

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜMES ATIKLARININ YANMA  
KARAKTERİZASYONUNUN VE HAVA  
EMİSYONLARININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Meryem Sekine DEMİR**

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR**

**Ocak 2020**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜMES ATIKLARININ YANMA  
KARAKTERİZASYONUNUN VE HAVA  
EMİSYONLARININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Meryem Sekine DEMİR**

Enstitü Anabilim Dalı : **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 15.01.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.  
Saim ÖZDEMİR  
Jüri Başkanı



Doç. Dr.  
Ömer Hulusi DEDE  
Üye



Dr. Öğr. Üyesi  
Gülgün 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.

Meryem Sekine DEMİR

15.01.2020

## TEŞEKKÜR

Günümüz ve geleceğimiz için bir umut olan biz çevre mühendislerinin çevre ve insan sağlığı refahı için uygun çevre koşullarını yaratmak, bizlere emanet edilen doğayı gelecek nesillere layıkıyla bırakmak boyun borcumuzdur. Bu tez çalışmasının amacı sürdürülebilir enerji kaynağı olan tavuk gübresinin kullanımının artmasına yönelik olup doğa için daha düşük hava emisyonlarına sahip bir biyo-yakıt önermektir.

Öğrencilik hayatımda engin bilgileriyle bana ışık tutan, her zaman çalışma azmiyle bizlere örnek olan ve bu tezin yapılma aşamasında büyük emeği geçen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR'e, yüksek lisans eğitimi konusunda beni cesaretlendiren, akademik hayatıma yön veren Sayın Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE'ye, ilgi ve bilgisini esirgemeyen Arş. Gör. Hasan ÖZER'e, deneylerimin yapılma aşamasında ve sonrasında desteklerini eksik etmeyen kıymetli Doç. Dr. Ali GÖKŞENLİ'ye içtenlikle teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca hep yanımda olan maddi manevi desteklerini esirgemeyen başta sevgili annem ve babam Hüseyin - Lutfiye DEMİR olmak üzere tüm aileme teşekkürü borç bilir sevgi ve saygımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLOLAR LİSTESİ .....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY .....	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
KÜMES ATIKLARININ BİYOKÜTLE ENERJİ KAYNAĞI OLARAK ÖZELLİKLERİ .....	4
2.1. Kümes Atıklarının Fiziksel Özellikler.....	4
2.1.1. Boyut .....	5
2.1.2. Kütle yoğunluğu .....	5
2.1.3. Parçacık yoğunluğu.....	6
2.1.4. Gözeneklilik.....	6
2.1.5. Sıkıştırılabilirlik.....	6
2.2. Kümes Atıklarının Mikrobiyolojik Özellikleri.....	6
2.3. Kümes Atıklarının Kimyasal Özellikler .....	8
2.4. Kümes Atıklarının Enerji Değeri.....	10
2.5. Yanma.....	13
2.6. Kümes Atıklarının Yakma ve Enerji Değeri ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	16

BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller.....	24
3.2. Yaklaşık Analiz (Proximate).....	26
3.2.1. Rutubet miktarı tayini .....	26
3.2.2. Kül ve uçucu madde analizi .....	27
3.2.3. Sabit karbon (ASTM E870).....	28
3.2.4. Kalori tayini .....	28
3.3. Yanma Gazları Analizi.....	29
3.4. Elementel Analiz .....	29
BÖLÜM 4.	
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	30
4.1. Yaklaşık Analiz.....	30
4.2. Elementel Analiz.....	32
4.3. Yanma Gazı Emisyonları .....	33
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ .....	36
KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ .....	44

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
BTU	: Birim Hacimdeki Kalori
GJ	: Gigajoule
HHV	: Üst Isıl Değer
KCAL	: Kilo Kalori
KJ	: Kilojoule
KW	: Kilowatt
LB	: Pound
LHV	: Alt Isıl Değer
MJ	: Megajoule
PJ	: Petajoule
PPM	: Parts Per Million
SKHKK	: Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
USA	: Amerika Birleşik Devletleri
WH	: Watt- Saat

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının temin edildiği kümes.....	24
Şekil 3.2. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının temin edildiği .....	24
Şekil 3.3. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının temin edildiği .....	25
Şekil 3.4. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının temin edildiği .....	25
Şekil 3.5. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının peletlenmiş hali .....	26



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı ülkelerde yapılmış yaklaşık ve elementel analiz değerlerinin karşılaştırılması .....	15
Tablo 4.1. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının yaklaşık analiz değerleri ve literatürde verilen değerler ile karşılaştırılması.....	31
Tablo 4.2. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının elementel analiz değerleri ve literatürde verilen değerler ile karşılaştırılması.....	33
Tablo 4.3. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının yanma gazı emisyon analiz değerleri .....	34

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kümes atıkları; Karakterizasyonu; Yanma; Yanma gazı emisyonları

Broyler tavuk üretim faaliyetleri farklı türlerde, yüksek miktarlarda, kolay bozulabilir organik atıklar ve yan ürünler üretirler. Mevsimsel ve mekansal varyasyonun yanı sıra çiftlik yönetimi uygulamaları ile birlikte kullanılan yatak malzemesi türüne bağlı olarak, kümes atıkları esas olarak yüksek enerji verimliliğine ve çevresel etki yaratan pirinç kabukları, talaş, tüyler ve yem çöplerinden oluşur. Doğrudan yanma vasıtasıyla mono yanma ya da uygun biyoyakıt kaynaklarıyla birlikte yanma seçenekleri kümes atıklarının güvenli atık bertarafının sağlanması için tercih edilebilecek bir yöntem olabilir. Kümes hayvanlarından elde edilen tavuk gübrelerinin ölçülen yüksek ısıtma değerleri 13.49–14.62 KJ/kg<sup>-1</sup> aralığındadır ve düşük ısıtma değerleri sırasıyla 12.90–13.60 KJ/kg<sup>-1</sup> dir. Kümes atıklarının enerji potansiyelinin azalması, içeriğinde ki kül ve nem oranının artmasıyla ilişkilidir. Nihai analiz sonuçları şu şekildedir; C (% 28.01 ±% 0.48), O (% 33.23 ±% 0.48), H (% 3.56 ±% 0.48), N (% 3.90 ±% 0.48) ve S (% 0.92 ±% 0.48). Kümes atıklarının azot konsantrasyonları NO<sub>x</sub> (155 ppm) emisyonlarını önemli ölçüde arttırmış, ancak ilgili standartlara uygun bulunmuştur. Elde edilen SO<sub>2</sub> (8 ppm) emisyonları da altlıkta ki S içeriğiyle tutarlı ölçülmüştür, fakat emisyon konsantrasyonları çok düşük bulunmuştur. Yüksek tükenmiş gaz ve kül emisyonlarına rağmen, enerji geri kazanım uygulaması olan doğrudan yanma gibi yöntemler, kümes atıkları için kullanıma hazır ve çevre açısından güvenli bir yönetim seçeneği sunar, aksi takdirde sağlık üzerinde önemli etkiler yaratabilir ve çevre için kirletici riskler oluşturabilir.

