

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

**TAVUK GÜBRESİNİN ORGANİK ATIKLARLA
PELET YAPILARAK YAKILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alper ER

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR

Mayıs 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAVUK GÜBRESİNİN ORGANİK ATIKLARLA
PELET YAPILARAK YAKILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

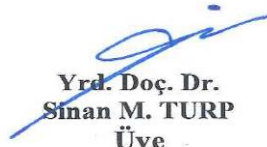
Alper ER

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12.05.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir



**Prof. Dr.
Saim ÖZDEMİR
Jüri Başkanı**



**Yrd. Doç. Dr.
Sinan M. TURP
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.
Ömer H. DEDE
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Alper ER

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans tezım boyunca değerli yardım ve katkıları ile beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR'e ve maddi manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
TABLolar LİSTESİ	v
ÖZET.....	vi
SUMMARY	vii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
TAVUK GÜBRESİNİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK	
ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Tavuk Gübresinin Fiziksel Özellikleri.....	3
2.2. Tavuk Gübresinin Enerji Değeri	4
2.3. Tavuk Gübresinin İçeriği	8
2.4. Tavuk Gübresinin İşlenmesi	9
2.5. Pelet Üretim Süreci.....	9
2.6. Peletlemede Sıcaklığın Etkisi	10
2.7. Peletlemede Presleme	10
2.8. Pelet Yapılabilecek Kaynaklar	11
2.9. Pelet Yakıtının Özellikleri.....	11
2.10. Sakarya'nın Pelet Hammadde Potansiyeli.....	12
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE METOT	13

3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller	13
3.2. Pelet Numunelerinin Yapılması	13
3.3. Rutubet Miktarı Tayini.....	13
3.4. Kül ve Uçucu Madde Analizi	14
3.5. Kalori Tayini	14
3.6. Yanma Gazları Analizi	15
3.7. Kül Emisyonu Kompozisyonu Analizi	15
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	16
4.1. Kümes Atıkları ve Tarımsal Atıkların Enerji Analizi.....	16
4.2. Kümes Atıklarının Yanma Gazı Emisyonları.....	17
4.3. Kümes Atıklarının Yanma Külü Emisyonları	18
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	20
KAYNAKLAR.....	23
ÖZGEÇMİŞ	26

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
BTU	: Birim Hacimdeki Kalori
HHV	: Üst Isıl Değer
KCAL	: Kilo kalori
KJ	: Kilojoule
LHV	: Üst Isıl Değer
MW	: Megawatt
SKHKK	: Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
W	: Ağırlık (kilogram)

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı yakıtların enerji verimliliğini etkileyen karakteristik özellikleri	8
Tablo 2.2. Tavuk gübresine karışım olarak kullanılabilecek bitkisel ürünler ve özellikleri.....	11
....	
Tablo 4.1. Çalışmada incelenen maddeler, enerji değerleri ve ilgili özellikleri	16
.....	
Tablo 4.2. Broyler kümes altlığı ve incelenen digger biyoyakıt kaynaaklarının gaz emisyonları.....	17
.....	
Tablo 4.3. Çalışmada incelenen maddelerin kül içeriklerinin % olarak değerleri....	18

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tavuk gübresi, enerji içeriği, yanma gazı emisyonları, kül içerikleri

Tavuk kümesleri her geçen gün daha fazla miktarda altlık atığı oluşturmakta ve bu tipik olarak çevredeki tarım alanlarına gübre kaynağı olarak yayılmaktadır. Bununla birlikte, fazla miktarlar koku emisyonu, su kaynaklarına kirlilik ve patojen yayılımı gibi çevresel açıdan risk oluşturmaktadır. Kümes biyokütle atıklarının, kümeslerde alan ısıtmaya enerji sağlama amaçlı, özellikle diğer yerel tarımsal kaynaklarla karıştırılarak yakılması, cazip alternatif enerji kaynağı olarak görülmektedir. Bu çalışmada, kümesler boşaltılıp temizleme aşamasında kümes altlık örnekleri toplanmış ve enerji içerikleri, yanma gaz emisyonları ve yanmadan sonra geriye kalan kül karakteristikleri incelenmiştir. Ağaç talaşı, fındık kabuğu, mısır sapı ve çeltik kavuzu, tavuk gübresinin yakılmasında yanma ve emisyonları iyileştirme amacıyla, ayrıca incelenmiştir. Tavuk kümes altlığının alt ve üst ısı değeri sırası ile 3100 – 3500 kcal/kg olarak tespit edilmiş, kuru ağırlık bazında kül miktarı kül miktarı % 19.4 olarak bulunmuştur. Külde en fazla bulunan mineral P_2O_5 olmuştur. Kümes altlıklarının yakılması yanma gazı emisyon limit değerlerini, en problemleri NO_x emisyonları dahil, sağlamıştır. Enerji değeri ve yanma gazı emisyonları olarak tarımsal atık maddeler, kümes atıklarından daha iyi değerler vermiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, tavuk gübresi ve tarımsal atıkların kombine edilerek, ekonomik olarak uygun, enerji değeri yüksek biyokütle yakıtı üretilebileceğini göstermiştir.

COMBUSTION OF POULTRY LITTER WITH AGRICULTURAL RESIDUES

SUMMARY

Keywords: Poultry litter, energy content, exhaust gas emission, ash characteristics

Broiler farms produce large amounts of litter that is typically spread on nearby cropland as a fertilizer source. However, excess amount cause environmental concern by odour emission, contamination to water bodies and pathogen transmission. Burning litter biomass to provide energy for space heating in broiler houses has been viewed as an alternative of renewable energy, especially when combine with local crop residues. In the present study, litter samples were obtained from a local broiler farm following clean-out to evaluate the energy content, exhaust gas emissions and characteristics of ash following combustion. Wood sawdust, hazelnut nut shell, corn stalk and rice husk were also evaluated as a possible combustion with poultry litter to amend combustion and emissions. The low and high heating values of the litter was 3100 – 3500 kcal/kg, respectively, and had an ash content of 19.4% dry basis. Predominant ash mineral was P_2O_5 in the litter. Poultry litter combustion was proved the exhaust gas emission limits, together with most concerning gas NO_x . The energy content and exhaust gas emissions of crop residues were given the better values than poultry litter. According to the results, economically feasible and high energy containing biomass fuel can be produced by combining poultry litter and crop residues.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Biyolojik kökenli kaynaklar, enerji üretimi amacıyla kullanılan yenilenebilir kaynaklar olarak görülmektedir [1]. İşlenmiş ürünlerden pelet ise biyoyakıtların modernize edilmiş formudur. Biyoyakıtlar hammaddenin yerel kaynaklardan kolayca elde edilebilir, ucuz ve fosil yakıtlara göre nispeten temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarındandır [2]. Biyokütle, dünyada enerji talebinin % 10 ve 15 arasında bir paya karşılık gelmektedir ve bu oran Avrupa birliğinde 2020 ye kadar çevreci politikaların uygulanması ile % 20'lere kadar yükseltilmesi hedeflenmektedir [3]. Bu gibi nedenlerden dolayı önemli enerji kaynaklarından biri konumundadır. Birçok gelişmiş ülke biyokütle enerjisini geleceğin temel enerji kaynağı olarak görmekte, örneğin Finlandiya enerjisinin % 20'sini, İsveç %16'sını, Avusturya %13'ünü biyokütleden elde etmektedir [4]. TÜİK verilerine göre ülkemiz enerji gereksiniminin büyük bölümünü ithalat yoluyla karşılamakta ve giderek artmaktadır. Ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamada biyoyakıtlar en potansiyeli yüksek kaynağı oluşturmaktadır [5].

