Sera Bitki Artıklarının Peletlenmesi ve Bazı Teknik Faktörlerin Pelet Kalitesi ve Maliyeti Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Program Kodu: 1001

Proje No: 213O224

Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Sefai BİLGİN

Araştırmacılar:
Prof. Dr. Davut KARAYEL
Doç.Dr. Murad ÇANAKCI
Doç. Dr. Mehmet TOPAKCI

Bursiyerler:
Abdülkadir KOÇER
Hasan YILMAZ
Mete YİĞİT
Sevde ALPARSLAN

MAYIS 2016
ANTALYA

ÖNSÖZ

İnsan hayatının önemli unsurlarından biri de enerjidir ve enerjiye olan talep, nüfus artışı, teknolojideki gelişmeler, sanayileşme ve insanoğlunun daha rahat yaşama isteği ile birlikte her geçen gün hızla artmaktadır. Türkiye'nin enerjiye olan talebi 1990 yılında 57 MTEP iken, 2013 yılında 120 MTEP'e çıkmıştır.

Enerji eldesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yıldan yıla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle enerjisi ve biyokütle enerjisi içerisinde tarımsal atıklar önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle geniş tarımsal üretim alanlarına sahip olmamız bu enerji kaynağının önemini daha da artırmaktadır.

Tarımsal üretim faaliyetleri arasında seracılık önemli bir yer tutmaktadır ve özellikle Antalya ilinde yoğun bir şekilde seralarda üretim yapılmaktadır. Bu üretim faaliyetleri sonucu seralardan her yıl çok büyük miktarlarda biyokütle atığı çıkmaktadır. Çıkan bu atıkların büyük çoğunluğu herhangi bir şekilde değerlendirilmeyip atılmakta, çevre ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada, seralarda en fazla üretim alanına ve oldukça lifli ve odunsu yapıya sahip domates, biber ve patlıcan bitkisi saplarının enerji üretimi amacı ile katı yakacak olarak değerlendirilmesinde farklı materyal özelliklerinde pelet haline getirilmiş, peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özellikleri belirlenmiş ve pelet üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Böylelikle hem atıl durumda olan bitki artıkları ekonomiye kazandırılmasına, hem de artıkların neden olduğu çevresel kirliliklerin önlenmesine öncülük edecektir. Projenin artıklarının geri kazanımına yönelik farkındalık oluşturmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Proje TÜBİTAK-1001 Destek Programı kapsamında desteklenmiştir. Bu desteklerinden dolayı proje ekibi olarak TÜBİTAK'a şükranlarımızı sunarız.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i

İÇİNDEKİLER ii

TABLOLAR iv

ŞEKİLLER vi

ÖZET viii

ABSTRACT ix

1. GİRİŞ 1

1.1 Dünya ve Avrupa Birliği (AB) Ülkelerinde Biyokütle Enerjisi 3

1.2 Türkiye'de Biyokütle Enerjisi 4

1.3 Çalışmanın Amacı 6

2. LİTERATÜR ÖZETİ 11

3. GEREÇ ve YÖNTEM 27

3.1 Gereç 27

3.2 Yöntem 32

3.2.1 Materyalin Peletlenmeye Hazırlanması ve Peletlenmesi 32

3.2.2 Materyal Parçacık Boyutunun Belirlenmesi 34

3.2.3 Makine Kapasitesi ve Enerji Tüketimi 35

3.2.4 Pelet Fiziksel Özellikleri ve Testler 36

3.2.5 Materyal Yakıt Analizleri (Proximate ve Ultimate Analizleri) 39

3.2.6 Pelet Üretim Maliyetinin Belirlenmesi 39

3.2.7 İstatistiksel Analiz 44

4. BULGULAR ve TARTIŞMA 46

4.1 Materyal Fiziksel Özellikleri 46

4.2 Makine Kapasitesi ve Enerji Tüketimi 49

4.2.1 Parçalama Makinesi 49

4.2.2 Çekiçli Değirmen 50

4.2.3 Peletleme Makinesi 51

4.3 Pelet Fiziksel Özellikleri ve Testler 58

4.3.1 Pelet Kütle ve Boyutları.....60
4.3.2 Pelet Nem İçerikleri 63
4.3.3 Pelet Hacim ve Parça Yoğunlukları 65
4.3.4 Pelet Mekanik Dayanıklılık Direnci 69
4.3.5 Pelet Basınç Direnci, Özgül Basınç Direnci ve Gerilme Direnci.....73
4.3.6 Pelet Nem Alma Durumu.....77
4.4 Depolama Süresi ve Koşullarının Pelet Özelliklerine Etkisi 83
4.5 Materyal Yakıt Analizleri (Proximate ve Ultimate Analizleri) 85
4.5 Pelet Üretim Maliyetinin Belirlenmesi.....86
5. SONUÇ 90
6. KAYNAKLAR.....93
7. EKLER.....102

TABLOLAR

Tablo 1. Bazı tarımsal materyallerin ısıl değerleri ve kül içerikleri 3
Tablo 2. Antalya ili cam ve plastik sera domates, biber ve patlıcan sebze üretim alanları 6
Tablo 3. Antalya ili cam ve plastik seralarda yıllık çıkan yaş biyokütle artık miktarı 7
Tablo 4. Girdi ve çıktılara ait enerji eşdeğerleri 43
Tablo 5. Pelet üretim binasının (25x12 m) yapım enerjisinde kullanılan girdiler ve enerji eşdeğerleri 44
Tablo 6. Materyal çeşidi, parçacık boyut ve nem içeriğine bağlı olarak deneme deseni 45
Tablo 7. Domates bitkisi hacim yoğunluk, geometrik ortalama çap ve parçacık boyut dağılımı 46
Tablo 8. Biber bitkisi hacim yoğunluk, geometrik ortalama çap ve parçacık boyut dağılımı ...47
Tablo 9. Patlıcan bitkisi hacim yoğunluk, geometrik ortalama çap ve parçacık boyut dağılımı 48
Tablo 10. Artık parçalama makinesi kapasite ve enerji tüketim değerleri 49
Tablo 11. Çekiçli değirmen makine kapasitesi ve enerji tüketim değerleri.....50
Tablo 12. Denemelerde kullanılan materyal nem içerikleri 52
Tablo 13. Materyal çeşidinin peletleme makinesi kapasitesi üzerine etkisi.....53
Tablo 14. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin peletleme makinesi kapasitesi üzerine etkisi ...53
Tablo 15. Peletleme makinesi kapasitesi, enerji tüketim değerleri ve varyans analiz sonuçları 54
Tablo 16. Pelet kütle ve boyutları 61
Tablo 17. Pelet nem içerikleri 64
Tablo 18. Materyal çeşidinin pelet hacim ve parça yoğunluklarına etkisi 66
Tablo 19. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet hacim ve parça yoğunluklarına etkisi 66
Tablo 20. Pelet hacim ve parça yoğunluk değerleri ve varyans analiz sonuçları 67
Tablo 21. Materyal çeşidinin pelet mekanik dayanıklılık direncine etkisi 69
Tablo 22. Materyal parçacık boyutu ve nem içeriğinin mekanik dayanıklılık direncine etkisi .70
Tablo 23. Pelet mekanik dayanıklılık direnci değerleri ve varyans analiz sonuçları 70
Tablo 24. Materyal çeşidinin pelet basınç, özgül basınç ve gerilme direncine etkisi.....74
Tablo 25. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet basınç, özgül basınç ve gerilme direncine etkisi 74
Tablo 26. Pelet basınç, özgül basınç ve gerilme direnci değerleri ve varyans analiz sonuçları 75
Tablo 27. Materyal çeşidinin pelet nem alma durumuna etkisi 77
Tablo 28. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet nem alma durumuna etkisi 78
Tablo 29. Pelet nem alma durumu değerleri ve varyans analiz sonuçları 78

Tablo 30. Peletlerin farklı sıcaklık ve bağıl nem koşullarında test öncesi ve sonrası nem değerleri 81
Tablo 31. T-testi sonuçlarına göre 7. gün ile 6. ay sonuçları istatistiksel olarak farklılık gösteren kriterler ve faktörler 84
Tablo 32. Materyallerin kimyasal özellikleri ile ilgili kısa ve elementel analiz sonuçları 85
Tablo 33. Makinalara ait sabit giderler 86
Tablo 34. Makinalara göre elektrik, yakıt-yağ, insan işgücü, tamir-bakım ve traktör sabit gider 86
Tablo 35. Pelet üretimine ilişkin giderler 87
Tablo 36. Pelet üretiminde enerji kullanım değerleri 88

ŞEKİLLER

Şekil 1. 2013 yılı dünya toplam nihai enerji tüketimin kaynak bazında görünümü 4
Şekil 2. Biyokütle artıklarının boş alanlara ve deniz kenarlarına atılması ile ilgili görüntüler ... 9
Şekil 3. Bitkisel biyokütle artıklarının yakılması sonucu oluşan kirlilikle ilgili bir görüntü 9
Şekil 4. Düz kalıplı (a) ve çember kalıplı (b) peletleme teknolojisi 11
Şekil 5. Domates (a), biber (b) ve patlıcan (c) bitkisi sapları 27
Şekil 6. Materyal parçalama makinesi 27
Şekil 7. Çekiçli değirmen katı modeli 28
Şekil 8. Materyal karıştırma makinesi katı modeli 28
Şekil 9. Denemelerin yapıldığı peletleme makinesi.....29
Şekil 10. Peletleme makinesi üniteleri genel teknik çizimi.....29
Şekil 11. Pelet kalıbı ve kalıp delik kesit görünüşü.....30
Şekil 12. Pelet mekanik dayanıklılık test cihazı ve kafes ölçüleri 31
Şekil 13. Materyallerinin seralardan toplanması ve deneme alanına getirilmesi.....32
Şekil 14. Materyal ön parçalanması ve kurutulması işlemleri.....32
Şekil 15. D100-4mm-%13-15 materyalinin peletlenmesinde zamana göre güç ve akım değişimi 57
Şekil 16. B100-4mm-%13-15 materyalinin peletlenmesinde zamana göre güç ve akım değişimi 57
Şekil 17. P100-4mm-%13-15 materyalinin peletlenmesinde zamana göre güç ve akım değişimi 57
Şekil 18. D100 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri.....58
Şekil 19. B100 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri.....58
Şekil 20. P100 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri.....59
Şekil 21. D50 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri.....59
Şekil 22. B50 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri.....59
Şekil 23. P50 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri.....59
Şekil 24. D33 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri.....60

Şekil 25. D80 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri.....60
Şekil 26. B100, 4mm ve %13-15 peleti için mekanik dayanıklılık direnci test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri.....72
Şekil 27. D80, 4mm ve %13-15 peleti için mekanik dayanıklılık direnci test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri.....73
Şekil 28. P100, 8mm ve %8-10 peleti için mekanik dayanıklılık direnci test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri.....73
Şekil 29. D100-4mm-%13-15 materyali peletlerinin nem alma durumlarının test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri.....79
Şekil 30. D80-4mm-%13-15 materyali peletlerinin nem alma durumlarının test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri.....80
Şekil 31. B100-4mm-%13-15 materyali peletlerinin nem alma durumlarının test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri.....80
Şekil 32. Pelet nem içeriklerinin 25 °C sıcaklık ve %50 bağıl nem koşullarında zamana bağlı olarak değişimi.....82
Şekil 33. Pelet nem içeriklerinin 25 °C sıcaklık ve %65 bağıl nem koşullarında zamana bağlı olarak değişimi.....82
Şekil 34. Pelet nem içeriklerinin 25 °C sıcaklık ve %80 bağıl nem koşullarında zamana bağlı olarak değişimi.....82

ÖZET

Türkiye'de ve özellikle Antalya ilinde yaygın olarak seracılık yapılmaktadır. Antalya ilinde her yıl yaş bazda 1.2 milyon ton, kuru bazda ise 176 bin ton domates, biber ve patlıcan bitkisi artığı çıkmaktadır. Bu çalışmada, domates, biber ve patlıcan bitkisi saplarının katı yakacak olarak değerlendirilmesinde, otomatik beslemeli peletleme makinesinde ayrı ayrı ve 5 farklı karışım oranında, 3 farklı parçacık boyutunda ve 3 farklı nem içeriğinde peletlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özellikleri pelet nem içeriği, hacim yoğunluğu, parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, basınç direnci ve nem alma durumu belirlenmiştir. Ayrıca, artıkların seralardan toplanmasından peletlerin elde edilmesine kadar olan aşamada tüketilen enerji değerleri ve pelet üretim maliyetleri belirlenmiştir.

Çalışma sonunda, domates, biber ve patlıcan bitkileri oldukça başarılı bir şekilde peletlenmiştir. Pelet fiziksel özellikleri, makine kapasitesi ve enerji tüketim değerleri üzerine materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Peletlerin çap, uzunluk ve kütleleri 6.04 - 7.06 mm, 16.79 - 30.86 mm ve 0.52 - 1.19 g arasında değişmiştir. En yüksek pelet hacim, parça yoğunluğu ve mekanik dayanıklılık direnci sırası ile 754 kg/m^3, 1395 kg/m^3 ve %99.2 bulunmuştur. Materyal parçacık boyutu ve nem içeriğinin artması pelet yoğunluklarını düşürmüştür. Materyal nem içeriğinin artması peletlerin mekanik dayanıklılık direncini artırırken, parçacık boyutunun artması düşürmüştür. Peletler yüksek bağıl nem koşullarında oldukça fazla nem almışlardır. Parçacık boyutunun düşmesi peletlerin nem almasını artırmıştır. Peletleme makinesinin kapasitesi materyal özelliklerine bağlı olarak 18-124 kg/h, özgül enerji tüketimi ise 57-382 kWh/t bulunmuştur. Domates, biber ve patlıcan bitkisinin üst ısıl değerleri kuru bazda sırası ile 17.23, 16.12 ve 15.05 MJ/kg, kül içerikleri ise %8.04, %15.83 ve %16.35 bulunmuştur. Araştırmanın yapıldığı koşullarda peletin üretim maliyeti 443.4 TL/t olarak hesaplanmıştır. Maliyette büyük paya insan işgücü ve elektrik girdilerinin sahip olduğu belirlenmiştir. Birim pelet üretimi için harcanan toplam enerji miktarı 2778.3 MJ/t olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Biyokütle enerjisi, sera bitki artıkları, pelet, peletleme, pelet fiziksel özellikleri, pelet üretim maliyeti

ABSTRACT

Greenhouse cultivation is widespread especially in Antalya province of Turkey. The annual amount of residue produced from tomato, pepper and eggplant plants is approximately 1.2 million tons in wet basis and 176 thousand tons in dry basis. In this study, pelleting of residues of tomato, pepper and eggplant plants grown in greenhouses for utilization as a solid fuel in a pelleting machine at three different materials and five different mixtures of their, three different moisture contents and particle sizes of materials were aimed. Pellet physical properties related to pellet quality were determined. Also, values of capacity and energy consumption of machines were measured, and costs of pellet production were calculated.

Tomato, pepper and eggplant stalks were pelleted quite successfully. The effect of different materials, particle sizes and moisture contents on pellet physical properties, capacity and energy consumption of machines was statistically significant ($P<0.01$).The diameter, length and mass of the pellets varied between 6.04 - 7.06 mm, 16.79 - 30.86 mm and 0.52 - 1.19 g, respectively. The highest values of bulk, particle density and durability of pellets were 754 kg/m^3, 1395 kg/m^3 and 99.2%, respectively. The pellet densities were decreased with increasing of material particle size and moisture content. Pellet durability increased with increasing moisture content of materials, and decreased with increasing of material particle size. All pellets absorbed quite-high moisture in high humidity conditions. The moisture sorption of the pellets was decreased with increasing the particle size of materials. Depending on the material properties, capacity and specific energy consumption of pellet machine were 18-24 kg/h and 57-382 kWh/t, respectively. Higher heating values and ash content of tomato, pepper and eggplant stalks in dry basis were 17.23 MJ/kg, 16.12 MJ/kg and 15.05 MJ/kg, 8.04%, 15.83% and 16.35%, respectively. Pellet production cost was calculated as 443.4 TL/t in the research conditions. The labor and electric inputs have the largest share within the cost of the production. The value for total energy per pellet production was found as 2778.3 MJ/t.

Keywords: Biomass energy, greenhouse plant residues, pellet, pelleting, physical properties of pellets, pellet production cost

1. GİRİŞ

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak global enerji gereksinimi son yıllarda çok hızlı bir şekilde artmış ve gelecek 50 yıl içerisinde de sanayileşmenin yol açacağı gelişmelere bağlı olarak da sürekli artacağı tahmin edilmektedir (Goswam ve Kreith, 2007). Dünyada, özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, en çok kullanılan birincil enerji kaynağı fosil enerji kaynakları olan kömür ve petroldür. 2013 yılı dünya toplam birincil enerji arzının (13541 MTEP) %81.4'ü fosil enerji kaynaklarından (petrol, kömür, doğal gaz), %4.8'i ise nükleer enerjiden karşılanmıştır (IEA, 2015). Fosil kaynakların tüketimi 1990'lı yıllar süresince dünya toplam enerji tüketimindeki artışla artmış ve 2020 yılına kadar toplam tüketimdeki artış oranından daha fazla oranda artacağı belirtilmiştir (EC, 2005). Yeni politik senaryolarda dünya toplam birincil enerji arzının 2035 yılına kadar %36 artış göstererek 16700 MTEP'ye çıkacağı açıklanmıştır.

Araştırmalara göre, dünya birincil enerji rezervlerinin kömür için 218 yıl, petrol için 41 yıl ve doğal gaz için ise 63 yıl olduğu tahmin edilmektedir (Agarwal, 2007; Chou vd., 2009; ETKB, 2016). Fosil enerji kaynaklarının yoğun kullanımı sonucu dünyadaki fosil enerji kaynak rezervlerinin giderek azalması, fosil yakıt kullanımının çevreye olan olumsuz etkileri, mevcut teknolojilerin fosil enerji kullanım verimlerinin düşük olması ve ileride bu teknolojilerin gelişerek fosil enerji kullanım verimlerinin artabileceği olasılığı nedeniyle fosil enerji kaynaklarının gelecek nesillere aktarılması gerekliliği söz konusudur.

Fosil yakıt kullanımının başlıca iki önemli dezavantajı vardır. Birincisi; fosil yakıtların yakıldıkları zaman iklim değişikliğine neden olan kirletici özellikteki sera gazlarını yaymaları, ikincisi ise; yeterli fosil yakıt rezervlerine sahip olmayan ülkelerin enerji arzlarının güvenliğindeki artan risklerle yüz yüze kalmalarıdır (EC, 2005). Son yıllarda gelişmiş ülkelerin büyük kentsel alanlarında fosil yakıtların aşırı tüketimi dünya sera gazı emisyonlarını çok hızlı bir şekilde artırmış ve bunun sonucunda yüksek seviyelerde kirlilik meydana gelmiştir (Ballesteros vd., 2006). 1973 yılında atmosfere yıllık 15515 Mt karbondioksit (CO_2) salınımı yapılırken, 2013 yılında bu değer %107.5 artarak 32190 Mt CO_2'ye çıkmıştır. İlgili çalışmalarda sera gazı emisyonlarının 2013-2040 yılı projeksiyonunda artmaya devam edeceği, yeni politik senaryolara göre 2013 yılında 32 Gt seviyesinden 2040 yılında yaklaşık %19 artışla 38 Gt seviyesine çıkacağı belirtilmiştir (IEA, 2015).

Atmosferde milyonlarca yıldır 180-280 ppm arasında değişen eşdeğer CO_2 emisyonu son yarım yüz yılda hızla artmış ve 450 ppm seviyesine çıkmıştır. Açıklanan senaryolara göre CO_2 emisyonu eşdeğerinin bu seviyelerde kalması durumunda dünya ortalama sıcaklığının 2 °C artacağı belirtilmiştir (IEA, 2015). Diğer bir senaryoda ise 2030 yılı için belirtilen büyüme oranının ve fosil yakıt tüketiminin devam etmesi durumunda atmosferde

sera gazlarının uzun dönem konsantrasyonun 1000 ppm CO_2 eşdeğerini aşacağı, buna bağlı olarak ortalama sıcaklığın 6 °C'den fazla artacağı, deniz seviyesindeki artışın 3.7 m olacağı ve deniz kenarındaki alanların %50'sinin sular altında kalacağı belirtilmiştir (IEA, 2009).

Fosil enerji kaynaklarının atmosferde oluşturduğu kirliliğin farkına varılması, fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve birçok ülkede özellikle 1973 enerji krizinden sonra petrol kökenli enerji kaynaklarının yerine, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına (biyokütle, güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal enerji) yönelik çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan, çevreyi koruyan ve kirletmeyen ve tüm dünyada oldukça güncel olan enerji kaynaklarından birisi de biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisinin geçmişi diğer bütün enerji kaynaklarından daha eskidir. Biyokütle enerji kaynakları içerisinde en eski ve bilineni odun olup kullanımı ateşin bulunuşuna kadar uzanmaktadır.

Dünyanın artan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini, çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek enerji kaynaklarının en önemlisi biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerji kaynağı, yenilenebilir enerji kaynakları içinde olup, birçok avantaja sahiptir. Bu kaynaklardan çeşitli işlemler sonucu ısı, elektrik, katı, sıvı yakıt, gaz yakıtlar vb. ürünler elde etmek mümkündür. Bununla birlikte biyokütle kaynaklarının tamamı enerji eldesi için kullanılmamaktadır. Biyokütle aynı zamanda gıda, kağıt, kereste ve bazı yüksek değerli kimyasalların eldesi için de kullanılabilmektedir. Bu nedenle, daha verimli değerlendirme için, biyokütle kaynakları diğer öncelikli uygulamalarla entegre edilmeli ve sürdürülebilir bir yolla kullanılmalıdır. Ayrıca, biyokütle içerisinde fosil yakıtlarda bulunan çevreye zararlı maddeler ve kükürt olmadığı için de çevre dostu bir yakıttır. Bu sayılan özellikleri ile birlikte, güneş enerjisi var olduğu sürece bitki yetiştiriciliğinin de devam edecek olması biyokütleye tükenmez bir enerji kaynağı niteliği kazandırmaktadır.

Biyokütle kaynaklarını karadan denize kadar her yerde bulmak mümkündür. Doğal olarak yetişen kaynakların yanı sıra son yıllarda bu kaynağı yetiştiricilik yoluyla elde etmeye yönelik çalışmalar da başlatılmıştır. Biyokütle kaynakları olarak; enerji bitkileri ve kısa döngülü enerji ormanları, tarımsal ve bitkisel artıklar, hayvansal artıklar, orman ürünleri ve artıkları, endüstriyel artıklar, belediye katı artıkları, kanalizasyon artıkları ve sucul bitkiler kullanılmaktadır.

Biyokütle artıkları çoğu gelişmekte olan ülkelerde büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Odun gibi enerji kaynaklarının yerini alıyor olmasına rağmen hala bu artıkların çok az bir kısmı yakıt olarak kullanılmaktadır. Çünkü biyokütle artıkları yüksek nem içeriğine, düşük ısıl değere sahiptir ve oldukça fazla çeşitlidir. Bu özellikleri nedeniyle nakliye, depolama ve taşıma masrafları artmakta ve doğrudan yakıt olarak kullanımı pratik olmamaktadır.

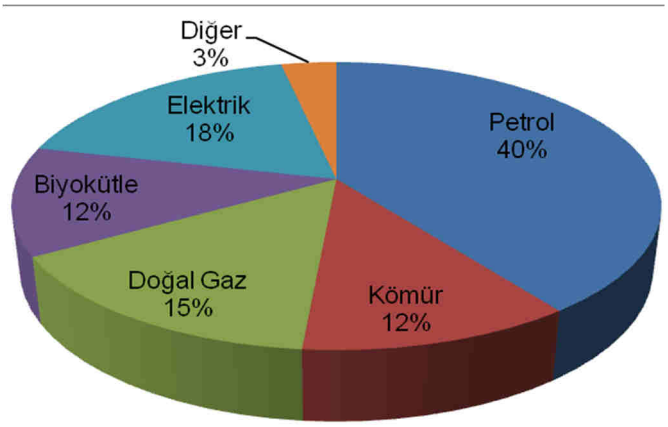
Dünyada her yıl büyük miktarlarda tarımsal ve bitkisel artık çıkmasına karşın bu artıkların kullanım oranları oldukça düşüktür. Tarımsal artıklar, yakıt üretimi için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Temel tarımsal artıklar ayçiçeği, mısır, pamuk ve tahıl samanları ile meyve bahçelerinde ortaya çıkan budama artıklarıdır. Bitkisel artık olarak ise domates, patlıcan, biber, enginar, hıyar ve patates artıkları sayılabilmektedir. Biyokütle artıkları var olan potansiyellerine rağmen enerji kaynağı olarak gerektiği şekilde değerlendirilememektedir. Bu artıklar daha çok gübre amacıyla toprağa gömülmekte, üretim alanı çevresinde toplanarak doğrudan yakılmakta ya da çürümeye bırakılmakta veya hayvanlara ot sağlamak amacı ile depolanmaktadır. Tablo 1'de bazı tarımsal materyallerin ısıl değerleri ile kül içerikleri verilmiştir (Grower ve Mishra, 1996; Başçetinçelik vd., 2005; Kürklü ve Bilgin, 2007).

Tablo 1. Bazı tarımsal materyallerin ısıl değerleri ve kül içerikleri

Ürünler	Isıl değer (MJ/kg)	Kül içeriği (%)	Ürünler	Isıl değer (MJ/kg)	Kül içeriği (%)
Mısır koçanı	18.40	1.20	Yerfıstığı kabuğu	20.74	6.00
Ayçiçeği sapı	14.20	1.90	Arpa samanı	17.50	10.30
Zeytin çekirdeği	19.50	3.20	Pirinç samanı	16.70	15.50
Badem kabuğu	19.38	4.80	Tütün tozu	16.10	19.10
Pamuk sapı	18.20	5.35	Pirinç kabuğu	12.98	22.40

1.1 Dünya ve Avrupa Birliği (AB) Ülkelerinde Biyokütle Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütlenin toplam enerji eşdeğeri 2880 EJ (65376 MTEP) olup bu değer 2013 yılı dünya enerji tüketiminin (9301 MTEP) yaklaşık 7 katına eşdeğerdir (Acaroğlu, 1998; Acaroğlu ve Ültanır, 2000; IEA, 2015). Biyokütle enerjisi dünyada kömür ve petrolden sonra en büyük birincil enerji kaynağıdır (Chen vd., 2009) ve dünya nüfusunun yarıdan fazlası birincil enerji kaynağı olarak biyokütle kullanmaktadır. 1973 yılında dünya yıllık toplam birincil enerji arzının (6100 MTEP'nin) %10.5'i biyokütleden karşılanırken, 2013 yılında yıllık toplam birincil enerji arzının (13541 MTEP) yaklaşık %10.2'si (1381 MTEP), dünya toplam nihai enerji tüketiminin (9301 MTEP) ise yaklaşık %12.2'si (1135 MTEP), OECD ülkelerinde toplam birincil enerji arzının (5238 MTEP) %5.5'i (288 MTEP) ve toplam nihai enerji tüketiminin (3646 MTEP) %5.7'ü (197 MTEP) biyokütle enerjisinden karşılanmıştır (IEA, 2015). Şekil 1'de dünya toplam nihai enerji tüketimin kaynak bazında görünümü verilmiştir.



Şekil 1. 2013 yılı dünya toplam nihai enerji tüketimin kaynak bazında görünümü

Son dönemlerde ABD'de ısı ve güç santrallerinde biyokütle kullanımı, biyokütleden sıvı yakıtların, kimyasalların ve biyo-ürünlerin üretimi hızlı bir şekilde artmıştır **(**Kaliyan ve Morey, 2009). Biyokütle hammaddesinden elde edilen araç yakıtlarının hükümet destekleri ile ve artan petrol fiyatlarına bağlı olarak gelecek dönemlerde daha hızlı bir şekilde artmaya devam edeceği belirtilmiştir.

Avrupa Birliği Ülkelerinde yıllık toplam enerji tüketiminin yaklaşık %7'si yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanırken, biyokütle enerjisinin payı %5 ve biyokütle enerjisinin toplam yenilenebilir enerji kaynakları içindeki payı ise yaklaşık %70'dir. AB ülkeleri 2020 yılına kadar toplam enerji tüketiminde biyokütlenin payını iki katına ve toplam yenilenebilir enerji kaynaklarının payını ise %20'ye çıkarmayı hedeflemişlerdir (ECC, 2007; EC, 2010). Biyokütle yakıtları içinde katı yakıtlar AB ülkelerinde enerji üretiminde önemli bir pay oluşturmaktadır. 2006 yılında 62.4 MTEP enerji eşdeğeri katı biyokütleden elde edilmiş ve bunun 58.5 MTEP'si ısı, 3.90 MTEP'si ise güç üretiminde gerçekleşmiştir (ECC, 2007).

Avrupa Birliği ülkeleri içinde Finlandiya enerji ihtiyaçlarının biyokütleden karşılanmasında lider konumdadır. Finlandiya 2008 yılı toplam birincil enerji tüketiminin %23'ünü biyokütleden karşılamış ve yıllık toplam biyokütle tüketim miktarı 7.7 MTEP olmuştur (IEA, 2008). Avrupa Birliği ülkelerinden İsveç yıllık enerji tüketiminin %19'unu, Danimarka ve Avusturya %12'sini biyokütle kaynaklarından karşılamıştır (ECC, 2007).

Almanya yıllık birincil enerji tüketiminin yaklaşık olarak %6.7'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılarken, biyokütlenin payı %4.9 ve yenilenebilir enerji kaynakları içinde biyokütlenin payı %73 olmuştur (BMU, 2009).

1.2 Türkiye'de Biyokütle Enerjisi

Türkiye, nüfusu yıldan yıla hızla artan ve oldukça hızlı bir şekilde gelişme gösteren bir ülkedir. Dolayısı ile nüfus artışı ve gelişmişliğe bağlı olarak enerji tüketimi hızla artmış, fakat

enerji üretimi hemen hemen yıllardır sabit kalmıştır. Mevcut durumda enerji üretimi, tüketimi karşılayamamakta ve enerji açığı her geçen yıl artarak devam etmektedir. Türkiye'nin enerji üretimi 2012 yılına göre 2013 yılında 2 MTEP düşerek 32 MTEP olmuştur. 2013 yılı sonunda enerji ithalatı 96 MTEP olurken, toplam birincil enerji arzı ise 120 MTEP'e yükselmiş ve 2013 yılı sonunda üretimin enerji arzını karşılama oranı yaklaşık %27 olurken, talebin %73'ü ithal yolla karşılanmıştır (ETKB, 2015). Bu durum hem ülke ekonomisi üzerinde olumsuz bir etki yapmakta hem de enerji kullanımını oldukça maliyetli kılmaktadır. Ayrıca önümüzdeki yıllarda komşu ülkeleri ve dünya ülkeleri ile meydana gelebilecek anlaşmazlıklar sonucu ortaya çıkabilecek enerji krizleri ve bunun sonucu oluşabilecek petrol ithal yasağı ya da daha yüksek maliyetli petrol ithalatı ülke ekonomisini ve insan yaşamını çok daha ciddi oranda olumsuz etkileyebileceğini göz ardı etmemek gerekir. Ülkenin sahip olduğu fosil enerji kaynakları enerji ihtiyacını karşılayacak düzeyde olmayıp, mevcut linyit kömürleri hem düşük ısıl değerli hem de yüksek kükürt ve kül içeriğine sahiptir. Bu nedenle temiz, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı Türkiye için çok önemlidir. Ayrıca, Türkiye coğrafi yapısı ve geniş üretim alanları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından da avantajlı bir konumdadır.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahip olmasına karşın, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki ve arzındaki payı oldukça düşüktür. Ülkemizin teknik ve ekonomik açıdan mümkün olan yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin (380 MTEP), 2013 yılı toplam birincil enerji arzından (120 MTEP) çok fazla olduğu görülmektedir (Acaroğlu, 1998).

Enerji üretiminde, yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise, biyokütle enerjisinin payı 1990 yılı için %74.6, 2000 yılı için %64 ve 2013 yılı için %32.2 olmuştur. Biyokütle enerjisi, toplam enerji üretimindeki payının yıldan yıla düşüş göstermiş olmasına rağmen yenilebilir enerji kaynakları arasında hala en yüksek paya ve dolayısı ile büyük bir öneme sahiptir. Biyokütle enerjisi, toplam enerji üretimindeki payının yıldan yıla düşüş göstermiş olmasına rağmen, yenilebilir enerji kaynakları arasında hidrolik enerjiden sonra en yüksek paya ve dolayısı ile büyük bir öneme sahiptir. Biyokütle enerjisinin toplam enerji üretimindeki payı 2013 yılı için %13.7 iken, toplam birincil enerji arzındaki payı ise aynı yıl için %3.6 seviyesinde kalmıştır.

Türkiye'nin geri kazanılabilir biyokütle potansiyeli yaklaşık olarak 16.92 MTEP olarak tahmin edilmektedir (Kaygusuz ve Türker, 2002). Türkiye, 2015 yılı için 19.852 milyon ha işlenebilir tarım alanı ile tarımsal potansiyeli zengin olan bir ülkedir. Bunun 15.738 milyon ha'lık bölümü ekilirken, geri kalan 4.144 milyon ha ise nadasa bırakılmıştır (TUİK, 2016a). Tarımsal üretim alanlarında yaygın olarak tahıllar, yağlı tohumlar ve yumrulu

ürünler yetiştirilmektedir. Bu ürünler içerisinde üretim alanına bağlı olarak en yüksek artık miktarı buğday ve arpa yetiştiriciliğinden açığa çıkmaktadır. Bununla birlikte, mısır ve pamuk yetiştiriciliğinden de önemli miktarda artık oluşmaktadır. Türkiye'de yıllık toplam tarımsal artıkların enerji eşdeğeri 50-65 MTEP'dir. Türkiye'de kullanılabilir tarımsal artıkların miktarı 2005 yılı için 13 milyon ton civarındadır ve bu artıkların ısı enerjisi değeri yaklaşık olarak 228 PJ'dur. Toplam kullanılabilir artık içerisinde mısır %31.72, buğday %27.01 ve pamuk %16.12 ile en fazla paya sahip başlıca ürünlerdir. Bölgeler içerisinde tarla ürünleri artıklarının toplam ısıl değeri açısından en büyük pay 57 PJ ve %25 oran ile Akdeniz Bölgesine aittir (Başçetinçelik vd., 2005).

1.3 Çalışmanın Amacı

Türkiye'de ve özellikle Antalya ilinde yoğun bir şekilde örtüaltı yetiştiriciliği yapılmaktadır. Türkiye'de toplam sera alanları (cam+plastik sera) 303118 da değerine ulaşmıştır. Türkiye'deki cam seraların %83.30'u (69078 da), plastik seraların %51.37'si (113115 da) ve toplamda ise %60'ı Antalya ilinde bulunmaktadır (Anonim, 2011).

Örtüaltı yetiştiriciliğinde domates, biber ve patlıcan gibi sebze bitkileri diğer ürünlere göre çok daha geniş alanlarda yetiştirilmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Antalya ili cam ve plastik sera domates, biber ve patlıcan sebze üretim alanları

Ürün	Cam sera (da)	Plastik sera (da)	Toplam (da)
Domates	51596	85568	137164
Biber	8308	15901	24209
Patlıcan	4374	6773	11147

Yetiştiricilik yapılan alanlardan çok büyük miktarlarda bitkisel artık çıkmaktadır. Tablo 3'te Antalya ili cam ve plastik seralarda yıllık yaş ve kuru bazda çıkan toplam domates, biber ve patlıcan bitkisi artık miktarları verilmiştir (Bilgin vd., 2012).

Tablo 3. Antalya ili cam ve plastik seralarda yıllık çıkan yaş biyokütle artık miktarı

Bitki	Cam sera						Plastik sera					
	Yaş bazda (t/yıl)			Kuru bazda (t/yıl)			Yaş bazda (t/yıl)			Kuru bazda (t/yıl)		
	Söküm öncesi	Söküm sonrası	Toplam	Söküm öncesi	Söküm sonrası	Toplam	Söküm öncesi	Söküm sonrası	Toplam	Söküm öncesi	Söküm sonrası	Toplam
Domates	151114	247620	398734	16884	38482	55366	178255	412575	590830	25421	62327	87748
Biber	11870	33031	44901	1986	5723	7709	22719	63218	85937	3801	10954	14755
Patlıcan	6675	15878	22553	848	2971	3819	9848	28667	38525	1334	5007	6341
TOPLAM	**169659**	**296529**	**466188**	**19718**	**47176**	**66894**	**210822**	**504460**	**715292**	**30556**	**78288**	**108844**

Tablo 3'te de görüldüğü gibi Antalya ilinde yetiştiricilik yapılan cam ve plastik seralardan her yıl yaş bazda yaklaşık olarak 1182 bin ton (466188 + 715292 t), kuru bazda ise 176 bin ton (66894 + 108844 t) bitkisel biyokütle artığı çıkmakta ve bu değerler Türkiye sera alanlarından çıkan artıkların yaklaşık olarak %70'ini oluşturmaktadır (Bilgin vd., 2012). Bu artıkların çok büyük bir kısmı herhangi bir şekilde değerlendirilmeden sera yakınlarına, deniz kenarlarına, dere yataklarına, çöp alanları vb. yerlere bırakılmaktadır (Şekil 2). Çok az bir kısmı bir makine yardımı ile parçalanarak sera toprağına karıştırılmakta ya da daha fazla odunsu yapı gösteren biber bitki sapları kurutularak evlerde yakacak olarak kullanılmaktadır. Yetiştiricilik yapan çiftçilerle yapılan görüşmelerde yine seralardan bitkisel artıkların atıldıkları yerlerden çobanlar tarafından toplandığı (özellikle domates) bir parçalayıcı yardımıyla parçalandıktan sonra hayvan yemi olarak da kullanıldığı belirtilmektedir. Bu durum özellikle ilaç ve kimyasal gübre kalıntılarının fazla olmasına bağlı olarak doğrudan hayvanlara, dolaylı olarak da insanlara geçerek zararlı olabilmektedir. Ancak, son yıllarda bazı belediyeler seralardan çıkan bitkisel artıkların kontrollü depolanmasını sağlamak için depolama alanları oluşturmuştur. Artıkların bertaraf edildiği alanlarda kuruduktan sonra yakılması hava, çevre ve görüntü kirliliğine neden olmakta ve bu sonuç canlı yaşamını ciddi anlamda tehdit etmektedir (Şekil 3). Ayrıca artıkların bulundukları yerlerde çürümesi sonucu sera etkisine neden olan metan gazı da çıkmaktadır. Aynı zamanda bitkideki ilaç ve kimyasal gübre kalıntılarının yağışlarla birlikte yer altı su kaynaklarına geçerek kaynakları kirletmesi ve insanı rahatsız edecek düzeyde çevreye kokuların yayılması gibi olumsuz durumlar da söz konusu olmaktadır. Yine dere yataklarına ve deniz kenarlarına atılan materyallerin neden olduğu su kirliliğine bağlı olarak balık ölümlerine de rastlamak mümkün olmaktadır. Artıkların sera toprağına karıştırılması ya da sera çevresine atılması hastalık yapıcı etmenlerin yetiştiricilik yapılan ortamda kalmasına neden olabilmektedir. Bitki artıklarının özellikle son yıllarda domates yetiştiriciliğini tehdit eden Domates Güvesi (*Tuta Absoluta*) zararlısına bir sonraki yetiştiricilik dönemine kadar konukçuluk etmesi zararlının hızlı bir şekilde çoğalmasına ve zarar etkisinin daha da artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, artıkların oluşturduğu hava, çevre ve deniz kirliliği bir turizm merkezi olan Antalya ilinde olumsuz bir izlenim oluşturmaktadır.



Şekil 2. Biyokütle artıklarının boş alanlara ve deniz kenarlarına atılması ile ilgili görüntüler



Şekil 3. Bitkisel biyokütle artıklarının yakılması sonucu oluşan kirlilikle ilgili bir görüntü

Yukarıda belirtilen olumsuzlukların önlenmesi, daha temiz, daha sağlıklı bir çevre ve aynı zamanda daha kaliteli ve verimli ürün yetiştiriciliği için seralardan çıkan çok büyük miktarlarda biyokütle artıklarının geri kazanımı sağlanarak ülke ekonomisine kazandırılması gerekmektedir.

