

Karanfil Bitkisi Biyokütle Artıklarının Peletlenmesinde Parça Boyutunun Etkisi

Sevde ALPARSLAN^{1*}, CAN ERTEKİN¹

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

*Sorumlu yazar e-posta: sevdealparslan@gmail.com

Geliş Tarihi (Received): 23.05.2018

Kabul Tarihi (Accepted): 03.10.2018

Özet: Şehirleşme, satın alma gücünün artması, kutlama ve dekorasyon gibi faaliyetlerin modern yaşamla birlikte daha da önem kazanması ve yaygınlaşması karanfil üretiminin artmasına neden olmuştur. Ülkemizde karanfil üretiminde ilk sırada Antalya bölgesi gelmekte, bu durum Antalya bölgesindeki karanfil artık miktarının fazla olduğunu göstermektedir. Artık olarak düşünülen ve hasat sonrası seralarda kalan bu bitki artıkları birer biyokütle kaynağıdır ve belli işlemler sonucunda biyokütle enerjisi elde edilebilmektedir. Bu çalışmada örtü altı yetiştiriciliğinde ortaya çıkan karanfil sapı biyokütle artıklarının bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Seralardan elde edilen karanfil artıkları önce kurutulup, traktör kuyruk milinden hareketli çekiçli değirmende öğütüldükten sonra 7.5 kW elektrik motor gücüne sahip, kapasitesi materyal çeşidine bağlı olarak 70-100 kg/h, düz kalıp dairesel sıralı delikli, kalıp çıkış delik çapı 6 mm olan peletleme makinesinde peletlenmesi, peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneme 3 farklı parçacık boyutlarında (2, 4 ve 6 mm) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak pelet parça ve hacim yoğunluğu, nem içeriği, nem alma durumu, dayanıklılık direnci ve basınç direnci belirlenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında peletleme makinesinin üretim kapasitesi ve enerji tüketim değerleri de ölçülmüştür.

Çalışma sonunda, materyal boyutuna bağlı olarak ortalama 6.3-6.4 mm çap aralığında silindirik peletler elde edilmiştir. Peletlerin yığın ve parça yoğunlukları materyal boyutuna bağlı olarak sırasıyla 591.75-624.02 kg/m³ ve 1098.37-1146.40 kg/m³, dayanıklılık direnci değerleri %94.80-96.40 arasında, nem alma direnci %18.5-20 arasında değişmiştir. Pelet makinesinin üretim kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketim değerleri ise, materyal boyutuna bağlı olarak sırasıyla 89.76-104.8 kg/h ve 6.64-7.37 kWh olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, karanfil, pelet, pelet fiziksel özellikleri

The Effect of Particle Size on the Pelletization of Carnation Plant Biomass Residues

Abstract: Increasing importance and expansion of activities such as urbanization, increasing purchasing power, celebration and decoration together with modern life have caused the increase of carnation production. The clove plant is type of cut flower which is the most producing. Antalya region is the first place in our country in the carnation production. This situation is an indicator that the amount of carnation residue is more in Antalya region. This plant wastes which is thought that is a waste and staying in greenhouses after harvest are a biomass source and can be obtained biomass energy after as a result of certain operations. In this study, the evaluation as an energy sources of clove handle biomass wastes which occur in greenhouse cultivation is intended. The carnation wastes which are obtained from glasshouses are firstly dried, after grind in moving hammer mill from tractor tail shaft with 7.5 kW electric engine power, it's capacity 70-100 kg/h that depends on material type, flat mold circular perforated, the pelletizing in pelletizer machine which has 6 mm mold exit hole diameter, to determine physical properties related with the quality of pellets are intended. The pelleting tests is realized in 3 different particle sizes (the material which grind in hammer mill that sieve hole diameters are 2 , 4 and 6 mm). Related with physical properties of obtained pellets, pellet part and volume density, moisture content, dehumidification situation, endurance resistance and pressure resistance are determined. Furthermore, the production capacity of pelleting machine and energy consumption values as well are measured.

End of study, circular pellets are achieved that diameters are average between 6.3-6.4 mm which depen on material size content. . The bulk and part densities of pellets had changed depen on material size content respectively between 591.75-624.02 kg.m⁻³ and 1098.37-1146.40 kg.m⁻³. The

endurance resistance values had changed between %94.80-96.40 and the most endurance pellet part size 4 mm, had obtained from trial which has content. The production capacity of pelleting machine and the electricity consumption value had changed depen on material size and moisture content respectively between 89.76-104.8 kg.h⁻¹ and 6.64-7.37 kWh.