Pek çok ülkede evsel ve endüstriyel amaçlı ısınma ve elektrik enerjisi üretimi için biyoyakıt kaynaklara talep artışı pelet pazarını büyütmüş ve büyümenin gelecekte de hızlı bir şekilde devam edeceği tahmin edilmektedir. CO₂ emisyonlarını azaltma stratejilerinden dolayı en büyük üretici Avrupa Birliği ve yine en fazla tüketici ve ithalatçı Avrupa Birliği ülkeleridir.

Ormancılık atık ve artıkları, kereste endüstrisi artıkları, tarımsal ürün hasat artıkları ile özel olarak yetiştirilmiş enerji bitkisi biyokütleleri konutların ısıtılması ve elektrik enerjisi üretiminde en kolay ve enerji verimli olarak pelet yapıldıktan sonra kullanılabilir. Biyokütlelerin pelet yapılarak kullanılması taşıma maliyetlerini düşürerek diğer enerji türlerine karşı kalorisi düşük olsa da avantajlı hale getirmektedir [6]. Peletler 6 ila 8 mm çapında, 10 ila 12 mm uzunluğunda silindirik sıkıştırılarak

yoğunluğu ve dolayısıyla enerji verimliliği artırılmış silindirik şekilli maddelerdir. Odunsu madde artıklarının en bol olduğu kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinde üretilmektedir. Kuzey Amerika ülkeleri olan ABD ve Kanada’da yılda 2 milyon tonun üzerinde, Avrupa ülkelerinde yılda 10 milyon ton civarında üretim yapılmaktadır. Piyasaya sürülen peletler konut, iş yeri ısıtmalarında bireysel soba ve katı yakıt kat kaloriferlerinde, öğrenci yurtlarında ve kimi küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde proses suyu ısıtmalarında da kullanılmaktadır. Genel olarak termokimyasal dönüşüm sistemleri olarak bilinen piroliz, gazifikasyon ve yanma sistemlerinde kullanılabilir [7]. Kanada gibi büyük üretici ülkelerde Avrupa ve Asya ülkelerine dış ticareti de yapılmaktadır. Özellikle ticaret söz konusu olduğunda standartlar ön plana çıkmakta ve peleti aktif olarak kullanan ülkelerde üretim, taşıma ve paketleme işlemleri için standartları bulunmaktadır. Dış ticarete standartları daha sıkı olan AB International Pelet Standard DIN 51731 pelet standartları dikkate alınmaktadır.

Alamsyah ve ark. [8] peletlenebilir olan Palmiye kabuğu, Küspe, Soya fasulyesi sapları, Çeltik ve Mısır talaşları gibi atıkları peletleyerek gazifikasyon sistemlerinde kullanımını incelemişler ve tüm atık peletleri için emisyon değerlerini yasal sınırlar içerisinde bulmuş ayrıca pelet kaliteleride DIN 51731 standartlarına uygun bulunmuştur. Kraszkiewicz ve ark. [9] selüloz içerikleri % 31,8 ile 42,64 arasında değişen 6 farklı tarımsal atık ile selüloz içeriği ile pelet yoğunluğu ve mekanik etkilere dayanım arasında R değerleri sırasıyla 0,39 ve 0,75 olan ters bir lineer ilişki bulmuşlar bunun yanında kalorifik değerle herhangi bir ilişki gözlemleyememişlerdir.

BÖLÜM 2. TAVUK GÜBRESİNİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK ÖZELLİKLERİ

Artan insan nüfusuyla birlikte büyüyen hayvancılık endüstrisi, çevresel sorunlar oluşturan yüksek miktarlarda hayvansal atığın oluşmasına neden olmaktadır. Türkiye’de, son yıllarda kümes ve çiftlik hayvanlarından kaynaklanan hayvansal atıklar, en önemli ve en ciddi çevresel problemler arasında yer almaktadır. Kümes hayvanı atıkları eğer uygun bir şekilde yönetilmezse ana çevresel sorunlardan biridir [10]. Tavuk gübresi geleneksel olarak arazilere gübre kaynağı olarak kullanılırken, sürekli artan miktarda ortaya çıkışları alternatif bertaraf sistemlerine olan ihtiyacı artırmıştır. Alternatif bertaraf yöntemlerinden birisi de direk yakma işlemidir. Bu işlem hem çevresel açıdan uygun, ekonomik bertaraf sağlamakta ve hem de enerji üretimi ve ortam ısıtılmasında hatta kaynaklandıkları kümeslerin ısıtılmasında imkan sağlamaktadır [11]. Bununla birlikte tavuk gübresinin sahip olduğu kimi özellikler efektif yanma ve enerji verimliliğini kısıtlamakta iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

2.1. Tavuk Gübresinin Fiziksel Özellikleri

Tavuk gübresi iki temel bileşen dışkı ve altlık malzemesinden oluşmaktadır. Bir yetiştirme periyodu boyunca kümesin tabanında birikmekte ve ardından toplanıp kümes dışına çıkarılmaktadır. Karışım, farklı partikül boyutlarında, şekillerde, yoğunlukta ve kimyasal içerikte olabilmektedir. Enerji yönünden ön plana çıkan fiziksel özellikler, partikül boyutu, şekli, yoğunluğu ve dağılımı oluşturmaktadır. Poröz, hacimli, hacim ağırlığı düşük malzeme olduğu için enerji değerinin yükseltilmesi, yanma özelliklerinin iyileştirilmesi büyük önem taşımaktadır [11]. Bu özelliklerin bilinmesi, ürünün taşınması, depolanması ve prosese uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

Hacim ağırlığı, bilinen bir hacimdeki maddenin ağırlığını ifade etmektedir. Ham haldeki tavuk gübresinin hacim ağırlığı 0.50 g/ml mertebesinde dir. Bu hali ile taşıma, depolama ve yakma şeklinde kullanıma uygun özellik taşımamaktadır. Hacim ağırlığına bağılı olarak tavuk gübresinin porozitesi % 60-70 arasında değışkenlik göstermektedir. Bu özelliklere bağılı olarak tavuk gübresinin sıkıştırılabilirliği ve enerji yoğun yakıt elde edilmesi rutubet oranı ve uygulanan basınç oranına bağılı olarak değışmektedir.

Tavuk gübresi hacim ağırlık olarak 500 kg/m³ ‘ün altında depolama ve taşıma maliyetleri gibi hacim ağırlığın önemli olduğı işlemler için ham hali ile hafif bir maddedir [12]. Bu olumsuzluklarının yanında taşınması esnasında içeriğinde bulunan uçucu partiküller, hastalık yapıcı maddelerin ortama yayılması ve koku gibi sorunlar oluşturmaktadır. Hacim ağırlığı düşük bu materyallerin depolama, taşıma ve kullanmada uygunluğunu sağlamak için peletleme uygulaması fiziksel özellikleri bakımından kullanıma uygun hale getirmekte buna ek olarak tozlaşmadan dolayı meydana gelen biyolojik sorunlar da azaltılmaktadır. Rutubet % 10’un altına indirildiğinde mikrobiyal ve biyokimyasal bozunmaya dayanıklı hale gelir ve yakıt olarak kullanılabilir [13].

2.2. Tavuk Gübresinin Enerji Değeri

Biyokütle yakıtların enerji değeri başta su muhtevası olmak üzere karbon oranı ve içediğı kül miktarına bağılı olarak değışiklik göstermektedir. Kümeden yeni çıkan tavuk gübresinin rutubet oranı % 20-30, kül oranı ise % 9-54 arasında değışkenlik göstermektedir [10]. Havada kurutulmuş broyler altlığının kalorifik değeri 13.5 GJ/ton ve yaklaşık kömürün yarısı kadar rapor edilmektedir [14]. Enerji değeri düşük olmasına rağmen tavuk gübresinin bertarafı söz konusu olduğunda yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanımı yaygınlık göstermektedir. Enerji dengesi ve yanma özelliklerinin iyileştirilmesi gibi nedenlerle diğ er yakıtlarla birlikte yakılması, hatta kentsel katı atıklarla birlikte yakılması da söz konusudur. Örneğin İrlanda gibi enerji kaynakları bakımından fakir ülkelerde tavuk altlığı saf halde veya torf (turba) ile % 50 oranında karışım halinde yakılmakta ve çevredeki tavuk kümeslerinin ısıtılmasında

faaydalanılmaktadır [14]. Yine Birleşik Krallıkta 140,000 ton tavuk gübresi yakma kapasiteli 12.7 MW lık tesis uzun süredir işletilmekte, daha büyük kapasiteli yakma tesisleri inşa edilmektedir.

