

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



KARANFİL BİTKİSİ BİYOKÜTLE ARTIKLARININ PELETLENMESİ

Sevde ALPARSLAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

MAYIS 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



KARANFİL BİTKİSİ BİYOKÜTLE ARTIKLARININ PELETLENMESİ

Sevde ALPARSLAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

MAYIS 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KARANFİL BİTKİSİ BİYOKÜTLE ARTIKLARININ PELETLENMESİ

**Sevde ALPARSLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS**

MAYIS 2018

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARANFİL BİTKİSİ BİYOKÜTLE ARTIKLARININ PELETLENMESİ

Sevde ALPARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIM MAKİNALARI ve TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

Bu tez/...../201..... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Can ERTEKİN (Danışman)

[imza]

!!! Unvan İsim SOYİSİM!!!

[imza]

!!! Unvan İsim SOYİSİM!!!

[imza]

!!! Unvan İsim SOYİSİM!!!

[imza]

!!! Unvan İsim SOYİSİM!!!

[imza]

ÖZET

KARANFİL BİTKİSİ BİYOKÜTLE ARTIKLARININ PELETLENMESİ

Sevde ALPARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Can ERTEKİN

Mayıs 2018; 74 sayfa

Türkiye’de son yıllarda kesme çiçek yetiştiriciliğine yönelik talepte artış gözlenmektedir. Bu talep artışında şehirleşme, satın alma gücünün artması, kutlama ve dekorasyon gibi faaliyetlerin modern yaşamla birlikte daha da önem kazanması ve yaygınlaşması gibi nedenler etkili olmaktadır. Üretimi en çok yapılan kesme çiçek türü karanfildir. Ülkemizde karanfil üretiminde ilk sırada Antalya bölgesi gelmektedir. Bu durum Antalya bölgesindeki karanfil miktarının fazla olduğunun bir göstergesidir. Karanfil artıklarını kaynağa çevirmek bizlerin elindedir. Artık olarak düşünülen ve hasat sonrası seralarda kalan bu bitki artıkları birer biyokütle kaynağıdır ve belli işlemler sonucunda biyokütle enerjisi elde edilebilmektedir. Bu çalışmada örtü altı yetiştiriciliğinde ortaya çıkan karanfil sapı biyokütle artıklarının bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Seralardan elde edilen karanfil artıkları önce kurutulup, traktör kuyruk milinden hareketli çekiç değirmeninde öğütüldükten sonra 7.5 kW elektrik motor gücüne sahip, kapasitesi materyal çeşidine bağlı olarak 70-100 kg.h⁻¹, düz kalıp dairesel sıralı delikli, kalıp çıkış delik çapı 6 mm olan peletleme makinesinde peletlenmesi, peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Peletleme denemeleri %9-10, %12-13 ve %15-16 olmak üzere 3 farklı nem içeriğinde ve 3 farklı parçacık boyutlarında (2 mm, 4 mm ve 6 mm elek delik çaplı çekiçli değirmende öğütülen materyal) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak pelet parça ve hacim yoğunluğu, nem içeriği, nem alma durumu, dayanıklılık direnci ve basınç direnci belirlenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında peletleme makinesinin üretim kapasitesi ve enerji tüketim değerleri de ölçülmüştür.

Çalışma sonunda, materyal boyutuna ve nem içeriğine bağlı olarak ortalama 6.2-6.6 mm çap aralığında silindirik peletler elde edilmiştir. Peletlerin yığın ve parça yoğunlukları materyal boyutuna ve nem içeriğine bağlı olarak sırasıyla 530.5-690.5 kg.m⁻³ ve 1014.2-1236.5 kg.m⁻³ arasında değişmiş ve nem içeriği arttıkça yoğunluk değerleri azalmıştır. Dayanıklılık direnci değerleri %92.9-97.6 arasında değişmiş ve en dayanıklı pelet parça boyutu 4 mm, %9-10 nem içeriğine sahip denemeden elde edilmiştir. Pelet makinesinin üretim kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketim değerleri ise, materyal boyutuna ve nem içeriğine bağlı olarak, sırası ile 78.2-112.6 kg.h⁻¹ ve 6.6-7.6 kWh arasında değişmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Biyokütle, karanfil sapı, kesme iek, pelet, pelet fiziksel zellikleri

JRİ: Prof. Dr. Can ERTEKİN

Prof. Dr. Ahmet KRKL

Prof. Dr. Recep KLC

ABSTRACT

PELLETIZING THE BIOMASS WASTE OF CLOVE PLANT

Sevde ALPARSLAN

MASTER'S THESIS

AGRICULTURAL MACHINERY And TECHNOLOGY ENGINEERING

MASTER SIENCE

Supervisor: Prof. Dr. Can ERTEKİN

May 2018; 74 pages

The increase in the demand for cut flower production is observed in recent years in Turkey. In this demand increase the reasons such as urbanization, the increase in purchasing power, to gain more importance and widespread in celebration and decoration activities with modern life activities are being effective. The clove plant is type of cut flower which is the most producing. Antalya region is the first place in our country in the carnation production. This situation is an indicator that the amount of carnation residue is more in Antalya region. To convert clove waste to source is on our hand. This plant wastes which is thought that is a waste and staying in greenhouses after harvest are a biomass source and can be obtained biomass energy after as a result of certain operations. In this study, the evaluation as an energy sources of clove handle biomass wastes which occur in greenhouse cultivation is intended. The carnation wastes which are obtained from glasshouses are firstly dried, after grind in moving hammer mill from tractor tail shaft with 7.5 kW electric engine power, it's capacity 70-100 kg.h⁻¹ that depends on material type, flat mold circular perforated, the pelletizing in pelletizer machine which has 6 mm mold exit hole diameter, to determine physical properties related with the quality of pellets are intended. The pelleting tests are realized in 3 different moisture contents which are %9-10, %12-13, %15-16 and in 3 different particle sizes (the material which grind in hammer mill that sieve hole diameters are 2 mm, 4 mm and 6 mm. Related with physical properties of obtained pellets, pellet part and volume density, moisture content, dehumidification situation, endurance resistance and pressure resistance are determined. Furthermore, the production capacity of pelleting machine and energy consumption values as well are measured

End of study, circular pellets are achieved that diameters are average between 6.2 - 6.6 mm which depend on material size and moisture content. The bulk and part densities of pellets had changed depend on material size and moisture content respectively between 530.5-690.5 kg.m⁻³ and 1014.2-1236.5 kg.m⁻³ and when moisture content had increased, density value had decreased. The endurance resistance values had changed between %92.9-97.6 and the most endurance pellet part size 4mm, had obtained from trial which has %9-10 moisture content. The production capacity of pelleting machine and the electricity consumption value had changed depend on material size and moisture content respectively between 78.2-112.6 kg.h⁻¹ and 6.6-7.6 kWh.

KEYWORDS: Biomass, Carnation handle, cut flower, Pellet, Pellet physical properties

COMMITTEE: Prof. Dr. Can ERTEKİN

Prof. Dr. Ahmet KÜRKLÜ

Prof. Dr. Recep KÜLCÜ

ÖNSÖZ

Türkiye’de artan nüfusla beraber şehir yaşantısının getirdiği kutlamalar ve dekorasyonlar sonucu kesme çiçek tüketiminde artışlara neden olmuştur. Var olan gıda tüketiminin üzerine kesme çiçek tüketiminin de artması üretim sonrası kalan artık bitki kalıntılarının bertarafında ciddi sorunlar oluşturmuştur. Üretim sonrası seralardan çıkan bitki artıkları yol kenarlarına atılarak çevre kirliliğini oluşturmakta ve yaşam kalitesinin düşmesine neden olarak görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Kesme çiçek üretimi sonunda oluşan artıklar ise hayvan yemi olarak kullanılmak amacıyla çevredeki hayvan sahipleri tarafından toplandığını görmekteyiz. Yapmış olduğum bu çalışma için gittiğim serada karanfil artıklarını sera dışında biriktirdiğimiz sırada römorkla gelen bir çiftçi topladığımız artıkların atılacağını düşünerek toplamak istemişti. Karanfil üretimi yapan çiftçilerle yaptığımız muhabbetlerde kaliteli üretim yapabilmek için karanfil üretiminde ilaç kullanımının fazla olduğundan bahsetmişlerdi. Bu yüzden hayvan yemi olarak kullanılıyor dediklerinde inanmamıştım. Ama hayvansal üretim yapan çiftçilerimiz yem maliyetini düşürebilmek için karanfil artıklarını hayvanları için topladıklarına şahit oldum. Sera sahiplerininde iş gücünü azalttığı için gelen çiftçilerin artıklarını almalarına izin verdiklerinden bahsettiler. Bu sorunu engellemek için üretim sonrası oluşan artıkların çevreyi kirletmeden ve ülke ekonomisine katkı sağlayabilecek bir forma getirilmesi gerektiğini düşünerek bu çalışmayı yapmaya karar verdik. Yapmış olduğumuz araştırma sonucunda Türkiye’de ve Antalya’da kesme çiçek üretiminde, karanfil bitkisinin payı diğer bitkilere göre daha fazla olduğunu belirledik. Bu nedenden dolayı çalışmamızda karanfil bitkisi artıklarını değerlendirdik. Ama diğer kesme çiçekler de dikkate alınarak çalışmaların çoğaltılması gerektiğini düşünmekteyiz.

Tarımsal artıkların peletlenmesi, depolanarak kış sezonu üretiminde seraların ısıtılması amacıyla katı yakıt formuna getirilmesidir. Elde edilen peletlerin seralardaki kömür kullanımının azaltılmasını böylelikle çevreye salınan zararlı gazların önüne geçmesini hedeflemekteyiz. Peletleme işlemi ile görüntü kirliliğini de engellemeyi düşünmekteyiz.

Bu çalışmada bana yön vererek bu konunun seçilmesini sağlayan ve atölye çalışmalarındaki bilgilerimin öğretilmesini sağlayan ilk danışmanım Öğr.Gör.Dr. Sefai BİLGİN’e, tezin yazım aşamasında sabırla bana destek olan Öğr.Gör.Dr. Abdülkadir KOÇER’e ve Prof. Dr. Can ERTEKİN’e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca bana yardımcı olan ve atölye kullanımını bana sunan Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Öğretim Elemanlarına, çalışmanın her aşamasında yardımları olan bölüm öğrencilerine ve zor anımda benden yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma, her durumda beni destekleyerek yardımcı olmaya çalışan Alparslan ailesine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	ii
AKADEMİK BEYAN	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu ve Projeksiyonu	2
1.2. Çalışmanın Amacı	6
1.3. Pelet ve Peletleme Teknolojisi	7
2. KAYNAK TARAMASI.....	10
3. MATERYAL VE METOT	15
3.1. Materyal.....	15
3.2. Metot	21
3.2.1. Materyalin Hazırlanması ve Peletlenmesi	21
3.2.2. Materyal Parçacık Boyut Dağılımının Belirlenmesi.....	23
3.2.3. Üretim Kapasitesi ve Enerji Tüketim Değerlerinin Belirlenmesi.....	26
3.2.4. Pelet Fiziksel Özellikleri ve Uygulanan Testler	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Materyallerin Parçacık Boyutu Dağılımları	31
4.2. Materyallerin Peletlenmesi	32
4.3. Üretim Kapasitesi ve Enerji Tüketimi	33
4.4. Pelet Fiziksel Özellikleri	38
4.4.1. Pelet Nem İçeriği	38
4.4.2. Pelet Yığın ve Parça Yoğunluğu.....	40
4.4.3. Pelet Dayanıklılık Direnci	42
4.4.4. Peletlerin Basınç Direnci, Özgül Basınç Direnci ve Gerilme Direnci.....	46
4.4.5. Peletlerin Nem Alma Durumu	48
5. SONUÇLAR	50
7. KAYNAKLAR	52

ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**KARANFİL BİTKİSİ BİYOKÜTLE ARTIKLARININ PELETLENMESİ**” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

11/05/2018

Sevde ALPARSLAN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

da	: Dekar
D_d	: Dayanıklılık direnci (%)
h	: saat
t	: Ton
mm	: milimetre
Q	: Eklenecek su miktarı (g)
W_i	: Materyalin ilk ağırlığı (g)
M_i	: Materyalin ilk durumdaki nem içeriği (%)
M_f	: Materyalin son durumdaki nem içeriği (%)
P_{hy}	: Pelet hacim yoğunluğu ($kg.m^{-3}$)
m_2	: Pelet dolu kabın ağırlığı (kg)
m_1	: Boş kabın ağırlığı (kg)
V	: Kabın net hacmi (m^3)
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 ağırlığı (kg)
m_A	: Test sonrası elenmiş pelet ağırlığı (g)
m_E	: Test öncesi elenmiş pelet ağırlığı (g)
y.b.	: Yaş baz

Kısaltmalar

IEA	: International Energy Agency
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol

TEİAŞ : Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
EÜAŞ : Elektrik Üretim Anonim Şirketi
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
UEVEP : Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kişi başına düşen net elektrik tüketimi (2015).....	3
Şekil 1. 2. Düz kalıplı (a) ve çember kalıplı (b) peletleme teknolojisi	7
Şekil 3. 1. Karanfil bitkisi artıkları	15
Şekil 3. 2. Traktör kuyruk milinden hareketli dal parçalama makinesi	16
Şekil 3. 3. Çekiçli değirmen genel görünüşü	16
Şekil 3. 4. Peletleme makinası	17
Şekil 3. 5. Elek analiz seti.....	18
Şekil 3.6. Kurutma fırını (ETÜV).....	18
Şekil 3.7. Dayanım test cihazı.....	19
Şekil 3.8. Sıkıştırma test cihazı.....	19
Şekil 3.9. Enerji analizörü.....	20
Şekil 3.10. İklimlendirme test kabini	20
Şekil 3. 11. Karanfil artıkları parçalama öncesi ve parçalama sonrası	21
Şekil 3. 12. Elek sonrası öğütülmüş (2 mm) karanfil artıkları boyut dağılımı	24
Şekil 3.13. Elek sonrası öğütülmüş (4mm) karanfil artıkları boyut dağılımı	25
Şekil 3.14. Elek sonrası öğütülmüş (6mm) karanfil artıkları boyut dağılımı	25
Şekil 3. 15. Yığın yoğunluğu belirleme yolu aşamaları	27
Şekil 4. 1. Karanfil artıklarından elde edilen peletler	33
Şekil 4. 2. Dayanıklılık direnci denemelerinde kullanılan peletlerin öncesi ve sonrası görüntüleri.....	42
Şekil 4. 3. Basınç direnci testi öncesi ve sonrası görünüşleri.....	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Yakıtlara göre dünya birincil enerji arzı (IEA 2017).....	3
Çizelge 1.2. Türkiye ve Antalya' da Süs bitkisi yetiştiriciliği alanı ve artık miktarları (TÜİK 2015 ve Sönmez 2012).....	6
Çizelge 4. 1 Karanfil parçacık boyut dağılımı	31
Çizelge 4. 2. Peletlerin ortalama uzunluk, çap ve kütleleri	32
Çizelge 4. 3. Karanfil peleti üretim kapasiteleri ve kalıp sıcaklığı.....	34
Çizelge 4. 4. Enerji tüketim değerleri	35
Çizelge 4. 5. Özgül enerji tüketimi değerleri	36
Çizelge 4. 6. Parça boyutunun ve nem içeriğinin üretim kapasitesine ve enerji tüketimi üzerine etkisi	38
Çizelge 4. 7. Elde edilen peletlerin peletleme öncesi, sonrası ve 7. gün sonunda nem içerikleri	39
Çizelge 4. 8. Karanfil peletlerinin parça ve yığın yoğunlukları.....	40
Çizelge 4. 9. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin yığın ve parça yoğunluğuna etkisi	41
Çizelge 4. 10. Karanfil peletlerinin dayanıklılık dirençleri	45
Çizelge 4. 11. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin dayanıklılık direncine etkisi.....	46
Çizelge 4. 12. Parçacık boyutunun basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi	48
Çizelge 4. 13. Nem içeriğinin basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi	48
Çizelge 4. 14. Nem içeriğinin ve parçacık boyutunun nem alma durumu üzerine etkisi	49

1. GİRİŞ

Endüstri devrimi ile meydana gelen makineleşme, sanayi sektörünün hız kazanmasında ve enerji kullanımında önemli bir artış meydana getirmiştir. Bu gelişmeler enerjiye olan talebi ve bağımlılığı arttırmıştır. Bir ülkenin kalkınması için daha fazla üretim ve enerji kullanımı gerekmektedir (Yanar ve Kerimoğlu, 2011). Koç ve Şenel (2013) tarafından yapılan araştırmaya göre enerji tüketimiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir (Koç ve Kaplan, 2008a,b). Bunun nedeni ise; enerji kullanımı aydınlatma, ulaşım, ısınma, soğutma, pişirme, üretim, tüketim, iletişim, bilişim, vb. sayısız kullanım genişliği ve her geçen gün bu kullanımlar ihtiyaçtan ziyade birer zorunluluk haline gelmesidir. Teknolojinin olduğu her yerde enerji bağımlılığı da söz konusudur. Enerjiye olan bağımlılık yeni enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacı gün yüzüne çıkarmaktadır.

İş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerjinin; elektrik enerjisi, kimyasal enerji, mekanik enerji ve nükleer enerji gibi birçok değişik türü bulunmakta ve bir türden başka bir türe dönüşümü yapılabilmektedir. Enerji kaynakları genelde dönüştürülebilirliklerine ya da kullanımına göre sınıflandırılmaktadır. Enerjiyi kullanımlarına göre sınıflandırmada enerji kaynakları yenilenebilen ve yenilenemeyen, dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılabilir. Enerji kaynaklarında birincil enerji kaynağı olarak nitelendirilen enerji; aslında enerjinin bir dönüşüme ya da değişime uğramamış halidir. Örnek olarak; petrol, doğal gaz, hidrolik, nükleer, güneş, rüzgâr ve biyokütle verilebilmektedir. Birincil enerjinin dönüştürülmesiyle oluşan enerjiye de ikincil enerji ya da sekonder enerji denilmektedir. İkincil enerjiye örnek olarak verilebilecek en bilindik enerji elektrik daha sonra benzin, kok kömürü, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve motorin gibi örnekleri vardır.