Key words: Biomass, carnation handle, cut flower, pellet, pellet physical properties

GİRİŞ

Endüstri devrimi ile meydana gelen makineleşme, sanayi sektörünün hız kazanmasında ve enerji kullanımında önemli bir artış meydana getirmiştir. Bu gelişmeler enerjiye olan talebi ve bağımlılığı arttırmıştır. Koç ve Şenel (2013) tarafından yapılan araştırmaya göre enerji tüketimiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir. Bunun nedeni ise; enerji kullanımı aydınlatma, ulaşım, ısınma, soğutma, pişirme, üretim, tüketim, iletişim, bilişim, vb. sayısız kullanım genişliği ve her geçen gün bu kullanımlar ihtiyaçtan ziyade birer zorunluluk haline gelmesidir. Teknolojinin olduğu her yerde enerji bağımlılığı da söz konusudur. Enerjiye olan bağımlılık yeni enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacı gün yüzüne çıkarmaktadır.

Enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmı fosil enerji kaynaklarından karşılandığından yıldan yıla fosil enerji kaynak rezervleri azalmış ve fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanımı sera etkisine neden olan CO₂ emisyonlarının da hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Bu artışların önüne geçebilmek için alternatif enerji kaynaklarının kullanımı oldukça önemlidir.

Alternatif enerji kaynakları arasında yer alan, çevreyi koruyan, kirletmeyen ve tüm dünyada oldukça güncel olan, giderek artan enerji gereksinimini sürdürülebilir bir şekilde sağlayabilecek enerji kaynaklarından birisi de biyokütle enerjisidir.

Türkiye örtü altı süs bitkileri üretiminde önemli ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye’de örtü altı yetiştiricilikte (cam ve plastik örtülü sera, alçak ve yüksek tünel) yaklaşık olarak 5000 ha alanda süs bitkisi yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu alanların yaklaşık olarak 487 ha’lık kısmında karanfil bitkisi yetiştirilmektedir. Antalya ili sebze yetiştiriciliğinde olduğu gibi süs bitkisi yetiştiriciliğinde de Türkiye’nin seracılık merkezi konumundadır. Antalya ilinde yaklaşık 557 ha’lık alanda süs bitkisi yetiştiriciliği yapılırken, bunun 263 ha’lık alanını karanfil bitkisi oluşturmaktadır (TUİK, 2017). Karanfil üretiminin yapıldığı alanlardan ortalama yaş bazda 1148 kg.ha⁻¹, toplamda ise 56633 t.yıl⁻¹ artık materyal çıkmaktadır (Sönmez 2012). Karanfil sapları yaklaşık olarak %80 (y.b.) nem içeriğine sahip olduğundan kuru bazda çıkan artık materyal miktarı ise yaklaşık olarak 230 kg.ha⁻¹ ve yılda toplamda ise 11327 t.yıl⁻¹ çıkmaktadır. Görüldüğü gibi birim alandan çıkan karanfil sapı artık

materyal miktarı oldukça yüksektir. Antalya ilinde karanfil yetiştiriciliği yapılan alanlardan çıkan karanfil sapı artıkları, büyük çoğunlukla hayvancılık işletmeleri tarafından alınıp hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle bu tür materyallerin hayvan yemi olarak kullanılması başta hayvanlara, süt ve ete geçerek dolaylı olarak insan sağlığına da zarar verebilecektir. Karanfil sapı artıklarının bir kısmı ise boş alanlara ya da sera kenarlarına atılarak kuruduktan sonra yakılmakta, bu durumda çevre ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Dolayısı ile karanfil saplarının hayvan yemi olarak değerlendirilmesi ya da boş alanlara atılarak bertarafı yerine bu tür artıkların uygun forma dönüştürülerek katı enerji kaynağı olarak kullanılması ve dolayısı ile ülke içinde enerji çeşitliliğinin sağlanması açısından daha fazla yarar sağlayacaktır. Bu amaçla elde edilen bu artıklar peletlenerek katı yakıt formuna dönüştürülmüştür.

Peletler genellikle 6-12 mm çapında ve 10-30 mm uzunluğunda küçük silindirik bir yapıya sahiptir. Pelet, talaş, odun yongaları, ağaç kabuğu, tarımsal ürün sapı, fındık, badem, ceviz kabukları, hatta artık kâğıt gibi maddelerden üretilmektedir. Biyokütle materyalinin uygun nem içeriği ve basıncı altında daha küçük boyutlara sıkıştırılması işlemine peletleme denilmektedir (Öztürk, 2012). Peletleme işlemi ile materyalin hacim yoğunluğu artmakta, taşıma, depolama ve nakliye masrafları azalmakta, boyut ve şekilde homojenlik sağlanmakta, ısı amaçlı kullanımlarda yakma sistemlerine otomatik olarak beslenebilmekte ve materyalin daha etkin bir şekilde kullanımı sağlanmaktadır (Celma ve ark., 2012; Nilsson ve ark., 2011; Theerarattananoon ve ark., 2011; Holm ve ark., 2006; Mani ve ark., 2003; Werther ve ark., 2000). Ayrıca peletlerin depolanabilmesi sayesinde biyokütlenin sezon dışında da kullanımı sağlanmaktadır.