Yüksek rutubet içeriğinde, düşük kalorifik değere sahip olan tavuk altlıkları yakılabilir kuruluğa kadar kurutulduğunda kalorifik değeri yükselmekte, enerji değeri yüksek orman endüstrisi atıkları, tarımsal artıklar, kömür tozu, kentsel katı atıklarla karışım haline getirildiğinde enerji değeri daha da yükseltilebilmekte, yanma özellikleri iyileştirilmektedir. Tavuk kümeslerinde ısıtma amaçlı, yanma özellikleri iyileştirilmiş, kalorifik değeri yüksek, maliyeti düşük biyo-kütle yakıtlarına ihtiyaç büyüktür. Kümes atıkları üretildikleri kümeste yakıt olarak kullanılabildiğinde problem olmaktan çıkıp, katma değer eklenmiş ürün haline gelecektir [10]. Qiroga ve ark. [15] 9 farklı çiftlikten alınan tavuk gübresi numunelerinin ısıl değerlerini 2878 ile 3379 kcal/kg arasında bulmuşlardır. Yüksek rutubet ve kül içeriği, düşük kalorifik değeri ve korozif özelliğe sahip olması gibi olumsuz özelliklere sahiptir [16]. Ancak yakmak için uygun olan nem içeriği sağlandığında kalorifik değeri yükselmekte, enerji değeri yüksek orman endüstrisi atıkları, tarımsal artıklar, kömür tozu, kentsel katı atıklarla karışım haline getirilerek verimli bir şekilde kullanılabilmektedir.

Kümes atıklarının verimli yakılabilmesi ve enerji üretiminin maksimize edilebilmesi için rutubet oranının düşürülmesi ve % 25'in üzerine çıkmaması gerektiği, tek başına yakılabilmesi için ise rutubetin % 9'un altında olması gerektiği belirtilmektedir [14]. Tavuk gübresinin rutubet oranı ile kalorifik değeri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır ($\text{kJ/kg} = 14636.5 - 136.6w (\%)$) [17]. Kafes içinde yetiştirilen yumurta tavuklarının gübresinin ise rutubet oranının yüksek olmasından dolayı yakılarak enerji elde edilmesine tek başına elverişli olmadığı, ancak ek yakıtlar ile yakılabileceği belirtilmektedir [15]. Broyler ve yumurta tavuklarının atıkları kümeden yüksek rutubet oranı ile (sırasıyla % 30, % 75) çıkmaktadır. Yüksek rutubet yanmayı ve enerji verimini düşürdüğü gibi, atık ıslak bekletildiği sürece mikrobiyal faaliyeti hızlandırarak, yakıldığında enerji elde edilecek maddelerin de ayrışmasına neden olmaktadır. Uçucu organik maddenin ayrışması kül oranının artmasına, bu da alev sıcaklığını düşürerek ısıtma değerinin azalmasına neden olmaktadır [16].

Tavuk gübresinin enerji kaynağı olarak yakıldığında en büyük avantajı nispeten düşük yanma emisyonları oluşturmastır. Bütün yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi, net CO₂ emisyonu sıfır olarak kabul edilir, çünkü CO₂ sürekli döngü halindedir. Yakma ünitesi ve sistemi optimize edildiğinde CO emisyonları kontrol edilebilir ve standartların altında tutulabilir [18]. Tavuk altlıklarının ve gübresinin kükürt içeriği düşük olduğundan SO₂ emisyonları problem oluşturacak seviyenin altındadır [19]. Tavuk gübresinin Ca içeriği nispeten yüksek olduğu için, külde bulunan Ca az da olsa SO₂ tutacağından emisyonlar daha da aşağıda tutulabilir [14]. Tavuk yemlerinde protein içeriği yüksek maddeler kullanıldığı için gübresine azot çıkışı olmakta ve yakma aşamasında en büyük etkinin NO_x emisyonlarına olacağı beklenmektedir. Bununla birlikte tavuk altlığı tek başına veya diğer biyokütle kaynakları ile yakılsa bile NO_x emisyonları diğer kaynakların yakılmasında ortaya çıkandan daha az olmaktadır [14, 18]. Örneğin fosil kaynaklar kömür ve linyitin NO_x emisyonu değerleri daha yüksektir.

Hatta tavuk altlığı kömürle birlikte yakıldığında CO₂ ve NO_x emisyonlarının azaltımında etkili olabilmektedir. Diğer yandan NO_x emisyonlarının üç temel kaynağı vardır; çok yüksek sıcaklıkta yanmadan kaynaklanan havada % 79 oranında bulunan N₂ gazının O₂ gazı ile reaksiyona girmesi, fazla oksijenli yakma koşulları ve yakıtın azot kapsamı. Biokütle yakıtlar nispeten daha düşük sıcaklıklarda (600-800 °C) yakılmakta ve kömürle birlikte yakıldığında NO_x oluşum reaksiyonları engellendiğinden emisyonlar azalmaktadır [20]. Topal ve Amirabedin [21], tavuk gübresinin yüksek rutubet içeriği ve kül oranına bağlı olarak düşük enerji değerinin, kömür ve linyitin yüksek NO_x emisyonlarından kaynaklanan özelliklerinin optimize edilmesi için birlikte yakılmasını önermektedir. Bu şekilde hem tavuk gübresinin yakılması kolaylaşmakta ve hem de yanma gazları emisyonları dengelenerek standartlar sağlanmaktadır.

Tavuk gübresi tek başına yakılacağına rutubet içeriğinin mutlaka % 25 ten aşağı olması önerilmektedir. Örneğin Abelha ve ark. [14] akışkan yataklı yakma tesisinde tavuk altlığını başarılı bir şekilde yakmıştır. Tek başına yakıldığında yanma gazları

emisyonları ve en önemlisi NO_x emisyonları Avrupa Birliği standartlarını sağlamıştır. Rutubet oranı daha yüksek olduğunda yanma ve emisyon değerleri optimizasyonu için diğer kaynaklarla (1:1 oranında) karıştırılması önerilmektedir.

Tavuk gübresi ısıtma kaynaklı yakıt olarak alan ısıtmalarında da denenmiştir. Kümesler aynı zamanda fazla miktarda ısıtma amaçlı yakıtı ihtiyaç duymakta ve bu yakıt hali hazırda diğer biyokütle veya daha fazla oranda da fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Tavuk altlığı uygun yakıt haline getirildiğinde sürdürülebilir döngü olarak kümeslerin ısıtılmasında da kullanılabilir. Biyokütle kaynaklarının direk yakılması en bilinen en yaygın ve standardize edilmiş basit bir teknolojidir. Yakıt kaynağı yakıdan temin edilebildiğinde en ekonomik olanıdır. Tavuk gübresinin kül oranı % 10-34 ve rutubet oranı % 12-43 arasında değiştiğinde, ısıtma değerleri 3400 – 6300 BTU/lb arasında değişmektedir. Isıtma değeri rutubet oranıyla ters orantılıdır, rutubet arttıkça ısıtma değeri düşmektedir. Bir başka ifadeyle tavuk altlığı yakan tesislerin ısıtma kapasitesi 15,000 - 16,000 BTU/kWh arasında değişmektedir [22]. Tesisin net ısıtma kapasitesi 15,000 BTU/kWh olarak kabul edildiğinde, tavuk gübresinden enerji üretim değeri aşağıdaki formül kullanılarak \$41/ton olarak hesaplanmaktadır.

$$4600 \times \frac{BTU}{lb} \times \frac{kWh}{15000BTU} \times \frac{\$0.0674}{kWh} \times \frac{2000lb}{ton} = \frac{\$0.41}{ton}$$

Tavuk gübresindeki enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülme etkinliği güç santralının büyüklüğüne bağlı olarak % 21 ila % 32 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre elektrik enerjisi üretimi kg tavuk gübresi başına 0.74 kWh ile 1.13 kWh arasında hesaplanmaktadır. Tavuk gübresi uygun yakıt haline getirildiğinde kümeslerin ısıtılması için sürdürülebilir, ekonomik bir yakıt kaynağı olabilir.