Enerji kaynaklarında birincil enerji kaynağı olarak nitelendirilen enerji; aslında enerjinin bir dönüşüme ya da değişime uğramamış halidir. Örnek olarak; petrol, doğal gaz, hidrolik, nükleer, güneş, rüzgâr ve biyokütle verilebilmektedir. Birincil enerjinin dönüştürülmesiyle oluşan enerjiye de ikincil enerji ya da sekonder enerji denilmektedir. İkincil enerjiye örnek olarak verilebilecek en bilindik enerji elektrik daha sonra benzin, kok kömürü, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve motorin gibi örnekleri vardır.

Enerjiyi kullanımlarına göre ayırdığımızda yenilenebilen (tükenmez) enerji kaynakları olarak; doğada serbest halde bulunan havadan elde edilen rüzgâr enerjisi, nehirlerde akan veya barajlarda depolanan suyun potansiyel enerjisi ve yerkürenin derinliklerinde bulunan sıcak sular birer yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bunların dışında dünyamızı ısıtan ve aynı zamanda aydınlatan güneşten elde edilen enerji, bitkisel, endüstriyel ve evsel kökenli atıklardan üretilebilen biyokütle enerjisi ve yeryüzünde en çok bulunan element olan hidrojenin elde edilen enerjilerin hepsi yenilenebilir kaynaklardır (Yakıncı ve Kök 2017). Yenilenemeyen (tükenir) kaynaklar ikiye ayrılır. Bunlar fosil kaynaklılar (kömür, petrol, doğal gaz) ve çekirdek (uranyum ve toryum) kaynaklardır.

Biyokütle yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan organik madde kaynaklarıdır. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere vermektedir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu CO₂ üretimi söz konusu olmasına rağmen, bitkilerin yetiştirilmesi sırasında yaklaşık aynı miktarda CO₂ atmosferden fotosentez işlemiyle alındığından biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre CO₂ salınımı açısından korunmuş olmaktadır (Bilgin 2008). Bu durum

bitkisel kökenli biyokütle enerjisi kullanımında atmosfere zararlı olan CO₂ üretiminin önüne geçmiş olacaktır. Biyokütle, biyolojik kökenli fosil olmayan organik madde kitlesidir. Ana bileşenleri karbo-hidrat birleşikleri olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Biyokütle, 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitki ve hayvan artıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak tanımlanmaktadır (Acaroğlu, 2008). Biyokütle doğrudan ısınma ve elektrik üretimi amacıyla kullanılabilen, katı, gaz ve sıvı yakıtta çevrilebilmektedir. Endüstri, tarım ve orman artıkları biyokütle olarak kullanılabilen, buna ek olarak ağaç, şeker kamışı gibi enerji üreten bitkiler yalnızca enerjiye dönüştürülerek kullanılmak amacıyla üretilmektedir (Perlack vd. 1995; Hall 1997).

Fosil kaynaklar yeryüzünde katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilmekte ve çeşitli reaksiyonlar sonucunda bünyelerinde bulundurdukları enerjiyi dışarı verebilmektedirler. Bu tür enerjiler, hayvansal ve bitkisel kökenli kalıntıların milyonlarca yıl boyunca toprak altındaki basınç ve yer kürenin içinden gelen yüksek sıcaklıklara maruz kalarak fosilleşmesinden oluşmaktadır (Yakıncı ve Kök 2017). Fosil yakıtların kökeni biyokütledir. Fakat fosil kaynaklı yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan çevre tahribatı; Hidrokarbon içeren yakıtların yanması (oksijenle tepkimesi) sonucu canlılar için zararlı olan CO_x ve NO_x gibi gazları atmosfere bırakmaktadır. Zararlı olan bu gazlar sera etkisine sebep olurlar ve atmosferin etrafını kaplayarak, dünyaya gelen güneş ışınlarının yansımaları ve tekrar uzay boşluğuna dönmesine engel olmaktadır. Bu engel küresel ısınma dediğimiz çevre felaketini meydana getirir (Akın 2006; Yakıncı ve Kök 2017). Sera etkisi ve asit yağmurları, karbon emisyonlarının en yıkıcı etkileridir. Yanıcı özelliği bulunan hidrojen ve karbon elementlerinin oksijenle tepkimesi sonucu bağları arasındaki enerji açığa çıkar. Bu gibi olumsuz nedenlerden dolayı fosil yakıtlara alternatif, doğa dostu enerji kaynakları aranmalıdır. Dünyada son zamanlarda artan enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacı sınırlı olan fosil kaynaklar dışındaki alternatif kaynaklarla karşılayabilmek için ilgili çalışmalar sürdürülmektedirler.

1.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu ve Projeksiyonu

Enerji, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan, hayat kalitesini iyileştiren en önemli faktördür. Dünyada nüfus ve demografik değişiklikler enerji talebinin miktarını ve kompozisyonunu etkileyen önemli parametrelerdir.

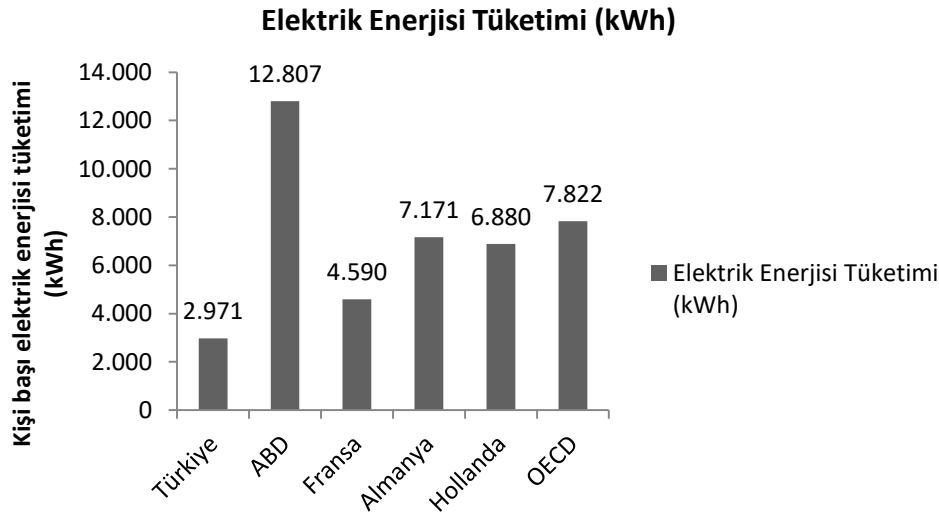
Dünya nüfusu sürekli artmakta ve 2015’te 7,3 milyar olan nüfusun 2040’da 9,2 milyara yükselmesi beklenmektedir (EÜAŞ 2016). Artan nüfusla beraber enerjiye olan talep de artmaktadır. 1973 yılında enerji tüketim değeri 6101 MTEP iken, 2015 yılında 13647 MTEP olarak bulunmuştur (IEA 2017). 2015 yılında dünya birincil enerji arzının %81’i fosil yakıtlardan karşılanırken, yaklaşık %10’u biyokütle enerjisinden karşılanmıştır (IEA 2017).

Çizelge 1.1. Yakıtlara göre dünya birincil enerji arzı (IEA 2017)

Yıl	Toplam birincil enerji arzı (MTEP)	Kömür (%)	Petrol (%)	Doğal gaz (%)	Nükleer (%)	Hidrolik (%)	Biyoyakıt ve atıklar (%)	Diğerleri*
1973	6101	24.5	46.2	16.0	0.9	1.8	10.5	0.1
2015	13647	28.1	31.7	21.6	4.9	2.5	9.7	1.5

(*Jeotermal, güneş, rüzgâr, gelgit / dalga / okyanus, ısı ve diğerleri içerir)

Önemli enerji göstergelerinden biri sayılan kişi başına elektrik enerjisi tüketimi değerleri Çizelge 1.2’de gösterilmiştir (TEİAŞ 2017). Bu veriler, kişi başına elektrik enerjisi tüketiminde Türkiye’nin gelişmiş ülkelere ve ekonomilere kıyasla daha düşük değerde olduğu görülmekte fakat artan refah düzeyi ile birlikte ülkemizin kişi başına elektrik enerjisi tüketiminin yükseleceğine işaret etmektedir.

**Şekil 1.1.** Kişi başına düşen net elektrik tüketimi (2015)

Artan dünya nüfusu, gelişen teknoloji ve insanların refah seviyeleri gibi nedenlerden dolayı dünyadaki enerji gereksinimi gün geçtikçe artmaktadır. Enerjiye olan talebin artması, çevreye olan zararın artmasına neden olmaktadır. Enerji kullanımını karşılayabilmek için fosil kökenli yakıtların, yani kömür ve petrolün kullanımı artmakta bu da çevre kirliliğine neden olmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı, 2015’te dünya elektrik üretiminde kullanılan yakıt cinsinde %39.3 ile kömür birinci sırada, doğal gaz %22.9, yenilenebilir %22.8 ve nükleer enerji %10.6 ile yer almaktadır (IEA 2015).

Kurt ve Koçer (2010)'e göre XXI. yüzyılda dünyanın temel enerji sorunları, sanayileşmiş ülkelere karşı gelişmekte olan ülkelere doğru kaymaktadır. 1990 yılında dünya nüfusunun %75'ini oluşturan ve dünya enerji tüketiminin %33'ünü kullanan gelişmekte olan ülkeler, 2020 yılında dünya nüfusunun yaklaşık %90'ını oluşturacak ve dünya enerjisinin yaklaşık %55'ini tüketeceğini belirtmiştir (Acaroğlu 2003). Bir başka senaryoya göre; Dünyada uzun dönemde (2013-2040 arası) ortalama %3.4 büyümesi beklenen dünya ekonomisi, dünyadaki nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi önemli ölçüde arttırmaktadır. Yapılan projeksiyon çalışmaları, mevcut enerji politikalarının devamı halinde, 2040 yılında dünya enerji talebinin ortalama yıllık %1.4'lük artışlarla, 2014 yılına göre %43.5 (13.684 milyon ton eşdeğeri petrolden (Mtoe) 19.636 Mtoe'ye) daha fazla olacağına işaret etmektedir. Talep artış miktarının %89.8'inin, 2014-2040 döneminde ekonomik büyüme oranları yüksek (yıllık ortalama %4.4) öngörülen ve hızlı nüfus artış oranına (yıllık ortalama %1) sahip OECD-dışı ülkelerde (özellikle Çin ve Hindistan'da), yıllık ortalama %2,0'lik bir değerle oluşacağı hesaplanmaktadır (IEA 2016). Karayılmazlar vd. (2011) tarafından bildirildiğine göre dünyada enerji tüketim miktarı son 100 yılda yaklaşık 17 kat artmıştır. 2016 yılı dünya petrol rezervi 1.645,9 milyar varil, doğalgaz rezervi 195.266 milyar m³, kömür rezervi ise 892 milyar ton olarak tespit edilmiştir ve yapılan projeksiyon çalışmalarına göre petrol 54 yıl, doğal gaz 64 yıl ve kömür 112 yıllık kullanım sürelerinin kaldığı öngörülmektedir. Yapılan senaryolara göre, 2040 yılında yenilenebilir enerji kaynakları payının %16.1 olacağı beklenmekte, mevcut politikalar senaryosuna göre küresel elektrik talebinin 2040 yılına kadar yıllık ortalama %2.3 olmak üzere %80 oranında artacağı beklenmektedir (Koç ve Şenel 2013).

Atmosfere karbondioksit (CO₂) salınımı 1973 yılında 15624 Mt, 2015 yılında bu değer yaklaşık %100 artarak 32294 Mt CO₂'ye çıkmıştır. Dünyada her geçen gün enerji kaynaklarına olan talep artmaktadır ve bu talebin 2030 yılına kadar %50'nin üzerine çıkacağı düşünülmektedir (IEA 2012). Bu durumda bir başka senaryoya göre de 2009-2035 yılı projeksiyonunda sera gazı emisyonlarının artmaya devam edeceği ve 2009 yılında 29 Gt seviyesinden 2035 yılında %21 artışla 35 Gt seviyesine çıkacağı belirtilmiştir (IEA 2010). Fosil yakıtların fazla tüketilmesi, tükenme tehlikesi ve atmosfere zararlı gazlar bırakmasından dolayı çevre dostu ve tükenmeyecek alternatif yakıt arayışına neden olmuştur.

Koç ve Şenel (2013) tarafından yapılan bir çalışmadaki senaryolara göre, 2040 yılına kadar olan dönemde fosil yakıtların paylarının nispeten azalmasına rağmen bu yakıtların hakim kaynaklar olmaya devam edeceği ve nükleer enerjinin birincil enerji kaynakları içindeki payının artacağı öngörülmekte, yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040 yılındaki payının %16.1 olacağı beklenmektedir.

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak dünya enerji gereksinimi çok hızlı bir şekilde artmış, gelecek yıllarda da özellikle teknolojik ve sosyo-ekonomik gelişmelere bağlı olarak artacağı belirtilmiştir (Goswami ve Kreith 2007). Enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmı fosil enerji kaynaklarından karşılandığından yıldan yıla fosil enerji kaynak rezervleri azalmış ve fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanımı sera etkisine neden olan CO₂ emisyonlarının da hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Bu nedenlerden dolayı fosil yakıtlara alternatif arayışlar yıllardır devam etmekte olup, üzerinde durulan önemli kaynaklardan birisi de biyokütle enerjisidir.

Ülkemizde birincil enerji tüketimi 2015 yılında 129,7 MTEP olarak gerçekleşerek 2005 yılından 2015 yılına kadar %46 oranında artış göstermiştir. Birincil enerji arzında ithal enerji kaynaklarının oranı 2015 yılında %75.9 olarak gerçekleşen ülkemiz, enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan ülkeler arasında yer almaktadır. 2015 yılı nihai enerji tüketiminin %32.4'ü ve net elektrik tüketiminin ise %47.6'sı sanayi sektöründe gerçekleşmiştir. Türkiye ekonomisi, gelişmiş ülkelere kıyasla “enerji yoğun” ekonomilerden biridir (UEVEP 2017). 2016 yılında bir önceki yıla göre %3.3 artarak 278,3 milyar kWh'e yükselen brüt elektrik enerjisi tüketiminin, 2023 yılı için düşük talep senaryosuna göre 367,9 milyar kWh'e veya yüksek talep senaryosuna göre 407,9 milyar kWh'e ulaşması beklenmektedir (ETKB, 2016).

Artan enerji tüketimi ile dışa bağımlılığımız artacak ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklı ortama salınan zararlı gaz miktarındaki artış daha da yükselerek yaşam kalitemizin düşmesine neden olacaktır. Bu ve benzeri olumsuzlukların önüne geçebilmek için ülkemizde mevcut olan alternatif enerji kaynaklarımızı verimli bir şekilde kullanarak ülkemizdeki yaşam standardını yükseltirken, yaşam kalitesinin düşmesini de engellemiş olacağız. Alternatif enerji kaynakları arasında yer alan, çevreyi koruyan, kirliletmeyen ve tüm dünyada oldukça güncel olan, giderek artan enerji gereksinimini sürdürülebilir bir şekilde sağlayabilecek 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 (Yılmaz 2014).

Yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjide güvenlik, çevre ve ekonomiye olan yararları, dünyada bol ve yaygın olması, diğer üretim teknolojileriyle rekabet etmesi konusunda sağlanan hızlı gelişmeler, gelişen teknolojiler ve buna bağlı olarak düşen maliyetler, fosil yakıtların çevresel etkilerine duyulan endişeler, karbon fiyatlandırma mekanizması, dünyanın pek çok ülkesinde verilen büyük ve önemli orandaki teşvikler (2015'de 120 milyar dolara ulaştı), yenilenebilir enerji kaynaklarının daha hızlı oranda kullanımının yolunu açmaya devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanım payının %22.6 (2014) seviyesinden 2020 yılında %26.0 ve 2040 yılında da %29.0'a ulaşılacağı düşünülmektedir (IEA 2016).

Türkiye, 2014 yılı geçici verilerine göre 19.90 milyon ha işlenen tarım alanı ile tarımsal potansiyeli zengin olan bir ülkedir. Bunun 15.79 milyon ha'lık bölümü ekilirken, geri kalan 4.11 milyon ha nadasa bırakılmıştır (TUİK, 2015). Biyokütle kaynakları içerisinde tarımsal artıklar önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye'de yıllık tarımsal artıkların enerji eşdeğeri yaklaşık 50-65 MTEP'dir (Başçetinçelik vd., 2005). Tarımsal artıklar içerisinde seralardan çıkan bitkisel biyokütle artıkları önemli bir yer tutmaktadır. Bu tür artıkların bir kısmı herhangi bir şekilde değerlendirilmemekte, bir kısmı yakılarak bertaraf edilmekte, bir kısmı da hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Özellikle biyokütle artıklarının yakılarak yok edilmesi, enerji kaybı yanında büyük çevresel kirlilik de oluşturmaktadır. Bu bilgiler ışığında tarımsal artıkların hem dünyada hem de ülkemizde enerji kaynağı olarak katı yakıt formunda değerlendirilmesi büyük önem kazanmaktadır. Fournel vd. (2015) tarımsal üretimle uğraşan çiftçilerin, işletmeleri için gerekli ısı ihtiyaçlarını fosil yakıt yerine biyokütle kaynaklı yakıtları kullanarak karşılayabileceklerini belirtmişlerdir. Tarımsal artıkların, özellikleri iyileştirilmiş katı enerji kaynağı olarak kullanılmasında en etkin yollardan birisi de pelet

haline getirilmesi işlemidir. Son yıllarda peletlemenin önemi gittikçe artmış ve pelet kullanımını yaygınlaştırmıştır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Türkiye’de ve özellikle Antalya’da üretimi yapılan örtü altı kesme çiçek yetiştiriciliğinde en çok üretimi yapılan karanfilden her sene yüksek miktarlarda tarımsal artık çıkmaktadır.