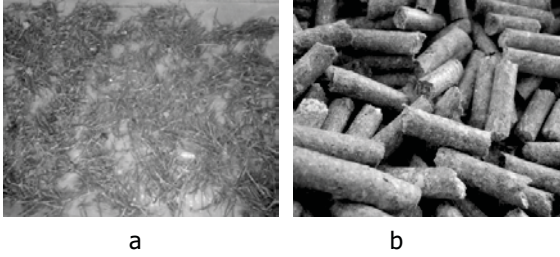
Bu çalışmada örtü altı yetiştiriciliğinde ortaya çıkan karanfil sapı biyokütle artıklarının kurutulup, çekiçli değirmende öğütüldükten sonra düz kalıp dairesel sıralı delikli, kalıp çıkış delik çapı 6 mm olan peletleme makinasında peletlenerek, peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özellikleri belirlenmiştir

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada pelet üretimi ve pelet kalitesi ile ilgili denemeler Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım

Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü atölyesinde yürütülmüştür.



Şekil 1. a) Karanfil artıkları, b) Karanfil peleti

Denemelerde, peletlenecek materyal olarak seralarda üretim sezonu sonunda ortaya çıkan karanfil sapları biyokütle artıkları olarak kullanılmıştır. Karanfil artıklarının kuruma süresini kısaltmak ve öğütme işlemini kolaylaştırmak için artıklar dal parçalama makinesi ile ön parçalama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Dal parçalama makinesi; hareket iletim sistemi, besleme düzeni, parçalama düzeni, materyal sevk borusu ve emniyet mekanizmalarından oluşmaktadır. Traktör kuyruk milinden alınan hareket kayış kasnak sistemi ile parçalama ünitesi üzerinde bıçaklar bulunan diske iletilmektedir. Besleme tamburu hareketini traktörün hidrolik prizinden almaktadır. Besleme düzeni makinenin arka tarafında yer almakta ve üzerinde tırnaklar bulunan bir döner tamburdan oluşmaktadır. Parçalama ünitesi dönen bir disk, disk üzerine yerleştirilmiş üç adet bıçak ve bir adet karşıt bıçaktan oluşmaktadır. Ayrıca parçalanan materyalin sevk borusuna iletilmesi için disk üzerinde bıçakların ters yönüne yerleştirilmiş kanatlar bulunmaktadır.

Parçalanmış ve %9-10 (y.b.) nem içeriğine kadar kurutulmuş karanfil saplarının peletleme işlemi için uygun boyutlara getirilmesinde traktör kuyruk milinden hareket alan çekiçli değirmen kullanılmıştır. Farklı parçacık boyutu elde etmek için çekiçli değirmende 2, 4 ve 6 mm elek açıklığına sahip elekler kullanılmıştır. Çekiçli değirmen; hareket iletim sistemi, materyal besleme ünitesi, elekler, öğütme düzeni, öğütülmüş materyal sevk borusu ve çuvalama ünitelerinden oluşmaktadır.

Materyallerin parçacık boyut dağılımlarının belirlenmesinde 7 elek ve elek sarsma cihazından oluşan elek analiz seti kullanılmıştır.

Peletlerin nem alma dirençlerinin (nem emilimi-adsorpsiyon) 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 litre olan iklimlendirme test kabini kullanılmıştır.

Yöntem

Materyalin peletlenmesi

Deneme materyalleri ile peletleme işlemine geçmeden önce, 5 kg materyal + 0.5 kg motor yağı karışımı kullanılarak yaklaşık 15 dakika elle besleme ile çalışılarak kalıp yaklaşık 70-80°C sıcaklığa yükseltilmiştir. Kalıp ısındıktan sonra otomatik beslemeli peletleme makinesi çalıştırılmıştır. Kısa bir süre içerisinde kalıp deliklerindeki kesit daralmasına bağlı olarak materyal sıkışmaya başlamış ve silindirik peletler sürekli olarak çıkmaya başlamıştır. Üretilen peletlerin boyutu silindir altında bulunan ve silindir ile birlikte dönen bıçak yardımı ile elde edilmiştir. Deneme materyali ile peletleme işlemi bittikten hemen sonra kalıp sıcaklığı ölçülmüş, materyal çeşidine bağlı olarak kalıp sıcaklığının yaklaşık 93.5-104.3°C değerlerine çıktığı görülmüştür. Ayrıca peletleme işlemi sonrası hazırlanan yağlı materyal yardımı ile kalıp delikleri tamamen açılmıştır. Kalıp delikleri temizlendikten sonra sıcak olan kalıpla denemeye devam edilmiştir.

