text{ min}^{-1}$  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).



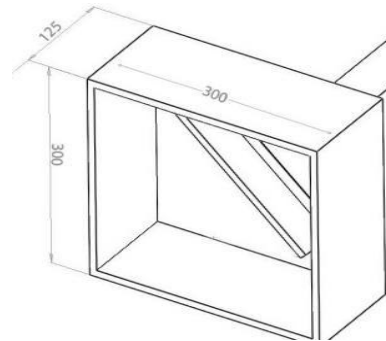
**Şekil 3.** Peletleme makinesi  
*Figure 3. Pelletting machine*



**Şekil 4.** Dayanıklılık direnci test düzeneği  
*Figure 4. Durability test device*

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.

Peletlerin dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesi için EN 15210-1 (2009) standardına göre yapılmış, motor gücü 0.37 kW, motor redüktör devri  $50 \text{ min}^{-1}$ , 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).



Peletlerin nem alma durumlarının belirlenmesinde sıcaklık çalışma sınırları +10.....+60°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ), nem çalışma sınırları %20....%95 ( $\pm \%5$ ), zaman ayarlı, maksimum güç değeri 2.0 kW ve kullanılabilir hacmi 252 litre olan İklimlendirme Test Kabini kullanılmıştır.

Peletlerin basınç direncinin (sertlik) belirlenmesinde 60 ton kapasiteli, üzerinde 60 tona kadar uygulanan yükleri ölçebilen yük hücresi bulunan, valf ayarları değiştirilerek uygulama yükü minimum 10000 N ve piston ilerleme hızı 1 mm s<sup>-1</sup> olan ve uygulanan yüklerin anında bilgisayara aktarılıp izlenebildiği hidrolik tip basınç direnci test cihazı kullanılmıştır.

## 2.2. Metot

### *Materyalin peletlenmesi*

Çay atıkları fabrikadan alınarak 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 2’de verilmiştir.

Peletleme denemelerine geçilmeden önce kalıp delikleri daha önceki denemelerden kalan sıkışmış materyallerden temizlenmiştir. Daha sonra peletleme makinesi çalıştırılmış ve materyaller besleme ünitesine sürekli olarak elle beslenmiştir. Materyaller, kalıp deliklerinde yavaş yavaş sıkışmaya başlamış ve yaklaşık bir dakikanın sonunda peletler elde edilmiştir. Deneme sonunda ortalama 6.1 mm çapında, 23.5 mm uzunluğunda ve kütlesi 0.8 g olan peletler elde edilmiştir (Şekil 5).



**Şekil 5.** Çay atığı peletleri  
**Figure 5.** Tea waste pellets

### *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<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

### *Pelet kalitesi ile ilgili özellikler ve testler*

Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak parça ve hacim yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, darbe dayanım direnci, basınç direnci ve nem alma durumu belirlenmiştir. Fiziksel testler öncesinde peletler 7 gün süre ile 24 °C sıcaklık ve %55 bağıl nem 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 litre 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 kütlesinin kabın hacmine oranlanması ile kg m<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır.

### *Pelet parça yoğunluğu*

Peletlerin parça yoğunlukları EN 16127 (2012) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde 80-100 g kütleye sahip pelet örnekleri (yaklaşık 100 adet) rastgele alınmış ve her bir peletin çapı, uzunluğu ve kütlesi ölçülerek kaydedilmiştir. Pelet parça yoğunluğu, pelet kütlesinin pelet hacmine bölünmesi ile kg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

### *Pelet dayanıklılık direnci*

Peletlerin mekaniksel 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 elenmiş ve elek üzerinde kalan 500±10 g pelet örnekleri test cihazına yerleştirilmiş ve 10 dakika süreyle 50±2

min<sup>-1</sup>'da döndürülmüştür. Test sonrası peletler dışarı alınmış ve 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek kullanılarak tekrar elenmiştir. Peletlerin mekanik dayanıklılık dirençleri test öncesi ve sonrası meydana gelen kütle kaybına bağlı yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