2.3. Tavuk Gübresinin İçeriği

Tavuk gübresinin içeriği, kullanılan altlığın cinsi ve içeri ile kümesin yönetimine kadar pek çok faktör tarafından etkilenmektedir. Tavuk gübresinde en fazla bulunan

elementler C, N, P ve K'dır. Bu elementlere ilave olarak daha az miktarlarda da Ca, Mg, Cu, Fe, Mn ve Zn bulunur [23]. Tavuk altlığı geleneksel olarak en fazla gübre olarak kullanıldığı için yapılan çalışmalarda en fazla gübre değeri olan elementler: azot, fosfor ve potasyum üzerinde durulmuştur. Tavuk gübresinin tipik N:P:K oranları 6:2:3 şeklindedir. Eğer tavuk gübresi yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılacaksa karbon içeriği en ön plana çıkan elementtir. Biyokütlenin yakılması eksotermik kimyasal reaksiyonlarla gerçekleşir ve bu nedenle karbon ve oksijen ön plana çıkar. Isı üreten reaksiyonlar yakma ile CO₂, H₂O ve NO_x, üreten reaksiyonlardır [24]. Organik maddede yüksek miktarda karbon enerjice zengin bileşikler Selüloz, Hemiselüloz ve Lignin bileşiklerine bağlıdır. Tavuk gübresi altlık ve dışkıdan oluştuğu için iki bileşenin selüloz, hemiselüloz, lignin komposyonu birbirinden farklıdır, dışkıdaki oranlar daha düşüktür (Tablo 2.1). Altlıktaki enerji değeri yüksek bileşiklerin çoğu kullanılan altlıktan gelir ve bu nedenle diğer biyokütle yakıt kaynakları ile kıyaslandığında düşüktür [10]. Sakarya Bölgesi ve genel olarak ülkemizde altlık olarak en fazla çeltik kabuğu ve onu takiben ağaç taşı kullanılmaktadır. Bu iki madde de karbon içeriği yüksek ve dolayısı ile enerji içeriği yüksek maddelerce zengindir.

Tablo 2.1. Farklı yakıtların enerji verimliliğini etkileyen karakteristik özellikleri

	Tavuk Gübresi	Kömür	Odun
Karbon, Kuru Madde %	39.5	74.0	49.7
Hidrojen, Kuru Madde %	4.3	5.1	5.4
Oksijen, Kuru Madde %	27.3	7.9	39.3
Nitrojen, Kuru Madde %	3.9	1.6	0.2
Sülfür, Kuru Madde %	0.8	2.3	0.1
Rutubet, %	20-35	5.2	50
Kül, Kuru Madde %	22.9	9.1	5.3
Kuru HHV**, Btu/lb.	6572	13250	8800
LHV***, Btu/lb. as fired	3600-4400	12050	3315

Üst Isıl Değer *Alt Isıl Değer.

Tablo 2.1'den görüleceği gibi tavuk gübresinin yakıt karakteri, bilinen kaynaklar kömür ve oduna kıyasla yetersizdir [11]. Bu nedenle yanma özelliklerinin iyileştirilmesi ve ısıl değerinin artırılması için ağaç, kömür veya diğer biyokütle kaynakları ile belli oranlarda karıştırılarak yakılması önerilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada Sakarya bölgesinde yaygın olarak bulunan ve faydalı kullanımı az veya

hiç olmayan bitkisel kaynakların tavuk gübresine karıştırılarak yanma özellikleri iyileştirilmiş, enerji değeri yükseltilmiş tavuk gübresi bazlı biyoyakıt üretimi araştırılmıştır.

2.4. Tavuk Gübresinin İşlenmesi

Kümes atıkları işletmelerden çıkarıldıktan sonra uygulanan farklı yöntemlerle yakılabilir hale getirilmektedir. Bu yöntemlerden birisi de preslenip şekil verilerek pelet haline getirip, biyoyakıt üretimidir. Pelet yoğunluğun artırılması, düzenli yapı sağlanması gibi amaçlarla ham halleri ile düşük yoğunluklu olan maddelerin yüksek basınç altında 6 ile 8 mm çapında ve 10 ile 12 mm uzunluğunda silindirik şeklindeki halleridir. Biyokütlenin yoğunluğunu arttırmak için mekanik proseslerle pelet haline sıkıştırılmaktadır. Biyokütle pelet haline getirildiğinde yoğunluğu 1000 ila 1400 kg/m³ e kadar çıkmakta yığının hakim ağırlığı ise 700 kg/m³ e kadar çıkmaktadır. Peletlemenin en temel avantajları; yüksek enerji yoğunluğu, düşük taşıma maliyeti ve depolama maliyeti, yakıt maddesi şekli ve kompozisyonunun standardize edilmesi ve bunun sonucunda evsel ve endüstriyel kullanım kazanlarında otomatik beslemenin sağlanmasıdır. Tarımsal ürün ve orman artıkları gibi biyoyakıt malzemelerinin peletleme gibi yoğunlaştırma işleminden sonra enerji değerleri yaygın olarak kullanılan yakıtlara yaklaşmaktadır.

2.5. Pelet Üretim Süreci

Peletleme prosesinde 3 temel operasyon birimi bulunmaktadır: kurutma, öğütme ve yoğunlaştırma. Peletlenecek biyokütle ürününü yaklaşık %10 kuruluğa kadar önceden su muhtavasının giderilmesi gerekir ve su muhtevası pelet kalitesini etkileyen en önemli parametredir ayrıca pelet üretim sürecinde yığının yoğunluğunu etkilediği için üretim sürecindeki enerji tüketimini arttırmaktadır [25]. Biyokütlenin nem miktarına göre bu işlem gerekmebilir. Kurutmadan sonra kuru biyokütle peletlemeye müsait pertikül boyutu olan 3 – 6 mm parçacık boyutuna kadar küçültülür. Peletlenecek malzeme iri ve sert yapıda ise öğütücüden önce kırıcı ünite koyulmalıdır. Öğütülen biyokütle pres ünitesinde basınçla pelet şeklini alır. Bireysel pelet yoğunluğu 1000-

1200 kg/m³ arasında değişmektedir. Bu pelet yığının hakim ağırlığı ise pelet boyutuna bağlı olarak 550 – 700 kg/m³ arasında değişmektedir. Pelet yoğunluğu ve sağlamlığı ham maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, sıcaklık ve presde uygulanan basınca bağlıdır.

2.6. Peletlemede Sıcaklığın Etkisi

Peletleme için öğütülmüş malzemeler preslemeden önce 100 °C nin üzerinde yüksek sıcaklıklı buhar ile muamele edilir. Yüksek sıcaklıktaki buhar hammaddenin içindeki doğal bağlayıcıları ortaya çıkmasını sağlar. Aynı zamanda buhardan kaynaklanan rutubette bağlayıcılık özelliğini artırır. Odunsu biyokütle bünyesinde fazla miktarda lignin ve reçine içermektedir. Lignin oranı yüksek madde yüksek sıcaklık ve basınçla preslendiğinde lignin yumuşayarak yapıştırıcı haline gelir. Bu nedenle odundan yapılan peletler daha dayanıklıdır [26].