Domates, biber ve patlıcan bitkisinin ısıl değerleri sırasıyla 15.36, 17.51 ve 17.38 MJ/kg'dır (Bilgin vd., 2012). Bu değerler bazı tarımsal materyallere göre yüksek (ayçiçeği sapı, pirinç kabuğu, pirinç samanı, tütün tozu), bazılarına göre ise (mısır koçanı, zeytin çekirdeği, pamuk sapı, yerfıstığı kabuğu) düşüktür. Domates, biber ve patlıcan bitkisinin kül içerikleri ise sırası ile %7.67, %3.67 ve %4.33'tür (Bilgin vd., 2012). Bu değerler literatürlerde verilen bazı tarımsal materyallere (arpa samanı, çeltik samanı, tütün tozu, pirinç kabuğu, hint keneviri, şekerkamışı özü, fasulye sapı, pamuk çırçır atığı) ve linyit kömürüne göre daha düşük, bazı tarımsal materyallere ve ağaç türlerine (mısır koçanı, ayçiçeği sapı, çay atığı, pamuk sapı, susam sapı, çam yaprağı, ağaç talaşları, hindistan cevizi kabuğu, pirina, şeker pancarı) göre ise daha yüksektir (özellikle domates bitkisi) (Grover ve Mishra, 1996; Yalçın vd., 1996, Demirbaş, 1999; Singh vd., 2007). Ayrıca domates, biber ve

patlıcan bitkisi saplarından sıkıştırılması ile elde edilen briket katı yakıtların geleneksel kovalı tip bir sobada yakılması sonucu ölçülen baca gazı emisyonları da oldukça düşük bulunmuştur Baca gazı emisyonları domates, biber ve patlıcan bitkisi briketleri için en düşük CO emisyonu sırası ile 92 ppm, 101 ppm ve 94 ppm, ortalama NO_x emisyonu 208 ppm, 235 ppm ve 200 ppm ve CO_2 emisyonu da yaklaşık olarak %7-9, %7-10 ve %7-9 arasında değişmiştir. Domates bitkisi briketleri SO_2 emisyonları meydana getirmezken, biber ve patlıcan bitkisi briketleri önemsiz düzeyde SO_2 emisyonu meydana getirmiş ve yanma işlemi süresince tüm briketler H_2S emisyonu meydana getirmemişlerdir (Bilgin vd., 2013). Bu nedenle artıklardan enerji elde etmede katı yakacak olarak kullanılması en kolay ve etkin yöntemlerden birisidir. Ancak bitkisel artıkların katı yakacak olarak kullanımında karşılaşılan en büyük problem onların düşük yoğunluğa ve yüksek nem içeriğine sahip olmalarıdır. Düşük yoğunluk ve yüksek nem içeriği ayrıca taşıma ve depolama sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenlerle artıklardan enerji elde etmede en etkin yollardan birisi de kurutulup öğütüldükten sonra preslenerek pelet haline getirilmeleridir.

Bu çalışmada, seralarda en fazla üretim alanına ve oldukça lifli ve odunsu yapıya sahip domates, biber ve patlıcan bitkisi saplarının otomatik beslemeli peletleme makinesinde 3 farklı nem içeriğinde (%8-10, %13-15 ve %18-20), karışım yapılmadan ayrı ayrı 3 (D100, B100 ve P100) ve 5 farklı karışım oranında (domates, biber ve patlıcan sırası ile; 50:25:25 (**D50**), 80:10:10 (**D80**), 33.3:33.3:33.3 (**D33**), 25:50:25 (**B50**) ve 25:25:50 (**P50**)) olmak üzere toplam 8 farklı materyalde ve üç farklı materyal parçacık boyutunda (4, 6 ve 8 mm elek delik çapına sahip çekiçli değirmende öğütülmüş) peletlenmesi amaçlanmıştır. Peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özellikleri olarak pelet boyutları, pelet hacim ve parça yoğunlukları, pelet mekanik dayanıklılık direnci, pelet darbe dayanım direnci, pelet basınç direnci ve pelet nem alma durumu ve pelet nem içeriği belirlenmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında makinelerin enerji tüketim değerleri ölçülmüş, pelet üretim maliyeti hesaplanmış ve pelet üretiminin fayda analizi (kazanılan enerji) yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

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. Son yıllarda peletlemenin önemi ve ticari üretimi hızlı bir şekilde artmış ve pelet kullanımı yaygınlaşmıştır. Pelet, hayvan yemine benzeyen, küçük, silindirik bir forma sahiptir. Biyokütle peletleri genellikle 6-12 mm çapında ve 10-30 mm uzunluğundadır. Biyokütle materyalinin basınç altında daha küçük boyutlara (yaklaşık 30 mm) getirilmesine peletleme denilmektedir (Öztürk, 2012). Pelet odun talaşı, odun yongaları, ağaç kabuğu, tarımsal ürünler, ekinlerin sapları, fındık, badem, ceviz kabukları hatta artık kağıt gibi maddelerden üretilebilmektedir. 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 vd., 2000; Mani vd., 2003; Holm vd., 2006; Nilsson vd., 2011; Theerarattananoon vd., 2011; Celma vd., 2012).

Günümüzde peletleme teknolojileri olarak düz ve çember kalıplı pres teknolojileri kullanılmaktadır (Şekil 4). Düz kalıp pres teknolojisinde sıra delikli disk üzerinde bir, iki ya da daha fazla sıkıştırma silindiri (daha çok 2 silindir) yaklaşık olarak 2-3 m/s hızla dönmektedir. Diskler vasıtasıyla materyal kalıp deliklerinde sıkıştırılmakta ve kalıbın şeklini alarak peletlenmiş olarak çıkmaktadır. Çember kalıplı pres teknolojisinde ise, dönen delikli çemberin iç çevresine bastıran sıkıştırma silindirleri (normalde 2 veya 3 adet) sürekli olarak dönmektedir. Materyal kalıp deliklerinde sürekli olarak sıkışarak peletlenmiş olarak kalıptan çıkmaktadır (Öztürk, 2012).



a b

Şekil 4. Düz kalıplı (a) ve çember kalıplı (b) peletleme teknolojisi

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, porozitesi, 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 vd. (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 değerde olması gerekmekte, fakat en uygun nem içeriği tamamen materyal çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Peletleme işleminde nem, parçacıklar arası bağları kuvvetlendiren bir yapıştırıcı gibi rol oynamaktadır. Nem ayrıca bir yağlayıcı madde gibi rol oynamaktadır (Kaliyan ve Morey, 2009). Organik ve selülozik ürünlerde su, parçacıkların gerçek temas yüzeylerini artırarak Van der Walls kuvvetlerinin bağlayıcı etkisini güçlendirmektedir. Ancak, yine de suyun bu etkisi oldukça kritiktir ve tamamen materyal çeşidine bağlıdır. Yüksek nem içeriği, materyalin sıkıştırma deliklerinden daha kolay kaymasına neden olmakta ve bu durum pelet kalitesini oldukça düşürmektedir. Düşük nem içeriği ise peletleme işlemi için çok büyük basınç gerektirmekte ve bu da materyalin kalıp deliklerinde sıkışıp kalmasına neden olmaktadır. Böyle bir durumun meydana gelmesi peletleme işlemini durdurmakta ve önemli zaman kayıplarına neden olmaktadır (Lehtikangas, 2001). Yapılan çalışmalar en uygun bir değere ulaşıncaya kadar materyal nem içeriğindeki artışla, peletlerin mekanik dayanıklılığını artırdığını göstermiştir (Kaliyan ve Morey, 2009).

Materyal parçacık boyutu (ortalama ve dağılım) sıkıştırma süresince elde edilen peletlerin kalitesini önemli derecede etkilemektedir (Lehtikangas, 2001; Mani vd., 2003; Kaliyan ve Morey, 2009). Parçacık boyutunun azalması materyalin toplam yüzey alanını, gözeneklik boyutunu ve sıkıştırma işleminde parçacıkların yapışması için temas eden nokta sayısını artırmaktadır. Ancak, küçük parçacıklar büyük parçacıklara göre daha fazla nem

alırlar ve bu nedenle çok daha fazla havalandırılmaya ihtiyaç duyarlar. 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). Çünkü daha küçük parçacıklar daha büyük parçacıkların boşluklarını doldurmakta ve böylece daha yoğun ve daha dayanıklı sıkışmış ürünler elde edilebilmektedir. Oldukça kaba parçalanmış materyaller peletleme işlemi sırasında yeterince sıkıştırılamamakta ve pelet yüzeylerinde doğal çatlakların oluşmasına, bu durum da peletlerin oldukça dayanıksız olmasına neden olmaktadır. Yüksek kaliteli bir pelet üretimi için, biyokütlenin öğütülmesinde kullanılan çekiçli değirmenin 3.2-4 mm çap aralığında eleklere sahip olması gerekmektedir. Daha yüksek elek delik çapına sahip çekiçli değirmenlerle öğütülen materyallerden elde edilen peletlerin ise daha düşük kaliteli oldukları ve 1 mm den daha büyük parçacık boyutlarının peletlerde kırılma noktalarını artıracağı belirtilmiştir. Küçük parçacık boyutları ile daha dayanıklı peletler üretilmesine rağmen, ince öğütme üretim maliyetlerini artırdığı için istenmemektedir (Mani vd., 2004; Kaliyan ve Morey, 2009).

Peletleme işleminde sıcaklık, ürünlerin stabilizesinde, dayanıklılığında ve sıkıştırma için gereksinim duyulan enerji miktarında büyük bir rol oynamaktadır. Materyale ısı ilavesi sıcak buhar, hammaddenin ön ısıtılması veya kalıp bölümüne ısıtma sisteminin eklenmesiyle mümkün olmaktadır (Mani vd., 2003). Hammaddelere yüksek sıcaklıkta buhar ilave edilmesi pelet dayanıklılığını artırmakta ve peletleme işlemi için ihtiyaç duyulan enerji tüketimini azaltmaktadır. Tabil ve Sokhansanj (1996) tarafından yapılan bir çalışmada hammadde sıcaklığının 65 °C'den 95 °C'ye çıkarılmasının pelet kalitesini artırdığı belirtilmiştir. Sıcaklık artışı aynı zamanda kalıp yüzeyi ile materyal arasındaki sürtünmeleri minimuma indirmekte ve peletleme işleminin daha akıcı olmasını sağlamakta ve böylece makinenin peletleme kapasitesi artmaktadır (Colley, 2006). Ancak, sıcaklık hiçbir zaman biyokütlenin bozulma sınırı olan 300 °C'yi aşmamalıdır (Grover ve Mishra, 1996).

Biyokütlenin peletlenmesi ile ilgili olarak yürütülen birçok araştırmada, farklı materyaller ve peletleme makineleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar ortaya konmuştur.

Colley (2006) tarafından yapılan çalışmada enerji bitkisi olan darı bitkisi (Switchgrass) peletlenmiş ve elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada materyalin peletlenebilirliği, pelet parça yoğunluğu ve makinenin özgül enerji tüketimleri üzerine materyal nem içeriği, sıcaklık ve kalıp boyutlarının etkileri incelenmiştir. Pelet yoğunluğu, 3924 N bir sıkıştırma kuvvetinde, materyal parçacık boyutunun azalması (7.9 mm'den 4.8 mm'ye) ile artmıştır. Aynı zamanda sıcaklığın artması (60-90 °C) pelet yoğunluğunu artırmıştır. Sıcaklık artışının makinenin özgül enerji tüketimi üzerine herhangi bir etkisinin

olmadığı saptanmıştır. Peletlerin parça yoğunluğu 850-1250 kg/m^3 arasında değişmiştir. Materyal nem içeriği peletlerin sertliğini, mekanik dayanımını, pelet hacim ve parça yoğunluğunu önemli derecede etkilemiştir. Peletlerin koparılması için ihtiyaç duyulan kuvvet %6.32 nem içeriğinde 32 N, %17.4 nem içeriğinde ise 22 N bulunmuştur. En yüksek pelet mekanik dayanımı %8.62 nem içeriğinde elde edilmiştir. Depolama süresince çevre havanın bağıl nemi, peletlerin nem almasını önemli derecede etkilemiş ve nem oranı arttıkça peletler daha fazla nem almıştır.

Mani vd., (2006a) tarafından yapılan çalışmada buğday samanı, arpa samanı, mısır koçanı ve darı bitkisi peletlenmiş ve peletlerin mekanik özellikleri üzerine farklı sıkıştırma kuvveti, parçacık boyutu ve nem içeriğinin etkileri araştırılmıştır. Öğütülmüş materyaller 5 farklı sıkıştırma kuvvetinde (1000, 2000, 3000, 4000 ve 4400 N), 3 farklı parçacık boyutunda (0.8, 1.6 ve 3.2 mm) ve 2 farklı nem içeriğinde (%12 ve %15) peletlenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek pelet parça yoğunluğu (1136 kg/m^3) mısır koçanı örneklerinin %12 nem içeriğinde ve 3.2 mm parçacık boyutunda düşük sıkıştırma kuvveti uygulanarak elde edilmiştir. Mısır koçanındaki yüksek protein düşük sıkıştırma kuvvetlerinde dahi açığa çıkan yüksek sıcaklığın etkisi ile serbest konuma geçerek yapıştırıcı görevi görmüştür. Sıkıştırma kuvveti, materyal parçacık boyutu ve nem içeriği peletlerin yoğunluğunu önemli derecede etkilemiştir. Materyal parçacık boyutunun azalması pelet yoğunluğunu artırırken, nem içeriğinin artması ise pelet yoğunluğunu azaltmıştır. Ancak, bu durum tamamen materyal özelliklerine bağlıdır. Buğday samanının peletlenmesinde, farklı parçacık boyutları pelet yoğunluğu üzerine önemli bir etki göstermemiştir. Sıkıştırma kuvvetinin artması pelet yoğunluğunu artırmıştır.

Bergström vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada sarıçam talaşı peletlenmiştir. Peletleme işlemi, peletlerin fiziksel ve termokimyasal karakteristikleri üzerine materyal parçacık boyut dağılımının etkileri incelenmiştir. Çalışmada materyaller, 4 farklı parçacık boyutunda ve 300 kg/h kapasiteli yarı endüstriyel ölçekli peletleme makinesinde peletlenmiş ve 8 mm çapında peletler üretilmiştir. Peletlerin fiziksel karakteristikleri ile ilgili olarak basınç direnci, mekanik dayanıklılık direnci, yoğunluk, nem içeriği ve nem alma özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda, parçacık boyut dağılımının güç tüketimi ve basınç direnci üzerine etkisinin az olduğu, bunun yanında peletin parça yoğunluğu, yığın yoğunluğu, nem içeriği, depolama süresince nem alımı ve aşınma direncine belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen peletlerin parça yoğunluğu yaklaşık olarak 1270 kg/m^3 ve mekanik dayanıklılık direnci %99 olarak bulunmuştur.

Fassina (2008) tarafından yapılan çalışmada yerfıstığı kabuğu ve yerfıstığı işleme tesislerinden çıkan atık karışımları laboratuvar ölçekli peletleme makinesinde peletlenmiş ve

4.76 mm çapında peletler elde edilmiştir. Peletleme öncesi örnekler, sıcak buhar ile nemlendirilmiş ve materyal sıcaklığı yükseltilmiştir. Peletlerin fiziksel özellikleri (pelet boyutu, pelet yığın ve parça yoğunluğu, pelet nem alma ve pelet eşdeğer nem içeriği) üzerine pelet nem içeriğindeki (yaş bazda %4.2-21.2) değişimin etkisi incelenmiştir. Peletleme işleminden sonra peletler, farklı nem içeriklerine getirilmiş (%4.2, %9.1, %12.3, %15.4 ve %21.2) ve pelet fiziksel özellikleri bu işlemden sonra belirlenmiştir. Çalışma sonunda, pelet yığın ve parça yoğunluğunun nem içeriğindeki artış ile doğrusal olarak azaldığı belirlenmiştir. Peletleme işlemi ile materyal yığın yoğunluğu 151 kg/m^3'ten 600 kg/m^3'e çıkmıştır. Peletlerin mekanik dayanıklılığı başlangıçta nem içeriğinin artışı ile artmış ve %9.1 nem içeriğinde %90.3 ile maksimum değere çıkmıştır. Nem içeriğinin daha da fazla artması pelet mekanik dayanıklılığını azaltmış ve %21.2 nem içeriğinde %76 ile en düşük olmuştur. Çevre sıcaklığına bakılmaksızın, peletlerin %60-80 nem içeriğine sahip bir ortamda nem aldığı, fakat %45 nem içeriğine sahip bir ortamda nem kaybettiği görülmüş ve peletlerin 48 saatlik bir süre sonunda nemlendirilmiş hava ile temas ettiğinde en fazla %4.9'a kadar nem aldığı belirlenmiştir.

Larsson vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada kuşyemi kamışı bitkisi laboratuvar ölçekli piston-silindir tip pelet makinesinde peletlenmiştir. Yüksek kaliteli pelet üretimi için, en uygun materyal nem içeriği, yığın yoğunluğu, buhar uygulaması ve kalıp sıcaklığı için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ön sıkıştırma işlemi ile materyalin yığın yoğunluğu 150 kg/m^3'ten 270 kg/m^3'e çıkarılmış ve sürekli bir üretim için materyal nem içeriğinin minimum %13.8 ve kalıp sıcaklığının 83 °C'nin altında olması gerektiği belirtilmiştir. Pelet hacim yoğunluğunun ve mekanik dayanıklılığının materyal nem içeriği ile yüksek oranda ilişkili olduğu görülmüş, fakat sonuçlar farklı uygun değerler göstermiştir. Ayrıca, yüksek kaliteli pelet için pelet yığın yoğunluğunun 650 kg/m^3'ten, pelet dayanıklılığının ise %97.5'ten büyük olması gerektiği vurgulanmıştır.

Garsia-Maraver vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada zeytin ağacı dalları ve yaprakları ayrı ayrı ticari ölçekli pelet makinesi kullanılarak peletlenmiş ve pelet fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda, zeytin ağacı dalı ve yapraklarından sırası ile 5.94 ve 6.04 mm çapında, 20.36 ve 10.65 mm uzunluğunda peletler elde edilmiştir. Zeytin ağacı dallarından elde edilen peletlerin hacim yoğunluğu 582 kg/m^3, parça yoğunluğu 1259 kg/m^3, basınç direnci 21.33-22.50 kg elde edilirken, yapraklardan elde edilen peletlerin ise sırası ile 481 kg/m^3, 1083 kg/m^3, 4-8.33 kg elde edilmiştir. Ayrıca kül içerikleri dal peleti için %4.79, yaprak peleti için ise %12.34 olarak belirlenmiştir.

Gil vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada farklı biyokütle örnekleri (çam, kiraz, okaliptüs talaşları, selüloz artıkları, kahve kabukları ve üzüm artıkları) ve biyokütle + iki farklı

kömür çeşidi peletlenmiştir. Çalışmada peletleme makinası olarak kalıp-piston düzeneği kullanılmış ve 8 mm çapında silindirik peletler üretilmiştir. En uygun materyal özelliklerinin belirlenmesi için peletlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda üzüm artığı ve kahve kabuklarından elde edilen peletlerin en düşük, kiraz ve çam talaşından elde edilen peletlerin ise en yüksek mekanik dayanıklılığa sahip oldukları belirlenmiştir. %10-30 arasında kiraz talaşı ile çam talaşı karışımlarının pelet üretimi için en iyisi olduğu görülmüştür. Kiraz + çam talaşı ile selüloz artıkları + kömür (<%20) karışımlarından elde edilen peletlerin dayanıklılığında bir azalma olmamıştır.

Callejon-Ferre vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada İspanya'nın Almeria bölgesinde çıkan seralardan çıkan bitki artık miktarları belirlenmiş ve materyallerin ısıl değer, kül içeriği, uçucu madde miktarı, karbon, kükürt gibi kısa analiz ve elementel analiz sonuçları verilmiştir. Seralardan yılda yaş bazda yaklaşık 1.1 milyon ton artık çıktığı belirlenmiştir. Bitki artıklarından yılda yaklaşık olarak 1000 GWh enerji üretilebileceği belirtilmiştir. Domates, biber ve patlıcan bitkilerinin ısıl değerleri sırası ile 14.83 MJ/kg, 15.26 MJ/kg ve 16.53 MJ/kg, kül içerikleri ise sırası ile %18.71, %17.86 ve %13.12 bulunmuştur.

Nilsson vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada biyoyakıt peletine olan talebin son yıllarda arttığı, bunun yanında pelet üretiminde kullanılan odun talaşı ve yonganın talebi karşılamada yeterli olmadığı belirtilmiş ve bu nedenle tarımsal kaynaklı hammaddeye talebin hızlı bir şekilde arttığı vurgulanmıştır. Çalışmada, tarımsal hammaddelerden pelet üretiminin maliyet ve enerji gereksinimleri analiz edilmiş, söğüt, örtü bitkileri (çit bitkileri), kuşyemi kamışı, kolza tohumu küspesi, kolza küspesi ve damıtma artıkları incelenmiştir. Çalışma kapsamında yıllık dört farklı üretim kapasitesine sahip (80000, 8000, 800 ve 80 ton) tesis analiz edilmiştir. Çalışma sonunda en büyük hammadde talebinin rekabetçi, kabul edilebilir yakıt özellikleri ve büyük ölçekli peletleme tesislerinde talaş ile karıştırılabilir özellikte olmaları nedeniyle söğüt ve kuşyemi kamışına olduğu tespit edilmiştir. Samanın düşük üretim maliyetlerine sahip olmasına karşın yüksek kül içeriğine sahip olduğu belirtilmiş ve küçük ölçekli yakma sistemlerinde saman peletinin yakılmasından kaçınılması gerektiği vurgulanmıştır. Kolza tohum küspesi, kolza küspesi ve damıtma artıklarının gıda hammaddesi olarak kullanıldıklarında daha yüksek alternatif değerlere sahip olduğu, kenevir bitkisinin ise yüksek hammadde maliyetlerine sahip olduğu bu nedenle ticari olarak daha az ilgi gördüğü açıklanmıştır. Göz önüne alınan tesisleri için üretim kapasitesinin üretim maliyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmış ve bu nedenle büyük ölçekli tesislerde makinelerin daha etkin bir şekilde kullanıldığı ve bunun sonucu olarak maliyet açısından önemli tasarruflar sağladığı belirtilmiştir. Bunun yanında hem sabit hem mobil olan küçük ölçekli peletleme tesislerinin karlı olması için ucuz hammaddeye, düşük işgücü

maliyetine ve uzun kullanım süresine ihtiyaç duyulduğu açıklanmıştır. Son olarak taze söğüt ve damıtma artığı gibi yüksek nemli hammaddelerin kurutulmasının toplam enerji tüketimini artırdığı vurgulanmıştır.

Razuan vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada hurma yağı fabrikalarından çıkan hurma çekirdeği küspesi peletlenmiş ve peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada 2.5 mm ortalama çapa ve %7.9 nem içeriğinde sahip hurma çekirdeği küspeleri maksimum sıkıştırma basıncı 70 MPa olan piston-silindir düzenekli peletleme makinesinde 5 saniye süre ile 20-100 °C arasındaki sıcaklıklarda peletlenmiştir. Peletlerin yoğunluk ve çekme dayanımı üzerine önemli etkilere sahip peletleme basıncı, sıcaklık, nem içeriği ve yapıştırıcı madde gibi değişkenlerin etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda pelet parça yoğunluğunun 1184 -1226 kg/m^3 ve çekme dayanımının 930-1007 kPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Aynı şartlar altında yapıştırıcı madde olarak az miktarlarda sodyum hidroksit eklenmesinin (%1.5-2) çekme dayanımını 3055 kPa'a çıkartmıştır. Yüksek nem içeriğinde (%15) yapılan peletleme işleminde elde edilen peletlerin hemen dağıldığı, düşük nem içeriğinde (%5) yapılan peletleme işleminde elde edilen peletlerin ise hemen kırıldığı belirlenmiştir. Peletleme basıncının ve sıcaklığın artması hem pelet yoğunluğunu hem de çekme dayanımını artırmıştır. Ayrıca, %2 sodyum hidroksit katkılı hurma çekirdeği küspesi peletlerin üretim maliyetinin 28-47 £/t arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Serrano vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada arpa samanı ve saman + çam talaşı karışımı düz kalıp dairesel sıralı delikli peletleme makinesinde peletlenmiştir. Peletleme işlemi süresince kalıp sıcaklığı ölçülerek materyal nemi kalıp girişinde hassas bir şekilde kontrol edilmiştir. Elde edilen peletlerin mekanik dayanımı, yoğunluğu, uzunluğu ve nem içeriği belirlenmiş ve bu parametreler pelet ısıl değeri ve kül içeriği ile birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda hammadde bileşiminin az da olsa peletleme işlemi ile değiştiği görülmüştür. Yüksek yoğunluklu arpa samanı peleti üretimi için en uygun nem içeriğinin %19-23 arasında olması gerektiği ve elde edilen peletlerin nem içeriğinin %6.1-8.2 arasında değiştiği belirtilmiştir. Materyal nem içeriğinin artması, peletlerin mekanik dayanımını ve pelet uzunluğunu artırırken, pelet yoğunluğunu azaltmıştır. Sadece arpa samanından elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılığı %95.5 ve arpa samanına az miktarlarda çam talaşı eklendiğinde (yaş bazda %2, 7 ve 12) bu değer %97-98 olmuştur. Materyal parçacık boyutunun artmasının peletleme işlemi üzerinde olumsuz bir etki meydana getirmediği, yine de kaba öğütülmüş parçacıkların sıkıştırılmasının nem ve çam talaşı eklenmesi yolu ile iyileştirilebileceği belirtilmiştir. Pelet parça yoğunluğu 1300-1400 kg/m^3 arasında elde edilmiştir.

Stahl ve Berghel (2011) tarafından yapılan çalışmada pelet üretiminin daha çok odun talaşı ve yongalarından elde edildiği ve bu materyallerin maksimum ölçüde kullanıldığı belirtilmiştir. Ancak, gelecekte pelete olan talebin artacağı ve pelet üretiminde kullanılacak talaşın yetersiz kalacağı bu nedenle diğer hammaddelerin ya da bunların karışımlarının kullanılacağı vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada odun talaşı ile kolza küspesinin karışımı incelenmiş ve karışım materyali ticari ölçekli bir pelet makinesi kullanılarak peletlenmiştir. Elde edilen peletlerin mekanik dayanımı, uzunluğu, nem içeriği ve yığın yoğunluğu belirlenmiştir. Pelet üretimi boyunca, yük akımı, kalıp basıncı ve kalıp sıcaklığı diğer parametrelerle birlikte ölçülmüştür. Çalışmanın ana amacının çam talaşı ve kolza küspesi karışımının peletleme makinesinin enerji tüketimini ve peletlerin mekanik dayanıklılığını nasıl etkilediğinin belirlenmesi olarak vurgulanmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar, karışım içerisindeki kolza küspesinin artışı ile küçük parçacık miktarının arttığı ve makinenin enerji tüketiminin azaldığını göstermiştir. Ancak, karışımda kolza küspe miktarının artması hem peletlerin mekanik dayanımını hem de pelet yığın yoğunluğunu azaltmıştır. Sonuç olarak enerji tüketiminin azalması ile mekanik dayanımda meydana gele azalma arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu vurgulanmıştır.

Stelle vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada farklı biyokütle örnekleri (ladin talaşı-%8.2, kayın talaşı-%7.9 ve buğday samanı-%8 neminde) peletleme makinesinde peletlenmiş ve kalıp içinde oluşan basınç üzerine hammadde tipinin, pelet uzunluğunun, kalıp sıcaklığının, nem içeriğinin ve materyal parçacık boyutunun etkileri incelenmiştir. Çalışmada kalıp sıcaklığı 20-180 °C arasında kontrol edilmiş ve 8-16 mm çaplı peletler üretilmiştir. Çalışma sonunda pelet uzunluğunun artması ile peletleme basıncının hızlı bir şekilde arttığı ve basınç artış oranının biyokütle çeşidine, sıcaklığa, nem içeriğine ve parçacık boyutuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Peletleme basıncının belirlenmesi için yapılan matematiksel modellemenin deneysel sonuçlarla büyük oranda paralellik gösterdiği belirtilmiştir. Sıcaklık artışı peletleme için ihtiyaç duyulan basıncı azaltmıştır. Yüksek sıcaklık, biyokütle ile kalıp yüzeyleri arasında sürtünmeleri azaltmış ve bir yağlayıcı etkisi yaparak peletlerin daha kolay çıkmasını sağlamıştır. Peletleme basıncı üzerine nem içeriğinin etkisinin tamamen materyal çeşidine bağlı olduğu belirtilmiştir. Materyal parçacık boyutundaki azalma peletleme için ihtiyaç duyulan basıncı artırmıştır. Pelet yoğunluğu üzerine peletleme basıncının etkisi incelendiğinde 200 MPa sıkıştırma basıncı üzerindeki basınçların pelet yoğunluğunda sadece küçük bir artış meydana getirdiği belirtilmiştir.

Theerarattananoon vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada peletleme işlemi ile materyalin yığın yoğunluğunun arttığı, depolanabilirliğinin iyileştiği, nakliye masraflarının azaldığı ve peletlerin mevcut tahıllar için kullanılan depolama ve taşıma ekipmanları ile daha

kolay taşınabildiği belirtilmiştir. Çalışmada mısır koçanı, buğday samanı, sorgum sapı ve çim bitkisinden elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Peletlerin yığın ve parça yoğunluğu ve mekanik dayanıklılığı üzerine nem içeriğinin, çekiçli değirmen elek çapının ve kalıp delik uzunluğunun etkileri incelenmiştir. Materyaller 22 kW gücünde 1.5 t kapasiteli peletleme makinesinde peletlenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek pelet yığın yoğunluğu (495.8 kg/m^3) buğday samanı peletinde, en düşük (265.2 kg/m^3) ise sorgum sapı peletinde elde edilmiştir. Materyal nem içeriğindeki artışın peletlerin hem yığın hem de parça yoğunluğunu azalttığı belirlenmiştir. Peletlerin mekanik dayanıklılığı üzerine nem içeriğinin etkisi mısır koçanı, buğday samanı ve çim bitkisi için benzer bulunmuş ve en yüksek pelet mekanik dayanıklılığı buğday samanı ve mısır koçanı peleti için %9-14, çim bitkisinin ise %9-11 nem içeriği aralığında %96.8 olmuştur. Nem içeriğindeki bir miktar daha artışın pelet dayanıklılığını azalttığı belirlenmiştir. Sorgum sapı için ise pelet dayanıklılığı nem içeriğindeki artış ile başlangıçta artmış ve %14-16 nemde maksimum %89.5 olmuştur. Daha büyük elek çapına sahip çekiçli değirmen kullanımı (3.2 mm'den 6.5 mm elek çapı) peletlerin yığın, parça yoğunluğunu ve mekanik dayanıklılığını artırdığı fakat bunun önemli düzeyde olmadığı belirtilmiştir. Daha büyük kalıp delik uzunluğu (31.8 mm'den 44.5 mm) peletlerin yığın ve parça yoğunluğunu ve mekanik dayanıklılığını önemli derecede artırmıştır.

Zamorano vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada zeytin ağacı, zeytin ağacı yaprakları, badem ağacı, kavak ve meşe ağacı budama atıkları peletlenmiştir. Çalışmada 6-8 mm aralığında öğütülmüş materyaller kullanılmış ve 8 mm çapında peletler üretilmiştir. Zeytin ağacı yapraklarından yapılan peletlerin düşük kaliteli oldukları, diğer peletlerin ise birbirine yakın kalitede oldukları belirlenmiştir. Yüksek nem içeriği, düşük pelet yoğunluğu ve pelet uzunluklarının kısa olması peletlerin basınç dirençlerini düşürmüştür.

Carroll ve Finnan (2012) tarafından yapılan bir çalışmada öğütülmüş ahşap, söğüt, miscanthus, buğday, arpa ve kolza materyalleri peletlenmiş ve peletlerin fiziksel-kimyasal özellikleri belirlenerek Avrupa Birliği standartlarına (CEN) göre değerlendirilmiştir. Üretilen peletlerin ısıl değerleri birbirine yakın çıkmıştır. En yüksek pelet hacim (yığın) yoğunluğu 684.6 kg/m^3 ile kolza samanında elde edilmiştir.

Celma vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada domates işleme tesislerinden çıkan domates artıkları (başlıca kabuk ve tohum) kurutma işleminden sonra 6 mm çapında peletlenmiştir. Elde edilen peletlerin başta hayvan yemi olarak, likopen ekstraksiyonu ve hatta enerji üretiminde yakıt olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Peletleme işlemi beş farklı nem içeriğinde (%20, 25, 29, 34 ve 38) gerçekleştirilmiş ve 50 kg/h kapasiteli düz kalıp dairesel sıralı peletleme makinesi kullanılmıştır. Çalışma sonunda peletlerin yığın ve parça yoğunluğunun, pelet sertliği ve dayanıklılığının hammadde nem içeriğinden önemli derecede

etkilendiği belirlenmiştir. Materyalin nem içeriğinde artışların (%67'ye kadar) meydana gelmesi peletlerin fiziksel özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlamış ve maksimum pelet yığın yoğunda %50, parça yoğunluğunda %18, pelet sertliğinde %3575 ve pelet dayanıklılığında ise %88 oranında artış olmuştur. Ancak, biyokütle nem içeriğinin %20'nin altında olması peletleme işleminin başarısız olmasına neden olmuş ve pelet fiziksel özelliklerini olumsuz etkilemiştir. Mevcut materyal için en iyi özelliklere sahip peletlerin üretilebilmesi için nem içeriğinin %34 civarında olması gerektiği belirtilmiştir. Peletlerin maksimum yığın yoğunluğu 350 kg/m^3 elde edilmiştir. Peletlerin mekanik dayanıklılığı nem içeriğindeki artış ile artmış ve %9.09 pelet nem içeriğinde %91.2 ile maksimum değere ulaşmıştır.

Larsson ve Rudolfsson (2012) tarafından yapılan çalışmada bir enerji bitkisi olan ve %8-15 nem içeriğine sahip kuşyemi kamışı (Phalaris Arundinacea L.) maksimum kapasitesi 300 kg/h olan peletleme makinesi ile peletlenmiştir. Çalışmada pelet kalite parametreleri ile ilgili olarak pelet yığın yoğunluğu ve pelet mekanik dayanıklılığının optimizasyonu farklı parametreler altında deneysel olarak gerçekleştirilmiş ve özgül enerji tüketim değerleri belirlenmiştir. Kontrol parametreleri olarak kalıp sıcaklığı, materyal nem içeriği ve buhar ilavesi dikkate alınmıştır. Çalışma süresince sıcaklık kontrol edilmiş ve diğer faktörler bağımsız olarak değiştirilmiştir. Sonuçlar sürekli bir pelet üretimi için düşük bir kalıp sıcaklığının gerekli olduğunu ve yüksek pelet kalitesi elde etmek için optimizasyon ayarları seçiminin önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Çalışma sonunda en yüksek pelet yığın yoğunluğu düşük materyal sıcaklıklarında ve nem içeriklerinde elde edilmiştir. Kalıp sıcaklığının hem pelet yığın yoğunluğuna hem de pelet dayanıklılığına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, pelet yığın yoğunluğu ve pelet dayanıklılığı ile kalıp sıcaklığı arasında negatif bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. %97.5'ten daha yüksek pelet mekanik dayanıklılığı ve 600 kg/m^3'ten daha yüksek pelet yığın yoğunluğu elde etmek için parametrelerin 30 °C kalıp sıcaklığı ve yaklaşık olarak 30-40 °C (2-4 kg buhar/h eşdeğeri) materyal sıcaklığının olması gerektiği belirtilmiştir.

Lestander vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada ladin, sarıçam ve kayın ağacı talaşları endüstriyel ölçekli peletleme makinesinde peletlenmiştir. Peletleme öncesi materyaller kurutulmuş ve nem içerikleri %11-14 arasına getirilmiş ve her bir materyal için karışım oranı %0-100 aralığında tutulmuştur. Çalışmada pelet yığın yoğunluğu, mekanik dayanıklılık, nem içeriği ve kül içeriği gibi değişkenler incelenmiştir. Materyallerin nem içeriğinin, kül içeriği hariç, göz önüne alınan diğer faktörler için oldukça önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Farklı oranlarda materyal karışımının sadece peletlerin dayanıklılığını ve kül içeriğini önemli derecede etkilediği belirtilmiştir. En uygun pelet

kalitesinin %12.5-14 nem aralığında %45-75 ladin, %0-55 sarıçam ve %0-25 kayın talaşı karışımı kullanılması yoluyla elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, belirtilen nem içeriklerinde ve karışım oranlarında yeni elde edilmiş materyal kullanılması ile daha yüksek kaliteli peletlerin üretilebileceği vurgulanmıştır.

Santamarta vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada kanola bitkisinin, elde edilebilir olması, yüksek ısıl değer ve düşük nem içeriğinden dolayı uygun bir alternatif yakıt olduğu belirtilmiş ve kanola samanı peletlenmiştir. Elde edilen peletlerin 48 haftalık bir depolama süresince kalite özelliklerindeki (mekanik dayanıklılık direnci, basınç direnci, pelet parça yoğunluğu ve pelet boyutları) değişimler incelenmiştir. Çalışmada materyal nem içeriği %13.5-15.7, elde edilen peletlerin nem içeriği ise %9.3-12.1 arasında değişmiştir. Çalışma sonunda pelet mekanik dayanıklılık direncinin depolama süresince değişmediği, pelet parça yoğunluğu ve basınç direncinin depolama süresinin uzunluğu ile değiştiği ve 48 haftalık depolama süresi boyunca pelet parça yoğunluğunun önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. Pelet parça yoğunluğu ile materyal nem içeriği arasında herhangi bir ilişki bulunmamıştır. Depolama süresince pelet çapında herhangi bir değişim olmazken, peletlerin uzunluğu kırılmalara bağlı olarak azalmıştır. Ayrıca pelet mekanik dayanıklılık direnci ile diğer kalite özellikleri arasında herhangi bir ilişkinin olmadığı görülmüştür.

Liu vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada öğütülmüş bambu bitkisi öncelikli olarak laboratuvar ölçekli peletleme makinesi kullanılarak peletlenmiş ve bambu peletlerinin özellikleri üzerine karbonlaştırma şartlarının (sıcaklık ve zaman) etkileri belirlenmiş ve ürün özellikleri değerlendirilmiştir. Peletler, 180-220 °C sıcaklıklarda 30-75 dakika süre ile karbonize edilmiştir. Karbonlaştırma işleminden sonra peletler 7 gün süre ile çevre şartlarında bekletilmiş ve pelet özellikleri 7 günün sonunda belirlenmiştir. Çalışma sonunda karbonlaştırma şartlarının bambu peletlerinin özelliklerini etkilediği belirlenmiştir. Birim kütle kaybı, pelet nem alma, pelet yığın yoğunluğu, pelet parça yoğunluğu, pelet ısıl değeri ve yanma verimi gibi bazı özellikler üzerine karbonlaştırma sıcaklığının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, karbonlaştırma zamanının etkisi önemli bulunmamıştır. Karbonlaştırma işleminden sonra nem alma, dayanıklılık, ısıl değer, yanma verimi ve ısı bırakma oranı gibi pelet özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Yine de bu sonuçlar işlem görmemiş pelet özellikleri ile karşılaştırıldığında karbonize olmuş pelet özelliklerinin düşük kaliteye sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak karbonize olmuş bambu peletlerinin katı yakıt olarak kullanılabileceği ve ticari olarak geliştirilebilir özellikte büyük potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır.

Zafari ve Kiammehr (2014) tarafından yapılan çalışmada, şehir atıkları, hayvan gübresi ve tarımsal atıklardan oluşturulan kompost materyali piston-silindir düzenekli hidrolik pelet

pres makinesiyle, %35, %40 ve %45 nem içeriklerinde, 2-6 ve 10 mm/s piston ilerleme hızında, 4, 5 ve 6 saniye sıkıştırma süresinde, 8, 10 ve 12 mm kalıp uzunluğunda ve 0.3, 0.9, 1.5 mm materyal parçacık boyutunda peletlenmiştir. Çalışma sonunda en dayanıklı peletler %40 nem içeriğinde elde edilmiştir. Bütün bağımlı değişkenler peletlerin mekanik dayanıklılığı önemli derecede etkilemiştir. Düşük piston ilerleme hızında yapılan peletlerin mekanik dayanıklılığı daha yüksek bulunmuştur. Ancak, farklı piston ilerleme hızları ve kalıp uzunlukları peletlerin basınç direnci üzerinde önemli bir farklılık oluşturmamıştır. Materyal parçacık boyutu küçüldükçe, sıkıştırma sırasında temas yüzeyi artmış ve daha iyi bir sıkışma sağlanarak daha dayanıklı peletler elde edilmiştir.

Ahn vd. (2014) karaçam ve lale ağacı talaşından çeşitli yapıştırıcılar kullanarak pelet üretmiş ve yapıştırıcıların (kolza tohumu, kahve tozu, ağaç kabuğu tozu, kozalak ve lignin tozu) pelet dayanımına etkisi incelenmiştir. Yapıştırıcı materyal olarak kolza tozu ve kahve tozu eklenen peletlerde, yapıştırıcı miktarının artmasıyla pelet mekanik dayanıklılığı artmıştır.

Biswas vd. (2014) laboratuvar ölçekli bir peletleme makinesinde iki farklı nem içeriğinde (%10 ve %12) ve dört farklı kalıp sıcaklığında çam talaşını peletlemişlerdir. Üretilen peletler daha sonra 800 °C'lik bir laboratuvar ölçekli fırında yakılmıştır. Peletlerin yanması için gerekli sürenin, genellikle kalıp sıcaklığının ve materyal nem içeriğinin artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Pelet parça yoğunlukları yaklaşık 1200 kg/m^3 bulunmuştur.