#### ***Pelet basınç direnci***

Pelet basınç direnci, peletin kırılmadan (parçalanmadan) önceki dayanabileceği maksimum kırılma yükü olarak tanımlanmakta ve pelet sertliği çoğunlukla basınç direnci (sıkıştırma direnci) testi yoluyla belirlenmektedir (Kaliyan ve Morey 2009). Sertlik değeri en yüksek olan pelet, yüksek kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Celma ve ark. 2012). Bu teste, pelet örneklerinden 10 adet pelet ayrı ayrı iki plaka arasına yerleştirilmiş ve yukarıdan tek yönlü sıkıştırma kuvveti uygulanmıştır. Uygulanan sıkıştırma kuvveti sabit oranda artarak pelet kırılıncaya kadar devam etmiş ve uygulama yükleri test süresince bilgisayara aktarılmıştır. Test öncesi pelet çap ve uzunlukları dijital kumpas ile ölçülerek kaydedilmiştir. Peletlerin basınç direnci N, peletlerin özgül basınç direnci ise basınç direncinin pelet uzunluğuna oranlanması yoluyla N mm<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### ***Pelet nem alma durumu***

Peletlerin nem alma durumları iklimlendirme test kabini kullanılarak belirlenmiştir. Bu teste 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. Pelet örnekleri her saatte dışarı alınarak tartılmış ve kütleleri kaydedilmiştir. Gece süresince ölçüm alma imkanı olmadığından sabah 09:00'da tekrar veri alınmaya devam edilmiştir. Pelet kütlelerinde saatlik 0.01 gramdan daha fazla değişim meydana gelmediği durumda test sonlandırılmıştır (Fasina 2008). Test sonrası peletlerin nem içerikleri belirlenmiştir.

### **3. Sonuçlar Ve Tartışma**

Çay üretimi sonrası ortaya çıkan atık materyalinin laboratuvar ölçekli peletleme makinesinde peletlenmesi ile elde edilen peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özellikleri ve makine kapasitesi ile ilgili sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Fiziksel test öncesi çay atığı peleti nem içeriği %8.4 olarak belirlenmiştir. Peletleme işlemi süresince sürtünmelere bağlı olarak oluşan sıcaklık yükselmesi %12.68 olan materyal nem içeriğinin düşmesine neden olmuştur. Avrupa Pelet Konseyinin hem odun ve türevlerinden elde edilen hem de diğer bitkisel materyallerden elde edilen peletler için pelet standartları (odun ve türevleri için ENplus-A1, ENplus-A2 ve EN-B ve endüstriyel olmayan kullanımlar için odunsu olmayan peletler) açıklanmıştır (EN 14961-6 2010; EN 14961-2 2013). Bu standartlar incelendiğinde, pelet nem içeriğinin odun ve türevleri için ≤10, odunsu olmayanlar (tarımsal ürünler, enerji bitkileri vb.) için ise ≤10 ve ≤12 olması gerektiği belirtilmiştir. Peletlerin 7. gün nem içerikleri incelendiğinde standartlara uygun olduğu görülmüştür.

Peletlerin yoğunlukları incelendiğinde ise hem parça yoğunluğunun hem de hacim yoğunluğunun yüksek olduğu belirlenmiştir. Çay üretimi sonrası ortaya çıkan atıkların peletlenmesi ile parça yoğunluğu dikkate alındığında, hammadde yoğunluğuna göre yaklaşık 5.7 kat, hacim yoğunluğuna göre ise 3 kat daha yüksek 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 m<sup>-3</sup>, pelet hacim yoğunlukları ise 350-640 kg m<sup>-3</sup> aralığında elde edilmiştir (Colley ve ark. 2006; Mani ve ark. 2006; Bergström ve ark. 2008; Fasina 2008; Razuan ve ark. 2011; Theerarattananoon ve ark. 2011; Celma ve ark. 2012). Görüldüğü gibi çay üretim artıklarının peletlenmesi ile elde edilen yoğunluk sonuçları literatür verilerinin üzerinde yer almıştır. Avrupa Pelet Konseyi tarafından pelet kalitesi ile ilgili standartlarda yoğunluk

