

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FINDIK ZURUFU İÇİN PELETLEME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Yunus Özcan BAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TC
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FINDIK ZURUFU İÇİN PELETLEME PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ

Yunus Özcan BAZ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

SAMSUN
2019

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Yunus Özcan BAZ tarafından hazırlanan “Fındık Zurufu İçin Peletleme Parametrelerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 18/04/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : **Doç.Dr. Gürkan A.K. GÜRDİL**
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği ABD

Jüri Üyeleri

Başkan: **Dr. Öğr. Üyesi Kemal Çağatay SELVİ**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Üye **Doç. Dr. Gürkan A.K. GÜRDİL**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Üye **Dr. Öğr. Üyesi Bahadır DEMİREL**
Erciyes Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım/..../2019

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğruluğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.



18.04.2019

Yunus Özcan BAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FINDIK ZURUFU İÇİN PELETLEME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Yunus Özcan Baz

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Gürkan A.K. GÜRDİL

Bu çalışmada, ülkemizde her yıl fındık hasadından sonra açığa çıkan fındık zurufu artığının peletlenerek katı biyoyakıt olarak değerlendirilebilme olanakları araştırılmıştır. Denemeler 6 mm ve 10 mm iki farklı öğütme inceliğinde ve %9 ve %12 olmak üzere iki farklı nem içeriğinde materyallerle yapılmıştır. Elde edilen peletlerin fiziko-mekanik özellikleri, yanma sonucu açığa çıkan gaz emisyon değerleri, yanma sonucu açığa çıkan ısı değer ve kül içeriği gibi özelliklerine bakılarak fındık zurufu tarımsal atığı için en uygun peletleme parametreleri tespit edilmiştir. Materyalin nem içeriği ve öğütme inceliğinin; pelet hacim yoğunluğu, pelet yoğunluğu, peletlerin mekanik dayanıklılığı, sertliği, pelet nem içeriği değerleri gibi ölçülen tüm peletleme parametreleri üzerine etkiler, istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur. Elde edilen tüm bu sonuçlara göre fındık zurufu tarımsal artığından elde edilen peletlerin, katı biyoyakıt olarak kullanılmasının hem çevresel faktörler hemde yakıt özellikleri bakımından oldukça uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoyakıt; Pelet; Yenilenebilir enerji; Fındık; Tarımsal artık.

ABSTRACT

Master's Thesis

DETERMINATION OF PELLETING PARAMETERS FOR HAZELNUT HUSKS

Yunus Özcan Baz

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences

Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Doç. Dr. Gürkan A.K. GÜRDİL

In this study evaluation possibilities of hazelnut husk agricultural residues as a solid bio-fuel in the form of pellets were investigated, which comes out of hazelnut production every year in our country. Experiments were done with the material at two different moisture contents (9%, 12%) and with two different particle sizes, 6 mm and 10 mm. Optimum pelleting parameters for hazelnut husk residue regarding to physical-mechanical properties, gas emissions, heating value and ash content after burning were determined. The effect of material moisture content and particle size on the all parameters such as, pellet bulk density, pellet density, mechanical durability, firmness and pellet moisture content were found to be statistically significant. In conclusion, hazelnut husk agricultural residue was found to be very suitable as a solid biofuel in the form of pellets both in environmental and in fuel properties aspects.

Key Words: Biofuel, Pellet, Renewable energy, Hazelnut, Agricultural residues

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında maddi ve manevi yardım ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam sayın Gürkan A.K. GÜRDİL'e ve çalışmalarına katkısı olan değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmam süresince yanımda olan arkadaşlarım Uysal DİLEK, Muahmmmed AĞCE, Barış ARI, Taner ACAR, Bilal DERELİ, Gökhan GÜNEY ve en son olarak bu günlere gelmemde büyük emeği olan saygı değer aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, PYO.ZRT. 1905.15.004 nolu Bilimsel Araştırma Projesi olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmiş ve ayrıca TÜBİTAK tarafından 214O652 nolu Hızlı Destek Programı ile desteklenmiştir.

Nisan 2019, Samsun

Yunus Özcan BAZ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	7
3. MATERYAL YÖNTEM	19
3.1. Materyal.....	19
3.2. Yöntem.....	24
3.2.1. Deneme deseni ve istatistiksel analiz yöntemi.....	24
3.2.2. Materyalin peletlenmeye hazırlanması.....	24
3.2.3 Materyalin peletlenmesi.....	25
3.2.4. Elek analizi.....	25
3.2.5. Pelet yoğunluğunun belirlenmesi.....	26
3.2.6. Hacim yoğunluğunun belirlenmesi.....	26
3.2.7. Mekanik dayanıklılık değerlerinin belirlenmesi.....	27
3.2.8. Pelet sertlik değerlerinin belirlenmesi.....	27
3.2.9. Nem içeriğinin belirlenmesi.....	28
3.2.10. Isıl değerin belirlenmesi.....	29
3.2.11. Kül içeriğinin belirlenmesi.....	29
3.2.11. Baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi.....	30
3.2.12. Makine özgül enerji tüketimi.....	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Materyalin Parçacık Boyut Dağılımı.....	31
4.2. Pelet Hacim Yoğunluğu ve Pelet Yoğunluğu.....	33
4.3. Peletlerin Mekanik Dayanıklılığı ve Sertliği.....	34
4.4. Pelet Nem İçeriği.....	35
4.5. Peletlerin Kül İçeriği ve Isıl Değerleri.....	36
4.6. Peletlerin Baca Gazı Emisyon Değerleri.....	37
4.7. Makine Özgül Enerji Tüketimi.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	43
EKLER	47
EK 1. Nem içeriği %12 olan 6 mm öğütme inceliğindeki bazı peletlerin dayanım grafikleri.....	47
EK 2. Nem içeriği %12 olan 10 mm öğütme inceliğindeki bazı peletlerin dayanım grafikleri.....	50
EK 3. Nem içeriği %9 olan 6 mm öğütme inceliğindeki bazı peletlerin dayanım grafikleri.....	53
EK 4. Nem içeriği %9 olan 6 mm öğütme inceliğindeki bazı peletlerin dayanım grafikleri.....	56
ÖZGEÇMİŞ	59



SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

Tm ³	Tirilyon metreküp
ppm	Milyonda bir parçacık sayısı
°C	Santigrat
CO ₂	Karbondioksit
CO	karbonmonoksit
O ₂	Oksijen
NO	Azot monoksit
kN	Kilonewton
MPa	Megapaskal
kPa	Kilopaskal
N	Newton
kg	Kilogram
kg/h	Kilogram bölü saat
kg/m ³	Kilogram bölü metreküp
kg/cm ²	Kilogram bölü santimetre kare
kWh/kg	Kilowatt saat bölü kilogram
kW	Kilowatt saat
MJ/kg	Megajoule bölü kilogram
J	joule
kWh/t	Kilowatt saat bölü ton
mm/min	Dakika milimetre
g	Gram
mm	Milimetre
d/d	Dakikada devir
Hz	Hertz

KISALTMALAR

EN	Avrupa Birliği Standardı
IKHKKY	Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
Mt	Milyar Ton
MTEP	Milyar Ton Eşdeğer Petrol

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Fosil kökenli kaynaklar.....	1
Şekil 1.2. Enerji kaynakları kullanımı	2
Şekil 1.3. Düzkalıplı (a) ve çember kalıplı (b) peletleme teknolojileri.....	4
Şekil 3.1. Bıçaklı tip değirmen.....	19
Şekil 3.2. Elek analiz seti	20
Şekil 3.3. Hacmi belli olan kap	20
Şekil 3.4. Peletleme makinası	21
Şekil 3.5. Ecocell kurutma fırını	21
Şekil 3.6. Mekanik dayanıklılık test cihazı	22
Şekil 3.7. Lloyd basınç dayanımı test cihazı.....	22
Şekil 3.8. Kalorimetre cihazı.....	23
Şekil 3.9. Kül fırını	23
Şekil 3.10. Baca gazı analizörü ve pelet sobası	24
Şekil 3.11. Elde edilen peletlerin görünümü.....	25
Şekil 4.1. Elek analizi sonrası 6 mm öğütülmüş materyalin görünümü.....	31
Şekil 4.2. Elek analizi sonrası 10 mm öğütülmüş materyalin görünümü.....	32



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye'nin biyokütle artık potansiyeli	3
Çizelge 1.2. Türkiye'de fındık üretimi ve tahmini artık miktarı.....	4
Çizelge 3.1. Peletleme yapılan materyalin fiziksel özellikleri.....	25
Çizelge 4.1. Öğütme inceliği 6 mm olan materyalin parçacık boyut dağılımı	31
Çizelge 4.2 Öğütme inceliği 10 mm olan materyalin parçacık boyut dağılımı	32
Çizelge 4.3. Pelet hacim yoğunluğu ve pelet yoğunluğu.....	33
Çizelge 4.4. Peletlerin mekanik dayanıklılığı ve pelet sertliği.....	34
Çizelge 4.5. Pelet nem içeriği değerleri	36
Çizelge 4.6. Kül içeriği, ısı değeri (kuru baz).....	36
Çizelge 4.7. Yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri (kuru baz)	37
Çizelge 4.8. Isınmadan kaynaklı hava kirliliği kontrol yönetmeliği değerleri.....	37
Çizelge 4.9. Makine özgül enerji tüketimi	38



1. GİRİŞ

Enerji, çeşitlendirilmesine bağlı olarak değişik amaç ve sektörlerde kullanılan mutlak değerdir. Enerji olmadan barınmak, pişirmek, ısınmak, ulaşım, iletişimden bahsetmek mümkün değildir ve bu yüzden farklı kaynaklardan da olsa elde edilip medeniyet, sağlık ve canlılığın hizmetine sunulmak zorundadır (Akınerdem, 2014). Son yıllarda artan dünya nüfusu, sanayileşme, kentleşme, yaşam standartlarının yükselmesi gibi etkenler ile enerji tüketimi hızla arttırmakta ve enerji kaynaklarının tükenmesine yol açmaktadır. Bunun sonucunda günümüz dünyasında enerjinin önemi gittikçe artmış ve yenilenebilir çevre dostu alternatif enerji kaynakları ilgi görmeye başlamıştır (Ünal ve Kızılaslan, 2014). Bu alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin önemli nedenlerinden birincisi enerji kaynaklarının sınırlı olması, ikincisi ise çevresel sorunlardır.

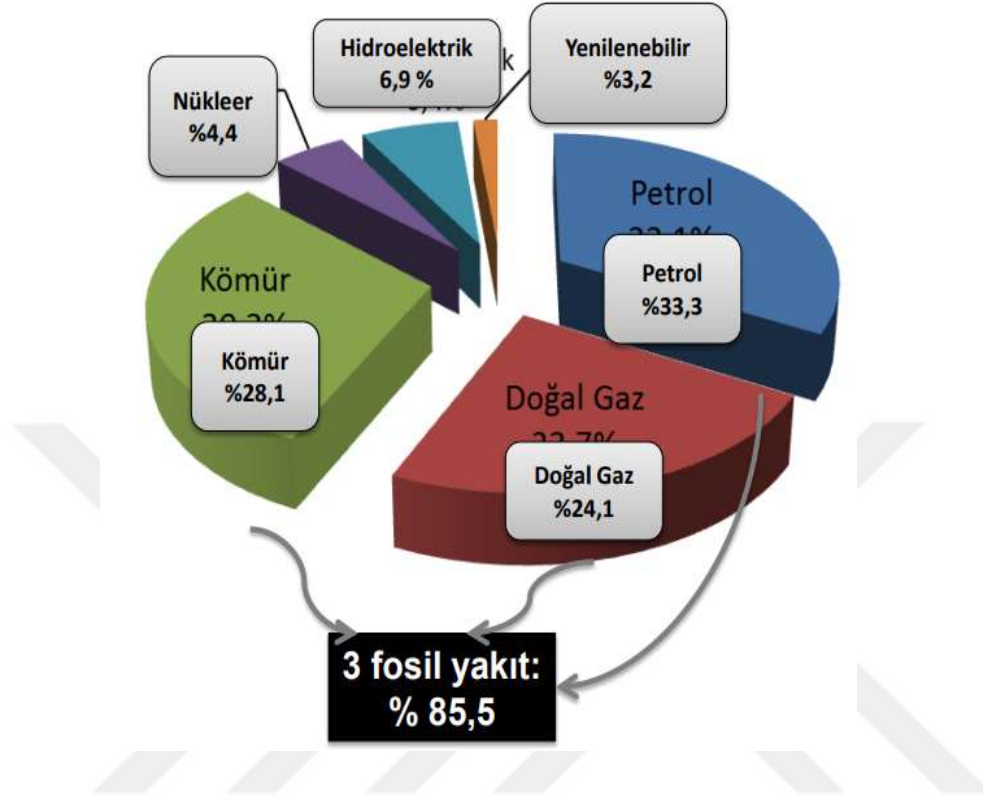
2017 yılı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verileri dünyadaki fosil kaynaklı yakıt rezervleri bakımından incelendiğinde kömür 892 Mt (milyar ton), doğal gaz 186.9 Tm³ (trilyon metreküp) ve petrol 239 Mt (milyar ton) olarak ön görülmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Fosil kökenli kaynaklar

Dünyada kullanılmakta olan enerji kaynaklarının çoğu birincil (fosil kökenli) enerji kaynaklarından elde edilir. Dünyada birincil enerji kullanımında en büyük pay %33.3 ile petrol, %28.1 ile kömür, %24.1 ile doğal gaz, %4.4 ile nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise % olarak gerçekleşmektedir (Şekil 1.2). Görüldüğü gibi dünyada enerji üretiminin büyük payı birincil enerji kaynaklarından gerçekleşmekte ve ilerleyen yıllarda fosil kökenli kaynakların azalacağı

öngörülmektedir. Bunun sonucunda artan enerji ihtiyacı ve sınırlı enerji kaynaklarının tükenmesi ile birlikte enerji açığının meydana geleceği tahmin edilmektedir (Anonim 3, 2017).



Şekil 1.2. Enerji kaynakları kullanımı

Ayrıca fosil kökenli yakıtlar yakıldığında; karbondioksit, kükürt dioksit, azot oksit, toz ve kurum atmosfere salınmaktadır. Karbondioksit ve benzeri sera gazları küresel ısınmaya yol açarak insanların yaşamlarını önemli derecede tehdit etmektedir (Gençoğlu, 2002). Kullanılan bu fosil yakıtlar sonucunda; atmosferde yıllardır 180-280 ppm arasında değişmekte olan CO₂ değeri son yarım yüzyılda hızla artmış ve 450 ppm seviyelerine ulaşmıştır. Buna bağlı olarak dünyanın ortalama sıcaklık değerinde 2 °C'lik artış olacağı belirtilmiştir. Bir diğer senaryo ise 2030 yılı için fosil yakıt tüketiminin devam etmesi durumunda atmosferde sera gazlarının konsantrasyonunun 1000 ppm CO₂ eşdeğerini aşacağı ve buna bağlı olarak sıcaklığın 6 °C'den fazla artacağı ve deniz seviyesinin 3.7 m artıp deniz kenarındaki arazilerin %50'sinin sular altında kalacağı belirtilmiştir (IEA, 2009). Fosil enerji kaynaklarının atmosferde oluşturduğu kirliliğin farkına varılması ve fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına (biyokütle, güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal ve dalga enerjisi) yönelik çalışmalar artmıştır.

Dünyada artan nüfus ve sanayileşme ile giderek artan enerji gereksinimini, çevreyi kirletmeden sürdürülebilir olarak sağlayabilecek enerji kaynaklarından biri de biyokütle enerjisidir. Biyokütle; genel olarak güneş enerjisini fotosentez yardımıyla organik formlarda depolayan bitkisel organizmalardır (Topal ve Arslan, 2008). Bu özelliğinden dolayı biyokütlerde fosil kökenli yakıtlarda bulunan zararlı gazlar bulunmaz ve çevreyi kirletme sözkonusu değildir. Ayrıca biyokütle kaynaklarından çeşitli işlemler sonucu katı, sıvı, gazlı vb. ürünler elde edilip bu ürünlerin yakılması ile ısı ve elektrik enerjisi üretilmesi mümkün olmaktadır. Biyokütle kaynaklarını tarımsal artıklar, hayvansal artıklar, kentsel artıklar olarak sınıflandırabiliriz. Ülkemizin bir tarım ülkesi olduğu göz önüne alındığında tarımsal artık potansiyelinin oldukça yüksek olduğu söylenebilir. Ülkemizde her yıl yaklaşık olarak 96.4 Mt tarımsal artık, 163.2 Mt hayvansal artık ve 31.3 Mt kentsel artık meydana gelmektedir (Anonim 5, 2019).

Çizelge 1.1. Türkiye'nin biyokütle artık potansiyeli

Artık Türü	Toplam Artık Miktarı (Mt/yıl)	Toplam Enerji Değeri (MTEP/yıl)
Hayvansal Artık	163.2	1.1
Tarımsal Artık	96.4	39.8
Kentsel Artık	31.3	2.3

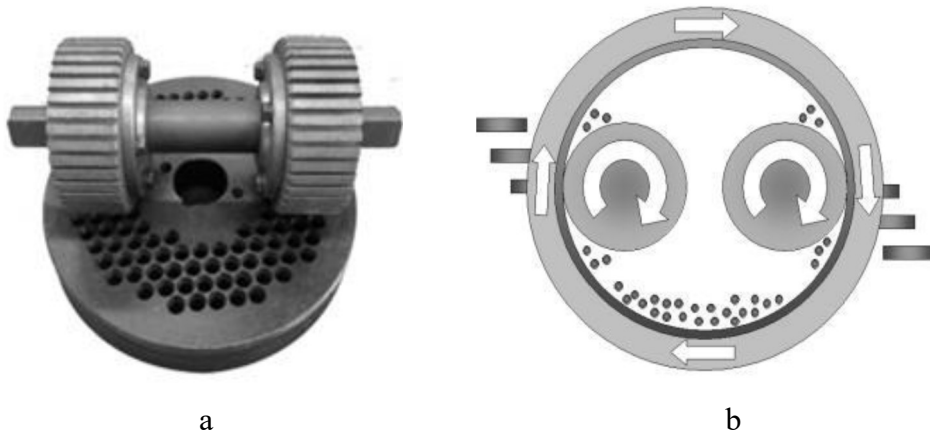
Bu tarımsal artıkların büyük bir bölümü ya tarlalarda yakılmakta yada hayvanların altlarına serilmekte veya hayvanlara yem olarak sağlanmak amacıyla depolanmaktadır. Ayrıca bu tarımsal artıklar bölgeden bölgeye farklılık göstermekte ve bu tür tarımsal artıklar uygun yöntemlerle işlenerek biyoyakıtlara dönüştürülebilmektedir. Çizelge 1.1.'de Türkiye'de fındık üretim miktarı ve tahmin edilen artık miktarları verilmiştir (Anonim 1, 2017).

Çizelge 1.2. Türkiye’de fındık üretimi ve tahmini artık miktarı

Yıl	Ekim alanı (Ha)	Üretim (ton)	Tahmin Edilen Artık Miktarı (ton)
2017	705.500	670.000	301.500
2016	705.445	420.000	189.000
2015	702.628	646.000	290.700
2014	701.141	450.000	202.500

Katı biyoyakıtlar hammaddenin önce öğütülerek ince parçacıklar haline getirilip daha sonra uygun yöntemlerle (peletleme ve briketleme) yüksek basınçta sıkıştırılarak daha büyük kütleli yakıtların meydana gelmesi sonucu oluşur. Peletler genellikle 6-12 mm çapında ve 10-30 mm uzunluğundadır. Biyokütle materyalinin sıkıştırılarak küçük boyutlarda daha büyük kütleler haline getirilmesine peletleme denir (Öztürk, 2012). Peletleme işlemi ile materyalin yoğunluğu artmakta, taşıma, depolama ve nakliye masrafları azalmakta, boyut ve şekilde homojenlik sağlanmakta, ısıl amaçlı kullanımlarda sistemleri otomatik olarak beslemeye imkan tanımakta ve materyalin daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (Werther vd, 2000; Mani vd, 2003; Holm vd, 2006; Nilsson vd, 2011; Theerarattananoon vd, 2011; Celma vd, 2012). Bu özelliklerinden dolayı peletleme diğer yöntemlere göre daha cazip gelmekte ve geliştirilmektedir.