Cubero-Abraca vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, endüstriyel kahve posaları kurutularak 16 mm elek çapına sahip değirmende öğütülmüş, 3 silindirli pelet makinasında peletlenerek 6.12 mm çapında peletler elde edilmiştir. Peletleme işlemi sırasında makina sıcaklığı 125 °C olarak ölçülmüştür. Peletleme işlemi sonunda peletlerin %10.1 nem içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen peletler hacmi belirli bir kaba konularak tartılmış ve pelet hacim yoğunluğu 600 kg/m^3 bulunmuştur. Pelet parça yoğunluğu 1300 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Peletlerin nem alma direnci belirlenirken, potasyum nitrat solüsyonu içeren %21 bağıl neme sahip desikatör içine 30 adet pelet rastgele düzenle yerleştirilerek 14 gün bekletilmiştir. Test öncesi ve test sonrası ağırlıklar kaydedilerek nem alma direnci %8.10 olarak belirlenmiştir. Kırılma direnci testinde 100 peletin her biri 1m yükseklikten seramik yüzeye atılmış, 1/kırılan parça sayısı formülüyle kırılma direnci 0.95 olarak hesaplanmıştır. Basınç direnci testinde 60 ton kapasiteli basınç direnci test cihazı kullanılmış ve 26.86 kg/cm^2 olarak hesaplanmıştır. Pelet dayanıklılık direnci %75.54 değerinde bulunmuştur.

Hoover vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada mısır koçanları 4 mm ve 6 mm elek delik açıklığına sahip çekiçli değirmende öğütülmüştür. Materyaller, elektrik motor gücü 7.5 kW pelet makinası kullanılarak, 3 farklı kalıp devir hızında, materyal ön ısıtmasız ve 70 °C ön ısıtma işlemi uygulanarak peletlenmiştir. Peletleme işlemi sonunda %19-22

arasında tespit edilen pelet nem içeriğini düşürmek için peletler yatay bir soğutucu içinden geçirilmiştir. Bu işlemin sonunda, soğutulan peletler halen yüksek nem içeriğinde olduğu için 40 °C'de 7 saat bekledikten sonra peletlerin nem içeriği yaklaşık %9 değerine düşürülmüştür. Bu noktada pelet parça yoğunluğu, pelet yığın yoğunluğu, dayanıklılık direnci değerleri ölçülmüştür. Materyal parçacık boyutunun azalması ve kalıp devir hızının artması pelet kalite göstergelerini artırmıştır. Pelet hacim yoğunluğu materyal özelliklerine bağlı işlem görmemiş materyale göre 3-6 kat daha yüksek elde edilmiştir. Peletlerin mekanik dayanıklılık direnci tüm peletleme şartları için %97.5'in üzerinde bulunmuştur.

Montero vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada öğütülmüş mantar tıpa artıkları %7-9 nem aralığında, 0.5-1mm, 1-2mm ve 2-3 mm parçacık boyutlarında, karışım yapılmadan 3 çeşit ve parçacık boyut sırasına göre %50:50:0, %60:40:0, %40:60:0, %33:33:33, %50:0:50 olmak üzere 5 farklı karışım oranında olmak üzere 8 farklı materyal 6 mm delik çapına sahip düz kalıplı, 10.85 kW gücünde, 300 kg/h kapasiteli pelet makinesinde peletlenmiştir. Pelet makinesi rejime girdiğinde (peletlerin düzenli bir şekilde çıkmaya başladığı an) kalıp sıcaklığı termal kamerayla 70-75 °C aralığında ölçülmüştür. Peletleme öncesi materyal yoğunlukları 323-379 kg/m^3 aralığında değişirken, peletleme işlemi sonrası pelet hacim yoğunlukları kullanılan materyal özelliğine bağlı olarak 686-705 kg/m^3 arasında değişmiştir. Pelet hacim yoğunluk testleri sonucu en yüksek sıkıştırma oranı 2.18, maksimum mekanik dayanıklılık direnci %98.36 ve pelet uzunluğu 25.95 mm olarak bulunmuştur.

Liu vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada 1.18 mm, 1.18-0.84 mm ve 0.84 mm'den küçük parçacık boyutlarında öğütülmüş bambu bitkisi %8-12-16 olmak üzere 3 farklı nem içeriğinde peletlenmiştir. Elde edilen peletler fiziksel testlere ve yanma testlerine tabi tutulmuş, materyal nem içeriği ve parçacık boyutunun pelet kalitesine etkileri incelenmiştir. Nem içeriğinin pelet fiziksel özelliklerine etkisinde, %8-12-16 nem içeriklerinde sırasıyla; pelet boyları 12.5, 12.7 ve 11.7 mm; pelet çapları 6.1, 6.0 ve 6.0 mm; pelet parça yoğunluğu 1050, 1140 ve 1200 kg/m^3, pelet hacim yoğunluğu 520, 620 ve 650 kg/m^3; pelet dayanıklılık direnci %95.07, %97.95 ve %98.38 olarak bulunmuştur. En düşük pelet kalitesi %12 materyal nem içeriğinde, en yüksek ise %16 nem içeriğinde elde edilmiştir. Parçacık boyutunun artması (0.84 mm'den 1.18 mm ve üzeri) pelet dayanıklılık direncini artırmıştır.

Yılmaz (2014) tarımsal üretim alanlarından çıkan pamuk ve susam saplarını peletlemiştir. Materyallerin peletlenmesinde 15 kW elektrik motor gücünde, materyal çeşidine bağlı olarak 70-100 kg/h kapasiteli, kalıp delik çıkış çapı 8 mm olan düz kalıp pres pelet makinesi kullanılmıştır. Denemeler üç farklı nem içeriğinde (pamuk sapı: %10.70 (P1), %15.13 (P2) ve %20.37 (P3), susam sapı: %10.67 (S1), %14.88 (S2) ve %20.22 (S3)) ve

sıvı melas karışımında (15 kg hammadde + 1.125 kg melas (%7.5)) gerçekleştirilmiştir. Peletlerin pelet hacim yoğunluğu, pelet parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, kırılma direnci, basınç direnci, gerilme direnci ve nem alma durumu araştırılmıştır. Ayrıca pelet makinesinin pelet üretim kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketim değerleri ölçülmüştür. Çalışma sonunda, materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak ortalama 8.1-8.97 mm çap aralığında peletler elde edilmiştir. Peletlerin fiziksel testler sonunda oldukça sağlam yapıda oldukları görülmüş ve en yüksek değerler pamuk sapı için P1 ve susam sapı için ise S2 peletlerinde elde edilmiştir. Peletlerin hacim ve parça yoğunluğu materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak sırası ile 430-717 kg/m^3 ve 922-1368 kg/m^3 arasında değişmiş ve nem içeriğinin artması yoğunluk değerlerini düşürmüştür. Ortamın bağıl nemi arttıkça, peletlerin çevre havadan daha çok nem aldığı tespit edilmiştir. Peletlerin nem alması özellikle %80 bağıl nemde daha belirgin olmuştur. Pelet makinesinin kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketimi değerleri ise, materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak, sırası ile 131-306 kg/h ve 18.40-22.64 kWh arasında değişmiştir.

Bilgin vd. (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 peletlenmiş ve pelet kalitesi ile ilgili fiziksel özellikler belirlenmiştir. Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak hacim yoğunluğu, parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık 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 nem içeriğine sahip çevre şartlarında bekletilmiştir. Çalışma sonunda, ortalama 6.1 mm çapında ve 27 mm uzunluğunda peletler elde edilmiştir. Fındık zurufu peletlerinin fiziksel testler sonucu oldukça sağlam yapıda olduğu görülmüştür. Fındık zurufu peletlerinin parça ve hacim yoğunluğu sırası ile ortalama 1307 kg/m^3 ve 724 kg/m^3 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 olarak bulunmuştur.

Castellano vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada 2 ve 4 mm elek delik açıklığına sahip çekiç değirmeninde öğütülen odunsu ve odunsu olmayan 9 farklı materyal peletlenmiştir. 2 mm elek delik çapında öğütülen materyallerden elde edilen peletlerin yüksek mekanik dayanıklılık gösterdiği belirtilmiştir. Odunsu materyallerden üretilen peletlerin çıkış hızının düşük olduğu ve materyal lignin içeriğinin fazla olmasına bağlı olarak yüksek dayanıklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Niedziolka vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada saman, kolza ve mısır sapları ve bunların karışımları peletlenmiş ve peletlerin hacim yoğunluğu ile mekanik dayanımları belirlenmiştir. Kullanılan materyallerin nem içerikleri %16.5-18.5 aralığında değişmiştir. Çalışma sonunda pelet hacim yoğunluğunun ve mekanik dayanımının kullanılan materyale bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. En düşük pelet hacim yoğunluğu saman peletinde, en yüksek yoğunluk ise mısır sapı peletlerinde elde edilmiştir. En düşük pelet mekanik dayanımı kolza sapı peletlerinde, en yüksek ise saman+mısır sapı karışımlarından elde edilen peletlerde bulunmuştur.

Puig-Arnavat vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada çayır otu, yonca, sorgum, tritikale (buğday ve çavdar melezlemesinden elde edilen bitki), miscanthus ve söğüt materyalleri piston silindir düzenekli pelet presinde peletlenmiştir. Bütün materyaller için en uygun nem içeriği yaklaşık olarak %10 civarında elde edilmiştir. Sürtünmelerin 60-90 °C derece kalıp sıcaklık aralığına kadar arttığı, daha yüksek kalıp sıcaklıklarında ise sürtünmelerin azaldığı belirlenmiştir.

Aragon-Garita vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada ticari amaçlı pelet üretiminde kullanılan hammaddenin karakteristiklerine bağlı olduğunu belirtmiştir. Çalışmada 5 farklı enerji bitkisi (kamış, bataklık sazı, fil otu, bambu ve sorgum) peletlenmiş ve peletlerin kalite özellikleri ile ilgili olarak ısıl değer, nem içeriğindeki azalma, kül içeriği ve pelet parça yoğunlukları ölçülmüştür. Materyallerin ısıl değerleri 17.1-20.3 MJ/kg arasında değişmiş ve en yüksek sorgum bitkisinde elde edilmiştir. Materyallerin kül içerikleri %3.4-10.5 arasında değişmiş ve en yüksek kamış bitkisinde olmuştur. Peletlerin parça yoğunlukları 1129-1294 kg/m^3 arasında değişmiş ve en yüksek fil otu peletinde elde edilmiştir. Materyal nem içerikleri %7.6-15 arasında değişirken, peletleme işlemi sonunda %6.7-12.6 aralığında değişmiştir.

Jackson vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada pilot ölçekli düz kalıp teknolojiye sahip peletleme makinesinde miscanthus, mısır koçanı, darı bitkisi ve buğday samanı peletlenmiş ve peletleme işlemine nem içeriğinin etkileri araştırılmıştır. Materyallerin nem içerikleri miscanthus, darı bitkisi ve buğday samanı için %10, %15, %20 ve %25 iken, mısır koçanı için ise %15, %20 ve %25'dir. Materyal çeşidine ve nemine bağlı olarak peletleme makinesinin özgül enerji tüketimi 101-324 kWh/t aralığında değişmiştir. Materyal nem içeriği arttıkça, mısır koçanı peletinde makine özgül enerji tüketimini artarken, diğer materyallerde ise azalmıştır. Miscanthus, darı bitkisi ve buğday samanı için nem içeriğindeki artış peletlerin mekanik dayanıklılığını artırmıştır. Mısır koçanında ise yine en yüksek pelet mekanik dayanıklılığı %20 nem içeriğinde elde edilmiş ve yaklaşık %95 olmuştur. Peletleme işlemi sonunda kalıp sıcaklığı yaklaşık olarak 90 °C ölçülmüştür. Pelet hacim yoğunluğu nem

içeriğindeki artışa bağlı olarak artmış ve en yüksek pelet hacim yoğunluğu mısır koçanı peletinde %25 nem içeriğinde 918 kg/m^3 olarak ölçülmüştür.

Shahrukh vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada orman artıkları, tarımsal artıklar ve enerji bitkilerinden pelet üretimi için minimum üretim maliyeti ve en uygun tesis büyüklüğü belirlenmiştir. Hasat işleminden pelet üretiminin sonuna maliyetler dikkate alınmıştır. Ön işlemsiz pelet üretim maliyeti 95-105 $/t, buhar ilaveli pelet üretim maliyeti ise 146-156 $/t aralığında değişmiştir. Buhar ilaveli ve ilavesiz pelet üretim maliyeti arasındaki fark 2-3 $/GJ'dir. En uygun tesis büyüklüğü buhar ilavesiz pelet üretim tesisi için 190 kt/yıl, buhar ilaveli pelet üretim tesisi için ise 250 kt/yıl bulunmuştur.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Denemeler, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Atölyesinde yürütülmüştür.

3.1 Gereç

Denemelerde peletlenecek materyal olarak seralardan üretim sezonu çıkan, oldukça lifli yapıya sahip ve odunsu yapıda olan domates, biber ve patlıcan bitkisi sapları kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Domates (a), biber (b) ve patlıcan (c) bitkisi sapları

Seralardan çıkan bitkisel artıklar yaklaşık olarak %75-80 nem içeriğine sahiptir. Bu artıkların doğrudan kurutulması hem zor olmakta hem de oldukça uzun sürmektedir. Materyallerin kuruma sürelerinin kısaltılması ve daha sonrasında çekiçli değirmende öğütülme işlemlerinin kolaylaştırılması için materyallerin ön parçalanması gerekmektedir. Bu amaçla materyallerin yaş olarak ön parçalanmasında elektrik motor gücü 7.5 kW, tambur üzerinde bıçak satısı 10+1, bıçakların belirli bir açı ile bağlandığı tambur devir sayısı 1500 min^{-1} ve materyallerin elle beslendiği parçalama makinesi kullanılmıştır. Makine, elektrik motoru, hareket iletim düzeni, parçalama ünitesi, materyal besleme ve çıkış ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 6). Makine materyalleri aynı zamanda bitki üzerindeki askı ipleri ve klipslerle birlikte parçalama özelliğine sahiptir.



Şekil 6. Materyal parçalama makinesi

Kurutulmuş materyallerin peletleme denemeleri için uygun boyutlara getirilmesinde elektrik motor gücü 7.5 kW, motor devri 1450 min^{-1}, öğütme ünitesi genişliği 70 cm, besleme ünitesi genişliği 30 cm ve çekiç sayısı 64 olan çekiçli değirmen kullanılmıştır. Deneme desenine uygun olarak farklı parçacık boyutlarında materyal elde etmek için 4, 6 ve 8 mm delik çapına sahip elekler kullanılmıştır. Çekiçli değirmen çalıştığında çekiçlerin dönme çapı 380 mm, çekiç uçlarının açısal hızları 151.8 rad/s ve çevre hızları 28.85 m/s'dir. Çekiçler ile elek arasındaki mesafe yaklaşık olarak 18 mm ölçülmüştür. Ayrıca çekiçli değirmen, öğütme performansının artırılması ve öğütülen materyalin çuvallama ünitesine aktarılması için motor gücü 0.8 kW, motor devri 2800 min^{-1} ve 1980 m^3/h hava emiş kapasitesine sahip olan tek fazlı toz emiş fanına sahiptir. Çekiçli değirmenin katı modeli Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Çekiçli değirmen katı modeli

Karışım materyallerinin hazırlanmasında ve gerektiğinde düşük olan materyal nemini artırmak için su ekleyip homojen bir şekilde dağılması için karıştırılmasında elektrik motor gücü 1.1 kW, karıştırıcı devri 16 min^{-1} ve depo hacmi yaklaşık 0.5 m^3 karıştırma makinesi kullanılmıştır (Şekil 8).

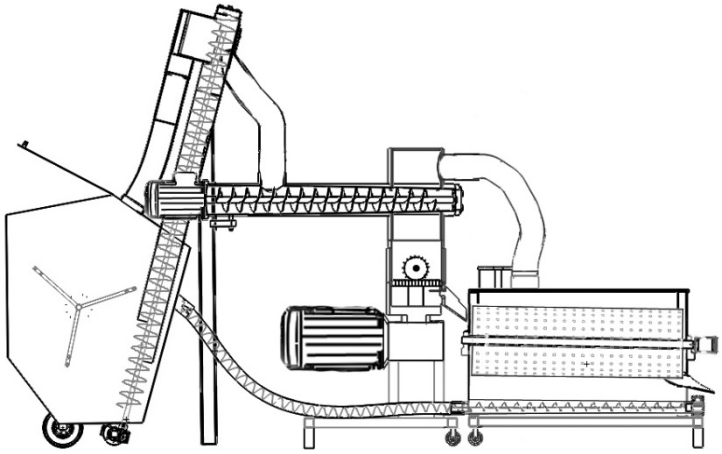


Şekil 8. Materyal karıştırma makinesi katı modeli

Materyallerin peletlenmesinde elektrik enerjisi ile çalışan, üç fazlı, peletleme ünitesi motor gücü 7.5 kW, diğer ünitelerin elektrik motor gücü ile birlikte toplam gücü 10.35 kW, kapasitesi materyal çeşidine bağlı olarak 70-100 kg/h, düz kalıp dairesel sıralı delikli, kalıp çıkış delik çapı 6 mm, pelet boyu 10-40 mm arasında ayarlanabilen peletleme makinası kullanılmıştır. Peletleme makinesi; materyal deposu, materyal karıştırma ünitesi, otomatik materyal besleme ünitesi, dairesel sıralı delikli düz kalıp, sıkıştırma silindirleri, materyal nemlendirme ünitesi, pelet boyu ayarlama ünitesi, pelet soğutma ünitesi, materyal geri dönüş ünitesi, otomatik yağlama ünitesi, toz emiş ünitesi ve elektrik kontrol panosundan oluşmaktadır. Sistem kapalı devre çalışmakta olup, peletleme ünitesinden peletlenmeden çıkan materyal depoya geri beslenmekte ve hammaddenin tamamının peletlenmesi sağlanmaktadır. Sistem toplamda 4 m^2'lik bir alan kaplamaktadır (Şekil 9). Şekil 10'da makinenin teknik çizimi verilmiştir.



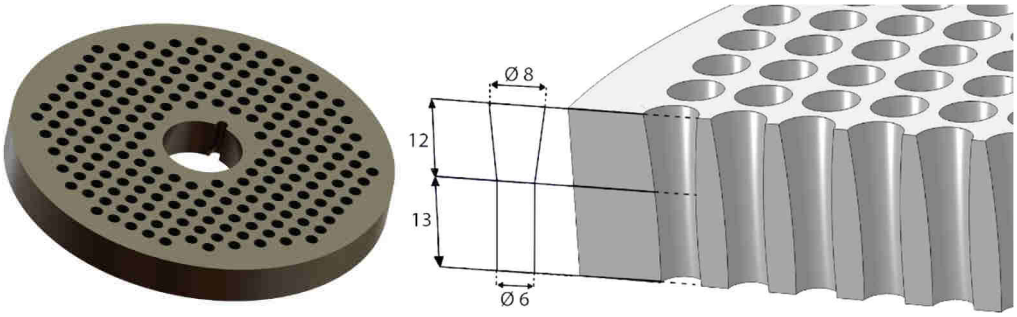
Şekil 9. Denemelerin yapıldığı peletleme makinesi



Şekil 10. Peletleme makinesi üniteleri genel teknik çizimi

Sistemin en önemli parçası olan kalıp, 200 mm çapında, 25 mm kalınlığında, kalıp delik çapı girişte 8 mm, çıkışta ise 6 mm'dir. Kalıp delikleri 25 mm uzunlukta olup, 8 mm'lik giriş çapı 12 mm uzunluğa kadar konik devam ederek 6 mm çapa düşmekte ve geri kalan

13 mm'de çap 6 mm devam etmektedir. Kalıp katı model çizimi ve kalıp delik kesit görünüşü Şekil 11'de verilmiştir. Kalıp devir sayısı redüktörde 200 min^{-1}'dir.



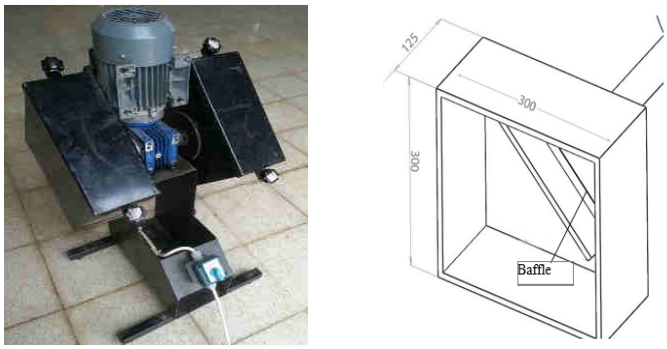
Şekil 11. Pelet kalıbı ve kalıp delik kesit görünüşü

Sıkıştırma silindirleri iki adet olup, her bir silindir kalıbın dönmesine bağlı olarak kendi ekseni etrafında dönmektedir. Sıkıştırma silindirleri ile kalıp arasındaki temas sıkılığı cıvata yardımı ile ayarlanmakta olup, cıvatanın çok aşırı sıkılması kalıp ile silindir arasındaki sürtünmeleri artırarak güç tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Kalıp ile sıkıştırma silindirleri arasında yeterince temas sağlanamadığında ise silindirler yeterince dönme hareketi alamadığı için sıkıştırma işlevini yerine getirememektedir.

Peletleme makinesinde tüm ünitelerin çalışması elektrik kontrol panosu üzerinden kontrol edilmektedir. Pano üzerinde, peletleme ünitesine hareket veren elektrik motoru çalışma akımı anlık olarak dijital gösterge ile izlenebilmektedir. Elektrik motorunun çalışması maksimum 13 A akım ile sınırlandırılmıştır. Sistem 13 A akımın üzerinde çalışmaya izin vermekte, fakat 13 A'in üzerinde uzun süre (yaklaşık 1-1.5 dakika) çalışıldığında motorun aşırı ısınmasına bağlı olarak sistem kendini korumaya almakta ve tüm peletleme sistemini durdurmaktadır. Ayrıca pano üzerine acil emniyet butonu bulunmakta olup, gerektiğinde tüm sistemin elektriğini kesmek için bu buton kullanılabilmektedir.

Materyal deposu, hammadde yoğunluğuna bağlı olarak yaklaşık 60 kg materyal alabilmektedir. Depo içerisindeki karıştırıcı hem materyalin karıştırılmasında hem de materyalin besleme helezonuna yönlendirilmesinde kullanılmaktadır. Sistemde karıştırıcı devri 15 min^{-1}, materyal besleme helezonu devri ise 396 min^{-1}'dir. Besleme ünitesi tarafından alınan materyalin makine kapasitesinden fazla olması durumunda fazla materyal depoya geri gönderilmektedir.

Peletlerin dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesinde 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 olarak yerleştirilen 50 mm eninde, 230 mm uzunluğunda bir levhaya (baffle) sahip dayanıklılık test cihazı kullanılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Pelet mekanik dayanıklılık test cihazı ve kafes ölçüleri

Denemelerde kullanılan domates, biber ve patlıcan bitkisi saplarının ve elde edilen peletlerin nem içeriklerinin belirlenmesinde kurutma fırını (ETÜV) kullanılmıştır.

Peletlerin basınç direncinin (sertlik) belirlenmesinde 60 ton kapasiteli, üzerinde 60 tona kadar uygulanan yükleri ölçebilen yük hücresi (load cell) bulunan, valf ayarları değiştirilerek uygulama yükü minimum 1000 kg ve piston ilerleme hızı 1 mm/s olan ve uygulanan yüklerin anında bilgisayara aktarılıp izlenebildiği hidrolik tip basınç direnci test cihazı kullanılmıştır.

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 litre olan İklimlendirme Test Kabini kullanılmıştır.

Peletleme makinesinin enerji tüketim değerlerinin ölçülmesinde Chauvin Arnaoux CA 8332B 3 fazlı portatif enerji analizörü [3xAmplfex 45 Akım Klambı (10-6500A) + 3xMN93 (0-200 A) ile] kullanılmıştır.

Materyal ve pelet örneklerinin tartılmasında maksimum kapasitesi 2.1 kg olan ve 0.01 g hassasiyetli elektronik terazi ve pelet boyutlarının ölçümünde 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas kullanılmıştır. Ayrıca peletleme makinesi materyal deposuna konulacak materyallerin tartılmasında kapasitesi 300 kg ve hassasiyeti 0-50 g olan dijital baskül kullanılmıştır.

Peletlerin depolama koşullarının belirlenmesi için ortam sıcaklığı ve neminin ölçülmesinde kayıt özelliği bulunan ölçüm aralığı sıcaklık için - 20 °C / +70 °C ve nem için ise %0 – 100 olan Testo 175 H2 marka portatif data logger cihazı kullanılmıştır. Cihaz bir saniyeden bir günlük süre aralığında ölçüm alabilmektedir.

Peletleme işleminden sonra kalıp sıcaklığının ölçülmesinde ölçüm aralığı -50 °C...+ 1000 °C olan Testo 925 marka yüzey sıcaklığı ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Öğütülen materyallerin parçacık boyut dağılımlarının belirlenmesinde 20 cm çapında, 5 cm derinliğinde ve 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 1.7, 2.36 ve 3.0 mm elek açıklığına sahip 7 elek ve elek sarsma cihazı kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Materyalin Peletlenmeye Hazırlanması ve Peletlenmesi

Domates, biber ve patlıcan bitki sapları seralarda yetiştiricilik sezonu sonunda üzerinde meyve, sentetik askı ipi ve klips birlikte toplanmış ve deneme alanına getirilmiştir (Şekil 13). Materyaller yaklaşık olarak %75-80 nem içeriğine sahip olduklarından güneş altında doğrudan kurutulmaları hem uzun sürmekte, zahmetli olmakta ve çekiçli değirmende öğütme işlemini zorlaştırmaktadır. Bu nedenlerle deneme alanına getirilen materyaller ön parçalama makinesi ile parçalanarak 1-10 cm boyutlara getirilmiştir. Parçalama işlemi materyal üzerindeki meyve, askı ipleri ve klipslerle birlikte yapılmış, işlem süresinde makinede herhangi bir tıkanıklık meydana gelmemiştir. Parçalama makinesi 7-9 materyali birkaç saniye içerisinde parçalamıştır. Makineye dakikada yaklaşık olarak materyal çeşidine bağlı olarak 3-4 defa yükleme yapılmıştır. Parçalama makinesinden askı ipleri kesme dirençleri düşük oldukları için parçalanmadan çıktıkları için parçalanmış materyal içerisinden elle ya da tırmık yarımı ile temizlenmiştir. Parçalanmış materyaller sert zemin üzerine serilerek kurutulmuş ve kurutma süresi boyunca her gün karıştırılmıştır (Şekil 14). Yaklaşık 6-7 günlük kurutma süresinin sonunda materyal nem içerikleri materyal çeşidine bağlı olarak %7-10 nem aralığına kadar düşmüştür.



Şekil 13. Materyallerinin seralardan toplanması ve deneme alanına getirilmesi



Şekil 14. Materyal ön parçalanması ve kurutulması işlemleri

Kurutma işleminden sonra materyaller deneme desenine bağlı olarak peletleme işlemi için uygun boyutlara getirilmesinde 4, 6 ve 8 mm elek delik çapında çekiçli değirmende öğütülmüş ve daha çuvallara doldurularak peletleme işlemine kadar depolanmıştır. Materyallerin peletleme işlemine geçilmeden önce materyal nem içerikleri belirlenmiş ve

deneme desenine bağlı olarak uygun nemlere getirilmesinde gerektiğinde su ilavesi ya da yeniden kurutma işlemi yapılmıştır. Materyal nem içeriğinin artırılması için eklenmesi gereken su miktarı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Tabil, 1996). Nemlendirme işleminden sonra nemin tüm materyale homojen bir şekilde dağılımın sağlanması için materyaller hava almayacak bir şekilde plastik ambalaj malzemelerinde bir hafta süreyle depolanmıştır.

$$Q = \frac{W_i \times (M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad (1)$$

Eşitlikte;

Q : Eklenecek su miktarı (g);

W_i : Materyalin ilk kütlesi (g);

M_i : Materyalin ilk durumdaki nem içeriği (%);

M_f : Materyalin son durumdaki nem içeriği (%)

Karışım materyallerinin hazırlanmasında ve nemlendirme işleminde materyaller karşım oranlarına bağlı olarak karıştırma makinesine doldurulmuş ve 15 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonunda materyaller peletleme işlemine kadar hava almayacak şekilde depolanmış ve test öncesi materyallerin nem içerikleri yeniden kontrol edilmiştir. Her bir deneme deseni için yaklaşık olarak 25 kg materyal hazırlanmıştır.

Peletleme işleminden önce materyaller depoya doldurulmuş ve peletleme makinesi kontrol panosundan materyal karıştırma sistemi, besleme ünitesi, peletleme ünitesi, toz emiş ünitesi ve yağlama sistemi çalıştırılmıştır. Deneme süresince nemlendirme sisteminden su püskürtme işlemi yapılmadığından nemlendirme ünitesi kapalı tutulmuştur. Yine, peletleme işlemi süresince pelet çıkış bölümünden makine kapasitesinin belirlenmesi için pelet örnekleri alındığından soğutma ünitesi ve peletlenmemiş materyalin geri dönüşünü sağlayan geri besleme ünitesi çalıştırılmamıştır. Peletleme ünitesine gelen materyal yavaş yavaş kalıp içerisinde sıkışmaya başlamış ve yaklaşık bir dakikalık bir sürenin sonunda peletler çıkmaya başlamıştır. Peletleme işlemi süresince kontrol panosu üzerinden peletleme ünitesi akım değeri kontrol edilmiş, akım değerinin maksimum çalışma sınırı olan 13 A'in üzerine çıkılmamasına dikkat edilmiş ya da uzun süre bu değerin üzerinde sistemin çalışmasına izin verilmemiştir. Akım değeri belirtilen değerin üzerine çıktığında materyal besleme miktarı düşürülmüş, 10 A akım değerinin altına düştüğünde ise artırılmıştır. Deneme süresince akım değerlerinin genel olarak 11-13 A değerleri arasında kalması sağlanmıştır. Peletleme işlemi süresince enerji analizörü tarafından kaydedilen akım ve güç değerleri hem peletleme ünitesi hem de materyal karıştırma ve besleme helezonuna aittir. Besleme helezonu tarafından alınan materyal miktarı peletleme kapasitesinden fazla olduğunda fazla materyal depoya geri gönderilmiştir. Peletleme işlemi süresince materyal çeşidi ve deneme desenine bağlı olarak

6 mm ve üzerindeki çaplara sahip silindirik peletler elde edilmiştir. Üretilen peletler daha sonra sert bir zemin üzerine serilerek soğutulmuştur. Peletleme işlemi bittikten sonra kalıp deliklerinin kolay bir şekilde açılması için materyal+motor yağı karışımından hazırlanan materyal peletleme ünitesine elle beslenerek kalıp deliklerinde yağlı materyal kalması sağlanmıştır. Bu işlem her bir deneme sonrasında tekrarlanmış ve yeni bir deneme işlemine geçmeden önce kalıp delikleri temizlenmiştir.

Her bir peletleme işlemi bitiminden hemen sonra kalıp sıcaklıkları ölçülmüştür.

Peletleme denemeleri süresince herhangi bir sorunla karşılaşmamıştır. Sadece, 8 mm elek delik çapında öğütülen patlıcan bitkisi materyallerin peletlenmesi işleminde başlangıçta aşırı materyal besleme nedeni ile akım değeri çok hızlı bir şekilde artmış ve sistem kendini korumaya alarak durmuştur. Bu durumda peletleme işlemine ara verilmiş ve kalıp delikleri yeniden temizlendikten sonra materyal besleme miktarı düşürülerek peletleme işlemi yeniden başlatılmıştır. Ayrıca, 8 mm elek delik çapında öğütülen ve %18-20 nem içeriğine sahip materyallerin peletleme işlemi sırasında karıştırma sistemi çalışmakta zorlanmış ve helezon tarafından materyalin alınması güçleşmiştir. Bu durumda 25 kg'lık materyalin önce bir kısmı depoya doldurulmuş ve sistem çalıştırılmış, depodaki materyal miktarı azaldıkça materyal ilavesi yapılarak sorun çözülmüştür.

Materyal deposu ve besleme ünitesi tasarımına bağlı olarak depo içerisine konulan materyalin yaklaşık %20'si helezon tarafından alınamamış ve depo içerisinde kalmıştır. Bu nedenle her bir peletleme işlemi sonunda materyal özelliklerine bağlı olarak yaklaşık 15-20 kg arasında pelet üretilmiştir.

3.2.2 Materyal Parçacık Boyutunun Belirlenmesi

Materyallerin parçacık boyut dağılımları EN 15149-2 (2010) standardına göre belirlenmiştir. Standarda göre parçacık boyut dağılımı belirlenecek materyalin nem içeriğinin <%20 olması gerektiği belirtilmiştir. Bu yöntemde 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 1.7, 2.36 ve 3.0 mm elek açıklığına sahip 7 elek ve elek sarsma cihazı kullanılmıştır. Hava kurusu yaklaşık 100 g materyal örnekleri en üst eleğe konulmuş ve 15 dakika süreyle titreşim uygulanmıştır. Test sonunda her bir elek üzerinde kalan materyal tartılmış ve kütleleri kaydedilmiştir. Her bir elek üzerinde kalan materyal yüzdesi, elek üzerinde kalan materyal kütlesinin toplam materyal kütlesine oranlanması ile % olarak hesaplanmıştır.

Materyal parçacıklarının geometrik ortalama çapları ASAE 319.3 (2003) standardına göre aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$d_{gw} = log^{-1}\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(w_i \log(di))}{\sum_{i=1}^{n} w_i}\right] \quad (2)$$

Eşitlikte;

d_{gw} : Geometrik ortalama çap, mm

w_i : Elek üzerinde kalan materyal kütlesi, g

di : Elek açıklığı, mm

n : Elek sayısı, adet

3.2.3 Makine Kapasitesi ve Enerji Tüketimi

Materyallerin peletleme işlemi için hazırlanmasında ve peletleme işleminde makinelerin kapasitesi ve enerji tüketim değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda, ön parçalama makinesi, çekiçli değirmen ve peletleme makinesinin kapasiteleri ve enerji tüketim değerleri ölçülmüş, makine kapasitesi ve enerji tüketim değerlerine göre makinelerin özgül enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır.

Parçalama makinesinin kapasitesinin belirlenmesinde belirli bir süre sonunda parçalanan materyal kütlesi tartılarak kaydedilmiştir. Materyal kütlesinin zamana oranlanması ile makine kapasitesi t/h olarak bulunmuştur.

Çekiçli değirmen kapasitesi her bir materyal ve her bir elek delik çapı için ayrı ayrı belirlenmiştir. Makine kapasitesinin belirlenmesinde belirli bir kütleye sahip materyalin öğütülmesi için geçen süre ölçülmüş, kütlenin zamana oranlanması ile kg/h olarak makine kapasitesi bulunmuştur.

Peletleme makinesinin kapasitesi belirlenirken, peletleme makinesi rejime girdikten sonra yani peletler düzenli ve kararlı bir şekilde çıkmaya başladıktan sonra bir dakikalık bir süre sonunda peletleme ünitesinden çıkan peletler bir kap içerisinde toplanmış ve daha sonra tartılarak kütleleri kaydedilmiştir. Pelet kütlesinin zamana oranlanması ile makine kapasitesi kg/h olarak bulunmuştur. Her bir deneme deseni için aynı işlemler tekrarlanmış, toplamda 72 deneme materyalinde ayrı ayrı makine kapasitesi belirlenmiştir.

Makinelerin enerji tüketim değerlerinin belirlenmesinde enerji analizörü kullanılmıştır. Makineler çalıştırıldıktan sonra, parçalama, öğütme ve peletleme işlemleri süresince makinelerin güç tüketimleri her bir saniyede ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Güç ölçümü süresince her bir fazdan çekilen akım ve voltaj değerleri ile makine yüklenmesine bağlı olarak Cosφ değerleri ölçülmüştür. Böylelikle makine meydana gelebilecek ani yüklenmeler gözlemlenebilmiştir. Daha sonra veriler bilgisayara aktarılmış ve makine çalışması süresince makine enerji tüketim değerleri dikkate alınarak ortalama değer kWh olarak hesaplanmıştır.

Makinelerin özgün enerji tüketim değerleri makine enerji tüketim değerlerinin makine kapasitesine oranlanmasıyla kWh/t olarak hesaplanmıştır.

3.2.4 Pelet Fiziksel Özellikleri ve Testler

Peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özellikleri olarak pelet boyutları, kütlesi, nem içeriği, hacim (bulk density) ve parça yoğunlukları (particle density), mekanik dayanıklılık direnci (durability), darbe dayanım (ezilme-kırılma) direnci (impact resistance or shattering resistance), basınç direnci (compressive resistance, crushing resistance or hardness) ve nem alma durumu (moisture sorption) belirlenmiştir. Fiziksel testler öncesinde peletlerin kararlı duruma gelmeleri için 7 gün süreyle kapalı ortamda, peletlerin elde edilme dönemlerine bağlı olarak, 20-30 °C sıcaklık ve % 40-60 nem aralığı koşullarında bekletilmiştir. Sıcaklık nem ölçümleri saatlik olarak alınmıştır. Depolama koşullarının pelet kalite göstergelerine etkilerinin belirlenmesi için pelet üretiminden sonra 6. ayın sonunda nem alma durumu testi dışındaki diğer tüm testler tekrarlanmıştır.

Pelet mekanik dayanıklılık ve darbe dayanım dirençlerinin belirlenmesinde 3.15 mm elek üzerinde kalan pelet parçaları kayıp olarak değerlendirilmemiştir (EN 15210-1, 2009).

Pelet kütle ve boyut ölçümleri

Elde edilen peletlerin kütle, çap ve uzunluk ölçümleri EN 16127 (2012) standardına göre yapılmış ve bu yöntemde 6 mm çapa sahip pelet için 80-100 g arasında pelet ölçümünün yapılması gerektiği belirtilmiştir. Elde edilen 72 farklı pelet çeşidinden 80-100 g arasında örnekler rastgele alınmış ve yaklaşık 90-120 adet peletin kütle, çap ve uzunluk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ortalaması alınarak peletlerin kütle, çap ve uzunluk değerleri belirlenmiştir.

Nem içeriği

Deneme materyallerinin ve elde edilen peletlerin nem içerikleri EN 14744-2 (2009) standardına göre belirlenmiştir. İlk önce, örnek kapları tartılmış ve daraları kaydedilmiştir. Sonra yaklaşık 300 g materyal ve pelet örnekleri örnek kaplarına konulmuş ve tekrar tartılarak dolu kabın kütlesi kaydedilmiştir. Pelet örnekleri sabit kütleye gelinceye kadar (yaklaşık 24 h) 105±2 °C sıcaklıkta kurutma fırınında kurutulmuştur. Kurutma fırınından alınan örnekler 15 s içinde tekrar tartılarak kütleleri kaydedilmiştir. Materyal ve peletlerin nem içerikleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla yaş bazda yüzde (%) olarak hesaplanmıştır. Peletlerin, 1. gün, 7. gün ve 6. ay sonunda nem içerikleri belirlenmiştir.

$$\mathrm{M}=\left[\frac{(m_{p2}-m_{p3})}{(m_{p2}-m_{p1})}\times 100\right] \quad (3)$$

Eşitlikte;

M : Pelet nem içeriği (% y.b)
m_{p1} : Boş örnek kabının kütlesi (g)
m_{p2} : Kurutma öncesi örnek kabı ve peletlerin kütlesi (g)
m_{p3} : Kurutma sonrası örnek kabı ve peletlerin kütlesi (g)

Hacim yoğunluğu

Materyallerin ve peletlerin hacim yoğunluğu EN 15103 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde, örnekler 5 litre (153 mm çap x 272 mm yükseklik) hacme sahip silindirik kap içerisine yaklaşık 200-300 mm yükseklikten tam olarak doldurulmuş ve kap 3 kez yaklaşık 150 mm yükseklikten serbest olarak ahşap zemin üzerine bırakılmıştır. Daha sonra, düz ve uzun bir ahşap malzeme ile kabın üst kısmındaki fazla materyal kap dışına taşınmış ve kap içerisindeki materyal ve peletlerin kütlesi belirlenmiştir. Materyal ve pelet hacim yoğunluğu kg/m^3 olarak aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\rho_{hy} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (4)$$

Eşitlikte;

ρ_{hy} : Hacim yoğunluğu (kg/m^3)

m_1 : Boş kabın kütlesi (kg)

m_2 : Dolu kabın kütlesi (kg)

V : Kabın net hacmi (m^3)

Pelet parça yoğunluğu

Peletlerin parça yoğunlukları EN 16127 (2012) standardına göre pelet kütlesi ve pelet boyutlarının ölçülmesi ile (stereo metrik yöntem) belirlenmiştir. Bu yöntemde, 80-100 g arasındaki pelet örnekleri rastgele alınmış ve yaklaşık 90-120 adet peletin kütle, çap ve uzunluk ölçümleri elektronik hassas terazi ve dijital kumpas kullanılarak yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Pelet parça yoğunluğu, pelet kütlesinin pelet hacmine bölünmesi ile kg/m^3 olarak aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Adapa vd., 2006; Mc Mullen vd., 2005).

$$V_u = \frac{\pi d^2 l}{4} \quad (5)$$

$$\rho_u = (m_u / V_u) \quad (6)$$

Eşitliklerde;

V_u : Tek pelet hacmi (m^3)

d : Pelet çapı (m)

l : Pelet uzunluğu (m)

ρ_u : Pelet parça yoğunluğu (kg/m^3)

m_u : Tek pelet kütlesi (kg)

Pelet mekanik dayanıklılık direnci

Peletlerin mekanik dayanıklılık direnci EN 15210-1 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Yöntemde, pelet örnekleri 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek yardımı ile elenmiş ve elek üzerinde kalan 500±10 g pelet örnekleri test cihazında kafes içerisine yerleştirilmiştir. Test cihazında peletler 10 dakika süreyle 50±2 min^{-1}'da karıştırılarak sürekli

olarak kafes içerisinde düşürülmüştür. Bu işlem her bir pelet örneği için 3 kez tekrarlanmıştır. Test sonrası peletler tamamen dışarı çıkarılmış ve 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek kullanılarak tekrar elenmiştir. Elek üzerinde kalan peletler tartılarak kütleleri kaydedilmiştir. Peletlerin mekanik dayanıklılık dirençleri aşağıdaki eşitlik yardımı ile yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

$$D_d = \frac{m_A}{m_E} \times 100 \quad (7)$$

Eşitlikte;

D_d : Pelet mekanik dayanıklılık direnci (%)
m_E : Test öncesi elenmiş pelet kütlesi (g)
m_A : Test sonrası elenmiş pelet kütlesi (g)

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 vd., 2012). Bu teste, pelet örneklerinden 30 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 olarak hesaplanmıştır. Peletlerin gerilme direnci ise pelet çapı ve uzunluğuna bağlı olarak pelet yüzey alanının yarısına uygulanan basınç olarak aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır (Tabil, 1996; Shaw vd., 2009; Kashaninejad ve Tabil, 2011).

$$\sigma_x = 2F/\pi dl \quad (8)$$

Eşitlikte;

σ_x : Gerilme direnci (Pa)
F : Maksimum kırılma kuvveti (N)
d : Pelet çapı (m)
l : Pelet uzunluğu (m)

Pelet nem alma durumu

Peletlerin nem alma durumları iklimlendirme test kabini kullanılarak belirlenmiştir. Peletlerin nem alma durumlarının belirlenmesi için iki farklı yöntem kullanılmıştır.