# **EXAMINATION OF BIOFUEL CHARACTERISTICS AND COMBUSYION EMISSIONS OF POULTRY LITTER**

## **SUMMARY**

Keywords: Poultry litter; Characterization; Combustion; Exhausted gas emissions

Broiler chicken production activities generate different kind of highly perishable organic wastes and by-products. Depending on the seasonal and spatial variation as well as type of bedding material used together with farm management practices, poultry litters are mainly composed of excrement, rice hulls, sawdust, feathers and feed refuse which presenting both high energy efficiency and environmental impact. Direct combustion through mono incineration or co-combustion with suitable biofuel sources can be ready to use solution to safe waste disposal option for poultry litter. High heating values measured for poultry litter obtained from poultry houses were in the range of 13.49–14.62 KJ/kg<sup>-1</sup> and low heating values were 12.90–13.60 KJ/kg<sup>-1</sup>, respectively. The reduction in energy potentials were mainly associated with increased moisture and ash content of the poultry litter samples. The ultimate analysis results were as follows; C (28.01±0.48%), O (33.23±0.48%), H (3.56±0.48%), N (3.90±0.48%), and S (0.92±0.48%). Nitrogen concentrations in poultry litter had significantly increased the NO<sub>x</sub> (155 ppm) emissions but confirming related standards. SO<sub>2</sub> (8 ppm) emissions obtained were also consistent with litter S content, but the emission concentrations were very small. Despite the high exhausted gas and ash emissions, the energy recovery practices such as direct combustion give opportunity for ready to use and environmentally safe management option for poultry litter, otherwise may pose significant health effects and pollutant risks to the environment.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Hayvansal protein kaynaklarına olan talep artışına bağlı olarak, tavuk üretimi ve bu üretim sonucu kümes atıkları bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de her geçen gün artmaktadır. Türkiye, kanatlı hayvancılık sektörünün önemli bir üreticisi, tüketicisi ve ihracatçısıdır. Kanatlı hayvancılık sektörü gıda ve tarım alanında en hızlı gelişen sektörlerden olup zaman içerisinde güçlü sektörlerden biri haline gelmiştir. 2019 yılında tavuk yumurtası üretimi 1,6 milyar adet olarak gerçekleşirken, tavuk eti üretimi 216 734 ton [1] hindi eti üretimi ise 4 724 ton olarak gerçekleşmiştir [2].

Türkiye’de son yıllarda et tavuğu üretim sayısının %56 sı 5 ilde toplanmıştır. Bu iller sırasıyla Manisa( %14) Balıkesir (%12), Sakarya(%12), Bolu (%11) ve Mersin(%8) dir [3]. Özellikle Marmara Bölgesi tavukçuluk adına merkez bölgedir. Bolu, Sakarya, Düzce illeri sınırları içerisinde yaklaşık 3000 adet tavuk üretim tesisi bulunmaktadır. Tesislerde yapılan üretim sonucunda yılda toplam 2 milyon ton kümes atığı ortaya çıktığı tahmin edilmektedir [4]. Bu atıklar broyler ve yumurtacı tavuklardan oluşmak üzere 2 şekilde sınıflandırılmaktadır. Marmara bölgesinde durum bu haldeyken Türkiye genelinde toplamda 7 milyon tonun üzerinde kümes atığı ortaya çıkmaktadır. Sektörün büyümesine bağlı olarak atık miktarının da her geçen yıl artacağı ve uygulanabilir yönetim ve nihai bertaraf yöntemi oturtulamazsa ileride daha büyük atık sorunu ile karşılaşılacağı öngörülmektedir. Atık akümülyasyonunun önüne geçebilmek için en uygun bertaraf alternatiflerinin araştırılıp, uygulanabilir yöntem veya yöntemlerin seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

Kümes atıkları karakteristik olarak organik maddece zengin, kalorifik değeri yüksek, aynı zamanda değişik oranlarda bitki besin elementi içeren yaygın bir atıktır. Kümeslerden çıktığı anda rutubet oranı da yüksektir. Bununla birlikte, içeriğinde

kolay ayrışabilir maddelerin yüksek olmasından dolayı, çok hızlı bozulur ve kısa bir zamanda hem kalorifik değerini ve hem de gübre değerini önemli ölçüde kaybeder [5]. Bu nedenle hızla kullanılması veya diğer ürünlere işlenmesi gerekir. Kümeslerden çıkan atıkları bitki gübreleme dönemine denk geldiğinde tarımsal alanlara kolayca bertaraf edilebilir. Gübre ihtiyacının bulunmadığı dönemlerde ise atıklar kontrolsüz şekilde depolanmakta veya boş alanlara rastgele boşaltılmaktadır. Kontrolsüzce çevreye bırakılan kümes atıkları çevre sağlığı, su ve gıda güvenliği yanında hayvan sağlığı için de büyük tehdit oluşturmaktadır [6].