Çizelge 1.2. Türkiye ve Antalya' da Süs bitkisi yetiştiriciliği alanı ve artık miktarları (TÜİK 2015 ve Sönmez 2012)

Örtü Altı Yetiştiriciliği	Süs bitkisi (ha)	Karanfil (ha)	Karanfil Artığı	
			yaş baz (t/yıl)	kuru baz (t/yıl)
Türkiye	1335	493	56633	11327
Antalya	466	280	32158	6431
%	35	57	57	57

Türkiye’de örtü altı süs bitkisi yetiştiriciliğinde 1335 ha alanın 493 ha alanda karanfil üretimi yapılmaktadır. Antalya ilinde bulunan seralarda kesme çiçek üretiminin (466 ha) yarısından fazlasını (%57) karanfil (280 ha) bitkisi oluşturmaktadır. İthalat ve ihracat yoluyla önemli bir pazar sahası oluşturan karanfil üretiminde, çiçek üretim miktarı kadar artıklar da oluşmaktadır. Çizelge 1.4’de görüldüğü gibi ciddi miktarlarda karanfil artığı çıkmaktadır. Bu artıkların bertarafı için kullanılan yöntemler yarardan çok zarara neden olmaktadır. En ilkel yöntemlerden biri boş arazilere bırakılması ya da yakılması yoludur ve bu yöntem hem çevre kirliliğine hem de görüntü kirliliğinin yanısıra enerji olarak kullanılabilen malzemenin israfına da neden olmaktadır. Diğer bir yöntem ise hayvansal üretim yapan işletmelerce hayvan yemi olarak kullanılmasıdır. Bu doğrudan hayvan sağlığına, dolaylı olarak da insan sağlığına zarar vermektedir. Kesme çiçekler bir gıda maddesi değildir ve hayvanlara yedirilmemesi gerekmektedir. Çünkü kesme çiçek üretiminde zararlılardan, hastalıklardan ve birçok olumsuz nedenlerden korunabilmek için bitkilere yoğun ilaç takviyesi yapılmaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı oldukça fazla çıkan bu artıkları en etkili biçimde ülkemizin faydalanabileceği bir yöntemle verimli hale getirmeliyiz. Bu yöntemlerden biri de artıkların biyokütle enerjisi olarak kullanılmasıdır. Karanfil üretiminin yapıldığı alanlardan ortalama yaş bazda 11485 kg.da⁻¹, toplamda ise 56633 t.yıl⁻¹ artık materyal çıkmaktadır (Sönmez 2012). Hafife alınmaması gereken bu miktarların değerlendirilerek ülke ekonomisine ve gelişimine katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

1.2.Pelet ve Peletleme Teknolojisi

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

Günümüzde peletleme işlemi düz ve çember kalıplı presler kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 1.1) . Düz kalıp preste, sıralı delikli disk üzerinde bir, iki veya daha fazla sıkıştırma silindiri (genelde 2 silindir), yaklaşık olarak 2-3 m.s⁻¹ hızla dönmektedir. Diskler vasıtasıyla materyal kalıp deliklerinde sıkıştırılmakta ve kalıbın şeklini alarak pelet olarak çıkmaktadır. Çember kalıplı preslerde ise, dönen delikli çemberin iç çevresine bastırma sıkıştırma silindirleri (2 veya 3 adet) sürekli olarak dönmektedir. Materyal kalıp deliklerinde sürekli olarak sıkışmasıyla peletmiş ürün kalıptan çıkmaktadır (Küsek vd., 2015).



Şekil 1. 2. Düz kalıplı (a) ve çember kalıplı (b) peletleme teknolojisi

Peletleme yapılmış biyokütlelerin fiziksel özelliklerinin bilinmesi özellikle taşıma, depolama, nakliye ve yakma sistemleri açısından önemlidir. Peletlerin biçim, çap ve uzunluk olarak boyutları, yoğunluğu, porozitesi, sertliği ve dayanıklılığı fiziksel özelliklerini belirtmektedir (Balasubramanian 2000). Yakma sistemlerinin tasarımı için peletlerin uzunluk ve çap gibi boyutları 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, Tumuluru vd 2011). Peletlerin son kullanıcıya gelinceye kadar dayanıklı kalması oldukça önemlidir. Yüksek dayanıklılığa sahip peletler özellikle nakliyede, taşımada ve depolamada avantajlar

sağlamaktadır (Lehtikangas 2001). Pelet dayanıklılık değerlerinin %80 ve yukarı olması yüksek kaliteli, %70-80 arasında olması orta kaliteli ve %70'in altında olması düşük kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Tabil ve Sokhansaj 1996; Tabil ve Sokhansaj 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 optimum değerinde olması gerekmekte, fakat optimum nem içeriği materyal çeşidine bağlı olarak değişmektedir. 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 düşük basınçlarda materyalin kalıp deliklerinde sıkışıp kalmasına neden olmaktadır. Böyle bir durumun meydana gelmesi peletleme işlemi durdurmakta ve önemli zaman kayıplarına neden olmaktadır (Lehtikangas 2001).

Materyal parçacık boyutu (ortalama ve dağılım) sıkıştırma süresince elde edilen peletlerin kalitesini son derece önemli derecede etkilemektedir (Lehtikangas, 2001; Mani vd., 2003). Parçacık boyutunun azalması materyalin toplam yüzey alanını, gözeneklik boyutunu ve sıkıştırma işleminde parçacıkların yapışması için temas eden nokta sayısını artırmaktadır. 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 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 eleklerle sahip olması gerekmektedir. Daha yüksek elek delik çapına sahip çekiçli değirmenlerle öğütülen materyallerden elde edilen peletlerin ise daha düşük kaliteli oldukları belirtilmiştir (Mani vd. 2004).

Peletleme işleminde sıcaklık, ürünlerin stabilitesinde, 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 Sokhansaj (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, böylece makinenin peletleme kapasitesi artmaktadır (Colley, 2006). Ayrıca, sıcaklık artışı ve düşük materyal nem içeriği pelet yoğunluğunu ve dayanıklılığını artırmaktadır (Biswas vd. 2014).

Tarımsal artıkların yüksek nem içerikleri depolamayı engellemekte, düşük yoğunluğu ise taşıma masraflarının artmasına neden olmaktadır. Tarımsal üretim sonucunda çıkan artıkların doğrudan yakılması düzensiz yanmasına ve kullanım kalitesinin azalmasına, ayrıca durumun dışında çevre kirliliğine de neden olmaktadır.

Antalya’da örtü altı kesme çiçek üretiminin %50’den fazlasını oluşturan karanfil artıklarının bertarafı için kullanılan yöntem; sera dışında herhangi bir yere atmak, yakmak ya da hayvan yemi olarak çevredeki hayvansal üretim yapılan çiftliklere verilmesidir. Gıda amaçlı üretilmeyen bu bitkiler zararlılardan ve hastalıklardan koruma amaçlı, çiçek kalitesi ve raf ömrü gibi nedenlerden dolayı üretim esnasında kimyasallardan yardım alınarak üretilmektedir. Bu kimyasallardan dolayı bu tarz bitkiler gıda amaçlı kullanılmamalıdır. Hayvan yemi olarak kullanıldığı takdirde bir süre sonra dolaylı yollarla insan sağlığını tehlikeye atacaktır. Bu nedenden dolayı bu bitkilerin artıklarının bertarafı için farklı çözümler üretilmelidir. Bu çözümlerden biri de artıkların biyokütle enerjisi olarak kullanılmasıdır.

2. KAYNAK TARAMASI

Yapılan bilimsel çalışmalarda farklı biyokütle materyalleri peletlenmiş ve bunlarla ilgili sonuçlar ortaya konulmuştur.

Mani vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada buğday samanı, arpa samanı, mısır koçanı ve darı bitkisi materyalleri peletlenmiş ve peletlerin mekanik özellikleri üzerine farklı sıkıştırma kuvveti, parçacık boyutu ve nem içeriğinin etkileri araştırılmıştır. Öğütülmüş biyokütle örnekleri 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 yaş bazda) peletlenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek pelet yoğunluğu (1136 kg.m^{-3}) mısır koçanı örneklerinin %12 (y.b.) 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 eriyerek 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, buğday samanından üretilen peletlerde farklı parçacık boyutları pelet yoğunluğu üzerine önemli bir etki göstermemiştir. Sıkıştırma kuvvetinin artması, pelet yoğunluğunu artırmıştır.

Colley (2006) tarafından yapılan çalışmada enerji bitkisi olan darı bitkisi (Switchgrass) peletlenmiş ve peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada, pelet yoğunluğu ve makinenin özgül enerji tüketimleri üzerine hammadde nem içeriği, sıcaklık ve kalıp boyutlarının etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda pelet yoğunluğunun, hammadde parçacık boyutunun azalması (7.9 mm'den 4.8 mm'ye) ile arttığını göstermiştir. Aynı zamanda, sıcaklığın artması (60-90 °C), pelet yoğunluğunu artırmıştır. Nem içeriği; peletlerin sertliğini, dayanıklılığını, pelet yığın yoğunluğunu ve parçacık yoğunluğunu önemli derecede etkilemiştir. En yüksek pelet dayanıklılığı %8.62 (y.b.) nem içeriğinde elde edilmiştir.

Bergström vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada sarıçam talaşı peletlenmiş ve peletleme işlemi ile peletlerin fiziksel ve termokimyasal karakteristikleri üzerine parçacık boyut dağılımının etkileri araştırılmıştır. Çalışmada 300 kg.h^{-1} kapasiteli yarı endüstriyel ölçekli peletleme makinesi kullanılmış ve 8 mm çapında peletler elde edilmiştir. Peletlerin fiziksel karakteristikleri ile ilgili olarak basınç dayanımı, aşınma direnci, yoğunluk, nem içeriği ve nem alma özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda parçacık boyut dağılımının güç tüketimi ve basınç dayanımı üzerine etkisinin az olduğu, pelet yoğunluğu, nem içeriği, nem alma ve aşınma direncine belirli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen peletlerin yoğunluğu yaklaşık olarak 1270 kg.m^{-3} ve aşınma direnci %99 olarak bulunmuştur.

Garsia-Maraver vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada zeytin ağacı dalları ve yaprakları ayrı ayrı ticari ölçekli pelet makinesi kullanılarak peletlenmiş ve peletlerin 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. Dallardan elde edilen peletlerin hacim yoğunluğu 582 kg.m^{-3} , parça yoğunluğu 1259 kg.m^{-3} , kırılma direnci 22.50 kg ve basınç dayanımı 21.33 kg elde edilirken, yapraklardan elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri ise aynı sıra ile 481

kg.m⁻³, 1083 kg.m⁻³, 4 kg ve 8.33 kg olarak elde edilmiştir. Ayrıca peletlerin kül içerikleri dal peleti için %4.79, yaprak peleti için ise %12.34 olarak belirlenmiştir.

Theerarattananoon vd. (2011) çalışmalarında mısır koçanı, buğday samanı, sorgum sapı ve çim bitkisinden elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Materyaller 22 kW gücünde 1.5 t kapasiteli peletleme makinesinde peletlenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek pelet hacim yoğunluğu (495.8 kg.m⁻³) buğday samanı, en düşük (265.2 kg.m⁻³) ise sorgum sapı peletinden elde edilmiştir. Materyal nem içeriğindeki artışın peletlerin hem yığın hem de parça yoğunluğunu azalttığı belirlenmiştir. Peletlerin dayanıklılığı üzerine nem içeriğinin etkisi mısır koçanı, buğday samanı ve çim bitkisi için benzer bulunmuş, en yüksek pelet dayanıklılığı %96.8 olmuştur. Eşdeğer nem içeriğindeki bir miktar daha artışın, pelet dayanıklılığını azalttığı belirlenmiştir. Sorgum sapı için ise pelet dayanıklılığı, eşdeğer nem içeriğindeki artış ile başlangıçta artmış ve %14-16 (y.b.) eşdeğer nem içeriği aralığında maksimum %89.5 olmuştur. Daha büyük elek çapına sahip çekiçli değirmen kullanımı (3.2 mm'den 6,5 mm elek çapı), peletlerin hacim, parça yoğunluğunu ve dayanıklılığını artırdığı fakat bunun önemli düzeyde olmadığı belirtilmiştir. Daha büyük kalıp delik uzunluğu (31.8 mm'den 44.5 mm), peletlerin hacim ve parça yoğunluğunu ile dayanıklılığını önemli derecede artırmıştır.

Santamarta vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada kanola bitkisi peletlenmiş ve peletlerin depolama süresince kalite özelliklerindeki (pelet dayanıklılık direnci, basınç dayanımı, pelet parça yoğunluğu ve pelet boyutları) değişimler incelenmiştir. Çalışma sonunda pelet dayanıklılık direncinin depolama süresince değişmediği, pelet parça yoğunluğu ve basınç dayanımının depolama süresinin uzunluğu ile değiştiği ve 48 haftalık depolama süreci boyunca pelet yoğunluğunun önemli derecede azaldığı belirlenmiştir.

Carroll ve Finnan (2012) tarafından yapılan çalışmada öğütülmüş ahşap, söğüt, miscanthus, buğday, arpa ve kolza materyalleri peletlenmiş, peletlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Avrupa Birliği standartlarına (CEN) göre test edilmiştir. Üretilen peletlerin ısı değerleri benzer çıkmıştır. En yüksek hacim yoğunluğu (684,6 kg.m⁻³) kolza samanında elde edilmiştir.

Biswas vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; laboratuvar ölçekli bir peletleme makinasında iki farklı nem içeriğinde (%10 ve %12) ve dört farklı kalıp sıcaklığında (20, 100, 150 ve 200 °C) çam talaşı peletlenmiştir. Üretilen peletler laboratuvar ölçekli fırında 800°C'de yakılmıştır. Peletlerin yanması için gerekli sürenin, genellikle kalıp sıcaklığının ve biyokütle nem içeriğinin artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Pelet yoğunlukları yaklaşık 1200 kg.m⁻³ olarak elde edilmiştir.

Ahn vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada; karaçam ve lale ağacı talaşından çeşitli yapıştırıcılar kullanarak pelet üretmişlerdir. Bu yapıştırıcıların (kolza tohumu, kahve tozu, ağaç kabuğu tozu, kozalak ve lignin tozu) pelet dayanımına etkisi incelenmiştir. Kolza ve kahve tozu eklenen peletlerde, eklenen miktarın artmasıyla pelet dayanıklılığı artmıştır.

Niedziolka vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada saman, kolza ve mısır sapsarı ile bunların karışımları peletlenmiş ve peletlerin hacim yoğunluğu ile mekanik

dayanımları belirlenmiştir. Kullanılan materyallerin nem içerikleri %16,5-18,5 (y.b.) aralığında değişmiştir. Çalışma sonunda pelet hacim yoğunluğunun ve mekanik dayanımının kullanılan materyale bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. En düşük pelet hacim yoğunluğu saman peletinde, en yüksek yoğunluk ise mısır sapı peletlerinde elde edilmiştir. En düşük pelet mekanik dayanımını kolza sapı, en yüksek dayanımı ise saman+mısır sapı karışımlarından elde edilen peletlerde bulunmuştur.

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

Al-Shemmeri vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada farklı biyokütle materyalleri küçük ölçekli bir yakma sisteminde yakılmış, biyokütle örneklerinin yanma performansı ve yanma sonu ortaya çıkan yararlı enerji etkileri araştırılmıştır. Yüksek ısı değere ve düşük nem içeriğine sahip materyallerin daha istikrarlı yandığı ve daha yüksek ısı çıkışlı yanma performansı gösterdiği belirtilmiştir. Yanma hızının küçük boyutlu materyaller için daha yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek lignin içeriği, düşük nem içeriği ve orta boyutlu materyallerin sistemde daha stabil bir şekilde yandığı ve sürekli bir ısı çıkışının olduğu gözlemlenmiştir.

Fournel vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada farklı mevsimlerde (güz ve bahar) hasat edilen odun ve dört farklı enerji bitkisinin (söğüt, fil otu, çim ve kamış) farklı şekillerde (pelet, yonga ve parçalanmış ot) yakılması sonucu atmosfere salınan emisyonlar incelenmiştir. Materyalleri yakmak için 29 kW kapasiteye sahip bir yakıcı kullanılmıştır. Odunun diğer materyallere göre daha az emisyon ve partikül madde yaydığı belirlenmiştir. Diğer materyallerde daha yüksek emisyonların çıkması, içeriklerindeki yüksek besin maddesi miktarı ile açıklanmıştır.

Aragon-Garita vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada 5 farklı enerji bitkisi (kamış, bataklık sazı, fil otu, bambu ve sorgum) peletlenmiş ve peletlerin kalite özellikleri ile ilgili olarak ısı değeri, nem içeriğindeki azalma, kül içeriği ve pelet parça yoğunlukları ölçülmüştür. Materyallerin ısı değerleri 17.1-20.3 MJ.kg⁻¹ arasında değişmiş ve en yüksek değer kamış bitkisinde olmuştur. Peletlerin parça yoğunlukları 1129-1294 kg.m⁻³ arasında değişmiş ve en yüksek değer fil otu peletinde elde edilmiştir. Materyal nem içerikleri %7.6-15 (y.b) arasında değişirken, peletleme işlemi sonunda %6.7-12.6 (y.b.) aralığında değişmiştir.