2.7. Peletlemede Presleme

Peletlemede iki tip presleme şekli vardır ve günümüzde ağırlıklı olarak düz ve çember kalıplı presler kullanılmaktadır. Düz kalıplı preslemede, sıralı delikli disk üzerinde bir, iki ya da daha fazla sıkıştırma silindiri (daha çok 2 silindir) yaklaşık olarak 2 – 3 m/s hızla dönmektedir. Diskler vasıtası ile peletlenecek malzeme kalıp deliklerinde sıkıştırılmakta ve kalıbın şeklini alarak peletlenmiş olarak çıkmaktadır. Çember kalıplı preslerde, dönen delikli çemberin iç çevresine bastıran sıkıştırma silindirleri (normalde 2 veya 3 adet) sürekli olarak dönmektedir. Materyal kalıp deliklerinde sürekli olarak sıkışarak peletlenmiş olarak çıkmaktadır [7].

2.8. Pelet Yapılabilecek Kaynaklar

Lignin ve selüloz içeren ve lingo-selülozik maddeler olarak bilinen; odun ve her türlü artığı, meyve budama atıkları, meyve, tohum ve etkili maddesi alınmış her türlü tarımsal ürün artığı, sap, saman, kavuz, kabuk, posa, bitkisel lifler çalılar, yabancı otlar

gibi yakıldığında enerji verecek bütün bitkisel materyaller pelet yapımında kullanılabilir. Sayılan materyallerin olduğu haliyle yakılmasının verimli olmamasının en büyük nedeni hacim ağırlıklarının düşük, rutubet oranlarının yüksek ve heterojen olması enerji verimlerinin yüksek ve standart olmamasıdır. Pelet yapılabilecek ve tavuk gübresine karıştırılabilecek bazı ürünlerin enerji değerleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Tavuk gübresine karışım olarak kullanılabilecek bitkisel ürünler ve özellikleri

Malzeme	Isıl Değer (Kcal/kg)	Malzeme	Isıl Değer (Kcal/kg)
Odun (ıslak)	2500	Kolza sapı	4087
Fındık zürufu	3800	Mısır sapı	4275
Fındık kabuğu	4226	Çeltik sapı	3629
Çay tozu	4758	Çeltik kavuzu	3725
Ayçiçeği sapı	4040	Kümes atıkları	3800

2.9. Pelet Yakıtının Özellikleri

Pelet yakıtı preslendiği için uzun süre yanma sağlamaktadır. Pelet sayesinde doğalgaz, sıvı yakıt ve katı yakıt(kömür, odun) gibi yakıtlara oranla aynı enerjiyi %40- %45 oranında daha ucuza mal edilmektedir. Diğer yakıtlara göre kül oranı azdır. Kömürde kül oranı %10 – 50 arasında değişirken palette % 6 – 10 arasındadır. Yanma süresi ve sağladığı enerji odun ile kıyaslandığında % 300 oranında artış gözlenmiştir.

2.10. Sakarya’nın Pelet Hammadde Potansiyeli

Biyokütle enerji kaynağı olarak Türkiye’de 5 milyon ton civarında tarımsal ürün artığının olduğu tahmin edilmektedir. Ülke genelinde olduğu gibi bitkisel hasat atıkları Sakarya bölgesinde de hasattan sonra tarlada çürümeye bırakılmakta ya da yakılmaktadır. Tarım sektöründe oluşan atıkların enerji potansiyelinden

faýdalanılamamakta, aksine çevreye ve üreticilere zarar vermektedir. Sakarya’da tarım ve orman ürünleri sanayi ana üretim sektörlerindendir. Özellikle orman ürünleri sanayisinde, pelet biyoyakıtı üretilebilecek ciddi miktarda atık ortaya çıkmaktadır. Ekili alanlarda birim alandan alınan tarımsal ürün kadar hasat artışı oluşmaktadır. Sakarya’da 350 bin ton mısır, 100 bin ton ayçiçeği, 100 bin ton fındık, bunların yanında süpürge otu, kavaklık ve meyvecilik atıkları oluşmaktadır. Sakarya’da 500 bin tonun üzerinde pelet hammaddesinin olduğu ortaya çıkmaktadır.

Dünya’da gelişen tarımsal aktivitelerden biride enerji bitkileri tarımıdır. Biyokütle peleti yapılabilen enerji değeri yüksek, dekardan 2,5 – 3 tona kadar kuru madde verimi olan enerji bitkileri Sakarya’da da denenmekte ve yetiştirilmektedir. Enerji bitkileri yetiştiriciliğinin yaygınlaşması ile tarımsal olarak değerlendirilemeyen veya verimi düşük olan araziler faydalı bir şekilde kullanılabilir.

Sakarya’da bitkisel kaynaklı pelet hammaddelerinin dışında 400 bin ton olan ve giderek miktarı ve meydana getirdiği çevresel kirliliği artmakta olan kümes atıkları bulunmaktadır. %25 rutubetle çıkan broyler altlıklarının enerji değerleri de tahıl artıklarına yakındır. Broyler altlığının kül oranı yüksek, azot ve kükürt içeriğinden dolayı yakma tesislerinde korozyona neden olma gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bunun yanında kümes atıklarının yakılmasıyla oluşan emisyon değerleri yasal şartları sağlamaktadır.

Kümes atıkları kalorifik değerleri yüksek, yanma özellikleri iyi ve pelet kalitesi yüksek hammadde kaynakları ile belli oranlarda harmanlanarak kaliteli pelet yakıtları elde edilmektedir.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller

Çalışmada kullanılan tavuk gübresi, Sakarya bölgesinde broyler üreticiliği yapan kümeden, küme yetiştirme döneminin sonunda boşaltıldıktan sonra alınmıştır. Tavuk gübresi altlık olarak çeltik kavuzu içermektedir. Çalışmada incelenen diğer tarımsal kökenli artık ve atıklar ağaç talaşı, fındık kabuğu, mısır sapı ve çeltik kavuzu yine bölgeden temin edilmiştir. Çeltik kavuzu, kümeslere altlık olarak kullanılan üründen alınmıştır. Fındık kabuğu kümeslere ısıtma kaynaklı yakıt olarak satılan ticari üründen temin edilmiştir. Ağaç talaşı yine bölgede hızar atölyesinden temin edilmiştir. Mısır sapı, mısır hasat edildikten sonra tarlada kalan sap ürününden temin edilmiş, kullanılmak üzere değirmen ile küçük parçalara öğütülmüştür.

3.2. Pelet Numunelerinin Yapılması

Çalışmada bölgesel olarak yaygın oluşan ve ulaşılması kolay olan organik atıkların biokütle kaynağı olarak yakmada kullanılması amaçlanmıştır. Dolayısı ile hazırlanan malzemeler ayrı ayrı havada kurutulmuş, ardından pelet haline getirilmiştir. Pelet haline getirilen ürünlerin kalorileri, yanma kaynaklı emisyon gazları ve yakıldıktan sonra geriye kalan külün mineral kompozisyonu analiz edilmiştir. Ürünlerin enerji değerleri ve yanma gazları akredite laboratuvarında pelet ürünlerde yapılmıştır.