Kümes atıkları iyi yönetilmediği takdirde yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarına Nitrat kontaminasyonuna [7], hava kirliliği (KOKU)  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ , amidler, uçucu doğal asitler VOC, merkaptan, ester ve diğer bileşiklere [8], Vektör çekiciliği; sinek, böcek, kemirgen (fare vb.), diğer yaban hayvanlarına, insan ve hayvan patojenleri; Salmonella, Enterobacter, Klepsiella, tavuk vebası, yalancı veba, Newcastle virüsü, Gumbo vb. [9], gibi pek çok çevresel problem ile insan ve hayvanlarda sağlık riski oluşturmaktadır. Potansiyel çevre yükünün fazla olması nedeniyle kümes atıklarının kısa sürede işlenip zararsız hale getirilmesi büyük önem taşımaktadır. Kümes atıkları için dört ana alternatif bertaraf yöntemi bulunmaktadır. Bunlar kompost, anaerobik sindirim, gazlaştırma ve yakma işlemidir. Kompostlaştırma işlemi aerobik bir işlemdir. Kontrollü koşullarda organik atıkların koku giderimine ve düşük nem içeriği içermesine fayda sağlamaktadır. Ancak bu yöntemin bazı dezavantajları vardır. Kompost sırasında oluşan azot kaybı nitratın istenmeyen bir şekilde atmosfere uçmasına neden olmaktadır [10]. Anaerobik yöntem doğaldır. Atık da bulunan metan ve karbondioksit içeren inorganik maddeler bakteriler yardımıyla ayrışır ve stabilize olur. Fakat bu yöntem diğer yöntemlere nispeten daha yavaş (10 - 30 gün) işlemektedir. Diğer bir işlem ise gazlaştırma yöntemidir. Gazlaştırma prosesi karbonun syngas'a çevrilmesini sağlamaktadır. Fakat, bu sistem halen araştırma geliştirme aşamasındadır, henüz proses tam olarak oturmamıştır.

Sayılan alternatifler içinde yakma, atık bertarafında en hızlı çözüm oluşturan yöntemdir. Mevsime bağlı değildir, her an uygulanabilir, kendini kanıtlamış, tam olarak oturmuş bir sistemdir. Kümes atıklarının yakılması, atık minimizasyonu ve

sistem emisyonlarının en aza indirilmesini, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, azaltılmış depolama süresi ile koku oluşturan CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S gibi uçucu bileşiklerin salınımını azaltır. Hızlı ve tam patojen giderimi sağlar. Sayılan bu avantajlarıyla, yakma tercih edilebilir bir teknolojidir [11].

Atık karakterinden dolayı, tavuk gübrelerinin tek başına yakılması proses optimizasyonunda sorunlar çıkarabilmektedir. Yanma karakterini iyileştirmek ve kalorifik değerini yükseltmek için bazı durumlarda kömür gibi enerji değeri yüksek, yanma karakteri iyi birincil yakıtlarla birlikte yakılmasını öneren çalışmalar vardır. Başta yüksek nem içeriği olmak üzere, kül içeriği ve kompozyonunu, karbon içeriği ve formları ile diğer organik madde bileşenleri tek başına yakmada problem oluşturabilmektedir [12].

Broyler tavuk altlığının kuru bazda enerji değerleri yaklaşık 12.000 ila 14.000 kJ/kg arasında değişmekte, ıslak bazda ise 2.600 kJ/kg değerine kadar düşmektedir [13]. Tavuk gübresini alternatif bir enerji olarak kullanmak için gübrenin enerjik ve fizikokimyasal karakterizasyonu önemlidir. Atığın enerjisini kaybetmeden yakılması ile tek başına yakılabilir olması ve yanma emisyonlarının çevresel standartları sağlaması önemlidir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, tavuk altlığının tek başına yakılarak yanma karakterizasyonu, enerji değeri ve yanma gazı emisyonları incelenmiştir.

## BÖLÜM 2. KÜMES ATIKLARININ BİYOKÜTLE ENERJİ KAYNAĞI OLARAK ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Kümes Atıklarının Fiziksel Özellikleri

Tavuk gübresi oldukça hafif bir malzemedir. Yoğunluğu düşük hacim ağırlığı 500 kg/m<sup>3</sup>'ün altındadır [14]. Bu nedenle depolanması ve nakliyatı esnasında uçucu partiküllerin atmosfere karışması olasılığı yüksek olduğu için taşınımı zor, tehlikeli ve maliyetlidir. Tavuk gübresinin taşınım sırasında infekte tozların dökülmesi ile tavuk kaynaklı hastalıkların yayılması çevre ve insan sağlığını tehlikeye sokan bir durumdur [15].

Tavuk gübresi çeşitli boyutlardaki birçok parçacıktan oluşur. Tavuk gübresinin fiziksel özellikleri; partikül büyüklüğü, şekil, parçacık yoğunluğu, parçacık büyüklüğü dağılımı ve partikül yüzey alanı, kümes atığının karakterizasyonu için gerekli ve önemli özelliklerdir. Fiziksel özellikler sayesinde kütle yoğunluğu, gözeneklilik, akış özellikleri, sıkıştırılabilirlik, güç özellikleri, nem içeriği ve su aktivitesi gibi karakteristik özellikler hakkında bilgiye ulaşma yolu daha hızlı ve kolay hale gelir. Bu bilgilerle birlikte kümes atıklarını işlemek, depolamak, işlenilecek yere taşımak daha kolay, steril ve çevre sağlığını tehlikeye sokmayarak daha güvenilir hale gelmektedir [16].

Kümes atıklarının üretim yerinden işlem göreceği tesise ulaşmaya kadar geçen sürede taşıma maliyetinin ekonomik olup olmadığı kuru madde miktarı tarafından belirlenmektedir. Kümes atıkları için rutubet değerinin %30'a ulaşmaya kadar ekonomik taşıma mesafesinin 40 km olduğu belirtilmektedir [15]. Porozitesi yüksek, hacim ağırlığı düşük numunelerin sıkıştırılarak hacim ağırlıklarının özgül ağırlığına yaklaştırılması sağlanarak depolama ve taşımaya uygun hale getirilir. Tavuk gübresi

granül oluşturma ve peletleme işlemine tabi tutularak yoğunluğu artırılır. Yüksek basınca maruz kalan tavuk gübresinin yoğunlaşması sağlanırken hacmi azalır, tozlaşma minimuma iner ve mikroorganizma yayılımı azalır. İşlemler sonrası atık daha güvenilir hale gelir [5].

### **2.1.1. Boyut**

Literatürde boyut, maddelerin ve parçacıkların en önemli özelliği olarak yer alır. Çünkü bu özellik yüzey alanı ve hacim gibi özellikleri hesaplarken doğrudan kullanılır. Boyut tayini için kullanılan birçok yöntem vardır. Bunlar eleme, dijital görüntü analizi ve lazer tabanlı bir sistemdir. En çok tercih edilen yöntem eleme yöntemidir. Tercih edilme sebebi ise en ucuz ve en basit yöntem olmasıdır [14].

### **2.1.2. Kütle yoğunluğu**

Kütle yoğunluğu, hacmi bilinen numune kabını dolduran bir malzemenin kütlesi ölçülerek elde edilir. Farklı yoğunluklu türler için üç geleneksel yöntem vardır. Bunlar havalandırma, dökme ve hafifçe vurma işlemidir [17].