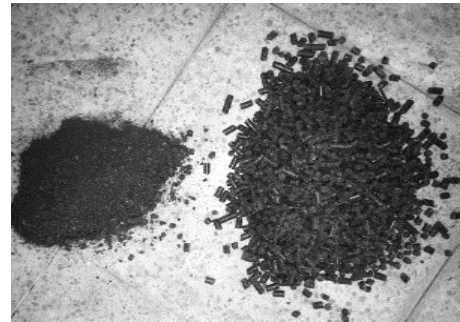
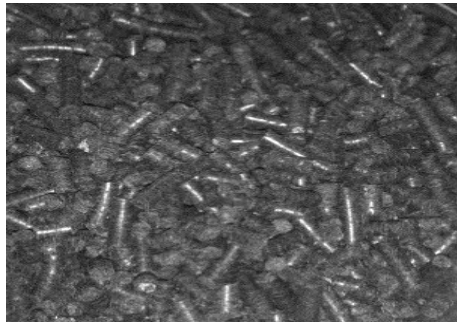
olarak sadece hacim yoğunluğu dikkate alınmaktadır. Konsey tarafından hacim yoğunluğu için odun ve türevi talaşları için belirlenen ENplus-A1, Enplus-A2 ve EN-B sınıfı pelet standartlarında pelet hacim yoğunluğunun  $\geq 600 \text{ kg m}^{-3}$ , tarımsal artıklar ve enerji bitkileri için ise  $\geq 550-600 \text{ kg m}^{-3}$  olması gerektiğini belirtmiştir (EN 14961-6 2010; EN 14961-2 2013). Pelet hacim yoğunluğu için elde edilen sonuçlar standartlara uygun bulunmuştur.

Pelet mekanik dayanıklılık (durability) direnci peletlerin özellikle mekanik ya da pnömatik sistemlerle taşıma özelliklerinin tanımlanması açısından önemlidir. Mekanik dayanıklılık direnci testleri peletleme tesislerinde sıkıştırma işleminin, dolayısı ile pelet kalitesinin kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır. Yüksek mekanik dayanıklılık direncine sahip peletler yüksek kaliteli peletler olarak tanımlanmaktadır (Kaliyan ve Morey 2009).

Çizelge 3'de görüldüğü gibi peletlerin mekanik dayanıklılık direnci değeri %81 olarak belirlenmiştir. Tabil ve Sokhansanj (1996) ile Tabil ve Sokhansanj (1997) pelet dayanıklılık direncinin %80 ve üzeri olması durumunda pelet

kalitesinin iyi olduğunu belirtmiştir. Ancak, Avrupa Pelet Konseyi ENplus-A1 ve ENplus-A2 sınıfı pelet standartlarında odun ve türevi peletlerinin dayanıklılık direncinin  $\geq 97.5$ , EN-B sınıfı odun ve türevi pelet standartlarında  $\geq 96.5$  ve tarımsal materyaller ve enerji bitkileri için ise materyal çeşidine bağlı olarak  $\geq 96$  ve  $\geq 97.5$  olması gerektiğini belirtmiştir (EN 14961 6 2010; EN 14961-2 2013). Dolayısı ile peletlerin mekanik dayanıklılık açısından standartları sağlamadığı ve elde edilen değerler oldukça düşük olduğu görülmektedir. 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 ve ark. 2011; Serrano ve ark. 2011; Miranda ve ark. 2012; Celma ve ark. 2012; Ahn ve ark. 2014; Kashaninejad ve ark. 2011; Tumulu ve ark. 2011). Dayanıklılık direnci için elde edilen sonuçlar literatür verilerinin altında kalmıştır.

Çay peletlerinin mekanik dayanıklılık direnci test öncesi ve test sonrası görünüşleri Şekil 6'da verilmiştir.