3.3. Rutubet Miktarı Tayini

Nem miktarı tayin edilecek numunelerden 1'er g ayrılır. Önceden 105 °C de sabit tartıma getirilmiş olan cam numune kaplarına koyular. 105 °C ye ayarlanmış olan etüvde sabit ağırlığa gelene kadar (~3 saat) bekletilir. Bu süre sonunda numuneler

soğuması için desikatöre koyulur ardından tartılır. Her numune için aynı işlem tekrarlanır. Numunelerin rutubet miktarına kütle % sinin hesaplamak için;

$$nem \% = \frac{g^1 - g^2}{g^1} \times 100 \quad \text{formülü kullanılır.} \quad (3.1)$$

g^1 : numunenin fırına girmeden önceki ağırlığı (g)

g^2 : fırında kurutulduktan sonraki ağırlık (g)

3.4. Kül ve Uçucu Madde Analizi

Rutubet oranı bulunan numunelerden örnekler krozelere tartılır ve 550 °C de tam yanma sağlanana kadar (~4 saat) yakılır. Krozelerde soğutulur ve ardından tartımı alınarak uçucu madde ve kül miktarı tayin edilir.

$$kül \% = \frac{g^1 - g^2}{g^1} \times 100 \quad \text{formülü kullanılır.} \quad (3.2)$$

g^1 : yakılmak için alınan numunenin ilk ağırlığı (g)

g^2 : kül fırınında yakıldıktan sonraki ağırlık (g)

$$uçucu\ madde = 100 - kül \quad \text{formülü kullanılır.} \quad (3.3)$$

3.5. Kalori Tayini

Numunelerin kalori tayini Bomb kalorimetre ile yapılmıştır. Bomp kalorimetre yanma reaksiyonlarının ısı değişimlerini tayin etmek için kullanılır. Bu yöntemde numuneler sabit hacimli kalorimetre bombası denilen çelik bir kaba konur ve yanma gerçekleştirilir. Yanma reaksiyonu ile üretilen ısı, suyun sıcaklığındaki yükselmeyi kaydederek hesaplama yapılır ve sonuçlar okunur.

3.6. Yanma Gazları Analizi

Yanma gazları, biyokütle yakıtlar için uzmanlaşmış kurumda ölçülmüştür. Yanma gazından kaynaklanan emisyonların belirlenmesi için taşınabilir Gaz Analiz Cihazı (TESTO 350 M XL-454) kullanılmıştır. Pelletleniş numuneler test yakıcısında yakılma esnasında atık gaz kompozisyonundaki O, CO₂, CO, SO₂ ve NO_x emisyonları, yanma süresince on-line olarak ölçülmüş ve ortalamaları verilmiştir.

3.7. Kül Emisyonu Kompozisyonu Analizi

Kül oranını belirlememe analizlerinde ortaya çıkan kül numuneleri, kül kompozisyonunu belirlemek için kullanılmıştır. Yaklaşık 100 mg kül numunesi 6 ml HNO₃ (%65), 1 ml H₂O₂ (%30) asit karışımında çözündürülmüş, ultra saf su eklenmiş ve ardından element kompostonu ICP-OES (Spectro Arcos, Kleve, Germany) cihazında ölçülmüştür. Si ultra saf suda çözündürülerek ölçülmüştür.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Kümes Atıkları ve Tarımsal Atıkların Enerji Analizi

Çalışmada incelenen tavuk gübresi ve ona karışım olarak düşünülen tarımsal atıkların enerji değeri analizleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Biyokütle malzemelerinin enerji değerleri maddelerin sahip olduğu fiziksel ve kimyasal bileşime bağlı olarak değişmektedir. Rutubet oranı kurutularak ayarlanabilir ve ürünün enerji seviyesi yükseltilebilir, fakat kimyasal bileşim değiştirilemez. Sadece karışım oranları ile optimize edilebilir.

Tablo 4.1. Çalışmada incelenen maddeler, enerji değerleri ve ilgili özellikleri

Parametre	Tavuk Gübresi	Ağaç talaşı	Fındık kabuğu	Mısır sapı	Çeltik kavuzu
C %	27.2	44.2	47.60	49.08	45.50
H %	3.7	2.8	5.07	5.72	5.29
O %	23.1	18.3	24.51	36.59	42.5
N %	3.7	0.22	0.26	0.49	0.39
S %	0.3	0.02	0.03	0.09	0.04
Kül %	19.4	3.7	4.49	7.16	6.32
Rutubet %	26.2	52.6	10.12	11.62	8.68
Üst ısı değeri kcal/kg	3500	4850	4980	4287	4074
Alt ısı değeri kcal/kg	3100	4350	3680	3817	3765

Tavuk gübresi gibi diğer biyokütle kaynakların taşıma maliyetleri kullanımının önünde önemli bir engeldir bu engelli meydana getiren nedenlerin başlıcaları düşük hacim ağırlığı, nem içeriği ve yüksek kül oranıdır [15]. Çalışma kapsamında incelenen kümes atıklarının, rutubet içeriği % 20-32 arasında değişim göstermiş, kül içeriği % 19-26 arasında bulunmuş ve enerji değeri de 3100-3500 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Tavuk gübresi ile kıyaslandığında ağaç talaşı, fındık kabuğu, mısır sapı,

çeltik kavuzunun kül ve rutubet değerleri daha düşük seviyelerde gerçekleşmiş ve bu nedenle alt ve üst ısı değerleri daha yüksek kalori değerleri vermiştir.

4.2. Kümes Atıklarının Yanma Gazı Emisyonları

Tavuk gübresinin mineral içeriği yüksektir ve diğer biyoyakıt alternatifleri ile karşılaştırıldığında en yüksek olan element azot olmuştur. Yüksek azot içeriği nedeniyle, yakma söz konusu olduğunda NO_x emisyonları en önemli çevresel problem endişe kaynağı olmaktadır. Yapılan bu çalışmada NO_x emisyonu 156 ppm olarak bulunmuş ve bu değer SKHKK [27] limit değerleri ile karşılaştırıldığında 300 ppm olan sınır değerinin oldukça altındadır (Tablo 4.2). Yine tavuk gübresinin sülfür içeriği, incelenen diğer biyokütle yakıt kaynaklarından daha yüksek bulunmuştur. Yüksek kükürt içeriğinin SO_x emisyonlarını yükseltme potansiyeli bulunmaktadır. Yüksek sülfür içeriği yanma gazı emisyonlarını yükseltirken yakma ünitelerinde korozyon problemine de neden olabilmektedir.

Tablo 4.2. Broyler kümes altlığı ve incelenen diğer biyoyakıt kaynaklarının gaz emisyonları.

Parametre	Tavuk Gübre	Ağaç talaşı	Fındık kabuğu	Mısır sapı	Çeltik kavuzu	SKHKK, 2009 [27]
O ₂ %	18.42	18.33	18.21	18.37	18.28	-
CO ₂ %	2.45	2.46	2.31	2.53	2.43	-
CO ppm	1222	1089	1006	1172	988	-
NO ppm	148	55	57	126	87	-
NO _x ppm	155	67	60	137	102	300
SO ₂ ppm	8.25	6.34	7.54	5.10	4.51	200

Çalışmada yanma gazı olarak ölçülen O₂, CO₂ ve CO konsantrasyonları uygulamalar arasında istatistiki olarak bir farklılık göstermemiştir. Yanma sıcaklıkları, yanma etkinliği ve yakıtın oksijen içeriği tam oksidasyon sağlayarak eksik yanmanın önüne geçmekte ve CO ve CO₂ emisyonlarının yükselmesinin önüne geçmektedir [28]. Bu nedenle test biyoyakıt kaynaklarının yanma gazları farklı bulunmamıştır. Biyokütle yakıtlar 600-800 °C arasında yakılmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda yakılan fosil yakıtlar gibi yanma esnasında havanın azot gazından kaynaklı NO_x emisyonu oluşması riski düşüktür. Biyokütle yakıtlarının NO_x emisyonu sahip oldukları azot

içeriğinden kaynaklanır. Azot içeriği yüksek olan tavuk gübresi belli oranlarda azot kapsamı düşük biyoyakıtlarla karıştırılarak NO_x emisyonlarının daha da iyileştirilmesi sağlanabilir. Bitkisel kaynaklı biyoyakıt kaynaklarının sülfür değerleri birbirine yakın bulunmuş ve tavuk gübresinden çok düşük tespit edilmemiştir. Bu nedenle biyoyakıt kaynaklarının tavuk gübresinin kükürt kaynaklı emisyonlarını düzeltmesi sınırlı olacaktır.