Jackson vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada pilot ölçekli düz kalıp teknolojisine sahip peletleme makinesinde miscanthus, mısır koçanı, darı bitkisi ve buğday samanı peletlenmiş ve peletleme işlemine nem içeriğinin etkileri araştırılmıştır. Materyallerin nem içerikleri (y.b.) 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 nem içeriğine bağlı olarak peletleme makinesinin özgül enerji tüketimi 101-324 kWh.t⁻¹ aralığında değişmiştir. Materyal nem içeriği arttıkça, mısır koçanı peletinde makine özgül enerji tüketimi artarken, diğer materyallerde azalmıştır. Miscanthus, darı bitkisi ve buğday samanı için nem içeriğindeki artış peletlerin mekanik dayanıklılığını

arttırmıştır. Mısır koçanında ise yine en yüksek pelet mekanik dayanıklılığı %20 (y.b.) 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 (y.b.) nem içeriğinde 918 kg.m⁻³ olarak ölçülmüştür.

Puig-Arnabat 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 pres makinesinde peletlenmiştir. Tek pelet presi, daha büyük kapasiteli peletleme makinelerinde optimum çalışma koşullarının (nem içeriği ve kalıp sıcaklığı) belirlenmesi için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sıra delikli pelet makinesinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Tüm biyokütle materyalleri için optimum nem içeriği yaklaşık olarak %10 (y.b.) civarında elde edilmiştir. Sürtünmelerin kalıp sıcaklığının 60-90 °C sıcaklık aralığına çıkıncaya kadar arttığı, ancak daha yüksek kalıp sıcaklıklarında ise sürtünmelerin azaldığı belirlenmiştir.

Koçer (2018) tarafından yapılan çalışmada, zeytin, nar ve bağ budama artıklarını 2 farklı nem (%10-12 ve %14-16) ve üç farklı parçacık boyutunda (2, 4 ve 6 mm) peletlenmiş ve pelet kalitesi ile ilgili fiziksel özellikler belirlenmiştir. Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak pelet yığın yoğunluğu, pelet parça yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci, basınç direnci, gerilme direnci ve nem alma direnci ölçülmüştür. Ayrıca peletleme makinesi üretim kapasitesi ve enerji değerleri de saptanmıştır. Çalışma sonunda, materyal çeşidine ve nem içeriğine bağlı olarak ortalama 6 mm çapında silindirik peletler üretilmiştir. Peletleme makinesinin üretim kapasitesi 23 ile 83 kg.h⁻¹ arasında değişmektedir. Peletlerin yığın ve parça yoğunluğu ise sırası ile 521-793 kg.m⁻³ ve 981-1338 kg.m⁻³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Nem içeriği arttıkça, yoğunluk değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Ayrıca peletlenmiş materyallerin diğer materyallere göre daha az emisyon ve partikül madde yaydıkları saptanmıştır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, pelet üretiminde farklı biyokütle materyalleri kullanılmış ve bunlarla ilgili sonuçlar ortaya konulmuştur. Ancak, süs bitkisi yetiştiriciliği sonucu ortaya çıkan karanfil saplarının değerlendirilmesine yönelik bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Yapılacak çalışmanın literatürdeki eksikliklerin giderilmesine ve bu tür materyallerden elde edilen peletler için standartlarının oluşturulmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada örtü altı yetiştiriciliğinde ortaya çıkan karanfil sapı biyokütle artıklarının kurutulup, traktör kuyruk milinden hareketli çekiçli değirmende öğütüldükten sonra 7.5 kW elektrik motor gücüne sahip, kapasitesi materyal çeşidine bağlı olarak 70-100 kg.h⁻¹, düz kalıp dairesel sıralı delikli, kalıp çıkış delik çapı 6 mm olan peletleme makinasında peletlenmesi, peletlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Peletleme denemeleri yaş bazda; %9-10, %12-13 ve %15-16 olmak üzere 3 farklı nem içeriğinde ve 3 farklı parçacık boyutlarında (2, 4 ve 6 mm elek delik çaplı çekiçli değirmende öğütülen materyal) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak pelet parça ve hacim yoğunluğu, nem içeriği, nem alma durumu, dayanıklılık direnci ve basınç

direnci belirlenmiş, ayrıca çalışma kapsamında peletleme makinasının kapasitesi ve enerji tüketim değerleri de ölçülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Denemeler, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü 30° 50' doğu boylamı 36° 52' kuzey enleminde yer alan ve deniz seviyesinden 15 metre yükseklikte olan Atölyesinde yürütülmüştür. Çalışmada, peletlenecek materyal olarak seralarda üretim sezonu sonunda ortaya çıkan karanfil sapları biyokütle artıkları olarak kullanılmıştır. Hasat sonrası karanfil artıklarının nem içeriği yaklaşık olarak %75 (y.b.) civarlarındadır. Karanfil artıklarının kuruma süresini kısaltmak ve yapılacak olan öğütme işlemini kolaylaştırmak için artıklar dal parçalama makinesi ile ön parçalama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 1. Karanfil bitkisi artıkları

Dal parçalama makinesi; hareket iletim sistemi, besleme düzeni, parçalama düzeni, materyal sevk borusu ve emniyet mekanizmalarından oluşmaktadır (Şekil 3.2). Traktör kuyruk milinden alınan hareket kayış kasnak sistemi ile parçalama ünitesi üzerinde bıçaklar bulunan diske iletilmektedir. Besleme tamburu hareketini traktörün hidrolik prizinden almaktadır. Besleme düzeni makinenin arka tarafında yer almakta ve üzerinde tırnaklar bulunan bir döner tamburdan oluşmaktadır. Parçalama ünitesi dönen bir disk, disk üzerine yerleştirilmiş üç adet bıçak ve bir adet karşıt bıçaktan oluşmaktadır. Ayrıca parçalanan materyalin sevk borusuna iletilmesi için disk üzerinde bıçakların ters yönüne yerleştirilmiş kanatlar bulunmaktadır.



Şekil 3. 2. Traktör kuyruk milinden hareketli dal parçalama makinesi

Parçalanmış ve %9-10 (y.b.) nem içeriğine kadar kurutulmuş karanfil saplarının peletleme işlemi için uygun boyutlara getirilmesinde traktör kuyruk milinden hareket alan çekiçli değirmen kullanılmıştır. Farklı parçacık boyutu elde etmek için çekiçli değirmende 2, 4 ve 6 mm açıklığa sahip elekler kullanılmıştır. Çekiçli değirmen; hareket iletim sistemi, materyal besleme ünitesi, elekler, öğütme düzeni, öğütülmüş materyal sevk borusu ve çuvallama ünitelerinden oluşmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3. Çekiçli değirmen genel görünüşü

Materyallerin peletlenmesinde; elektrik enerjisi ile çalışan, üç fazlı, peletleme ünitesi motor gücü 7.5 kW, kapasitesi materyal çeşidine bağlı olarak 70-100 kg.h⁻¹, düz kalıp dairesel sıralı delikli, kalıp delik çapı 6 mm, pelet boyu 10-40 mm arasında ayarlanabilen peletleme makinası kullanılmıştır. Peletleme makinası materyal deposu ve mekanik karıştırma ünitesi, materyal besleme ünitesi, pelet soğutma ünitesi, makine gres yağlama ünitesi ve boruları, toz ve nemi çekme aspiratörü ve kontrol panelinden oluşmaktadır (Şekil 3. 4).



Şekil 3. 4. Peletleme makinası

Materyallerin parçacık boyut dağılımlarının belirlenmesinde 200 mm çapında, 50 mm derinliğinde, 0.125mm, 0.25mm, 0.5mm, 1mm, 1.7mm, 2.36mm ve 3 mm elek açıklığına sahip 7 elek ve elek sarsma cihazından oluşan elek analiz seti kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3. 5. Elek analiz seti

Kullanılan materyallerin ve elde edilen peletlerin nem içeriklerinin belirlenmesi için Kurutma Fırını (ETÜV) kullanılmıştır (Şekil 3.6).



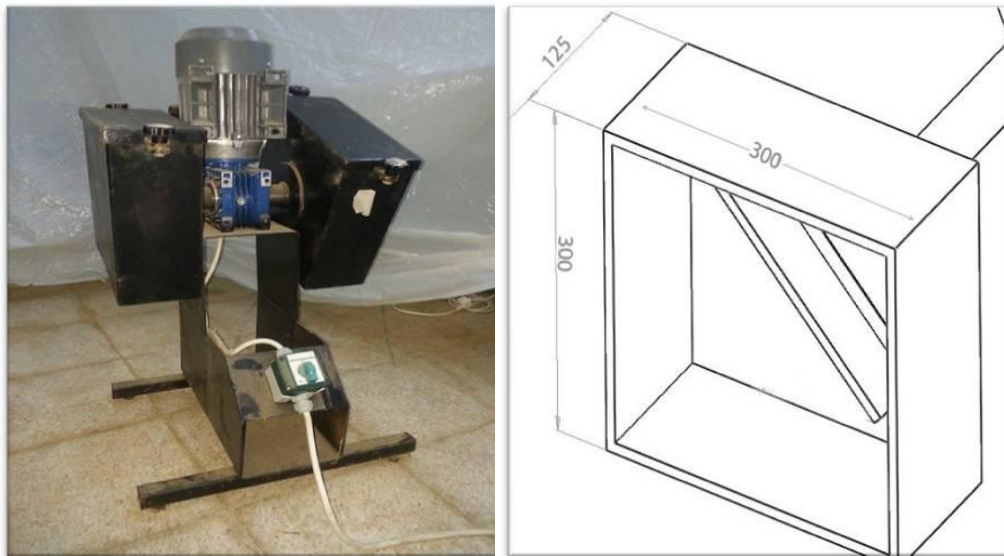
Şekil 3.6. Kurutma fırını (ETÜV)

Peletlerin dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesinde; EN 15210-1 (2009) standardına göre yapılmış, motor gücü 0.5 HP, motor redüktör devri 50 min^{-1} , peletlerin yerleştirileceği kafes ölçüleri $300 \times 300 \times 125 \text{ mm}$ ve kafes iç merkezine çapraz olarak yerleştirilen 50 mm eninde, 230 mm uzunluğunda bir levhaya (baffle) sahip dayanıklılık test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Dayanım test cihazı

Peletlerin sıkıştırma direncinin (basınç direnci) belirlenmesinde 7500 N kapasiteli, hassasiyeti 0.1 g, 750 kg'a kadar yük hücrelerine sahip, hız aralığı $0.01-20 \text{ mm.s}^{-1}$ arasında değişen ve uygulanan yüklerin anında bilgisayara aktarılıp izlenebildiği hidrolik tip test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Sıkıştırma test cihazı

Peletlerin nem alma dirençlerinin (nem emilimi-adsorpsiyon) belirlenmesinde sıcaklık çalışma sınırları $+10 - +60 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$), bağıl nem çalışma sınırları %20-%95

(± 5), zaman ayarlı, maksimum güç değeri 2.0 kW ve kullanılabilir hacmi 252 litre olan iklimlendirme test kabini kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Enerji analizörü

Peletleme makinesinin enerji tüketim değerlerinin ölçülmesinde Chauvin Arnoux CA 8332B 3 fazlı portatif enerji analizörü [3×Amplfex 45 Akım Klambı (10-6500A) +3×MN93(0-200A) ile] kullanılmıştır.



Şekil 3.10. İklimlendirme test kabini

3.2. Metot

3.2.1. Materyalin Hazırlanması ve Peletlenmesi

Hasat sonrası atılmak için toplanan karanfil sapları artıkları üretim yapılan tesislerden toplanarak deneme alanına getirilmiş ve kuruma süresini kısaltmak için traktör kuyruk milinden hareket alan dal parçalama makinası kullanılarak 1-5 cm aralığında parça boyutları elde edilmiştir.



Şekil 3. 11. Karanfil artıkları parçalama öncesi ve parçalama sonrası

Ön parçalama işlemi uygulandıktan sonra materyaller dış ortamda sert bir zemin üzerinde kurutulmaya bırakılmıştır. Yaklaşık 8-10 gün içerisinde nem içeriği yaklaşık %10 (y.b.) olduğu zaman materyaller toplanılmıştır ve çekiçli değirmende öğütülerek 2, 4 ve 6 mm boyutlarına getirildikten sonra hava almayacak şekilde muhafaza edilmiştir.

Denemeye başlamadan önce gerekli koşullar (2, 4 ve 6 mm parça boyutu ile %9-10, %12-13 ve %15-16 (y.b.) nem içeriği) sağlanarak ön deneme işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu ön deneme işleminde belirlediğimiz aralıklarda peletleme gözlemlendiği için değişiklik yapılmadan denemeye başlanılmıştır. Deneme deseni Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 1. Parçacık boyutu ve nem içeriğine bağlı deneme deseni

Materyal	Elek Delik Çapı (mm)	Nem Aralığı (%)	Materyal kodu
		9-10	K2-9
	2	12-13	K2-13
		15-16	K2-15
		9-10	K4-9
Karanfil	4	12-13	K4-13
		15-16	K4-15
		9-10	K6-9
	6	12-13	K6-13
		15-16	K6-15

Peletleme işlemi yapılmadan önce materyalleri deneme koşullarına uygun nem içeriğine getirmek için nemlendirme işlemi uygulanmıştır. Bu uygulamada her bir parça boyutunun mevcut nem içeriği her materyalden 3'er tekrür olmak koşuluyla yaklaşık 100 g malzeme kurutma fırınına konularak bulunmuştur. Materyalleri istenilen nem içeriğine getirebilmek için nemlendirme ya da kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi için sert ve temiz bir yüzeye öğütülmüş malzemeler serilerek güneşte kurutma gerçekleştirilmiştir. Hava durumuna ve malzemenin nem içeriğine göre güneşlenme süresi değişiklik göstermiştir. Nemlendirme işlemi için aşağıdaki bağlantı kullanılarak eklenecek su miktarı hesaplanmıştır (Coşkun vd. 2005);

$$Q = W_i(M_f - M_i)/(100 - M_f) \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

Q: Eklenecek su miktarı (g)

W_i : Materyalin ilk ağırlığı (g)

M_i : Materyalin ilk durumdaki nem içeriği (% , y.b.)

M_f : Materyalin son durumdaki nem içeriği (% , y.b.)

Nemlendirme işlemi yapıldıktan sonra malzemeler hava almayacak şekilde paketlenerek kaldırılmış ve 7 gün beklemeye alınmıştır. 7. günün sonunda etüv

kullanılarak malzemelerin nem içeriği ölçülmüştür. Uygun konuma gelen ürünler için denemeye başlanılmıştır. İstenilen nem düzeyine gelmeyen ürünler için nemlendirme ya da kurutma işlemleri tekrarlanmıştır.

Çizelge 3.2. Demelerde kullanılan materyallerin fiziksel özellikleri

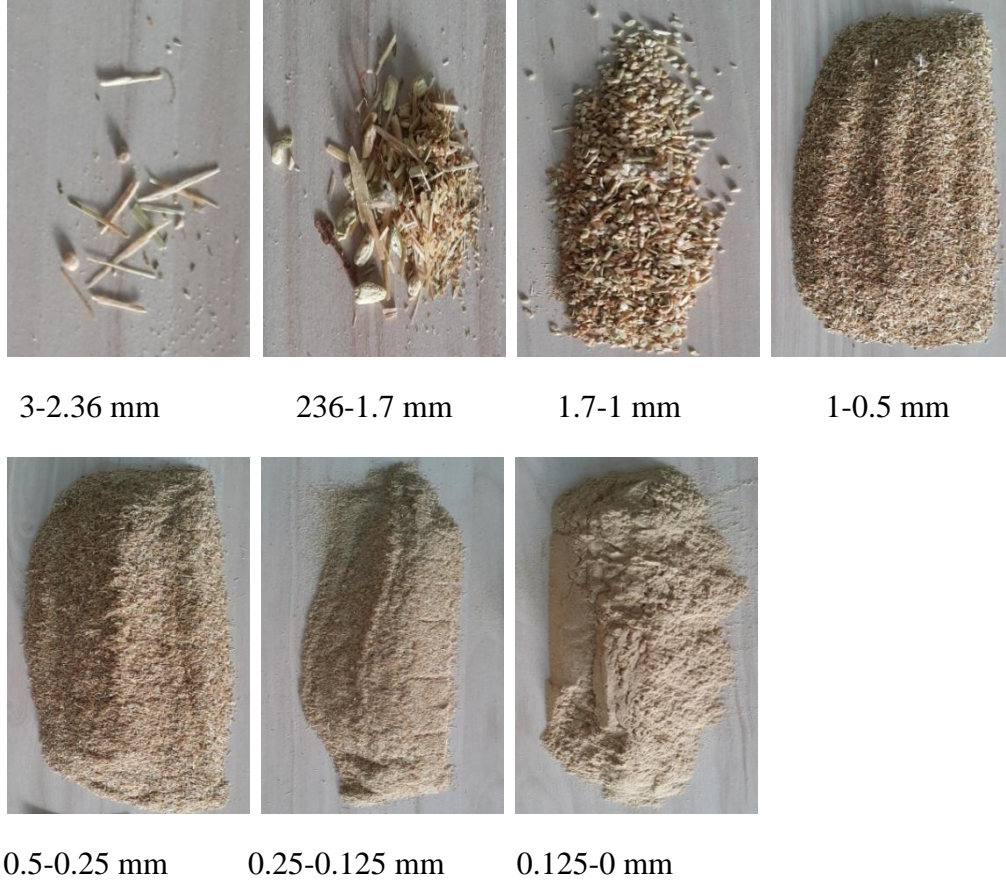
Materyal	Nem içeriği (%)	Yoğunluk (kg.m ⁻³)	Geometrik ortalama çap (mm)
K2-9	9.75	363.96	1.001
K2-13	12.29	342.98	1.001
K2-15	15.41	361.42	0.992
K4-9	9.6	304.82	1.028
K4-13	12.1	284.14	1.055
K4-15	14.64	305.00	1.054
K6-9	9.58	266.50	0.950
K6-13	12.59	288.14	1.006
K6-15	14.78	285.30	1.061

Deneme materyalleri ile peletleme işlemine geçmeden önce, 5 kg materyal + 0.5 kg motor yağı karışımı kullanılarak kalıp sıcaklığı yükseltilmiştir. Bu işlem yaklaşık 15 dakika elle besleme ile çalışılarak kalıp yaklaşık 70-80°C sıcaklığa yükseltilmiştir. Kısa bir süre içerisinde kalıp deliklerindeki kesit daralmasına bağlı olarak materyal sıkışmaya başlamış ve silindirik peletler sürekli olarak çıkmaya başlamıştır. Bu işlemden sonra pelet makinası materyal besleme ünitesi çalıştırılarak homojen bir besleme sağlanarak pelet üretimine başlanılmıştır. Üretilen peletlerin boyutu, silindir altında bulunan ve silindir ile birlikte dönen bıçak yardımı ile elde edilmiştir. Deneme materyali ile peletleme işlemi bittikten hemen sonra kalıp sıcaklığı ölçülmüş, materyal çeşidine ve materyal nem içeriğine bağlı olarak kalıp sıcaklığının yaklaşık 90-110°C değerlerine çıktığı görülmüştür. Ayrıca peletleme işlemi sonrası hazırlanan yağlı materyal yardımı ile kalıp delikleri tamamen açılmıştır. Kalıp delikleri temizlendikten sonra sıcak olan kalıpla denemeye devam edilmiştir.