Günümüzde peletleme teknolojileri olarak düz ve çember kalıplı peletleme makinaları kullanılmaktadır. Düz ve çember kalıplı pelet makinalarında materyal kalıp ile dönen sıkıştırma silindiri arasında sürekli sıkışarak kalıpta bulunan deliklerden peletlenmiş olarak çıkmaktadır (Öztürk, 2012).



Şekil 1.3. Düzkalıplı (a) ve çember kalıplı (b) peletleme teknolojileri

Peletlerin boyutları, yakma işlemleri ve yakma sistemlerinin tasarımında oldukça önemlidir. İnce peletler küçük kapasiteli yakma sistemlerinde iyi yanma oranı sağlarken, pelet uzunlukları otomatik yakıt besleme sistemleri için önemli bir etken olmakta, kısa peletler otomatik yakıt besleme sistemlerinde daha rahat bir akış sağlamaktadır (Lehtikangas, 2001). Pelet yoğunluğu depolama, taşıma ve nakliye masraflarını önemli ölçüde etkilemektedir (Lehtikangas, 2001; Sokhansanj ve Turhollow, 2004; Tumuluru vd, 2011).

Peletlerin son kullanıcıya gelinceye kadar dayanıklı olması önemli bir kriterdir. Pelet dayanıklılığının %80 ve yukarısında olması yüksek kaliteli pelet, %70-80 arasında olması orta kaliteli pelet ve %70'in altında olması düşük kaliteli pelet olduğunu göstermektedir (Tabil ve Sokhansanj, 1996; Tabil ve Sokhansanj, 1997).

Peletleme işleminde sıcaklık peletlerin fiziksel özelliklerinde ve sıkıştırma için gereksinim duyulan enerji miktarında büyük rol oynamaktadır. Isı ilavesi, sıcak buhar, materyalin ön ısıtılması veya kalıp bölümüne ısıtma sistemlerinin eklenmesiyle ısı ilavesi mümkün olmaktadır (Mani vd, 2003). Ayrıca sıcaklık artışı materyal ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeyi önemli derecede etkilemekte ve peletleme işleminin daha akıcı bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır (Colley, 2006). Görüldüğü gibi peletleme işleminin kalitesini arttırmak için ek ilave sistemler pelet makinalarına eklenerek kullanılması mümkündür.

Bilindiği üzere ülkemiz fındık yetiştiriciliği ile dünya fındık ihtiyacının %70'ni tek başına karşılamaktadır. Böyle üretim potansiyeli yüksek olan fındığın harmanlama işleminden geriye kalan zuruf kısmı genelde değerlendirilmeyip tarlalarda gelişi güzel yakılmakta, hayvanların altlarına serilmekte ve tarlalarda gübre niyetine toprağa karıştırılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, her yıl fındık hasadından sonra açığa çıkan fındık zurufu tarımsal artığını pelet formunda katı biyoyakıt olarak değerlendirme olanaklarını araştırmak ve fosil kökenli yakıtların yerine alternatif temiz bir enerji kaynağı geliştirmektir. Bu amaçla elde edilen peletler için fiziko-mekanik, yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değeri, kül içeriği ve ısı değerleri gibi en uygun parametreler tespit edilecektir.



2. KAYNAK TARAMASI

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

Gürbüz vd, (2003) tarafından, melasın diğer pelet bağlayıcılar ile pelet kalitesine olan etkisini karşılaştırmak için yapılan çalışmada, 6 mm elek çapına sahip çekiçli değirmende öğütölmüş ve karma yem materyaline melas, lignobond, aquaküp bağlayıcıları sırasıyla, %2.45, %0.30, %0.50 oranında eklenmiştir. Farklı pelet bağlayıcılarla elde edilen peletlerin makine kapasiteleri sırasıyla 3.03 t/h, 3.9 t/h ve 3.6 t/h, kalite kontrol etkinlikleri 3.29, 3.95, 3.61, özgöl enerji tüketimleri 9.29 kWh/t, 24.44 kWh/t, 26.84 kWh/t, pelet dayanıklılıkları %96.5, %96.7 ve %96.85, ufalanma oranları %3.5, %3.3 ve %3.15 olarak bulunmuştur. Kuzu besi karma yemlerinde pelet bağlayıcı olarak kullanılan melas, lignobond ve aquaküp arasında pelet kalite kriterleri bakımından çok önemli bir fark görölmemiştir.

Colley (2006), tarafından yapılan çalışmada enerji bitkisi olan darı bitkisi (Switchgrass) peletlenmiş ve elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri belirtilmiştir. Darı bitkisinin peletlenebilirliği, pelet yoğunluğu ve makinanın özgöl enerji tüketimleri üzerine hammadde nem içeriği, sıcaklık ve kalıp boyutlarının etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda 3924 N'luk bir sıkıştırma kuvveti ile pelet yoğunluğunun hammadde parçacık boyutunun azalması (7.9 mm'den 4.8 mm'ye) ile arttığını göstermiştir. Aynı zamanda sıcaklığın (60-90⁰C) pelet yoğunluğunu arttığı görölmüştür. Sıcaklık artışının makinanın özgöl enerji tüketimi üzerine herhangi bir etkisi olmadığı saptanmıştır. Elde edilen peletlerin yoğunluğu 850-1250 kg/m³ arasında değişmiştir. Nem içeriği; peletlerin sertliğini, dayanıklılığını, pelet yığın yoğunluğunu ve parçacık yoğunluğunu önemli derecede etkilemiştir. Peletlerin koparılması için ihtiyaç duyulan kuvvet %6.32 nem içeriğinde 32 N, %17.4 nem içeriğinde ise 22 N olarak tespit edilmiştir. En yüksek pelet dayanıklılığı %8.62 nem içeriğinde elde edilmiştir. Depolama süresince çevredeki havanın bağıl nemi peletlerin nem absorbe etmesini önemli ölçüde etkilemiştir.

Mani vd, (2006), tarafından yapılan çalışmada buğday 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) peletlenmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek pelet yoğunluğu (1136 kg/m³) mısır koçanı örneklerinin %12 nem içeriğinde 3.2 mm parçacık boyutunda düşük sıkıştırma kuvveti uygulanması sonucu elde edilmiştir. Mısır koçanındaki yüksek protein düşük sıkıştırma kuvvetlerinde dahi açığa çıkan yüksek sıcaklığın etkisi ile eriyerek yapıştırıcı görevi görmüştür. Sıkıştırma kuvveti, materyalin parçacık boyutu ve nem içeriği peletlerin yoğunluğunu önemli derecede etkilemiştir. Materyalin parçacık boyutunun azalması ile pelet yoğunluğu artarken, nem içeriğinin artması ile pelet yoğunluğunun azaldığını belirtmişlerdir. Ancak, buğday samanında farklı parçacık boyutları pelet yoğunluğu üzerinde önemli bir etki göstermediğini söylemişlerdir. Sıkıştırma kuvvetinin artması pelet yoğunluğunu arttırdığını belirtmişlerdir.

Bergström vd, (2008) tarafından yapılan çalışmada orman endüstri atığı olan sarıçam talaşı peletlenmiş ve peletleme işlemi ile peletlerin fiziksel ve termokimyasal karakteristikleri üzerine hammadde parçacık boyutu dağılımının etkileri araştırılmıştır. Çalışmada 300 kg/h 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. Ayrıca peletlerin kurutma, ön piroliz, alev pirolizi, karbonlaşmış yanma ve karbonlaşma verimi gibi termokimyasal karakteristikleri farklı deneysel şartlar altında belirlenmiştir. Çalışma sonunda parçacık boyutu dağılımının güç tüketimi ve basınç dayanımı üzerine etkisinin az olduğu, pelet yoğunluğu, nem içeriği, nem alma ve aşınma direncine belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen peletlerin yoğunluğu yaklaşık olarak 1270 kg/m³ ve aşınma direnci %99 olarak tespit edilmiştir.

Fassina (2008) tarafından yapılan çalışmada yerfıstığı kabukları laboratuvar ölçekli peletleme makinesinde peletlenmiş ve 4.76 mm çapında peletler elde edilmiştir. Peletleme öncesi örnekler sıcak buhar ile nemlendirilerek sıcaklığı yükseltilmiştir. Peletlerin fiziksel özellikleri (pelet boyu, pelet yığın ve parça yoğunluğu, pelet nem alma ve pelet eşdeğer nem içeriği) üzerine pelet nem içeriğindeki (yaş bazda %4.2-21.2) değişimin etkisi belirlenmiştir. Peletleme işleminden sonra peletler farklı nem içeriklerine getirilmiş (%4.2, %9.1, %12.3, %15.4

ve %21.2) ve pelet fiziksel özellikleri bu işlemlerden sonra belirlenmiştir. Çalışma sonunda pelet yığın ve parça yoğunluğunun nem içeriğindeki artış ile doğrusal olarak azaldığı belirlenmiştir. Peletleme işlemi ile hammaddenin yığın yoğunluğu 151 kg/m^3 'ten 600 kg/m^3 'e çıkmıştır. Peletlerin dayanıklılığı başlangıçta nem içeriğinin artışı ile artmış ve %9.1 nem içeriğinde %90.3 ile maksimum değere çıkmıştır. Nem içeriğinin daha da fazla artması pelet dayanıklılığını azaltmış ve %21.2 nem içeriğinde %76 ile en düşük değer olarak tespit edilmiştir. Çevre sıcaklığına bakılmaksızın, peletlerin %60-80 nem içeriğine sahip bir ortamda nem aldığı, fakat %45 nem içeriğine sahip bir ortamda nem kaybettiği görülmüş ve peletlerin 48 saatlik bir sürede nemlendirilmiş hava ile temas ettiğinde en fazla %4.9'a kadar nem absorbe ettiğini belirtmişlerdir.

Gil vd, (2010) bu çalışmada farklı biyokütle (çam, kiraz ve okaliptüs talaşları, selüloz artıkları, kahve kabukları ve üzüm artıkları) örnekleri ve biyokütle örnekleri iki farklı kömür çeşidi ile karıştırılmış örnekler peletlenmiştir. Peletleme makinesi olarak kalıp-piston düzeneği kullanılmış ve 8 mm çapında silindirik peletler elde edilmiştir. Pelet üretiminde kullanılan hammadde özelliklerinin optimum değerlerinin belirlenmesi için peletlerin mekanik özellikleri ve yanma davranışları sırası ile aşınma indeksi ve termogravimetrik analiz yardımıyla incelemişlerdir. Çalışma sonunda üzüm artığı ve kahve kabuklarından elde edilen peletlerin en düşük, kiraz ve çam talaşından elde edilen peletlerin ise en yüksek dayanıklılığa sahip oldukları belirlenmiştir. %10-30 arası kiraz talaşı ile çam talaşı karışımlarının pelet üretimi için en iyisi olduğu görülmüştür. Kiraz + çam talaşı ile selüloz artıkları + kömür(<%20) karışımlarından elde edilen peletlerin dayanıklılığında azalma olmadığını tespit etmişlerdir. Biyokütle karışımından elde edilen peletler ile peletlenmiş hammaddenin yanma profilleri benzerlik göstermiştir. Biyokütle örneklerine az miktarda kömür eklenmesi karışımların ısı karakteristیکlerini etkilemediğini belirtmişlerdir.

Razuan vd, (2011) hurma yağı fabrikalarından çıkan hurma çekirdeği küspesi peletlenmiş ve peletlerin fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmada 2.5 mm ortalama çapa ve %7.9 nem içeriğine sahip hurma çekirdeği küspeleri maksimum sıkıştırma basıncı 70 MPa olan peletleme makinesinde 5 saniye süre ile 20-100 °C arasında sıcaklıklarda peletlenmiştir. Yoğunluk ve çekme dayanımı üzerine önemli etkilere sahip peletleme basıncı, sıcaklık, nem içeriği ve yapıştırıcı madde gibi değişkenlerin etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda pelet yoğunluğunun

1184-1226 kg/m³ ve çekme dayanımının 930-1007 kPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Aynı şartlar altında yapıştırıcı madde olarak az miktarda sodyum hidroksit eklenmesinin (%1.5-2) çekme dayanımını 3055 kPa'a çıkarmıştır. Yüksek nem içeriğinde (%15) yapılan peletleme işleminde peletlerin hemen dağıldığı, düşük nem içeriğinde (%5) yapılan peletleme işleminde peletlerin hemen kırıldığı tespit edilmiştir. Peletleme basıncının ve sıcaklığının artması hem pelet yoğunluğu hem de çekme dayanımını arttırmıştır. Ayrıca %2 sodyum hidroksit katkılı hurma çekirdeği küspesi peletlerin üretim maliyetlerinin ortalama 196-329 TRY/t arasında değiştiğini hesaplamışlardır.

Serrano vd, (2011) tarafından yürütülen bu çalışmada, arpa samanı + çam talaşı karışımı düz kalıp dairesel sıralı delikli peletleme makinesinde peletlenmiş ve peletleme işlemi süresince kalıp sıcaklığı ölçülmüş ve materyal nemi kalıp girişinde hassas bir şekilde kontrol edilmiştir. Elde edilen peletlerin mekanik dayanımı, yoğunluğu, uzunluğu ve nem içeriği belirlenmiş ve bu parametreler pelet ısı değeri ve kül içeriği ile birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda hammadde bileşiminin az da olsa peletleme işlemi ile değiştiği görülmüştür. Yüksek yoğunluklu arpa samanı peleti üretimi için optimum nem içeriğinin %19-23 arasında olması gerektiği belirlenmiş ve elde edilen peletlerin nem içeriğinin %6.1-8.2 arasında değiştiği görülmüştür. Hammadde nem içeriğinin artması peletlerin mekanik dayanımını ve pelet uzunluğunu artırırken, pelet yoğunluğunu azaltmıştır. Sadece arpa samanından elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılığı %95.5 ve arpa samanına az miktarda çam talaşı eklendiğinde (yaş bazda karışım oranı %2, %7 ve %12) mekanik dayanıklılık değeri %97-98 olduğunu söylemişlerdir. Pelet yoğunluğu 1300-1400 kg/m³ arasında elde edilmiştir. Ayrıca peletleme işlemi arpa samanının net ısı değerinde küçük bir azalma meydana getirmiş ve arpa samanına çam talaşının eklenmesi peletlerin kül içeriğini düşürmemiş ve kül içeriği %10 civarında elde edilmiştir. Bu değerlerin odunsu olmayan peletler için verilen kül içeriği (%5) üst sınırın üstünde olduğu belirtmişlerdir.

Theerarattananoon vd, (2011) tarafından yapılan bu çalışmada peletleme işlemi ile materyalin yığın yoğunluğunun arttığı, depolanabilirliğinin iyileştiği, nakliye masraflarının azaldığı ve bu materyallerin mevcut tahıllar için kullanılan depolama ve taşıma ekipmanları ile daha kolay taşınabildiği belirtilmiştir. Çalışmada mısır koçanı, buğday samanı, sorgum sapı ve Kuzey Amerika bitkisi olan hindi budu otu

(*Andropogon gerardii*) bitkisinden elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri belirlenmiş, peletin yığın ve parçacık yoğunluğu ve dayanıklılığı üzerine nem içeriğinin, çekiçli değirmen elek çapının ve kalıp delik uzunluğunun etkileri incelenmiştir. Materyaller 22 kW gücünde 1.5 t kapasiteli peletleme makinasında peletlenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek pelet yığın yoğunluğu (495.8 kg/m^3) buğday samanı peletinde, en düşük (265.2 kg/m^3) ise sorgum sapı peletinde elde edilmiştir. Materyal nem içeriğindeki artışın peletlerin hem yığın hem de parçacık yoğunluğunu azalttığı belirtilmiştir. Peletlerin dayanıklılığı üzerine nem içeriğinin etkisi mısır koçanı peleti için %9-14 eşdeğer nem içeriği aralığında, hindi budu otu için %9-11 eşdeğer nem içeriği aralığında mekanik dayanıklılık %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 eşdeğer nem içeriği aralığında maksimum %89.5 olduğunu bildirmişlerdir. Daha büyük elek çapına sahip çekiçli değirmen kullanımının (3.2 mm'den 6.5 mm elek çapı) peletlerin yığın ve parçacık yoğunluğunu ve dayanıklılığını artırdığı fakat bunun önemli düzeyde olmadığını söylemişlerdir. Daha büyük kalıp delik uzunluğu (31.8 mm'den 44.5 mm) peletlerin yığın ve parça yoğunluğunu ve dayanıklılığını önemli derecede arttığını belirtmişlerdir.

Zamorano vd, (2011) tarafından yapılan çalışmada zeytin ağacı, zeytin ağacı yaprakları, badem ağacı, kavak ve pırnal meşe ağaçları budama artıkları 6-8 mm aralığında öğütülmüş ve 8 mm çapında peletler elde edilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde pelet yoğunlukları sırasıyla zeytin ağacı 1259.2 kg/m^3 , zeytin ağacı yaprakları 1083.5 kg/m^3 , badem ağacı 1187.2 kg/m^3 , kavak 1151.2 kg/m^3 , pırnal meşe 1124.5 kg/m^3 olarak belilemişlerdir. Hacim yoğunlukları sırası ile 582.5 kg/m^3 , 481.5 kg/m^3 , 575.3 kg/m^3 , 523.4 kg/m^3 , 558.5 kg/m^3 olarak belirtmişlerdir. Zeytin ağacından elde edilen peletler dışındaki diğer peletlerin birbirine yakın değerlere sahip olduğunu, zeytin ağacı yapraklarından elde edilen peletlerin düşük kalitede olduğunu belirtmişlerdir.

Celma vd, (2012) tafafından yapılan çalışmada domates işleme tesislerinden çıkan domates biyokütle artıkları (başlıca kabuk ve tohum) kurutma işlemlerinden sonra peletlenmiş ve 6 mm çapında peletler elde edilmiştir. Elde edilen peletlerin başta hayvan yemi olarak, likopen ekstraksiyonu ve hatta enerji üretiminde yakıt olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. Çalışmada denemeler, 5 farklı nem içeriğinde (yaklaşık

olarak %20, 29, 34 ve 38) gerçekleştirilmiş ve peletleme makinesi olarak 50 kg/h kapasiteli düzkalıp dairesel sıralı makine kullanılmıştır. Çalışma sonunda peletlerin yığın ve parçacık yoğunluğunun, pelet sertliğinin ve dayanıklılığının hammadde nem içeriğinden önemli derecede etkilendiği belirtilmiştir. Biyokütle başlangıç nem içeriğindeki belirli orandaki artışların (%67'ye kadar) meydana gelmesi peletlerin fiziksel özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlamış ve pelet yığın yoğunluğunda %50, pelet parçacık yoğunluğunda %18, pelet sertliğinde %35-75 ve pelet dayanıklılığında ise %88 oranında artış meydana gelmiştir. Ancak, biyokütle nem içeriğinin %20'nin altında olması durumunda peletleme işleminin başarısız olmasına neden olduğu ve pelet fiziksel özelliklerini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Peletlerin maksimum yığın yoğunluğunun 350 kg/m³ olduğu belirlenmiştir. Peletlerin dayanıklılığının, nem içeriğindeki artış ile %9.09 pelet nem içeriğinde mekanik dayanıklılık değeri %91.2 ile maksimum değere ulaştığını belirlemişlerdir.