4.3. Kümes Atıkların Yanma Külü Emisyonları

Tavuk gübresi diğer hayvansal gübrelerle karşılaştırıldığında kül oranı en yüksek gübredir, çünkü tavuk yemi dönüştürme oranı yüksek besin maddelerinden yapılır bu nedenle sindirim sisteminde organik madde giderimi yüksektir. Çalışmada analiz edilen biyoyakıt kaynakları arasında en yüksek kül miktarı tavuk gübresinde tespit edilmiştir. Tablo 4.3’de külün mineral analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.3. Çalışmada incelenen maddelerin kül içeriklerinin % olarak değerleri.

Parametre	Tavuk Güresi	Ağaç talaşı	Fındık kabuğu	Mısır sapı	Çeltik kavuzu
SiO ₂	8.1	35.9	40.5	38.7	56.4
CaO	17.3	24.7	18.9	12.2	10.6
P ₂ O ₅	24.4	1.9	2.8	2.6	2.3
K ₂ O	16.3	6.6	9.7	26.3	15.7
Al ₂ O ₃	1.9	11.9	9.3	7.1	1.3
MgO	5.0	3.5	4.9	4.5	4.7
Fe ₂ O ₃	1.2	7.9	6.6	1.1	1.4
Na ₂ O	9.2	1.7	2.0	2.4	2.0
SO ₃	6.7	0.9	1.0	1.5	1.1
Mn ₂ O ₂	0.2	1.3	0.9	0.6	1.9

Biyoyakıt küllerinin genel olarak odun külü karakteri göstermesi istenir. Odun külünde toprak metalleri Si, Ca ve Al oksitler hakimdir. Bileşimi ve karakteri ligno-selülozik yakıtlardan tamamen farklı tavuk gübresinde, tavuk yeminde hakim olan maddelerin külü daha fazla bulunmuştur. Azot tavuk külünün temel elementi olmakla birlikte yanma esnasında tamamen hava emisyonlarına gitmiştir. Kül emisyonları genel olarak azot içermez. Tavuk gübresinde alkali metal konsantrasyonları (Na₂O ve K₂O) diğer biyoyakıt kaynaklarına kıyasla çok yüksek bulunmuştur. Biyoyakıtın kül konsantrasyonu ve kül bileşimi yanma kalitesi ve ısıtma değerini etkiler. Bu nedenle,

kül içinde fazla miktarda P, K, S, Cl gibi elementler istenmez, çünkü yanma kalitesi, enerji dönüşüm etkinliği üzerine olumsuz etkide bulunurlar [29, 30]. Alkali kül konsantrasyonunu yüksekliği, özellikle klor ve kükürt ile ilgili bileşikler, partikül emisyonu, cüruf, is-katran oluşumu ve korozyona neden olma potansiyeline sahiptir. Bu bileşenlerin tavuk gübresinde yüksek olması, tek başına yakılmaktansa, çalışmada incelenen tarımsal ürün artıklarıyla birlikte yakılmasının yanma kalitesi ve enerji verimliliği yönünden daha doğru olacağını göstermektedir.

Tavuk gübresi külü yaklaşık $\frac{1}{4}$ oranında fosfor içerdiği için, gübre ham maddesi olarak da görülüp, fosfor kazanımı çalışmaları yapılmaktadır. Diğer kirletici bileşikler olmadığı takdirde direk gübre olarak da kullanılabilir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tavuk gübresi gibi diğer biyokütle kaynakların taşıma maliyetleri kullanımının önünde önemli bir engeldir bu engelli meydana getiren nedenlerin başlıcaları düşük hacim ağırlığı ve nem içeriğidir [15]. Bu çalışma kapsamında incelenen kümes atıklarının enerji değeri 3100 – 3500 kcal/kg olarak tespit edilmiştir.

Tavuk gübresinin diğer bertaraf seçeneklerinden olan kompostlama sürecinde azot ve diğer besin element kaybının yüksek olması dezavantajı varken yakma yöntemi tercih edildiğinde düşük azot ve kükürt içeriği yanma gazı emisyonlarında seyreلمeyi sağlamaktadır, yüksek kül ve nem içeriği olmasına rağmen akışkan yataklı yakma sistemlerinin ekonomik ve uyguluma esnekliğinden dolayı yakıt olarak kullanılabilir [12].

Çevremizde oldukça bol miktarda bulunan, çeşitliliğe sahip olan, halen düzenli kullanım ve değerlendirme imkanı olmadığı için problem oluşturan Biyoyakıt kaynakları; modern yakıt pelet haline getirilerek hem ülke ekonomisine kazandırılabilir hem de çevre kirliliğine çözüm getirebilir. Pek çok ülke kendi ekosistemlerine elverişli olan tarımsal ürünlerden alternatif enerji elde etmektedir. Enerjide büyük oranda dışa bağımlı olan ülkemizin enerji arzındaki süreklilik, iç kaynaklardan güven altına alınabilir. Enerji bitkileri yetiştiriciliği, üreticiler için ek bir ürün haline gelerek tarıma elverişsiz araziler değerlendirilebilir. Yetiştirilecek tarımsal ürün çeşitliliğinin artması çiftçileri münavebe yapmasını kolaylaştıracaktır.

Pellet mevcut enerji dönüşüm sistemlerine uygun bir fiziksel özelliklere sahip olduğundan yeni yakıt olacak pellete geçişler sıkıntı oluşturmaz. Ayrıca pellet üretimi için kurulan tesisler yeni iş alanları oluşturacaktır.

Nem içeriğinin yüksek olmasından dolayı kalorifik değeri düşük olan tavuk gübresinde kurutma işlemi ile birlikte yüksek enerjili diğer tarımsal atıklar ormancılık atıkları ve kömür gibi mızemelerle karışım yapılarak u olumsuzluklar giderilebilmektedir. Kanatlı yetiştiriciliğinde ısıtma giderlerini düşürmek için ucuz ve yüksek kalorifik değere sahip biyokütle yakıtları önemli bir çözüm yoludur. Yakıt olarak kullanılabilcek kümes atıkları atık olarak üretildikleri yerlerde bertaraf maliyeti olmadan kümeslerin yakıt malzemesi olarak kullanılacağından üreticilerin önemli girdilerinden ikisine çözüm olacaktır.

Kömür gibi atıkların literatürdeki değeri ile kümes atıklarının değerleri kıyaslandığında literatürde 3000-4000 kcal/kg aralıklarındaki değeri ile kömürün enerji değerinin yaklaşık olarak yarısına denk gelmektedir [10, 14]. Bu çalışmada ölçümü yapılan kümes atıklarının enerji değerleride literatürdekine benzer olarak 3500-3800 kcal/kg ölçülmüştür. Kümes atıklarının kalori değerleri her ne kadar düşükte olsa yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak dünya da kullanım alanına sahiptir. Tek başına kullanımının yanında farklı biyokütle kaynaklarının yardımı ile yanma ve kalorifik olumsuzlukları azaltılarak elektrik enerjisi üreten santrallerde ve ısınma amaçlı olarak kümes atıklarından faydalanılmaktadır. Kümes atıkları ile torf ve değişik ormancılık atıkları ile uygun oranlarda karışım ile oluşan biyoyakıt kullanmakta olan güç santralleri faaliyet göstermektedir. Yakma sonucu meydana gelen ve belirli sınırlamalarla kontrol altına alınmaya çalışılan CO₂, SO₂ ve NO_x gibi emisyonlar, fosil yakıtlar ile kıyaslandığında kümes atıklarının meydana getirdiği bu emisyonlar düşük bir değere sahiptirler. [19]. Kümes atıklarının kimyasal bileşiminden dolayı NO_x salınımının fazla olması öngörülmesine rağmen tek başına yada orman ürünleri ile yakılması sonucu ortaya çıkan emisyon değerleri AB standartlarının belirttiği sınırlar içerisinde..