**Şekil 6.** Peletlerin dayanıklılık direnci test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümü

**Figure 6.** A view of pellets before (a) - after (b) durability testing

Peletlerin mekanik dayanıklılık direnci test öncesi ve sonrası görünüşleri incelendiğinde, dayanıklılık direnci testinde peletlerde kırılmaların ve pelet uçlarında ufalanmaların meydana geldiği görülmüş, ancak yine de pelet özelliklerini kaybetmemişlerdir. Peletlerde kırılmalar meydana gelmiş olmasına rağmen, kırılan parçalar 3.15 mm delik çapına sahip elek

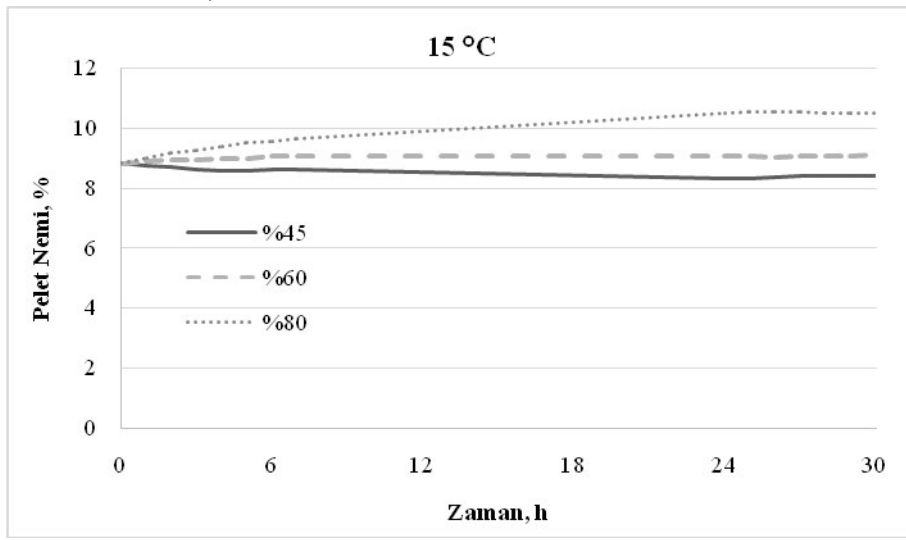
üzerinde kaldığı için kayıp olarak değerlendirilmemiştir. Pelet uçlarında meydana gelen ufalanmaların çok fazla olması ve ufalanmış parçaların 3.15 mm elek altında kalması kayıpları oldukça artırmıştır.

Peletlerin basınç dirençleri, peletlerin ambalaj paketleri veya silolarda depolanması, taşıma ve nakliye süresince üstteki peletlerin alttakilere

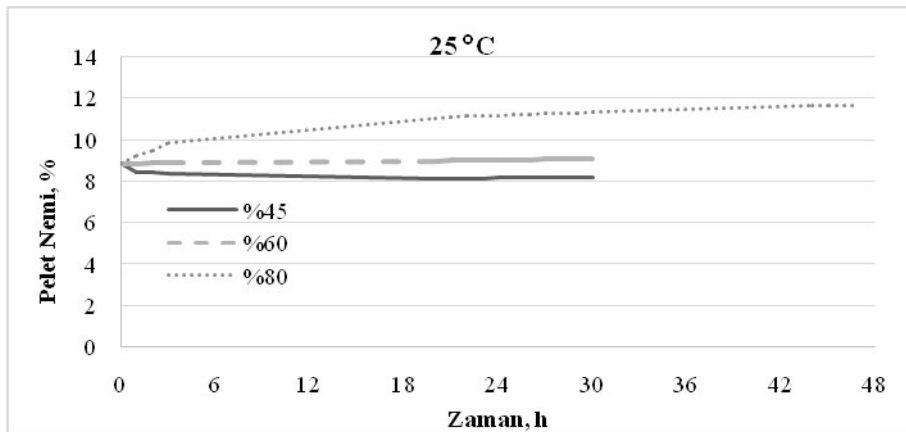
uygulamış olduğu yüklerin simülasyonu için yapılmaktadır (Kaliyan ve Morey 2009). Peletlerin basınç ve özgül basınç direnci değerleri 476 N ve 18.67 N mm<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Celma ve ark. (2012) domates posasından elde ettikleri peletler için en yüksek basınç direnci değerini 88 N olarak, Garsia-Maraver ve ark. (2010) zeytin dalı ve yaprakları için basınç direncini 40-220 N arasında, Bilgin ve ark. (2015) fındık zurufu peleti için basınç direncini 3040 N olarak belirlemiştir. Görüldüğü gibi basınç direnci için elde edilen değerler Celma ve ark. (2012) ve Garsia-Maraver ve ark. (2010) tarafından elde