Üretim Kapasitesi

Peletleme makinesinin üretim kapasitesi, makine rejime girdikten (pelet çıkışı başladıktan) belli bir süre sonra başlanmıştır. Homojen bir şekilde pelet üretimi oluştuğunda 60 s süre ile peletler bir kap yardımıyla biriktirilmiştir. Bu işlem her deneme için 3 kez tekrarlanmıştır. Makine kapasitesini belirlerken 1 tekrarda toplanan pelet ağırlığının toplam zamana bölünmesiyle kg.h^{-1} birimi ile belirlenmiştir.

Pelet fiziksel özellikleri ve uygulanan testler

Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak peletlerin parça ve hacim yoğunluğu, dayanıklılık direnci, basınç direnci (sıkıştırma direnci), nem içeriği, nem alma durumu belirlenmiştir. Fiziksel test öncesi peletler 7 gün süre ile 30 °C ve %70 bağıl neme sahip kapalı ortamda bekletilmiştir.

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

Pelet yığın yoğunluğunun belirlenmesi

Peletlerin yığın yoğunluğu Avrupa Standartlar Konseyi (CEN) tarafından hazırlanan EN 15103 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde pelet örnekleri 5 litre hacme (153 mm çap \times 272 mm yükseklik) sahip silindirik kap içerisine yaklaşık 200-300 mm yükseklikten tam olarak doldurulmuştur. Sonra, kap 3 kez yaklaşık olarak 150 mm yükseklikten serbest olarak ahşap zemin üzerine bırakılmıştır. Sonra düz ve uzun bir ahşap malzeme ile kabın üst

kısımındaki fazla pelet örnekleri kap dışına taşınmıştır. Pelet yığın yoğunluğu pelet kütlelerinin kabin hacmine oranlanması ile kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Pelet parça yoğunluğunun belirlenmesi

Pelet parça yoğunluğu, peletlerin boyutlarının ölçülmesiyle EN 16127 (2012) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde 80-100 g kütleyle sahip pelet örnekleri (yaklaşık 100 adet) alınarak her bir peletin çapı, uzunluğu ve kütlesi ölçülmüştür. Pelet parça yoğunluğu, pelet ağırlığının pelet hacmine bölünmesi sonucu kg/m^3 olarak belirlenmiştir (Adapa ve ark., 2006).

Pelet dayanıklılık direncinin belirlenmesi

Peletlerin dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesinde; Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) tarafından belirlenen EN 15210-1 (2009) standardına göre yapılmış, motor gücü 0.5 HP, motor redüktör devri 50 min^{-1} , peletlerin yerleştirileceği kafes ölçüleri $300 \times 300 \times 125 \text{ mm}$ ve kafes iç merkezine çapraz olarak yerleştirilen 50 mm eninde, 230 mm uzunluğunda bir levhaya (baffle) sahip dayanıklılık test cihazı kullanılmıştır.

Peletlerin mekaniksel dayanımları Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) tarafından hazırlanan EN15210-1 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Test öncesi pelet örnekleri 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek ile elenmiştir. Elek üzerinde kalan materyal tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra elek üzerinde kalan $500 \pm 10 \text{ g}$ pelet örnekleri test cihazına yerleştirilmiş ve 10 dakika süre ile $50 \pm 2 \text{ min}^{-1}$ karıştırılmıştır. Test sonrası peletler test cihazından alınarak 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek kullanılarak tekrar eleme işlemi yapılmıştır. Eleme işlemi sonunda elek üzerinde kalan materyal tartılarak kaydedilmiştir. Peletlerin dayanıklılık dirençleri test öncesi ve sonrası meydana gelen kütle kaybına göre yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Pelet basınç direncinin belirlenmesi

Yoğunlaştırılmış ürünlerin sertliği yoğunlukla basınç direnci (sıkıştırma direnci) testi yoluyla belirlenmektedir. Bu testte, pelet örnekleri içerisinden rastgele seçilen 30 adet pelet kullanılmıştır. Her bir pelet iki plaka arasına yerleştirilmiş, basınç dayanımı test cihazı ile peletlere parçalanıncaya kadar artan sıkıştırma yükleri uygulanmıştır. Uygulanan sıkıştırma yükleri bilgisayara aktararak parçalanmadan önceki maksimum sıkıştırma kuvveti, pelet sertliği olarak Newton (N) birimiyle verilmiştir. Sertlik değeri en yüksek olan pelet, yüksek kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Celma ve ark., 2012). Peletlerin sıkıştırma direnci N, peletlerin özgül sıkıştırma direnci ise sıkıştırma direncinin pelet uzunluğuna oranlanması

ile N/mm olarak hesaplanmıştır. Peletlerin gerilme direnci ise pelet çapı ve uzunluğuna bağlı olarak pelet yüzey alanının yarısına uygulanan basınç olarak nitelendirilmektedir (Kashaninejad ve Tabil, 2011; Shaw ve ark., 2009; Tabil ve Sokhansanj 1996).