Havalandırılmış kütle yoğunluğu, parçacık halinde bulunan malzemenin yoğunluğunun bir ölçüsüdür. Bu yöntem gaz elde etmek için karmaşık bir yöntemdir. Malzemenin miktarı nedeniyle karışıklık yaratabilir. Bu karışıklık yaratma olasılığı nedeniyle çoğu araştırmacı bu yöntemi tercih etmez [18]. Dökülmüş kütle yoğunluğu en çok tercih edilen ve en çok kullanılan yöntemdir. Dökülmüş kütle yoğunluğu bir malzemenin hacmi bilinen bir kaba boşalmasıyla elde edilir. Kaba dökülen malzemenin kütlesinin hacmi bilinen kabın boyuna oranıyla hesaplanmaktadır. Bu hesaplamaların bilinmesi nakliye, depolama, işleme ve depolama sırasında biyolojik malzemelerin davranışları için çok önemlidir [18].



### 2.1.3. Parçacık yoğunluğu

Bilinen iki tür parçacık yoğunluğu vardır. Bunlar gerçek parçacık yoğunluğu ve görünen parçacık yoğunluğudur. Gerçek parçacık yoğunluğu açık ve kapalı gözenekler dışında hacminin bölünmüş parçacık kütesidir. Görünen parçacık yoğunluğu ise sadece kapalı gözenek hacmini içerir ve bu özelliğiyle farklılık gösterir [17]. Gerçek yoğunluğu ölçmek için genellikle bir helyum piknometresi kullanılarak gerçekleştirilir [19]. Görünen parçacık yoğunluğu ise en iyi boyut ölçümlerinden elde edilir.

### 2.1.4. Gözeneklilik

Gözeneklilik özelliği dökülmüş kütle yoğunluğunun ve gerçek parçacık yoğunluğunun bir parçasıdır. Bazı yerlerde boşluk olarak da adlandırılır. Katı bir partikül içindeki başka bir katı partikül tarafından işgal edilmeyen alan olarak da adlandırılabilir. Gözeneklilik, küresellik için ve partiküllerin toplu halde düzensizliği hakkında iyi bir tahminde bulunmamızı sağlayabilir. Parçacıklar küresel halde bulunuyor ise gözenekliliklerinin açık olduğu anlamına gelir [17].

### 2.1.5. Sıkıştırılabilirlik

İşlem görmeyen kümes atıklarının sıkıştırılmaması depolanma, taşıma ve nakliye sırasında sorun teşkil etmektedir. Sıkıştırılmamış kümes atıkları daha fazla alan kaplayacağı için taşıma esnasında ve depolama sırasında istenmez. Bu işlem depolama ve taşıma işlemlerinin iyileştirilmesi ve daha az toz oluşturan malzeme kullanımını sağlamak için kullanılır. Sıkıştırma işlemi dökme katıların titreşimiyle sağlanabilir. Bu işlem mekanik sıkıştırma olarak da adlandırılabilir [14].

## 2.2. Kümes Atıklarının Mikrobiyolojik Özellikleri

Tavuk çiftliklerinden elde edilen kalıntılar arasında, tavuk dışkısı, çöp malzemeleri (ör. ahşap talaş veya pirinç sapı), ölü tavuklar olduğundan tavuk çiftliklerinden çıkan

atıklar hastalık oluşturan patojenler ve mikro organik kirleticiler bakımından oldukça zengin ham maddelerdir. Kümes atıkları patojen ve mikro kirleticiler bakımından çok zengin olduğu için bunların yayılması sulara bulaşması büyük çevresel sorunlara neden olabilir. Bu patojenler sera gazı olarak karşımıza çıkabilir [20]. Uzun mesafeler boyunca taşınan portation ekipmanları kanatlı hayvan atığı ile doludur ve *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes* ve *Clostridium perfringens* gibi patojenleri bünyesinde barındırır. Kümes atıkları patojenle enfekte olmuş, mikroorganizma yüklü bir toz halinde bulunur [14]. Tozun içinde barındırdığı mikroorganizmalar ve patojenler metabolik faaliyetlerini, üremelerini en iyi ve en hızlı rutubetli ortamlarda gerçekleştirmektedirler. Buna bağlı olarak, azotlu bileşiklerin mineralizasyonu sonucu oluşan amonyak ile altlıktaki patojen kontaminasyonu, kümesteki rutubet yönetimi ile yakın bir bağlantı içindedir. Kümes içindeki bu yüksek rutubet, tavukların hayatını olumsuz etkileyip tavuk ölümlerine sebebiyet verirken aynı zamanda altlık kalitesini de olumsuz etkilemektedir. Yüksek rutubet kaliteli organik gübre üretimi ve enerji değeri yüksek biyo-kütle yakıt üretim potansiyelini düşürmektedir.

Büyük sorunlar meydana getiren kümes içi yüksek rutubet değeri biyo-kütle ve enerji elde edimi sırasında sorun oluştururken yapılan iyileştirme çalışmaları altlık rutubetinin %30'un altına düşürmeye yönelik olmuştur. Rutubet değerini düşürmek için yapılan ısıtma ve havalandırma uygulamaları kaliteli enerji elde etmemize yardımcı olurken kümes atıklarının yönetimini de kolaylaştırmaktadır [5].

Daha verimli biyo-kütle elde edip daha iyi yanma sistemleri tasarımı oluşturmak için ısıtma değeri, nem, kül içeriği ve elementel olan çeşitli yakıt özellikleri üzerinde kompozisyon çalışmaları yapmak gerekir. Isıtma değeri (veya kalorifik değer) yakıtın enerji içeriğini tanımlar. Enerji dengesi, mühendislik analizi ve iyi bir tasarım elde etmek için en önemli yakıt özelliklerinden biridir. Isıtma değeri genellikle daha yüksek kuru bazlı yüksek ısıtma değeri (HHV) veya daha düşük ıslak bazda düşük ısıtma değeri (LHV) ile ölçülür. HHV, aynı zamanda brüt kalorifik değer veya brüt enerji olarak, tam yanmanın açığa çıkardığı ısı anlamına gelir. Reaktanlar arası entalpi değişimini ölçmek için adyabatik bir bomba kalorimetresi kullanılır [21].