Kümes atıklarının yakılması sonucu istenilen verimin en yüksek düzeyde olması için rutubet oranının % 25'in altında tutulmalı ve diğer bir biyayakıt eklenmeden yakılabilmesi için bu oranın %9 değerini aşmaması gerekmektedir[14]. Tavuk gübresinin kalorifik değeri ile nem oranı arasındaki ilişki incelendiğinde doğrusal bir

etkileşim olduğu saptanmıştır. ($\text{kJ/kg} = 14636.5 - 136.6w$ (%)) [17]. Yumurta tavuğu yetiştiriciliğinde kullanılan kafes sisteminden dolayı tavuk gübresinin nem oranı etlik yetiştiriciliğe kıyasla ek yakıtlar olmadan yakılması enerji elde etmek için verimli bir yöntem olarak görülmemektedir.

Broyler yetiştiricilikte % 30 rutubet oranına sahip olan atıklar yumurta tavukçuluğunda %75 seviyelerine çıkmaktadır. Yüksek rutubetin yanmada ve enerji verimliliği üzerindeki olumsuz etkilerinin yanında, nem ile birlikte artan mikrobiyal faaliyet enerji üretiminde kullanılan maddelerin ayrışarak faydalanılamaz hale geçişini hızlandırmaktadır. Artan mikrobiyal faaliyetler sonucu uçucu organik maddelerin ayrışması ile alev sıcaklığını düşüren kül miktarı arttırmaktadır [30].

KAYNAKLAR

- [1] Karaca, C., Başçetinçelik, A., Defne Yapağının Briketleme ve yanma özellikleri. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, Samsun, 131-138, 2009.
- [2] Kapluhan, E., A resarch in the field of energy geography: Usage of biomass Energy in the World and Turkey. Maramara Coğrafya Dergisi. 30, 97-125, 2014.
- [3] Abt, K.L., Abt, R.C., Galik, C.S., Skog, K.E., Effect of Policies on Pellet Production and Forests in the U.S. South: A Technical Document Supporting the Forest Service Update of the 2010 RPA Assessment. General Technical Report SRS-202. US Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC. 2014.
- [4] Ericsson, K., Nilsson, J.L., International biofuel trade – A study of Swedish import. Biomass and Bioenergy. 26, 205-220, 2004.
- [5] Kaygusuz, K., Türker, M.F., Biomass energy potential in Turkey. Renewable Energy. 26, 661–678, 2001.
- [6] Ishii, K., Furuichi, T., Fujiyama, A., Watanabe, S., Logistics cost analysis of rice straw pellets for feasible production capacity and spatial scale in heat utilization systems: A case study in Nanporo town, Hakkaido Japan. Biomass and Bioenergy. 95, 155-166, 2016.
- [7] Acaroğlu, M., Haciseferoğulları, H., Biyokütle enerjisinde briketleme ve peletlemede yeni test prosedürleri. 2014.
- [8] Alamsyah, R., Loebis, E.H., Susanto, E., Junaidi, L., Siregar, N.C., An experimental study on synthetic gas (syngas) production through gasification of Indonesian biomass pellet. Energy Procedia, sayı 65, pp. 292-299, 2015.
- [9] Kraszkiewicz, A., Kachel-Jakubowska, M., Lorencowicz, E., Przywara, A., Influence of cellulose content in plant biomass on selected qualitative traits of pellets”. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 7, 125-130, 2015.

- [10] Özdemir, S., Sezer, B., Kümes atıklarının organik gübre ve biyoyakıt olarak değerlendirilmesi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*. 10, 20-24, 2013.
- [11] Li, S., Wu, A., Deng, S., Pan, W.P., Effect of co-combustion of chicken litter and coal on emissions in a laboratory-scale fluidized bed combustor. *Fuel Processing Technology*. 89, 7-12, 2008.
- [12] Kelleher, B.P., Leahy, J.J., Henihan, A.M., O'dwyer, T.F., Sutton, D., Leahy, M.J., Advances in poultry litter disposal technology-a review. *Bioresource Technology*. 83(1), 27-36, 2002.
- [13] Lopez-Mosquera, M.E., Cabaleiro, F., Sainz, M.J., Lopez-Fabal, A., Carral, E., Fertilizing value of broiler litter: Effects of drying and pelletizing. *Bioresources Technology*. 99, 5626-5633, 2008.
- [14] Abelha, P., Gulyurtlu, I., Boavida, D., Barros, J.S., Cabrita, I., Leahy J., Leahy, M., Combustion of poultry litter in a fluidised bed combustor. *Fuel*. 82, 687-692, 2003.
- [15] Quiroga, G., Castrillon, Y., Maranon, E., Physico-chemical analysis and calorific values of poultry manure. *Waste Management*. 30, 880-884, 2010.
- [16] Singh, K., Risse, L., Das, K., Worley, J., Thompson, S., Effect of fractionation and pyrolysis on fuel properties of poultry litter. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 60(7), 875-83, 2010.
- [17] Davalos, J.Z., Roux, M.V., Jimenez, P., Evaluation of poultry litter as a feasible fuel. *Thermochimica Acta*. 394(1), 261-266, 2002.
- [18] Zhu, S., Lee, S.W., Co-combustion performance of poultry wastes and natural gas in the advanced swirling fluidized bed combustor (SFBC). *Waste Management*. 25(5), 511-518, 2004.
- [19] Villeneuve, J., Palacios, J. H., Savoie, P., Godbout, S., A critical review of emission standards and regulations regarding biomass combustion in small scale units (< 3MW). *Bioresource Technology*. 111, 1-11, 2012.
- [20] Sami, M., Annamalai, K., Wooldridge, M., Co-firing of coal and biomass fuel blends. *Progress in Energy and Combustion Science*. 27(2), 171-214, 2000.
- [21] Topal, H., Amirabedin, E., Determination of some important emissions of poultry waste co-combustion. *Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies*. 8(1), 12-17, 2012.

- [22] Wiltsee, G., Lessons learned from existing biomass energy power plants. NREL/SR- 570-26946, 2000.
- [23] Sistani, K.R., Brink, G.E., McGowan, S.L., Rowe, D.E., Oldham, J.L., Characterization of broiler cake and broiler litter, the by-products of two management practices. Bioresource Technology. 90(1), 27-32, 2003.
- [24] Zumdahl, S.S., Zumdahl, S.A., Chemistry. Boston, MA: Houghton Mifflin Company. 2007.
- [25] Samuelsson, R., Thyrel, M., Sjöström, M., Lestander, A. T., Effect of biomaterial characteristics on pelletizing properties and biofuels pellet quality. Fuel Processing Technology. 90, 1129-1134, 2009.
- [26] Karawandy J., Pellet production from sawmill residue: a Saskatchewan perspective. Forest Development Fund Project Final Report 2006/07, 2007.
- [27] SKHKK., Sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği. Resmi Gazete. Sayı. 27277, 2009.
- [28] Garcia-Maraver, A. Perez-Jimenez, J.A. Serrano-Bernardo, F., Zamorano, M., Determination and comparison of combustion kinetics parameters of agricultural biomass from olive trees. Renewable Energy. 83, 897-904, 2015.
- [29] Smith, R., Slater, F.M., The effects of organic and inorganic fertilizer applications to *Miscanthus × giganteus*, *Arundo donax* and *Phalaris arundinacea*, when grown as energy crops in Wales”, UK. Gcb Bioenergy. 2, 169-179, 2006.
- [30] Bolan, N.S., Szogi, A.A., Chuasavathi, T., Seshadri, B., Rothrock, M.J., Panneerselvam, P., Uses and management of poultry litter. World's Poultry Science Journal. 66, 673-689, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Alper ER, 23.06.1991 de Sakarya’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya’da tamamladı. 2009 yılında Sakarya, TESİŞ Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2009 yılında Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde başladığı üniversite eğitimini, 2010 yılından itibaren Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde devam etti ve 2013 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2013 yılında, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Enstitü Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.