edilen değerlerin üzerinde, Bilgin ve ark. (2015) tarafından elde edilen değer oldukça altında kalmıştır. Bergström ve ark. (2008) farklı biyokütle peletleri için özgül sıkıştırma direnci değerlerinin 40.1-61.2 N mm<sup>-1</sup> arasında değiştiğini belirlemiştir. Özgül basınç direnci açısından elde edilen değerler literatür verilerinin altında kalmıştır.

Çay atığı peletlerinin farklı sıcaklık ve nem koşullarında iklimlendirme kabiniinde bekletilmesi sonucu elde edilen saatlik nem değişimleri Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir

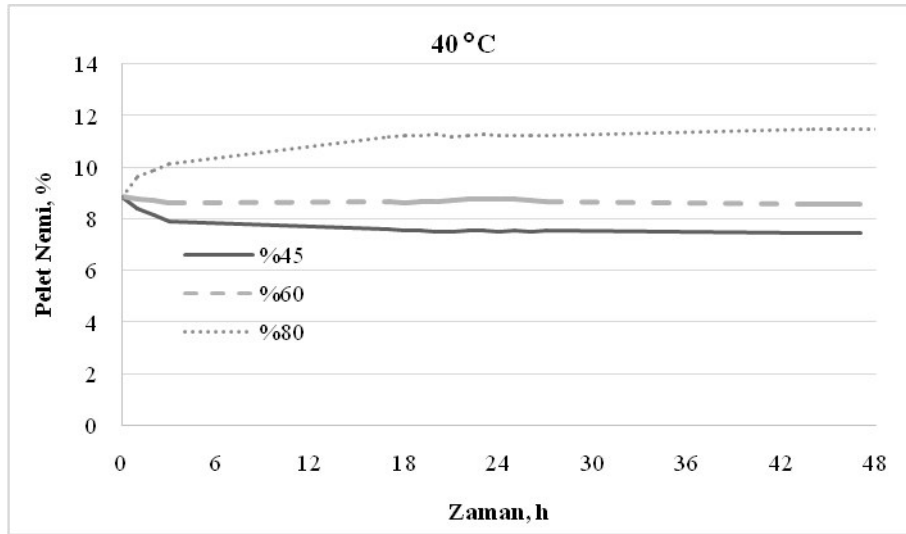


**Şekil 7.** Pelet nem içeriğinin 15 °C sıcaklık ve %45, 60 ve 80 bağıl nem şartlarında değişimi  
**Figure 7.** The change of pellet moisture content at 15 °C temperature and %45, 60 ve 80 relative humidity



**Şekil 8.** Pelet nem içeriğinin 25 °C sıcaklık ve %45, 60 ve 80 bağıl nem şartlarında değişimi  
**Figure 8.** The change of pellet moisture content at 25 °C temperature and %45, 60 ve 80 relative humidity





**Şekil 9.** Pelet nem içeriğinin 40 °C sıcaklık ve %45, 60 ve 80 bağıl nem şartlarında değişimi  
**Figure 9.** The change of pellet moisture content at 40 °C temperature and %45, 60 ve 80 relative humidity