Tavuk gübresinin kül oranı %10-34 ve rutubet oranı %12-43 arasında değerler aldığı ısıtma değerleri 3400 – 6300 BTU/lb arasında değişmektedir. Isıtma değeri ile ters orantılı olan rutubet değeri arttıkça ısıtma değeri düşmektedir. Başka bir deyişle tavuk gübresi yakan tesislerin ısıtma kapasitesi 15,000 - 16,000 BTU/kWh arasında değişmektedir. Kuru Bazlı (deneysel) Yüksek Isıtma Değerleri (HHV), yaklaşık 12.000 ila 14.000 kJ/kg arasında değerler almaktadır. Islak bazda 'Düşük Isıtma Değerleri' (LHV'ler) ise ortalama 2.600 kJ/kg gibi değerler almaktadır [13]. Quiroga ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada 9 farklı çiftlikten alınan tavuk atığı numunelerinin HHV değerleri 12,052 ve 13,882 kJ/kg arasında değiştiği tespit edilmiştir [22]. Elde edilen sayısal analizlerin standartlara uygun olduğu görülmüştür.

Avustralya'da yapılan bir çalışmada nem içeriği, bazı enerji üretim teknolojileri için önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir. Kül içeriği de enerji üretimi için önemli bir faktördür. Tavuk çöpünün enerji içeriği, külün uçucu katı maddelere oranının bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir [23].

HHV, LHV ve yakıtın karakterizasyonlarını tahmin etmek için kimyasal ve yapısal analizlere ihtiyaç vardır. Kimyasal analiz karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve kükürdün (S), ağırlık yüzdesi (ağırlıkça %) gibi ana element örneklerinin bileşimini ölçer. Yapısal analiz ise nem (M), sabit karbon (FC), uçucu madde (VM) bileşimini ve kül içeriğinin ağırlık yüzdesi olarak belirlemek için kullanılır. Yapılan kimyasal ve yapısal analizler sonucunda doğru rutubet değerlerinde daha kaliteli yakıt oluşturmak için patojenlerden ve mikroorganizmalardan arındırılmış daha steril bir ortam oluşturulabilir [24].

### **2.3. Kümes Atıklarının Kimyasal Özellikleri**

Kümes atıkları hidrotermal karbonizasyon, yavaş piroliz, enerji ve gaz emisyonları açısından diğer enerji kaynaklarından daha farklı yanma karakterizasyonları meydana getirir [20]. Tavuk gübresinin yapısında bulunan azot (N) gübre düzgün depolandığı takdirde korunur [5]. Tam bir koruma sağlanması için tavuk gübresinin

depolanmasının 2 alternatif yöntemi vardır. Birinci seçenek tavuk gübresinin havayla temasını en aza indirmek için üzeri kapatılarak derin kuyularda kısa bir süre bekletmektir. İkinci seçenek ise süre kaybetmeden yapılan kurutma işlemidir [4]. Tavuk gübresi değerli bir hammaddedir ve yapısının bozulmamasına dikkat edilmeli hiç bir zaman açık hava koşullarında depolanmamalı ve bekletilmemelidir. Açık hava koşullarında bekletildiği takdirde olası yağmur yağma durumunda yapısında bulunun değerli mineraller uzaklaşır. Açıkta depolanan tavuk gübresi kolay ve hızlı bir şekilde ayrışırken doğal madde ve besin elementlerini kaybeder. Gri renkte bulunan kül, gübrenin bitki besin elementlerini kaybettiğinin göstergesidir. Açık havada bırakıldığında yapısal özelliklerini kaybeden tavuk gübresi aynı zamanda hava ve rutubete maruz bırakıldığında amonyum azotu doğal azota dönüştürülür [14].

Tavuk gübresinin önemli bir biyo-kütle, enerji kaynağı ve gübre olarak kullanılma sebebinin doğal madde içeriği yanında en önemli özelliği içerdiği azot (N) değeridir [25]. Tavuk gübresinin içeriğinde bulunan toplam azotun üçte biri amonyum ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) formunda ve geri kalanı doğal formdadır. Amonyum formunda bulunan azot bitkiler tarafından hemen alınabilirken, doğal formda bulunan azot zaman içinde ayrışmaya uğrayarak mineralizasyona bağlı olarak alınabilir forma geçmektedir. Amonyum amonyak formuna geçerken havaya uçabilir ve bu nedenle açıkta ham olarak dökülen, bırakılan veya depolanan gübrenin azot içeriğini azalarak kaybetmesi nedeniyle gübre değerinin düşmesine ve de çevrede istenmeyen koku oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle gelişmiş, kontrolsüz depolanma ve bertaraf yöntemlerine maruz kalan tavuk gübresinin azot değerinin %4 - %5 civarlarında olması gerekirken bu değerler %1 ila %2 azot içeriğine kadar düşmüştür.

Tavuk gübresinin verimliliğini içinde barındırdığı azot, fosfor, potasyum, organik madde ve iz elementler belirlemektedir. İçeriğinde bulundurduğu bu elementlerden en fazla gübre değerine sahip olanlar; azot, fosfor ve potasyumdur. Gübre değeri bakımından zengin olan tavuk gübresinin tipik bir N:P:K oranı vardır ve bu oranlar 6:2:3 şeklinde yer almaktadır. Tavuk gübresi bitki besin maddesi yerine yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılacaksa içerdiği karbon oranı en önemli elementtir.

Biyo-kütlenin yakılma işlemi eksotermik kimyasal reaksiyonlarla gerçekleştirilir ve bunun sonucunda karbon ve oksijen belirginleşir [26].

Azot taze bir tavuk gübresinde %4 - %5 oranlarında bulunur fakat gübre iyi yönetilmediği takdirde gübre azot değerini kaybetmektedir. Çünkü azot çok hızlı volatize olan bir elementtir. Fosfor tavuk gübresinin yapısında %1 - %3 oranında bulunur. Potasyum oranı ise %2 - %4 arasındadır. Tavuk gübresinde ki organik madde kapsamı %65 - %80 arasındadır. İz element miktarı ise bitki gelişimi ve mikroorganizma oluşumu için yeterli orandadır.

#### **2.4. Kümes Atıklarının Enerji Değeri**

Tavuk kümesi altlıklarının enerji değeri, kullanılan altlığın (yatak malzemesi, ağaç talaşı, çeltik kavuzu vb.) cins ve çeşidine, kullanım miktarına, ayrışma derecesine, altlığın rutubet veya kuruluk derecesine bağlı olarak değişmektedir. Hatta kimi zaman zeolit gibi enerji değeri olmayan inorganik malzemeler altlık olarak kullanılabilir [27]. Kullanılan altlık malzemesinin özelliği enerji değerini etkilemekle birlikte yanma karakterizasyonunu da değiştirmektedir.