Pelet nem içeriğinin belirlenmesi

Pelet örneklerinin nem içeriği Avrupa Standartları Konseyi tarafından belirlenen EN 14774-2 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Nem içeriği tayini 3 tekerrürlü gerçekleştirilmiş ve 300 g pelet örnekleri kurutma fırınına (ETÜV) konularak sabit kütleyle gelinceye kadar (yaklaşık 24 h) 105 ± 2 sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma fırınından alınan örnekler 15 saniye içinde tekrar tartılarak kütleleri kaydedilerek meydana gelen kütle kaybına bağlı olarak nem içeriği yaş bazda (%) olarak hesaplanmıştır.

Pelet nem alma durumunun belirlenmesi

Peletlerin nem alma durumlarını belirlemek için iklimlendirme test kabini kullanılarak pelet kütlelerindeki değişim yoluyla belirlenmiştir (Liu ve ark., 2013). Bu testte rastgele seçilen 5 pelet kurutma fırınında 105 ± 2 sıcaklıkta sabit kütleyle gelinceye kadar (yaklaşık 24 h) bekletilerek kurutma işlemi uygulanmıştır. Kurutulmuş peletler tartılarak test öncesi kütleleri kaydedilmiştir. Peletler daha sonra iklimlendirme kabine alınarak $27 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ve %90 bağıl neme sahip ortamda 24 saat süreyle bekletilmiştir. Test sonunda peletler iklimlendirme kabinden alındıktan sonra tekrar tartılarak kütleleri kaydedilmiş, peletlerin nem alma durumu kütle artışına bağlı yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Grower ve Mishra (1996) yaptıkları çalışma sonucuna göre iyi bir pelet kalitesi için parçacık boyutunun %10-20'sinin oldukça küçük partiküllerden oluşması koşulu ile 6-8 mm arasında olması gerektiğini bildirmişlerdir. Öğütülmüş karanfil artıklarının elek analizi sonucunda parçacık boyutu dağılımında 0-1 mm boyutlarındaki materyal yüzdesi 2 mm için ortalama % 96.7, 4 mm için % 82.2 ve 6 mm için % 58.8'dir. Bu değerlerin Grower ve Mishra'nın belirttiği aralığın çok üstünde olduğu gözlenmektedir. Mani ve ark. (2004) yüksek kaliteli bir pelet üretimi için öğütme işleminde kullanılacak olan çekiçli değirmenlerin 3.2-4 mm çap aralığında eleklerle sahip olması gerektiğini bildirmiştir. Bununla beraber elek delik çapının artmasının, üretilen peletlerin kalitesinde düşüşe neden olduğu belirtilmiştir.

Peletleme işlemi sırasında sürtünme sonucu oluşan sıcaklık materyalin neminde düşmelere neden

olmuştur. Avrupa Pelet Konseyi pelet kalitesi ile ilgili ENplus-A1, Enplus-A2 ve EN-B sınıfı olarak üç farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin nem içeriğinin ≤ 10 (% , y.b.) olması gerektiği belirtilmiştir (EN 14961-2 2013). Dolayısıyla karanfil artıklarından elde edilen peletlerde nem içerikleri standartlara uygunluk göstermiştir.

Tabil ve Sokhansanj (1996) tarafından yapılan çalışmada hammadde sıcaklığının 65 °C'den 95 °C'ye çıkarılması, pelet kalitesini artırdığını gözlenmiştir. Sıcaklık artışı kalıp yüzeyi ile materyal arasındaki sürtünmeleri minimuma indirmekte ve peletleme işleminin daha akıcı olmasını sağlayarak pelet üretim kapasitesinin artmasına neden olmaktadır (Colley, 2006). Elde ettiğimiz sonuçlar incelendiğinde en yüksek kalıp sıcaklığı 4 mm parça boyutlu peletlerin üretiminde 104.3 °C olarak belirlenmiştir. Fakat en yüksek üretim kapasitesi değeri 104.77 kg.h⁻¹ ile 2 mm parça boyutuna sahip peletlerde elde edilmiştir (Tablo 1). Bu durum literatür sonuçlarıyla paralellik göstermemektedir. Koçer (2018) meyve bahçesi budama atıkları ile yapmış olduğu çalışmada, pelet üretim kapasitesinin 23 ile 83 kg.h⁻¹ arasında değiştiğini bildirmiştir. Bilgin ve ark. (2015) fındık zurufundan elde ettikleri peletlerde üretim kapasitesini 67 kg.h⁻¹ olarak bildirmişlerdir. Karanfil artıklarından elde edilen pelet üretiminde en düşük üretim kapasitesi bile fındık zurufundan ve meyve bahçesi budama atıklarından elde edilen kapasiteden yüksek çıkmıştır. Farklı materyallerde elde edilen sonuçlar farklılık gösterebilmektedir. Bunun nedeni materyal çeşidinden kaynaklanmaktadır. Üretim kapasitesi yüksek olan materyal ile düşük olan materyal karıştırılarak maksimum değerler elde edilebilir. Bu sayede oluşan bütün artıkların pelet üretimindeki önemi artırılabilir.