Larsson ve Rudolfsson, (2012) tarafından yapılan çalışmada enerji bitkisi olan %8-15 nem içeriğine sahip kuruyemiş karışımı (*Phalaris arundinacea* L.) maksimum kapasitesi 300 kg/h olan peletleme makinesi ile peletlenmiş ve pelet kalitesi parametreleri olan pelet yığın yoğunluğu, pelet dayanıklılığının optimizasyonu farklı parametreler altında deneysel olarak gerçekleştirilmiş ve makinenin özgül enerji tüketim değerleri belirlenmiştir. Kontrol parametreleri olarak kalıp sıcaklığı, hammadde nem içeriği ve buhar ilavesi dikkate alınmışlardır. Çalışma süresince sıcaklık kontrol edilmiş ve diğer faktörler bağımsız olarak değiştirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar sürekli bir pelet üretimi için düşük bir kalıp sıcaklığının gerekli olduğunu ve yüksek pelet kalitesi elde etmek için optimizasyon ayarlarının seçiminin önemli bir rol oynadığını söylemişlerdir. Çalışma sonunda en yüksek pelet yığın yoğunluğuna düşük hammadde sıcaklığında ve düşük materyal nem içeriğinde elde etmişlerdir. Kalıp sıcaklığının pelet yığın yoğunluğuna ve pelet dayanıklılığına etkisi istatistiksel olarak önemli bulmuşlar, pelet yığın yoğunluğu ve pelet dayanıklılığı ile kalıp sıcaklığı arasında negatif bir ilişkinin olduğu saptamışlardır. %97.5'ten daha yüksek pelet dayanıklılığı ve 600 kg/m³'ten daha yüksek pelet yığın yoğunluğu elde etmek için parametrelerin 30 °C kalıp sıcaklığı ve yaklaşık olarak 30-40 °C (2-4 kg buhar/h eşdeğeri) materyal sıcaklığının olması gerektiği belirtmişlerdir.

Santamarta vd, (2012) tarafından yapılan bu çalışmada kanola bitkisinin elde edilebilir olması, nispeten yüksek ısı değer ve düşük nem içeriğinden dolayı uygun

bir alternatif yakıt olduğu belirtilmiş ve kanola bitkisi samanı peletlenmiştir. Elde edilen peletlerin 48 haftalık bir depolama süresince kalite özelliklerindeki (pelet aşınma direnci, basınç dayanımı, pelet parçacık yoğunluğu ve pelet boyutları) değişimleri incelenmiştir. Çalışmada hammadde nem içeriği %13.5-15.7, pelet nem içeriği ise %9.3-12.1 arasında değişmiştir. Çalışma sonunda pelet aşınma direncinin depolama süresince değişmediğini, pelet parça yoğunluğunun ve basınç dayanımının depolama süresinin uzunluğu ile değiştirdiğini ve 48 haftalık depolama süresi boyunca pelet yoğunluğunun önemli derecede azaldığını belirtmişlerdir. Pelet parça yoğunluğu ile hammadde nemi içeriği arasında herhangi bir ilişki olmadığını söylemişlerdir. Depolama süresince pelet çapında herhangi bir değişim olmazken, peletlerin uzunluğu kırılmalara bağlı olarak depolama süresince azaldığını, ayrıca aşınma direnci ile diğer kalite özellikleri arasında herhangi bir ilişkinin olmadığı belirtilmiştir.

Liu vd, (2013) tarafından yapılan bu çalışmada öğütölmüş bambu bitkisi öncelikli laboratuvar ölçekli peletleme makinesi kullanılarak peletlenmiş, bambu peletlerinin özellikleri üzerine karbonlaştırma şartlarının (sıcaklık ve zaman) etkileri belirlenmiş ve ürün özellikleri değerlendirilmiştir. Peletler 180-220 °C sıcaklıklarda 30-75 dakika süre ile karbonize edilmiştir. Karbonlaştırma işleminden sonra peletler 7 gün süre ile çevre şartlarında bekletilmiş ve pelet özellikleri 7 günün sonunda belirlenmiştir. Çalışma sonunda karbonlaştırma şartlarının bambu peletlerinin özelliklerini etkilediği belirlenmiştir. Birim kütle kaybı, pelet nem alma, pelet yığın yoğunluğu, pelet parça yoğunluğu, pelet ısı değer ve yanma verimi gibi bazı özellikler üzerine karbonlaştırma sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu belirtmişler fakat karbonlaştırma zamanının etkisinin önemli olmadığını belirtmişlerdir. Karbonlaştırma işleminden sonra nem alma, dayanıklılık, ısı değer, yanma verimi ve ısı yayılma oranı gibi pelet özelliklerinin iyileştiği görölmüştür. Bu sonuçlar işlem görmemiş pelet özellikleri ile karşılaştırıldığında karbonize olmuş pelet özelliklerinin düşük kaliteye sahip olduğunu söylemişlerdir. Sonuç olarak karbonize olmuş bambu peletlerinin katı yakıt olarak kullanılabilceği ve ticari olarak geliştirilebilir özellikte büyük potansiyele sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Liu vd, (2013) tarafından yapılan çalışmada bambu ve çeltik sapsarı, parçacık boyutları 2 mm ve daha düşük boyutta olacak şekilde öğütölmüştür. Öğütöldükten sonra %8.15 olan nem içeriği, önceden miktarı belirlenmiş distile su miktarı 5 kg materyale eklenerek 2 gün boyunca ağzı kapalı torbalarda bekletilmiştir. 2. Günün

sonunda nem içerikleri, bambuda %15.97, çeltik sapında %15.56 olarak tespit edilmiştir. Peletleme işlemi sonunda bambu ve çeltik sapı peletlerinin bir kısmı dijital sıcaklık kontrollü sobada 220 °C'de 1 saat bekletildikten sonra karbonize olmuş bambu ve çeltik sapı peletleri elde edilmiştir. Bambu, çeltik sapı, karbonize olmuş bambu ve çeltik sapı peletlerine pelet fiziksel testleri uygulanmış olup pelet hacim yoğunlukları sırasıyla bambu 540 kg/m³, çeltik sapı 640 kg/m³, karbonize olmuş bambu 490 kg/m³ ve karbonize olmuş çeltik sapı 590 kg/m³, pelet yoğunlukları sırasıyla 1250 kg/m³, 1350 kg/m³, 1160 kg/m³ ve 1280 kg/m³ olarak belirlemişlerdir. Çeltik sapı peletlerinin pelet yoğunluğu ve pelet yığın yoğunluğu her iki durumda yüksek bulunmuştur. Pelet dayanıklılık dirençleri sırasıyla, %94.21, %99.17, %97.80 ve %98.73 değerlerinde tespit edilmiş, çeltik sapının pelet kalitesinin yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Zafari ve Kiammehr (2013) tarafından yapılan çalışmada, şehir artıkları, hayvan gübresi ve tarımsal artıklardan oluşturulan kompost materyali pistonlu pelet makinasıyla, %35, %40 ve %45 nem içeriklerinde, 2, 6 ve 10 mm/s piston hızında, 8, 10 ve 12 mm kalıp uzunluğunda ve 0.3, 0.9, 1.5 mm materyal parçacık boyutunda peletleme yapılmıştır. Pelet boyunun artması pelet kalitesini olumlu yönde etkilemiştir. Materyal parçacık boyutu küçüldükçe sıkıştırma sırasında temas yüzeyi artmış ve daha iyi bir sıkıştırma sağlanarak daha dayanıklı peletler elde edilmiştir. Çalışma sonunda en dayanıklı peletler %40 nem içeriğinde hazırlanan materyalden elde etmişlerdir. Düşük piston hızında yapılan peletler basınç dayanımı ve dayanıklılık bakımından diğer piston hızlarında yapılanlara göre daha kaliteli bulmuşlardır.

Cubero-Abraca vd, (2014) tarafından yapılan çalışmada endüstriyel kahve posaları kurutulmuş 16 mm elek çapına sahip değirmende öğütülmüş, 3 silindirli pelet makinasında peletlenerek 6.12 mm çapında peletler elde edilmiştir. Peletleme işlemi sırasında makine sıcaklığı 125 °C olarak ölçülmüştür. Peletleme işlemi sonunda peletlerin %10.1 nem içeriğine sahip olduğu görülmüştür.

Hoover vd, (2014) tarafından yapılan çalışmada mısır koçanları 4 mm ve 6 mm elek çapına sahip değirmende öğütülmüştür. 10 BG gücünde pelet makinası kullanılarak, kalıp dönüş hızı 40, 50 ve 60 Hz olmak üzere 3 farklı hızda, materyale ön ısıtma işlemi uygulanmadan ve 70 °C ön ısıtma işlemi uygulanarak peletleme işlemi yapılmıştır. Peletleme işlemi sonunda %19 ila %22 arasında tespit edilen pelet nem içeriğini düşürmek için peletler yatay bir soğutucu içinden geçirilmiştir. Bu işlem sonunda, soğutulan peletler halen yüksek nem içeriğinde olduğu için 40 °C'de 7 saat

bekledikten sonra peletlerin nem içeriği yaklaşık olarak %9 civarına düşürmüşlerdir. %9 nem içeriğine gelen peletlerin pelet yoğunluğu, pelet yığın yoğunluğu, dayanıklılık direnci değerleri ölçülmüştür. Değişken kalıp hızları dikkate alındığında, kalıp dönüş hızı arttıkça pelet kalitesinin arttığı sonucuna varılmışlardır.

Liu vd, (2014) tarafından yapılan çalışmada 1.18 mm, 0.84 mm ve 0.84 mm'den küçük partikül boyutlarına öğütülmüş bambu bitkisi %8-12-16 olmak üzere 3 farklı nem içeriğinde peletlenmiştir. Elde edilen peletler fiziksel testlere ve yanma testlerine tabi tutularak materyal nem içeriği ve partikül boyutunun pelet kalitesine etkileri incelemiştir. Nem içeriğinin pelet fiziksel özelliklerine etkisi, %8-12-16 nem içeriğinde elde edilen peletler için sırasıyla , pelet boyları, 12.5, 12.7, 11,7 mm, pelet çapları 6.1, 6.0 ve 6.0 mm, pelet parça yoğunluğu, 1050, 1140 ve 1200 kg/m³, pelet hacim yoğunluğu, 520, 620 ve 650 kg/m³, pelet dayanıklılık direnci, %95.07, %97.95 ve %98.38 olarak hesaplamışlardır. Genel olarak değerlendirdiklerinde, pelet kalitesinin en düşük %16, en yüksek %12 nem içeren materyalde olduğu görülmüş olup pelet yoğunluğunun pelet dayanıklılığına etki eden en etkin faktör olduğu sonucuna varmışlardır. Elde edilen peletler hacmi belirli bir kaba konularak tartılmış ve 600 kg/m³ pelet yığın yoğunluğu değeri bulunmuştur. Pelet yoğunluğu 1300 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. Peletlerin nem alma direnci belirlenirken, potasyum nitrat solüsyonu içeren %21 bağıl neme sahip desikatör içine 30 adet pelet rastgele düzenle yerleştirilerek 14 gün bekletilmiştir. Test öncesi ve test sonrası ağırlıkları kaydedilerek nem alma direnci %8.10 olarak belirlenmiştir. Kırılma direnci testinde 100 adet peletin her biri 1 m yükseklikten seramik zemin üzerine atılmış 1/kırılan parça sayısı formülü ile kırılma direnci 0.95 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımı testinde 60 ton kapasiteli basınç dayanımı test cihazı kullanılmıştır ve 26.86 kg/cm² olarak hesaplanmıştır. Pelet dayanıklılık direnci %75.54 değerinde bulunmuştur. ASAE 269.4 standardına göre dayanıklılık direncinin kabul edilebilir sınırların altında olduğunu söylemişlerdir.

Montero vd, (2014) tarafından yapılan çalışmada öğütülmüş mantar tıpa artıkları %7-9 nem aralığında 0.5-1 mm, 1-2 mm ve partikül boyutlarında sınıflandırılarak, karışım yapılmadan 3 çeşit ve 5:5:0, 6:4:0, 4:6:0, 3:3:3, 5:0:5 karışım oranında 5 çeşit olmak üzere 8 farklı materyal çeşidi hazırlanarak 6 mm delik çapına sahip düz kalıplı, 10.85 kW gücünde, 300 kg/h kapasiteli pelet makinası kullanılarak peletlenmiştir. Pelet makinası rejime girdiğinde kalıp sıcaklığı termal kamerayla 70-75°C aralığında

ölçülmüştür. Elde edilen en yüksek değerler 0.5-1 mm ve 1-2 mm partikül boyutlarındaki materyallerin 5:5:0 oranında karıştırılması sonucu elde etmişlerdir. Peletleme öncesi materyal yoğunlukları 323-379 kg/m³ aralığında değişirken, peletleme işlemi sonrası pelet yoğunlukları 692-705 kg/m³ sınırları içinde tespit edilmiştir. Pelet yoğunluk testleri sonucu en yüksek sıkıştırma oranı 1.98, maksimum dayanıklılık direnci %98.36 ve pelet boyu 28.95 mm olarak tespit etmişlerdir.

Bilgin vd, (2015) tarafından yapılan çalışmada fındık zurufu tarımsal artığı materyal olarak kullanılmış ve %14 nem içeriğinde 1.023 mm geometrik ortalama çapa sahip materyal 3 kW gücünde peletleme makinası ile peletlenmiştir. Peletleme işlemi sonrası peletlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak hacim yoğunluğu, parçacık yoğunluğu, dayanıklılık direnci, darbe direnci ve nem alma durumu incelenmiştir. Fiziksel testler öncesinde 7 gün süre ile 24 °C sıcaklık ve %55 nem içeriğine sahip ortamda bekletmişlerdir. Peletleme işleminden sonra 6.1 mm çapında ve uzunluğu 27 mm olan peletler elde edilmiştir. Elde edilen peletlerin hacim 724 kg/m³, parçacık yoğunluğunu ise 1307 kg/m³ olarak belirtmişlerdir. Dayanıklılık direnci %97.72 ve darbe direncini %99.60 olarak tespit etmişlerdir. Fındık zurufu peletlerinin yapılan fiziksel testler sonucu oldukça sağlam olduklarını belirlemişlerdir. Ayrıca peletlerin nem alma direnci ortamın sıcaklığı ve nemine bağlı olarak değiştiği, düşük ortam sıcaklığı ve nem içeriğinde peletlerin bir miktar nem kaybettiklerini tespit etmişlerdir.

Gürdil vd, (2016) tarafından yapılan çalışmada fındık zurufu tarımsal artığı seçilmiş, elde edilen peletlerin fiziksel özellikleri (parçacık yoğunluğu, hacim yoğunluğu, mekanik dayanıklılık direnci ve pelet nem içeriği) ile yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri, ısı değer ve kül içeriği değerleri incelemişlerdir. Materyal %12 nem içeriğinde ve 10 mm öğütme inceliğinde bıçaklı tip değirmende öğütülmüştür. Öğütülen materyalin fiziksel özellikleri; yığın yoğunluğu 211.94 kg/m³, materyalin geometrik ortalama çapını 2.28 mm olarak belirtmişlerdir. Daha sonra düz kalıplı 15 kW gücünde peletleme makinasında peletleme işlemi yapılarak peletler elde edilmiştir. Yapılan fiziksel testler sonucu; hacim yoğunluğu 552.40 kg/m³, parçacık yoğunluğu 1309.87 kg/m³, mekanik dayanıklılık direnci %89.57, nem içeriği %11.54 olarak tespit etmişlerdir. Yanma sonucu ısı değer 18.35 MJ/kg, kül içeriği %7.19, baca gazı emisyon değerleri sırası ile CO 1383.67 ppm, CO₂ %0.90, O₂ %19.17, NO 121 ppm, NO_x 61.67 ppm olarak belirlemişlerdir.

Yolcu ve Gürdil (2018) tarafından yapılan çalışmada çay artığının katı biyoyakıt olarak değerlendirilebilme olanaklarını araştırmışlardır. Denemeleri 3 mm, 5 mm, 8 mm ve 10 mm dört farklı öğütme inceliğinde %10 nem içeriğindeki materyal ile yapmışlardır. Elde edilen peletlerin ısıl değerleri, kl içerikleri ve baca gazı emisyon değerleri parametrelerini tespit etmişlerdir. Öğütme inceliğinin bu değerler üzerine olan etkilerini istatistiksel olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar; en yüksek ısıl değer 10 mm öğütme inceliğinde 19.77 MJ/kg, en yüksek kül içeriği 10 mm öğütme inceliğinde %5.99, baca gazı emisyon değerleri IKHKKY değerlerinin altında olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlara göre çay artığından elde edilen peletlerin katı biyoyakıt olarak kullanılmasının uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Görüldüğü gibi yapılan çalışmalarda peletleme üzerine birçok bilimsel araştırma yürütülmüş, farklı biyokütle materyalleri kullanılmış ve bu çalışmalarla ilgili bilimsel çalışmalar ortaya konmuştur. Ancak bu materyaller içerisinde tarımsal üretim alanlarından çıkan fındık zurufu biyokütle artıklarının peletleme yolu ile değerlendirilmesine ilişkin çalışmalara yeterince rastlanmamıştır. Yapılacak çalışmanın bu artığın peletleme yolu ile değerlendirilmesinin nn aacağı, bu materyaller için optimum peletleme koşullarının belirlenmesine, fındık zurufu peletinin hayvan yemi olarak uygunluğuna ve bu alandaki literatürdeki eksikliğin giderilmesine katkı sağlıyacağı düşünülmektedir.



3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Materyal

Materyal olarak Karadeniz Bölgesinde üretim potansiyeli yüksek olan fındığın hasat-harmanından geriye kalan zurufu seçilmiştir. Zuruf; kabuklu fındık meyvesini içinde tutan yeşil aksamdır ve genellikle 3 tane kabuklu fındığı bir arada tutar. Bu materyal ile yapılan çalışmalar Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında 2015 yılı içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma için EN 14961-2 (Solid biofuels-Fuel specifications and classes-Part 2: Wood pellets for non-industrial use) Avrupa Birliği Standardı referans olarak alınmış olup yapılan bütün testler EN 14961-2 numaralı standart da belirtilen yöntemlere göre yapılmıştır.

Öncelikle materyali öğütmek için 8 bıçaklı, 3 kW gücünde, 2850 d/d dönüş hızına sahip, bıçaklı tip değirmen kullanılmıştır (Şekil 3.1). Elek olarak 6 mm ve 10 mm delik çapına sahip elekler kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Bıçaklı tip değirmen

Öğütülen materyalin parçacık boyut analizi için otomatik zaman ayarlı ve titreşimli elek seti kullanılmıştır (Şekil 3.2). Elek analiz setinde 3.15, 2.8, 2.0, 1.4, 1.0, 0.5, 0.25 mm çapta 7 farklı elek kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Elek analiz seti

Materyalin ve peletlerin yığın yoğunluklarını belirlemek için Avrupa Birliği EN 15103 Standardında belirtilen yönteme göre hacmi belli olan kap kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Hacmi belli olan kap

Öğütülen materyalin peletleme işlemi için 15 kW gücünde, 6 mm delik çapına sahip düz kalıplı peletleme makinası kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Peletleme makinası

Elde edilen peletlerin nem içeriğini belirlemek için EcoCELL marka kurutma fırını kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. EcoCELL kurutma fırını

Peletlerin mekanik dayanıklılık testi için EN-15210-1 standardına göre imal edilmiş test düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Mekanik dayanıklılık test cihazı

Peletlerin sertlik değerlerini ölçmek için bilgisayar kontrollü Lloyd basınç dayanım test düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.7). Basınç dayanım test düzeneğinde 5 kN değerine kardar ölçüm yapabilen yük hücresi kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Lloyd basınç dayanımı test cihazı

Peletlerin yanma sonucu ısıl değerleri, baca gazı emisyon değeri ve kül içeriklerini belirlemek için Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarımı Araştırma Merkezi Biyoyakıt Laboratuvarında bulunan kalorimetre cihazı, kül fırını, pelet sobası ve baca gazı ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Elde edilen peletlerin ısı değerlerinin belirlenmesi için IKA marka C 200 model kalorimetre cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kalorimetre cihazı

Peletlerin kül içeriklerinin belirlenmesi için Nüve MF 106 marka kül fırını kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kül fırını

Peletlerin baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi için özel yapım pelet sobası ve baca gazı analizör cihazı kullanılmıştır (Şekil3.10).