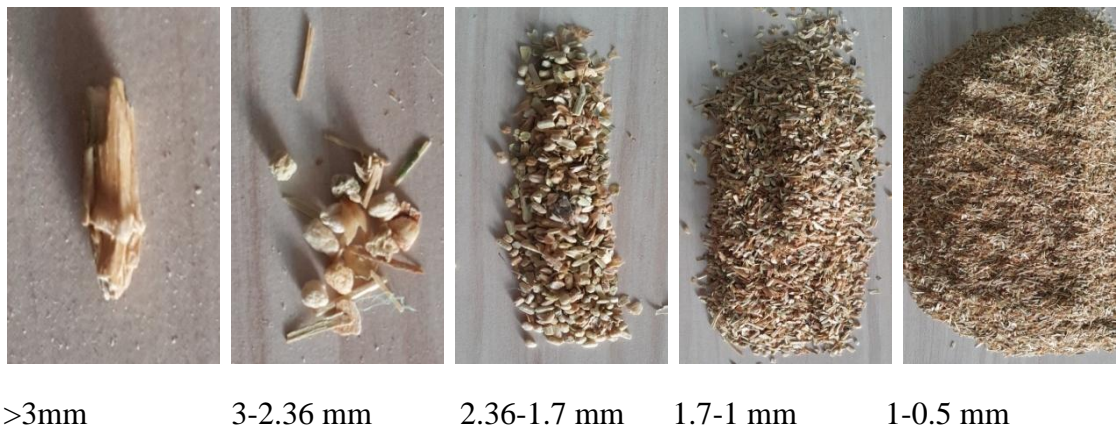
3.2.2. Materyal Parçacık Boyut Dağılımının Belirlenmesi

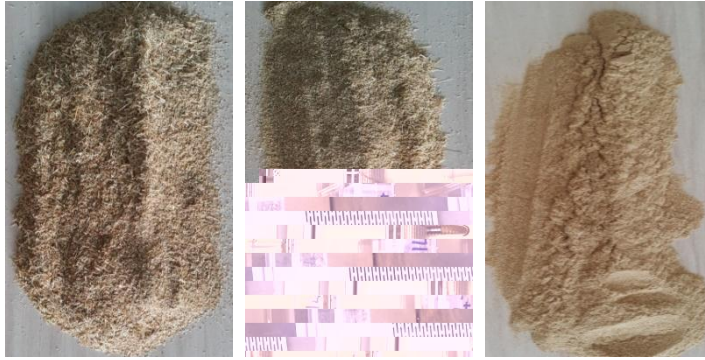
Öğütülmüş karanfil saplarının geometrik ortalama çapları ASAE S319.3 (2003) standardına göre belirlenmiştir. Bu test için 0.125-3 mm aralığında elek açıklığına sahip

7 elekten oluşan elek analiz cihazı kullanılmıştır. Her materyal için yaklaşık 100 g örnek en üstteki eleğe konulmuş ve örneklere 10 dakika süreyle titreşim uygulanmıştır. Uygulama sonunda her bir elek üzerinde kalan materyaller tartılmış ve ağırlığı kaydedilmiştir. İki elek arasında kalan materyal yüzdesi, elek üzerindeki materyal ağırlığının toplam örnek ağırlığına oranlanması ile hesaplanmıştır. Elek analizi sonrası, öğütülmüş karanfil artıklarının 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 1.7, 2.36 ve 3.0 mm elek açıklığına sahip elekler üzerinde kalan materyallerin görünüşleri Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3. 12. Elek sonrası öğütülmüş (2 mm) karanfil artıkları boyut dağılımı





0.5-0.25 mm 0.25-0.125 mm 0.125-0 mm

Şekil 3.13. Elek sonrası öğütülmüş (4mm) karanfil artıkları boyut dağılımı



>3mm 3-2.36 mm 2.36-1.7 mm 1.7-1 mm 1-0.5 mm

Şekil 3.14. Elek sonrası öğütülmüş (6mm) karanfil artıkları boyut dağılımı



0.5-0.25 2mm 0.25-0.125 mm 0.125-0 mm

Şekil 3.4'ün devamı

3.2.3. Üretim Kapasitesi ve Enerji Tüketim Değerlerinin Belirlenmesi

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

Peletleme makinasının elektrik enerjisi tüketim değerini belirlemek için 3 fazlı portatif enerji analizörü kullanılmıştır. Kullanmış olduğumuz enerji analizörü bir sistemin akım, gerilim ve güç gibi elektriksel parametrelerinin ölçülmesi için tasarlanmış bir cihazdır. Peletleme makinesi için ölçülecek enerji tüketim değerinin belirlenmesinde makinenin faz-faz arası gerilim değeri, her bir fazdan çekilen akım, aktif-reaktif (kapasitif ve endüktif) ve görünür güç değerleri, $\cos\phi$ ve $\tan\phi$ faktörü değerlerinin ölçümü yapılarak makinenin güç tüketimi belirlenmiştir. Elde edilen veriler cihaz üzerinden bilgisayara aktarılarak kaydedilmiştir.

Makinenin özgül elektrik enerjisi tüketim değeri; elektrik enerjisi tüketim değerinin makine kapasitesine oranlanmasıyla kWh.kg^{-1} olarak hesaplanmıştır.

Elektrik enerjisi tüketimi ve makine kapasitesi için denemeler üç tekerrürlü olarak yapılmıştır ve ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

3.2.4. Pelet Fiziksel Özellikleri ve Uygulanan Testler

Peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak peletlerin parça ve hacim yoğunluğu, dayanıklılık direnci, basınç direnci (sıkıştırma direnci), nem içeriği, nem alma durumu (emilimi-adsorpsiyon) belirlenmiştir. Fiziksel test öncesi peletler 7 gün süre ile $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve %70 bağıl neme sahip kapalı ortamda bekletilmiştir.

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

3.2.4.1. Pelet Yığın Yoğunluğunun Belirlenmesi

Peletlerin yığın yoğunluğu EN 15103 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde pelet örnekleri 5 litre hacme (153 mm çap \times 272 mm yükseklik) sahip silindirik kap içerisine yaklaşık $200\text{-}300\text{ mm}$ yükseklikten tam olarak doldurulmuştur. Sonra, kap 3 kez yaklaşık olarak 150 mm yükseklikten serbest olarak ahşap zemin üzerine bırakılmıştır. Daha sonra, düz ve uzun bir ahşap malzeme ile kabın üst kısmındaki fazla pelet örnekleri kap dışına taşınmıştır (Şekil 3.15). Pelet yığın yoğunluğu, pelet kütlelerinin kabın hacmine oranlanması ile kg.m^{-3} olarak hesaplanmıştır.

$$P_{hy} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.2)$$

P_{hy} : Pelet yığın yoğunluğu (kg.m^{-3})

m_2 : Pelet dolu kabın ağırlığı (kg)

m_1 : Boş kabın ağırlığı (kg)

V : Kabın net hacmi (m^3)



Şekil 3. 15. Yığın yoğunluğu belirleme yolu aşamaları

3.2.4.2. Pelet Parça Yoğunluğunun Belirlenmesi

Pelet parça yoğunluğu, peletlerin boyutlarının ölçülmesiyle EN 16127 (2012) standardına göre belirlenmiştir. Bu yöntemde 80-100 g kütleyle sahip pelet örnekleri (yaklaşık 100 adet) alınarak her bir peletin çapı, uzunluğu ve kütlesi ölçülmüştür. Pelet parça yoğunluğu, pelet ağırlığının pelet hacmine bölünmesi sonucu $kg.m^{-3}$ olarak aşağıda gösterilen eşitlikler yardımı ile belirlenmiştir (Adapa vd. 2006, McMullen vd. 2004).

$$V_u = \frac{\pi d^2 l}{4} \quad (3.3)$$

$$\rho_u = m_u / V_u \quad (3.4)$$

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 ağırlığı (kg)

3.2.4.3. Pelet Dayanıklılık Direncinin Belirlenmesi

Peletlerin mekaniksel dayanımlarının belirlenmesi için yapılan bu test EN15210-1 (2009) standardını esas almıştır. Test öncesi pelet örnekleri 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek ile elenmiştir. Elek üzerinde kalan materyal tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra elek üzerinde kalan 500 ± 10 g pelet örnekleri test cihazına yerleştirilmiş ve 10 dakika süre ile $50\pm 2 \text{ min}^{-1}$ karıştırılmıştır. Test sonrası peletler test cihazından alınarak 3.15 mm çaplı yuvarlak delikli elek kullanılarak tekrar eleme işlemi yapılmıştır. Eleme işlemi sonunda elek üzerinde kalan materyal tartılarak kaydedilmiştir. Peletlerin dayanıklılık dirençleri test öncesi ve test sonrası meydana gelen kütle kaybına göre yüzde (%) olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D_d = \frac{m_A}{m_E} \times 100 \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

D_d : Dayanıklılık direnci (%)

m_A : Test sonrası elenmiş pelet ağırlığı (g)

m_E : Test öncesi elenmiş pelet ağırlığı (g)

3.2.4.4. Pelet Basınç Direncinin Belirlenmesi

Yoğunlaştırılmış ürünlerin sertliği çoğunlukla basınç direnci (sıkıştırma direnci) testi yoluyla belirlenmektedir. Bu testte, pelet örnekleri içerisinde rastgele seçilen 30 adet pelet kullanılmıştır. Her bir pelet iki plaka arasına yerleştirilmiştir. Basınç dayanımı test cihazı ile peletlere parçalanıncaya kadar artan sıkıştırma yükleri uygulanmıştır. Uygulanan sıkıştırma yükleri bilgisayara aktararak parçalanmadan önceki maksimum sıkıştırma kuvveti, pelet sertliği olarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar Newton (N) olarak verilmiştir. Sertlik değeri en yüksek olan pelet, yüksek kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Celma vd. 2012). Peletlerin sıkıştırma direnci N, peletlerin özgül sıkıştırma direnci ise sıkıştırma direncinin pelet uzunluğuna oranlanması ile N.mm^{-1} olarak hesaplanmıştır. Peletlerin gerilme direnci ise pelet çapı ve uzunluğuna bağlı olarak pelet yüzey alanının yarısına uygulanan basınç olarak nitelendirilmektedir ve aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır (Tabil 1996; Shaw vd. 2009; Kashaninejad ve Tabil 2011).

$$\sigma_x = \frac{2F}{\pi dl} \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

σ_x : Gerilme direnci (Pa)

F : Maksimum kırılma kuvveti (N)

d : Pelet çapı (m)

l : Pelet uzunluğu (m)

3.2.4.5. Pelet Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Pelet örneklerinin nem içeriği EN 14774-2 (2009) standardına göre belirlenmiştir. Denemeye başlamadan önce kurutma fırınında kullanılacak olan kaplar tartılarak daraları, daha sonra içerisine materyal konulan kaplar tekrar tartılmış ve kütleleri kaydedilmiştir. Bu uygulama 3 tekerrürlü gerçekleştirilmiş ve 300 g pelet örnekleri kurutma fırınına (ETÜV) konularak sabit kütleyle gelinceye kadar (yaklaşık 24 h) 105 ± 2 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma fırınından alınan örnekler 15 saniye içinde tekrar tartılarak kütleleri kaydedilerek meydana gelen kütle kaybına bağlı olarak nem içeriği yaş bazda (%) hesaplanmıştır.

$$M = \left[\frac{(m_{p2} - m_{p3})}{(m_{p2} - m_{p1})} \times 100 \right] \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

M : Pelet nem içeriği(%y.b)

m_{p1} : Boş kuru örnek kabının ağırlığı (g)

m_{p2} : Kurutma öncesi kuru örnek kabı ve peletlerin ağırlığı (g)

m_{p3} : Kurutma sonrası kuru örnek kabı ve peletlerin ağırlığı (g)

3.2.4.6. Pelet Nem Alma Durumunun Belirlenmesi

Peletlerin nem alma durumlarını belirlemek için iklimlendirme test kabini kullanılmıştır. Peletlerin nem alma durumu pelet kütleindeki değişim yoluyla belirlenmektedir (Liu vd. 2013). Bu testte rastgele seçilen 5 pelet kurutma fırınında 105 ± 2 °C sıcaklıkta sabit kütleyle gelinceye kadar (yaklaşık 24 h) bekletilerek kurutma işlemi uygulanmıştır. Kurutulmuş peletler tartılarak test öncesi kütleleri kaydedilmiştir.

Peletler daha sonra iklimlendirme kabine alınarak 27 °C sıcaklık ve %90 bağıl nem içeriğine sahip ortamda 24 saat süreyle bekletilmiştir. Test sonunda peletler iklimlendirme kabinesinden alındıktan sonra tekrar tartılarak kütleleri kaydedilmiştir. Peletlerin nem alma durumu kütle artışına bağlı olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla yüzde (%) olarak hesaplanmıştır;

$$P_a = \frac{(m_f - m_i)}{m_i} \times 100 \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

P_a : Pelet örneklerinin nem alması (%)

m_i : Pelet örneklerinin ilk ağırlıkları (g)

m_f : Pelet örneklerinin son ağırlıkları (g)

Peletleme makinesi kapasitesi, enerji tüketim değerleri ve pelet kalitesi ile ilgili fiziksel özelliklerin belirlenmesi için uygulanan denemeler 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklılığı görebilmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karanfil bitki artıklarından elde edilen peletlerin istatistiksel analizleri için Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Nem ve parçacık boyutunun önem düzeyleri belirlenerek tablolarla gösterilmiştir.

4.1. Materyallerin Parçacık Boyutu Dağılımları

Karanfillerin parçacık boyut dağılımlarını belirlemek için yapılan elek analizi sonucunda ortaya çıkan boyut dağılımı Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Karanfil parçacık boyut dağılımı

Parçacık boyutu (mm)	Elek açıklığı (mm)							
	>3.00	2.36-3.00	1.70-2.36	1.00-1.70	0.50-1.00	0.250-0.50	0.125-0.250	0.00 - 0.125
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	0	0.03	0.21	3.08	38.08	33.90	9.62	14.28
2	0	0	0.11	2.44	34.81	36.25	10.40	15.68
	0.10	0.08	0.17	2.87	38.68	35.20	9.34	13.82
Ortalama	0,00	0,04	0,16	2,81	37,31	35,23	9,82	14,64
	0.31	0.33	1.54	14.61	43.60	23.61	6.65	9.01
4	0.01	0.04	1.79	15.27	42.16	23.70	6.30	9.98
	0.25	0.16	1.69	15.98	41.85	23.16	6.83	9.64
Ortalama	0,00	0,18	1,68	15,37	42,75	23,61	6,63	9,59
	0.19	1.22	10.58	32.42	36.76	12.41	2.51	3.17
6	0.52	1.33	8.69	27.33	38.34	15.32	3.79	4.38
	0.32	1.69	8.58	29.13	36.05	14.71	3.88	5.04
Ortalama	0,00	1,42	9,33	29,79	37,25	14,22	3,41	4,22

Grower ve Mishra (1996) yaptıkları çalışma sonucuna göre iyi bir pelet kalitesi için parçacık boyutunun, %10-20’sinin oldukça küçük partiküllerden oluşması koşulu ile, 6-8 mm arasında olması gerektiğini bildirmişlerdir. Öğütülmüş karanfil artıklarının

elek analizi sonucunda parçacık boyutu dağılımında 0-1 mm boyutlarındaki materyal yüzdesi 2 mm için ortalama %97, 4 mm için %82.5 ve 6 mm için %59.1'dir. Bu değerlerin Grower ve Mishra'nın belirttiği aralığın çok üstünde olduğu gözlenmektedir. Mani vd. (2004) yüksek kaliteli bir pelet üretimi için öğütme işleminde kullanılacak olan çekiçli değirmenlerin 3.2-4 mm çap aralığında eleklerle sahip olması gerektiğini bildirmiştir. Bununla beraber elek delik çapının artmasının, üretilen peletlerin kalitesinde düşüşe neden olduğu belirtilmiştir.