Tablo 1. Karanfil peletleri fiziksel analiz sonuçları

Parça Boyutu (mm)	Enerji Tüketimi (kWh)	Üretim Kapasitesi (kg.m ⁻³)	Dayanıklılık Direnci (%)
2	7.36	104.77	94.80
4	6.86	94.40	96.40
6	6.64	89.76	95.06

Elde edilen verilere göre parçacık boyutunun artması, enerji tüketim miktarının azalmasını sağlamıştır. En düşük enerji tüketim değeri 6.64 kWh ile 6 mm parça boyutuna, en yüksek değer ise 7.37 kWh ile 2 mm parça boyutuna sahip peletlerden elde edilmiştir (Tablo 1). Yılmaz (2014) yaptığı çalışmaya göre pamuk ve susam artıklarından peletlerin üretiminde, pelet makinesinin kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketim değerinin sırası ile $131-306$ kg.h⁻¹ ve

$18.40-22.64$ kWh arasında değiştiğini bildirmiştir. Karanfil artıklarından pelet üretiminde enerji tüketim değeri literatür sonuçlarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Enerji tüketim değerinin az olması karanfil artıklarının değerlendirilmesi için pozitif bir neden oluşturmaktadır.

Peletlerin yoğunlukları incelendiğinde ise oldukça yüksek değerler elde edilmiştir. Parça yoğunluğu dikkate alındığında, hammadde yoğunluğuna göre yaklaşık 4 kat, hacim yoğunluğuna göre 2 kat daha yoğunlukta ürün elde edilmiştir. Karanfil materyal yoğunluğu $280-356$ kg.m⁻³ pelet yığın yoğunluğu ise $592-624$ kg.m⁻³, pelet parça yoğunluğu ise $1098-1146$ kg.m⁻³ olarak değiştiği gözlemlenmiştir (Tablo 2). Montero ve ark. (2014) mantar tıpa artıklarının peletleme öncesi materyal yoğunluklarının $323-379$ kg.m⁻³ peletleme sonrası pelet yoğunluğunun artarak $692-705$ kg.m⁻³ arasında değiştiğini belirtmiştir. Theerarattananoon ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada pelet yığın yoğunluğu $265.2-495.8$ kg.m⁻³ arasında değiştiği belirtilmiştir. Razuan ve ark. (2011) hurma çekirdeği küspesinden elde ettikleri peletlerin pelet yoğunluklarının $1184-1226$ kg.m⁻³, Serrano ve ark. (2011) ise $1300-1400$ kg.m⁻³ arasında değiştiği belirtmiştir. Fassina (2008) tarafından yapılan çalışmada peletleme işlemi ile hammaddenin yığın yoğunluğunun 151 kg.m⁻³'ten 600 kg.m⁻³'e çıktığı belirtilmiştir. Görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar literatür verileri ile paralellik göstermiş ve yoğunlukla literatür verilerinin üzerinde bulunmuştur.

Tablo 2. Karanfil parça ve pelet yığın yoğunlukları

Parça Boyutu (mm)	Parça Yoğunluğu (kg.m ⁻³)	Yığın Yoğunluğu (kg.m ⁻³)
2	1098.37	592.98
4	1146.4	624.01
6	1121.15	591.74

Mekanik ya da pnömatik sistemlerde kullanımı için peletlerin dayanım özelliklerinin bilinmesi ve tanımlanması oldukça önemlidir. İmalat sanayisi peletlerin kalitesini belirlemek için dayanıklılık direnci özelliklerine dikkat etmekte ve yüksek dayanıklılık direncine sahip peletleri yüksek kaliteli peletler olarak tanımlamaktadır (Kaliyan ve Morey, 2009). Celma ve ark. (2012) tarafından yapılan domates peletlerinde nem içeriğinin artmasıyla dayanıklılığın arttığı ve %9.09 (y.b.) pelet nem içeriğinde %91.2 ile maksimum değere ulaşıldığı bildirilmiştir. Liu ve ark. (2013) tarafından yapılan bambu ve çeltik sapı peletlerinde dayanıklılık direncinin %94.21-99.17 arasında değiştiği gözlenmiş ve çeltik sapının (%99.17 ile) pelet kalitesinin yüksek olduğu vurgulanmıştır.