Peletlerin nem alma ya da verme durumları incelendiğinde, ortam koşullarından çok fazla etkilenmedikleri görülmüştür. Peletler, başlangıç nem içeriğine bağlı olarak, 15-25 °C sıcaklık ve %45 bağıl nem ve 40 °C sıcaklık ve %45-60 bağıl nem koşullarında nem kaybederken diğer ortam koşullarında nem almıştır. Aynı sıcaklık koşulları için ortamın bağıl nemi arttıkça peletlerin nem alma durumları artmıştır. Bu artış %80 bağıl nem koşullarında tüm sıcaklık değerleri için daha belirgindir. Peletlerin nem alma ya da verme durumu üzerine, peletlerin başlangıç nem içeriğine bağlı olmakla birlikte, ortam bağıl nemi daha çok etkili olmaktadır. Peletlerde en fazla nem kaybı 40 °C ve %45 bağıl nem koşullarında olurken, en fazla nem alma ise 25 °C ve %80 bağıl nem koşullarında olmuştur. Tüm sıcaklık ve %60 bağıl nem koşulları için peletlerin nem içeriği test sonuna kadar 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) ve Bilgin ve ark. (2015) tarafından elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Kaliyan ve Morey (2009) peletlerin %60-70 nem aralığında

ve 25 °C oda sıcaklığında ya da altında depolanması gerektiğini belirtmiştir.

Makine kapasitesi özellikle materyal çeşidine, materyal parçacık boyut dağılımına, materyal nem içeriğine, materyalin makineye beslenme şekline ve beslenen materyal miktarına bağlı olarak değişmektedir. Peletleme makinesinin pelet üretim kapasitesi 46 kg h<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Makine kapasitesinin makine elektrik motor gücünün oldukça düşük olmasına rağmen yine de oldukça iyi olduğu söylenebilir. Bilgin ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada aynı makinede fındık zuru peleti için makine kapasitesi 67 kg h<sup>-1</sup> bulunmuştur. Bu da materyal özelliklerinin makine kapasitesi üzerine etkisinin önemli olduğunu göstermektedir.

### 3. Sonuç

Çay üretim sonrası ortaya çıkan üretim atıklarının laboratuvar ölçekli peletleme makinesinde peletlenmesi ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Materyaller herhangi bir yapıştırıcı kullanılmadan yüksek kalitede peletlenmiştir.
- Peletlerin parça ve hacim yoğunlukları oldukça yüksek elde edilmiştir.

- Peletlerin mekanik dayanıklılık direnci düşük bulunmuştur.
  - Peletler düşük nem koşullarında nem kaybederken, yüksek nem koşullarında ise nem almışlardır.
- Peletleme makinesinin kapasitesi 46 kg/h bulunmuştur.