Şekil 3.10. Baca gazı analizörü ve pelet sobası

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme deseni ve istatistiksel analiz yöntemi

Bu çalışmada istatistiksel analiz ve deneme deseni için; Ölçülen değerlerin varyans analizine uygunluğunu test etmek amacıyla normallik analizi Kolmogorov-Smirnov tek örnek testi ile yapılmış olup verinin normal dağılıma sahip olduğu ($P>0.05$) ve varyans homojenliği Levene testi ile değerlendirilmiş olup varyansların homojen olduğu ($P>0.05$) belirlenmiştir. Bu durumda varyans analizi güvenilir sonuçlar üretebileceği anlaşılmıştır. Ortalamaların karşılaştırılması için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Analizler SPSS 20.0 yazılımında OMÜ lisansı ile yapılmıştır. İstatistiksel analizler (2 x 2) x 3 faktöriyel deneme desenine göre yapılmıştır.

3.2.2. Materyalin peletlenmeye hazırlanması

Fındığın harman işleminden sonra artık olarak çıkan fındık zurufları öncelikle araziden laboratuvara getirilmiştir. Daha sonra fındık zurufları öğütmeye uygun hale gelinceye kadar güneş altında kurutulmuştur. Öğütme için istenilen uygunluğa gelen materyal bıçaklı tip değirmen kullanılarak 2 farklı öğütme inceliğinde öğütülmüştür. Öğütülen materyaller tekrar güneş altında kurutularak istenilen nem seviyelerine getirilmiştir

(%12, %9). Daha sonra materyaller peletleme işlemine kadar havadan nem almayacak şekilde naylon poşetlerde ağızları kapalı bir şekilde saklanmıştır.

Çizelge 3.1. Peletleme yapılan materyalin fiziksel özellikleri

Materyalin öğütme inceliği	Materyalin yığın yoğunluğu	Materyalin geometrik ortalama çapı
6 mm	220.18 kg/m ³	1.64 mm
10 mm	211.94 kg/m ³	2.28 mm

3.2.3 Materyalin peletlenmesi

Peletleme denemeleri 6 mm ve 10 mm iki farklı öğütme inceliğinde ve her bir numune için %9 ve %12 nem içeriğinde gerçekleştirilmiştir. Peletleme makinasına öğütülmüş materyal sürekli olacak şekilde besleme yapılmış ve 75.7 kPa sıkıştırma basıncı ile peletleme işlemi yapılmıştır. Peletleme işlemi esnasında meydana gelen sürtünmelere bağlı olarak oluşan sıcaklık yükselmesi biyokütle deki mevcut ligninin akma noktasına gelerek bir yapıştırıcı görevi görmesi sağlanmıştır. Peletleme işleminin sonucunda 6 mm çapında peletler elde edilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Elde edilen peletlerin görünümü

3.2.4. Elek analizi

Öğütülmüş olan fındık zurufu materyalinin geometrik ortalama çapı Avrupa Birliği EN 15149-2 standardında belirtilen (0.25, 0.5, 1.0, 1.4, 2.0, 2.8, 3.15 mm arasında delik çaplarına sahip) 7 farklı elek kullanılmıştır. Öncelikle örnekler 100 g olacak

şekilde hassasiyeti 0.01 g olan hassas terazide tartılıp en üstteki eleğe koyulmuştur. Elek seti dağiresel titreşim sağlayan zaman ayarlı cihaza yerleştirilmiş ve 10 dakika boyunca eleme işlemi yapılmıştır. Test sonrası her bir elek üzerinde kalan materyaller hassas terazide tartılıp elek numarasına göre kaydedilmiştir. Elde edilen bu değerler ilgili eşitlik kullanılarak geometrik ortalama çap değerleri hesaplanmıştır.

3.2.5. Pelet yoğunluğunun belirlenmesi

Pelet yoğunluğunu belirlemek için EN 15150 Avrupa Birliği Standardın da belirtilen stereometrik hacim tahmini yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntem düzgün şekilli katı biyoyakıtların hacimlerini belirlemek için kullanılmaktadır.

Öncelikle rastgele 10 adet pelet seçilmiş çap ve boy uzunlukları dijital kumpas ile ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra her bir pelet'in ağırlıkları hassasiyeti 0.01 g olan terazide tartılıp kaydedilmiştir. EN 15150 standardın da belirtilen eşitlikler yardımı ile pelet yoğunlukları belirlenmiştir.

$$V_p = \frac{D^2 \times \Pi \times L}{4} \quad (3.1)$$

V_p : Pelet hacmi (cm³)
 D^2 : Pelet çapı (cm)
 L : Pelet uzunluğu (cm)

$$P_d = \frac{W_p}{V_p} \quad (3.2)$$

P_d : Pelet hacim yoğunluğu (g/cm³)
 V_p : Pelet hacmi (cm³)
 W_p : Pelet ağırlığı (g)

Pelet parçacık yoğunluğu (3.1)'deki eşitlik kullanılarak önce hacimleri belirlenmiş ve daha sonra (3.2) eşitliği kullanılarak pelet ağırlığının pelet hacmine oranlanması ile pelet parçacık yoğunluğu hesaplanmıştır.

3.2.6. Hacim yoğunluğunun belirlenmesi

Pelet hacim yoğunlukları Avrupa Birliği EN 15103 Standardında belirtilen yöntemle yapılmıştır. Bu yöntem hacmi belli olan bir kaba peletleri yığın oluşturacak şekilde kaba boşaltılması ve ağırlığının tartılması esasına dayanmaktadır.

Öncelikle hacmi belli olan kabın boş ağırlığı hassasiyeti 0.01 g olan terazide tartılmıştır. Daha sonra 30 cm yükseklikten kabın içine yığın oluşturacak şekilde kap doluncaya kadar peletler boşaltılmıştır. Kap dolduktan sonra prosedürde belirtilen şekilde yerden 15 cm yükseklikten 3 kere yere serbest düşürülmüştür. Bu işlemlerden sonra düzgün yüzeyli bir ahşap çita yardımı ile dolu olan kabın yüzeyindeki fazlalık peletler sıyrılıp daha sonra terazide ağırlığı tartılmış ve kaydedilmiştir. EN 15103 standardında belirtilen eşitlik ile pelet hacim yoğunluğu hesaplanmıştır.

$$B_d = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (3.3)$$

B_d : Pelet hacim yoğunluğu (kg/m^3)
 M_2 : Dolu kabın ağırlığı (kg)
 M_1 : Boş kabın ağırlığı (kg)
 V : Kabın hacmi (m^3)

3.2.7. Mekanik dayanıklılık değerlerinin belirlenmesi

Pelet mekanik dayanıklılık testi Avrupa Birliği EN 15210-1 Standardına göre imal edilmiş test düzeneği kullanılmıştır.

Öncelikle 500 g olacak şekilde pelet örnekleri rastgele alınmıştır. Alınan 500 g örnekler mekanik dayanıklılık test düzeneği haznesine yerleştirilmiş ve 50 d/d dönme hızı ile 10 dakika boyunca çalıştırılmıştır. Test sonrası peletler elek delik çapı 3.15 mm olan ekte elenerek elek üzerinde kalan peletlerin ağırlıkları hassas terazide (hassasiyet 0.01 g) tartılmış ve kaydedilmiştir. EN 15210-1 standardında belirtilen eşitlik kullanılarak pelet mekanik dayanıklılık dirençleri hesaplanmıştır.

$$D_U = \frac{M_A}{M_E} \times 100 \quad (3.4)$$

D_U : Pelet mekanik dayanıklılık direnci (%)
 M_A : Test sonrası elek üzerinde kalan pelet ağırlığı (g)
 M_E : Test öncesi pelet ağırlığı (g)

3.2.8. Pelet sertlik değerlerinin belirlenmesi

Pelet sertliği kırılmadan (parçalanmadan) önceki uygulanan maksimum yük olarak tanımlanmaktadır. Bu test taşıma ve depolama süresince üstteki peletlerin alttaki peletlere uyguladıkları basınçları hesaplamak için yapılmaktadır. Yoğunlaştırılmış ürünlerin sertliği çoğunlukla sıkıştırma direnci testi yoluyla belirlenmektedir.

Öncelikle basınç dayanım test cihazına 5 kN'luk yük ölçebilen yük hücresi bağlanmış, cihazın sıkıştırma işlemi için ilerleme hızı dakikada 100 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra bilgisayar programında sonuçların; maksimum yükteki kırılma değeri, maksimum yükteki uzama değeri, maksimum yüke kadar olan enerji miktarı ve artan yük altında uzama miktarına göre grafiklerin elde edilmesi için ayarlamalar yapılmıştır.

Bu testte, pelet örnekleri içerisinde rastgele 10'ar adet pelet seçilmiş, her bir pelet iki plaka arasına yerleştirilmiş ve basınç dayanım test cihazı ile peletlere parçalanıncaya kadar artan sıkıştırma yükleri uygulanmıştır. Parçalanmadan önceki son yük değeri maksimum yük değeri olarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar maksimum yükteki kırılma değeri (N), maksimum yükteki uzama miktarı (mm) maksimum yüke kadar olan enerji miktarı (J) ve grafik değerleri olarak elde edilmiştir. Maksimum yükteki uzama miktarı, maksimum yüke kadar olan enerji miktarı ve grafik değerleri EKLER'de verilmiştir.

3.2.9. Nem içeriğinin belirlenmesi

Peletlerin nem içeriği Avrupa Birliği EN 14774-1 numaralı standardına göre yapılmıştır. Test öncesi boş kapların ağırlıkları hassas terazide tartılmış ve kaydedilmiştir. Daha sonra pelet örnekleri içerisinde rastgele örnekler alınmış ve tekrar tartılarak kaydedilmiştir. Alınan örnekler 105 °C'de ısıtılmış kurutma fırınına koyularak 24 saat boyunca kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutma işleminden sonra örnekler tekrar tartılarak kaydedilmiştir.

Ağırlıkları arasındaki farktan yararlanılarak aşağıda belirtilen eşitlik kullanılarak peletlerin nem içerikleri hesaplanmıştır (3.5).

$$M_p = \frac{(m_2 - m_1) - (m_3 - m_1)}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (3.5)$$

- M_p : Pelet nem içeriği (%)
 m_1 : Boş kabın ağırlığı (g)
 m_2 : Kap + numune ağırlığı (g)
 m_3 : Fırından sonraki kap + numune ağırlığı (g)

3.2.10. Isıl değerin belirlenmesi

Peletlerin ısı değeri belirlenmesi Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarımı Araştırma Merkezi Biyoyakıt Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Peletlerin ısı değeri Avrupa Birliği EN 14918 standardına göre kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Test öncesi peletler parçalayıcıda parçalanıp elek çapı 1 mm olan elekten geçirilmiş ve 24 saat 105 °C’de bekletilip içerisindeki nem uzaklaştırılmıştır. 0.5-1 g ağırlığında alınan örnekler standart koşullarda kalorimetre bombasında oksijen ortamında yakılıp, kalorimetre kabındaki suyun sıcaklık derecesinin artışına ve sistemin ortalama gerçek ısı sığasına göre ısı değeri cihaz yardımıyla cal/g cinsinden tayin edilmiştir. Elde edilen değerler EN 14961-2 standardında belirtilen ısı değeri birimi olan MJ/kg değerine dönüştürülmüştür.

3.2.11. Kül içeriğinin belirlenmesi

Kül içeriği değeri Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarımı Araştırma Merkezi Biyoyakıt Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Peletlerin kül içerikleri Avrupa Birliği EN 14775 standardına göre kül fırını kullanılarak belirlenmiştir. Porselen krezeler 575±25 °C’de kül fırınında minimum 4 saat kadar bekletilmiş daha sonra desikatöre alınarak soğutulup tartılmıştır. 0.5-2 g örnek (etüvde kurutulmuş) krezelere koyularak tartılıp fırına yerleştirilmiştir. Fırın sıcaklığı belli bir artış programına göre yükseltilmiştir. Fırın sıcaklığı oda sıcaklığından 105 °C’ye yükseltilip 12 dakika sabit sıcaklıkta bekletilmiştir. Daha sonra sıcaklık 105 °C’den 250 °C’ye 10 C/dak artışla yükseltilip sabit sıcaklıkta 30 dakika bekletilmiştir. Sıcaklık tekrar 250 °C’den 575 °C’ye 20 °C/dak artışla yükseltilip 180 dakika sabit sıcaklıkta bekletilmiştir. Daha sonra sıcaklık 105 °C’ye düşürülerek krezeler desikatöre alınarak soğumaya bırakılmıştır. Soğutma işleminden sonra krezeler tekrar tartılmıştır.

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (3.6)$$

- A_d : Kül içeriği (%)
 m_1 : Boş kabın ağırlığı (g)
 m_2 : Numune artı kabın ağırlığı (g)
 m_3 : Test sonrası kab ve numune ağırlığı (g)

3.2.11. Baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi

Baca gazı emisyon değerleri Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarımı Araştırma Merkezi Biyoyakıt Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Emisyon ölçümleri, çeşitli faaliyetler sonucu oluşan ve atmosfere atılan artık gazların ölçümünü içermektedir. Baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla peletler özel yapım pelet sobasında yakılmış ve yanma sonucu oluşan baca gazı emisyon değerleri ($O_2(\%)$, $CO(ppm)$, $CO_2(\%)$, $NO(ppm)$, $NO_x(ppm)$) birer dakika ara ile 3 okuma yapılarak baca gazı analizörü ile ölçülmüştür.

3.2.12. Makine özgöl enerji tüketimi

Öncelikle boş kabın ağırlığı tartılmış ve kaydedilmiştir. Peletlemeye başlandığı andan itibaren 1 dakikalık süre tutulmuş, makine peletleme işlemine başlamadan önceki anda ve 1 dakikalık süre sonundaki elektrik sayaç değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra 1 dakikalık süre içinde çıkan peletler tartılıp kaydedilmiştir. Dakika bazında elde edilen pelet üretimi doğru orantı kullanılarak saatlik üretime çevrilmiştir. Kaydedilen iki sayaç değeri arasındaki fark belirlenip, dakikalık enerji tüketimi saatlik enerji tüketimine doğru orantı kullanılarak çevrilmiştir. Daha sonra tüketilen enerji miktarı elde edilen ağırlığa oranlanması ile birim ağırlıkta tüketilen özgöl enerji miktarı hesaplanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Materyalin Parçacık Boyut Dağılımı

Materyallerin geometrik ortalama çapları EN 15149 standardında belirtilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

Öğütme inceliği 6 mm olan materyalin parçacık boyut dağılımı aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.1. Öğütme inceliği 6 mm olan materyalin parçacık boyut dağılımı

	Elek sınıfı	Ölçüsü (mm)	Örnek ağırlığı (g)	Örnek (%)	Kümülatif pay (%)	
C1	0-0.25	0.25	1.93	1.93	1.93	S1
C2	0.25-0.5	0.50	3.90	3.90	5.83	S2
C3	0.5-1.0	1.00	14.49	14.49	20.32	S3
C4	1.0-1.4	1.40	14.23	14.23	34.55	S4
C5	1.4-2.0	2.00	20.66	20.66	55.22	S5
C6	2.0-2.8	2.80	11.49	11.49	66.71	S6
C7	2.8-3.15	3.15	11.07	11.07	77.78	S7
	>3.15		22.22	22.22	100	



Şekil 4.1. Elek analizi sonrası 6 mm öğütülmüş materyalin görünümü

Öğütme inceliği 10 mm olan materyalin parçacık boyut dağılımı aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.2 Öğütme inceliği 10 mm olan materyalin parçacık boyut dağılımı

	Elek sınıfı	Ölçüsü (mm)	Örnek ağırlığı (g)	Örnek (%)	Kümülatif pay (%)	
C1	0-0.25	0.25	1.57	1.57	1.57	S1
C2	0.25-0.5	0.50	3.16	3.16	4.73	S2
C3	0.5-1.0	1.00	11.71	11.71	16.45	S3
C4	1.0-1.4	1.40	11.93	11.93	28.39	S4
C5	1.4-2.0	2.00	17.51	17.51	45.92	S5
C6	2.0-2.8	2.80	11.57	11.57	57.50	S6
C7	2.8-3.15	3.15	13.09	13.09	70.60	S7
	>3.15		29.37	29.40	100	



Şekil 4.2. Elek analizi sonrası 10 mm öğütülmüş materyalin görünümü

$$d_{50} = C_2 + (50 - S_2) \times \frac{C_3 - C_2}{S_3 - S_2} \quad (4.1)$$

d₅₀ : Geometrik ortalama çap (mm)

C₂ : C₂ elek sınıfı (mm)

C₃ : C₃ elek sınıfı (mm)

S₂ : C₂ elek sınıfının kümülatif payı (%)

S₃ : C₃ elek sınıfının kümülatif payı (%)

Elek analizi, öğütücü değirmende kullanılan eleklerden geçen materyalin parçacık boyut dağılımını belirlemek ve kullanılan elekleri kıyaslama yapmak için yapılmıştır. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de bulunan değerler parçacık boyut dağılımını elek çaplarına göre yüzdelik ve kümülatif yüzdelik olarak göstermektedir. Öğütülen materyallerin geometrik ortalama çaplarını hesaplamak için (4.1)’deki eşitlik

kullanılarak materyallerin geometrik ortalama çapları sırasıyla, 6 mm öğütme inceliği için 1.64 mm, 10 mm öğütme inceliği için 2.28 mm olarak hesaplanmıştır.

4.2. Pelet Hacim Yoğunluğu ve Pelet Yoğunluğu

Materyalin nem içeriği ve öğütme inceliğinin pelet hacim yoğunluğu ve pelet yoğunluğu üzerine etkileri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Çizelge 4.3. Pelet hacim yoğunluğu ve pelet yoğunluğu

Materyalin nem içeriği (%)	Materyalin ğütme inceliği (mm)	Pelet hacim yoğunluğu (kg/m ³)	Pelet yoğunluğu (kg/m ³)
% 9	6 mm	584.44 ± 3.88a	1238.20 ± 16.08b
	10 mm	587.91 ± 3.88a	1288.87 ± 2.87a
% 12	6 mm	541.23 ± 1.08c	1305.89 ± 1.67a
	10 mm	552.40 ± 2.03b	1309.38 ± 10.39a
Önemlilik		<0.001	0.003

Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir.

Çizelge 4.3'deki değerler incelendiğinde en yüksek pelet hacim yoğunluğu 587.91 kg/m³ olarak belirlenmiş, en düşük pelet hacim yoğunluğu ise 541.23 kg/m³ olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en yüksek pelet yoğunluğu 1309.38 kg/m³ olarak belirlenmiş, en düşük pelet yoğunluğu 1238.20 kg/m³ olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde %12 nem içeriğinde elde edilen peletlerin öğütme inceliği grupları ve nem içeriği grupları içinde hacim yoğunluğu değerleri arasındaki farkın önemli olduğu (P<0.001), aynı çizelgede %9 nem içeriğinde elde edilen peletlerin öğütme inceliği ve nem içeriği grupları içinde pelet yoğunluğu değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (P=0.003).