Birinci yöntemde; 100 g kütleye sahip pelet örnekleri üç farklı sıcaklık (15, 25 ve 35 °C) ve nem koşullarında (%50, 65 ve 80) iklimlendirme kabininde sabit kütleye gelinceye kadar

bekletilmiştir. Pelet örnekleri iki saatte bir dışarı alınarak tartılmış ve kütleleri kaydedilmiştir. Gece süresince ölçüm alma imkanı olmadığından sabah 09:00'da tekrar veri alınmaya devam edilmiştir. Pelet kütlesinde saatlik 0.01 g'dan daha fazla bir değişim meydana gelmediği durumda test sonlandırılmıştır (Fasina, 2008). Test öncesi ve test sonrası kütle kaybı ya da artışa bağlı olarak peletlerin nem içerikleri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Yine test sonunda peletler ETÜV'e konularak nem içerikleri belirlenmiş ve her iki nem belirleme yöntemi ile belirlenen değerler karşılaştırılmıştır. Bu test özellikle peletlerin nem içeriğine ve diğer kalite özelliklerine bağlı olarak hangi depolama koşullarında bekletilmesi konusunda fikir vermiştir.

İkinci yöntemde ise; Liu vd. (2013) peletlerin nem alma durumunun pelet kütlesindeki değişim yoluyla belirlenebileceğini belirtmiştir. Bu yöntemde pelet örnekleri içerisinden rastgele seçilen 5 adet pelet iklimlendirme test kabinine konulmadan önce ETÜV'de 24 h süre ile 105 °C'de kurutulmuş, fırın kurusu pelet örnekleri 24 h süre ile iklimlendirme test kabininde 27 °C ve %90 nemde bekletilmiştir. Test sonunda peletlerdeki kütle artışına bağlı olarak pelet nem alma durumu aşağıdaki eşitlik kullanılarak % olarak hesaplanmıştır.

$$P_a = \frac{(m_f - m_i)}{m_i} \times 100 \quad (9)$$

Eşitlikte;

P_a : Pelet örneklerinin nem alma durumu (%)
m_i : Pelet örneklerinin ilk kütlesi (g)
m_f : Pelet örneklerinin son kütlesi (g)

3.2.5 Materyal Yakıt Analizleri (Proximate ve Ultimate Analizleri)

Materyallerin yakıt özellikleri ile ilgili kısa analiz (nem içeriği, uçucu madde, kül içeriği, sabit karbon içeriği) ve elementel analiz (C, H, N ve O) ile ısıl değerleri sırası ile ASTM D-7582, 5373 ve 5865 standartlarına göre belirlenmiş ve tüm analizler TÜBİTAK-MAM tarafından yapılmıştır. Analizler öncesinde öğütülmüş materyaller 75 mikron elek kullanılarak elenmiş ve elek altında kalan materyaller kullanılmıştır. Analizler hem fırın kurusu hem de hava kurusu (orijinal halde) yapılmıştır.

3.2.6 Pelet Üretim Maliyetinin Belirlenmesi

Çalışmada, araştırmanın yürütüldüğü koşullar dikkate alınarak pelet maliyetleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, peletlere uygulanan işlemler esas olmak üzere kullanılan makinalar ve diğer gider unsurları dikkate alınmıştır. Makinalara ve insan işgücüne ait veriler denemelerde ölçülen değerlere göre hesaplanmıştır.

Bu kapsamda makine kapasiteleri de dikkate alınarak bir senaryo oluşturulmuş ve buna göre taşıma ve tesis giderleri belirlenerek maliyet hesaplamaları tamamlanmıştır. Uygulanan başlıca işlemler taşıma, ön parçalama, kurutma, öğütme ve peletlemedir. Buna göre;

- Sera artıkları tesise ortalama 10 km uzaklıktan tarım arabası ile taşınmaktadır.
- Ön parçalamadan geçen artıklar doğal ortamda insan işgücü yardımıyla kurutulmaktadır ve çalışmada ön parçalama kapsamında değerlendirilmiştir.
- Kullanılan tesisin kapalı alanı 300 m^2,
- Yıllık çalışma saati toplam 5008 h ve
- Tesisin yıl içerisinde sürekli çift vardiya çalıştığı kabul edilmiş ve yıllık pelet kapasitesi 355.4 ton olarak dikkate alınmıştır.

Makine maliyetleri

Makinalara ait gider hesaplamalarında sabit ve değişken giderler dikkate alınmıştır (Işık vd., 1988; Evcim, 1990; Sayın ve Özgüven,1995; Sındır, 1999). Sabit giderler; amortisman, faiz, vergi-sigorta ve koruma giderlerinden, değişken giderler ise makinelerin özelliklerine göre; yakıt, yağ, elektrik, tamir-bakım, işgücü gibi giderlerden oluşmaktadır.

Sabit giderler; bir makinanın yıllık kullanım süresinden bağımsız, işletmenin makinaya sahip olması nedeniyle oluşan giderlerdir. Sabit giderleri amortisman, faiz, vergi, sigorta ve koruma giderleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada sabit giderleri oluşturan değişkenlerin tümü "sabit gider yüzdesi" ile hesaplanmıştır. (Evcim, 1982; Işık, 1988; Çanakcı, 2005).

$$YSG = SGY \times SAB \tag{10}$$

Eşitlikte;
YSG : Yıllık sabit giderler (TL/yıl)
SGY :Sabit gider yüzdesi (ondalık)
SAB : Satın alma bedeli (TL)

Sabit gider yüzdesi;

$$SGY = \frac{(1-HD)\times i\times(1+i)^n}{((1+i)^n-1)+(HD\times i)} + 0.02 \tag{11}$$

Eşitlikte;
HD : Hurda Değeri (ondalık)
N : Makinanın ekonomik ömrü (yıl)
İ : Yıllık faiz değeri (ondalık). Enflasyonlu ortamlarda reel faiz değeri olarak hesaplanmaktadır.
0.02 : Vergi, sigorta ve koruma sabit giderlerini içeren katsayı

Hurda değeri, makinanın ekonomik ömrü dolduktan sonra kalan değerdir ve yaklaşık edinme maliyetinin % 10'u kadardır (Işık vd., 1988). Ekonomik ömür değerleri; dal parçalama makinası ve tarım arabası için 10, çekiçli değirmen ve pelet makinası için yıllık kullanım süresi de dikkate alınarak 5 (Miyata, 1980) ve traktör için 15 yıl olarak dikkate alınmıştır (Çanakcı, 2005). Enflasyonlu koşullarda reel faiz değeri; nominal veya pazar faiz değeri ile genel enflasyon oranına bağlı olarak belirlenmektedir (Işık,1988; Sındır, 1995).

$$I_r = i = \frac{I_n - I_e}{1 + I_e} \quad (12)$$

Eşitlikte;
Ir : Reel faiz değeri (ondalık)
In : Nominal veya pazar faiz değeri (ondalık)
Ie : Genel enflasyon oranı (ondalık)

Ülkemizdeki geçen 10 yıllık (Mayıs 2006-Nisan 2016) veriler değerlendirilerek nominal faiz değeri % 12.1, tüketici enflasyon oranı (TÜFE) ise % 8.30 olarak alınmıştır (TCMB, 2016; TUİK, 2016b). Bu durumda reel faiz oranı % 3.52 olarak hesaplanmıştır.

Değişken giderler, yıl içerisinde makinanın kullanımıyla orantılı olarak değişen giderlerin toplamıdır. Değişken giderler; makine özelliklerine bağlı olarak elektrik, yakıt-yağ, tamir-bakım, işçilik ve kullanılan traktörün sabit giderleri toplamından oluşmaktadır ve hesaplamalarda birim materyal kütlesi başına ya da saat başına düşen değer olarak hesaplanmaktadır.

$$YDG = YKS \times (EG + TBG + YG + Y\check{g}G + \dot{I}G + TSG) \quad (13)$$

Eşitlikte;
YDG : Yıllık değişken giderler (TL/h, TL/t)
YKS : Yıllık kullanım süresi/ işlenen materyal (h, t).
TBG : Tamir-bakım giderleri (TL/h, TL/t)
YG : Yakıt giderleri (TL/h, TL/t)
YğG : Yağ giderleri (TL/h, TL/t)
İG : İşçilik giderleri (TL/h, TL/t)
TSG : Traktör sabit giderleri (TL/h, TL/t)

Elektrik Gideri

Araştırmada kullanılan ön parçalama, öğütme ve peletleme işlemleri için kullanılan makinalarda güç kaynağı olarak elektrik motoru kullanılmaktadır. Hesaplamalarda, denemeler sırasında ölçülen elektrik tüketim değerleri kullanılmıştır. Elektrik giderinin belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$E = ET \times BEF \quad (14)$$

Eşitlikte;
E : Elektrik gideri (TL/h)
ET : Elektrik tüketimi (kWh/h)
BEF : Birim elektrik fiyatı (TL/kWh)'dır.

Yakıt-Yağ Gideri

Tarım makinasının çalıştırılması sırasında, traktörün birim zamanda tükettiği yakıt miktarı dikkate alınarak, yakıt gideri hesaplanmaktadır. Çalışmada seralardan çıkan artıkların tesise taşınmasının tarım arabası ile gerçekleştirildiği varsayılmıştır.

$$YG = YT \times YBF \quad (15)$$

Eşitlikte;

YG : Yakıt gideri (TL/h)
YT : Yakıt tüketimi (L/h)
YBF : Yakıtın birim fiyatı (TL/L)

Yakıt tüketiminin belirlenmesinde, bölgede sera üretim mekanizasyonu ile ilgili yapılmış bir çalışmadan yararlanılmıştır (Çanakcı, 2005). Güncel piyasa koşulları dikkate alındığında yakıtın (motorin) birim fiyatı 3.90 TL/L'dir (Mayıs 2016).

Ayrıca yağ giderleri için, hesaplanan yakıt gideri değerinin % 15'i dikkate alınmıştır (Özkan ve Yılmaz, 1999; Evcim, 1990).

Tamir-Bakım Gideri;

Çalışmada önce yıllık tamir-bakım gideri değeri belirlenmiş, yılda işlenen materyal miktarına bölünerek birim pelet kütlesi başına düşen gider değeri hesaplanmıştır. Peletleme ve çekiçli değirmenin yıllık tamir-bakım gideri satın alma bedelinin % 10'u, diğer makinalar için ise % 2'si olarak alınmıştır (Mani vd., 2006b). Birim pelet kütlesi başına düşen giderler yılda işlenen miktar alınarak hesaplanmıştır.

İşgücü Gideri;

Çalışmada taşıma, öğütme ve peletleme işlemleri sırasında makine ile birlikte bir işçinin çalıştığı kabul edilmiştir. Ön parçalama işlemi, ardışık olması nedeni ile kurutma ile birlikte değerlendirilmiş ve bu işlemler için üç işçinin çalıştığı varsayılmıştır. Hesaplamalarda güncel ücret dikkate alınarak saatlik işgücü gideri 10 TL/h olarak dikkate alınmıştır.

Traktör Sabit Gideri;

Tarım makinasını çalıştıran traktöre ait sabit giderler, traktörün yıllık toplam sabit giderlerinin, yıllık çalışma saatine bölünmesiyle elde edilmektedir (Evcim, 1982; Işık, 1988; Çanakcı, 2005). Bu değer taşıma işleminde kullanılan traktör için aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$TSG = \frac{SGY_t \times T_t \times P}{H} \quad (16)$$

Eşitlikte;

TSG : Traktör sabit gideri (TL/h)
SGY_t : Traktörün sabit gider yüzdesi (ondalık)
H : Traktörün yıllık çalışma süresi (h)
P : Traktör motor gücü (kW)
T_t : Birim motor gücü başına satın alma bedeli (TL/kW)

Bina/Tesis Giderleri

Çalışmada pelet üretiminin gerçekleştirildiği binanın giderleri belirlenmiştir. Boyutları 25x10 m olan tesisin yıllık kira bedeli kira bedeli 6000 TL olarak kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamalar ve piyasa araştırması sonucu binanın kurulum maliyeti 120000 TL olarak belirlenmiştir. Yıl içerisindeki tamir-bakım işlemleri için kurulum maliyetinin % 2'si düzeyinde harcama yapıldığı kabul edilmiştir (Mani vd., 2006b)

Binanın aydınlatılması için elektrik, günlük su kullanımları vb. giderler için yıllık 4800 TL harcama ön görülmüştür.

Hesaplamalarda makine kapasiteleri ve yıllık pelet üretim değeri dikkate alınarak, yıllık toplam ve birim pelet kütlesi başına düşen maliyet değerleri hesaplanmıştır.

Pelet Üretiminde Enerji Kullanımı

Sera artıklarından pelet elde edilmesine yönelik yapılan işlemlere bağlı olarak kullanılan tüm girdiler ve miktarları belirlenmiştir. Birim kütle (ton) değeri dikkate alınarak peletlerin üretilmesinde kullanılan enerji girdi değerleri (MJ/t) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan birim enerji eşdeğerleri Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4. Girdi ve çıktılara ait enerji eşdeğerleri

Enerji Girdileri	Birimler	MJ	Yararlanılan Kaynaklar
İnsan	saat	1.96	De vd. (2001), Singh (2002)
Dizel Yakıtı	Litre	47.8	Hetz (1992), Hetz (1998)
Traktör Yapım enerjisi	kg	93.61	Hetz (1992), Hetz (1998)
Makine Yapım Enerjisi	kg	62.7	Singh (2002), De vd. (2001)
Ürün (Çıktı)	kg	15.0	Çalışmada ölçülen değer

İşlemlerde kullanılan traktör ve tarım makinalarının yapım enerji değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir (Önal ve Tozan, 1986; Gezer vd., 2003)

$$ME = \frac{G \cdot E}{T \cdot MK} \quad (17)$$

Eşitlikte;
ME : Makine kullanım enerjisi, MJ/t
G : Makine kütlesi, kg
E : Makine yapım enerjisi, MJ/kg,
T : Makine ekonomik ömrü, h
MK : Materyal kapasitesi değeri, t/h

Makinalara ait kapasite değerlerinin belirlenmesinde bölge koşullarındaki üretim alanları ve denemelerde kullanılan karışım (% 80 domates, % 10 biber, % 10 patlıcan) değerleri dikkate alınmıştır. Kapasite değerleri sırasıyla dal parçalama makinasında 1275 kg/h, yem kırma değirmeninde 105.1 kg/h ve pelet makinasında 70.96 kg/h olarak belirlenmiştir.

Ayrıca peletleme işlemlerinde yer alan makinaların bulunduğu binanın yapım enerjisi değeri hesaplanmıştır. Taban alanı 300 m^2 olan bina için kullanılan girdiler, miktarları ve yapım enerji eşdeğerleri belirlenmiştir (Tablo 5) (Alcorn, 1998; Tiwari, 2003; Çanakcı ve Akıncı, 2006; EE, 2016; EEC, 2016). Binanın kullanım ömrü ve yıllık pelet üretim kapasitesi dikkate alınarak birim pelet kütlesi başına düşen enerji değeri (MJ/t) hesaplanmıştır. Binanın kullanım ömrü için 25 yıl olarak alınmıştır (Mani vd., 2006b).

Tablo 5. Pelet üretim binasının (25x12 m) yapım enerjisinde kullanılan girdiler ve enerji eşdeğerleri

Sıra No	Enerji Girdisi	Eşdeğer Enerji	Birim	Kullanılan Miktar	Toplam, MJ
1	İnsan İşgücü	1.96	h	1450	2842
2	Demir	27.73	kg	10200	282846
5	Hazır Beton	2350	m^3	40.2	94470
9	Tuğla	5170	m^3	35	180950
4	Sıva-Harç	6460	m^3	23	148580
3	Galvanizli Sac	34.8	kg	2145	74646
7	Cam	12.7	kg	936	11887
6	Boya	90.4	kg	180	16272
8	PVC	70	kg	90	6300
		TOPLAM			8187932

Tablo 5'e göre binanın yapım enerjisi, 25 yıllık kullanım ömrü dikkate alındığında 32751.7 MJ/yıl, taban alanı dikkate alındığında ise 2729.2 MJ/m^2 olarak hesaplanabilir.

Ayrı bir gider olarak dikkate alınan tesisin giderlerine (aydınlatma, su vb.) ait enerji hesaplamaları için ayrı bir hesaplama yapılmıştır. Hesaplamalarda, belirlenen yıllık parasal değer (4800 TL) ve piyasadaki birim elektrik fiyatı (TL kW/h) dikkate alınmıştır (Önal ve Tozan, 1986).

Elde edilen peletlerin alt ısıl değerleri dikkate alınarak birim kütle başına çıktı enerjisi 15 MJ/kg olarak dikkate alınmıştır.

3.2.7 İstatistiksel Analiz

Materyal, materyal parçacık boyutu ve materyal neminin; makine kapasitesi, pelet parça yoğunluğu, pelet hacim yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, darbe dayanım direnci, basınç direnci, özgül basınç direnci, gerilme direnci ve pelet nem alma durumuna etkisini istatistiksel olarak ortaya koymak için varyans analizi uygulanmıştır. Ayrıca, depolama koşullarının pelet fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için 7. gün ve 6. ay sonundaki pelet parça yoğunluğu, pelet hacim yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, darbe dayanım direnci, basınç direnci, özgül basınç direnci, gerilme direnci ve pelet nem alma durumu

değerleri eşleştirilmiş örneklem t-testi uygulanarak karşılaştırılmıştır. Peletleme işlemlerinde materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriklerine bağlı olarak oluşturulan deneme deseni Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Materyal çeşidi, parçacık boyut ve nem içeriğine bağlı olarak deneme deseni

Materyal (Faktör 1)	Elek Delik Çapı (mm) (Faktör 2)	Nem Aralığı (%) (Faktör 3)	Materyal (Faktör 1)	Elek Delik Çapı (mm) (Faktör 2)	Nem Aralığı (%) (Faktör 3)
D100	4	8-10	P100	4	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
	6	8-10		6	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
	8	8-10		8	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
D50	4	8-10	P50	4	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
	6	8-10		6	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
	8	8-10		8	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
B100	4	8-10	D33	4	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
	6	8-10		6	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
	8	8-10		8	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
B50	4	8-10	D80	4	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
	6	8-10		6	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20
	8	8-10		8	8-10
		13-15			13-15
		18-20			18-20

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Materyal Fiziksel Özellikleri

Denemelerde kullanılan domates, biber ve patlıcan bitki saplarının 4, 6 ve 8 mm elek delik çapında çekiçli değirmende öğütülmesi sonucu elde edilen hacim yoğunluğu, geometrik ortalama çap ve parçacık boyut dağılımları Tablo 7-9'da verilmiştir.

Tablo 7. Domates bitkisi hacim yoğunluk, geometrik ortalama çap ve parçacık boyut dağılımı

Materyal	**4 mm çekiçli değirmende öğütülmüş**							
Domates Bitkisi	Nem İçeriği (%)	Hacim Yoğunluk (kg/m^3)				Geometrik ortalama çap (mm)		
	16.0	287				0.53		
	Elek analizi							
	0-0.125 mm (%)	0.125-0.25 mm (%)	0.25-0.5 mm (%)	0.5-1.0 mm (%)	1.0-1.7 mm (%)	1.7-2.36 mm (%)	2.36-3.0 mm (%)	> 3.0 mm (%)
	7.94	7.70	27.02	34.18	16.27	6.03	0.80	0.06
	6 mm çekiçli değirmende öğütülmüş							
	Nem İçeriği (%)		Hacim Yoğunluk (kg/m^3)			Geometrik ortalama çap (mm)		
	15.8		251			0.94		
	Elek analizi							
	0-0.125 mm (%)	0.125-0.25 mm (%)	0.25-0.5 mm (%)	0.5-1.0 mm (%)	1.0-1.7 mm (%)	1.7-2.36 mm (%)	2.36-3.0 mm (%)	> 3.0 mm (%)
	3.67	4.26	13.54	26.00	15.72	28.54	5.60	2.67
	8 mm çekiçli değirmende öğütülmüş							
	Nem İçeriği (%)		Hacim Yoğunluk (kg/m^3)			Geometrik ortalama çap (mm)		
	15.7		213			1.24		
	Elek analizi							
	0-0.125 mm (%)	0.125-0.25 mm (%)	0.25-0.5 mm (%)	0.5-1.0 mm (%)	1.0-1.7 mm (%)	1.7-2.36 mm (%)	2.36-3.0 mm (%)	> 3.0 mm (%)
	2.36	2.51	9.07	21.41	14.15	23.16	16.53	10.81

Tablo 8. Biber bitkisi hacim yoğunluk, geometrik ortalama çap ve parçacık boyut dağılımı

Materyal	**4 mm çekiçli değirmende öğütülmüş**							
Biber Bitkisi	Nem İçeriği (%)	Hacim Yoğunluk (kg/m^3)				Geometrik ortalama çap (mm)		
	10.8	282				0.57		
	Elek analizi							
	0-0.125 mm (%)	0.125-0.25 mm (%)	0.25-0.5 mm (%)	0.5-1.0 mm (%)	1.0-1.7 mm (%)	1.7-2.36 mm (%)	2.36-3.0 mm (%)	> 3.0 mm (%)
	7.73	7.91	23.12	33.77	16.48	9.00	1.47	0.53
	6 mm çekiçli değirmende öğütülmüş							
	Nem İçeriği (%)		Hacim Yoğunluk (kg/m^3)			Geometrik ortalama çap (mm)		
	10.75		272			1.05		
	Elek analizi							
	0-0.125 mm (%)	0.125-0.25 mm (%)	0.25-0.5 mm (%)	0.5-1.0 mm (%)	1.0-1.7 mm (%)	1.7-2.36 mm (%)	2.36-3.0 mm (%)	> 3.0 mm (%)
	1.85	3.11	12.84	24.45	21.10	20.59	9.50	6.57
	8 mm çekiçli değirmende öğütülmüş							
	Nem İçeriği (%)		Hacim Yoğunluk (kg/m^3)			Geometrik ortalama çap (mm)		
	11.0		208			1.27		
	Elek analizi							
	0-0.125 mm (%)	0.125-0.25 mm (%)	0.25-0.5 mm (%)	0.5-1.0 mm (%)	1.0-1.7 mm (%)	1.7-2.36 mm (%)	2.36-3.0 mm (%)	> 3.0 mm (%)
	2.28	2.64	9.92	19.95	13.42	20.89	13.30	17.59

Tablo 9. Patlıcan bitkisi hacim yoğunluk, geometrik ortalama çap ve parçacık boyut dağılımı

Materyal	**4 mm çekiçli değirmende öğütülmüş**							
Patlıcan Bitkisi	Nem İçeriği (%)	Hacim Yoğunluk (kg/m^3)				Geometrik ortalama çap (mm)		
	12.80	262				0.80		
	Elek analizi							
	0-0.125 mm (%)	0.125-0.25 mm (%)	0.25-0.5 mm (%)	0.5-1.0 mm (%)	1.0-1.7 mm (%)	1.7-2.36 mm (%)	2.36-3.0 mm (%)	> 3.0 mm (%)
	5.11	5.52	15.44	25.26	26.95	15.95	3.43	2.34
	6 mm çekiçli değirmende öğütülmüş							
	Nem İçeriği (%)	Hacim Yoğunluk (kg/m^3)				Geometrik ortalama çap (mm)		
	12.70	252				0.99		
	Elek analizi							
	0-0.125 mm (%)	0.125-0.25 mm (%)	0.25-0.5 mm (%)	0.5-1.0 mm (%)	1.0-1.7 mm (%)	1.7-2.36 mm (%)	2.36-3.0 mm (%)	> 3.0 mm (%)
	3.42	3.52	11.74	22.79	23.03	26.34	5.45	3.71
	8 mm çekiçli değirmende öğütülmüş							
	Nem İçeriği (%)	Hacim Yoğunluk (kg/m^3)				Geometrik ortalama çap (mm)		
	12.72	223				1.39		
	Elek analizi							
	0-0.125 mm (%)	0.125-0.25 mm (%)	0.25-0.5 mm (%)	0.5-1.0 mm (%)	1.0-1.7 mm (%)	1.7-2.36 mm (%)	2.36-3.0 mm (%)	> 3.0 mm (%)
	1.12	1.75	7.58	17.48	16.36	28.07	13.83	13.81

Tablo 7-9 incelendiğinde, domates, biber ve patlıcan bitkisinin her üçünde de çekiçli değirmen elek delik çapı arttıkça öğütülen materyallerin hacim yoğunluğu azalmış ve materyal çeşidi ve kullanılan elek delik çapına bağlı olarak 208-287 kg/m^3 aralığında değişmiştir. En yüksek hacim yoğunluk domates bitkisinin 4 mm elek delik çapında öğütülmesinde, en düşük ise biber bitkisinin 8 mm elek delik çapında öğütülmesinde elde edilmiştir. Elek delik çapının artması materyal geometrik ortalama çapını artırmış ve materyal çeşidi ve elek delik çapına bağlı olarak 0.53-1.39 mm arasında değişmiştir. En düşük geometrik ortalama çap domates bitkisinin 4 mm elek delik çapında öğütülmesinde, en yüksek ise patlıcan bitkisinin 8 mm elek delik çapında öğütülmesinde elde edilmiştir. Tüm materyaller için materyal geometrik çapının artması hacim yoğunluğunu düşürmüştür. Elde

edilen sonuçlar Yılmaz (2014) tarafından yapılan çalışmada elde edilen değerlerle benzerlik göstermiştir. Kaliyan ve Morey (2009) buğday samanı ve mısır koçanı için çekiçli değirmen elek delik çapının artması materyal geometrik ortalama çapı artırmıştır. Elek delik çapı 1.58 mm'den 6.35 mm'ye çıktığında geometrik ortalama çap buğday için 0.54 mm'den 1.0 mm'ye, mısır koçanı için ise 0.66 mm'den 0.80 mm'ye çıkmıştır.

Tablo 7-9'da elek analiz sonuçları incelendiğinde çekiçli değirmen elek delik çapının artması materyal parçacık boyutunun dağılımını elek açıklığının artmasına bağlı olarak artırmıştır. Çekiçli değirmende 4, 6 ve 8 mm elek delik çaplarında öğütülen materyallerin 0-1 mm elek açıklığındaki parçacıkların yüzdesi domates bitkisi için sırası ile %77, %48 ve %35, biber bitkisi için %73, %42 ve %35, patlıcan bitkisi için ise %51, %42 ve %28 bulunmuştur. Dolayısı ile elek delik çapı küçüldükçe daha küçük boyutlu materyaller elde edilmiştir. Payne, (2006), yüksek kaliteli pelet üretimi için 0-1 mm elek boyutunda parçacık boyut dağılımının %74, 1-2 mm elek boyutunda %20 ve >2 mm elek boyutu için ise %6 olmasını tavsiye etmiştir. Çalışmada, 4 mm elek delik çapında öğütülen domates ve biber bitkisi parçacık boyut dağılımın Payne (2006) tarafından tavsiye edilen değerlere oldukça yakın olduğu görülmüştür.

4.2 Makine Kapasitesi ve Enerji Tüketimi

4.2.1 Parçalama Makinesi

Materyallerin yaş olarak ön parçalanmasında kullanılan artık parçalama makinesinin kapasitesi ve enerji tüketim değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Artık parçalama makinesi kapasite ve enerji tüketim değerleri

Materyal	Makine kapasitesi (t/h)	Enerji tüketimi (kWh)	Özgül enerji tüketimi (kWh/t)
Domates Bitkisi	1.20	1.76	1.467
Biber Bitkisi	1.60	2.13	1.331
Patlıcan Bitkisi	1.55	2.07	1.335

Tablo 10 incelendiğinde, materyal çeşidine bağlı olarak makinenin kapasitesi ve enerji tüketim değerleri değişmiştir. Özellikle domates bitkisinin diğer materyallere göre daha fazla lifli yapıya sahip olması, yetiştiricilik süresince daha fazla askı ipi kullanılması ve boy olarak diğer bitkilerden daha uzun olması nedeni ile materyalin makineye beslenme miktarı ve yükleme sayısı daha az olduğundan makine kapasitesini olumsuz etkilemiştir. Ancak, domates bitkisi için makine kapasitesi olumsuz etkilenmesine rağmen enerji tüketimi en düşük elde edilmiştir. En yüksek makine kapasitesi ve enerji tüketim değeri biber bitkisinde

gerçekleşmiştir. Materyallerin, makine kapasitesi ve enerji tüketimlerine olan etkisinin değerlendirilmesinde özgül enerji tüketim değerlerin dikkate alınması daha doğru olacaktır. Makine kapasitesinin artması enerji tüketim değerini artırmasına rağmen, doğrusal bir orantı olmadığından özgül enerji tüketimi azalmaktadır. Bu nedenle makine kapasitesi ve enerji tüketim değeri en düşük domates bitkisinde elde edilmesine rağmen, özgül enerji tüketim değeri en düşük biber bitkisinde elde edilmiştir. Makine kapasitesinin artması özgül enerji tüketim değerlerini düşürmüştür. Enerji tüketim değerleri tüm materyaller açısından aslında oldukça düşük olup en yüksek 2.13 kWh ve 1.467 kWh/t olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni, makine boşta çalışırken yaklaşık olarak 1.18 kWh elektrik enerjisi tüketmekte, makineye yükleme yapıldığında bu değer birkaç saniye için ortalama 7-10 kWh değerlerine çıkmaktadır. Bir saatlik süre içerisinde yükleme sayısı ve güç tüketimi değerleri dikkate alındığında saatlik güç tüketimini fazla yükseltmediğinden kaynaklanmıştır.

4.2.2 Çekiçli Değirmen

Dış ortamda %10-12 nem içeriğine kadar kurutulan materyallerin çekiçli değirmende deneme desenine uygun olarak 4, 6 ve 8 mm elek delik çapında öğütülmesini sonucu elde edilen makine kapasitesi ve enerji tüketim değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Çekiçli değirmen makine kapasitesi ve enerji tüketim değerleri

Materyal	Elek delik çapı (mm)	Makine kapasitesi (kg/h)	Enerji tüketimi (kWh)	Özgül enerji tüketimi (kWh/t)
Domates Bitkisi	4	108	7.14	66.11
	6	180	6.39	35.50
	8	208	5.95	28.61
Biber Bitkisi	4	97	5.46	56.29
	6	218	6.13	28.12
	8	246	5.99	24.35
Patlıcan Bitkisi	4	90	8.04	89.33
	6	126	7.36	58.41
	8	151	5.70	37.75

Tablo 11 incelendiğinde, tüm materyaller için elek delik çapının artması çekiçli değirmenin kapasitesini artırmış, enerji tüketim değerlerini ise, biber bitkisinin 6 mm elek delik çapında öğütülmesi dışında, düşürmüştür. Makine kapasitesi materyal çeşidine ve kullanılan elek çapına bağlı olarak 90-246 kg/h arasında değişmiştir. Biber bitkisinde 4 mm elek delik çapına göre 6 ve 8 mm elek delik çapında artmasının nedeni özellikle materyal yükleme miktarına bağlı olarak makine kapasitesinin 4 mm çapa göre çok hızlı artmasıdır. Makine kapasitesi açısından en yüksek değer biber bitkisi 8 mm elek delik çapında

öğütülmesinde, en düşük değer ise patlıcan bitkisinin 4 mm elek delik çapında öğütülmesinde elde edilmiştir. Makine kapasitesini belirleyen en önemli faktör materyalin özellikleridir. Patlıcan bitkisi diğer materyallere göre daha odunsu bir yapı gösterdiğinden çekiçli değirmende öğütülme işlemi zor olmuş ve buna bağlı olarak daha az materyal yüklenmiştir. Öğütme işlemleri açısından en kolay öğütme biber bitkisinde elde edilmiştir. Bu durum patlıcan bitkisi için tüm elek delik çaplarında makine kapasitesini olumsuz etkilemiştir. Enerji tüketim değerleri incelendiğinde ise materyal özelliklerine ve elek delik çapına bağlı olarak 5.46 - 8.04 kWh arasında elde edilirken, en yüksek ve en düşük değer patlıcan ve biber bitkisinin 4 mm elek delik çapında öğütülmesinde elde edilmiştir. Makine kapasitesi ve enerji tüketim değerlerine bağlı olarak elde edilen özgül enerji tüketim değerleri incelendiğinde, değerler 24.35 - 89.33 kWh/t aralığında elde edilmiştir. Tüm materyaller için makine kapasitesinin artması özgül enerji tüketim değerini düşürmüştür. En düşük özgül enerji tüketim değerleri tüm elek delik çapları için biber bitkisinde elde edilmiştir. İnce öğütme enerji tüketimini dolayısı ile pelet üretim maliyetini artıran faktörler arasında yer almıştır. Bu durum Kaliyan ve Morey (2009) tarafında yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir.

4.2.3 Peletleme Makinesi

Domates, biber ve patlıcan bitkisinin ayrı ayrı ve 5 farklı karışım oranında olmak üzere 8 farklı materyalde, 3 farklı nem içeriğinde ve parçacık boyutunda toplam 72 deneme materyalinde peletleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Peletleme makinesinin kapasitesi, enerji tüketim değerleri, pelet kütle ve boyutları, pelet mekanik dayanım direnci, pelet hacim ve parça yoğunlukları, pelet basınç direnci, özgül basınç direnci, gerilme direnci ve pelet nem alma durumu 72 deneme için ayrı ayrı belirlenmiştir. Depolama koşullarının pelet kalitesi ile ilgili fiziksel özelliklerine ilişkin pelet üretiminden itibaren 6. ay sonunda pelet kütle ve boyutları, pelet mekanik dayanım direnci, pelet hacim ve parça yoğunlukları, pelet basınç direnci, özgül basınç direnci, gerilme direnci ve pelet nem alma durumu testleri tekrarlanmıştır.

Peletleme denemelerinde kullanılan materyallerin nem içerikleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Denemelerde kullanılan materyal nem içerikleri

Materyal	Elek Çapı (mm)	Nem Aralığı (%)	Nem İçeriği (%)	Materyal	Elek Çapı (mm)	Nem Aralığı (%)	Nem İçeriği (%)
D100	4	8-10	8.52	B50	4	8-10	9.40
		13-15	14.08			13-15	13.88
		18-20	19.33			18-20	18.93
	6	8-10	8.59		6	8-10	9.74
		13-15	14.23			13-15	14.54
		18-20	19.15			18-20	19.66
	8	8-10	8.45		8	8-10	9.93
		13-15	14.13			13-15	14.35
		18-20	19.42			18-20	19.19
B100	4	8-10	8.63	P50	4	8-10	9.60
		13-15	14.13			13-15	14.36
		18-20	19.06			18-20	18.94
	6	8-10	8.41		6	8-10	9.41
		13-15	13.55			13-15	13.66
		18-20	19.60			18-20	18.16
	8	8-10	8.40		8	8-10	9.47
		13-15	13.52			13-15	14.40
		18-20	18.52			18-20	19.88
P100	4	8-10	9.01	D33	4	8-10	8.86
		13-15	14.29			13-15	14.69
		18-20	19.45			18-20	19.19
	6	8-10	8.53		6	8-10	8.69
		13-15	13.77			13-15	14.35
		18-20	19.13			18-20	19.42
	8	8-10	8.22		8	8-10	9.45
		13-15	13.81			13-15	14.18
		18-20	19.30			18-20	18.20
D50	4	8-10	9.28	D80	4	8-10	9.29
		13-15	14.57			13-15	14.02
		18-20	19.95			18-20	19.17
	6	8-10	9.49		6	8-10	9.07
		13-15	14.25			13-15	14.60
		18-20	19.07			18-20	19.41
	8	8-10	9.63		8	8-10	9.03
		13-15	13.93			13-15	14.08
		18-20	18.83			18-20	19.71

Tablo 12 incelendiğinde peletleme denemelerinde kullanılan tüm materyallerin nem içerikleri deneme desenine uygun olarak belirtilen nem aralık değerlerine getirilmiştir.

Materyal çeşidi, parçacık boyutu ve materyal nem içeriğinin pelet makinesi kapasitesine etkisini istatistiksel olarak ortaya koymak için varyans analizleri yapılmıştır. Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğinin peletleme makinesi kapasitesine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P<0.01$).

Materyal çeşidinin peletleme makinesi kapasitesine etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Materyal çeşidinin peletleme makinesi kapasitesi üzerine etkisi

Materyal	Makine Kapasitesi (kg/h)
D100	78.9a[z]
B100	79.8a
P100	31.5f
D50	58.7b
B50	50.2d
P50	43.4e
D33	48.7d
D80	55.7c

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 13 incelendiğinde materyalin çeşidinin peletleme makinesi kapasitesi üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek makine kapasitesi D100 ve B100 materyallerinde elde edilirken, en düşük ise P100 materyalinde elde edilmiştir.

Parçacık boyutu (çekiçli değirmen elek delik çapına bağlı olarak) ve nem içeriğinin peletleme makinesi kapasitesine etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin peletleme makinesi kapasitesi üzerine etkisi

Elek Çapı (mm)	Makine Kapasitesi (kg/h)	Nem (%)	Makine Kapasitesi (kg/h)
4	62.5a[z]	8-10	49.6b[z]
6	58.0b	13-15	49.3b
8	46.9c	18-20	68.7a

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 14 incelendiğinde materyal parçacık boyutunun (çekiçli değirmen elek delik çapına bağlı olarak oluşan) ve materyal nem içeriğinin peletleme makinesi kapasitesi üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek makine kapasitesi 4 mm elek delik çapında öğütülen materyallerde ve %18-20 materyal nem içeriğinde elde edilmiştir. Peletleme makinesinin kapasitesi, materyal parçacık boyutunun artması ile azalmıştır. Makine kapasitesi açısından %8-10 ve %13-15 materyal nem içerikleri arasındaki farklılık önemsizken, materyal nem içeriğinin %18-20'ye çıkması makine kapasitesini artırmıştır.

Domates, biber ve patlıcan bitkisinin ayrı ayrı, farklı karışım oranlarında, parçacık boyutlarında ve nem içeriklerinde elde edilen peletler için peletleme makinesinin kapasitesi, enerji tüketim değerleri ve varyans analiz sonuçları Tablo 15'de verilmiştir. Enerji tüketim değerleri peletleme işleminin başından sonuna kadar her saniye alındığı ve makine bütün deneme desenlerinde 11-13 A akım değerlerinde çalıştırıldığı için varyans analizi sadece makine kapasitesine uygulanmıştır.