### Kaynaklar

- Ahn BJ, Chang H, Lee SM, Choi DH, Cho ST, Han G and 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.
- Altun L (1998). Çay Fabrikası Lifsel Artıklarının Orman Fidanlıklarında Kompostlaştırılması ve Bitkiler İçin Öneminin Araştırılması. KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Aşık BB ve Kütük C (2012). Çay atığı kompostunun çim alanların oluşturulmasında kullanım olanağı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(2): 47-57.
- 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 and 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.
- Bilgin S, Yılmaz H, Koçer A, Acar M ve Dok M (2015). Fındık zuruğunun peletlenmesi ve pelet fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi*, 11: 265-273.
- Biswas AK, Rudolfsson M, Broström M and Umeki K (2014). Effect of pelletizing conditions on combustion behavior of single wood pellet. *Applied Energy*, 119: 79-84.
- Celma AR, Cuadros F and Rodriguez FL (2012). Characterization of pellets from industrial tomato residues. *Food and Bioproducts Processing*, 90: 700-706.
- Colley ZJ (2006). Compaction of Switchgrass for Value Added Utilization. M. Sc. Thesis, The Graduate Faculty of Auburn University.
- Dok M (2014). Karadeniz Bölgesinin tarımsal atık potansiyeli ve bunlardan pelet yakıt olarak yararlanılması. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, 28-29 Mayıs 2014, s. 211-222, Samsun.
- EN 14961-2 (2013). Solid Biofuels - Fuel Specification and Classes – Part 2: Wood Pellets for Non-Industrial Use.
- EN 14961-6 (2010). Non-Woody Pellets for Non-Industrial Use.
- 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 OO (2008). Physical properties of peanut hull pellets. *Bioresource Technology*, 99: 1259-1266.
- Franke M and Rey A (2006). Pelleting quality. *World Grain*, 78-79.
- Garcia-Maraver A, Ramos-Ridao AF, Ruiz DP and Zamorano M (2010). Quality of Pellets from Olive Grove Residual Biomass. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICRE PQ'10), Granada-Spain.
- Grover PD and Mishra SK (1996). Biomass briquetting: Technology and practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok.
- Holm JK, Henriksen UB, Hustad JE and Sorensen LH (2006). Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellet production. *Energy and Fuel*, 20: 2686-2694.
- Kaliyan N and Morey RV (2009). Factor affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33: 337-359.
- Kashaninejad M and Tabil LG (2011). Effect of microwave-chemical pre-treatment on compression characteristics of biomass grinds. *Biosystem Engineering*, 108(1): 36-45.
- Lehtikangas P (2001). Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, 20: 351-360.
- Lestander TA, Finell M, Samuelsson R, Arshadi M and 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: 73-77.
- Mani S, Tabil LG and Sokhansanj S (2003). An Overview of compaction of biomass grinds. *Powder Handling and Process*, 15: 160-168.
- Mani S, Tabil LG and 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 MT, Arranz JI, Roman S, Rojas S, Montero I, Lopez M and Cruz JA (2011). Characterization of grape pomace and pyrenean oak pellets. *Fuel Processing Technology*, 92: 278-283.
- Miranda MT, Arranz JI, Montero I, Roman S, Rojas CV and Nogales S (2012). Characterization and combustion of olive pomace and forest residue pellets. *Fuel Processing Technology*, 103: 91-96.
- Nilsson D, Bernesson S and Hansson PA (2011). Pellet production from agricultural raw materials – a systems study. *Biomass and Bioenergy*, 35: 679-689.
- Öksüz M ve Demirci M (1984). Türkiye'de çay artıklarından kafein üretimi. *Journal of the Faculty of Agriculture*, 15(1-2): 103-110.

- Razuan R, Finney KN, Chen Q, Sharifi VN and Swithenbank J (2011). Pelletised fuel production from palm kernel cake. *Fuel Processing Technology*, 92(3): 609-615.
- Serrano C, Monedero E, Lapuerta M and 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 and Turhollow AF (2004). Biomass densification-cubing operations and cost for corn stover. *Applied Engineering in Agriculture*, 20: 495-499.
- Stahl M and Berghel J (2011). Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake. *Biomass and Bioenergy*, 35: 4849-4854.
- Stelte W, Holm JK, Sanadi AR, Barsberg S, Ahrenfeldt J and Henriksen UB (2011). Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel*, 90: 3285-3290.
- Tabil LG and Sokhansanj S (1996). Process conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. *Applied Engineering in Agriculture*, 12: 345-350.
- Tabil LG and Sokhansanj S (1997). Bulk properties of alfalfa grind in relation to its compaction characteristics. *Applied Engineering in Agriculture*, 13: 499-505.
- Theerarattananoon K, Xu F, Wilson J, Ballard R, McKinney L, Staggenborg S, Vadlam P, Pei ZJ and 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.
- TÜİK (2016). Bitkisel Üretim İstatistikleri, Tarım ve Orman Alanları. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr> (Erişim 23.05.2016).
- Tumuluru JS, Wright CT, Hess JR and Kenney KL (2011). A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5: 683-707.
- Turner R (1995). Bottomline in feed processing: achieving optimum pellet quality. *Feed Mgmt*, 46: 30-33.
- Werther J, Saenger M, Hartge EU, Ogada T and Siagi Z (2000). Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26: 1-27.
- Yalınkılıç MK, Altun L ve Kalay Z (1996). Çay fabrikaları çay yaprağı artıklarının kompostlaştırılarak orman fidanlıklarında organik gübre olarak kullanılması. *Ekoloji Dergisi*, 18:28-32.