Colley (2006), Mani vd, (2006), Liu vd, (2014) tarafından yapılan çalışmalarda materyal nem içeriklerinin pelet yoğunluğuna ve pelet hacim yoğunluğuna etkisinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Materyalin nem içeriğinin artması pelet kalitesini düşürmüş ve pelet yoğunluğunu azaltmıştır. Elde edilen pelet yoğunluk değerlerinde nem içeriğinin artması ile pelet yoğunluk değerlerinde artış gözlenmiş ve literatür çalışmaları ile paralellik göstermemiştir.

Larsson ve Rudolfsson (2012) tarafından yapılan çalışmada farklı nem içeriklerindeki materyallerden peletler elde edilmiş ve en yüksek pelet hacim yoğunluğuna en düşük nem içeriğinde ulaşılmıştır. Yapmış olduğumuz çalışma sonucunda en yüksek pelet hacim yoğunluğuna %9 nem içeriğinde 10 mm öğütme inceliğinde elde edilmiş olup nem içeriği arttığında hacim yoğunluğunda azalma görülmüştür. Bunun sonucunda yapılan çalışma literatür verileri ile paralellik göstermektedir.

EN 14961-2 Avrupa Birliği Standardında EN plus-A1, EN plus-A2 ve EN-B sınıfı peletleri için hacim yoğunluğu $\geq 600 \text{ kg/m}^3$ olması gerektiği belirtilmiştir. EN 14961-2’de belirtilen değerler odun peletlerini kapsasa da elde ettiğimiz fındık zuru peletlerinin hacim yoğunluk değerleri bu değere oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Peletlerin Mekanik Dayanıklılığı ve Sertliği

Materyalin nem içeriği ve öğütme inceliğinin peletlerin mekanik dayanıklılık ve sertliği üzerine olan etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir.

Çizelge 4.4. Peletlerin mekanik dayanıklılığı ve pelet sertliği

Materyalin nem içeriği (%)	Materyalin öğütme inceliği (mm)	Mekanik dayanıklılık (%)	Pelet sertliği (N)
%9	6 mm	93.26 \pm 0.13a	1146.00 \pm 34.08d
	10 mm	91.31 \pm 0.09b	1372.59 \pm 15.74b
%12	6 mm	90.38 \pm 0.05c	1299.23 \pm 11.07c
	10 mm	89.57 \pm 0.03d	1574.23 \pm 9.67a
Önemlilik		<0.001	<0.001

Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir.

Çizelge 4.4’de bulunan değerler incelendiğinde en yüksek mekanik dayanıklılık değeri %93.26 olarak bulunmuş, en düşük değer ise %89.57 olarak bulunmuştur. Ayrıca en yüksek pelet sertliği değeri 1574.23 N olarak, en düşük pelet sertliği ise 1146.00 N olarak bulunmuştur.

Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde %9 ve %12 nem içeriğinde elde edilen peletlerin öğütme inceliği ve nem içeriği grupları içinde mekanik dayanıklılık değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur.

($P < 0.001$). Aynı çizelgede %9 ve %12 nem içeriğinde elde edilen peletlerin öğütme inceliği ve nem içeriği grupları içinde pelet sertlik değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P < 0.001$).

Tabil ve Sokhansanj (1996), Tabil ve Sokhansanj (1997) tarafından yapılan çalışmalarda pelet dayanıklılık direncinin %80 ve üzeri olması durumunda pelet kalitesinin iyi olduğunu belirtmişlerdir. Fındık zuruflarından %9 ve %12 nem içeriğinde elde edilen peletlerin mekanik dayanıklılık değerleri literatür verileri ile paralellik göstermiştir.

EN 14961-2 Avrupa Birliği Standardında EN plus-A1, EN plus-A2 sınıfı peletler için ≥ 97.5 ve EN-B sınıfı peletler için ≥ 96.5 değeri belirtilmiş olup elde edilen fındık zuruflu peletlerinin dayanıklılık değerleri bu değerlerin altında kaldığı görülmüştür. Ayrıca materyalin öğütme inceliğinin azalması ile mekanik dayanıklılık değerinde artış meydana gelmiştir.

Celma vd, (2012), Zamaroni vd, (2011)'ya göre sertlik değeri en yüksek olan pelet kaliteli olarak değerlendirilmektedir. Materyal nem içeriğinin artması pelet hacim yoğunluğunu düşürdüğü ve peletlerin dirençlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada nem içeriğinin artması sonucu pelet sertliklerinde artış meydana gelmiş ve literatür verileri ile paralellik göstermemiştir. Materyalin öğütme inceliğinin artması ile pelet sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir.

4.4. Pelet Nem İçeriği

Peletlerin nem içerikleri materyalin pelet makinasında peletlenmesi sonucu bünyelerinden bir miktar nem kaybolmaktadır. Bunun sebebi ise kalıp ile disklerin sürtünmesinden dolayı kalıp ısınmakta ve bunun sonucunda materyalin bünyesinden nemi uzaklaştırmaktadır. Materyalin nem içeriği ve öğütme inceliğinin peletlerin nem içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir.

Çizelge 4.5. Pelet nem içeriği değerleri

Materyal nem içeriği (%)	Materyalin öğütme inceliği (mm)	Pelet nem içeriği (%)
%9	6 mm	8.78 ± 0.04b
	10 mm	8.55 ± 0.06c
%12	6 mm	11.60 ± 0.03a
	10 mm	11.54 ± 0.01a
Önemlilik		<0.001

Aynı sütunda farklı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir.

Çizelge 4.5'deki değerler incelendiğinde peletleme işleminden sonra en yüksek pelet nem içeriği %11.60 olarak bulunmuş, en düşük pelet nem içeriği ise %8.55 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde %9 nem içeriğinde elde edilen peletlerin öğütme inceliği ve nem içeriği grupları içinde pelet nem içerik değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P < 0.001$).

Avrupa Birliği EN 14961-2 Standardında EN plus-A1, EN plus-A2 ve EN-B sınıfı peletlerin nem içerikleri \leq %10 olması gerektiği belirtilmiştir. Elde edilen fındık zurufu peletlerinin peletleme işleminden sonarki nem içeriği değerleri karşılaştırıldığında materyal nem içeriği %9 olan peletlerin standarda uygun olduğu görülmüş fakat materyal nem içeriği %12 olan peletlerin standarda uygun olmadığı görülmüştür.

4.5. Peletlerin Kül İçeriği ve Isıl Değerleri

Fındık zurufundan elde edilen peletlerin yakılması sonucu elde edilen kül içeriği ve ısıl değer Çizelge 4.6'daki gibidir.

Çizelge 4.6. Kül içeriği, ısıl değeri (kuru baz)

Kül içeriği (%)	Isıl değer (MJ/kg)
7.19	18.35 MJ/kg

Çizelge 4.6'da bulunan değerler incelendiğinde kül içeriği %7.19 olarak bulunmuş, ısıl değer 18.35 MJ/kg olarak bulunmuştur.

Avrupa Birliği EN 14961-2 Standardında EN plus-A1, EN plus-A2 ve EN-B sınıfı peletler için ısı değeri $Q \geq 16$ MJ/kg olarak belirtilmiştir. Fındık zurufundan elde edilen peletlerin ısı değeri EN 14961-2 standardında belirtilen değerlere uygun olduğu görülmüştür.

Avrupa Birliği EN 14961-2 standardında kül içerikleri EN plus-A1 için $\leq 0.7\%$, EN plus-A2 için $\leq 1.5\%$, EN-B için $\leq 3.0\%$ olarak belirtilmiştir. Her ne kadar odun peletleri için bu değerler belirtilse de elde edilen fındık zuru peletlerinin kül içerikleri bu değerlerin oldukça üstünde olduğu belirlenmiştir.

4.6. Peletlerin Baca Gazı Emisyon Değerleri

Fındık zurufundan elde edilen peletlerin yakılması sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değeri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.7. Yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değeri (kuru baz)

NO _x (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)
61.67	0.90	19.17	1383.67	121.00

Çizelge 4.8. Isınmadan kaynaklı hava kirliliği kontrol yönetmeliği değeri

NO _x (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)
148	20.5	18.1	3049	400

Fındık zurufundan elde edilen peletlerin yakılması sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değeri (IKHKKY) Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen değerlerin altında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değeri bakımından fındık zurufundan elde edilen peletlerin fosil kökenli yakıtlara oranla daha çevreci olduğu sonucuna varabiliriz.

4.7. Makine Özgöl Enerji Tüketimi

Pelet makinası özgöl enerji tüketim değerleri aşağıdaki gibidir;

Çizelge 4.9. Makine özgöl enerji tüketimi

Öğütme İnceliği (mm)	Makine Özgöl Enerji Tüketimi (kWh/kg)
6	0.29
10	0.32

Makine özgöl enerjisi tüketim değerleri 6 mm öğütme inceliğindeki materyalin peletlenmesi için 0.29 kWh/kg, 10 mm öğütme inceliğindeki materyalin peletlenmesi için 0.32 kWh/kg olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilindiği üzere tarımsal üretim faaliyetleri arasında ülkemizde fındık yetiştiriciliği önemli bir yer tutmaktadır. Zuruf kabuklu fındık meyvesini içinde tutan yeşil aksamıdır ve fındık harman makinesinden kabuklu fındık elde edilirken artık olarak çıkan bir materyaldir. Karadeniz Bölgesinde fındık yetiştiriciliği sonucu her yıl ortalama 246 000 ton fındık zurufu tarımsal artığı çıktığı tahmin edilmektedir. Ancak, bu kadar büyük bir potansiyel genellikle değerlendirilmemekte, çok az bir kısmı hayvan altlığı olarak serilmekte geriye kalan önemli bir kısmı ise bahçe kenarlarında yığın olarak kurumaya veya çürümeye bırakılmakta ve hatta çoğu zaman gelişi güzel yakılarak imha edilmektedir.

Bu çalışmada, ülkemizde her yıl fındık hasadından sonra açığa çıkan fındık zurufu artığının peletlenerek katı biyoyakıt olarak değerlendirilebilme olanakları araştırılmıştır. Denemeler 6 mm, 10 mm iki farklı öğütme inceliğinde ve %9, %12 nem içeriğinde olmak üzere iki farklı nem içeriğinde peletleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Materyalin nem içeriği ve öğütme inceliğinin pelet hacim yoğunluğu ve pelet yoğunluğu üzerine etkileri istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur. En yüksek pelet hacim yoğunluğu 587.91 kg/m^3 olarak bulunmuş ve en düşük pelet hacim yoğunluğu ise 541.23 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Ayrıca en yüksek pelet yoğunluğu 1309.38 kg/m^3 olarak bulunmuş ve en düşük pelet yoğunluğu 1238.20 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir.

Materyalin nem içeriği ve öğütme inceliğinin peletlerin mekanik dayanıklılık ve sertliği üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli oldukları bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek mekanik dayanıklılık değeri %93.26 ve en düşük mekanik dayanıklılık değeri ise %89.57 olarak elde edilmiştir. Pelet sertliği değerleri bakımından ise en yüksek değer 1574.23 N ve en düşük değer ise 1146.00 N olarak tespit edilmiştir.

Materyalin nem içeriği ve öğütme inceliğinin peletlerin nem içeriği üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli olduğu bulunmuştur. En yüksek pelet nem içeriği %11.60, en düşük nem içeriği %8.55 olarak bulunmuştur.

Fındık zurufundan elde edilen peletlerin yakılması sonucu açığa çıkan kül içeriği değeri %7.19 ve ısı değeri 18.35 MJ/kg olarak bulunmuştur. Kül içeriği değeri EN 14961-2 Avrupa Birliği Standardında belirtilen değerlerden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Kullanılan materyal tarımsal kökenli olduğu için fosil kökenli katı yakıtların kül içeriklerine oranla çevreye artık olarak vereceği zararın oldukça düşük olduğu söylenebilir.

Fındık zurufundan elde edilen peletlerin yakılması sonucu açığa çıkan kül içeriği değeri %7.19 ve ısı değeri 18.35 MJ/kg olarak bulunmuştur.

Fındık zurufundan elde edilen peletlerin yakılması sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde (IKHKKY) belirtilen emisyon değerlerinin altında kaldığı ve yakma amaçlı olarak kullanılabilmesi görülmüştür.

Peletlerin fiziksel özellikleri; peletlerin depolanma, paketlenme, taşınma, iletilme ve yakıt besleme sistemlerinin tasarımı için önemli parametreler olduğu bilinmektedir. Fındık zurufundan elde edilen peletlerde nem içeriğinin ve öğütme inceliğinin artması sonucu hacim yoğunluklarında azalma meydana gelmiş fakat pelet yoğunluklarında artış gözlenmiştir. Aynı şekilde nem ve öğütme inceliğinin artması ile pelet sertlik değerlerinde artış gözlenmiş fakat mekanik dayanıklılık değerlerinde azalma gözlenmiştir. Hacim yoğunluğunun azalması ile daha fazla depolama alanına ihtiyaç duyulacağı ve bunun sonucunda depolama alanı için ekstra maliyet artışı olacağını söyleyebiliriz. Pelet sertlik değeri ve mekanik dayanıklılık değerleri peletlerin taşınması, yakıt besleme sistemleri ve farklı iletilim sistemleri (bantlı konveyör, helezon götürücü vb.) için önemli parametrelerdir. Pelet sertliğinin artması ile pelet kırılma direnci azalacağı, taşıma veya iletilim sırasında peletlerin kalitesinde azalma meydana gelebileceğini söyleyebiliriz. Bütün bu fiziksel koşulları göz önüne aldığımızda en iyi peletleme parametreleri %9 nem 10 mm öğütme inceliğinde olduğunu söylenebilir. Elde edilen sonuçlar; hacim yoğunluğu 587.91 kg/m³, pelet yoğunluğu 1288.87 kg/m³, mekanik dayanıklılık %91.31, pelet sertliği 1372.59 N, pelet nem içeriği %8.55 olarak belirlenmiştir.

Ülkemizde fındık bitkisinin genellikle kabuk kısmının katı yakıt olarak değerlendirildiği görülmektedir. Ancak, artık olarak büyük bir potansiyele sahip fındık zurufu katı biyoyakıt olarak değerlendirilebilir. Elde edilen tüm bu sonuçlara göre

fındık zurufu artığının pelet formunda katı biyoyakıt olarak kullanılmasının hem çevresel faktörler hem de katı biyoyakıt özellikleri bakımından oldukça uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu tarz biyoyakıtlar potansiyeli olan tarımsal kökenli artıkların alternatif enerji kaynağı yaratılması bakımından değerlendirilmesi ve bu amaca yönelik bilimsel çalışmaların yapılması gerekmektedir. Yakıt özelliğinin daha da iyileştirilmesi bakımından ülkemizde bulunan kömür madeni artıkları ile tarımsal kökenli artıkların uygun oranlarda karıştırılarak hem daha iyi bir yakıt elde edilmesi hem de her iki artık türünün faydalı bir şekilde değerlendirilmesi sağlanabilir. Fındık zurufu peletlerinin kalitesini arttırmak için doğal yapıştırıcı özelliği olan materyallerle belirli oranlarda karıştırılarak peletlerin fiziko-mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanabilir. Ülkemizin dışa bağımlı olan enerji ihtiyacını azaltmak, daha temiz bir çevre, hızla tükenmekte olan fosil kökenli yakıtların yerine alternatif sürdürülebilir enerji kaynakları üretmek için bu tip bilimsel çalışmaların desteklenmesinin ülkemiz açısından yararlı olacağı kanaatindeyiz.



- EN 15103, 2009. Solid biofuels-Determination of bulk density.
- EN 15149-2, 2010. Solid biofuels-Determination of particle size distribution-Part 2: Vibrating screen method using sieve apertures of 3.15 mm and below.
- EN 15150, 2011. Solid biofuels-Determination of particle density.
- 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, 5, 1259-1266.
- Gençoğlu M.T. 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 57-64.
- Gil M.V., Oulego P., Casal M.D., Pevida C., Pis J.J. and Rubiera F. 2010. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. *Bioresource Technology*, .101, 22, 8859-8867.
- Gürbüz Y., Yazgan O. ve Kamalak A. 2003. Karma yemlerdeki farklı pelet bağlayıcılarının pelet kalitelerine etkileri. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6, 160-167.
- Gürdil G.A., Demirel B., Baz Y. And Demirel Ç. 2016. Pelleting Hazelnut Husk Residues for Biofuel. 6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering, 7-9 September, Prague, Czech Republic.
- Holm J. K., Henriksen U. B., Hustad J. E. and Sorensen L. H. 2006. Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellet production. *Energy nad Fuel*, 20, 2686-2694.
- Hoover A. N., Tumuluru J. S., Teymoun F., Moore J. and Gresham G. 2014. Effect of pelleting process variables on physical properties and sugar yields of ammonia fiber expansion pretreated corn stover. *Bioresource Technology*, 164, 128-135.
- IEA. 2009. World Energy Outlook. *International Energy Agency*, Paris, FRANCE.
- Larsson S.H. and Rudolfsson M. 2012. Temperature control in energy grass pellet production – Effects on process stability and pellet quality. *Applied Energy*, 97, 24-29.
- Lehtikangas P. 2001. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, 20, 5, 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., Liu X., Fei B., Jiang Z., Cai Z. and Yu Y. 2013. The properties of pellets from mixing bamboo and rice straw. *Renewable Energy*, 55, 1-5.
- 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.
- Mani S., Tabil L.G. and Sokhansanj S. 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30, 7, 648-654..