Tablo 15. Peletleme makinesi kapasitesi, enerji tüketim değerleri ve varyans analiz sonuçları

Pelet	Elek Çapı (mm)	Makine Kapasitesi (kg/h)			Enerji Tüketimi (kWh)			Özgül Enerji Tüketimi (kWh/t)		
		%8-10	**%13-15**	**%18-20**	**%8-10**	**%13-15**	**%18-20**	**%8-10**	**%13-15**	**%18-20**
D100	**4**	45.2*Cb*	71.4*Bb*	109.9*Ab*	7.37	7.29	7.41	163	102	67
	6	57.5*Ca*	93.7*Ba*	119.2*Aa*	6.79	7.41	7.74	118	79	65
	8	53.5*Ba*	35.3*Cc*	124.2*Aa*	7.12	6.99	7.05	133	198	57
B100	**4**	60.4*Ba*	86.9*Aa*	97.5*Ab*	6.90	7.31	7.36	114	79	75
	6	62.3*Ca*	78.8*Bb*	115.6*Aa*	6.99	7.94	6.82	118	89	69
	8	53.4*Cb*	70.1*Bc*	93.4*Ab*	7.16	7.61	7.29	128	102	81
P100	**4**	31.2*Ba*	51.7*Aa*	33.4*Ba*	6.97	7.26	6.91	224	140	207
	6	31.6*Ba*	42.9*Ab*	32.7*Ba*	7.04	6.79	6.86	223	158	210
	8	20.6*Ab*	18.1*Bc*	21.7*Ab*	7.20	6.89	6.78	350	382	313
D50	**4**	53.4*Ba*	61.5*Ba*	81.9*Aab*	7.29	7.51	7.58	137	122	93
	6	50.6*Ba*	42.6*Cb*	83.7*Aa*	6.72	7.46	7.39	133	175	88
	8	42.5*Bb*	38.2*Cc*	73.7*Ab*	6.47	7.24	7.29	152	190	99
B50	**4**	46.1*Ca*	53.8*Ba*	67.1*Ab*	7.36	7.55	7.41	160	140	110
	6	46.2*Ba*	27.6*Cc*	99.5*Aa*	7.31	7.17	7.05	158	259	71
	8	38.7*Ab*	40.6*Ab*	31.4*Bc*	7.32	7.17	7.35	189	177	234
P50	**4**	61.5*Aa*	56.6*Aa*	39.2*Ba*	6.91	7.54	7.48	112	133	191
	6	57.6*Aa*	37.0*Bb*	37.4*Ba*	6.96	7.18	7.38	121	194	197
	8	42.3*Ab*	21.5*Cc*	37.2*Ba*	7.06	7.14	7.51	167	332	202
D33	**4**	49.0*Bb*	47.9*Ba*	75.9*Aa*	6.77	7.39	7.65	138	154	101
	6	54.3*Aa*	44.0*Bb*	39.6*Cb*	6.65	7.43	7.47	122	169	189
	8	48.3*Ab*	36.3*Cc*	42.3*Bb*	6.62	7.10	7.35	137	196	174
D80	**4**	54.2*Bc*	52.7*Ba*	111.6*Aa*	6.96	7.71	7.69	128	146	69
	6	67.5*Aa*	34.9*Bb*	35.6*Bc*	6.91	7.08	7.21	102	203	203
	8	62.2*Ab*	38.0*Cb*	44.2*Bb*	7.01	7.06	7.36	113	186	166

***** Aynı materyal için, **BÜYÜK** harfler yatay (nem içeriği için), **küçük** harfler ise dikey (elek çapı için) verilen ortalamaların karşılaştırılmasını göstermektedir.

Tablo 15 incelendiğinde, materyal nem içeriğinin makine kapasitesine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, parçacık boyutunun etkisi ise sadece P50 materyalinin %18-20 nem içeriğinde önemsiz bulunmuş, diğer bütün nem içeriklerinde etkisi önemli bulunmuştur. Makine kapasitesi materyal çeşidi, nem içeriği ve parçacık boyutuna bağlı olarak 18-124 kg/h aralığında değişmiştir. En düşük makine kapasitesi P100-6mm-%13-15 denemesinde, en yüksek ise D100-8mm-%18-20 denemsinde elde edilmiştir. Aynı parçacık boyutu için, nem içeriğinin artması çoğunlukla makine kapasitesini artırırken, bazı materyallerde ise azalmasına neden olmuştur. Bu durum, peletleme ünitesine aşırı materyal yüklenmesine bağlı olarak sıkıştırma silindirlerinin yeterli dönmemesi ya da yetersiz materyal yüklenilmesine bağlı olarak pelet kalıbı deliklerine yeterli materyalin beslenememesi nedeni ile pelet eldesinde meydana gelen 5-6 saniyelik bir kesintinin neden olduğu ile açıklanabilir. Bu olumsuz durumun oluşması, daha sonraki süreçte makine kapasitesini denemenin başından sonuna kadar olumsuz olarak etkilemiştir. Denemelerde meydana gelen bu olumsuzluklardan sonra aynı materyaller için denemeler sonlandırılmış ve bir süre sonra tekrar denenmiştir. Tekrar yapılan denemelerde de benzer sorunlarla karşılaşılmıştır. Sonuç olarak, bu durumun materyal nem içeriğinden değil tamamen peletleme sisteminde meydana gelen olumsuzluklardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. Kaliyan ve Morey (2009) yaptıkları çalışmada materyal nem içeriğinin %16'dan fazla olması durumunda peletleme sistemini tıkayabileceklerini belirtmiş ve yüksek nemlerde 8 mm gibi daha yüksek kalıp delik çaplarının kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada yüksek nemde (>%18) yapılan peletleme işlemlerinde böyle bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Aynı nem içerikleri için, parçacık boyutunun artması çoğunlukla makine kapasitesini olumsuz olarak etkilerken, bazılarında ise olumlu etki yapmıştır. Parçacık boyutu artması sıkıştırma silindirleri ile materyal arasındaki sürtünme kuvvetini artırmıştır. Bu durum peletleme ünitesi çalışma akımını (A) hızlı bir şekilde artırmış, sistemin durmaması ve akım değerini belirtilen sınır değerin altına çekmek için materyal besleme miktarı düşürülmüş, bu da makine kapasitesini olumsuz etkilemiştir.

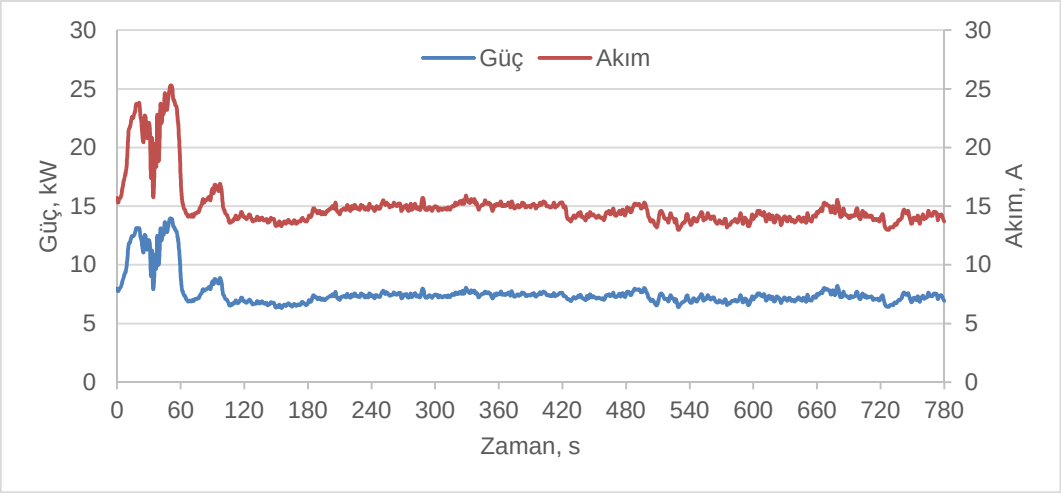
Makine kapasitesi materyaller açısından incelendiğinde ise, materyal çeşidi makine kapasitesini etkilemiştir. Materyaller içerisinde özellikle patlıcan bitkisinin diğerlerine göre daha odunsu bir yapıya sahip olmasına bağlı olarak sert olması, peletleme ünitesinin akım değerini hızlı bir şekilde artırmış, sistemi korumak ve pelet üretiminin durmaması için materyal besleme miktarı düşürülmüştür. Bu durum, patlıcan bitkisinde makine kapasitesinin daha düşük olarak elde edilmesine neden olmuştur. Peletleme denemelerinde biber bitkisinin, diğer materyallere göre bütün parçacık boyutu ve nem içeriklerinde daha kolay peletlendiği gözlemlenmiştir.

Enerji tüketim değerleri açısından Tablo 15'e bakıldığında, hemen hemen tüm

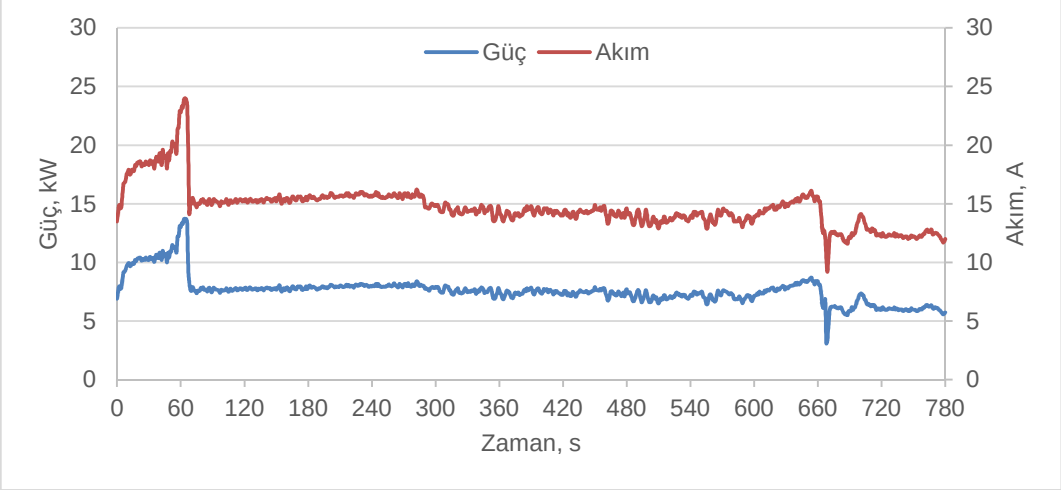
denemelerde peletleme ünitesi elektrik motor gücüne bağlı olarak (7.5 kW) maksimum çalışma akım sınır değeri olan 13 A üzerine çok fazla çıkılmamıştır. Bu nedenle enerji tüketim değerleri çoğunlukla bir birine yakın elde edilmiş ve deneme desenine bağlı olarak 6.47-7.94 kWh aralığında ölçülmüştür. En düşük makine kapasitesi D50-8mm-%8-10, en yüksek ise B100-6mm-%13-15 denemesinde elde edilmiştir. Peletleme makinesinin kapasitesi ve enerji tüketim değerleri dikkate alındığında hesaplanan özgül enerji tüketim değerleri incelendiğinde ise makine kapasitesinin artması özgül enerji tüketim değerlerini düşürmüş ve 57-382 kWh/t olarak oldukça geniş bir aralıkta belirlenmiştir. Peletleme makinesinin en düşük özgül enerji tüketim değeri D100-8mm-%18-20 denemesinde elde edilirken, en yüksek ise P100-8mm-%13-15 denemesinde elde edilmiştir. En yüksek özgül enerji tüketim değerleri peletlenmesi daha zor olan ve buna bağlı olarak daha düşük makine kapasiteleri elde edilen patlıcan bitkisinde gerçekleşmiştir. Parçacık boyutu ve nem içerikleri için elde edilen değerlerin ortalaması alındığında domates (D100), biber (B100) ve patlıcan (P100) bitkisinin ortalama özgül enerji tüketim değerleri sırası ile 109 kWh/t, 95 kWh/t ve 189 kWh/t olarak belirlenmiştir. Bu da peletleme işleminin en kolay biber bitkisinde en zor ise patlıcan bitkisinde gerçekleştiğini göstermektedir.

Adapa vd. (2009) ve Lu vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada farklı materyal ve farklı oranlarda yapıştırıcı kullanılarak yapılan peletleme çalışmalarında özgül enerji tüketimi 2.5-16 kWh/t arasında değişmiştir. Ancak, yapılan peletleme çalışmalarında peletleme sistemi olarak piston-silindir düzeneği kullanmış ve bu nedenle değerler çok düşük elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar Jackson vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Jackson vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada özgül enerji tüketimi nem içeriğine ve materyale bağlı olarak 101-324 kWh/t arasında elde edilmiş ve makine kapasitesinin artması özgül enerji tüketimini düşürdüğü belirtilmiştir.

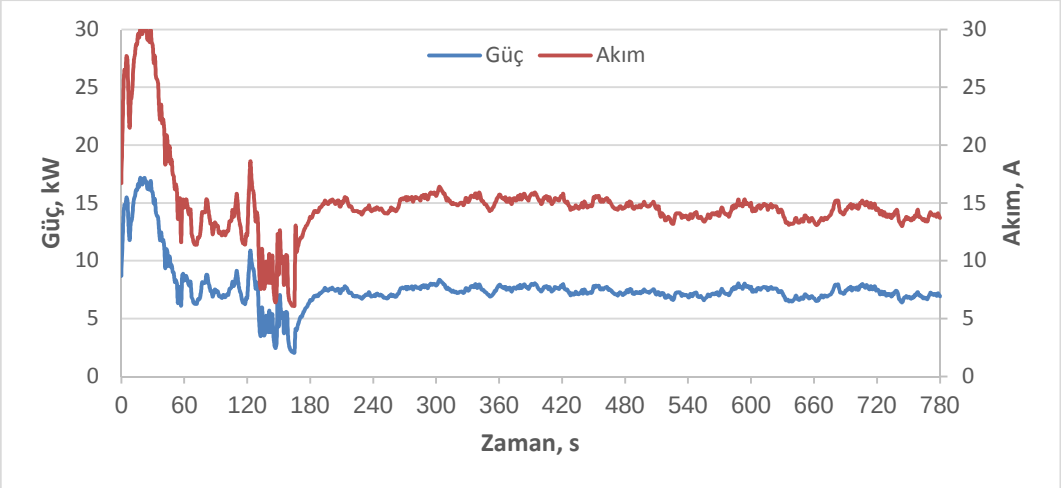
D100, B100 ve P100 materyallerinde 4 mm elek delik çapı ve %13-15 nem koşullarında pelet üretimi süresince peletleme makinesinin zamana bağlı olarak güç ve akım değişimi Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 15. D100-4mm-%13-15 materyalinin peletlenmesinde zamana göre güç ve akım değişimi



Şekil 16. B100-4mm-%13-15 materyalinin peletlenmesinde zamana göre güç ve akım değişimi



Şekil 17. P100-4mm-%13-15 materyalinin peletlenmesinde zamana göre güç ve akım değişimi

Şekil 15-17 incelendiğinde peletleme ünitesine materyalin gönderilmesi ile birlikte kalıp deliklerinde materyalin sıkışmaya başlaması sonucu akım ve güç değerleri hızlı bir şekilde yükselmiştir. Ancak daha sonra sıkıştırma silindirleri, kalıp ve materyal arasındaki sürtünmelere bağlı olarak kalıp sıcaklığının yavaş yavaş yükselmesi ile materyal içerisindeki ligninin serbest konuma geçerek yapıştırıcı gibi rol alması sonucu materyal peletlenmiş olarak çıkmaya başlamıştır. Kalıp sıcaklığı materyal özelliklerine bağlı olarak 82-146 °C arasında değişmiştir. Birkaç dakikalık sürenin sonunda makinenin rejime girmesi ile peletler düzgün bir şekilde çıkmaya başlamış akım ve güç değerleri de buna bağlı olarak kararlı bir şekilde yatay seyir izlemiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi peletleme işleminin başlangıcında patlıcan bitkisinin sıkıştırılması için daha fazla bir güç tüketimi gerçekleşmiştir. Özellikle patlıcan bitkisinde akım değerlerinin yüksek olmasına bağlı olarak beslenen materyal miktarı daha düşük seviyelerde tutulmuştur.

4.3 Pelet Fiziksel Özellikleri ve Testler

Tüm deneme materyallerinin 4 mm elek delik çapında öğütülmüş ve %8-10, %13-15 ve %18-20 nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri Şekil 18-25'de verilmiştir.



Şekil 18. D100 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri



Şekil 19. B100 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri



Şekil 20. P100 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri



Şekil 21. D50 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri



Şekil 22. B50 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri



Şekil 23. P50 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri



Şekil 24. D33 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri



Şekil 25. D80 materyalinden 4mm elek delik çapında % 8-10 (a), %13-15 (b) ve %18-20 (c) nem içeriklerinde elde edilen peletlerin görünümleri

Şekil 18-25 incelendiğinde, materyal özelliklerine bağlı olarak pelet görünümleri farklılık göstermiştir. Özellikle patlıcan bitkisinde elde edilen peletlerin, makine kapasitesinin daha düşük olmasına bağlı olarak, yüzeylerinin daha parlak ve daha pürüzsüz olduğu görülmüştür. D100, B100, D80, D50 ve D33 materyallerinin %18-20 nem içeriklerinde elde edilen peletlerinin oldukça mat ve pürüzlü bir yüzey ve şekil bozukluğu oldukça fazla oldukları görülmüştür. Aynı materyallerin %8-10 nem içeriklerinde elde edilen peletlerde ise düşük nem içeriğine bağlı olarak kırılmalar meydana gelmiş ve küçük uzunluğa sahip pelet miktarı oldukça fazla olmuştur. Bu durum D100, B50, D80 ve D50 peletlerinde daha belirgin olmuştur. Şekil, görünüş ve boyut olarak en iyi görünüme sahip peletlerin %13-15 nem içeriğinde elde edildiği söylenebilir.

4.3.1 Pelet Kütle ve Boyutları

Peletlerin kütle ve boyutları, pelet hacim ve parça yoğunluğunu etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Elde edilen peletlerin 7. gün ve 6. ay sonunda ölçülen kütle ve boyutları Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Pelet kütle ve boyutları

Materyal	Elek Çapı (mm)	Nem İçeriği (%)	7. gün			6.ay		
			Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Kütle (g)	Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Kütle (g)
D100	4	%8-10	6.09	22.45	0.91	6.09	21.82	0.89
		%13-15	6.05	23.32	0.80	6.08	22.77	0.80
		%18-20	6.31	21.70	0.74	6.26	21.66	0.73
	6	%8-10	6.16	23.31	0.88	6.16	23.36	0.89
		%13-15	6.31	21.56	0.71	6.23	20.50	0.66
		%18-20	6.58	21.41	0.71	6.71	20.22	0.69
	8	%8-10	6.09	20.92	0.80	6.09	21.07	0.81
		%13-15	6.09	30.86	1.19	6.10	30.26	1.16
		%18-20	6.67	16.79	0.56	6.65	16.93	0.56
B100	4	%8-10	6.14	25.69	1.00	6.14	25.81	1.01
		%13-15	6.19	22.63	0.78	6.22	21.85	0.76
		%18-20	6.48	20.64	0.69	6.54	21.33	0.73
	6	%8-10	6.13	23.97	0.91	6.13	23.84	0.91
		%13-15	6.33	17.07	0.61	6.33	16.01	0.56
		%18-20	7.06	17.53	0.52	7.08	15.70	0.45
	8	%8-10	6.18	23.04	0.90	6.18	22.74	0.89
		%13-15	6.30	19.03	0.64	6.31	19.49	0.66
		%18-20	6.97	18.44	0.56	6.55	19.46	0.51
P100	4	%8-10	6.11	26.69	1.09	6.12	26.51	1.07
		%13-15	6.12	21.19	0.76	6.12	20.49	0.73
		%18-20	6.04	22.81	0.85	6.05	22.67	0.83
	6	%8-10	6.17	26.30	1.07	6.17	26.43	1.08
		%13-15	6.04	23.51	0.88	6.05	23.00	0.86
		%18-20	6.04	23.67	0.88	6.04	22.94	0.85
	8	%8-10	6.21	26.26	1.04	6.21	26.16	1.04
		%13-15	6.11	24.06	0.90	6.11	24.61	0.91
		%18-20	6.09	25.59	0.98	6.09	25.67	0.98
D50	4	%8-10	6.11	23.89	0.94	6.11	24.48	0.97
		%13-15	6.21	18.69	0.69	6.22	18.35	0.67
		%18-20	6.35	20.48	0.65	6.37	20.69	0.66
	6	%8-10	6.19	23.77	0.92	6.19	23.17	0.90
		%13-15	6.07	22.03	0.84	6.07	21.99	0.84
		%18-20	6.48	20.02	0.66	6.47	19.78	0.65
	8	%8-10	6.18	19.15	0.69	6.19	19.35	0.69
		%13-15	6.05	25.65	0.98	6.05	25.49	0.98
		%18-20	6.29	22.73	0.78	6.29	22.77	0.78

Tablo 16 devamı,

Materyal	Elek Çapı (mm)	Nem İçeriği (%)	7. gün			6.ay		
			Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Kütle (g)	Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Kütle (g)
B50	4	%8-10	6.15	25.57	1.01	6.17	25.74	1.03
		%13-15	6.09	21.73	0.84	6.08	21.68	0.83
		%18-20	6.07	22.97	0.88	6.09	22.84	0.88
	6	%8-10	6.13	21.23	0.83	6.14	21.55	0.85
		%13-15	6.11	22.45	0.89	6.11	22.40	0.88
		%18-20	6.53	18.91	0.58	6.45	17.81	0.53
	8	%8-10	6.17	20.93	0.76	6.17	20.99	0.76
		%13-15	6.10	23.82	0.90	6.09	23.88	0.90
		%18-20	6.14	24.00	0.94	6.14	23.96	0.94
P50	4	%8-10	6.14	24.06	0.96	6.15	23.66	0.95
		%13-15	6.08	23.23	0.92	6.07	23.31	0.93
		%18-20	6.09	19.18	0.74	6.10	19.64	0.76
	6	%8-10	6.14	22.56	0.91	6.15	22.80	0.92
		%13-15	6.16	22.64	0.90	6.15	22.60	0.90
		%18-20	6.13	22.15	0.85	6.13	21.97	0.85
	8	%8-10	6.16	20.22	0.77	6.19	19.53	0.75
		%13-15	6.21	22.78	0.96	6.22	22.80	0.96
		%18-20	6.16	22.18	0.88	6.16	22.24	0.89
D33	4	%8-10	6.15	24.86	0.97	6.15	24.73	0.97
		%13-15	6.16	19.97	0.78	6.16	19.98	0.78
		%18-20	6.18	19.38	0.74	6.21	19.27	0.74
	6	%8-10	6.16	23.42	0.89	6.13	24.95	0.94
		%13-15	6.17	20.12	0.78	6.17	20.14	0.78
		%18-20	6.08	19.36	0.71	6.07	19.75	0.72
	8	%8-10	6.18	18.34	0.66	6.18	18.43	0.66
		%13-15	6.21	18.33	0.70	6.20	18.28	0.69
		%18-20	6.14	19.51	0.75	6.15	18.82	0.73
D80	4	%8-10	6.13	23.25	0.93	6.13	23.85	0.96
		%13-15	6.11	21.02	0.83	6.10	21.06	0.83
		%18-20	6.07	20.05	0.68	6.07	20.15	0.68
	6	%8-10	6.18	25.33	0.96	6.18	25.22	0.96
		%13-15	6.08	21.97	0.83	6.08	21.92	0.83
		%18-20	6.11	21.83	0.84	6.12	21.61	0.84
	8	%8-10	6.15	24.41	0.95	6.15	25.09	0.97
		%13-15	6.11	23.21	0.92	6.11	23.24	0.92
		%18-20	6.04	23.22	0.82	6.04	23.30	0.82

Tablo 16'da, 7. gün testlerine göre materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğine bağlı olarak elde edilen peletlerin kütle ve boyutları farklılık göstermiştir. Peletlerin çap, uzunluk ve kütleleri sırası ile 6.04 - 7.06 mm, 16.79 - 30.86 mm ve 0.52 - 1.19 g aralığında değişmiştir. Çap açısından en düşük değer P100 materyalinin 4 mm elek delik çapında %18-20 nem içeriğinde, 6 mm elek delik çapında %13-15 ve %18-20 nem içeriğinde ve D80 materyalinin 8 mm elek delik çapında %18-20 nem içeriğinde üretilen peletlerinde elde edilmiştir. En yüksek pelet çapı ise B100 materyalinin 6 mm elek delik çapında ve %18-20

nem içeriğinde elde edilmiştir. Pelet uzunluğu her ne kadar pelet boyu ayarlama sistemi ile ayarlanabilse de çıkan peletin fiziksel özellikleri de pelet uzunluğunu etkilemektedir. En büyük ve en düşük pelet uzunlukları D100 materyalinin 8 mm elek delik çapında ve sırası ile %13-15 ve %18-20 nem içeriğinde elde edilmiştir. Pelet kütlesi elde edilen peletin boyutları ve materyalin sıkıştırılma oranı ile doğrudan ilgilidir. Pelet kütlesi açısından en yüksek değer en büyük uzunluğa sahip D100 materyalinin 8mm elek delik çapında ve %13-15 nem içeriğinde, en düşük değer ise en büyük pelet çapına sahip B100 materyalinin 6 mm elek delik çapında ve %18-20 nem içeriğinde elde edilmiştir.

Depolama koşullarının peletlerin fiziksel özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacı ile 6. ay sonunda pelet boyu ve kütleleri yeniden ölçülmüştür. Tablo 14 incelendiğinde pelet çaplarının 6.04-7.08 mm, pelet uzunluğunun 15.70-30.26 mm ve pelet kütlesinin ise 0.45-1.16 g arasında değiştiği görülmektedir. Pelet boyut ve kütleleri 7. gün verileri ile karşılaştırıldığında önemli bir değişim göstermediği görülmüştür. En düşük pelet çapı aynı kalırken, en büyük pelet çapı 7.06'dan 7.08 mm'ye yine aynı pelet için çıkmıştır. Bu durum pelet çapının artışı ile değil pelet yüzeyinin düz bir yapıya sahip olmaması nedeni ile ölçüm hatasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. En büyük pelet uzunluğu, en yüksek ve en düşük pelet kütlesi yine aynı peletlerde elde edilmiştir. En düşük pelet uzunluğu ise 7. gün testinde en düşük kütle ve en büyük çapa sahip B100 materyalinin 6 mm elek delik çapında ve %18-20 nem içeriğinde elde edilmiştir. 7. gün testinde en düşük pelet uzunluğuna sahip peletin 6. ay sonunda ortalama pelet uzunluğunun arttığı görülmektedir. Bu ve buna benzer durumlar ortalama değerlerler hesaplanırken alınan peletlerin minimum ve maksimum değer aralığının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü D100 materyalinin 8 mm elek delik çapı ve %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerin 7. gün testinde pelet uzunluk değerleri 13.85 - 22.32 mm aralığında değişmiştir. Bu nedenle aynı pelet için 6. ay testinde örnekler üretilen peletler içerisinden rastgele seçildiğinden ortalama pelet uzunluğu 16.93 mm olarak bulunmuştur.

4.3.2 Pelet Nem İçerikleri

Peletlerin nem içerikleri depolama koşullarının iklimlendirilmesi, ambalajlama, yakma sistem tasarımları ve yanma emisyonları açısından son derece önemlidir. Elde edilen peletlerin 1. gün, 7. gün ve 6. ay nem içerikleri Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17. Pelet nem içerikleri

Materyal	Elek Çapı (mm)	Materyal Nemi (%)	Pelet Nem İçeriği (%)			Materyal	Elek Çapı (mm)	Materyal Nemi (%)	Pelet Nem İçeriği (%)		
			1. Gün	7. Gün	6. Ay				1. Gün	7. Gün	6. Ay
D100	4	8.52	3.12	5.42	6.76	B50	4	9.40	2.58	4.38	5.41
		14.08	12.09	11.55	10.65			13.88	6.15	7.26	6.61
		19.33	17.76	14.45	12.85			18.93	8.23	8.49	7.19
	6	8.59	3.79	5.51	6.59		6	9.74	2.54	4.23	5.36
		14.23	12.13	10.35	9.98			14.54	3.24	5.21	6.79
		19.15	17.05	15.45	9.65			19.66	14.09	12.82	8.50
	8	8.45	3.32	5.04	6.38		8	9.93	2.87	4.08	6.64
		14.13	5.10	5.80	6.82			14.35	5.37	7.80	8.16
		19.42	16.90	16.66	11.19			19.19	5.95	6.41	6.88
B100	4	8.63	4.35	5.92	6.28	P50	4	9.60	4.20	5.57	5.90
		14.13	11.15	10.92	10.45			14.36	7.99	7.76	6.75
		19.06	14.63	10.67	12.22			18.94	3.53	6.23	7.25
	6	8.41	4.36	6.23	7.21		6	9.41	4.19	5.85	5.91
		13.55	10.56	10.14	8.70			13.66	4.16	5.18	6.29
		19.60	16.91	15.28	9.12			18.16	6.03	7.19	7.28
	8	8.40	4.69	5.48	6.43		8	9.47	3.06	5.01	6.06
		13.52	10.83	9.14	8.66			14.40	3.16	4.19	6.45
		18.52	13.02	11.68	8.85			19.88	2.74	6.78	6.99
P100	4	9.01	3.44	5.83	6.68	D33	4	8.86	4.41	5.18	5.67
		14.29	7.41	8.92	8.91			14.69	4.00	6.99	7.12
		19.45	7.69	9.12	8.61			19.19	8.35	9.76	9.61
	6	8.53	2.71	5.22	6.48		6	8.69	5.27	6.29	6.03
		13.77	4.11	4.69	7.24			14.35	5.58	6.24	6.87
		19.13	7.83	7.22	8.52			19.42	7.83	8.98	8.13
	8	8.22	3.66	5.07	6.30		8	9.45	4.58	5.68	5.85
		13.81	4.94	5.04	8.74			14.18	4.10	5.77	6.41
		19.30	4.66	5.64	8.17			18.20	5.24	7.14	7.25
D50	4	9.28	2.79	4.37	4.97	D80	4	9.29	3.58	4.70	6.41
		14.57	7.97	8.13	7.33			14.02	6.98	7.24	7.26
		19.95	13.46	11.41	10.03			19.17	14.39	11.99	10.92
	6	9.49	3.70	5.50	5.84		6	9.07	5.36	6.07	7.71
		14.25	3.91	6.53	8.36			14.60	4.69	6.12	7.16
		19.07	13.64	12.66	12.72			19.41	5.82	7.72	8.05
	8	9.63	3.11	5.60	5.33		8	9.03	4.49	5.74	6.47
		13.93	4.85	5.10	8.97			14.08	2.59	5.37	6.89
		18.83	15.47	13.98	10.82			19.71	6.02	9.65	10.01

Peletler elde edildiklerinden itibaren elde edildikleri döneme göre 7 gün süresince yaklaşık 20-30 °C ve %40-60 nem aralığında, 6 ay süre boyunca ise ortalama 24 °C ve %53 nem koşullarında kapalı ortamda açık ambalaj malzemesi içerisinde depolanmıştır. Tablo 15 incelendiğinde tüm materyallerde materyal nem içeriğine ve peletleme işleminin kolay ya da zor gerçekleşmesine bağlı olarak peletleme işleminin sonunda nem içeriklerinin düştüğü belirlenmiştir. Kolay peletlenen materyallerde bu düşüş daha az olurken, zor peletlenenlerde ise daha fazla olmuştur. Peletlerin 1. gün sonunda nem içerikleri peletleme

öncesi materyal nem içeriklerine bağlı olarak %8-10 için %2.54-5.36, %13-15 için %2.59-12.13 ve %18-20 için ise %2.74-17.76 aralığında gerçekleşmiştir. Peletleme işlemi sonunda en fazla nem düşüşü %8-10 materyal nemi için B50 materyali ve 6 mm elek delik çapında, %13-15 için D80 materyali ve 8 mm elek delik çapında ve %18-20 için ise P50 materyalinin 8 mm elek delik çapında gerçekleşmiştir. Peletlerin fiziksel testler öncesi 7. gün nem içerikleri incelendiğinde depolama ortamının nem ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak peletleme işlemi sonunda düşük nem içeriğine sahip olanların ortamdan nem aldıkları, yüksek nem içeriğine sahip olanların ise nem kaybettikleri görülmüştür. Peletlerin daha fazla nem alma ya da verme durumları depolama ortamı iklim özelliklerine ve üretilen peletlerin kalitesi ile ilgilidir. Tablo 15 incelendiğinde kalite özellikleri iyi peletlerin özellikle nem alma açısından çok da fazla etkilenmediği söylenebilir. Lam vd. (2011) ve Celma vd. (2012) tarafından farklı biyokütle materyallerinin peletlenmesi için yapılan çalışmalarda materyal nem içeriğinin artması peletlerin nem içeriklerini artırmıştır. Elde edilen sonuçların literatür verileri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Peletler 6. ay nem içerikleri açısından incelendiğinde ise, depolama ortam koşullarına bağlı olarak 7. gün nem içeriklerine göre daha kararlı bir duruma gelmiş ve pelet nem içerikleri %4.97 - 12.85 aralığında gerçekleşmiştir. Özellikle 7. gün sonunda %16.66 gibi hala yüksek olan pelet nemi 6. ay sonunda %11.19 seviyelerine düşmüştür. Düşük nem içeriğine sahip peletlerin ise 6. ay sonunda nem içeriklerinin biraz daha arttığı tespit edilmiştir. Peletlerin belirlenen tüm nem içerikleri materyal neminin olukça altında kalmıştır.

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 %8-10 ve %13-15 materyal neminde elde edilen peletlerin nem içerikleri açısından standartlara uygun oldukları görülmüştür. Yine de deneme desenine bağlı olarak 72 farklı peletleme denemesinin yapılması özellikle makine kapasitesi ve özgül enerji tüketim değerlerinin yorumlanmasını zorlaştırdığı göz ardı edilmemelidir.

4.3.3 Pelet Hacim ve Parça Yoğunlukları

Pelet hacim ve parça yoğunlukları önemli pelet kalite göstergelerinden birisidir. Hacim ve parça yoğunluklarına materyal çeşidi, nem içeriği ve parçacık boyutu etkili olurken, aynı zamanda yoğunluk değerleri üzerinde elde edilen peletlerin boyut ve kütleleri de önemlidir.

Materyal çeşidi, parçacık boyutu ve materyal nem içeriğinin pelet hacim ve parça yoğunluklarına etkisini istatistiksel olarak ortaya koymak için varyans analizleri yapılmıştır. Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet hacim ve parça yoğunluklarına etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P<0.01$).

Materyal çeşidinin pelet hacim ve parça yoğunluklarına etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Materyal çeşidinin pelet hacim ve parça yoğunluklarına etkisi

Materyal	Pelet Hacim Yoğunluk (kg/m^3)	Pelet Parça Yoğunluk (kg/m^3)
D100	607.9e	1178g
B100	584.3f	1092h
P100	700.0a	1304b
D50	626.2d	1200f
B50	678.1c	1266e
P50	698.7a	1335a
D33	685.0b	1279d
D80	702.4a	1294c

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 18'e göre materyal çeşidinin pelet hacim ve parça yoğunluğu üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek pelet hacim yoğunluğu P100, P50 ve D80, parça yoğunluğu P50 materyallerinde elde edilirken, en düşük hacim ve parça yoğunluğu ise B100 materyalinde elde edilmiştir. Makine kapasitesi yüksek çıkan materyallerde hacim ve parça yoğunluk değerleri düşük olarak belirlenmiştir. Bu da bu materyallerin daha kolay peletlendiğini göstermektedir.

Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet hacim ve parça yoğunluğuna etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet hacim ve parça yoğunluklarına etkisi

Elek Çapı (mm)	Pelet Hacim Yoğunluk (kg/m^3)	Pelet Parça Yoğunluk (kg/m^3)	Nem (%)	Pelet Hacim Yoğunluk (kg/m^3)	Pelet Parça Yoğunluk (kg/m^3)
4	675a	1267a	8-10	698a	1305a
6	652b	1224c	13-15	686b	1270b
8	654b	1239b	18-20	597c	1154c

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 19 incelendiğinde materyal parçacık boyutunun ve nem içeriğinin pelet hacim ve parça yoğunluğu üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek pelet hacim ve parça yoğunlukları 4 mm elek delik çapında öğütülen ve %8-10 nem içeriğine sahip materyallerden elde edilen peletlerde bulunmuştur.

Çekiçli değirmende 6 ve 8 mm elek delik çapında öğütülen materyallerinin pelet hacim yoğunlukları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, en düşük parça yoğunluğu 6 mm elek delik çapında öğütülen materyallerde elde edilmiştir. Pelet hacim ve parça yoğunlukları ile materyal nem içeriği arasındaki ilişkide ise nem içeriğinin artması yoğunlukları olumsuz olarak etkilemiştir. Pelet hacim ve parça yoğunluğu açısından en uygun nem içeriği %8-10, parçacık boyutu ise 4 mm elek delik çapında öğütülen materyaller olarak belirlenmiştir.

Domates, biber ve patlıcan bitkisinin ayrı ayrı, farklı karışım oranlarında, parçacık boyutlarında ve nem içeriklerinde elde edilen peletler için pelet hacim ve parça yoğunluk değerleri ve varyans analiz sonuçları Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20. Pelet hacim ve parça yoğunluk değerleri ve varyans analiz sonuçları

Materyal	**Elek Çapı (mm)**	Pelet Hacim Yoğunluğu (kg/m^3)			Pelet Parça Yoğunluğu (kg/m^3)		
		%8-10	**%13-15**	**%18-20**	**%8-10**	**%13-15**	**%18-20**
D100	**4**	733*Aa*	652*Bb*	556*Ca*	1395*Aa*	1202*Bb*	1097*Ca*
	6	682*Ab*	557*Bc*	477*Cb*	1274*Ac*	1060*Bc*	979*Cb*
	8	699*Ab*	688*Ba*	428*Cc*	1315*Ab*	1318*Aa*	960*Bb*
B100	**4**	702*Aa*	615*Ba*	526*Ca*	1318*Aa*	1141*Ba*	1020*Ca*
	6	692*Aa*	618*Ba*	406*Cb*	1290*Ac*	1131*Ba*	762*Cb*
	8	696*Aa*	602*Ba*	402*Cb*	1304*Ab*	1073*Bb*	787*Cb*
P100	**4**	722*Aa*	697*Ca*	711*Ba*	1387*Aa*	1212*Cc*	1292*Bb*
	6	694*Bb*	704*Ba*	716*Aa*	1358*Ab*	1302*Ba*	1294*Bb*
	8	679*Bb*	673*Bb*	704*Aa*	1306*Ac*	1271*Bb*	1316*Aa*
D50	**4**	750*Aa*	650*Bb*	518*Ca*	1350*Aa*	1210*Bc*	1002*Cb*
	6	688*Bb*	713*Aa*	468*Cc*	1281*Bb*	1312*Ab*	1007*Cb*
	8	637*Bc*	715*Aa*	497*Cb*	1205*Bc*	1331*Aa*	1103*Ca*
B50	**4**	735*Aa*	687*Bb*	683*Bb*	1336*Aa*	1324*Bb*	1327*Ba*
	6	730*Aa*	715*Aa*	461*Bc*	1322*Bb*	1345*Aa*	916*Cc*
	8	659*Bb*	715*Aa*	718*Aa*	1215*Cc*	1288*Bc*	1319*Ab*
P50	**4**	701*Ba*	695*Bb*	723*Aa*	1347*Ba*	1364*Ab*	1325*Ca*
	6	697*Ba*	707*Ba*	722*Aa*	1354*Aa*	1339*Bc*	1303*Cb*
	8	659*Bb*	698*Ab*	686*Ab*	1260*Cb*	1389*Aa*	1330*Ba*
D33	**4**	717*Aa*	724*Aa*	626*Bc*	1314*Aa*	1315*Aa*	1270*Bb*
	6	695*Bb*	718*Aab*	650*Cb*	1277*Bb*	1304*Ab*	1270*Cb*
	8	639*Cc*	711*Ab*	686*Ba*	1198*Cc*	1260*Bc*	1303*Aa*
D80	**4**	754*Aa*	739*Ba*	582*Cc*	1356*Aa*	1348*Bb*	1166*Cc*
	6	694*Bb*	735*Aa*	702*Ba*	1267*Cc*	1301*Bc*	1319*Aa*
	8	702*Bb*	732*Aa*	680*Bb*	1305*Bb*	1352*Aa*	1236*Cb*

***** Aynı materyal için, **BÜYÜK** harfler yatay (nem içeriği için), **küçük** harfler ise dikey (elek çapı için) verilen ortalamaların karşılaştırılmasını göstermektedir.

Tablo 20'ye göre tüm materyaller için parçacık boyutunun ve nem içeriğinin pelet parça yoğunluğu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Materyal nem içeriğinin hacim yoğunluğu üzerine etkisi bütün parçacık boyutları için önemli bulunurken, parçacık boyutunun etkisi ise B100 materyalinin %8-10, B100, P100 ve D80 materyallerinin

%13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerde önemsiz bulunmuştur.

Materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğine bağlı olarak pelet hacim yoğunluğu 402-754 kg/m^3, pelet parça yoğunluğu ise 762-1395 kg/m^3 aralığında bulunmuştur. En büyük pelet hacim yoğunluğu D80 materyalinin 4 mm elek delik çapı ve %8-10 nem içeriğinde elde edilirken, en düşük ise B100 materyalinin 8 mm elek delik çapı ve %18-20 nem içeriğinde elde edilmiştir. En büyük pelet parça yoğunluğu D100 materyalinin 4 mm elek delik çapı ve %8-10 nem içeriğinde bulunurken, en düşük ise B100 materyalinin 6 mm elek delik çapı ve %18-20 nem içeriğinde bulunmuştur. Peletlerin hacim yoğunlukları materyal parçacık boyutu ve nem içeriğine bağlı olarak materyal hacim yoğunluklarına göre D100 materyali için 1.90-3.28, B100 materyali için 1.49-3.35 ve P100 materyali için ise 2.66-3.16 kat daha yüksek elde edilmiştir. Peletlerin parçacık yoğunlukları için ise, D100 materyali için 3.82-6.19, B100 materyali için 2.80-6.27 ve P100 materyali için 4.62-5.90 kat daha yüksek elde edilmiştir. Bu durum peletleme işlemlerinin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar domates, biber ve patlıcan bitkilerinin hem depolama, taşıma ve nakliye işlemlerini kolaylaştıracak hem de masrafların azalmasına büyük katkı sağlayacaktır.