4.2. Materyallerin Peletlenmesi

Materyallerin peletleme işlemi Çizelge 3.1'de gösterilen deneme desenine göre yapılmıştır. Peletleme işlemi bittikten sonra kalıp sıcaklığı ölçülmüş ve parça boyutuna ve nem içeriğine bağlı olarak kalıp sıcaklığının yaklaşık 92-106 °C değerleri arasında değiştiği tespit edilmiştir. Üretilen peletlerin görünüşleri Şekil 4.1'de verilmiştir.

Peletlerin ortalama uzunluk, çap ve kütleleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Nem içeriğinin artması, ortalama pelet çapının artmasına neden olurken, ortalama pelet uzunluğunun azalmasına neden olmuştur. Nem içeriğini sabit tuttuğumuz zaman ortalama pelet kütlesi, parça boyutunun artmasıyla azalmakta, parça boyutunu sabit tuttuğumuz zaman ortalama pelet kütlesi nem içeriği arttıkça azalmaktadır.

Çizelge 4. 2. Peletlerin ortalama uzunluk, çap ve kütleleri

Parçacık boyutu (mm)	Nem içeriği (% , y.b.)	Ortalama pelet uzunluğu (mm)	Ortalama pelet çapı (mm)	Ortalama pelet kütlesi (g)
2	9-10	23.20	6.37	0.87
	12-13	20.60	6.45	0.74
	15-16	20.09	6.58	0.69
4	9-10	22.31	6.16	0.82
	12-13	21.90	6.28	0.78
	15-16	19.93	6.45	0.67
6	9-10	21.46	6.32	0.80
	12-13	19.80	6.36	0.72
	15-16	19.50	6.46	0.65



Şekil 4. 1. Karanfil artıklarından elde edilen peletler

4.3. Üretim Kapasitesi ve Enerji Tüketimi

Üretim kapasitesi, materyal parçacık boyutu ve nem içeriğine göre değişmiştir. Karanfil peletlerinin üretim kapasitesi ve kalıp sıcaklığı Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi parça boyutunun artmasıyla, artan üretim kapasitesi azalmaktadır. Nem içeriğinin artması üretim kapasitesinin artmasını sağlamıştır. En düşük üretim kapasiteleri %9-10 (y.b.) nem içeriğine sahip peletlerden elde edilirken, en yüksek kapasite %15-16 (y.b.) nem içeriğinde elde edilmiştir.

Çizelge 4. 3. Karanfil peleti üretim kapasiteleri ve kalıp sıcaklığı

Parçacık boyutu (mm)	Nem içeriği (% y.b.)	Kalıp sıcaklığı (°C)	Üretim kapasitesi (kg.h ⁻¹)	Ortalama (kg.h ⁻¹)
2	9-10	95	99,79	104,77
	12-13	92	101,94	
	15-16	93.5	112,56	
4	9-10	106.2	83,29	94,40
	12-13	107.4	95,95	
	15-16	99.3	103,97	
6	9-10	102	78,18	89,76
	12-13	98	90,76	
	15-16	97.6	100,33	

Tabil ve Sokhansanj (1996) tarafından yapılan çalışmada hammadde sıcaklığının 65 °C'den 95 °C'ye çıkarılması, pelet kalitesini arttırdığını gözlemlemiştir. Sıcaklık artışı kalıp yüzeyi ile materyal arasındaki sürtünmeleri minimuma indirmekte ve peletleme işleminin daha akıcı olmasını sağlayarak pelet üretim kapasitesinin artmasına neden olmuştur (Colley 2006). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek kalıp sıcaklığı 4 mm parça boyutu ve %12-13 (y.b.) nem içeriğine sahip peletlerin üretiminde 107.4 °C olarak belirlenmiştir. Fakat en yüksek üretim kapasitesi değeri 112.6 kg.h⁻¹ ile 2 mm parça boyutuna sahip peletlerde elde edilmiştir. Bu durum literatür sonuçlarıyla paralellik göstermemektedir. Koçer (2018) meyve bahçesi budama artıkları ile yapmış olduğu çalışmada, pelet üretim kapasitesinin 23 ile 83 kg.h⁻¹ arasında değiştiğini bildirmiştir. Bilgin vd. (2015) fındık zurufundan elde ettikleri pelette üretim kapasitesini 67 kg.h⁻¹ olarak bildirmişlerdir. Karanfil artıklarından elde edilen pelet üretiminde en düşük üretim kapasitesi bile fındık zurufundan ve meyve bahçesi budama atıklarından elde edilen kapasiteden yüksek çıkmıştır. Farklı materyallerde elde edilen sonuçlar farklılık gösterebilmektedir. Üretim kapasitesi yüksek olan materyal ile düşük olan materyal karıştırılarak maksimum değerler elde edilebilir. Bu sayede oluşan bütün artıkların pelet üretimindeki önemi artırılabilir.

Peletleme makinesinin pelet yapım aşamasındaki enerji tüketim değerleri Çizelge 4.4’de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre parçacık boyutunun artması, enerji tüketim miktarının azalmasını sağlamıştır. 2 mm parça boyutuna sahip %12-13 (y.b.) nem içeriğine sahip peletlerin üretimi dışında enerji tüketim değerleri nem içeriğinin artmasıyla artmıştır. En düşük enerji tüketim değeri 6.51 kWh ile 6 mm parça boyutuna sahip %9-10 (y.b.) nem içeriğindeki peletlerden elde edilmiştir. En yüksek değer ise 7.58 kWh ile 2 mm parça boyutuna sahip %15-16 (y.b.) nem içeriğindeki peletlerden elde edilmiştir. Yılmaz (2014) yaptığı çalışmaya göre pamuk ve susam artıklarından elde ettiği pelet üretiminde, pelet makinesinin kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketim değerinin sırası ile 131-306 kg.h⁻¹ ve 18.40-22.64 kWh arasında değiştiğini bildirmiştir. Karanfil artıklarından pelet üretiminde enerji tüketim değeri literatür sonuçlarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Enerji tüketim değerinin az olması karanfil artıklarının değerlendirilmesi için pozitif bir neden oluşturmaktadır.

Çizelge 4. 4. Enerji tüketim değerleri

Parçacık boyutu (mm)	Nem içeriği (%, y.b.)	Enerji tüketimi (kWh)	Ortalama (kWh)
2	9-10	7.29	7.37
	12-13	7.24	
	15-16	7.58	
4	9-10	6.74	6.86
	12-13	6.92	
	15-16	6.93	
6	9-10	6.51	6.64
	12-13	6.67	
	15-16	6.74	

Özgül enerji tüketimi; enerji tüketiminin üretim kapasitesine bölünmesiyle bulunmaktadır. Özgül enerji tüketim miktarı pelet üretimi sırasında tüketilen enerji miktarını belirlemede daha etkili ve doğru bir ölçüyü nitelemektedir. Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi özgül enerji tüketim değeri en fazla 6 mm elek delik çapında öğütülen ve %9-10 (y.b.) nem içeriğinde olan peletlerde belirlenmiştir. En düşük değer 2 mm, 4 mm ve 6 mm elek delik çapında öğütülen ve %15-16 (y.b.) nem içeriğine sahip peletlerde gözlenmiştir.

Çizelge 4. 5. Özgül enerji tüketimi değerleri

Materyal boyutu (mm)	Nem İçeriği (%, y.b.)	Özgül Enerji Tüketimi (kWh.kg⁻¹)
2	9-10	0,073
	12-13	0,071
	15-16	0,067
4	9-10	0,081
	12-13	0,072
	15-16	0,067
6	9-10	0,083
	12-13	0,074
	15-16	0,067

Yılmaz (2014) susam ve pamuk artıklarından elde ettiği peletlerde özgül enerji tüketiminin 0.065-0.164 kWh.kg⁻¹ arasında değiştiğini belirtmiştir. Karanfil peletinden elde edilen değerler oldukça üstünde olduğu görülmektedir. Adapa vd. (2009) ve Lu vd. (2014) tarafından yapılan çalışmalarda, piston-silindir düzeneği kullanılarak farklı materyallerden elde edilen peletlerde özgül enerji tüketim değerleri 0.0025-0.016 kWh.kg⁻¹ arasında değiştiğini belirtmiş, karanfil peleti üretiminde elde edilen değerlerle paralellik göstermektedir.

Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi nem içeriğinin ve öğütülmüş materyal boyutunun peletleme makinesi, üretim kapasitesine ve enerji tüketim değerlerine etkileri istatistiksel olarak gösterilmiştir. Parça boyutunun ve nem içeriğinin üretim kapasitesi üzerine etkisini belirlemek için yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucuna göre en yüksek üretim kapasitesi 2 mm elek delik çapında öğütülen materyallerde ve %15-16 (y.b.) materyal nem içeriğinde elde edilmiştir.

Nem içeriğinin makine üretim kapasitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($P<0.01$). Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucuna göre en yüksek üretim kapasitesi nem içeriği %15-16 (y.b.), en düşük makine kapasitesi ise materyal nem içeriği %9-10 (y.b.) olan peletlerden elde edilmiştir (Çizelge 4.5).

Parçacık boyutunun makine kapasitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) bulunmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek kapasite 2 mm elek delik açıklığına sahip çekiçli değirmende öğütülen parça boyutunda bulunurken, en düşük kapasite değeri 6 mm elek delik açıklığına sahip çekiçli değirmende öğütülmüş parça boyutunda elde edilmiştir (Çizelge 4.5).

Makine kapasitesi 2 mm parça boyutuna sahip peletlerde en yüksek 112.56 kg.h^{-1} olarak %15-16 (y.b.) nem içeriğinde, en düşük 99.8 kg.h^{-1} değere ise %9-10 (y.b.) nem içeriğinde elde edilmiştir. Parça boyu 4 mm olan peletlerde en yüksek 103.96 kg.h^{-1} makine kapasitesi %15-16 (y.b.) nem içeriğinde sağlanırken, en düşük 83.29 kg.h^{-1} kapasite %9-10 (y.b.) nem içeriğinde bulunmuştur. 6 mm parça boyutunda en yüksek 100.33 kg.h^{-1} makine kapasitesi %15-16 (y.b.), en düşük 78.18 kg.h^{-1} ise %9-10 (y.b.) nem içeriğinde elde edilmiştir. Nem içeriğinin artması, makine kapasitesini artırırken parçacık boyutunun artması makine kapasitesinin azalmasına neden olmuştur. Düşük parça boyutu sürtünme miktarını azaltarak makineden pelet çıkışını kolaylaştırmış, bu durum üretim kapasitesinin artmasına neden olmuştur.

Enerji tüketimi 2 mm parça boyutuna sahip pelet üretiminde en yüksek tüketim 7.58 kWh ile %15-16 (y.b.), en düşük enerji tüketimi ise 7.24 kWh ile %12-13 (y.b.) nem içeriğine sahip materyallerde elde edilmiştir. 4 mm parça boyutuna sahip materyallerde ise enerji tüketim değeri en yüksek 6.92 kWh ile %12-13 (y.b.), en düşük enerji tüketimi 6.74 kWh ile %9-10 (y.b.) nem içeriğine sahip materyallerde sağlanmıştır. 6 mm parça boyutuna sahip materyallerden üretilen peletlemede enerji tüketim değeri en yüksek 6.74 kWh ile %15-16 (y.b.), en düşük ise 6.51 kWh ile %9-10 (y.b.) nem içeriğine sahip malzemelerin üretimde elde edilmiştir. Parça boyutunun ve nem içeriğinin artması, sürtünmenin artması nedeniyle enerji tüketim değerinin artmasına neden olmuştur.

Çizelge 4. 6. Parça boyutunun ve nem içeriğinin üretim kapasitesine ve enerji tüketimi üzerine etkisi

Nem İçeriği (%, y.b.)	Üretim Kapasitesi (kg.h ⁻¹)	Enerji tüketimi (kWh)
9-10	87.11a	6.85a
12-13	96.44b	6.95b
15-16	105.78c	7.08c
Önemlilik	**	**

Materyal Boyutu (mm)	Üretim Kapasitesi (kg.h ⁻¹)	Enerji tüketimi (kWh)
2	104.78c	7.37c
4	94.67b	6.86b
6	89.89a	6.64a
Önemlilik	**	**

** : Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %1 alfa düzeyinde önemlidir.

4.4. Pelet Fiziksel Özellikleri

4.4.1. Pelet Nem İçeriği

Karanfil artıklarından elde edilen peletlerin, peletleme makinesinden çıktıktan ve 7 gün boyunca 30°C ve %70 bağıl neme sahip kapalı çevre şartlarında açık olarak bekletildikten sonraki nem içerikleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4. 7. Elde edilen peletlerin peletleme öncesi, sonrası ve 7. Gün sonunda nem içerikleri

Parçacık boyutu (mm)	Nem içeriği (% , y.b.)	Nem içeriği (% , y.b.)		
		Giriş	Çıkış	7. gün
2 mm	%9-10	9.75	8,68	8.63
	%12-13	12.29	9.41	9.49
	%15-16	15.41	11.56	10.85
4 mm	%9-10	9.6	5.94	6.20
	%12-13	12.1	8.35	8.15
	%15-16	14.64	10.41	9.34
6 mm	%9-10	9.58	7,32	6.95
	%12-13	12.59	9.15	8.66
	%15-16	14.78	10.63	9.91

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi öğütülmüş karanfil artıkları peletleme makinesinden çıktıklarında buldukları nem içeriği değerleri, peletleme işlemi yapılmadan önce belirlenen değerlerinden düşük çıkmıştır. Bunun nedeni ise peletleme sırasında sürtünmeden kaynaklı makinenin ısınmasıdır. Makinedeki bu ısınma materyalin bünyesinde bulunan nemin buharlaşarak uzaklaşmasına neden olmaktadır.

7. günün sonunda 2 mm parça boyutundaki peletlerden %12-13 (y.b.) nem içeriğinde olan peletlerde ve 4 mm parça boyutundaki %9-10 (y.b.) nem içeriğine sahip peletler ortamdan bir miktar nem almıştır. Diğer peletlerde ise nem içeriği değerlerinde düşme gözlenmiştir. Avrupa Pelet Konseyi pelet kalitesi ile ilgili ENplus-A1, Enplus-A2 ve EN-B sınıfı olarak üç farklı standart tanımlamış ve tüm standartlarda peletlerin nem içeriğinin ≤ 10 (% , y.b.) olması gerektiği belirtilmiştir (EN 14961-2 2013). Belirlenen bu standarda göre 7. günün sonunda karanfil peleti denemelerinde 2 mm parçacık boyutunda % 15-16 (y.b.) nem içeriğine sahip deneme hariç, diğer denemelerin Avrupa Pelet Konseyi tarafından belirlenen standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

Mani vd. (2006) yapmış oldukları farklı peletleme çalışmalarında materyal parçacık boyutunun azalmasının veya nem içeriğinin artmasının, pelet yoğunluğunu azalttığını belirtmişlerdir. Fassina (2008) tarafından yapılan çalışmada pelet yığın ve parça yoğunluğunun nem içeriğindeki artış ile doğrusal olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin artması başlangıçta pelet dayanıklılığını arttırmış, ((y.b.) %9.1’de

maksimum dayanım) fakat %21.2 (y.b.) nem içeriğinde dayanıklılık minimum değere düşmüştür.

4.4.2. Pelet Yığın ve Parça Yoğunluğu

Karanfil artıklarından elde ettiğimiz peletlerin parça ve yığın yoğunlukları Çizelge 4.8’de, Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucu da Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4. 8. Karanfil peletlerinin parça ve yığın yoğunlukları

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nem içeriği (% , y.b.)	Parça yoğunluğu (kg.m ⁻³)			Yığın yoğunluğu (kg.m ⁻³)		
2	9-10	1175.93			648.30		
	12-13	1105.01	1175.92		597.63	592.99	
	15-16	1014.17			533.04		
4	9-10	1236.50			690.51		
	12-13	1155.64	1047.04	1027.11	618.75	624.02	602.91
	15-16	1047.05			562.80		
6	9-10	1189.50			647.67		
	12-13	1146.84	1027.11		597.04	591.74	
	15-16	1027.11			530.53		

Parça boyutunun artması ile parça yoğunluğunun arttırdığı gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin artması, parça ve yığın yoğunluğunda azalmaya neden olmuştur. En yüksek ortalama yığın yoğunluğu değeri 4 mm elek delik çapında öğütülen materyallerden, en yüksek ortalama parça yoğunluğu değeri ise 2 mm elek delik çapında öğütülen materyallerden elde edilmiştir.

Montero vd. (2014) mantar tıpa artıklarının peletleme öncesi materyal yoğunluklarının 323-379 kg.m⁻³, peletleme sonrası pelet yoğunluğunun artarak 692-705 kg.m⁻³ arasında değiştiğini belirtmiştir. Theerattananoon vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada pelet yığın yoğunluğu 265.2-495.8 kg.m⁻³ arasında değiştiği belirtilmiştir. Razuan vd. (2011) hurma çekirdeği küspesinden elde ettikleri peletlerin, pelet yoğunluklarının 1184-1226 kg.m⁻³, Serrano vd. (2011) ise 1300-1400 kg.m⁻³ arasında değiştiği belirtmiştir. Fassina (2008) tarafından yapılan çalışmada peletleme işlemi ile hammaddenin yığın yoğunluğunun 151 kg.m⁻³’ten 600 kg.m⁻³’e çıktığı belirtilmiştir.