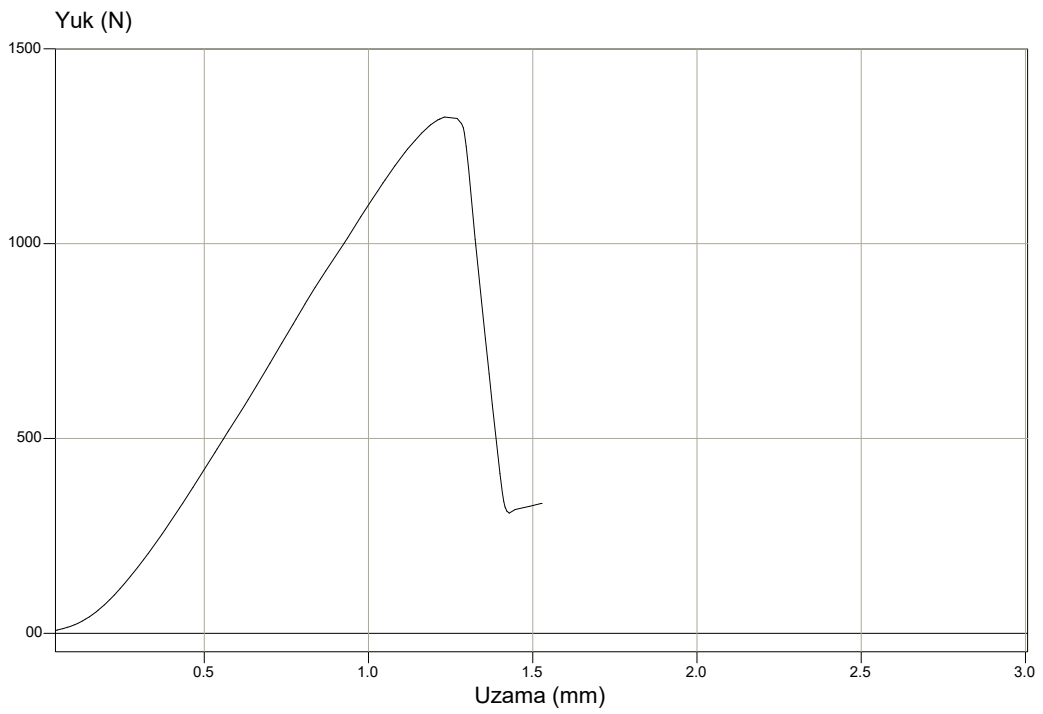
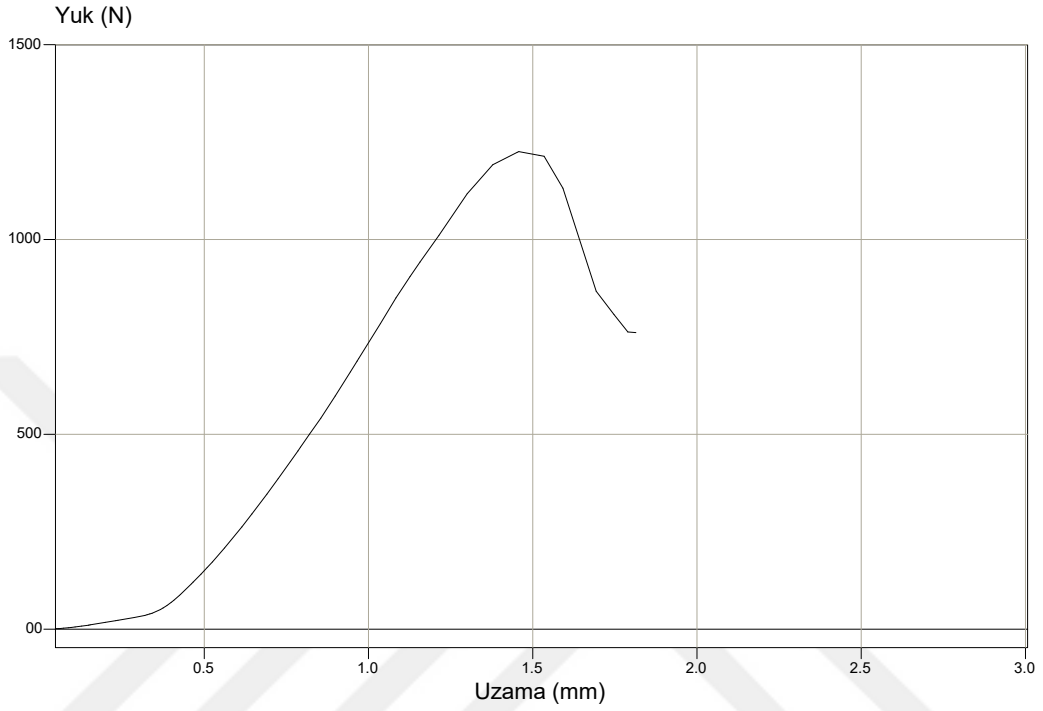
- Mani S., Tabil L. G. and Sokhansanj S. 2003. An overview of compaction of biomass grids. *Powder Handling and Procces*, 15, 160-168.
- Montero I., Miranda T., Sepulveda F. J., Arranz J. L. and Nogales S. 2014. Analysis of pelletizing of granulometric separation powder from cork industries. *Materials*, 7, 6686-6700.
- Nilsson D., Bernesson S. and Hansson P. A. 2011. Pellet production from agricultural raw materials–A systems study. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1, 679-689.
- Öztürk H. H. 2012. *Enerji bitkileri ve biyoyakıt üretimi*, Hasad Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, 2012.
- Ünal T. ve Kızılaslan N. 2014. Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Biyoyakıt. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, 28-29 Mayıs, Bildiri Özetleri Kitabı, 34-44, Samsun, Türkiye.
- Razuan R., Finney K.N., Chen Q., Sharifi V.N. and Swithenbank J. 2011. Pelletised fuel production palm kernel cake. *Fuel Processing Technology*, 92, 3, 609-615.
- Santamarta L.C., Chaney K., Godwin R.J., White D.R. and Humphries A.C. 2012. Physical quality changes during the storage of canola (*Brassica napus L.*) straw pellets. *Applied Energy*, 95, 220-226.
- Sokhansanj J. and Turhollow A.F. 2004. Biomass densification-cubing operation and cost for corn stover. *Applied Engineering in Agriculture*, 20, 495-499.
- 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, 3, 699-706.
- Tabil L.G. and Sokhansanj S. 1996. Pocess conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. *Applied Engineering in Agriculture*, 12, 345-350.
- Tabil L.G. and Sokhansanj S. 1997. Bulk properties of alfalfa grind in relation to its compaction characteristics. *Applied Engineering in Agriculture*, 13,499-505.
- Topal M. ve Arslan E.I. 2008. Biyokütle Enerjisi ve Türkiye. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES), 17-19 Aralık, İstanbul, Türkiye.
- Theerarattananoon K., Xu F., Wilson J., Ballard R., Mckinney L., Staggenborg S., Vadlani P. and Pei Z.J. 2011. Wang D., Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem. *Industrial Crops and Products*, 33, 2, 325-332.
- Tumuluru J.S., Wright C.T., Hess J.R., and Kenney K.L. 2011. A review of biomass densification systems to develeop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*, 5, 6, 683-707.
- Werther J., Saenger M., Hartge E. U., Ogada T. and Siagi Z. 2001. Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26, 1, 1-27.
- Zafari A. and Kianmehr M. H. 2013. Factors affecting mechanical properties of biomass pellet from compost. *Environmental Technology*, 35, 4,477-486.
- Zamorano M., Popov V., Rodriguez M. L. and Garcia-Maraver A. 2011. A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forest ridding residues. *Renewable Energy*, 36, 11, 3133-3140.

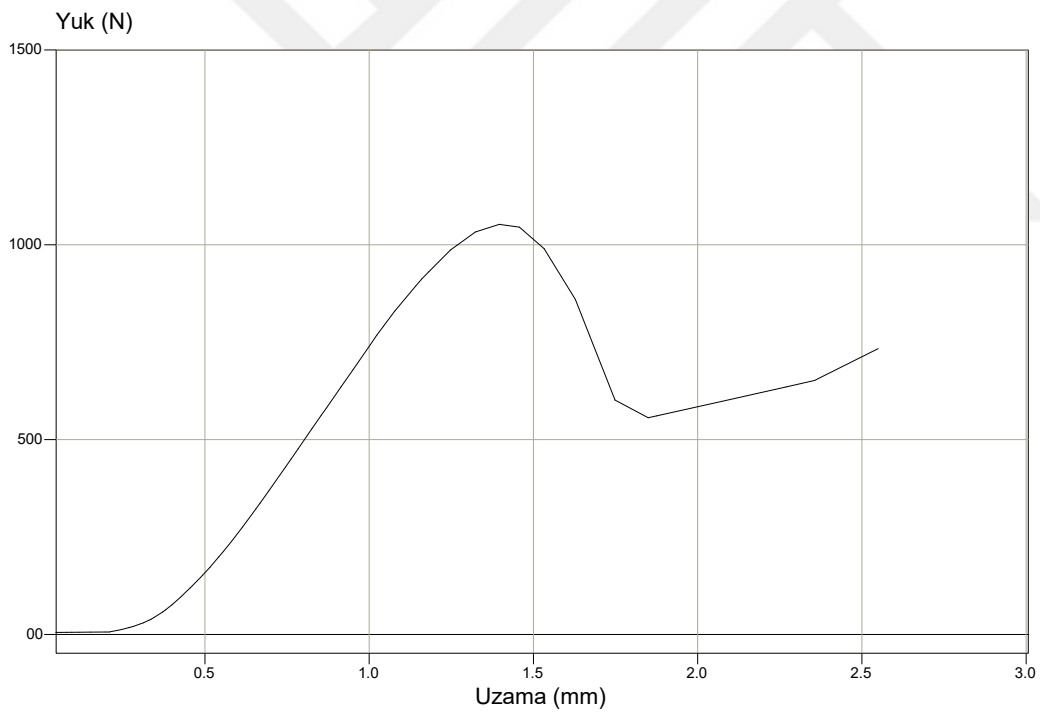
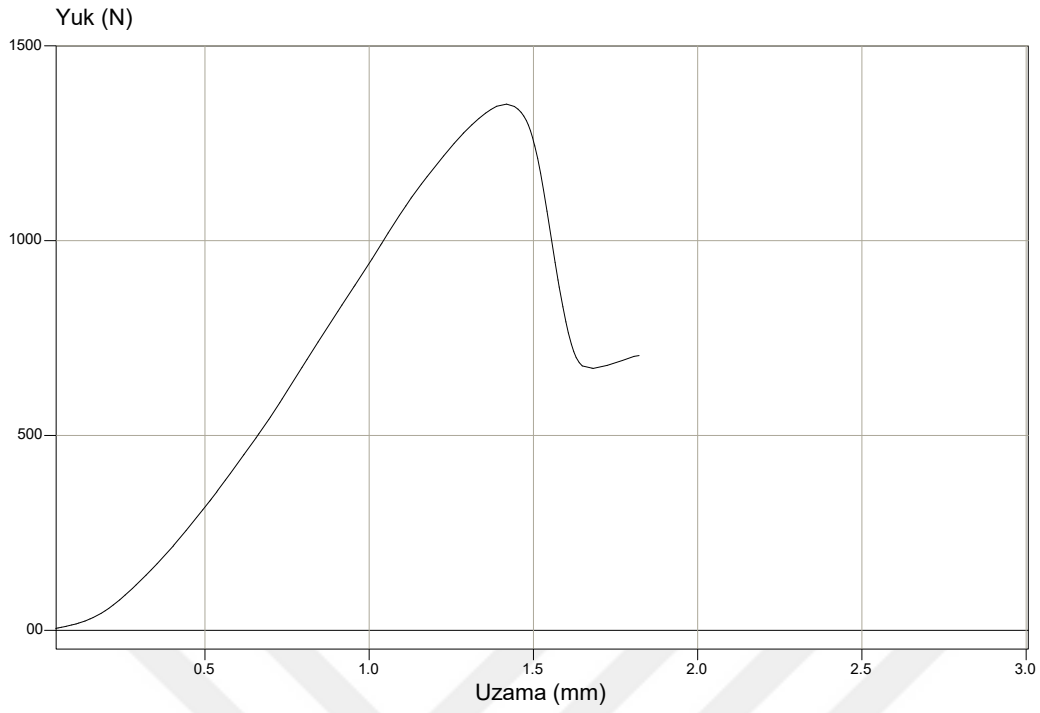
Yolcu E. ve Gürdil G.A. 2018. ay retimi Sonucunda Aığa ıkan ay Atıklarının Peletlenme Olanaklarının Araştırılması. 1st International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (Eurasiasciencetech 2018),22-23 November, Ankara, Türkiye.

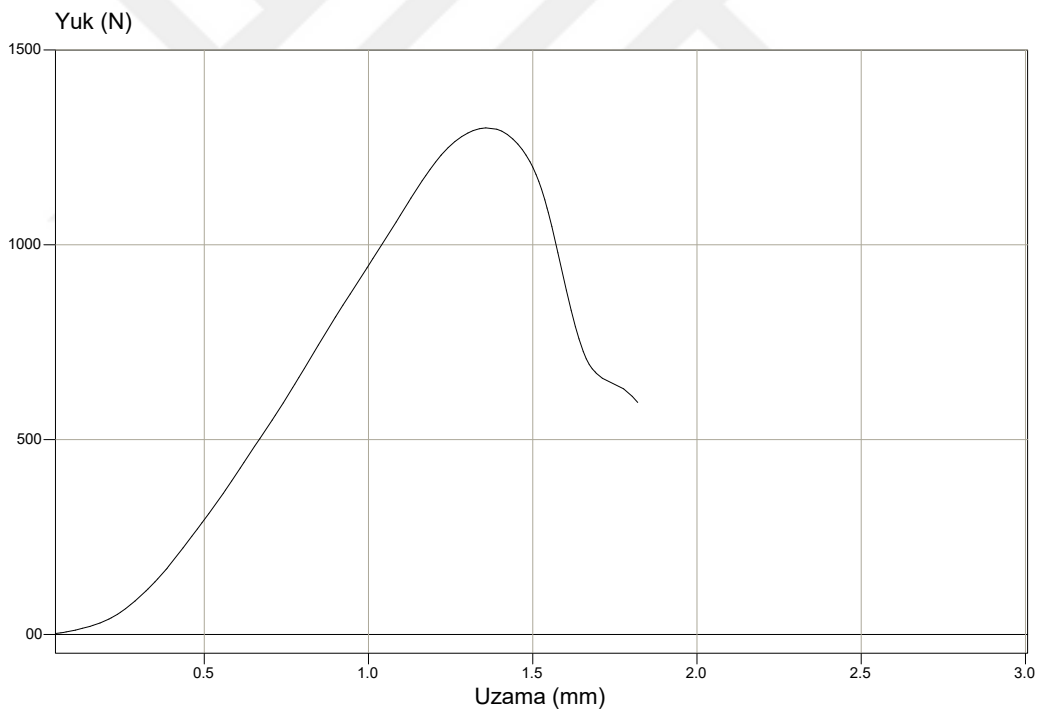
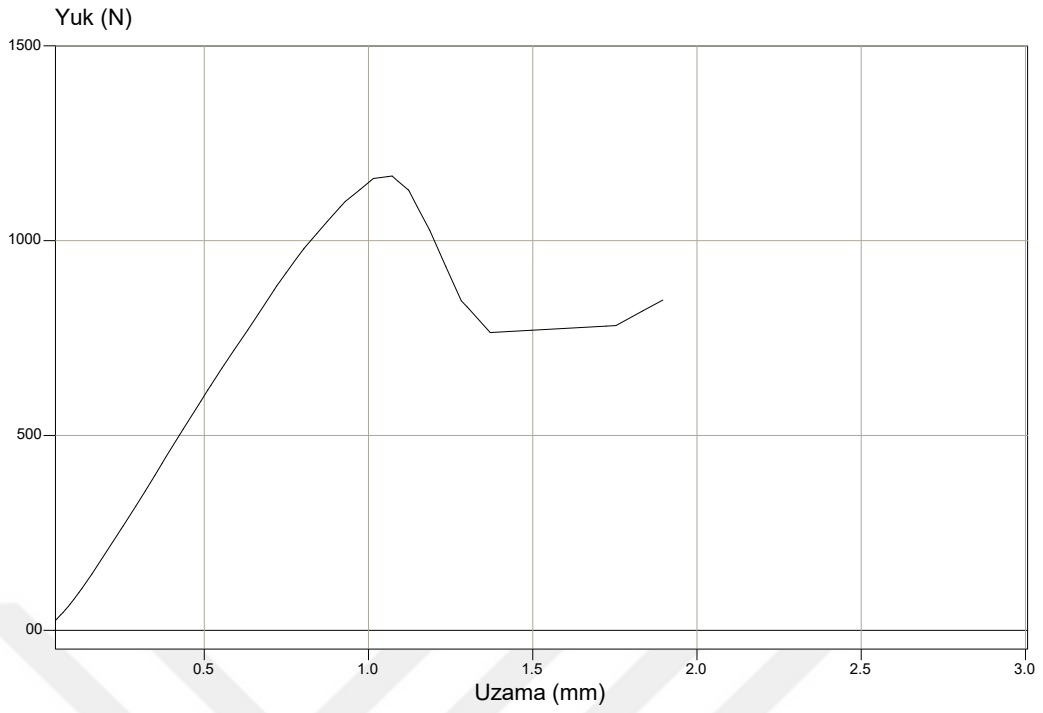


EKLER

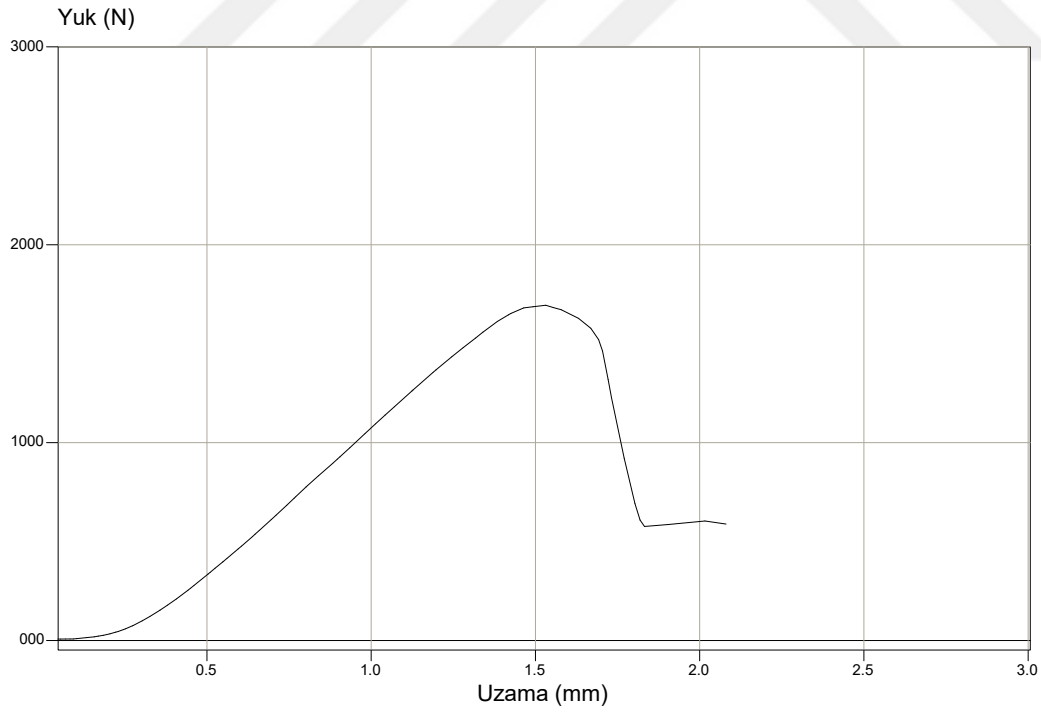
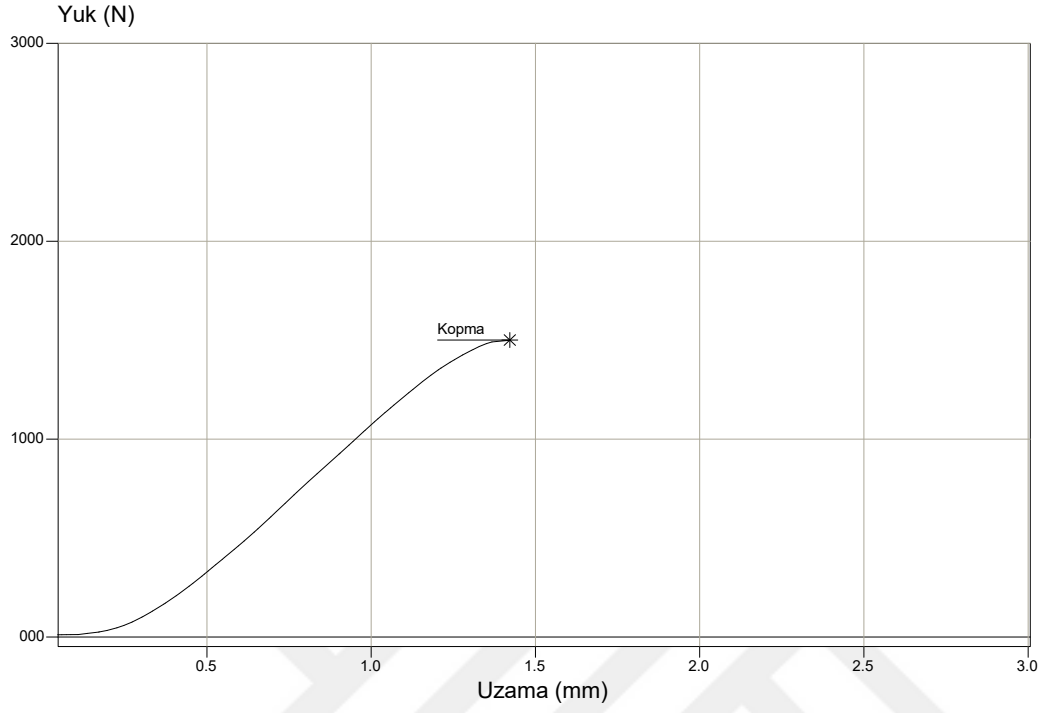
EK 1. Nem içeriği %12 olan 6 mm öğütme inceliğindeki bazı peletlerin dayanım grafikleri