Colley (2006), Mani vd. (2006a), Liu vd. (2014) materyal nem içeriğinin pelet hacim ve parça yoğunluğuna önemli derecede etki ettiğini bildirmişlerdir. Peletlerde yoğunluk parametresi pelet kalitesiyle doğrudan ilişkili olduğundan, materyal nem içeriğinin ve parçacık boyutunun artması pelet kalitesini düşürmüş ve nem içeriğinin ve parçacık boyutunun artması pelet hacim ve parça yoğunluklarını azaltmıştır. Yine, Larsson ve Rudolfsson (2012) farklı nem içeriklerine sahip biyokütle materyallerinden elde ettikleri peletlerde en yüksek pelet hacim yoğunluğuna en düşük materyal nem içeriğinde ulaşmışlardır. Carroll ve Finnan (2012) farklı biyokütle materyallerini peletlediği çalışmalarında en yüksek pelet hacim yoğunluğunu kolza samanında 685 kg/m^3 ile elde etmişlerdir. Cubero-Abraca vd. (2014) kahve posaları ile yaptıkları çalışmasında pelet hacim yoğunluğunu 600 kg/m^3 ve parça yoğunluğunu ise 1300 kg/m^3 bulmuşlardır. Hoover vd. (2014) mısır koçanlarını farklı parçacık boyutlarında peletlemiş ve materyal yoğunluğuna göre 3-6 kat daha yüksek pelet hacim yoğunluğu elde etmişlerdir. Montero vd. (2014) mantar tıpa artıklarını peletlemiş ve çalışma sonunda materyal yoğunluğuna göre en yüksek 2.18 kat daha yüksek pelet hacim yoğunlukları elde etmişlerdir. Niedziolka vd. (2015) farklı biyokütle materyallerini peletlemişler ve materyal çeşidinin pelet hacim yoğunluğunu etkilediğini belirtmiş ve en düşük buğday samanında en yüksek ise mısır sapı peletlerinde elde edilmiştir. Materyal çeşidi, nem içeriği ve parçacık boyutunun pelet hacim ve parça yoğunluğu üzerine etkisi için elde edilen sonuçlar görüldüğü gibi literatür verileri ile benzerlik göstermiştir. Ancak, Jackson vd. (2016) pilot ölçekli pelet makinesinde farklı biyokütle materyallerini peletlemiş ve materyal nem

içeriğindeki artışın pelet hacim yoğunluğunu artırdığını belirtmişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlar Jackson vd. (2016) tarafından elde edilen sonuçlarla farklılık göstermiştir. Bu durumda tamamen materyal özelliklerinden kaynaklanmıştır.

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 ≥600 kg/m^3, tarımsal artıklar ve enerji bitkileri için ise ≥550-600 kg/m^3 olması gerektiğini belirtilmiştir (EN 14961-6, 2010; EN 14961-2 2013). Tüm materyaller için farklı parçacık boyutlarında %8-10 ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerin standartları karşıladığı görülmektedir.

4.3.4 Pelet Mekanik Dayanıklılık Direnci

Pelet mekanik dayanıklılık (durability) direnci peletlerin özellikle mekanik ya da pnömatik sistemlerle taşınma 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).

Materyal çeşidi, parçacık boyutu ve materyal nem içeriğinin pelet mekanik dayanıklılık direncine etkisini istatistiksel olarak ortaya koymak için varyans analizleri yapılmıştır. Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet mekanik dayanıklılık direncine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P<0.01$).

Materyal çeşidinin pelet mekanik dayanıklılık direncine etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. Materyal çeşidinin pelet mekanik dayanıklılık direncine etkisi

Materyal	Dayanıklılık Direnci (%)
D100	93.9b
B100	94.2ab
P100	91.8c
D50	91.9c
B50	90.9d
P50	88.2e
D33	90.7d
D80	94.8a

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 21'e göre materyal çeşidinin pelet mekanik dayanıklılık direnci üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek değer B100 ve D80 materyallerinde, en düşük değer ise P50 materyalinde elde edilmiştir.

Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet mekanik direncine etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22. Materyal parçacık boyutu ve nem içeriğinin mekanik dayanıklılık direncine etkisi

Elek Çapı (mm)	Dayanıklılık Direnci (%)	Nem (%)	Dayanıklılık Direnci (%)
4	93.9a	8-10	88.5b
6	93.4a	13-15	94.5a
8	90.5b	18-20	94.7a

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 22 incelendiğinde Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre 4 ve 6 mm elek delik çapında öğütülen materyallerde elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılık dirençleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemsiz olduğu ve 8 mm elek delik çapında öğütülen materyallerde elde edilen peletlerden ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mekanik dayanıklılık direnci açısından %13-15 ile %18-20 nem içeriğine sahip tüm materyaller kullanılarak yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemsiz olduğu ve bu değerlerin %8-10 nem içeriğine sahip materyaller kullanılarak elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Domates, biber ve patlıcan bitkisinin ayrı ayrı, farklı karışım oranlarında, parçacık boyutlarında ve nem içeriklerinde elde edilen peletler için pelet mekanik dayanıklılık direnci değerleri ve varyans analiz sonuçları Tablo 23'de verilmiştir.

Tablo 23. Pelet mekanik dayanıklılık direnci değerleri ve varyans analiz sonuçları

Materyal	Elek Çapı (mm)	Dayanıklılık Direnci (%)			Materyal	Elek Çapı (mm)	Dayanıklılık Direnci (%)		
		%8-10	**%13-15**	**%18-20**			**%8-10**	**%13-15**	**%18-20**
D100	**4**	86.8*Bc*	96.6*Ab*	96.5*Aa*	**B50**	**4**	90.6*Ba*	90.7*Bb*	94.3*Ab*
	6	94.0*Ca*	95.9*Bc*	96.5*Aa*		**6**	85.3*Bb*	91.5*Ab*	93.0*Ac*
	8	90.8*Bb*	98.5*Aa*	94.4*Cb*		**8**	81.4*Bb*	97.8*Aa*	97.6*Aa*
B100	**4**	92.9*Ba*	99.0*Aa*	94.7*Ba*	**P50**	**4**	92.0*Ba*	98.1*Aa*	91.6*Bb*
	6	94.5*Ba*	97.8*Ab*	92.1*Cb*		**6**	88.9*Ba*	88.8*Bb*	96.6*Aa*
	8	93.5*Ba*	97.3*Ab*	91.5*Cb*		**8**	79.4*Ab*	81.1*Ac*	81.2*Ac*
P100	**4**	93.3*Ba*	98.9*Aa*	99.2*Aa*	**D33**	**4**	87.0*Ba*	92.4*Aa*	95.7*Ab*
	6	82.2*Bb*	97.3*Aa*	98.7*Aa*		**6**	88.9*Ba*	90.5*Bb*	97.4*Aa*
	8	78.7*Cb*	88.6*Bb*	95.0*Ab*		**8**	83.8*Ca*	89.1*Bb*	96.1*Aa*
D50	**4**	88.1*Ba*	96.9*Ac*	94.8*Aa*	**D80**	**4**	91.3*Bc*	96.5*Aa*	95.0*Ab*
	6	89.8*Ca*	98.6*Aa*	94.5*Ba*		**6**	97.2*Aa*	96.1*Aab*	97.0*Aa*
	8	78.4*Cb*	97.9*Ab*	94.2*Ba*		**8**	95.0*ABb*	93.0*Bb*	97.1*Aa*

***** Aynı materyal için, **BÜYÜK** harfler yatay (nem içeriği için), **küçük** harfler ise dikey (elek çapı için) verilen ortalamaların karşılaştırılmasını göstermektedir.

Tablo 23'e göre tüm materyaller için materyal nem içeriğinin pelet dayanıklılık direncin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, parçacık boyutunun etkisi ise sadece B100 materyalinin %8-10, D50 ve D33 materyallerinin %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerde önemsiz bulunmuştur.

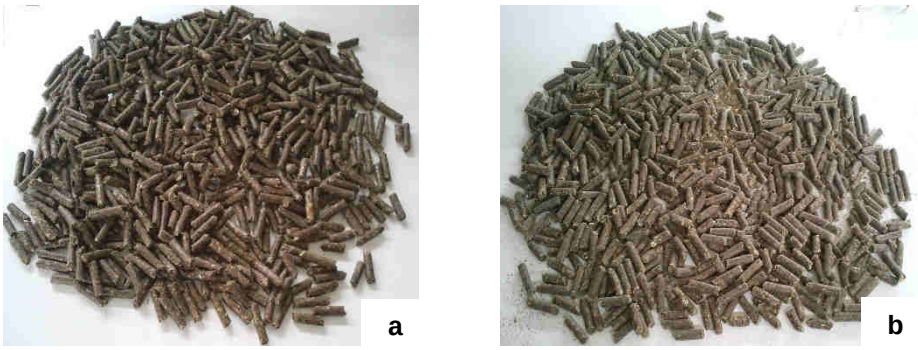
Materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğine bağlı olarak pelet dayanıklılık direnci değerleri %78.4 - 99.2 arasında değişmiştir. En yüksek pelet mekanik dayanıklılık direnci P100 materyali, 4 mm elek delik çapı ve %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerde, en düşük ise D50 materyali, 8 mm elek delik çapı ve %8-10 nem içeriğinde elde edilen peletlerde elde edilmiştir. Pelet mekanik dayanıklılık direncine materyal nem içeriğinin etkisi bir bütün olarak incelendiğinde nem içeriğinin artması pelet dayanıklılık direncini artırmıştır. Daha düşük materyal nem içeriklerinde elde edilen peletlerin nem içeriklerinin daha düşük olması test süresince peletlerde meydana gelen kayıpları artırmıştır, bu da direncin düşmesine neden olmuştur. Yüksek nem içeriklerinde elde edilen peletlerin nem içerikleri daha yüksek olmakta ve suyun bağlayıcı özelliğine bağlı olarak pelet partikülleri arasındaki bağ daha kuvvetli olmaktadır. Bu şartlarda elde edilen peletlerin diğer kalite göstergeleri çok düşük olmasına rağmen dayanıklılık direnci beklenenden daha yüksek elde edilmektedir. B100 materyali, 6mm elek delik çapı ve %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerin diğer kalite göstergeleri olan hacim ve parça yoğunlukları 406 kg/m^3 ve 762 kg/m^3 gibi oldukça düşük durumda iken pelet nem içeriğinin %10.14 olmasına bağlı olarak pelet mekanik dayanıklılığı %92.10 elde edilmiştir. P100 materyali, 8mm elek delik çapı ve %8-10 nem içeriğinde elde edilen peletlerin diğer kalite göstergeleri olan hacim ve parça yoğunlukları 679 kg/m^3 ve 1306 kg/m^3 gibi oldukça yüksek iken nem içeriğinin %5.07 olmasına bağlı olarak mekanik dayanıklılık direnci %78.7 gibi oldukça düşük elde edilmiştir. Fasina ve Sokhansanj (1996) depolama koşullarında pelet nem içeriğinin %7.5'ten %12.5'e çıkması durumunda peletlerin mekanik dayanıklılık dirençlerinin %81'den %85'e çıktığını, nem içeriğinin %19'a çıkması durumunda ise pelet mekanik dayanıklılık direncinin %75'e düştüğünü belirtmiştir.

Çalışmada elde edilen pelet mekanik dayanıklılık direnci değerleri, Bergström vd. (2008), Hoover vd. (2014), Liu vd. (2014), Montero vd. (2014) ve Bilgin vd. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda materyal çeşidi, nem içeriği ve parçacık boyutuna bağlı olarak verilen dayanıklılık dirençleri (%97.5-%99) ile benzerlik göstermiştir. Castellano vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada parçacık boyut azalmasının pelet dayanıklılık direncini artırdığı vurgulanmış, bu da elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Ancak, Miranda vd. (2011) ve Miranda vd. (2012) pelet nem içeriğinin artmasının pelet dayanıklılık direncini düşürdüğünü ve denemelerde kullanılan materyal çeşitlerine, karışım oranlarına ve pelet nem içeriğine bağlı olarak dayanıklılık direncinin %85.83-%97.08 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Ancak, Liu vd. (2014) ise yaptıkları çalışmada materyal nem içeriğinin artmasının peletlerin mekanik dayanımlarını artırdığını belirtmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar Miranda vd. (2011) ve Miranda vd. (2012) verileri örtüşmezken, Liu vd. (2014) verileri ile benzerlik göstermiştir. Çalışmada pelet nem içeriğinin artması çoğunlukla pelet mekanik dayanıklılık direncini

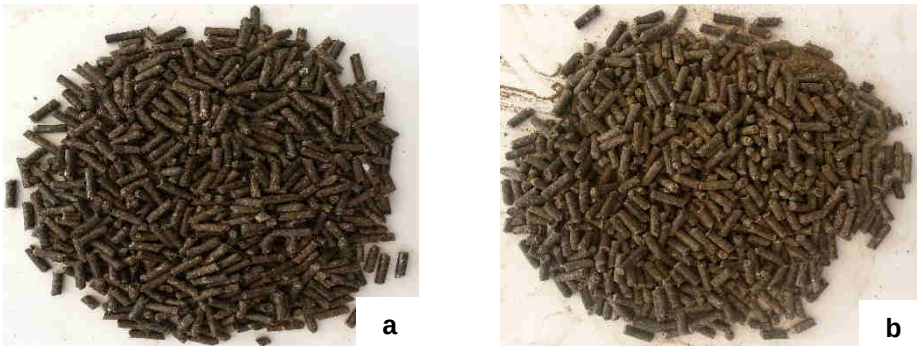
artırmıştır. Yine de bu durumun kullanılan materyal çeşidi ve peletlerin hangi nemde oldukları ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Tabil ve Sokhansanj (1996) ve 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 ≥97.5, EN-B sınıfı odun ve türevi pelet standartlarında ≥96.5 ve tarımsal materyaller ve enerji bitkileri için ise materyal çeşidine bağlı olarak ≥96 ve ≥97.5 olması gerektiğini belirtilmiştir (EN 14961-6, 2010; EN 14961-2, 2013). Avrupa Pelet Konseyi'nin açıklamış olduğu standartlar dikkate alındığında D100 materyali için 4, 6 ve 8 mm elek delik çapı %13-15 ve %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerin, B100 materyali için 4, 6 ve 8 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriği, P100 materyali için 4 ve 6 mm elek delik çapı ve %13-15 ve %13-18 nem içeriği, D80 materyali için ise 4 ve 6 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerin standartlara uygun oldukları görülmüştür. Yine, diğer materyallerden elde edilen peletler içerisinde de pelet standartlarına uygun olan peletlerin olduğu da görülmektedir.

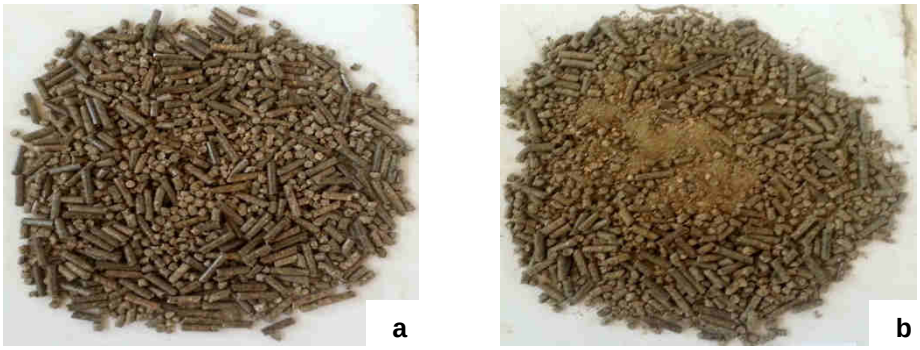
Pelet dayanıklılık direnci ve diğer kalite göstergeleri açısından istatistiksel analizlere göre en iyi durumda olan B100 materyali, 4 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerin (%99), karışım materyalleri içerisinde en iyi durumda olan D80 materyali, 4 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerin (%96.5) ve en kötü durumda olan P100 materyali, 8mm elek delik çapı ve %8-10 nem içeriğinde elde edilen peletlerin (%78.7) mekanik dayanıklılık test öncesi ve test sonrası görünümleri Şekil 26, Şekil 27 ve Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 26. B100, 4mm ve %13-15 peleti için mekanik dayanıklılık direnci test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri



Şekil 27. D80, 4mm ve %13-15 peleti için mekanik dayanıklılık direnci test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri



Şekil 28. P100, 8mm ve %8-10 peleti için mekanik dayanıklılık direnci test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri

Şekil 26-28 incelendiğinde, B100 ve D80 materyalinden 4 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerin test sonrasında hemen hemen mevcut şekil ve görünümlerini korudukları görülmüştür. Bu peletlerde meydana gelen kayıpları hemen hemen pelet uçlarındaki kısımların dökülmeleri olmuştur. P100 materyalinden elde edilen peletler incelendiğinde ise test öncesi test düzeneğine konulan peletler içerisinde küçük boyutlu peletlerin de olduğu görülmektedir. P100-8 mm-%8-10 materyalinin peletleme işlemi sırasında uzun peletlerle birlikte kısa peletler de elde edilmiştir. P100 peletlerinde test sonrası kırılmalar meydana geldiği ve diğer peletlere göre daha fazla parçalanıp ufalandığı görülmüştür. Bu durum pelet mekanik dayanıklılığını düşürmüştür. Test sırasında P100 peleti nem içeriğinin oldukça düşük olması (%5.07) kayıpları artırmıştır. Her üç pelet için de en fazla nem içeriğine sahip B100 peletinde (%10.92) en az kayıp meydana gelmiştir. Bu da pelet içerisindeki nemin oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak pelet nem içeriğindeki nem artışı her ne kadar farklı materyaller olsa da pelet mekanik dayanıklılık direncini artırmıştır.

4.3.5 Pelet Basınç Direnci, Özgül Basınç Direnci ve Gerilme Direnci

Peletlerin basınç dirençleri (compressive resistance, crushing resistance veya harness) peletlerin ambalaj paketleri veya silolarda depolanması, taşıma ve nakliye

süresince üstteki peletlerin alttakilere uygulamış olduğu yüklerin simülasyonu için yapılmaktadır (Kaliyan ve Morey 2009).

Materyal çeşidi, parçacık boyutu ve materyal nem içeriğinin pelet basınç direncine, özgül basınç direncine ve gerilme direncine etkisini istatistiksel olarak ortaya koymak için varyans analizleri yapılmıştır. Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğinin peletlerin basınç, özgül basınç ve gerilme dirençleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P<0.01$).

Materyal çeşidinin pelet basınç direncine, özgül basınç direncine ve gerilme direncine etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24. Materyal çeşidinin pelet basınç, özgül basınç ve gerilme direncine etkisi

Materyal	**Basınç Direnci (N)**	**Özgül Basınç Direnci (N/mm)**	**Gerilme Direnci (MPa)**
D100	1092b	45.2b	4.7b
B100	949d	41.2d	4.2f
P100	1367a	53.4a	5.6a
D50	856f	37.6g	3.9h
B50	916e	40.0e	4.2f
P50	916e	39.2f	4.1g
D33	872f	41.2d	4.3d
D80	1006c	44.0c	4.6c

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 24'e göre materyal çeşidinin pelet basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek değer P100 materyali peletlerinde (1367 N) elde edilmiştir. En düşük değer basınç direnci için D50 ve D33 peletlerinde, özgül basınç direnci ve gerilme direnci için ise D50 peletlerinde bulunmuştur.

Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direncine etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet basınç, özgül basınç ve gerilme direncine etkisi

Elek Çapı (mm)	Basınç Direnci (N)	Özgül Basınç Direnci (N/mm)	Gerilme Direnci (MPa)	**Nem (%)**	Basınç Direnci (N)	Özgül Basınç Direnci (N/mm)	Gerilme Direnci (MPa)
4	1019a	44.5a	4.6a	**8-10**	933c	38.1c	3.9c
6	993b	43.2b	4.4b	**13-15**	1104a	48.1a	4.9a
8	980c	42.0c	4.3c	**18-20**	955b	43.5b	4.4b

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 25 incelendiğinde Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek pelet basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci 4 mm elek delik çapında öğütülen ve %13-15 nem içeriğine sahip materyallerden elde edilen peletlerde elde edilmiştir. En düşük ise 8 mm elek delik çapında öğütülen ve %8-10 nem içeriğine sahip materyallerden elde edilen peletlerde saptanmıştır.

Domates, biber ve patlıcan bitkisinin ayrı ayrı, farklı karışım oranlarında, parçacık boyutlarında ve nem içeriklerinde elde edilen peletler için pelet basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci değerleri ve varyans analiz sonuçları Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26. Pelet basınç, özgül basınç ve gerilme direnci değerleri ve varyans analiz sonuçları

Materyal	Elek Çapı (mm)	Basınç Direnci (N)			Özgül Basınç Direnci (N/mm)			Gerilme Direnci (MPa)		
		%8-10	**%13-15**	**%18-20**	**%8-10**	**%13-15**	**%18-20**	**%8-10**	**%13-15**	**%18-20**
D100	**4**	913*Bb*	1336*Ab*	1001*Bb*	35.6*Cb*	52.5*Ab*	45.2*Bb*	3.72*Cb*	5.55*Ab*	4.60*Bb*
	6	1037*Ba*	1093*Ac*	1092*Aa*	41.8*Ca*	49.7*Ac*	48.8*Ba*	4.33*Ca*	4.99*Ac*	4.80*Ba*
	8	948*Bb*	1723*Aa*	687*Cc*	41.4*Ba*	56.4*Aa*	39.8*Cc*	4.29*Ba*	5.91*Aa*	3.82*Cc*
B100	**4**	1009*Bb*	1240*Aa*	712*Ca*	40.3*Bb*	52.2*Aa*	31.6*Ca*	4.20*Bb*	5.35*Aa*	3.08*Ca*
	6	1088*Aa*	1116*Ab*	557*Bb*	45.1*Ba*	51.9*Aa*	27.1*Cb*	4.70*Ba*	5.25*Aa*	2.50*Cb*
	8	1104*Aa*	1118*Ab*	608*Bb*	44.7*Ba*	53.1*Aa*	30.3*Ca*	4.64*Ba*	5.30*Aa*	2.72*Cb*
P100	**4**	1091*Ca*	1542*Ba*	1633*Aa*	40.0*Ca*	64.8*Aa*	69.8*Aa*	4.15*Ca*	6.75*Ba*	7.34*Aa*
	6	984*Bb*	1628*Aa*	1652*Aa*	36.9*Cc*	63.4*Ab*	66.5*Ab*	3.83*Cc*	6.70*Bb*	7.03*Ab*
	8	939*Cb*	1215*Bb*	1625*Aa*	37.7*Cb*	48.8*Ac*	57.9*Ac*	3.89*Cb*	5.10*Bc*	6.07*Ac*
D50	**4**	808*Ca*	1026*Ab*	940*Ba*	31.7*Ca*	50.0*Aa*	47.1Ba	3.33*Ca*	5.13*Aa*	4.73*Ba*
	6	789*Ba*	1065*Aab*	705*Cb*	31.9*Ba*	47.3*Ab*	32.2Bb	3.30*Ba*	4.96*Ab*	3.10*Bb*
	8	610*Cb*	1074*Aa*	689*Bb*	26.9*Cb*	42.9*Ac*	32.1Bb	2.73*Cb*	4.51*Ac*	3.19*Bb*
B50	**4**	865*Ba*	959*ABb*	1051*Ab*	36.8*Ca*	42.5*Bb*	50.5*Aa*	3.85*Ca*	4.39*Bb*	5.24*Aa*
	6	813*Bb*	876*Ab*	748*Cc*	34.3*Bb*	38.8*Ac*	38.8*Ab*	3.58*Cb*	4.04*Ac*	3.78*Bb*
	8	658*Cc*	1090*Ba*	1188*Aa*	27.9*Cc*	45.3*Ba*	50.7*Aa*	2.92*Cc*	4.64*Ba*	5.27*Aa*
P50	**4**	979*Aa*	1036*Aa*	924*Bb*	38.5*Ca*	49.0*Aa*	43.1*Bb*	3.94*Ca*	5.05*Aa*	4.48*Bb*
	6	813*Cb*	1013*Aa*	916*Bb*	32.7*Cb*	44.4*Ab*	39.9*Bc*	3.39*Cb*	4.61*Ab*	4.17*Bc*
	8	712*Cc*	804*Bb*	1054*Aa*	27.6*Cc*	36.7*Bc*	45.2*Aa*	2.86*Cc*	3.76*Bc*	4.68*Aa*
D33	**4**	1150*Aa*	766*Bb*	804*Bab*	46.2*Aa*	38.1*Cb*	39.9*Ba*	4.78*Aa*	3.95*Cb*	4.11*Bb*
	6	978*Ab*	872*Ba*	755*Cb*	41.2*Bc*	44.6*Aa*	39.1*Cb*	4.26*Bc*	4.61*Aa*	4.09*Cb*
	8	824*Ac*	851*Aa*	857*Aa*	42.4*Bb*	43.7*Aa*	40.5*Ca*	4.37*Bb*	4.51*Aa*	4.24*Ca*
D80	**4**	1066*Ab*	916*Bb*	688*Cc*	44.6*Aa*	43.8*Ac*	34.4*Bc*	4.63*Aa*	4.56*Ac*	3.59*Bc*
	6	1104*Aa*	1094*Aa*	1046*Ba*	43.3*Cb*	49.9*Aa*	48.5*Ba*	4.47*Cb*	5.22*Aa*	5.06*Bb*
	8	1115*Aa*	1053*Ba*	981*Cb*	44.4*Bab*	45.8*Ab*	45.9*Ab*	4.60*Ba*	4.78*Ab*	4.83*Aa*

***** Aynı materyal için, **BÜYÜK** harfler yatay (nem içeriği için), **küçük** harfler ise dikey (elek çapı için) verilen ortalamaların karşılaştırılmasını göstermektedir.

Tablo 26'da tüm materyaller için parçacık boyutunun ve nem içeriğinin pelet basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direncine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Materyal nem içeriğinin basınç direncine etkisi D33 materyalinin 8 mm elek delik çapında öğütülmesi ile elde edilen peletlerde önemsiz bulunmuştur. Parçacık boyutunun ise basınç direncine etkisi P100 materyalinin %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerde ve yine parçacık boyutunun özgül basınç direnci ve gerilme direncine etkisi B100 materyalinin %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerde önemsiz bulunmuştur.

Materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğine bağlı olarak pelet basınç direnci 557-1723 N, özgül basınç direnci 26.9-69.8 N/mm ve gerilme direnci 2.50-7.34 MPa

aralığında belirlenmiştir. En büyük basınç direnci D100 materyalinin 8 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerde, en büyük özgül basınç direnci P100 materyalinin 4 mm elek delik çapında ve %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerde ve en büyük gerilme direnci ise P100 materyalinin 4 mm elek delik çapı ve %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerde bulunmuştur. Yine, B100 materyali, 4mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerin tüm dirençleri yüksek değerlerde bulunmuştur. Biber bitkisinin özellikle tüm parçacık boyutlarında %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerin basınç dirençleri açısından oldukça kötü oldukları görülmektedir. Aynı durum D80 için de geçerlidir. Bu durum özellikle B100 ve D80 materyallerinin %18-20 nem içeriğinde çok kolay bir şekilde peletlenmeleri, nemin etkisine bağlı olarak pelet kalıbını hızlı bir şekilde yeterince sıkışmadan terk etmeleri ve bunun sonucu düşük yoğunluk ile yüksek pelet nem içeriğine sahip olmasından kaynaklanmıştır. P100 bitkisinin neredeyse tüm peletlerinde elde edilen yüksek değerler patlıcan bitkisinin sert yapıya bağlı olarak zor peletlenmesi, buna bağlı olarak kalıp içerisinde daha fazla kalarak yüksek yoğunlukta çıkması ve patlıcan bitkisinin çekiçli değirmende öğütülmesinde parçalanma direncinin oldukça fazla olması (güç tüketimi en fazla) neden olmuştur. Özellikle %18-20 nem içeriğine sahip materyallerin peletlenmesinde makine kapasitesi oldukça yüksek olup peletleme sistemini yaklaşık %14 ve üzeri nemde terk eden peletlerin 7. gün sonu nem içerikleri de yüksek olduğundan basınç ile ilgili tüm dirençleri oldukça düşük elde edilmiştir.

Sertlik değeri en yüksek olan pelet, yüksek kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Celma vd., 2012). Zamarona vd. (2011), materyal nem içeriğinin artmasının pelet yoğunluğunu düşürdüğünü ve buna bağlı olarak peletlerin dirençlerinin azaldığını belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar Zamarona vd. (2011) tarafından elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Celma vd. (2012) domates posasından elde ettikleri peletler için en yüksek basınç direnci değerini 88 N olarak, Garsia-Maraver vd. (2010) zeytin dalı ve yaprakları için basınç direncini 40-220 N arasında belirlemiştir. Görüldüğü gibi basınç direnci için elde edilen değerler Celma vd. (2012) ve Garsia-Maraver vd. (2010) tarafından elde edilen değerlerin çok üzerindedir. Bergström vd. (2008) farklı biyokütle peletleri için özgül sıkıştırma direnci değerlerinin 40.1-61.2 N/mm arasında değiştiğini belirlemiş ve parçacık boyut dağılımın etkisinin az olduğunu vurgulamıştır. Gilbert vd. (2009) tarafından farklı biyokütle materyallerinden elde ettikleri peletler için gerilme direnci değerleri 0.13-0.48 MPa, Liu vd. (2014) tarafından farklı biyokütle ve karışım örneklerinden elde ettikleri peletler için ise 0.96-7.50 MPa arasında değişmiştir. Elde edilen değerler Gilbert vd. (2009) tarafından elde edilen değerlerin oldukça üstünde, Liu vd. (2014) tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermiştir. Zafari ve Kiammehr (2014) farklı materyal karışımlarından elde ettikleri pelerin basınç dirençlerinin materyal parçacık boyutunun azalması ile arttığını

belirtmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar Zafari ve Kiammehr (2014) tarafından yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara benzerdir.

4.3.6 Pelet Nem Alma Durumu

Peletlerin nem alma davranışlarının belirlenmesi özellikle depolama koşullarının belirlenmesi ve ambalajlama açısından son derece önemlidir. Peletlerin nem alma davranışlarının belirlenmesi için literatürde belirtilen iki farklı yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntemde fırın kurusu peletler iklimlendirme kabininde 27 °C sıcaklık ve %90 bağıl nem şartlarında 24 h bekletilmiştir. İkinci yöntemde ise, peletler 3 farklı sıcaklık (15, 25 ve 35 °C) ve 3 farklı bağıl nem şartlarında (%50, 65 ve 80) iklimlendirme test kabininde sabit kütleye gelinceye kadar bekletilmiştir.

Birinci yöntem;

Peletlerin nem alma durumu üzerine materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğinin etkisini istatistiksel olarak ortaya koymak için varyans analizleri yapılmıştır. Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğinin peletlerin nem alma durumu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P<0.01$).

Materyal çeşidinin peletlerin nem alma durumuna etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. Materyal çeşidinin pelet nem alma durumuna etkisi

Materyal	Nem Alma Durumu (%)
D100	22.5a
B100	19.1d
P100	19.6cd
D50	20.4bc
B50	19.9c
P50	20.7b
D33	20.1c
D80	21.9a

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 27 incelendiğinde materyal çeşidinin pelet nem alma durumu üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek değer D100 ve D80 materyallerinden elde edilen peletlerde elde edilmiştir. Yani nem almaya karşı en düşük direnci bu peletler göstermiş ve mevcut koşullarda bünyelerine daha fazla nem almışlardır. Bu da özellikle domates bitkisinin nemli ortam koşullarında diğer materyallere göre daha az odunsu yapıya sahip olmasına bağlı olarak daha fazla nem alacağını göstermektedir. Nem alma durumu açısından en düşük değer yani diğerlerine göre daha az nem alan peletler B100 ve P100 materyallerinden elde edilen peletler olmuştur. Bu da özellikle domates bitkisinin nemli ortam koşullarında daha fazla nem alacağını göstermektedir. Ayrıca diğer kalite göstergelerinde B100 materyalinden elde edilen peletlerin

daha yüksek kalite göstermesi, B100 peletlerinin ortamdan daha az nem almalarını sağlamıştır.

Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet nem alma durumuna etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Tablo 28'de verilmiştir.

Tablo 28. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin pelet nem alma durumuna etkisi

Elek Çapı (mm)	**Nem Alma Durumu (%)**	**Nem (%)**	**Nem Alma Durumu (%)**
4	21.4a	**8-10**	21.2a
6	21.3a	**13-15**	20.5b
8	20.4b	**18-20**	21.4a

[z]: Aynı harfi taşıyan değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsizdir.

Tablo 28 incelendiğinde materyal parçacık boyutu ve nem içeriğinin peletlerin nem alma durumları üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en düşük nem alma durumu 8 mm elek delik çapında öğütülen ve %13-15 nem içeriğine sahip materyallerden elde edilen peletlerde belirlenmiştir. Parçacık boyutunun azalması parçacık yüzey alanının artmasına neden olmakta ortam bağıl nem durumuna göre hızlı bir şekilde nem kaybederken, hızlı ve daha fazla da nem alabilmektedir. Dolayısı ile parçacık boyutunun artması materyallerin neme karşı diğerlerine göre daha dirençli olduğunu göstermiştir. Nem içeriği açısından ise, pelet kalite göstergelerinde en yüksek değeler çoğunlukla %13-15 materyal nem içeriğinde elde edilen peletlerde elde edilmiştir. Bu da pelet kalitesinin artmasının peletlerin nem almaya karşı daha fazla direnç göstermesini sağlamıştır.

Domates, biber ve patlıcan bitkisinin ayrı ayrı, farklı karışım oranlarında, parçacık boyutlarında ve nem içeriklerinde elde edilen peletler için 27 °C ve %90 bağıl nemde pelet nem alma durumu değerleri ve varyans analiz sonuçları Tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 29. Pelet nem alma durumu değerleri ve varyans analiz sonuçları

Materyal	Elek Çapı (mm)	Nem Alma Durumu (%)			Materyal	Elek Çapı (mm)	Nem Alma Durumu (%)		
		%8-10	**%13-15**	**%18-20**			**%8-10**	**%13-15**	**%18-20**
D100	**4**	22.0*Ab*	25.7*Aa*	25.3*Aa*	**B50**	**4**	17.7*Cb*	21.2*Ba*	22.3*Aa*
	6	24.7*Aa*	23.9*Ab*	25.6*Aa*		**6**	17.5*Bb*	20.3*ABa*	22.4*Aa*
	8	22.0*Ab*	15.4*Bc*	22.5*Ab*		**8**	22.9*Aa*	20.3*ABa*	20.0*Ba*
B100	**4**	18.7*Bb*	22.1*Aa*	20.9*Aa*	**P50**	**4**	19.8*Bb*	22.4*Aab*	16.4*Cc*
	6	21.3*Aa*	17.0*Bb*	19.9*Aab*		**6**	23.4*Aa*	23.2*Aa*	21.4*Ba*
	8	19.6*Aa*b	17.5*Bb*	19.0*Ab*		**8**	24.0*Aa*	21. 2*Bb*	19.2*Cb*
P100	**4**	19.4*Ba*	20.9*Aab*	21.2*Aa*	**D33**	**4**	20.2*Ab*	18.3*Bb*	20.3*Aa*
	6	20.3*Ba*	21.2*Aa*	20.2*Bab*		**6**	20.6*Ab*	20.7*Aa*	20.1*Aa*
	8	17.9*Aa*	19.5*Ab*	19.1*Ab*		**8**	23.9*Aa*	21.4*Ba*	19.9*Ba*
D50	**4**	19.9*Ba*	20.4*Ba*	22.7*Aa*	**D80**	**4**	23.5*Ba*	24.7*Ba*	27.3*Aa*
	6	21.2*Ba*	16.8*Cb*	24.1*Aa*		**6**	24.3*Aa*	21.3*Bb*	20.5*Bb*
	8	21.7*Aa*	19.1*Ba*	23.5*Aa*		**8**	22.8*Aa*	17.5*Cc*	20.8*Bb*

***** Aynı materyal için, **BÜYÜK** harfler yatay (nem içeriği için), **küçük** harfler ise dikey (elek çapı için) verilen ortalamaların karşılaştırılmasını göstermektedir.

Tablo 29'a göre materyal nem içeriğinin D100 materyali 4-6 mm elek delik çapında, P100 materyali 8 mm elek delik çapında ve D33 materyali 6 mm elek delik çapında elde edilen peletlerinde pelet nem alma durumuna etkisi önemsiz bulunmuştur. Parçacık boyutunun P100 materyali %8-10 nem içeriği, D50 materyali %8-10 ve %18-20 nem içeriği, D80 materyali %8-10 nem içeriği, B50 materyali %13-15 ve %18-20 nem içeriği ve D33 materyali %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerinde pelet nem alma durumuna etkisi önemsiz bulunmuştur. Materyal çeşidi, parçacık boyutu ve nem içeriğine bağlı olarak peletlerin nem alma durumu %15.4-27.3 aralığında değişmiştir. En düşük değer D100 materyali, 8 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerde, en yüksek ise D80 materyali, 4 mm elek delik çapı ve %18-20 nem içeriğinde elde edilen peletlerde bulunmuştur. Tüm parçacık boyutu ve nem içeriklerinde elde edilen peletlerin peletleme öncesi materyal nem içeriklerinin üstüne çıktıkları görülmüştür. Bu durum, bu tür materyallerden elde edilen peletlerin depolanma koşullarına dikkat edilmesini gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Liu vd. (2013) ve Yılmaz (2014) farklı biyokütle materyalleri için peletlerin mekanik dayanıklılık direnci arttıkça iklimlendirme kabininde daha az nem aldıklarını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar Liu vd. (2013) ve Yılmaz (2014) tarafından elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir.

D100, D80 ve B100 materyallerinin 4 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriklerinde elde edilen peletlerin 27 °C ve %90 nemde 24 saat bekletilmesi sonucu test öncesi ve sonrası görünümleri Şekil 29, Şekil 30 ve Şekil 31'de verilmiştir.



Şekil 29. D100-4mm-%13-15 materyali peletlerinin nem alma durumlarının test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri



Şekil 30. D80-4mm-%13-15 materyali peletlerinin nem alma durumlarının test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri



Şekil 31. B100-4mm-%13-15 materyali peletlerinin nem alma durumlarının test öncesi (a) ve sonrası (b) görünümleri

Şekil 29-31 incelendiğinde test sonrası pelet görünümlerinin nem almaya bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Bu değişim D100 ve B100 peletlerinde daha belirgin olmuştur. Yine de peletler test sonunda bir bütün olarak kalmış ve herhangi dağılma görülmemiştir. Test sonunda pelet nemleri D100 için %25.7, D80 için %24.7 ve B100 için ise %22.1 olarak hesaplanmıştır.

İkinci yöntem;

Peletlerin farklı iklim koşullarında nem alma ya da verme davranışlarının belirlenmesi için yapılan bu testte tüm materyallerin 4 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletler için test öncesi ve test sonrası hesaplanan ve ölçülen nem içerikleri Tablo 30'da verilmiştir.