Peletleme işlemi ile materyal yığın yoğunluğu ortalama 311.36 kg.m^{-3} 'ten 602.92 kg.m^{-3} 'e çıkmıştır. Karanfil artıklarından elde edilen peletlerde pelet yoğunluklarının $1014.17-1236.50 \text{ kg.m}^{-3}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Karanfil peletleri Fassina (2008) ve Razuan vd. (2011) tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik göstermekte, Serrano vd. (2011) tarafından yapılan çalışma sonucundan düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.9 incelendiğinde parçacık boyutu ve nem içeriğinin yığın ve parça yoğunluğu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.01$). Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucuna göre en yüksek pelet yığın yoğunluğu 4 mm elek delik çapında öğütülen ve %9-10 (y.b.) materyal nem içeriğinde elde edilen peletlerde tespit edilmiştir. En yüksek parça yoğunluğuna ise 4 mm elek delik çapında öğütülen ve %9-10 (y.b.) nem içeriğine sahip peletlerden elde edilmiştir.

Çizelge 4. 9. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin yığın ve parça yoğunluğuna etkisi

Elek çapı (mm)	Pelet yığın yoğunluğu (kg.m^{-3})	Pelet parça yoğunluğu (kg.m^{-3})
2	592.99a	1098.37a
4	624.02b	1146.40c
6	591.75a	1121.15b
Önemlilik	**	**

Nem içeriği (y.b.)	(%,	Pelet yığın yoğunluğu (kg.m^{-3})	Pelet parça yoğunluğu (kg.m^{-3})
%9-10		662.16c	1200.64c
%12-13		604.47b	1135.83b
%15-16		542.12a	1029.44a
Önemlilik		**	**

** : Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %1 alfa düzeyinde önemlidir.

Colley (2006), Mani vd (2006), Liu vd (2014) pelet parça yoğunluğu ve pelet hacim yoğunluğuna materyal nem içeriğinin ve parça boyutunun önemli derecede etki ettiğini bildirmişlerdir. Yılmaz (2014) peletlerin yığın ve parça yoğunluğunun, materyal çeşidi ve nem içeriğine bağlı olarak değiştiğini ve nem içeriği arttıkça yoğunluk değerlerinin azaldığını bildirmiştir. Karanfil artıklarından elde edilen peletlerde yığın yoğunluğu değerleri literatür değerleriyle paralellik göstermiştir.

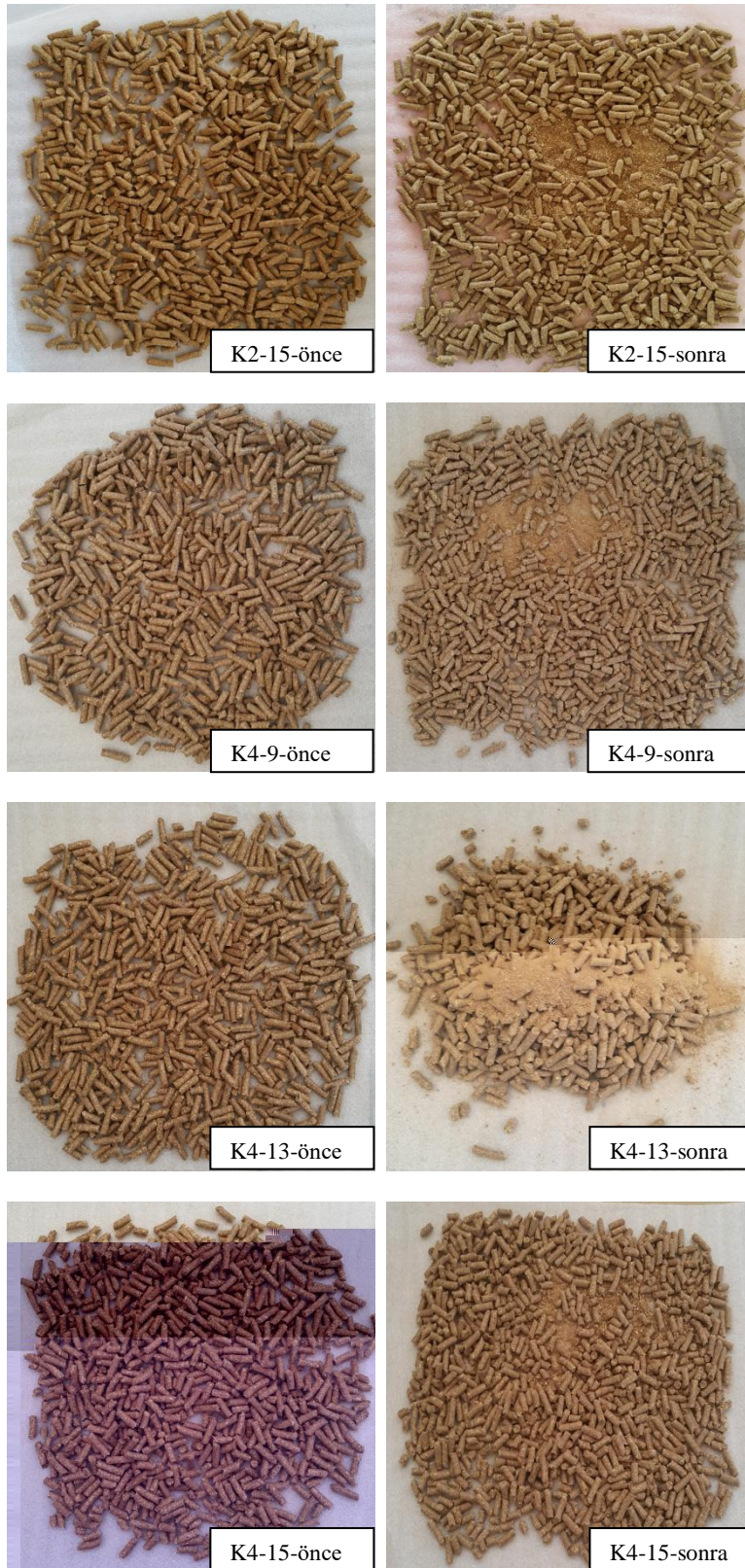
4.4.3. Pelet Dayanıklılık Direnci

Mekanik ya da pnömatik sistemlerde kullanımı için peletlerin dayanım özelliklerinin bilinmesi ve tanımlanması oldukça önemlidir. İmalat sanayisi peletlerin kalitesini belirlemek için dayanıklılık direnci özelliklerine dikkat etmekte ve yüksek dayanıklılık direncine sahip peletleri yüksek kaliteli peletler olarak tanımlamaktadır (Kaliyan ve Morey 2009).

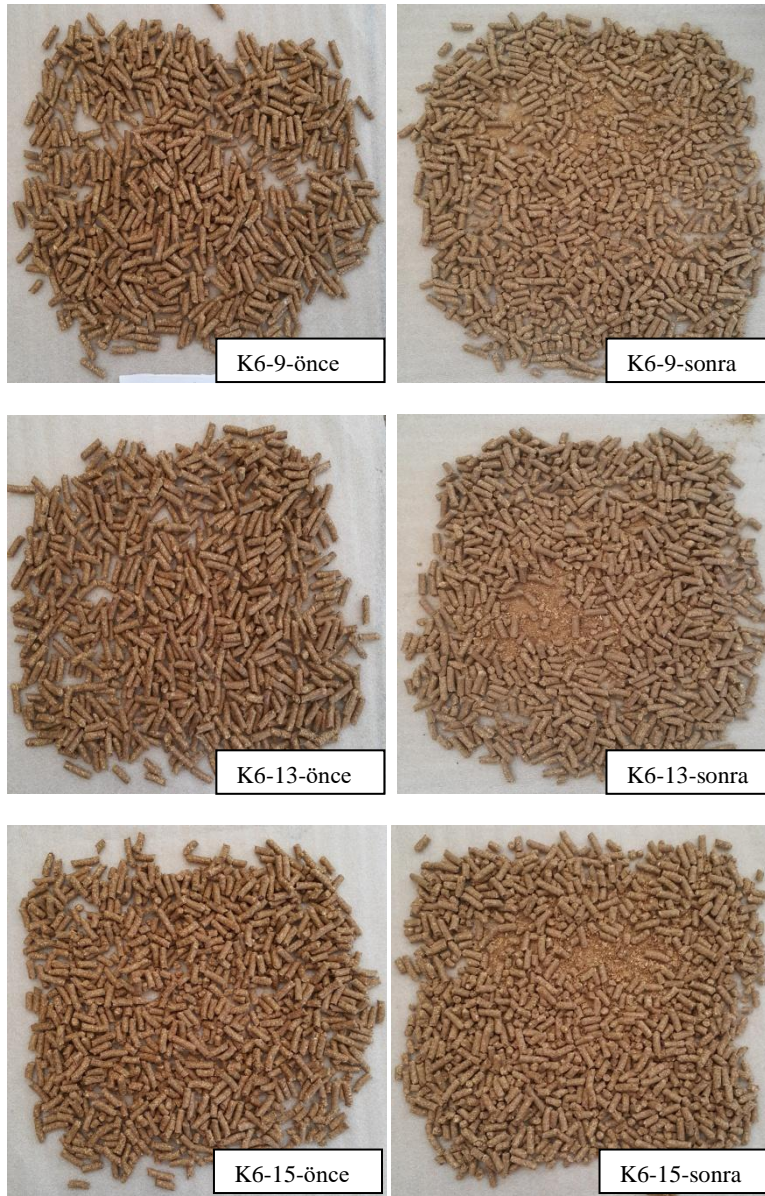
Çizelge 4.10'da karanfil artıklarından elde edilen peletlerin dayanıklılık direnci sonuçları verilmiştir. Nem içeriğinin artmasının dayanıklılık direncinin düşmesine neden olduğu gözlenmektedir. 4 mm elek delik çapında öğütülen materyallerde dayanıklılık direnci daha yüksek elde edilmiş ve en yüksek dayanıklılık değerine 4 mm elek delik çapında öğütülmüş ve materyal nemi %9-10 (y.b.) olan peletlerde ulaşılmıştır. Peletlerin dayanıklılık direnci testi öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4. 2. Dayanıklılık direnci denemelerinde kullanılan peletlerin öncesi ve sonrası görüntüleri



Şekil 4. 2'nin devamı.



Şekil 4.2'nin devamı.

Celma vd. (2012) tarafından yapılan domates peletlerinde nem içeriğinin artmasıyla dayanıklılığın arttığı ve %9.09 (y.b.) pelet nem içeriğinde %91.2 ile maksimum değere ulaştığı bildirilmiştir. Liu vd. (2013) tarafından yapılan bambu ve çeltik sapı peletlerinde dayanıklılık direncinin %94.21-99.17 arasında değiştiği gözlenmiş ve çeltik sapının (%99.17 ile) pelet kalitesinin yüksek olduğu vurgulanmıştır. Montero vd. (2014) tarafından yapılan mantar tıpa artıklarından elde edilen peletlerin dayanıklılık direnci %98.36 olduğu belirtilmiştir. Cubero-Abraca vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada kahve posalarından elde edilen peletlerin dayanıklılık direnci %75.54 olarak bulunmuş ve ASAE 296.4 standardının kabul edilebilir sınırların altında olduğu vurgulanmıştır. Tabil ve Sokhansanj (1996, 1997) pelet dayanıklılık direncinin %80 ve

üzeri olması durumunda pelet kalitesinin iyi olduğunu belirtmişlerdir. Fakat Avrupa Pelet Konseyi ENplus-A1 ve ENplus-A2 sınıfı pelet standartlarında odun peletlerinin dayanıklılık direncinin ≥ 97.5 , EN-B sınıfı pelet standartlarında ise ≥ 96.5 olması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmamızda karanfil peleti dayanıklılık direnci değerleri %92.92-97.60 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 10. Karanfil peletlerinin dayanıklılık dirençleri

Parçacık boyutu (mm)	Materyal nem içeriği (% , y.b.)	Dayanıklılık direnci (%)	
		Ortalama (%)	
2	9-10	96.10	
	12-13	95.39	94.80
	15-16	92.92	
4	9-10	97.60	
	12-13	96.74	96.40
	15-16	94.88	
6	9-10	96.23	
	12-13	95.73	95.06
	15-16	93.23	

Nem içeriğinin ve parça boyutunun dayanıklılık direnci üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0.01$) (Çizelge 4.11). En yüksek dayanıklılık direnci değerleri 4 mm elek delik çapında öğütülen materyallerde, %9-10 (y.b.) nem içeriğinde elde edilmiştir.

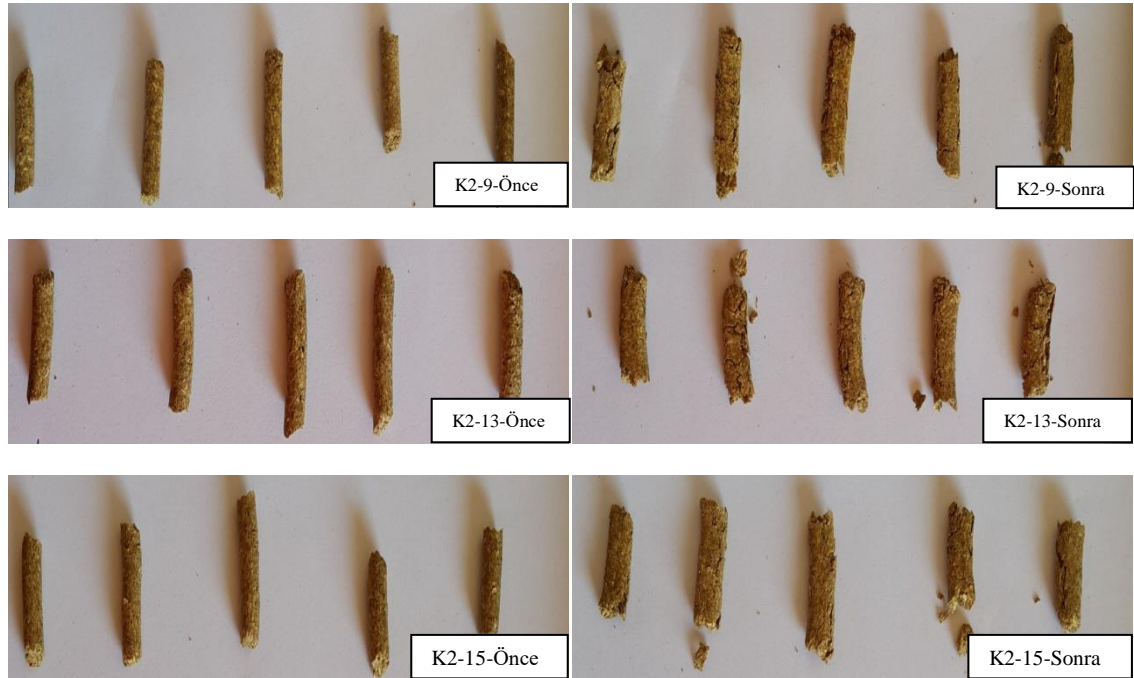
Çizelge 4. 11. Parçacık boyutu ve nem içeriğinin dayanıklılık direncine etkisi

Parçacık boyutu (mm)	Dayanıklılık direnci (%)	Nem içeriği (%, y.b.)	Dayanıklılık direnci (%)
2	94.80a	9-10	96.64c
4	96.40c	12-13	95.95b
6	95.06b	15-16	93.68a
Önemlilik	**	Önemlilik	**

** : Aynı sütundaki değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak %1 alfa düzeyinde önemlidir.

4.4.4. Peletlerin Basınç Direnci, Özgül Basınç Direnci ve Gerilme Direnci

Basınç direnci testi, peletlerin ambalaj paketleri veya silolarda depolanması, taşıma ve nakliye aşamalarında üst üste olan peletlerde üstteki peletlerin alttaki peletlere uygulamış olduğu yüklerin simülasyonu için yapılmaktadır (Kaliyan ve Morey 2009, Kers vd. 2010). Denemelerde kullanılan peletlerin uygulama öncesi ve sonrası görünüşleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Basınç direnci testi öncesi ve sonrası görünüşleri



Şekil 4. 3'ün devamı.

Parçacık boyutunun ve nem içeriğinin basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre parçacık boyutunun analizi Çizelge 4.12'de, nem içeriğinin analizi ise Çizelge 4.13'de gösterilmiştir. Çizelge 4.13'de nem içeriğinin doğrusal bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. En yüksek değer, nem içeriği %12-13 (y.b.) olan materyallerden elde edilmiştir.

Çizelge 4. 12. Parçacık boyutunun basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi

Parçacık boyutu (mm)	Basınç direnci (N)	Özgül basınç direnci (N.mm ⁻¹)	Gerilme direnci (MPa)
2	519.93a ^z	23.77a	2.37a
4	483.04a	21.99a	2.25a
6	450.82a	21.50a	2.16a

Çizelge 4. 13. Nem içeriğinin basınç direnci, özgül basınç direnci ve gerilme direnci üzerine etkisi

Nem içeriği (%, y.b.)	Basınç direnci (N)	Özgül basınç direnci (N.mm ⁻¹)	Gerilme direnci (MPa)
9-10	453.17a ^z	20.55a	2.09a
12-13	559.82b	25.02a	2.15a
15-16	440.80a	21.69a	2.09a

Celma vd (2012) en kaliteli peletin en yüksek sertlik değerinde olan peletler olduğunu bildirmiştir. Çalışmasında domates fabrikası artıklarından (kabuk ve tohum) elde ettikleri peletler için en yüksek basınç direnci değerini pelet nem içeriği %9.09 (y.b.)'da elde etmiştir ve 88 N olarak belirlemiştir. Elde edilen karanfil peletlerinin basınç direnci değerleri domates artıklarından elde edilen peletlerin basınç değerlerinin çok üstünde elde edilmiştir. Yılmaz (2014), pamuk ve susam artıklarından elde ettiği biyokütle peletleri için basınç direnci değerlerini 1450-3532 N, özgül basınç direncini 40.98-92.85 N.mm⁻¹ ve gerilme direncini 2.82-7.29 MPa arasında olduğunu bildirmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar Yılmaz (2014) tarafından elde edilen sonuçların daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

4.4.5. Peletlerin Nem Alma Durumu

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

Fassina (2008) tarafından yapılan yerfistığı kabuklarından elde edilen peletlerde çevre sıcaklığına bakılmaksızın, peletlerin %60-80 nem içeriğine sahip bir ortamda nem

alırken, %45 nem içeriğine sahip ortamda nem kaybettiği görülmüş ve peletlerin 48 saatlik bir sürede nemlendirilmiş hava ile temas ettiğinde en fazla %4.9 (y.b.)'a kadar nem absorbe ettiği belirtilmiştir. Colley (2006) darı bitkisinden elde ettiği peletlerin depolama süresince çevre havasının bağıl neminin, örneklerin nem absorbe etmesini önemli derecede etkilediğini belirtmiştir.