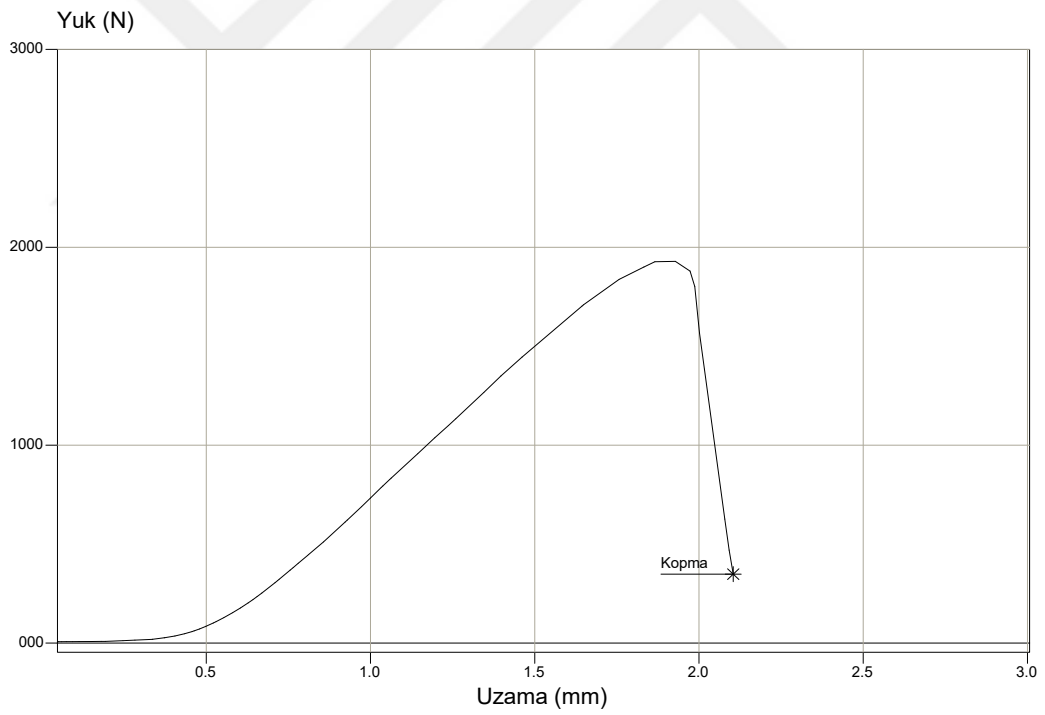
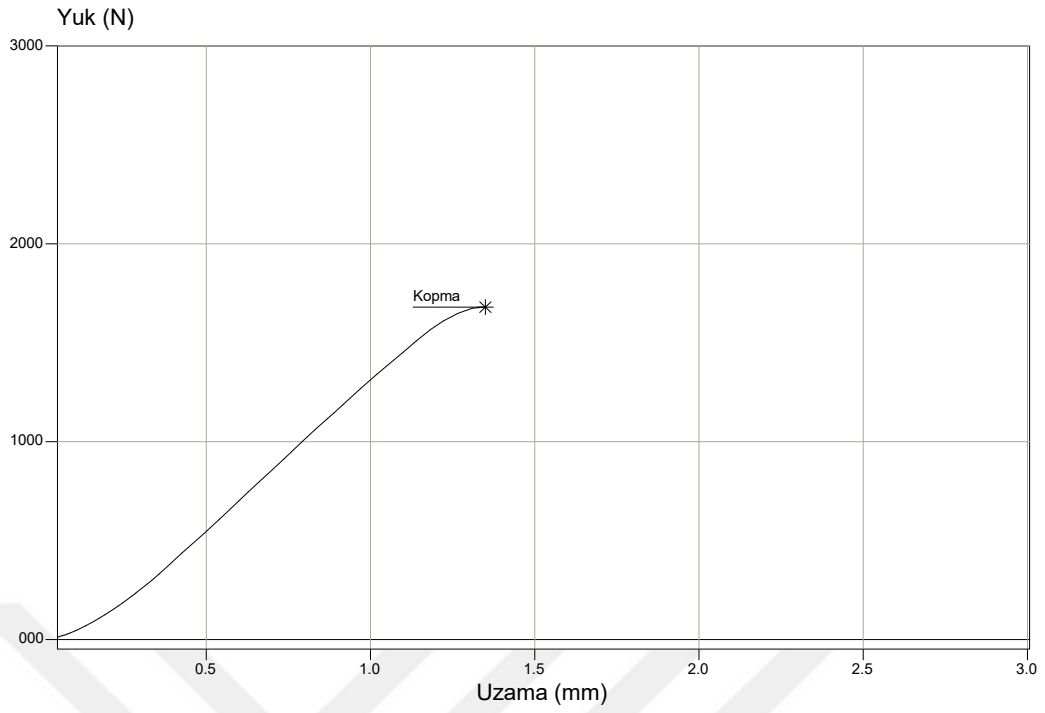


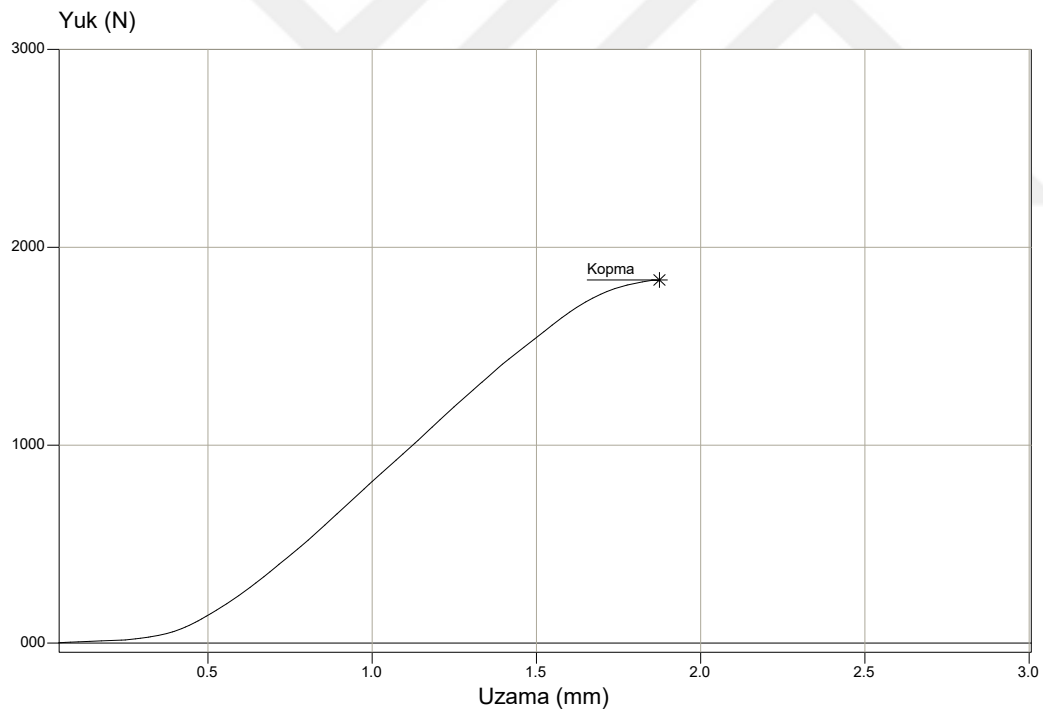
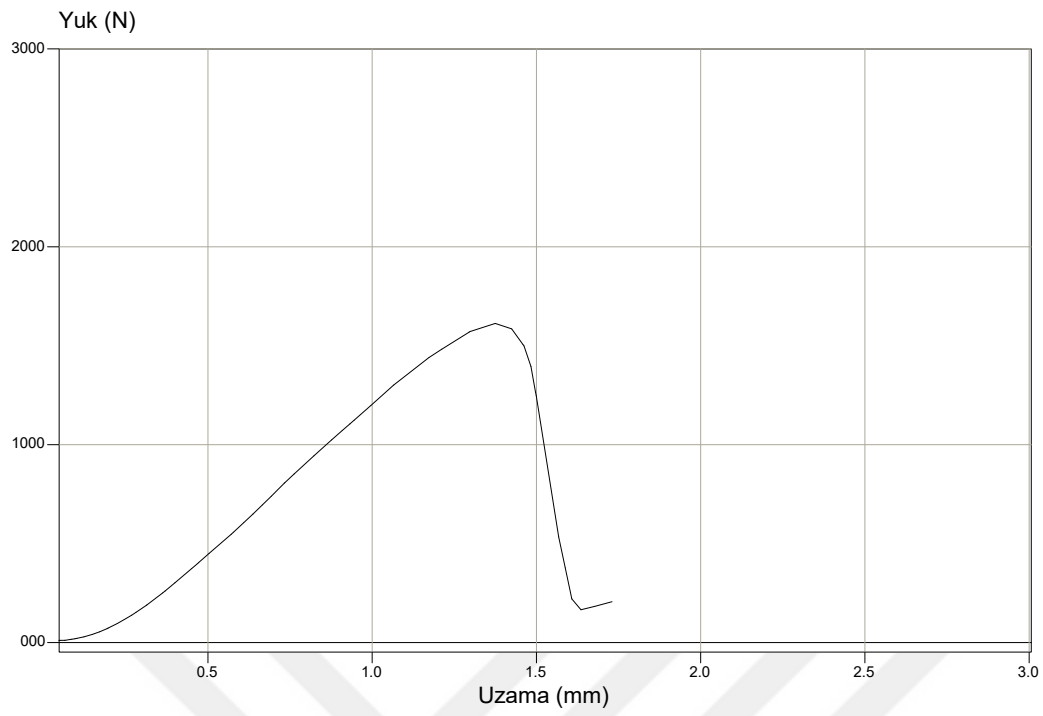




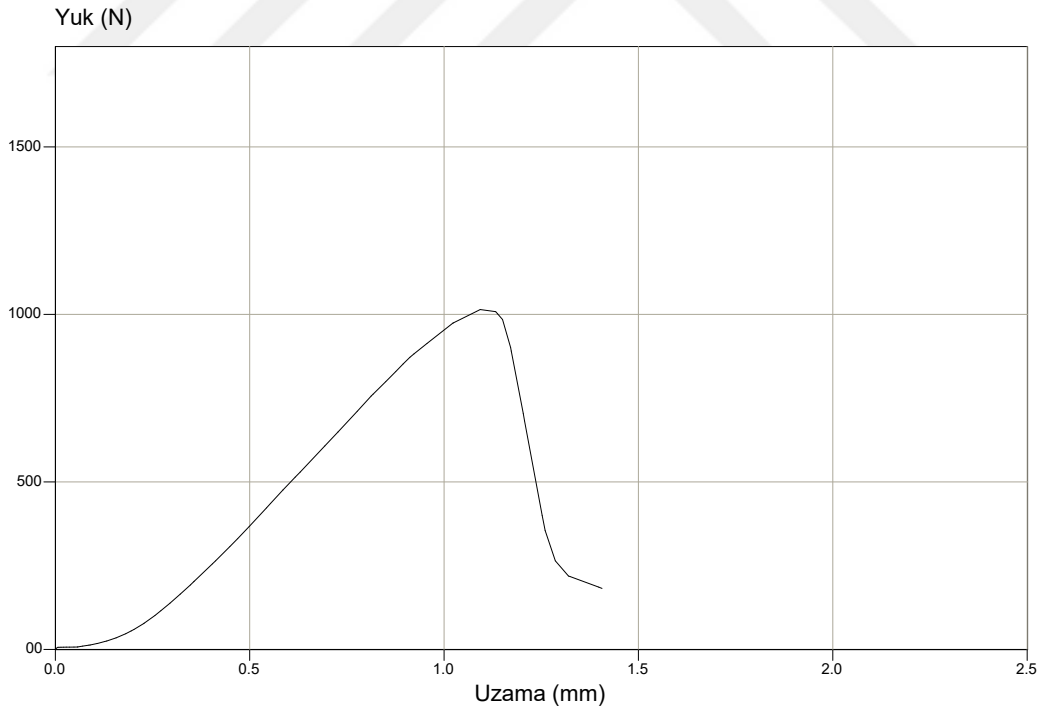
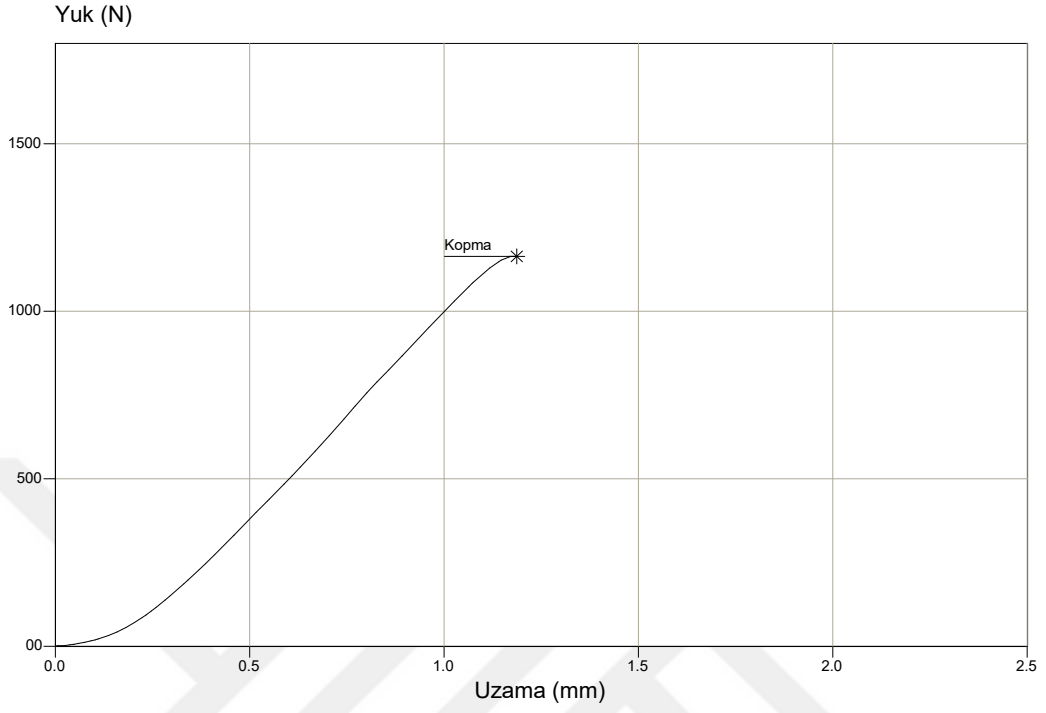
EK 2. Nem içeriği %12 olan 10 mm öğütme inceliğindeki bazı peletlerin dayanım grafikleri

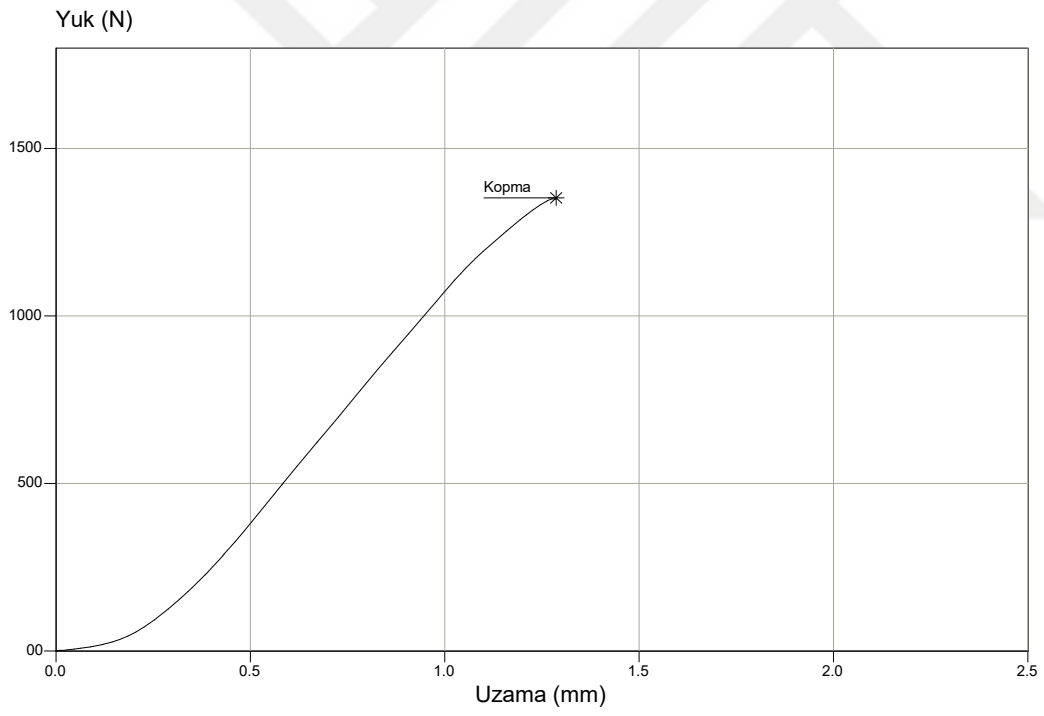
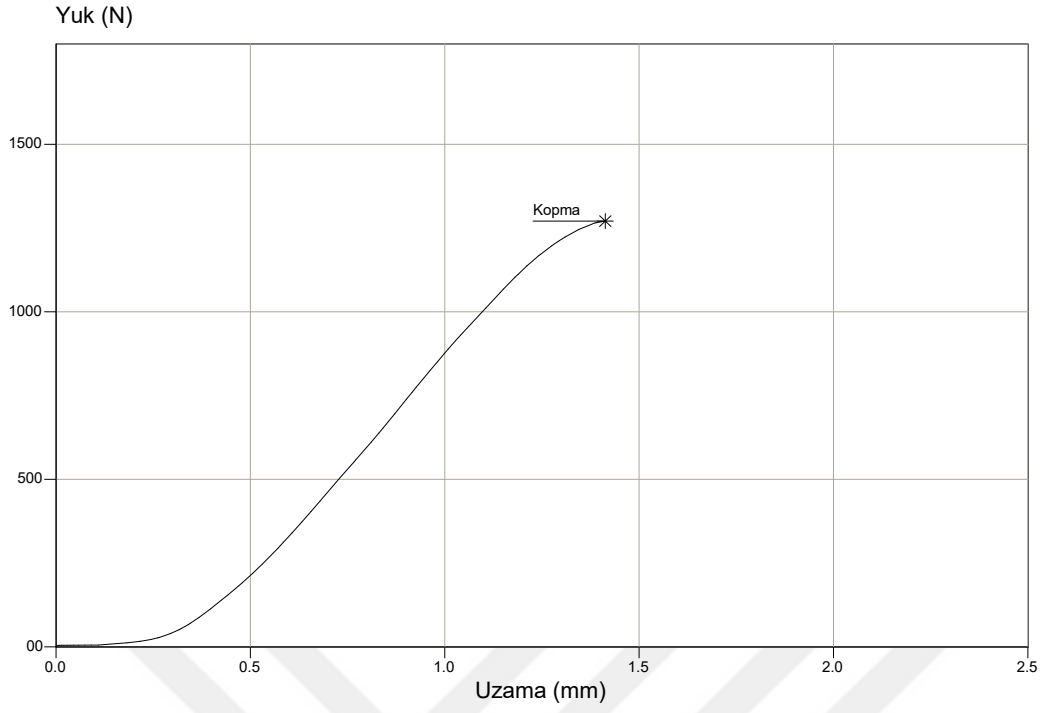