Montero ve ark. (2014) tarafından yapılan mantar tıpa atıklarından elde edilen peletlerin dayanıklılık direnci %98.36 olduğu belirtilmiştir. Cubero-Abraca ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada kahve posalarından elde edilen peletlerin dayanıklılık direnci %75.54 olarak bulunmuş ve ASAE 296.4 standardının kabul edilebilir sınırların altında olduğu belirtilmiştir. Tabil ve Sokhansanj (1996, 1997) pelet dayanıklılık direncinin %80 ve üzeri olması durumunda pelet kalitesinin iyi olduğunu belirtmişlerdir. Fakat 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. Çalışmamızda karanfil peleti dayanıklılık direnci değerleri %94.80-96.40 arasında değiştiği gözlemlenmiştir (Tablo 1). Avrupa pelet konseyi odunsu yapıdaki materyalleri değerlendirdiği için karanfil peletleri standartların altında bir sonuç göstermiştir.

Tablo 3. Karanfil materyali ve pelet nem içerikleri

Parça Boyutu (mm)	Materyal nem içeriği (y.b., %)	Pelet nem içeriği (y.b., %)	Nem Alma Direnci (%)
2	12.48	9.88	19.81
4	12.11	8.23	18.62
6	12.31	9.03	19.55

Peletlerin muhafazası sırasında ortamın sıcaklık ve nem içeriği peletin kalitesinin korunması açısından oldukça önemlidir. Liu ve ark. (2013) peletlerin dayanıklılık direnci arttıkça peletlerin iklimlendirme kabiniinde daha az nem aldıklarını belirlemişlerdir. Nem alma durumunun belirlenmesi peletlerin paketlenme işleminin ve depolama koşulları açısından önemlidir. Fassina (2008) tarafından yapılan yerfistiği

kabuklarından elde edilen peletlerde çevre sıcaklığına bakılmaksızın, peletlerin %60-80 nem içeriğine sahip bir ortamda nem alırken, %45 nem içeriğine sahip ortamda nem kaybettiği görülmüş ve peletlerin 48 saatlik bir sürede nemlendirilmiş hava ile temas ettiğinde en fazla %4.9 (y.b.)'a kadar nem absorbe ettiği belirtilmiştir. Colley (2006) darı bitkisinden elde ettiği peletlerle yaptığı çalışmada depolama süresince çevre havasının bağıl neminin peletlerin nem absorbe etmesini önemli derecede etkilediğini belirtmiştir. Bu çalışmada en düşük nem alma durumu 4 mm parça boyutuna sahip peletlerde %18.62 bulunmuştur (Tablo 3).

SONUÇLAR

- Materyaller herhangi bir yapıştırıcıya gerek duyulmadan peletleme işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Parça boyutunun artması makine kapasitesinin ve elektrik enerjisi tüketiminin azalmasına neden olmuştur.
- Peletlerin parça ve yığın yoğunlukları oldukça yüksek çıkmıştır. En yüksek değerlere 4 mm parça boyutundaki pelet üretiminde ulaşılmıştır.
- En yüksek dayanıklılık direnci değeri %96.4 ile materyal boyu 4 mm olan peletlerden elde edilmiştir.
- Pelet üretim kapasitesi en yüksek 104.77 kg/h olarak bulunmuştur.
- Pelet makinası elektrik enerjisi tüketim değeri en düşük 6 mm parça boyutuna sahip peletlerde elde edilmiştir (6.64 kWh). Enerji amaçlı üretildiği için en düşük enerji tüketim değeri dikkate alınarak üretim yapılmalıdır.
- Artıkların peletlenmesi çevreye ve hayvan sağlığına verdiği zararların önüne geçmesini sağlayacaktır.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Adapa, P. K., A. K. Singh, G. J. Schoenau, L. G. Tabil, 2006. Pelleting Characteristics Of Fractionated Alfalfa Grinds: Hardness Models. *Power Handling and Processing* 18 (5): 1-6.
- Bilgin, S., Yılmaz, H., Koçer, A., Acar, M., Dok, M. 2015. Fındık zuruğunun peletlenmesi ve pelet fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, *Tarım Makinaları Bilim Dergisi*, 11, 265-273.
- Celma, A. R., F. Cuadros, F. L. Rodriguez, 2012. Characterization Of Pellets From Industrial Tomato Residues. *Food and Bioproducts Processing* 90: 700-6.
- Cubero-Abraca, R., R. Moya, J. Valaret, M. T. Filho, 2014. Use Of Coffee (Coffea Arabica) Pulp For The Production Of Briquettes And Pellets For Heat Generation. *Ciênc. Agrotec.* 38(5): 461-470.
- Colley, Z. J., 2006. Compaction Of Switchgrass For Value Added Utilization. M. Sc. Thesis, The Graduate Faculty of Auburn University, 132 p.
- EN 14774-2. 2009. Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Total moisture. Simplified method.
- EN 15103. 2009. Solid biofuels. Determination of bulk density.
- EN 16127. 2012. Solid biofuels. Determination of length and diameter of pellets.
- EN 14961-2. 2013. European Pellet Council. Handbook for the Certification of Wood Pellets for Heating Purposes, Version 2.0.
- EN 16127. 2012. Solid biofuels. Determination of length and diameter of pellets.
- EN 15210-1. 2009. Solid Biofuels. Determination of Mechanical Durability of Pellets and Briquettes – Part 1: Pellets
- Holm, J. K., U. B. Henriksen, J. E. Hustad, L. H. Sorensen, 2006. Yoward An Understanding of Controlling Parameters in Softwood and Hardwood Pellet Production. *Energy and Fuel* 20:2686-94.