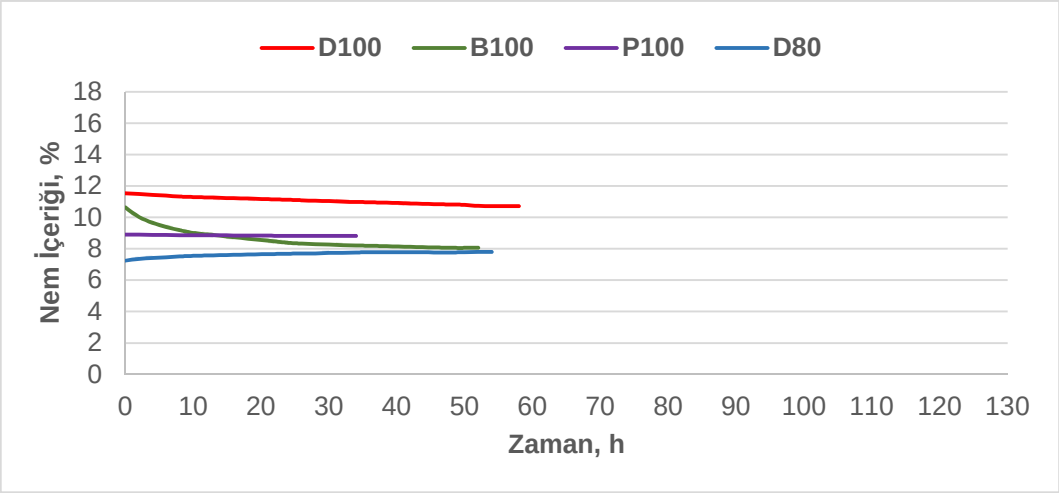
Tablo 30. Peletlerin farklı sıcaklık ve bağıl nem koşullarında test öncesi ve sonrası nem değerleri

Pelet	Test Öncesi Nem (%)	Test Sonrası Nem (%)								
		15 °C			25 °C			35 °C		
		%50	%65	%80	%50	%65	%80	%50	%65	%80
D100	11.54	10.53	13.11	17.92	10.62	13.60	16.91	10.74	11.96	14.98
B100	10.63	8.77	11.56	13.32	7.95	11.39	13.69	7.88	9.92	13.06
P100	8.91	9.15	10.35	13.72	8.72	9.84	13.68	8.54	10.15	13.69
D50	8.13	8.08	10.56	16.13	6.45	11.22	17.06	6.70	9.22	14.11
B50	7.26	8.51	9.83	15.21	7.41	10.21	15.19	6.64	9.24	14.28
P50	7.30	7.14	9.69	15.19	7.52	10.75	16.9	7.47	9.89	14.92
D33	6.99	7.22	8.60	13.11	7.02	9.62	13.59	6.89	9.08	13.60
D80	7.24	7.62	10.42	16.14	7.69	11.04	16.53	7.83	11.14	15.79

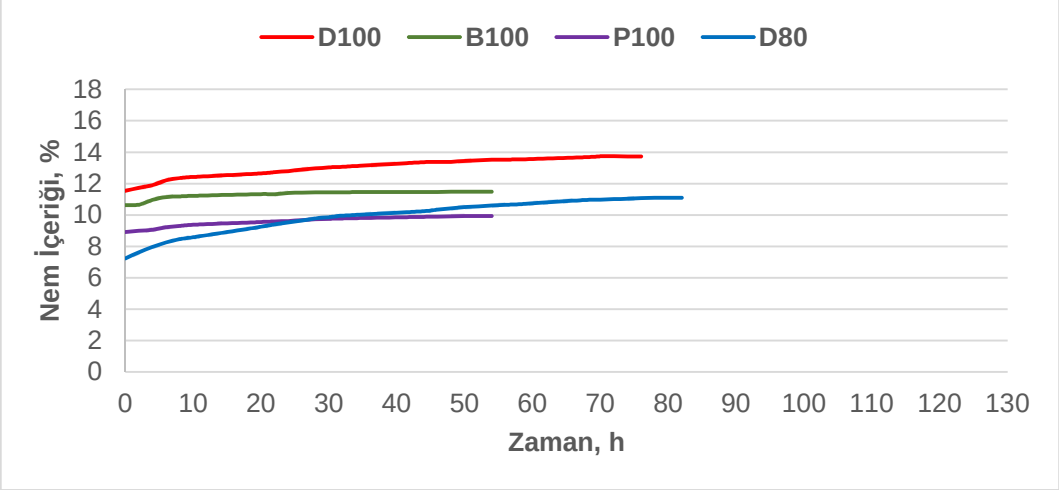
Tablo 30 incelendiğinde, peletlerin özellikle ortam bağıl nemine göre nem alma ya da kaybetme durumları tamamen başlangıç nemine ve pelet kalitesine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Peletlerin görünüm ve şekillerinde bir değişiklik meydana gelmemiştir. Aynı sıcaklık değerleri için ortamın bağıl nemi arttıkça peletlerin nem alma durumları artmıştır. Bu artış özellikle %80 bağıl nem içeriğinde daha belirgin olmuştur. D100 peleti test öncesi nem içeriğinin yüksek olmasına bağlı olarak aynı sıcaklık değerleri için %50 bağıl nem şartlarında nem kaybederken, %65 ve %80 bağıl nemde hızlı bir şekilde nem almış ve diğer peletler içerisinde ortam neminden en fazla etkilenen pelet olurken, birinci yöntemle elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir. B100 peletleri birinci yöntemde olduğu gibi ikinci yöntemde de ortam sıcaklık ve neminden en az etkilenen pelet olmuştur. Peletlerin nem almaları üzerine sıcaklıktan ziyade nem içeriği daha fazla etkili olmaktadır. Pelet nem içeriğinin ≤%10 olması durumunda sıcaklık durumuna bakılmaksızın %65 bağıl nem şartlarına kadar depolanabileceği, >%10 olması durumunda ise %50 bağıl nem koşullarında depolanması gerekmektedir. Peletler hiçbir zaman çok yüksek bağıl nem ya da yağmur gibi olumsuz koşullara maruz bırakılmamalıdır.

Peletlerin nem alma durumlarının belirlenmesi için yapılan testler sonunda elde edilen sonuçlar Fasina (2008), Yılmaz (2014) ve Bilgin vd. (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.

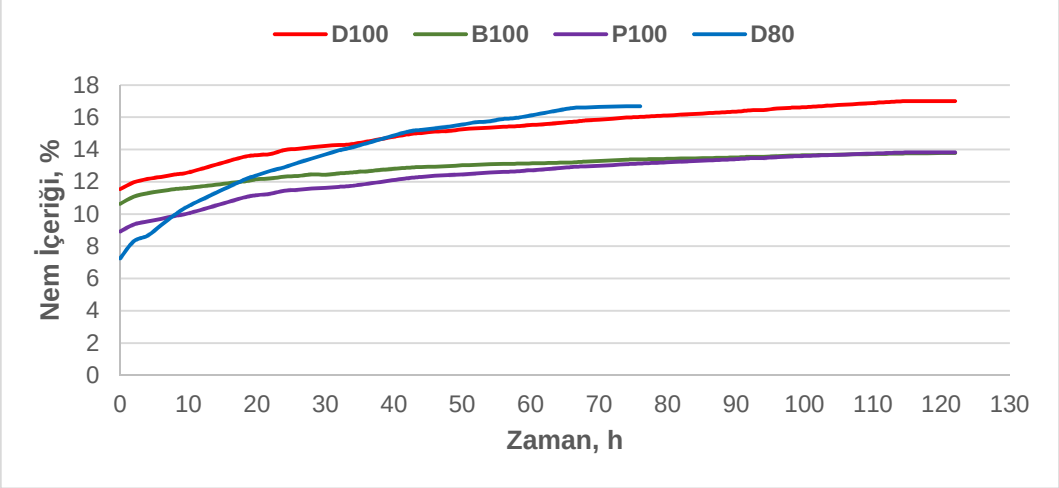
D100, B100, P100 ve D80 materyallerinin 4mm elek delik çapında ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlere ait 25 °C sıcaklık ve %50, %65 ve %80 bağıl nem koşullarında iklimlendirme kabininde bekletilmesiyle elde edilen saatlik nem değişimleri Şekil 32, Şekil 33 ve Şekil 34'te verilmiştir.



Şekil 32. Pelet nem içeriklerinin 25 °C sıcaklık ve %50 bağıl nem koşullarında zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 33. Pelet nem içeriklerinin 25 °C sıcaklık ve %65 bağıl nem koşullarında zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 34. Pelet nem içeriklerinin 25 °C sıcaklık ve %80 bağıl nem koşullarında zamana bağlı olarak değişimi

Şekil 32-34 incelendiğinde peletlerin başlangıç nemlerine ve ortam bağıl nem durumuna göre başlangıçta hızlı bir şekilde nem kaybettikleri ya da aldıkları bekleme süresi ilerledikçe yavaş yavaş ortam nemi ile dengeye geldikleri görülmektedir. Ortam bağıl değeri arttıkça peletlerin denge nemine gelmeleri için geçen süre artmıştır. Peletlerin %50 bağıl nem şartlarında 34-58 saat, %65 bağıl nem koşullarında 54-82 saat ve %80 bağıl nem koşullarında 76-122 saat sonunda ortam nemi ile dengeye geldikleri görülmektedir. Tüm peletlerin %65 ve 80 bağıl nem koşullarında nem aldıkları görülmüş ve bütün koşullarda en yüksek pelet nem içeriği D100 peletlerinde elde edilmiştir.

4.4 Depolama Süresi ve Koşullarının Pelet Özelliklerine Etkisi

Pelet hacim ve parça yoğunluğu, pelet mekanik dayanıklılık direnci, pelet basınç direnci pelet özgül basınç direnci, pelet gerilme direnci ve pelet nem alma durumunun 7. gün ve 6. ay sonuç değerlerini karşılaştırmak için bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır (Ek 1-4). T-testi sonuçlarına göre 7. gün ile 6. ay sonucu istatistiksel olarak farklılık gösteren kriterler ve faktörler Tablo 31'de sıralanmıştır.

Tablo 31'de incelenen faktörler arasında 7. gün ile 6. ay arasındaki en fazla farklılık pelet nem alma durumlarında elde edilmiştir. Özellikle P50, D33 ve D80 materyalleri kullanılarak elde edilen peletlerin neredeyse tamamının 7. gün ve 6. ayda sonundaki nem alma değerlerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu ve nem alma durumunun düştüğü saptanmıştır ($P<0.05$). Peletlerin uzun süre kapalı ortamda ortalama 24 °C ve %53 nem koşullarında bekletildiğinde 7. güne göre daha da kararlı duruma gelmiştir. Bu durum özellikle peletlerin nem alma durumunu olumlu etkilemiş ve peletler 6. ay sonunda 27 °C ve %90 bağıl nem koşullarında 7. güne göre daha az nem almışlardır. Yedinci gün ve 6. ay sonunda en az farklılık gösteren kriter ise pelet hacim yoğunluğudur. Pelet kalitesi 7. gün değerleri açısından tüm kalite faktörleri göz önüne alındığında, D100 ve D80 materyallerinin, 4 mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerin 6. ay sonunda nem alma durumu dışında, B100 materyali, 4mm elek delik çapı ve %13-15 nem içeriğinde elde edilen peletlerin tüm kalite göstergelerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı belirlenmiştir.

Tüm pelet fiziksel özellikleri 7. gün ve 6. ay için değerlendirildiğinde bütün materyallerin oldukça başarılı bir şekilde peletlendiği ve %18-20 materyal nemi dışında oldukça kaliteli peletler elde edildiği görülmüştür. Peletlerin 6. ay sonunda fiziksel görünümlerinde her hangi bir değişim gözlenmemiştir. Sonuç olarak, seralardan çıkan bitkisel artıkların katı yakıt olarak değerlendirilmesinde materyal olarak B100, D80 ve D100, parçacık boyutu olarak 4 mm elek çapında öğütülmüş ve %13-15 materyal nem içeriği olarak en iyi özellikler olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, %8-10 nem içeriğinde de yüksek kaliteli peletler elde edilebileceği, ancak materyallerin %8-10 nem içeriğine kadar kurutulması daha fazla enerji

tüketimine neden olacağı ve pelet üretim maliyetini artıracağı da dikkate alınmalıdır.

Tablo 31. T-testi sonuçlarına göre 7. gün ile 6. ay sonuçları istatistiksel olarak farklılık gösteren kriterler ve faktörler

Kriter	Materyal	Elek Çapı	Nem
Parça Yoğunluk	B100	6	%18-20
	P100	4	%8-10
	D50	6	%13-15
		8	%8-10
	B50	6	%8-10
			%18-20
	B50	8	%13-15
			%18-20
	D33	4	%13-15
		6	%13-15
		8	%18-20
	D80	8	%18-20
Mekanik Dayanıklılık Direnci	D100	4	%13-15
		6	%13-15
		8	%8-10
			%13-15
	B100	6	%8-10
	P100	4	%18-20
		6	%18-20
		8	%18-20
	D50	6	%18-20
		8	%8-10
	B50	4	%13-15
			%18-20
	P50	4	%18-20
		8	%13-15
			%18-20
	D33	6	%13-15
Gerilme Direnci	D100	6	%18-20
	P100	4	%8-10
			%13-15
		6	%8-10
			%13-15
			%18-20
	D50	6	%13-15
		8	%8-10
	B50	6	%8-10
			%18-20
		8	%13-15
			%18-20
	D80	6	%18-20

Kriter	Materyal	Elek Çapı	Nem
Hacim Yoğunluk	P100	4	%13-15
		6	%13-15
		8	%18-20
	D50	6	%13-15
	B50	8	%13-15
	P50	4	%8-10
	D33	4	%13-15
			%18-20
Basınç Direnci	D100	6	%8-10
	B100	4	%8-10
		6	%13-15
		8	%18-20
	P100	8	%18-20
	D50	4	%13-15
		6	%8-10
	B50	4	%13-15
			%18-20
		8	%8-10
	D33	8	%8-10
			%13-15
Özgül Basınç Direnci	D100	6	%18-20
	P100	4	%8-10
			%13-15
		6	%13-15
		8	%13-15
			%18-20
	D50	4	%8-10
			%13-15
		6	%8-10
		8	%13-15
	B50	4	%8-10
			%13-15
			%18-20
		6	%8-10
			%13-15
			%18-20
		8	%8-10
	P50	4	%8-10
			%13-15
			%18-20
	D33	4	%8-10
	D80	6	%18-20

Tablo 31 devamı,

Kriter	Materyal	Elek Çapı	Nem	Kriter	Materyal	Elek Çapı	Nem
Nem Alma Durumu	D100	4	%8-10	Nem Alma Durumu	P50	4	%13-15
			%13-15				%18-20
		6	%8-10			6	%8-10
			%13-15				%13-15
			%18-20				%18-20
		8	%18-20			8	%8-10
	B100	4	%18-20				%13-15
		6	%13-15				%18-20
			%18-20		D33	4	%8-10
		8	%8-10				%18-20
			%18-20			6	%8-10
	P100	4	%8-10				%13-15
			%13-15				%18-20
			%18-20			8	%8-10
		6	%13-15				%13-15
			%18-20				%18-20
	D50	4	%8-10		D80	4	%8-10
			%13-15				%13-15
			%18-20				%18-20
		6	%18-20			6	%8-10
	B50	4	%18-20				%13-15
							%18-20
						8	%8-10

4.5 Materyal Yakıt Analizleri (Proximate ve Ultimate Analizleri)

Materyallerin kimyasal özellikleri ile ilgili olarak kısa (proximate) ve elementel (ultimate) analiz sonuçları Tablo 32'de verilmiştir.

Tablo 32. Materyallerin kimyasal özellikleri ile ilgili kısa ve elementel analiz sonuçları

Analizler	Birim	Domates bitki sapı		Biber bitki sapı		Patlıcan bitki sapı	
		Orijinal bazda	Kuru bazda	Orijinal bazda	Kuru bazda	Orijinal bazda	Kuru bazda
Nem	%	5.75	-	8.07	-	5.52	-
Kül	%	7.58	8.04	14.56	15.83	15.45	16.35
Uçucu madde	%	71.20	75.54	65.03	70.74	68.20	72.18
Sabit karbon	%	15.47	16.41	12.34	13.43	10.83	11.47
Kükürt (S)	%	0.14	0.15	0.39	0.42	0.41	0.43
Karbon (C)	%	-	45.48	-	41.25	-	40.08
Hidrojen (H)	%	-	5.31	-	4.87	-	4.98
Azot (N)	%	-	1.51	-	1.83	-	2.01
Oksijen (O)	%	-	39.51	-	35.80	-	36.15
Alt ısıl değer	MJ/kg	15.04	16.10	13.65	15.05	13.88	13.99
Üst ısıl değer	MJ/kg	16.24	17.23	14.82	16.12	14.22	15.05

Tablo 32 incelendiğinde orijinal bazda en yüksek alt ısıl değer 15.04 MJ/kg ve en düşük kül içeriği %7.58 ile domates bitkisinde elde edilmiştir. Kül içeriği arttıkça materyallerin ısıl değeri düşmüştür. Materyallerin kül içerikleri çoğu tarımsal materyallerin (mısır koçanı, ayçiçeği sapı, zeytin çekirdeği, badem kabuğu, yerfıstığı kabuğu), kül içeriğinden yüksek çıkarken, bazılarından ise düşük (pirinç kabuğu, tütün tozu) çıkmıştır. Bunun nedeni diğer tarla ürünlerine göre özellikle sera yetiştiriciliğinde kullanılan yüksek oranda kimyasal gübre ve ilaçtan kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. Bilgin vd. (2012), domates, biber ve patlıcan için verilen ısıl değerlerde en yüksek biber bitkisi, en düşük ise domates bitkisinde, kül içerikleri için ise en yüksek domates (%7.67), en düşük ise biber bitkisinde olduğunu (%3.67) belirtmiştir. Materyallerin ısıl değerleri aynı kurum tarafından aynı standartlar kullanılarak yapıldığı halde 2004 ve 2014 yıl verileri arasında tam tersi bir sonuçla karşılaşılmıştır. Bu durum tamamen her iki dönemde alınan materyallerin aynı çeşit olmaması ve tamamen farklı koşullarda yetiştirilmiş olmasından kaynaklanmıştır. Yine, Callejon-Ferre vd. (2011) İspanya-Almeria bölgesinde seralarda yetiştirilen domates, biber ve patlıcan bitkilerinin ısıl değerleri açısından birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Antalya ilinde 2012 yılı verilerine göre her yıl çıkan yaklaşık 176 bin ton kuru bazda sera bitkisel artıklarından teorik olarak 2.6 milyon GJ enerji elde etmek mümkündür. Antalya seralardan çıkan bitkisel artıklarının petrol eşdeğeri karşılığı yaklaşık olarak 61 bin ton'dur.

4.5 Pelet Üretim Maliyetinin Belirlenmesi

Pelet üretiminde kullanılan makinalara ait hesaplanan sabit giderler Tablo 33'te verilmiştir.

Tablo 33. Makinalara ait sabit giderler

Makine	SAB (TL)	SGY	Sabit Giderler	
			TL/yıl	TL/t
Materyal Parçalama M.	10000	0.13	1274.1	3.6
Değirmen	9000	0.22	1942.2	5.5
Pelet Makinası	40000	0.22	8631.8	24.3
Tarım Arabası	10000	0.13	1274.1	3.6
Toplam	-	-	13122.2	36.9

Tablo 33'te görüldüğü gibi satın alma bedelleri ve sabit gider yüzdesine göre makinalara ait sabit giderler 1274.1 ile 8631.8 TL/yıl arasında değişmektedir. Birim kütle başına düşen sabit giderler ise 3.6 ile 24.3 TL/yıl arasında hesaplanmıştır. Peletleme makinasının satın alma bedelinin yüksek olması sabit giderleri artıran başlıca unsurdur. Denemelerde kullanılan makine ithal bir makinadır. Ülkemizde benzer makinaların

üretilmesinin satın alma ve sonrasındaki işletme giderlerinin azaltılması yönünden olumlu katkılar sağlayacağı söylenebilir. Yine makinaların yıllık kullanım sürelerinin artırılması birim kütle başına düşen sabit giderleri azaltacaktır. Makinalara göre elektrik, yakıt-yağ, insan işgücü, tamir-bakım ve traktör sabit giderleri Tablo 34'te verilmiştir.

Tablo 34. Makinalara göre elektrik, yakıt-yağ, insan işgücü, tamir-bakım ve traktör sabit gider

Makine	Elektrik	Yakıt-Yağ	Tamir-Bakım	İşgücü	Traktör Sabit Giderleri	Toplam, TL/t
Materyal Parçalama M.	0.6	0.0	0.6	23.5	0.0	24.7
Değirmen	28.2	0.0	2.5	95.1	0.0	125.9
Pelet Makinası	43.1	0.0	11.3	140.9	0.0	195.3
Tarım Arabası	0.0	6.7	0.6	10.0	6.1	23.4
Toplam TL/t	72.0	6.7	14.9	269.6	6.1	369.3

Tablo 34'te görüldüğü gibi birim kütle başına düşen makinalara ait değişken giderler en düşük 23.4 TL/t ile tarım arabasında, en yüksek ise 195.3 TL/t peletleme makinasında belirlenmiştir. Makine giderlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalarda özellikle peletleme makinasına yönelik çalışılması gerektiği söylenebilir.

Pelet üretimine ilişkin hesaplanan giderler Tablo 35'te verilmiştir.

Tablo 35. Pelet üretimine ilişkin giderler

Giderler	**TL/t**	**TL/yıl**	**%**
Elektrik	72.0	25574	16.2
Yakıt-Yağ	6.7	2391	1.5
Tamir-Bakım	14.9	5300	3.4
İşgücü	269.6	95808	60.8
Traktör Sabit Giderleri	36.9	13122	8.3
Makine Sabit Giderleri	6.1	2173	1.4
Tesis Kirası	16.9	6000	3.8
Tesis Giderleri	20.3	7200	4.6
Toplam	443.4	157568	100.0

Tablo 35 incelendiğinde birim kütle başına en yüksek harcamanın yaklaşık 270 TL/t ile insan işgücünün karşılanmasına yönelik olduğu görülmektedir. Bu değer toplam giderlerin % 60.8'ini oluşturmaktadır. İnsan işgücünü 72.0 TL/t (% 16.2) değeri ile elektrik tüketimi izlemektedir. Toplam giderler içerisinde en düşük giderler sırasıyla makine sabit giderleri (% 1.4). yakıt-yağ (% 1.5) ve tamir-bakım giderleri (% 3.4) izlemektedir. Birim pelet kütlesi

başına düşen maliyet 443.4 TL/kg olarak belirlenmiştir. Kapasite değeri dikkate alındığında işletmenin pelet üretimi için toplam tesis giderinin 157568 TL/yıl olduğu görülmektedir.

Shahrukh vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada Kanada koşullarında yapılan çalışmada orman artıkları tarımsal artıklar ve enerji bitkilerinden elde edilen peletlerin maliyetleri 95-105 $/t arasında değişmiştir. Yine, Mani vd. (2006b) tarafından yürütülen araştırmada Kuzey Amerika koşullarında odun peletinin maliyeti 50.57 $/t olarak hesaplanmıştır. Belirtilen değerler bu çalışmada hesaplanan değerlerden daha düşüktür. Bu araştırmada hesaplanan değerler mevcut deneme koşulları dikkate alınarak belirlenmiş değerlerdir. Bu değerlerin konusunda ilk kez yapılmış bir araştırmada bir yaklaşım sergilemesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir. İleriki çalışmalar için pratik koşullarda üretim yapan veya yapmayı planlayan işletme değerleri dikkate alınarak hesaplamaların yapılması önerilebilir. Yüksek kapasiteli çalışan tesislerde üretim maliyetlerinin düşeceği beklenebilir. Pelet üretiminde maliyeti bölge koşulları, işgücü giderleri, taşıma, kurutma faktörü ve materyalin fiziksel özelikleri gibi birçok faktörün etkilemesi bu çalışmaların önemini artırmaktadır. Mani vd. (2006b) yaptıkları çalışmaların gerekçesini de benzer şekilde açıklamaktadırlar. Bu kapsamda makine giderlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalarda özellikle pelet makinası. işgücü ve elektrik kullanımının azaltılmasına yönelik çalışılması gerektiği öngörülmektedir.

Pelet üretiminde enerji kullanımına ilişkin bulgular

Pelet üretiminde enerji kullanımına ilişkin hesaplanan değerler Tablo 36'da yer almaktadır**.**

Tablo 36. Pelet üretiminde enerji kullanım değerleri

Enerji Girdileri	**MJ/t**	**MJ/yıl**	**%**
Makine	117.7	41835.4	4.2
İnsan İşgücü	52.8	18778.3	1.9
Elektrik	2044.2	726430.6	73.6
Yakıt	71.7	25479.9	2.6
Tesis	92.2	32751.7	3.3
Diğer	399.7	142023.8	14.4
Toplam	**2778.3**	**987299.8**	**-**
Çıktı Enerjisi	**15000**	**5330515**	**-**
Enerji Kazanımı	**12221.8**	**4343215**	**-**

Tablo 36 incelendiğinde toplam enerji tüketimi içerisinde en fazla payın elektrik girdisinde olduğu görülmektedir. Birim kütle başına harcanan elektrik enerjisi 2044.2 MJ/t, yıllık tesiste harcanan elektrik enerjisi yaklaşık 726431 MJ değerine ulaşmaktadır. Bu

değerler toplam değerlerin yaklaşık % 4'ünü oluşturmaktadır. Özellikle tesiste üretime yönelik kullanılan tüm makinaların elektrik motoru ile çalışması elektrik enerjisi tüketiminin payını artırmaktadır. İnsan işgücü kullanımı ise enerji tüketiminde % 1.9 değeri ile en az paya sahiptir. Tüm girdiler dikkate alındığında birim kütle başına düşen enerji kullanımı 2778.3 MJ/t değerine ulaşmaktadır. Tesis için hesaplanan değer ise yıllık yaklaşık 987300 MJ'dür.

Peletin çıktı enerji değeri olan alt ısıl değeri (15000 MJ/t) ile girdi değerleri kıyaslandığında birim kütle başına yaklaşık 12222 MJ/t değerinde enerji kazanımının olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ

Ülkemiz önemli bir seracılık merkezi olup, örtü altı yetiştiriciliği alanında Antalya lider konumdadır. Seralarda domates, biber ve patlıcan bitkisi en fazla yetiştirilen ürünlerdir. Yetiştiricilik faaliyetleri sonucu her yıl seralardan çok büyük miktarlarda bitkisel artık çıkmakta, çok büyük bir kısmı değerlendirilmeden yok edilmektedir. Seralardan çıkan domates, biber ve patlıcan bitki saplarının kurutulup öğütüldükten sonra peletlenerek katı yakıt olarak değerlendirilmesi amacıyla yürütülen bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Her yıl Antalya ilinde domates, biber ve patlıcan bitkisi yetiştirilen seralardan toplam yaş olarak 1.2 milyon ton, kuru olarak ise 176 bin ton bitkisel artık çıkmakta, bu değer Türkiye sera bitkisel artık miktarının %70'ini oluşturmaktadır.
- Domates, biber ve patlıcan bitkisi sapları ısıl değer açısından oldukça iyi durumdadır. Bitki artıklarının yıllık toplam ısıl değeri 2.6 milyon GJ ve petrol eşdeğeri 61 bin ton olarak belirlenmiştir.
- Domates, biber ve patlıcan bitkisi sapları ayrı ayrı ve karışımlarından elde edilen materyaller farklı parçacık boyutunda ve nem içeriklerinde herhangi bir yapıştırıcı madde kullanılmadan oldukça başarılı bir şekilde peletlenmiştir.
- Tüm materyaller için çekiçli değirmen elek delik çapı arttıkça materyal geometrik ortalama çapı artmıştır.
- Bitkisel artıkların yaş olarak parçalanmasında kullanılan makinenin kapasitesi oldukça yüksek, özgül enerji tüketimi ise düşük bulunmuştur.
- Materyallerin çekiçli değirmende öğütülmesinde elek delik çapının azalması makine kapasitesini düşürmüş ve özgül enerji tüketimini artırmıştır.
- Peletleme makinesinin materyal çeşidi, nem içeriği ve parçacık boyutuna bağlı olarak 18-124 kg/h gibi oldukça geniş bir aralıkta değişim göstermiştir.
- Peletleme makinesinin özgül enerji tüketimi 57-382 kWh/t olarak oldukça geniş bir aralıkta değişmiş, makine kapasitesinin artması enerji tüketimini oldukça düşürmüştür.
- Domates, biber ve patlıcan bitkisi saplarının peletlenmesinde ortalama özgül enerji tüketim değerleri sırası ile 109, 95 ve 189 kWh/t olmuştur.
- Elde edilen peletlerin çap, uzunluk ve kütleleri sırası ile 6.04-7.06 mm, 16.79-30.86 mm ve 0.52-1.19 g arasında değişmiştir.
- Peletlerin depolanması süresince boyut ve kütlelerinde önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir.
- Materyaller oldukça yüksek pelet hacim ve parça yoğunluğunda peletlenmiş ve en yüksek pelet hacim ve parça yoğunluğu sırası ile 754 kg/m^3 ve 1395 kg/m^3 bulunmuştur.

- Materyaller yoğunluklarına göre 3.35 kat daha yüksek pelet hacim yoğunluklarına, 6.27 kat daha yüksek pelet parça yoğunluklarına sıkıştırılmışlardır.
- Materyal parçacık boyutu ve nem içeriğinin artması (özellikle %18-20) pelet hacim ve parça yoğunluklarını olumsuz olarak etkilemiştir.
- Pelet kalitesinin önemli göstergelerinden biri olan mekanik dayanıklılık direnci materyal çeşidi, nem içeriği ve parçacık boyutundan ve pelet nem içeriğinden etkilenmiştir.
- Pelet mekanik dayanıklılık direnci en yüksek %99.2, en düşük ise %78.4 olarak belirlenmiştir.
- Materyal nem içeriğin artması peletlerin mekanik dayanıklılık direncini artırırken, parçacık boyutunun artması ise düşürmüştür.
- Peletlerin basınç dirençleri materyal parçacık boyutunun artması ile azalırken, nem içeriğinin belirli bir değere kadar artması ile artmış, daha yüksek nemlerde ise azalmıştır.
- Peletleme işlemi sonunda tüm materyallerin nem içerikleri önemli derecede düşmüştür.
- Depolama süresince yüksek nem içeriğine sahip olanlar nem kaybederken, düşük nem içeriğine sahip olanlar ise nem almıştır.
- Peletler özellikle yüksek nemli koşullarında bekletildiğinde oldukça yüksek oranda nem almışlardır. Özellikle domates bitkisinden elde edilen ortam neminden daha fazla etkilenmiştir.
- Düşük nem içeriğine sahip peletlerin %50-65 bağıl ortam nemi koşullarında ortam sıcaklık değerlerine bağlı olmaksızın bekletilebileceği belirlenmiştir.
- Ortam bağıl neminin artması peletlerin çevre hava ile dengeye gelme sürelerini artırmıştır.
- Parçacık boyutu düştükçe materyaller ortamdan daha fazla nem alırken, materyal nem içeriğinin belirli değere kadar yükselmesi (%13-15) peletlerin nem almasını düşürmüştür.
- Peletler 6 ay gibi uzun bir süre depolama koşullarında açık bir şekilde bekletilmesinin pelet kalite özelliklerini değiştirmediği, hatta peletlerin nem alma durumlarına olumlu katkı yaparak yüksek nemli ortamlarda daha az nem almasını sağlamıştır.
- Peletlerin tüm kalite göstergeleri birlikte değerlendirildiğinde peletleme açısından en uygun materyal olarak B100, D80 ve D100, parçacık boyutu olarak 4 mm elek delik çapında öğütülmüş ve nem içeriği olarak ise %13-15 belirlenmiştir.
- Pelet üretiminde kullanılan makinaların satın alma bedelleri ve sabit gider yüzdesine göre makinalara ait sabit giderler 1274 ile 8632TL/yıl arasında değişmektedir.
- Birim kütle başına düşen makinalara ait değişken giderler 23.4 TL/t ile 195.3 TL/t arasında değişmektedir.

- Birim pelet kütlesi başına düşen maliyet 443.4 TL/kg olarak belirlenmiştir. Kapasite değeri dikkate alındığında işletmenin pelet üretimi için toplam tesis giderinin 157568 TL/yıl olduğu görülmektedir.
- Tüm girdiler dikkate alındığında birim kütle başına düşen enerji kullanımı 2778 MJ/t değerine ulaşmaktadır. Tesis için hesaplanan değer ise yıllık 987300 MJ'dür.
- Peletin çıktı enerji değeri olan alt ısıl değeri (15000 MJ/t) ile girdi değerleri kıyaslandığında birim kütle başına 12222 MJ/t değerinde enerji kazanımının olduğu görülmektedir.
- Seralardan çıkan ve değerlendirilmediğinde herhangi bir ekonomik değer olmayan bitki artıklarının ekonomik değer kazandırılarak katı yakıt olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.
- Peletler başta sera ısıtmasında, evsel ısıtmada, enerji üretim santrallerinde yakıt olarak kullanılabilecektir.
- Peletler termik santrallerde kömür ile birlikte yakılarak kömürün neden olduğu çevresel kirlilik riskini azaltmaya yardımcı olacak potansiyeldedir.
- Bitkisel artıkların yoğun çıktığı alanlara peletleme tesisleri ivedilikle özel sektör ya da kamu kurum ve kuruluşları tarafından kurulmalıdır.
- Kamu kurum ve kuruluşları tarafından tesislerin kurulması durumunda karlılık durumuna bakılmaksızın kamu yararı düşünülmelidir. Artıkların değerlendirilmesi ile çevreye sağladığı katkının maliyeti ölçülemez.
- Peletlerin pelet sobasında yakılarak en uygun yakma koşullarının ve baca gazı emisyonlarının ölçülmesi gerekmektedir.
- En uygun materyal ve özellikleri dikkate alınarak bundan sonraki çalışmalar makine kapasitesini artırıp, üretim maliyetlerini azaltacak şekilde planlanmalıdır. Bu amaçla bu tür artıkların peletlenmesine yönelik en uygun kalıp özellikleri belirlenmelidir.
- Sera bitki artıklarının değerlendirilmesinde en büyük sorun kurutma olduğu için, alternatif enerji kaynaklı kurutma sistemleri ve daha kısa sürede materyal nemini düşürecek yeni sistemler üzerine çalışmalar yapılmalıdır.
- Geleneksel çiftçi seralarından bitki saplarının toplanıp, parçalanmasını ve depolanmasını sağlayacak sistemler üzerine çalışmalar yapılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

Acaroğlu, M. 1998. Türkiye'de Biyokütle Enerjisinin Mevcut Durumu, Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları, Politikaları ve Alınması Gereken Önlemler. Özel Rapor, Türkiye I. Enerji Şurası, İstanbul,

Acaroğlu, M., Ültanır M.Ö. 2000. "Türkiye'de Biyokütle (Biomas) Enerji Potansiyeli ve Değerlendirilmesi İçin Öneriler", Türkiye 8. Enerji Kongresi, WEC-TNC, Ankara.

Adapa, P., Tabil L., Schoenau G. 2009. "Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw", Biosystems Engineering, 104, 335-344.

Agarwal, A.K. 2007. "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for ınternal combustion engines", Progress in Energy Combustion Science, 33, 233-271.

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.

Alcorn A. 1998. "Embodied energy in New Zealand Materials", Atla News, Newsletter Issue 7(4)

Anonim. 2011. Antalya Tarım Master Planı. Antalya: T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Antalya Valiliği, İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü.

Aragon-Garita, S., Moya R., Bond B., Valaert J. 2016. "Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential enegy crops in the Northern Region of Costa Rica", Biomass and Bioenergy, 87, 84-95.

ASAE S319.3. 2003. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving, American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).

Balasubramanian, D. 2000. "Physical properties of raw cashew nut", Journal of Agricultural Engineering Reserach, 78, 291-7.

Ballesteros, I., Negro M.J., Oliva J.M., Cabanas A., Manzanares P., Ballesteros M. 2006. "Ethanol production from steam-explosion pretreated wheat straw", Applied Biochemistry and Biotechnology, 130, 496-508."

Başçetinçelik, A., Karaca C., Öztürk H.H., Kaçıra M., Ekinci K. 2005."Agricultural biomass potential in Turkey", 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agricultre and 27th International Conference of CIRG Section IV, İzmir, p. 195-9.

Bergström, D., Israelsonn S., Öhman M., Dahlqvist S., Gref R., Boman C., Wästerlund I. 2008. "Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of scots pine sawdust fuel pellets", Fuel Processing Technology, 89, 1324-9.

Bilgin, S., Ertekin C., Kürklü A. 2012. "Türkiye'deki Sera Bitkisel Biyokütle Atık Miktarının Belirlenmesi", 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Samsun, s. 499-508.

Bilgin, S., Ertekin C., Kürklü A. 2013. “Alternatif Yakıt Olarak Sera Bitki Atığı Briketlerinin Yakılması ve Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Belirlenmesi”, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(1), 11-7.

Bilgin, S., Yılmaz H., Koçer A., Acar M., Dok M. 2015. “Fındık Zurufunun Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi”, Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 11, 265-273.

Biswas, A. K., Rudolfsson M., Broström M., Umeki K. 2014. “Effect of pelletizing conditions on combustion behavior of single wood pellet”, Applied Energy, 119, 79-84.

BMU. 2009. National Biomass Action Plan for Germany: Biomass and Sustainable Energy Supply. http://www.bmu.de

Callejon-Ferre, A.J., Velazquez-Marti B., Lopez-Martinez J.A., Manzano-Agugliaro F. “Greenhouse crop residues: Enegy potential and models fort he prediction of their higher heating value”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 948-955.

Canakcı, M., Akinci I. 2006. “Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production”, Energy, 31, 1243-1256.

Carroll, J. P., Finnan J. 2012. “Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws”, Biosystems Engineering, 112 (2), 151-9.

Castellano, J. M., Gomez M., Fernandez M., Esteban L.S., Carrasco J.E. 2015. “Study on the effects of raw materials composition and pelletization conditions on the quality and properties of pellets obtained from different woody and non woody biomasses”, Fuel, 139, 629-636.

Celma, A.R., Cuadros F., Rodriguez F.L. 2012. “Characterization of pellets from industrial tomato residues”, Foof and Bioproducts Processing, 90, 700-6.

Chen, L., Xing L., Han, L. 2009. “Renewable energy from agro-residues in China: solid biofuels and biomass briquetting technology”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2689-2695.

Chou, C.S., Lin S.H., Lu W.C. 2009. “Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran”, Fuel Processing Technology, 90, 980-7.

Colley, Z.J. 2006. Compaction of Switchgrass for Value Added Utilization, (M. Sc), The Gtaduate Faculty of Auburn University.

Cubero-Abraca, R., Moya R., Valaret J., Filho M. T. 2014. “Use of coffee (*coffea arabica*) pulp for the production of briquettes and pellets for heat generation”, Ciênc. Agrotec. 38(5), 461-470.

Çanakcı, M. 2005. Antalya İli Sera Sebzeciliğinde Mekanizasyon İşletmeciliği Verilerinin Belirlenmesi ve Optimum Seçim Modellerinin Oluşturulması Üzerine Bir Araştırma, (Doktora Tezi), Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı.

De, D., Singh S., Chandra H. 2001. “Technological impact an energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh”, Applied Energy, 70,193-213

Demirbaş, A. 1999. “Evaluation of biomass materials as energy sources: Upgrading of tea waste by briquetting process”, Energy Sources, 21, 215-220.

EC. 2005. Biomass Green Energy for Europe, European Communities, Luxembourg, pp. 52.

EC. 2010. Report from the Commission to the Council and the European Parliament on Sustainability Requirements for the Use of Solid and Gaseous Biomass Sources in Electricity, Heating and Cooling, European Commission, COM, Brussels, pp. 9.

ECC. 2007. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament: Renewable Energy Road Map Renewable Energies in the 21st Century: Building a More Sustainable Future, Commission of the European Communities, COM (2006), Brussels, pp. 7.

EE. 2016. Embodied Energy. Material Use.
http://ohp.parks.ca.gov/pages/1054/files/embodied%20energy.pdf
Son erişim tarihi: 25 Mayıs 2016.

EEC. 2016. Embodied Energy Coefficients – Alphabetical.
http://www.victoria.ac.nz/architecture/centres/cbpr/resources/pdfs/ee-coefficients.pdf
Son erişim tarihi: 24 Mayıs 2016.

EN 14774-2. 2009. Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Total moisture. Simplified method.

EN 14961-2. 2013. Solid biofuels - fuel specification and classes – Part 2: Wood pellets for non-industrial use.

EN14961-6. 2010. Non-woody pellets for non-industrial use.

EN 15103. 2009. Solid biofuels. Determination of bulk density.

EN 15149-2. 2010. Solid biofuels. Determination of particle size distribution. Vibrating screen method using sieve apertures of 3.15 mm and below.

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.

ETKB. 2015. Enerji İstatistikleri. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. http://www.enerji.gov.tr, Erişim: Haziran 2015.

ETKB. 2016. Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Sayı: 11.

Evcim, Ü. 1982. “Uygun makina kapasitesi ve traktör güç düzeyinin belirlenmesinde bilgisayar”, Tarımsal Mekanizasyon Semineri-7, İzmir.

Evcim, Ü. 1990. Tarımsal Mekanizasyon İşletmeciliği ve Planlaması Veri Tabanı. İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 495.

Fassina, O.O. 2008. “Physical properties of peanut hull pellets”, Bioresource Technology, 99, 1259-1266.

Fassina, O. O., Sokhansanj S. 1996. “Storage and handling characteristics of alfalfa pellets”, Powder Handling and Process, 8, 361-5.

Franke, M., Rey A. 2006. Pp. 78-79. Pelleting Quality. World Grain.

Garcia-Maraver, A., Ramos-Ridao A. F., Ruiz D.P., Zamorano M. 2010. Quality of pellets from olive grove residual biomass. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ’10), Granada-Spain.

Gezer, I., Acaroglu M. Haciseferogullari H. 2003. “Use of energy and labour in apricot agriculture in Turkey”, Biomass and Bioenergy, 24,215-219.

Gil, M.V., Oulego P., Casal M.D., Pevida C., Pis J.J., Rubiera, F. 2010. “Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends”, Bioresource Technology, 101, 8859-8867.

Gilbert, P., Ryu C., Sharifi V., Swithenbank J. 2009. “Effect of process parameters on pelletisation of herbaceous crops”, Fuel, 88, 1491-1497.

Goswam, D.Y., Kreith F. 2007. Global Energy System. Editor: Kreith F, Goswami D, Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy, Florida, Taylor and Francis Group, pp: 1-20.

Grover, P.D., Mishra S.K. 1996. Biomass Briquetting: Technology and Practices, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok.

Hetz, E. J. 1992. “Energy utilization in Chilean agriculture”. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America (AMA), 23(2), 52-56.

Hetz, E. J. 1998. “Energy utilization in fruit production in Chile”, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America (AMA), 298(2), 17-20.

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.

Hoover, A. N., Tumuluru J. S., Teymouri F., Moore J., Gresham G. 2014. “Effect of pelleting process variables on physical properties and sugar yields of ammonia fiber expansion pretereated corn stover”, Biosoruce Technology, 164, 128-135.