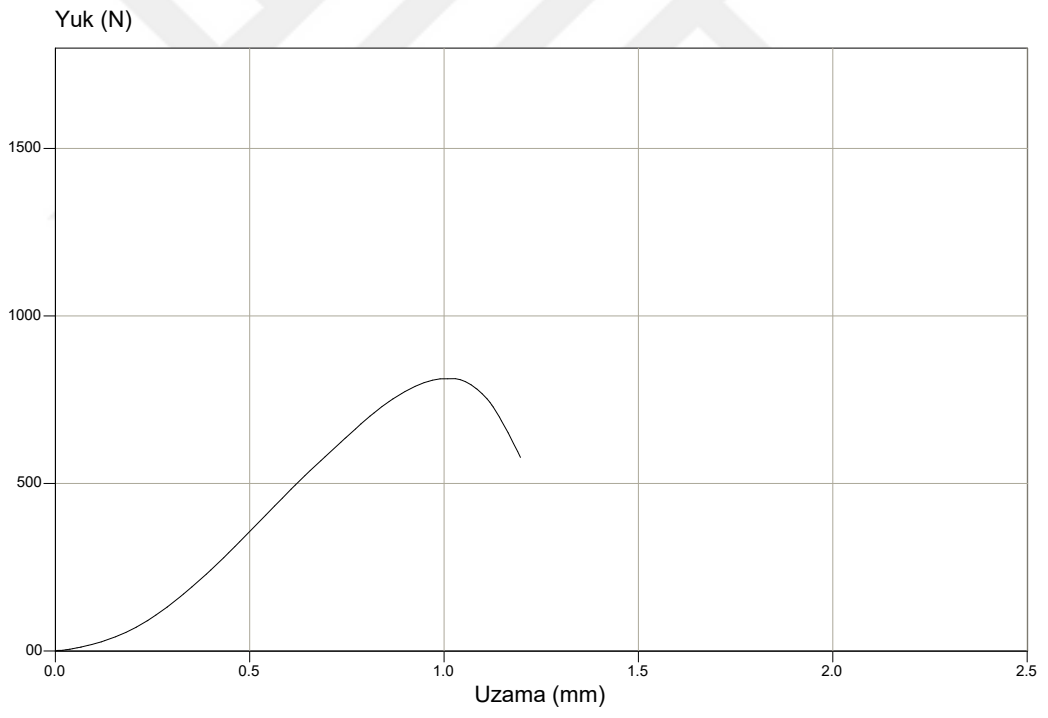
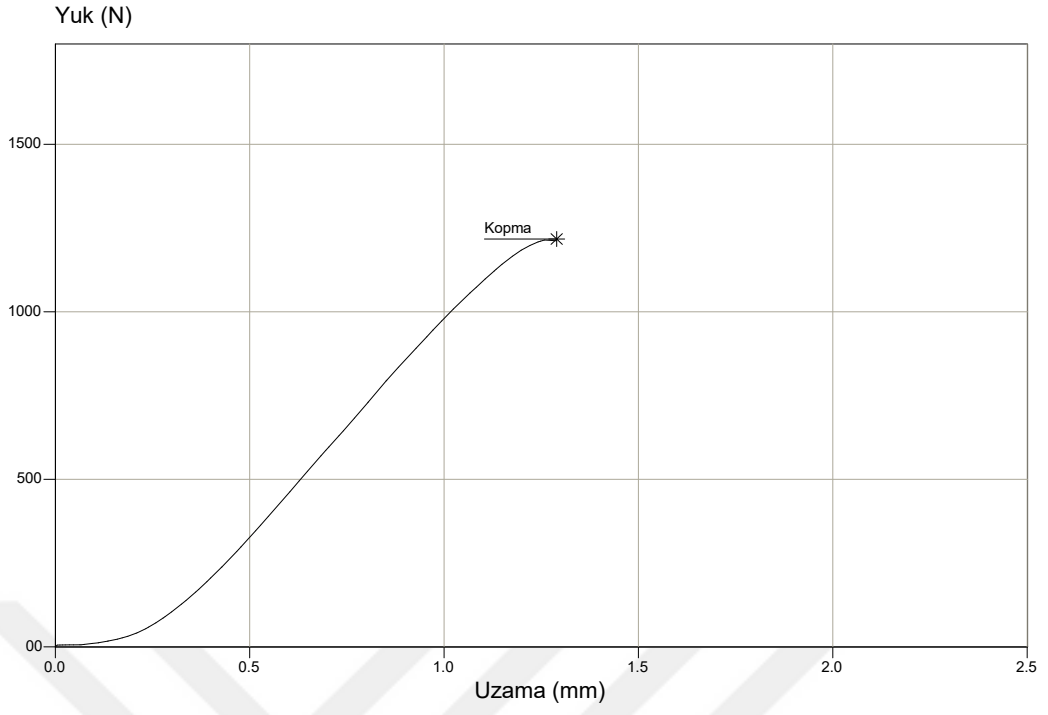




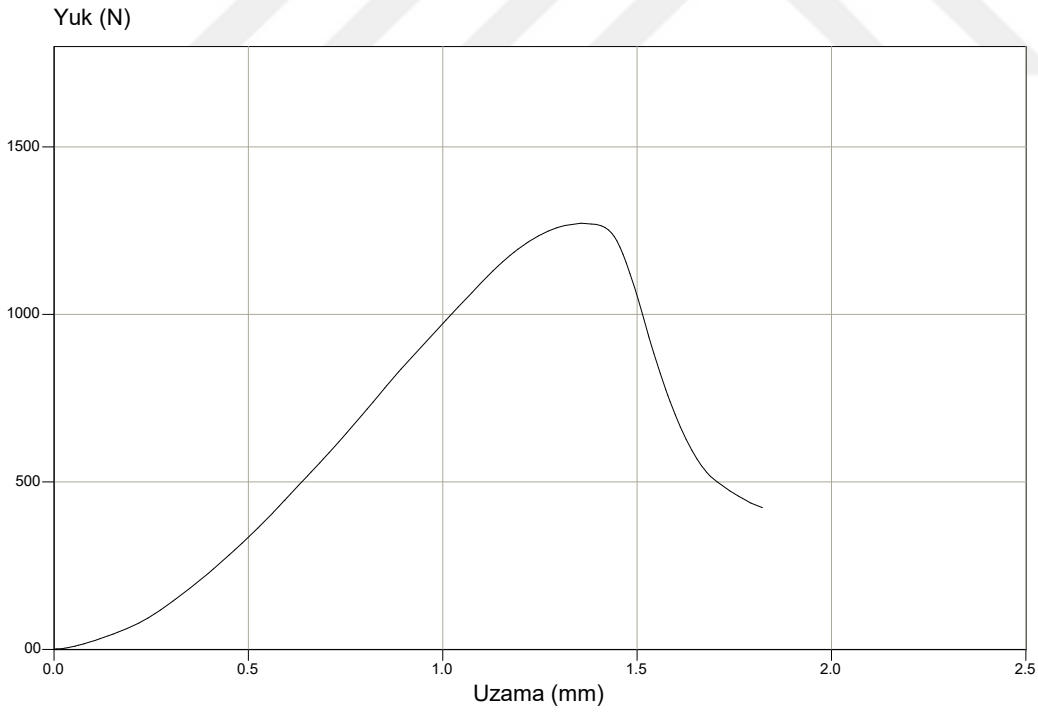
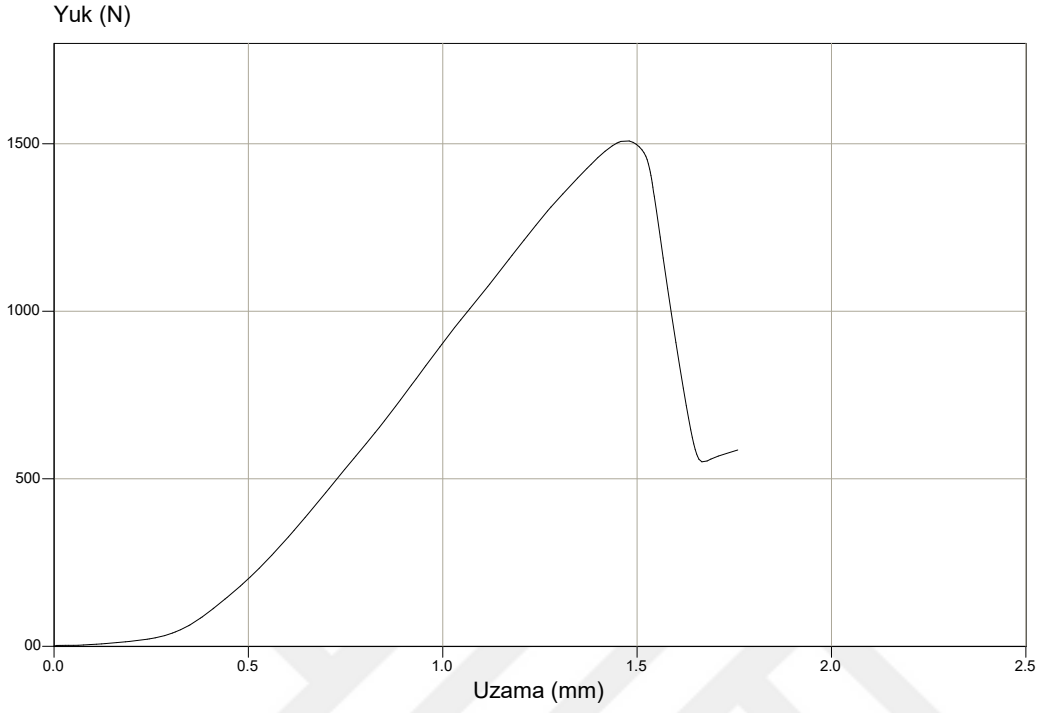
EK 3. Nem içeriği %9 olan 6 mm öğütme inceliğindeki bazı peletlerin dayanım grafikleri

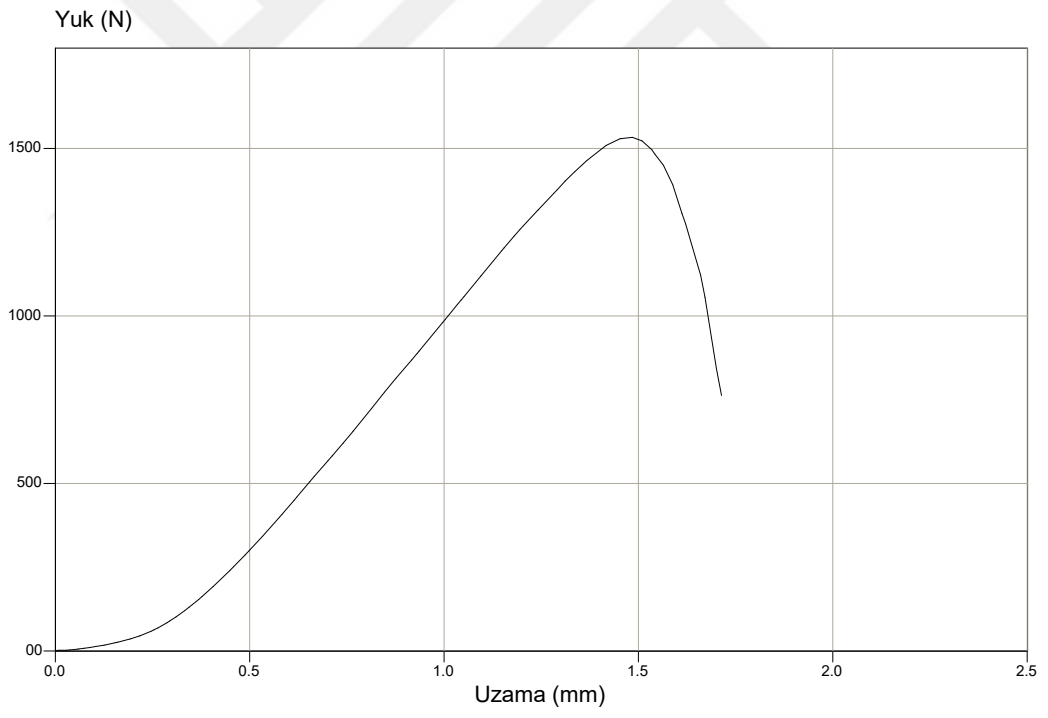
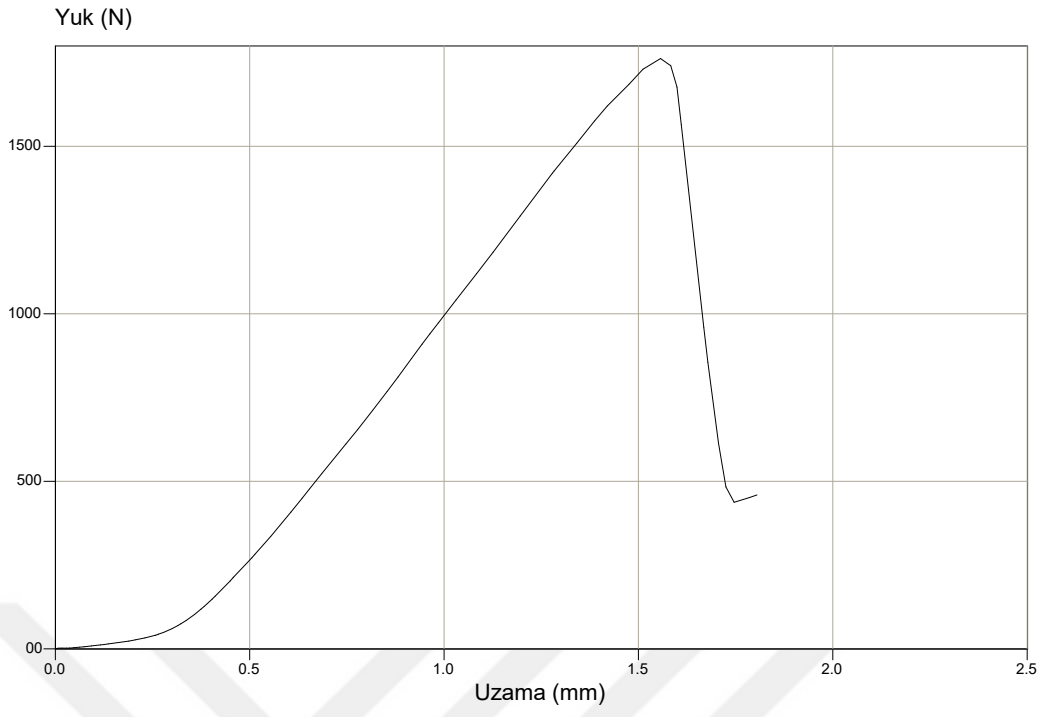


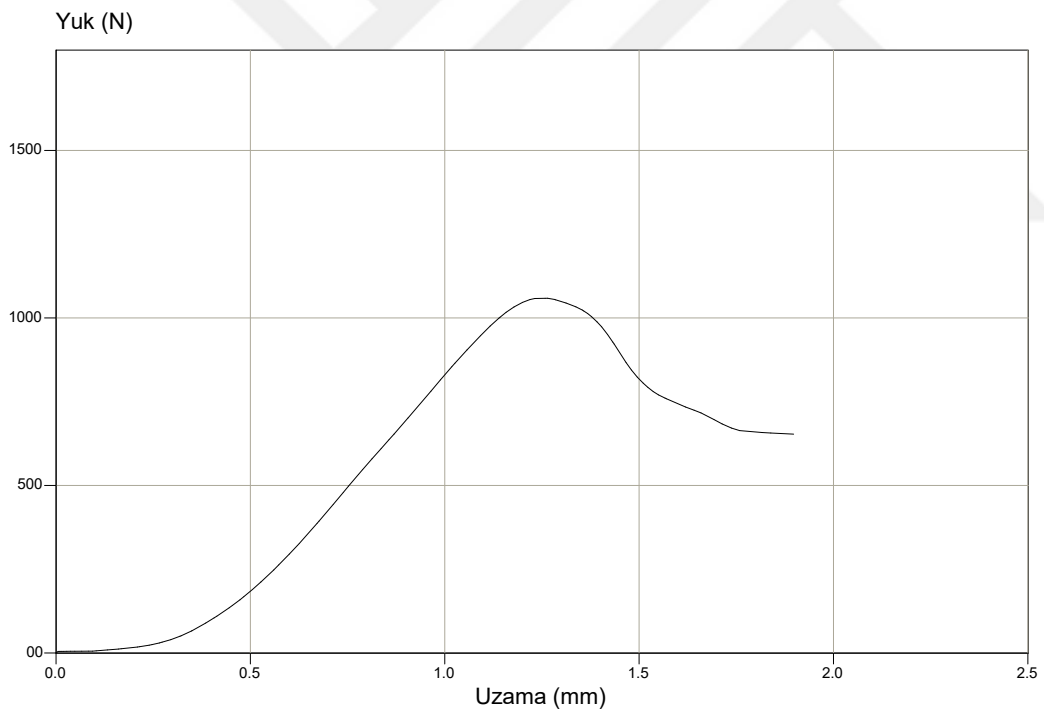
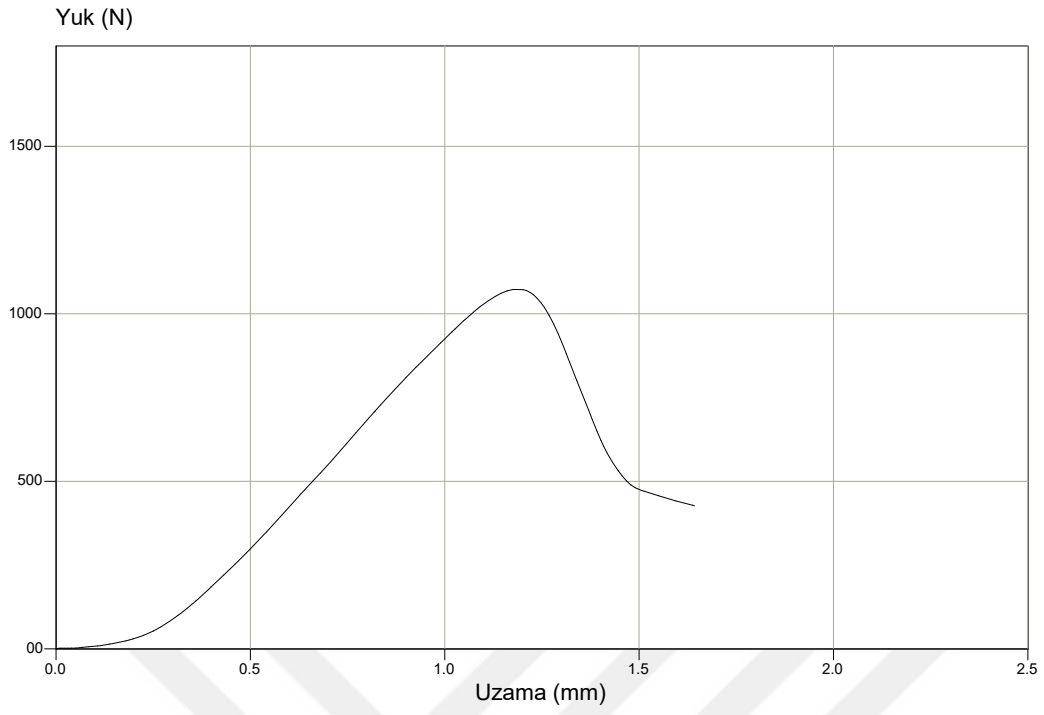




EK 4. Nem içeriği %9 olan 6 mm öğütme inceliğindeki bazı peletlerin dayanım grafikleri







ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Yunus Özcan BAZ
Doğum Yeri : Korgan
Doğum Tarihi : 31.12.1986
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Urla Lisesi (2004)
Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım
Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü (2013)

Yayınlar

- Gürdil G.A., Demirel B., Baz Y. and Demirel Ç. 2016. Pelleting Hazelnut Husk Residues for Biofuel, *6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering, 7-9 September 2016, Prague Czech Republic.*
- Gürdil G.A., Baz Y.Ö., Dok M., Acar M., Demirel Ç. 2016. Fındık Zurufundan Üretilen Yakıt Peletinin Isısal Parametreleri, *2. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu 27-30 Eylül 2016, SAMSUN*