- Kashaninejad, M., and Tabıl, L.G. 2011. Effect of microwave-chemical pretreatment on compression characteristics of biomass grinds. *Biosystem Engineering*, 108 (1): 36-45.
- Kalyan, N., R. V. Morey, 2009. Factor Affecting Strength And Durability Of Densified Biomass Products. *Biomass and Bioenergy* 33: 337-359.
- Koç, O., M. Şenel, 2013. Dünyada Ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme. *Mühendis Ve Makine Dergisi* 639:32-44.
- Koçer, A., 2018. Budama Artıklarının Peletlenmesi, Peletleme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Yanma Sonu Gaz Emisyonlarının Ölçülmesi. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Liu, Z., Z. Jiang, Z. Cai, B. Fei, Y. Yu, X. Liu, 2013. Effects Of Carbonization Conditions On Properties Of Bamboo Pellets. *Renewable energy* 51:1-6.
- Manı, S., L. G. Tabıl, S. Sokhansanj, 2004. Grinding Performance And Physical Properties Of Wheat And Barley Straws, Corn Stover And Switchgrass. *Biomass and Bioenergy* 27: 339-352.
- Manı, S., L. G. Tabıl, S. Sokhansanj, 2003. An Overview Of Compaction Of Biomass Grinds. *Powder Handling and Process* 15: 160-168.
- Montero, I., T. Miranda, F. J. Sepulveda, J. I. Arranz, S. Nogales, 2014. Analysis Of Pelletizing Of Granulometric Separation Powder From Cork Industries. *Materials* 7: 6686-6700.
- Nilsson, D., S. Bernesson, P. A. Hansson, 2011. Pellet Production From Agricultural Rawmaterials – A Systems Study. *Biomass and Bioenergy* 35: 679-89.
- Öztürk, H. H., 2012. Enerji Bitkileri Ve Biyoyakıt Üretimi. Hasad yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, ss.272.
- Razuan, R., K. N. Finney, Q. Chen, V. N. Sharifi, J. Swithenbank, 2011. Pelletised Fuel Production From Palm Kernel Cake. *Fuel Processing Technology* 92 (3): 609-615.
- Serrano, C., E. Monedero, M. Lapuerta, H. Portero, 2011. Effect Of Moisture Content, Particle Size And Pine Addition On Quality Parameters Of Barley Straw Pellets. *Fuel Processing Technology* 92: 699-706.
- Shaw, M. D., C. Karunakaran, L. G. Tabıl, 2009. Physicochemical Characteristics Of Densified Untreated And Steam Exploded Poplar Wood And Wheat Straw Grinds. *Biosystem Engineering* 103 (2): 198-207.
- Sönmez, İ., 2012. Determination Of The Optimum Mixture Ratio And Nutrient Contents Of Broccoli Wates, Wheat Straw And Manure For Composting. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10 (3&4): 972-976.
- Tabıl, L. G., S. Sokhansanj, 1996. Pcess Conditions Affecting The Physical Quality Of Alfalfa Pellets. *Applied Engineering in Agriculture* 12: 345-350.
- Tabıl, L. G., S. Sokhansanj, 1997. Bulk Properties Of Alfalfa Grind İn Relation To İts Compaction Characteristics. *Applied Engineering in Agriculture* 13: 499- 505.
- Theerarattananoon, K., F. Xu, J. Wilson, R. Ballard, L. Mckinney, S. Staggenborg, P. Vadlani, Z. J. Pei, D. Wang, 2011. Physical Properties Of Pellets Made From Sorghum Stalk, Corn Stover, Wheat Straw, And Big Bluestem. *Industrial Crops and Products* 33(2): 325-32.
- TUİK, 2017. Bitkisel üretim istatistikleri, Tarım ve Orman Alanları, Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr> .[Son erişim tarihi: 21.12.2016].
- Werther, J., M. Saenger, E. U. Hartge, T. Ogada, Z. Siagi, 2000. Combustion Of Agricultural Residues. *Progress in Energy and Combustion Science* 26: 1-27.
- Yılmaz, H., 2014. Bazı Tarımsal Artıkların Peletlenmesi Ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.