Hava kuru kümes atıkları, yaklaşık 13,5 GJ/ton'luk tipik bir kalorifik değere sahiptir ve bu kömürün yarısı kadardır [12]. Biyo-kütle yakıtlarının enerji değeri bazı fiziksel ve kimyasal durumlardan etkilenmektedirler ve başta su muhtevası olmak üzere, karbon oranı, içeriğinde bulunan kül miktarı ve kimyasal kompozisyonunlar tavuk gübrelerinin enerji değerlerini doğrudan etkilerler [26]. Kümeden yeni çıkmış tavuk gübresinin rutubet oranı % 20 ila %30 arasında değişirken, kül oranı %9 ila %54 arasında değerler almaktadır [5].

Tavuk kümeslerinde maliyeti yüksek olan ısıtma sorunu kümes atıklarının yanmasıyla çözülebilir hale gelmiştir. Yanma özellikleri iyileştirilen tavuk gübresi gibi kalorifik değeri yüksek, maliyeti düşük biyo-kütle kaynaklarına dünya da büyük ihtiyaç duyulmaktadır. Kümes atıkları iyileştirilip bir enerji değeri haline getirildiklerinde üretildikleri kümeslerde ısınma sorununa çözüm olabilmektedir [5].

Aranan biyo-kütle haline gelen kümes atıkları dünyada birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin İrlanda tavuk gübresini katıksız halde veya turba ile %50 oranında karışım halinde yakarak çevredeki tavuk kümeslerinin ısıtılmasında kullanmaktadır. Enerji kaynakları bakımından fakir olan İrlanda bu dönüşüm sayesinde biyo-kütle ihtiyacını büyük ölçüde sağlamış olmaktadır [12]. İrlanda gibi İngiltere'de biyo-kütle olarak tavuk gübresini tercih etmektedir. İngiltere şu anda yanma ile çalışan üç büyük ölçekli elektrik santralini işletiyor ve birincil biyo-kütle olarak kanatlı çöpü tercih ediyor. İşletilen bu tesislerde 140,000 ton tavuk gübresi yakılabilir ve bu yakma işlemi sonrasında 12,7 MW'lık güç elde ediliyor. Yüksek enerji verimi sağlayan bu tesisler uzun yıllardır işletilmektedir ve daha büyük enerji verimi elde edilebilecek yeni tesisler inşa edilmektedir [16].

Kanatlı kumu çöpünün bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının en büyük faydası, yandığında oluşan düşük miktardaki emisyonlardır. Kümes atığı kullanımında net CO<sub>2</sub> emisyonu yok denecek kadar azdır [28]. CO<sub>2</sub> emisyonunun olmamasının sebebi ise CO<sub>2</sub>'nin devamlı bir döngü halinde olmasıdır. CO<sub>2</sub>'nin yanında yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılan kümes atıklarının yakılmasıyla ortaya çıkan CO, SO, NO emisyonları fosil kaynaklı birincil enerji kaynaklarından daha az salınım yapmaktadır [5]. Ortaya çıkabilecek emisyon değerleri örneğin CO emisyon değeri yakma ünitesinde optimize edildiğinde istenilen standartlar altına indirilebilir [12]. Tavuk gübresinin düşük kükürt içeriğine sahip olması SO<sub>2</sub> emisyonlarının daima düşük kalmasını sağlamaktadır. Tavuk gübresi içeriğinde Ca elementi diğer elementlere nispeten daha fazla olduğu için külde bulunan Ca elementi az miktarda SO<sub>2</sub> tutacağından emisyonlar daha da azaltılabilir [12]. Kümes atıkları tek başına veya diğer enerji kaynaklarıyla birlikte yakıldığında NO<sub>x</sub> emisyonlarının çıkış miktarı karşılaştırıldığında her zaman tek başına yakılmasında birlikte yakıldığından daha az NO<sub>x</sub> çıkışı yapıldığı bilinmektedir [8]. Örneklere bakıldığında fosil yakıt kaynakları kömür ve linyitin NO<sub>x</sub> emisyonlarının daha yüksek olduğu görülmektedir [26].

Kömür 2004'te ülkenin enerjisinin %32'sini karşıladı ve bu değer 2030 yılına kadar %38'e yükseltilmesi bekleniyor [16]. Kömürün kümes atıklarıyla birlikte

yakılması çevreciler için çok cazip bir seçenek olarak gözükmüyor. Kömür ve tavuk gübresinin birlikte yakılmasının birçok avantajı vardır. Tavuk gübresinin kömürle birlikte yakılması oluşan CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasını sağlayabilir. Biyo-kütle, kömürden daha ucuza mal edilebilir. Bir ekonomik avantaj sağlayan bu işlem aynı zamanda atık miktarında ki artışı azaltarak toprağı, suyu ve havayı potansiyel olarak koruyabilir [8]. NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşum sebepleri üç temel kaynağı bağlanmaktadır. Bunlar yüksek sıcaklıklarda yanma sonucunda oluşan atmosferde %79 oranında bulunan N<sub>2</sub> gazının yanmayla O<sub>2</sub> ile reaksiyona girmesi, yüksek oksijene sahip yakma koşulları ve biyoyakıtın içerdiği azot miktarıdır [29].

Tavuk gübresi tek başına verimli bir şekilde yakılmak isteniyor ve enerji üretiminin maksimize edilebilmesi gerekiyorsa rutubet değeri mutlaka %25 ile %9 arasında olması gerektiğı belirtilmektedir [12]. Abelha ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada akışkan yataklı yakma tesisi kullanılmıştır. Bu tesiste tavuk gübresi yakılmıştır. Tavuk gübresine ek bir yakıt eklenmeden yakıldığı takdirde elde edilen yanma gazı emisyonları ve NO<sub>x</sub> emisyonları Avrupa Birliğı standartlarına uygun değerlerde çıkmıştır [12].