Çizelge 4. 14. Nem içeriğinin ve parçacık boyutunun nem alma durumu üzerine etkisi

Parçacık Boyutu (mm)	Nem Alma (%)	Nem (%)	Nem alma (%)
2	19.81b	9-10	19.01a
4	18.61a	12-13	19.32a
6	19.55b	15-16	19.64a

Parçacık boyutunun nem alma durumu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsizdir.

Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre en yüksek değeri 4 mm elek delik çapında öğütülen materyallerden elde edilmiştir

5. SONUÇLAR

Ülkemizde son yıllarda şehirleşmenin ve sosyal yaşamın getirdiği kutlamalar, dekorasyon ve özel günlere yönelik satın alma gücünün artması kesme çiçek talebinde artışlara neden olmuştur. Üretimin artması sonucunda seralarda kalan üretim artıklarının peletlenerek katı yakacak olarak değerlendirilerek ülke ekonomisine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

Kesme çiçek üretimi yapılan bölgelerde pelet üretim tesisleri kurularak tarımsal üretim sonucu çıkan artıklar pelet olarak değerlendirilebilir. Üretilen peletler seralarda ısıtma sistemlerinde yakıt olarak kullanılarak tarımsal üretimdeki kömür kullanımını minimum seviyelere indirgeyebilir ve artan CO₂ emisyonu miktarını önlemek amaçlı büyük bir adım atılabilir.

Karanfil artıklarından elde edilen peletlerde materyal parça boyutunun artması ortalama pelet kütlelerinde artışa, üretim kapasitesinde, enerji tüketiminde ve pelet parça yoğunluğunda azalmaya neden olmuştur.

Elde edilen peletlerde materyal nem içeriğinin etkisi incelendiğinde, nemin artması ortalama pelet kütlelerinde, parça ve yığın yoğunlukları ile dayanıklılık direncinde azalmaya, üretim kapasitesi ve enerji tüketiminde artışa neden olduğu gözlemlenmiştir.

Dayanım açısından en kaliteli karanfil peleti materyal parça boyutu 4 mm, nem içeriği %9-10 (y.b.) olan peletlerden elde edilmiştir.

Karanfil artıklarından elde edilecek pelet üretiminde en düşük enerji tüketimi dikkate alınmalıdır. Pelet makinesi enerji tüketim değeri en düşük 2 mm parça boyutuna, % 15-16 nem içeriğine sahip denemede elde edilmiştir.

Peletlerin parça yoğunlukları nem içeriğine ve parçacık boyutuna bağlı olarak materyal yoğunluğunun 2.80 ile 4.46 katı arasında artmıştır. Yığın yoğunluklarının artışı ise materyal yoğunluğunun 1.47 ile 2.43 katı arasındadır. Peletlerin dayanıklılık dirençleri %92.92 ile %96.74 arasında bulunmuştur. Avrupa Pelet Konseyi'nin açıklamış olduğu standartlar dikkate alındığında, karanfil peleti dayanıklılık direncine göre K4-9 ENplus-A1 ve ENplus-A2 standartlarına, K4-9 ve K4-13 ise EN-B sınıfı pelet standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

Peletlerin yığın ve parça yoğunluğunun materyal çeşidi ve nem içeriğine bağlı olarak değiştiğini ve nem içeriği arttıkça yoğunluk değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Parça boyutunun artması ile parça yoğunluğunun arttırdığı gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin artması, parça ve yığın yoğunluğunda azalmaya neden olmuştur. En yüksek kalıp sıcaklığı K4-13 kodlu denemede 107.4 °C olarak bulunmuştur. Maksimum üretim kapasitesine K2-15 kodlu üretimde ulaşılmıştır. Yüksek nem içeriği materyalleri

yapışmasını, düşük parça boyutu makineden çıkışı kolaylaştırmıştır, sürtünmenin az olması kalıp sıcaklığının düşük olmasına neden olmuştur.

Peletlerin depolanması ve taşınması sırasında oluşabilecek kayıpların öngörülebilmesi için ayrı bir çalışma yürütülmeli ve peletlerin kullanımı gerçekleşene kadar belli aralıklarla fiziksel analizler tekrarlanmalı, nem alma durumları incelenmelidir. Maliyet analizi yapılarak ekonomik açıdan etkisinin belirlenmesi bu alana yapılabilecek yatırımlara zemin hazırlayabilir. Daha kapsamlı ve doğru sonuçların elde edilebilmesi için uygulamalı bir pelet üretim tesisi ve sera kurulmalıdır. Sera üretimi sonucunda çıkan materyaller peletlenerek seranın ısıtma sistemi için katı yakacak olarak tüketilmeli ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda eksiklikler ve yenilikler tamamlanarak biyokütle enerjisi kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Yakıt tüketiminde dışa bağımlılığı azaltarak ülke içerisinde yeni iş imkânları oluşturulabilir. Peletlerin ev ısıtma sistemlerinde kullanımını yaygınlaştırmak amaçlı belediyeler kömür yardımı yerine pelet dağıtımını uygulayarak halkı bilinçli tüketime yönlendirebilirler

7. KAYNAKLAR

- Al-Shemmeri, T.T., Yedla, R., and Wardle, D. 2015. Thermal characteristics of various biomass fuels in a small-scale biomass combustor. *Applied Thermal Engineering*, 85: 243-251.
- Acaroğlu, M. 2008. “Türkiye’de Biyokütle-Biyoetanol ve Biyomotorin Kaynakları ve Biyoyakıt Enerjisinin Geleceği”. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES’2008), ss. 351-362, İstanbul.
- Acaroğlu, M., 2003. “Alternatif Enerji Kaynakları”, Atlas yayın, 609 s.
- Adapa, P. K., Singh, A. K., Schoenau, G. J. and Tabıl, L. G. 2006. Pelleting characteristics of fractionated alfalfa grinds: hardness models. *Power Handling and Processing*, 18 (5): 1-6.
- Akın, G., Küresel Isınma, Nedenleri Ve Sonuçları, *Ankara Üniversitesi Dil ve TarihCoğrafya Fakültesi Dergisi* 46, 2. 2006; 29-43.
- Anonim1:http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor_Raporu2016.pdf [Son Erişim: Şubat 2018] Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik ve Araştırma Müdürlüğü.
- Anonim2: EÜAŞ (elektrik üretim anonim şirketi), 2017. elektrik üretim sektör raporu.
- Anonim3: (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2016). Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu).
- Anonim4: UEVEP, 2017. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü [Son Erişim: Mart 2018] http://www.yegm.gov.tr/document/UEVEP%20Sunu_26.03.2018_pdf.pdf
- Ahn, B. J., Chang, H., Lee, S.M., Choi, D.H., Cho, S.T., Han., G., and Yang, I. 2014. Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. *Renewable Energy*, 62: 18-23.
- Aragon-Garita, S., Moya R., Bond B., Valaert J. 2016. Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential energy crops in the Northern Region of Costa Rica, *Biomass and Bioenergy*, 87, 84-95.
- Başçetinçelik, A., Karaca, C., Öztürk, H.H., Kaçıra, M., and Ekinci, K. 2005. Agricultural biomass potential in Turkey. 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture and 27th International Conference of CIRG Section IV, pp. 195-199, 27-29 September, İzmir, Turkey.
- Balasubramanian, D. 2000. Physical properties of raw cashew nut. *Journal of Agricultural Engineering Reserach*, 78: 291-297.
- Biswas, A. K., Rudolfsson M., Umeki K. 2014. “ Effect of pelletizing conditions on combustion behavior of single wood pellet”. *Applied Energy*, 119: 79-84.
- Bilgin, S. 2008. Sera Bitkisel Biyokütle Atıklarının Briketlenmesi, Briket Özelliklerinin ve Yanma Sonu Gaz Emisyonlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 126 s.

- 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.
- Bergström, D., Israelson, 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: 1324-1329.
- Carroll, J. P. and J. Finnan 2012. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. *Biosystems Engineering*, 112(2): 151-159.
- Castellano, J. M., Gomez, M., Fernandez, M., Esteban, L.S., and 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. and Rodriguez, F.L. 2012. Characterization of pellets from industrial tomato residues. *Food and Bioproducts processing*, 90: 700-6.
- Colley, Z.J. 2006. Compaction of switchgrass for value added utilization. M. Sc. Thesis, The Graduate Faculty of Auburn University, 132 p.
- Cubero-Abraca, R., Moya, R., Valaret, J., and 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.
- EN 14774-2. 2009. Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method. Total moisture. Simplified method.
- EN 15103. 2009. Solid biofuels. Determination of bulk density.
- EN 16127. 2012. Solid biofuels. Determination of length and diameter of pellets.
- EN 14961-2. 2013. European Pellet Council. Handbook for the Certification of Wood Pellets for Heating Purposes, Version 2.0.
- EN 16127. 2012. Solid biofuels. Determination of length and diameter of pellets.
- EN 15210-1. 2009. Solid Biofuels. Determination of Mechanical Durability of Pellets and Briquettes – Part 1: Pellets.
- Fasina, O.O. 2008. Physical properties of peanut hull pellets. *Bioresource Technology*, 99: 1259-1266.
- Fournel, S., Palacios, J.H., Morissette, R., Villeneuve, J., Godbout, S., Heitz, M., and Savoie, P. 2015. Influence of biomass properties on technical and environmental performance of a multi-fuel boiler during on-farm combustion of energy crops. *Applied energy*, 141: 247-259.
- 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.
- Grover, P.D., and Mishra, S.K. 1996. Biomass briquetting: Technology and practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, 43 p.

- Goswam, D.Y., and Kreith, F. 2007. Global energy system. In: Kreith F, Goswam D, editors. Handbook of energy efficiency and renewable energy. Florida. Taylor and Francis Grup, LLC, pp. 1-20.
- Hall, D., O., (1997). "Biomass Energy in Industrialized Countries-A", View of the Future For Ecol Manag, 91 p:17-45.
- Holm, J.K., Henriksen, U.B., Hustad, J.E., and Sorensen, L.H. 2006. Yoward An Understanding of Controlling Parameters in Softwood and Hardwood Pellet Production. *Energy and fuel*, 20, 2686-94.
- IEA. 2010. World Energy Outlook, Executive Summary. International Energy Agency, Paris.
- IEA. 2015. (BP statistical Review of world Energy, 2012. British Petroleumb (BP), London, UK).
- IEA. 2015. Key World Energy Statistics. Internaional Energy Agency, Paris.
- IEA,Uluslararası Enerji Ajansı , "World Energy Outlook 2016".
- IEA 2017 Key World Energy Statistics.
- 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.
- Kalıyan, N., and Morey, R.V. 2009. Factor affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33: 337-359.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabul, Y. Ve Kurt R. (2011). "Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi", *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 19, 63-75, Bartın.
- Kashaninejad, M., and Tabıl, L.G. 2011. Effect of microwave-chemical pretreatment on compression characteristics of biomass grinds. *Biosystem Engineering*, 108 (1): 36-45.
- Koç, O. ve Şenel, M. 2013. Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve makine dergisi*, 639: 32-44.
- Koç, E., Kaplan, E. 2008. "Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi," *Termodinamik Dergisi*, sayı 187, s.70-80.
- Koç, E., Kaplan, E. 2008. "Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-II Türkiye Değerlendirmesi," *Termodinamik Dergisi*, sayı 188, s.106-118.
- Koçer A., 2018. "Budama Artıklarının Peletlenmesi, Peletleme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Yanma Sonu Gaz Emisyonlarının Ölçülmesi", Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Küsek G., Güngör C., Öztürk H.H., Akdemir Ş., Tarımsal Artıklardan Biyopelet Üretimi, U. Ü. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2015, Cilt 29, Sayı 2, 137-145.
- Lehtikangas, P. 2001. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, 20: 351-360.
- Liu, Z., Jiang, Z., Cai, Z.,Fei, B., Yu, Y., and Liu, X. 2013. Effects of carbonization conditions on properties of bamboo pellets. *Renewable energy*, 51: 1-6.

- Liu, Z., Quek, A., and Balasubramanian, R. 2014. Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars. *Applied Energy*, 113: 1315-1322.
- Lu, D., Tabıl, L.G., Wang, D., Wang, G., and Emami, S. 2014. Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders. *Biomass and Bioenergy*, 69: 287-296.
- Manı, S., Tabıl, L.G., and Sokhansanj, S. 2003. An Overview of compaction of biomass grinds. *Powder Handling and Process*, 15: 160-168.
- Manı, S., Tabıl, L.G., and Sokhansanj, S. 2004. Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass. *Biomass and Bioenergy*, 27: 339-352.
- Montero, I., Miranda, T., Sepulveda, F. J., Arranz, J. I., and Nogales, S. 2014. Analysis of pelletizing of granulometric separation powder from cork industries. *Materials*, 7: 6686-6700.
- Niedziolka, I., Szpryngiel, M., Kachel-Jakubowska, M., Kraszkievicz, A., Zawislak, K., Sobczak, P., and Nadulsk, R. 2015. Assessment of the energy and mechanical properties of pellets produced from agricultural biomass. *Renewable energy*, 76: 312-317.
- Nilsson, D., Bernesson, S., and Hansson, P.A. 2011. Pellet production from agricultural rawmaterials – A Systems study. *Biomass and Bioenergy*, 35: 679-89.
- Öztürk, H.H. 2012. Enerji bitkileri ve biyoyakıt üretimi, Hasad yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, ss.272.
- Puig-Arnabat, M., Shang, L., Sarossy, Z., Ahrenfeldt, J., and Henriksen, U.B. 2016. From a single pellet pres to a bench scale pellet mill-pelletizing six different biomass feedstock. *Fuel processing technology*, 142:27-33.
- Perlack, R., D., Wright, L.L., Huston, M., A. Ve Schramm, W., E. (1995). “ Biomass Fuel From Woody Crops For Electric Power Generation”, ORNL-6871, L., Martin Energy Systems Inc., September 21 1995., Oak Ridge, Tennessee.
- Razuan, R., Finney, K.N., Chen, Q., Sharifi, V.N., and 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., and White, D.R. 2012. Physical Quality Changes During The Storage of Canola (Brassica Napus L.) Straw Pellets. *Applied energy*, 95: 220-6.
- Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M., and Portero, H. 2011. Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw Pellets. *Fuel Processing Technology*, 92: 699-706.
- Shaw, M.D., Karunakaran, C., and Tabıl, L.G. 2009. Physicochemical characteristics of densified untreated and steam exploded poplar wood and wheat straw grinds. *Biosystem Engineering*, 103 (2): 198-207.
- Sokhansanj, J., and Turhollow, A.F. 2004. Biomass densification-cubing operations and cost for corn stover. *Applied Engineering in Agriculture*, 20: 495- 499.

- Sönmez, İ. 2012. Determination of the optimum mixture ratio and nutrient contents of broccoli wates, wheat straw and manure for composting. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10 (3-4): 972-976.
- Tumuluru, J.S., Wright, C.T., Hess, J.R., and Kenney, K. L. 2011. A review of biomass denisification systems to develeop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels Bioprod. Biorefin.* 5: 683-707.
- Theerarattananoon, K., Xu, F., Wilson, J., Ballard, R., Mckinney, L., Staggenborg, S., Vadlani, P., Pei, Z.J., and Wang, D. 2011. Physical properties of pellets made from sorghum stalk, Corn stover, wheat Straw, and big bluestem, *Industrial Crops and Products*, 33(2): 325-32.
- TUİK.2015. Bitkisel üretim istatistikleri, Tarım ve Orman Alanları, Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr> .[Son erişim tarihi: 21.12.2015].
- Tabıl, L.G.,and Sokhansanj, S. 1996. Pocess conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. *Applied Engineering in Agriculture*, 12: 345-350.
- Tabıl, L.G.,and Sokhansanj, S. 1997. Bulk properties of alfalfa grind in relation to its compaction characteristics. *Applied Engineering in Agriculture*, 13: 499- 505.
- Yakıncı D.Z., Kök M., 2017, Yenilenebilir Enerji ve Toplum Sağlığı, İ.Ü. *Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi* , 5, 1.
- Yanar, R., Kerimoğlu, G., 2011, Türkiye’de Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme ve Cari Açık İlişkisi, *Ekonomi Bilimleri Dersi*, 3, 2, 1309-8020.
- Yılmaz, H., 2014. Bazı Tarımsal Artıkların peletlenmesi ve Pelet Fiziksel özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Werther, J., Saenger, M., Hartge, E.U., Ogada, T., and Siagi, Z. 2000. Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26: 1-27.

ÖZGEÇMİŞ

Sevde ALPARSLAN
sevdealparslan@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2014-2018	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2010-2014	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- Bilgin S., Yılmaz H., Koçer A., Acar M., Dok M., Alparslan S. (2015). Briquetting of rice straw and determination of briquet physical properties, International Scientific XXXVI Ciosta & CIGR Section V Conference, Saint Petersburg, Rusya, pp.78-87.