IEA. 2008. World Energy Outlook, International Energy Agency, Paris.

IEA. 2009. World Energy Outlook, International Energy Agency, Paris.

IEA. 2015. Key World Energy Statistics. International Energy Agency, Paris.

Işık, A. 1988. Sulu Tarımda Kullanılan Mekanizasyon Araçlarının Optimum Makina ve Güç Seçimine Yönelik İşletme Değerlerinin Belirlenmesi ve Uygun Seçim Modellerinin Oluşturulması Üzerinde Bir Araştırma. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Mekanizasyon Anabilim Dalı.

Işık, A., Sabancı A., Ağanaoğlu V. 1988. "Tarımsal mekanizasyonda satınalma ve kiralamaya etkili faktörlerin Çukurova koşullarında değerlendirilmesi", Tarımsal Mekanizasyon 11. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Erzurum, 114-123.

Jackson, J., Turner A., Mark T., Montross M. 2016. "Densification of biomass using a pilot scale flat ring roller pellet mill", Fuel Processing Technology, 148, 43-9.

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. 2011. "Effect of microwave-chemical pre-treatment on compression characteristics of biomass grinds", Biosystem Engineering, 108(1), 36-45.

Kaygusuz, K., Türker M.F. 2002. "Biomass energy potential in Turkey", Renewable Energy, 26, 661-678.

Kürklü, A., Bilgin S. 2007. Pamuk ve Susam Saplarının Briketlenmesi Üzerine Bir Çalışma, Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 3 (3), 151-9.

Lam, P.S., Sokhansanj S., Bi X., Lim C.J., Melin S. 2011. "Energy input and quality of pellets made from steam-exploded douglas fir (Pseudotsug menziesii)", Energy Fuels, 25, 1521-1528.

Larsson, S.H., Thyrel M., Geladi P., Lestander T.A. 2008. "High quality biofuel pellet production from pre-compacted low density raw materials", Bioresource Technology, 99(15), 7176-7182.

Larsson, S.H., Rudolfsson M. 2012. "Temperature control in energy grass pellet production – effects on process stability and pellet quality", Applied Energy, 97, 24-9.

Lehtikangas, P. 2001. "Quality properties of pelletised 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.

Liu, Z., Jiang Z., Cai Z., Fei B., Yu Y., Liu X. 2013. "Effects of carbonization conditions on properties of bamboo pellets", Renewable Energy, 51, 1-6.

Liu, X., Fei B., Jiang Z., Cai, Z., Liu Z. 2014. "Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China", Wood Sci Technol, 48, 903–917.

Mani, S., Tabil L.G., Sokhansanj S. 2003. “An Overview of compaction of biomass grinds”, Powder Handling and Process, 15, 160-8.

Mani, S., Tabil L.G., Sokhansanj S. 2004. “Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws, corn stover and Switchgrass”, Biomass and Bioenergy, 27, 339-352.

Mani, S., Tabil L.G., Sokhansanj S. 2006a. “Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical of biomass pellets from grasses”, Biomass and Bioenergy, 30, 648-654.

Mani, S., Sokhansanj, S., Bi, X., Turhollow A. 2006b. “Economics of producing fuel. Pellets from biomass”. Applied Engineering in Agriculture, 22(3), 421-6.

McMullen, J., Fasina O. O., Wood C. W., Feng Y. 2005. “Storage and handling characteristics of pellets from poultry litter”, Applied Engineering in Agriculture, 21, 645-651.

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.

Miyata, E. S. 1980. “Determinig fixed and operating costs of logging equipment”. Forest Service: US Deparment of Agriculture. St. Paul Minnesota 55108, USA. http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_nc055.pdf?
Son erişim tarihi: 25 Mayıs 2016.

Montero, I., Miranda T., Sepulveda F. J., Arranz J. I., Nogales S. 2014. “Analysis of pelletizing of granulometric separation powder from cork industries”, Materials, 7, 6686-6700.

Niedziolka, I., Szpryngiel M., Kachel-Jakubowska M., Kraszkiewicz A., Zawislak K., Sobczak P., Nadulsk R. 2015. “Assessment of the energetic and mechanical properties of pellets produced from agricultural biomass”, Renewable Energy, 76, 312-7.

Nilsson, D., Bernesson S., Hansson P.A. 2011. “Pellet production from agricultural raw materials – a systems study”, Biomass and Bioenergy, 35, 679-689.

Önal, I., Tozan M. 1986. “Sanayi tipi domates yetiştiriciliğinde alternatif üretim sistemlerinin işgücü gereksinmeleri ve enerji bilançosu”, 10. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, Adana, 216–228.

Özkan, B. Yılmaz İ. 1999. “Tek yıllık bitkiler için maliyet hesaplamaları: mevcut durum, sorunlar ve öneriler”, Tarım Ekonomisi Dergisi, 4, 64-80.

Öztürk, H.H. 2012. Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi. İstanbul: Hasad Yayıncılık Ltd. Şti.

Payne, J.D. 2006. P. 17. Troubleshooting the pelleting process. Feed Technology Technical Report Series. Singapore: American Soybean Association International Marketing Southeast Asisa.

Puig-Arnavat, M., Shang L., Sárossy Z., Ahrenfeldt J., Henriksen, U.B. 2016. “From a single pellet press to a bench scale pellet mill-Pelletizing six different biomass feedstock”, Fuel Processing Technology, 142, 27-33.

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, 220-6.

Sayın, S., Özgüven F. 1995. “Ülkemizde yaygın kullanılan tarım makinalarının yapımı ve kullanım maliyetlerinin hesaplanması üzerine bir araştırma”, Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Bursa, 585-594.

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.

Shahrukh, H., Oyedun A. O., Kumar A., Ghiasi B., Kumar L., Sokhansanj S. 2016. “Techno-economic assessment of pellets produced from steam pretreated biomass feedstock”, Biomass and Bioenergy 87,131-143

Shaw, M.D., Karunakaran C., Tabil L.G. 2009. “Physicochemical characteristics of densified untreated and steam exploded poplar wood and wheat straw grinds”, Biosystem Engineering, 103(2), 198-207.

Sındır, K.O. 1999. Tarımda Makina Seçimi ve Ortak Kullanım Modelleri. Ankara: T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü.

Singh, J. M. 2002. On Farm Energy Use Pattern in Different Cropping Systems in Haryana, India. Master of Science, International Institute of Management University of Flensburg. p:118, Germany.

Singh, R.N., Bhoi P.R., Patel S.R. 2007. “Modification of commercial briquetting machine to produce 35mm diameter briquettes ssuitable for gasification and combustion”, Renewable Energy, 32(3), 474-9.

Sokhansanj, J., Turhollow A.F. 2004. “Biomass densification-cubing operations and cost for corn stover”, Applied Engineering in Agriculture, 20: 495-9.

Stahl, M., 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.

Stahrukh, H., Oyedun A. O., Kumar A., Ghiasi B., Kumar L., Sokhansanj S. 2016. “Techno-economic assessment of pellets produced drom steam pretreated biomass feedstock”, Biomass and Bioenegy, 87, 131-143.

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 on Its compaction characteristics”, Applied Engineering in Agriculture, 13: 499-505.

TCMB, 2016. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası
http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/6121b7aa-7946-4353-b0f2-9cbab7e289b2/Turk+Lirasi.html?MOD=AJPERES
Son erişim tarihi: 25 Mayıs 2016.

Theerarattananoon, 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.

Tiwari, G. N., 2003. “Greenhouse technology for controlled environment”, Pangbourne, England: Alpha Science International Ltd.

TUİK. 2016a. Bitkisel Üretim İstatistikleri, Tarım ve Orman Alanları, Türkiye İstatistik Kurumu. http://www.tuik.gov.tr .
Son erişim tarihi: 23 Mayıs 2016

TUİK. 2016b. Tüketici Fiyat Endeksi.Türkiye İstatistik Kurumu,
http://.www.tuik.gov.tr
Son erişim tarihi: 24 Mayıs 2016.

Turner, R. 1995. “Bottomline in feed processing: achieving optimum pellet quality”, Feed Mgmt, 46, 30-3.

Werther, J., Saenger M., Hartge E.U., Ogada T., Siagi Z. 2000. “Combustion of agricultural residues”, Progress in Energy and Combustion Science, 26: 1-27.

Yalçın, E., Saydam S., Köse H. 1996. Kriging Yöntemi İle Kömür Kül ve Kükürt İçeriklerinin Tahmini. Zonguldak Türkiye 10. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı.

Yılmaz, H. 2014. Bazı Tarımsal Artıkların Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Zafari, A., Kianmehr M. H. 2014. “Factors affecting mechanical properties of biomass pellet from compost”, Environmental Technology, 35(4), 478-486

Zamorano, M., Popov V., Rodríguez M.L., García-Maraver A. 2011. “A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues”, Renewable Enery, 36, 3133-3140.

7. EKLER

Ek-1. 7. gün ve 6. ay sonucu pelet parça yoğunluğu ve pelet hacim yoğunluğu değerlerini karşılaştırmak için yapılan t-testi sonuçları

Materyal	Elek çapı	Nem		Pelet Parça Yoğunluğu			Pelet Hacim Yoğunluğu		
				Ort.	t	P	Ort.	t	P
D100	4	%8-10	7. gün	1395	-0.173	0.878	733	0.714	0.549
			6. ay	1395			729		
		%13-15	7. gün	1202	-0.222	0.845	652	1.344	0.311
			6. ay	1204			643		
		%18-20	7. gün	1097	0.553	0.636	556	1.977	0.187
			6. ay	1092			550		
	6	%8-10	7. gün	1274	-0.383	0.739	682	0.016	0.989
			6. ay	1275			682		
		%13-15	7. gün	1060	-0.050	0.965	557	3.238	0.084
			6. ay	1061			548		
		%18-20	7. gün	979	0.805	0.505	477	0.289	0.800
			6. ay	970			476		
	8	%8-10	7. gün	1315	-1.528	0.266	699	-0.677	0.568
			6. ay	1322			703		
		%13-15	7. gün	1318	2.475	0.132	688	0.979	0.431
			6. ay	1311			685		
		%18-20	7. gün	960	1.147	0.370	428	2.158	0.164
			6. ay	956			422		
B100	4	%8-10	7. gün	1318	0.001	0.999	702	-0.174	0.878
			6. ay	1318			703		
		%13-15	7. gün	1141	-0.213	0.851	615	0.224	0.844
			6. ay	1144			614		
		%18-20	7. gün	1020	0.441	0.702	526	0.497	0.669
			6. ay	1014			522		
	6	%8-10	7. gün	1290	-1.500	0.272	692	0.256	0.822
			6. ay	1295			692		
		%13-15	7. gün	1131	1.320	0.318	618	1.971	0.188
			6. ay	1116			612		
		%18-20	7. gün	762	5.790	0.029	406	-0.199	0.860
			6. ay	732			407		
	8	%8-10	7. gün	1304	2.302	0.148	696	-1.319	0.318
			6. ay	1300			704		
		%13-15	7. gün	1073	-0.483	0.677	602	0.285	0.803
			6. ay	1084			600		
		%18-20	7. gün	787	0.225	0.843	402	-0.850	0.485
			6. ay	780			409		
P100	4	%8-10	7. gün	1387	20.785	0.002	722	-0.788	0.513
			6. ay	1375			724		
		%13-15	7. gün	1212	0.622	0.597	697	9.165	0.012
			6. ay	1207			671		
		%18-20	7. gün	1292	2.302	0.148	711	-0.378	0.742
			6. ay	1278			712		
	6	%8-10	7. gün	1358	-0.307	0.788	694	-0.029	0.980
			6. ay	1360			694		
		%13-15	7. gün	1302	0.595	0.612	704	5.276	0.034
			6. ay	1299			698		
		%18-20	7. gün	1294	0.877	0.421	716	0.240	0.833
			6. ay	1292			713		
	8	%8-10	7. gün	1306	-2.000	0.184	679	-0.362	0.752

			6. ay	1308			681		
		%13-15	7. gün	1271	0.5614	0.631	673	0.596	0.611
			6. ay	1264			668		
		%18-20	7. gün	1316	1.159	0.366	704	4.379	0.048
			6. ay	1308			696		
D50	4	%8-10	7. gün	1350	3.464	0.074	750	0.323	0.777
			6. ay	1348			745		
		%13-15	7. gün	1210	1.739	0.224	650	0.773	0.520
			6. ay	1203			648		
		%18-20	7. gün	1002	-0.286	0.802	518	-0.539	0.644
			6. ay	1003			520		
	6	%8-10	7. gün	1281	-3.402	0.077	688	-0.724	0.544
			6. ay	1290			693		
		%13-15	7. gün	1312	-5.270	0.034	713	4.470	0.047
			6. ay	1319			701		
		%18-20	7. gün	1007	2.410	0.138	468	-0.794	0.511
			6. ay	995			470		
	8	%8-10	7. gün	1205	11.000	0.008	637	-0.495	0.670
			6. ay	1194			642		
		%13-15	7. gün	1331	-1.964	0.188	715	1.495	0.273
			6. ay	1334			706		
		%18-20	7. gün	1103	-0.436	0.705	497	-1.561	0.259
			6. ay	1105			503		
B50	4	%8-10	7. gün	1336	-0.180	0.874	735	-0.773	0.520
			6. ay	1336			740		
		%13-15	7. gün	1324	2.646	0.118	687	0.433	0.707
			6. ay	1319			687		
		%18-20	7. gün	1327	1.048	0.405	683	1.808	0.212
			6. ay	1323			677		
	6	%8-10	7. gün	1322	-5.547	0.031	730	0.052	0.963
			6. ay	1329			730		
		%13-15	7. gün	1345	-0.714	0.549	715	3.632	0.068
			6. ay	1347			703		
		%18-20	7. gün	916	4.727	0.042	461	-3.345	0.079
			6. ay	906			474		
	8	%8-10	7. gün	1215	1.109	0.383	659	0.706	0.553
			6. ay	1213			653		
		%13-15	7. gün	1288	-10.00	0.010	715	4.509	0.046
			6. ay	1292			705		
		%18-20	7. gün	1319	-6.928	0.020	718	4.216	0.052
			6. ay	1324			708		
P50	4	%8-10	7. gün	1347	-1.387	0.300	701	-4.509	0.046
			6. ay	1348			709		
		%13-15	7. gün	1364	-3.714	0.065	695	0.057	0.960
			6. ay	1373			695		
		%18-20	7. gün	1325	-1.732	0.225	723	-0.434	0.707
			6. ay	1326			728		
	6	%8-10	7. gün	1354	0.898	0.464	697	0.660	0.577
			6. ay	1353			695		
		%13-15	7. gün	1339	1.000	0.423	707	0.218	0.848
			6. ay	1337			707		
		%18-20	7. gün	1303	-1.109	0.383	722	1.277	0.330
			6. ay	1306			717		
	8	%8-10	7. gün	1260	-0.798	0.509	659	-0.034	0.976
			6. ay	1270			659		
		%13-15	7. gün	1389	0.250	0.826	698	0.539	0.644
			6. ay	1389			694		

		%18-20	7. gün	1330	-2.598	0.122	686	-0.891	0.467
			6. ay	1337			688		
D33	4	%8-10	7. gün	1314	-0.718	0.547	717	0.166	0.883
			6. ay	1315			716		
		%13-15	7. gün	1315	8.000	0.015	724	10.198	0.009
			6. ay	1312			707		
		%18-20	7. gün	1270	1.170	0.362	626	9.195	0.012
			6. ay	1267			609		
	6	%8-10	7. gün	1277	1.512	0.270	695	-1.291	0.326
			6. ay	1273			699		
		%13-15	7. gün	1304	4.737	0.042	718	1.658	0.239
			6. ay	1292			714		
		%18-20	7. gün	1270	1.127	0.377	650	-0.426	0.711
			6. ay	1265			653		
	8	%8-10	7. gün	1198	0.555	0.635	639	-1.322	0.317
			6. ay	1196			644		
		%13-15	7. gün	1260	1.441	0.286	711	1.261	0.334
			6. ay	1258			708		
		%18-20	7. gün	1303	5.000	0.038	686	-0.944	0.445
			6. ay	1298			691		
D80	4	%8-10	7. gün	1356	-0.667	0.574	754	-3.143	0.088
			6. ay	1358			757		
		%13-15	7. gün	1348	-0.756	0.529	739	-0.508	0.662
			6. ay	1350			740		
		%18-20	7. gün	1166	-0.716	0.521	582	0.329	0.774
			6. ay	1167			580		
	6	%8-10	7. gün	1267	0.756	0.529	694	0.760	0.526
			6. ay	1264			690		
		%13-15	7. gün	1301	0.378	0.742	735	0.907	0.460
			6. ay	1300			732		
		%18-20	7. gün	1319	-1.262	0.334	702	2.243	0.154
			6. ay	1323			696		
	8	%8-10	7. gün	1305	1.109	0.383	702	-0.011	0.992
			6. ay	1304			702		
		%13-15	7. gün	1352	1.982	0.186	732	-0.078	0.945
			6. ay	1348			733		
		%18-20	7. gün	1236	5.000	0.038	680	3.323	0.777
			6. ay	1234			678		

Ek-2 7. gün ve 6. ay sonucu dayanıklılık direnci ve kırılma direnci değerlerini karşılaştırmak için yapılan t-testi sonuçları

Materyal	Elek çapı	Nem		Dayanıklılık Direnci		
				Ort.	t	P
D100	4	%8-10	7. gün	86.8	-0.786	0.514
			6. ay	88.1		
		%13-15	7. gün	96.6	-10.750	0.009
			6. ay	97.1		
		%18-20	7. gün	96.5	-2.841	0.105
			6. ay	96.7		
	6	%8-10	7. gün	94.0	-4.260	0.051
			6. ay	94.9		
		%13-15	7. gün	95.9	-10.260	0.009
			6. ay	96.5		
		%18-20	7. gün	96.5	2.712	0.113
			6. ay	96.2		
	8	%8-10	7. gün	90.8	-6.356	0.024
			6. ay	93.3		
		%13-15	7. gün	98.5	-7.189	0.019
			6. ay	99.0		
		%18-20	7. gün	94.4	-0.894	0.466
			6. ay	94.7		
B100	4	%8-10	7. gün	92.9	-0.801	0.507
			6. ay	94.1		
		%13-15	7. gün	99.0	1.621	0.247
			6. ay	98.2		
		%18-20	7. gün	94.7	0.589	0.611
			6. ay	94.6		
	6	%8-10	7. gün	94.5	4.727	0.042
			6. ay	92.6		
		%13-15	7. gün	97.8	-0.299	0.793
			6. ay	97.8		
		%18-20	7. gün	92.1	1.337	0.313
			6. ay	91.0		
	8	%8-10	7. gün	93.5	0.244	0.830
			6. ay	93.3		
		%13-15	7. gün	97.3	-0.420	0.715
			6. ay	97.4		
		%18-20	7. gün	91.5	-0.776	0.519
			6. ay	91.5		
P100	4	%8-10	7. gün	93.3	0.854	0.483
			6. ay	91.2		
		%13-15	7. gün	98.9	-1.230	0.344
			6. ay	99.0		
		%18-20	7. gün	99.2	-6.425	0.023
			6. ay	99.3		
	6	%8-10	7. gün	82.2	-0.594	0.613
			6. ay	83.2		
		%13-15	7. gün	97.3	1.461	0.282
			6. ay	95.8		
		%18-20	7. gün	98.7	5.553	0.031
			6. ay	98.0		
	8	%8-10	7. gün	78.7	1.931	0.193
			6. ay	72.2		
		%13-15	7. gün	88.6	-1.005	0.421
			6. ay	90.7		

		%18-20	7. gün	95.0	6.313	0.024
			6. ay	89.7		
D50	4	%8-10	7. gün	88.1	0.526	0.652
			6. ay	86.9		
		%13-15	7. gün	96.9	3.463	0.074
			6. ay	92.2		
		%18-20	7. gün	94.8	1.600	0.251
			6. ay	94.3		
	6	%8-10	7. gün	89.8	-1.445	0.285
			6. ay	91.5		
		%13-15	7. gün	98.6	1.796	0.214
			6. ay	98.4		
		%18-20	7. gün	94.5	-16.466	0.004
			6. ay	95.4		
	8	%8-10	7. gün	78.4	-5.596	0.030
			6. ay	84.9		
		%13-15	7. gün	97.9	0.216	0.849
			6. ay	97.9		
		%18-20	7. gün	94.2	-0.613	0.602
			6. ay	94.4		
B50	4	%8-10	7. gün	90.6	-1.798	0.214
			6. ay	91.8		
		%13-15	7. gün	90.7	6.132	0.026
			6. ay	93.0		
		%18-20	7. gün	94.3	-5.851	0.028
			6. ay	95.7		
	6	%8-10	7. gün	85.3	-3.206	0.085
			6. ay	89.6		
		%13-15	7. gün	91.5	0.761	0.526
			6. ay	90.9		
		%18-20	7. gün	93.0	3.384	0.077
			6. ay	91.8		
	8	%8-10	7. gün	81.4	-0.446	0.697
			6. ay	82.1		
		%13-15	7. gün	97.8	2.219	0.157
			6. ay	97.3		
		%18-20	7. gün	97.6	-0.577	0.622
			6. ay	97.8		
P50	4	%8-10	7. gün	92.0	-0.089	0.937
			6. ay	92.2		
		%13-15	7. gün	98.1	2.784	0.108
			6. ay	93.1		
		%18-20	7. gün	91.6	-5.068	0.037
			6. ay	95.6		
	6	%8-10	7. gün	88.9	0.285	0.803
			6. ay	88.4		
		%13-15	7. gün	88.8	-0.923	0.453
			6. ay	90.8		
		%18-20	7. gün	96.6	-1.213	0.349
			6. ay	97.5		
	8	%8-10	7. gün	79.4	-2.181	0.161
			6. ay	82.9		
		%13-15	7. gün	81.1	-6.746	0.021
			6. ay	84.0		
		%18-20	7. gün	81.2	-5.315	0.034
			6. ay	89.5		
D33	4	%8-10	7. gün	87.0	-2.412	0.137

			6. ay	93.4		
		%13-15	7. gün	92.4	-0.696	0.558
			6. ay	92.9		
		%18-20	7. gün	95.7	3.124	0.089
			6. ay	94.4		
	6	%8-10	7. gün	88.9	-0.468	0.686
			6. ay	89.8		
		%13-15	7. gün	90.5	-4.283	0.050
			6. ay	92.6		
		%18-20	7. gün	97.4	1.634	0.244
			6. ay	96.9		
	8	%8-10	7. gün	83.8	-2.836	0.105
			6. ay	84.7		
		%13-15	7. gün	89.1	-1.665	0.238
			6. ay	90.7		
		%18-20	7. gün	96.1	2.755	0.110
			6. ay	94.3		
D80	4	%8-10	7. gün	91.3	0.036	0.975
			6. ay	91.2		
		%13-15	7. gün	96.5	-0.932	0.450
			6. ay	97.5		
		%18-20	7. gün	95.0	0.099	0.930
			6. ay	95.0		
	6	%8-10	7. gün	97.2	-0.666	0.574
			6. ay	97.5		
		%13-15	7. gün	96.1	0.437	0.705
			6. ay	95.8		
		%18-20	7. gün	97.0	-0.761	0.526
			6. ay	97.4		
	8	%8-10	7. gün	95.0	3.373	0.078
			6. ay	93.9		
		%13-15	7. gün	93.0	-0.898	0.464
			6. ay	94.4		
		%18-20	7. gün	97.1	0.215	0.850
			6. ay	96.9		

Ek-3. 7. gün ve 6. ay sonucu basınç direnci ve özgül basınç direnci değerlerini karşılaştırmak için yapılan t-testi sonuçları

Materyal	Elek çapı	Nem		Basınç Direnci			Özgül Basınç Direnci		
				Ort.	t	P	Ort.	t	P
D100	4	%8-10	7. gün	913	2.135	0.166	35.6	-0.641	0.587
			6. ay	863			35.8		
		%13-15	7. gün	1336	0.983	0.429	52.5	0.393	0.732
			6. ay	1296			52.5		
		%18-20	7. gün	1001	-0.202	0.859	45.2	2.711	0.113
			6. ay	1008			44.1		
	6	%8-10	7. gün	1037	30.853	0.001	41.8	1.275	0.330
			6. ay	880			41.4		
		%13-15	7. gün	1093	-0.992	0.426	49.7	1.235	0.342
			6. ay	1137			49.2		
		%18-20	7. gün	1092	-0.111	0.922	48.8	6.228	0.025
			6. ay	1094			47.2		
	8	%8-10	7. gün	948	1.822	0.210	41.4	1.687	0.234
			6. ay	887			40.7		
		%13-15	7. gün	1723	4.087	0.055	56.4	0.509	0.661
			6. ay	1617			56.2		
		%18-20	7. gün	687	1.137	0.373	39.8	1.980	0.186
			6. ay	675			38.7		
B100	4	%8-10	7. gün	1009	11.603	0.007	40.3	-0.137	0.903
			6. ay	951			40.3		
		%13-15	7. gün	1240	-0.216	0.849	52.2	0.229	0.840
			6. ay	1251			51.7		
		%18-20	7. gün	712	0.715	0.549	31.6	0.069	0.951
			6. ay	683			31.5		
	6	%8-10	7. gün	1088	2.230	0.155	45.1	0.505	0.664
			6. ay	1013			44.9		
		%13-15	7. gün	1116	4.813	0.041	51.9	2.102	0.170
			6. ay	1010			47.2		
		%18-20	7. gün	557	1.838	0.207	27.1	0.403	0.726
			6. ay	495			26.6		
	8	%8-10	7. gün	1104	4.159	0.053	44.7	0.121	0.915
			6. ay	1015			44.5		
		%13-15	7. gün	1118	0.326	0.775	53.1	1.542	0.263
			6. ay	1103			52.3		
		%18-20	7. gün	608	4.826	0.040	30.3	2.891	0.102
			6. ay	499			29.5		
P100	4	%8-10	7. gün	1091	3.636	0.068	40.0	13.914	0.050
			6. ay	1013			38.5		
		%13-15	7. gün	1542	2.525	0.128	64.8	12.116	0.007
			6. ay	1495			63.0		
		%18-20	7. gün	1633	-0.320	0.791	69.8	0.070	0.951
			6. ay	1644			69.8		
	6	%8-10	7. gün	984	2.463	0.133	36.9	0.559	0.632
			6. ay	923			36.8		
		%13-15	7. gün	1628	-0.520	0.655	63.4	10.077	0.010
			6. ay	1633			62.9		
		%18-20	7. gün	1652	-1.443	0.286	66.5	3.739	0.065
			6. ay	1706			66.0		
	8	%8-10	7. gün	939	-1.176	0.361	37.7	-0.554	0.635
			6. ay	981			37.9		
		%13-15	7. gün	1215	0.509	0.662	48.8	5.502	0.031
			6. ay	1186			48.6		

		%18-20	7. gün	1625	4.490	0.046	57.9	8.876	0.012
			6. ay	1449			56.3		
D50	4	%8-10	7. gün	808	4.180	0.053	31.7	8942	0.012
			6. ay	701			28.3		
		%13-15	7. gün	1026	7.383	0.018	50.0	7.230	0.019
			6. ay	985			47.8		
		%18-20	7. gün	940	3.682	0.066	47.1	3.317	0.080
			6. ay	908			46.5		
	6	%8-10	7. gün	789	34.750	0.001	31.9	7.036	0.020
			6. ay	688			27.8		
		%13-15	7. gün	1065	0.769	0.522	47.3	-1.774	0.218
			6. ay	1056			48.4		
		%18-20	7. gün	705	3.776	0.064	32.2	0.067	0.953
			6. ay	640			32.2		
	8	%8-10	7. gün	610	0.630	0.593	26.9	0.970	0.434
			6. ay	606			25.8		
		%13-15	7. gün	1074	-1.256	0.335	42.9	-4.325	0.050
			6. ay	1100			45.5		
		%18-20	7. gün	689	-0.338	0.768	32.1	-1.755	0.221
			6. ay	695			35.3		
B50	4	%8-10	7. gün	865	-0.608	0.605	36.8	14.172	0.005
			6. ay	869			35.6		
		%13-15	7. gün	959	4.619	0.044	42.5	25.858	0.001
			6. ay	686			33.1		
		%18-20	7. gün	1051	-4.468	0.047	50.5	5.310	0.034
			6. ay	1126			48.9		
	6	%8-10	7. gün	813	2.335	0.145	34.3	18.896	0.003
			6. ay	803			32.2		
		%13-15	7. gün	876	2.322	0.146	38.8	4.300	0.050
			6. ay	842			37.4		
		%18-20	7. gün	748	2.198	0.159	38.8	6.999	0.020
			6. ay	700			36.0		
	8	%8-10	7. gün	658	4.409	0.048	27.9	10.172	0.010
			6. ay	623			25.8		
		%13-15	7. gün	1090	2.737	0.112	45.3	1.968	0.188
			6. ay	1038			44.4		
		%18-20	7. gün	1188	-2.217	0.157	50.7	-0.977	0.432
			6. ay	1279			51.5		
P50	4	%8-10	7. gün	979	1.898	0.198	38.5	-0.578	0.009
			6. ay	939			36.8		
		%13-15	7. gün	1036	0.191	0.866	49.0	37.794	0.001
			6. ay	1030			43.4		
		%18-20	7. gün	924	0.802	0.506	43.1	-33.286	0.001
			6. ay	914			44.6		
	6	%8-10	7. gün	813	1.399	0.297	32.7	1.748	0.223
			6. ay	787			31.7		
		%13-15	7. gün	1013	-0.233	0.837	44.4	3.236	0.084
			6. ay	1017			44.3		
		%18-20	7. gün	916	0.321	0.778	39.9	2.435	0.135
			6. ay	911			39.4		
	8	%8-10	7. gün	712	2.339	0.144	27.6	1.490	0.275
			6. ay	685			27.2		
		%13-15	7. gün	804	-3.969	0.058	36.7	-0.169	0.881
			6. ay	845			36.8		
		%18-20	7. gün	1054	1.180	0.359	45.2	-0.925	0.453
			6. ay	1029			45.3		
D33	4	%8-10	7. gün	1150	0.373	0.745	46.2	-5.663	0.030

			6. ay	1145			46.8		
		%13-15	7. gün	766	0.938	0.447	38.1	0.920	0.455
			6. ay	749			37.5		
		%18-20	7. gün	804	2.361	0.142	39.9	-0.315	0.783
			6. ay	778			40.1		
	6	%8-10	7. gün	978	-2.117	0.168	41.2	2.987	0.096
			6. ay	1020			40.6		
		%13-15	7. gün	872	0.016	0.988	44.6	3.813	0.062
			6. ay	872			44.0		
		%18-20	7. gün	755	-2.040	0.178	39.1	1.150	0.369
			6. ay	792			38.9		
	8	%8-10	7. gün	824	-5.356	0.033	42.4	1.827	0.209
			6. ay	900			41.7		
		%13-15	7. gün	851	4.860	0.040	43.7	0.229	0.840
			6. ay	822			43.7		
		%18-20	7. gün	857	0.425	0.712	40.5	3.841	0.062
			6. ay	848			39.7		
D80	4	%8-10	7. gün	1066	2.450	0.134	44.6	2.231	0.155
			6. ay	1033			43.6		
		%13-15	7. gün	916	2.927	0.100	43.8	2.242	0.154
			6. ay	886			43.5		
		%18-20	7. gün	688	2.505	0.129	34.4	-0.898	0.464
			6. ay	677			34.7		
	6	%8-10	7. gün	1104	0.340	0.766	43.3	-0.189	0.867
			6. ay	1099			43.4		
		%13-15	7. gün	1094	2.827	0.106	49.9	-1.527	0.266
			6. ay	1055			50.4		
		%18-20	7. gün	1046	2.377	0.141	48.5	-7.018	0.020
			6. ay	1010			50.8		
	8	%8-10	7. gün	1115	3.976	0.058	44.4	0.125	0.912
			6. ay	1048			44.4		
		%13-15	7. gün	1053	3.623	0.068	45.8	2.401	0.138
			6. ay	994			44.9		
		%18-20	7. gün	981	0.316	0.601	45.9	-3.639	0.068
			6. ay	976			46.7		

Ek-4. 7. gün ve 6. ay sonucu gerilme direnci ve nem alma direnci değerlerini karşılaştırmak için yapılan t-testi sonuçları

Materyal	Elek çapı	Nem		Gerilme Direnci			Nem Alma Durumu		
				Ort.	t	P	Ort.	t	P
D100	4	%8-10	7. gün	3.72	0.001	0.999	22.0	16.912	0.003
			6. ay	3.72			18.3		
		%13-15	7. gün	5.55	0.378	0.742	25.7	6.590	0.022
			6. ay	5.55			22.0		
		%18-20	7. gün	4.60	3.974	0.058	25.3	3.720	0.065
			6. ay	4.50			21.6		
	6	%8-10	7. gün	4.33	2.302	0.148	24.7	4.452	0.047
			6. ay	4.29			21.7		
		%13-15	7. gün	4.99	2.619	0.120	23.9	15.895	0.004
			6. ay	4.95			20.2		
		%18-20	7. gün	4.80	6.047	0.026	25.6	4.595	0.044
			6. ay	4.74			21.9		
	8	%8-10	7. gün	4.29	1.224	0.346	22.0	3.561	0.071
			6. ay	4.23			17.6		
		%13-15	7. gün	5.91	2.137	0.166	15.4	0.795	0.510
			6. ay	5.87			15.3		
		%18-20	7. gün	3.82	3.592	0.070	22.5	7.515	0.017
			6. ay	3.69			18.8		
B100	4	%8-10	7. gün	4.20	2.619	0.120	18.7	3.802	0.063
			6. ay	4.16			15.9		
		%13-15	7. gün	5.35	0.095	0.933	22.1	2.368	0.141
			6. ay	5.33			19.1		
		%18-20	7. gün	3.08	-0.075	0.947	20.9	11.035	0.008
			6. ay	3.09			17.9		
	6	%8-10	7. gün	4.70	1.585	0.254	21.3	2.650	0.118
			6. ay	4.64			17.6		
		%13-15	7. gün	5.25	2.455	0.134	17.0	5.029	0.037
			6. ay	4.80			15.6		
		%18-20	7. gün	2.50	0.498	0.668	19.9	4.696	0.042
			6. ay	2.44			16.9		
	8	%8-10	7. gün	4.64	0.192	0.865	19.6	5.813	0.028
			6. ay	4.60			17.3		
		%13-15	7. gün	5.30	0.427	0.711	17.5	3.144	0.089
			6. ay	5.27			15.5		
		%18-20	7. gün	2.72	1.000	0.423	19.0	5.266	0.034
			6. ay	2.69			16.2		
P100	4	%8-10	7. gün	4.15	12.095	0.007	19.4	10.227	0.009
			6. ay	3.94			17.4		
		%13-15	7. gün	6.75	36.373	0.001	20.9	9.350	0.011
			6. ay	6.53			18.4		
		%18-20	7. gün	7.34	4.000	0.057	21.2	4.988	0.038
			6. ay	7.27			18.3		
	6	%8-10	7. gün	3.83	8.315	0.014	20.3	3.234	0.084
			6. ay	3.76			17.9		
		%13-15	7. gün	6.70	14.363	0.005	21.2	25.132	0.002
			6. ay	6.57			15.7		
		%18-20	7. gün	7.03	6.107	0.026	20.2	6.294	0.024
			6. ay	6.92			17.2		
	8	%8-10	7. gün	3.89	2.294	0.149	17.9	-0.118	0.917
			6. ay	3.86			18.0		
		%13-15	7. gün	5.10	23.000	0.002	19.5	2.040	0.178
			6. ay	5.03			17.9		

		%18-20	7. gün	6.07	35.500	0.010	19.1	3.206	0.085
			6. ay	5.84			17.2		
D50	4	%8-10	7. gün	3.33	9.972	0.024	19.9	16.811	0.004
			6. ay	2.94			16.6		
		%13-15	7. gün	5.13	6.402	0.214	20.4	14.532	0.005
			6. ay	4.96			17.7		
		%18-20	7. gün	4.73	1.800	0.022	22.7	21.320	0.002
			6. ay	4.61			19.9		
	6	%8-10	7. gün	3.30	6.628	0.399	21.2	3.722	0.065
			6. ay	2.87			18.0		
		%13-15	7. gün	4.96	-1.065	0.185	16.8	2.876	0.103
			6. ay	5.03			15.1		
		%18-20	7. gün	3.10	-1.990	0.579	24.1	18.849	0.005
			6. ay	3.21			19.5		
	8	%8-10	7. gün	2.73	0.657	0.057	21.7	1.562	0.259
			6. ay	2.65			20.0		
		%13-15	7. gün	4.51	-3.995	0.057	19.1	3.142	0.088
			6. ay	4.73			17.4		
		%18-20	7. gün	3.19	-1.604	0.250	23.5	4.249	0.051
			6. ay	3.48			18.7		
B50	4	%8-10	7. gün	3.85	12.990	0.006	17.7	1.821	0.210
			6. ay	3.70			16.5		
		%13-15	7. gün	4.39	26.071	0.001	21.2	3.235	0.084
			6. ay	3.44			18.2		
		%18-20	7. gün	5.24	13.856	0.005	22.3	6.984	0.020
			6. ay	5.16			19.0		
	6	%8-10	7. gün	3.58	17.021	0.003	17.5	-0.087	0.939
			6. ay	3.32			17.6		
		%13-15	7. gün	4.04	5.965	0.027	20.3	4.073	0.055
			6. ay	3.86			18.0		
		%18-20	7. gün	3.78	3.088	0.091	22.4	2.341	0.144
			6. ay	3.57			19.0		
	8	%8-10	7. gün	2.92	14.728	0.005	22.9	2.636	0.119
			6. ay	2.65			21.4		
		%13-15	7. gün	4.64	0.0001	0.999	20.3	2.405	0.138
			6. ay	4.64			18.5		
		%18-20	7. gün	5.27	-0.988	0.427	20.0	3.220	0.084
			6. ay	5.34			17.4		
P50	4	%8-10	7. gün	3.94	8.660	0.013	19.8	2.520	0.128
			6. ay	3.80			17.9		
		%13-15	7. gün	5.05	22.517	0.002	22.4	6.896	0.020
			6. ay	4.53			18.5		
		%18-20	7. gün	4.48	-9.827	0.010	16.4	8.523	0.013
			6. ay	4.65			14.0		
	6	%8-10	7. gün	3.39	1.913	0.196	23.4	12.362	0.006
			6. ay	3.27			18.2		
		%13-15	7. gün	4.61	2.000	0.184	23.2	8.194	0.015
			6. ay	4.60			16.3		
		%18-20	7. gün	4.17	2.795	0.108	21.4	16.927	0.003
			6. ay	4.11			17.3		
	8	%8-10	7. gün	2.86	1.323	0.317	24.0	11.446	0.008
			6. ay	2.81			18.6		
		%13-15	7. gün	3.76	-0.341	0.765	21.2	13.526	0.005
			6. ay	3.79			16.1		
		%18-20	7. gün	4.68	-0.866	0.478	19.2	27.378	0.001
			6. ay	4.69			14.6		
D33	4	%8-10	7. gün	4.78	-7.556	0.017	20.2	6.224	0.025

			6. ay	4.84			18.0		
		%13-15	7. gün	3.95	0.861	0.480	18.3	3.204	0.085
			6. ay	3.88			17.2		
		%18-20	7. gün	4.11	-0.461	0.690	20.3	20.776	0.002
			6. ay	4.14			17.9		
	6	%8-10	7. gün	4.26	2.874	0.103	20.6	9.066	0.012
			6. ay	4.21			18.1		
		%13-15	7. gün	4.61	4.583	0.044	20.7	10.635	0.009
			6. ay	4.54			17.5		
		%18-20	7. gün	4.09	1.309	0.321	20.1	4.466	0.047
			6. ay	4.08			17.3		
	8	%8-10	7. gün	4.37	2.411	0.137	23.9	14.107	0.005
			6. ay	4.30			18.7		
		%13-15	7. gün	4.51	0.001	0.999	21.4	9.279	0.011
			6. ay	4.51			16.9		
		%18-20	7. gün	4.24	3.051	0.093	19.9	6.914	0.020
			6. ay	4.16			15.9		
D80	4	%8-10	7. gün	4.63	2.271	0.151	23.5	6.597	0.022
			6. ay	4.53			17.2		
		%13-15	7. gün	4.56	0.378	0.742	24.7	11.818	0.007
			6. ay	4.55			17.9		
		%18-20	7. gün	3.59	3.273	0.082	27.3	66.371	0.001
			6. ay	3.55			19.5		
	6	%8-10	7. gün	4.47	-0.127	0.910	24.3	10.258	0.009
			6. ay	4.48			18.1		
		%13-15	7. gün	5.22	-1.400	0.296	21.3	11.000	0.008
			6. ay	5.27			15.1		
		%18-20	7. gün	5.06	-9.347	0.011	20.5	21.369	0.002
			6. ay	5.30			15.3		
	8	%8-10	7. gün	4.60	0.655	0.580	22.8	6.844	0.021
			6. ay	4.59			17.8		
		%13-15	7. gün	4.78	2.563	0.124	17.5	-0.047	0.967
			6. ay	4.69			17.5		
		%18-20	7. gün	4.83	-2.774	0.109	20.8	1.612	0.248
			6. ay	4.90			19.8		