Çiftçiler kümeslerin ısıtılmasında sorun yaşamakta ve bu sorunu aşamadıkları takdirde ekonomik olarak sıkıntı çekmektedirler. Tavuk gübresi ise bu soruna bir çözüm olarak görülmüş ve kümeslerin ısıtılmasında denenmiştir. Tavuk gübreleri işlendiğı takdirde uygun hale getirilerek fosil yakıtların yerini alıp sürdürülebilir döngü olarak kümeslerin ısıtılmasında kullanılabilir. Biyo-kütle olarak kullanılan tavuk gübresinin direk yakılması tavuk gübresinin yakın alandan temin edildiğı takdirde en ekonomik yöntem olmakla birlikte en bilinen, en yaygın basit teknolojiye sahip bir yöntemdir.

Kümes atıklarından elde edilen enerjinin elektrik enerjisine çevrilebilme verimliliğı %21 ile %32 arasında değişmektedir. Bu oranlar güç santralının büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Elde edilen oranlar elektrik enerjisi imal etmek için kg kümes atığı başına 0,74 kWh – 1,13 kWh gibi rakamlar olması gerektiğini gösterir [26]. Eğer tavuk gübresinden enerji üretim değeri hesaplamak istersek tesisin net ısıtma

kapasitesi 15,000 BTU/kWh olarak kabul edildiği takdirde aşağıdaki formül (Denklem 2.1) kullanılarak bir hesaplama yapılmaktadır.

$$4600 \times \frac{BTU}{lb} \times \frac{kWh}{15000BTU} \times \frac{\$0.0674}{kWh} \times \frac{2000lb}{ton} = \frac{\$0.41}{ton} \quad (2.1)$$

Tavuk gübresinin doğal gaz gibi diğer enerji kaynaklarıyla birlikte yakılması da denenmiştir. Gelişmiş bir akışkan yatak içinde yakılan tavuk gübresi doğal gaz gibi az karbon içeriğine sahip olabilir ve %89'luk bir yanma verimi oluşturur [30]. Bu da çiftçilerin işini kolaylaştırıp tavuk gübresinin geri dönüşümünü sağlayıp çevre dostu bir kullanım haline getirilebilir.

## 2.5. Yanma

Tavuk gübresinin doğrudan yakılması enerji elde edebilme yolunun en kolay yolu olarak görülmektedir. Uygulanan bu yöntem atıktan elektrik elde etmek için yapılmış ve olumlu sonuç alındığı sürece başka atık kaynaklarıyla da denenmiştir. Süreç iyileştirilip yanma gazı emisyonları minimize edildiği takdirde dünyada sıkça kullanılan bir işlem haline gelmiştir. Avrupa ve ABD'de tavuk gübresini hammadde olarak tercih eden birçok ticari tesis bulunmaktadır [23]. Yanma işlemi pratik ve uygun kullanılabilir bir yöntem olarak görülse de bazı durumlarda verimsiz ve ekonomik olarak zarar veren bir işlem haline dönüşebilir. Çünkü yanma işleminin verimliliği işlem sırasında tercih edilen yakıt tipi, numunenin nem içeriği gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [31].

Yanma işlemi sıralanacak olursa beş ana adımdan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Kurutma: Kurutma işlemi 100°C'de gerçekleştirilir. Tavuk gübresinin yüksek nem içeriğine sahip olması nedeniyle tavuk gübresinin içindeki suyu buharlaştırmak için bir ısı uygulanması gerekir ve kurutma işlemi böylece yapılmış olur.



2. Devolatilizasyon: 300°C üzerindeki gereken sıcaklığa ulaşıldığında biyo-kütle içerisindeki uçucu organik gazlar serbest bırakılırken devamında selüloz ve lignin içindeki kimyasal bağlar bozulur.

3.Gazlaştırma: 800°C üzerinde ki sıcaklıklarda meydana gelir ve CO, H salınımıyla sonuçlanır.

4.Char yanması CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> oksitlenmesine kadar devam eder.

5.Uçucu gazlar ve katran 800°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda oksidasyon yoluyla ısı enerjisine dönüştürüldüğünde, oksidasyon işlemi gerçekleşmiş olur [23].

Tavuk gübresini makul bir yakıt hammaddesine dönüştürmek için uygun nem içeriğine sahip olmasını sağlamak gerekir. Tavuk gübresi diğer atıklara nispeten daha düşük kül miktarına sahiptir. Kümes hayvan atıkları diğer hayvan atıklarına kıyasla daha iyi kalorifik değerlere sahip olsalar da bileşimindeki sodyum ve potasyum konsantrasyonu nedeniyle daha düşük kül erime noktasına sahiptir [32]. Bu durum istenmeyen sıvı oluşumuna neden olabilir ve yanma sırasında kullanılan ekipmanları kirletir, süreçte verimlilik kayıpları oluşturur [33]. Tavuk gübresinin yakılmasında sağlanabilecek bazı zorluklar yanma sırasında oluşabilecek kirlilik potansiyeli oluşturan gazlar ve bu gazların tehlike arz etmesidir. Tavuk gübresinin bileşimindeki azot, kükürt ve uçucu madde miktarı nedeniyle çevresel etkiyi en aza indirip verimliliği artırmak için ideal karışım kullanılması önerilir [31]. Meydana gelebilecek olası problemlerin önüne geçebilmek için gerekli iyileştirmeler yapılmalı gerekirse ham madde önceden kurutulmalıdır. Tavuk gübresinin yanması sonrasında kalıntı olarak kalan kül gübreye işlenebilecek değerli bitki besin maddeleri (fosfor ve potasyum) içerdiği için değerli bir yan ürün olarak nitelendirilebilir. Bu ayrıntı daha fazla araştırılıp tavuk gübresinin ekonomik katkılarını arttırabilir [23].

Yanma işlemi sırasında oluşan hava emisyonlarının çevreye ve insan sağlığına etkileri, oluşan zararlı kirleticilerin varlığı kümes atıklarının biyo-kütle olarak kullanımına engel olabilir [34]. Kümes atıklarının yanmasından kaynaklanan hava

emisyonlarının yani NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HCl ve dioksin gibi maddelerin oluşumu endişe yaratır [35].

Kümes atığındaki amonyum formunda olan azot, kontrollü yakmada kullanılan diğer biyo-kütle çeşitlerinin aksine kompleks organik azot şeklinde bulunur. Yanma sırasında kümes atıklarında bulunan mevcut amonyum hızlı buharlaşma ile amonyağa dönüştürülür. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda bulunan amonyak yaklaşık 800°C'de hızla NO<sub>x</sub> ve N<sub>2</sub>'ye dönüştürür [36]. Billen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada her ne kadar kümes atıklarının yanmasından kaynaklanan dioksin ve furan gibi hava emisyonlarını kaydetmeler de bu hammaddenin yakılması gübre olarak kullanımıyla karşılaştırıldığında çevre için daha az tehlike arz eder. Bununla birlikte Billen ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda yanma sırasında oluşan hava emisyonlarının Avrupa Birliği tarafından istenen standartlara uygun olduğu gözlenmiştir [35].

Tablo 2.1. Farklı ülkelerde yapılmış yaklaşık ve elemental analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Bileşenler	İtalya	İsrail	Kanada	USA	Polonya	İrlanda	Polonya	Türkiye
	[13]	[20]	[37]	[38]	[40]	[41]	[42]	[26]
LHV(j/g)	12,828	-	-	-	12,744	-	-	12,98
HHV(j/g)	14,587	15,1	10,1	13,15	-	-	-	14,65
Nem(%)	62,5	-	20,1	-	11,94	29,96	13,4	26,2
Uçucu Madde(%)	26,56	-	54,3	65,56	67,5	41,28	-	-
Kül(%)	10,6	24,4	11,5	21,65	15,6	22,38	-	19,4
C (%)	14,81	37,8	43,3	35,59	39,67	50,82	31,94	27,2
O(%)	-	31	6	35,52	34,12	31,68	-	23,1
H(%)	8,16	4,8	6,6	4,57	4,72	6,23	4,6	3,7
N(%)	2,39	1,9	5,7	4,98	5,49	7,97	2,99	3,7
S(%)	-	0,1	1,2	-	0,4	3,29	-	0,3

Tavuk gübresinden enerji elde edebilmek kolay bir yöntem olarak nitelendirilse bile her tesisin gelişi güzel yapabileceği bir yöntem değildir. Bir tesisin yakma işlemini gerçekleştirmesi için yapması olası olduğu potansiyel projenin ölçeğini çıkartıp, yakma tesisinin ham maddeye yakınlığı ve nakliyatın maliyetini çıkarıp, mevcut çöp miktarını öğrenmesi gerekir. Aynı zamanda alt beslenme stokunun nem içeriğini

öğrenip gerektiği takdirde kurutma işlemi yapmalıdır. Alt beslenme stoklarının nem içeriği kurutma maliyetleri açısından oldukça önemlidir [23].

## 2.6. Kümes Atıklarının Yakma ve Enerji Değeri ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Tavuk gübresi, enerji potansiyeli yüksek bir biyo-kütledir. Kümes atıklarının toprakta kullanılması bertaraf sorununa çözüm olmamaktadır. Bunun için geliştirilen yakma işlemi sürdürülebilir bir enerji sağlamaktadır. Üretim yapan kümeslerin ısınma sorununa çözüm olurken aynı zamanda doğaya bırakıldığı takdirde çevre ve insan sağlığı için risk oluşturan kümes atıkları yakma yöntemi sayesinde sorun olmaktan çıkmıştır. Bu yüzden son yıllarda ülkemizde ve dünyada bu işlem sıkça kullanılmaktadır ve kümes atıklarının yakma karakterizasyonu ile ilgili pek çok çalışma yapılmaktadır.

Franco Cotana ve arkadaşları (2014), İtalya da bulunan tavuk çiftliklerinden çıkan kümes atıklarının özelliklerine göre düzenlenmiş depolama yöntemi, deneysel gazlaştırma tesisi kurulumunun hangi aşamalardan oluştuğunu ve enerji değerlerini araştırmışlardır. İtalya'nın kırsal bölgesinde yer alan bir tavuk çiftliğinde toplam kümes atıklarını boşaltma ve dezenfeksiyon döngüleri her 9 ayda bir gerçekleştirilmektedir ve yılda 1200 tona kadar üretilmektedir. İyi yönetilmediği takdirde çevresel tehdit oluşturan tavuk gübresinin enerji olarak geri dönüşümünü sağlamak istenmiştir. Tavuk gübresinin karakterizasyonu gerekli ekipmanlarla CRB laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Tavuk gübresinin karakterizasyonunun belirlenmesi için TruSpec CHN LECO analizörü, TGA 701 thermo-gravimetric analizörü, LECO AC350 kalorimetresi kullanılmıştır.

TruSpec CHN LECO: Numunelerin nihai analizini gerçekleştirmek veya Karbon ( $\pm\%0,5$  ölçüm belirsizliği olan C), Hidrojen ( $H\pm\%1$  ölçüm belirsizliği) ve Azot ( $\pm\%0,5$  ölçüm belirsizliği olan N) oranlarını belirlemek için kullanılmaktadır.

TGA 701 termo-gravimetrik:, LECO için, toplam katı madde ölçümü (TS), uçucu katılar (SV), nem ve kül içeriğini ( $\pm\%0.02$  ölçüm belirsizliği ile) hesaplamaktadır.

LECO AC350: Yüksek ısıtma değerinin ölçümü için LECO AC350 kalorimetresi kullanılmaktadır.

İki ayrı kulübeden alınan Gübre 1 ve Gübre 2 numuneleri laboratuvarında test edilmiştir. Nihai analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen materyallere bakıldığında özellikle uçucu madde ve nem içeriği bakımından birbirinden farklılık göstermiştir. Değerlerin arasındaki farkın fazla olmasının sebebi farklı kümes hayvanı yetiştiriciliğine bağlanmıştır. Gübre 1 broyler tavuk yetiştiriciliği yapılan kümeden alınırken gübre 2 biyolojik yumurta üretimi için kullanılan ıslaha aittir. Daha sonra, gübrelerin enerjik karakterizasyonu için kalorimetrik analiz yapılmıştır ve yüksek ısıtma değerleri ölçülmüştür [13].

Vivian Mau ve arkadaşı Amit Gross (2018) yaptıkları çalışmada, kanatlı gübresinden elde edilen hidrokarbonun yanma davranışını incelemektir. Bu amaçla tavuk gübresi toplanmıştır. Bir tavuk çiftliğinden alınan ham madde katı su muhtevasına ıslatılmış ve hidrotermal olarak 200, 220 ve 250°C sıcaklıklarda hidrojene karbonize edilmiştir. Başka bir alt örnek kurutulmuş ve yavaş pirolizden geçirilmiştir (450°C' de). Üretilen maddeler kimyasal bileşimi ve kullanım sırasındaki davranışları bakımından tanımlanmıştır. Hidrotermal kömürleşme işlemi, bir artışa neden olmuştur. Karbon içeriğinde ve buna bağlı olarak hidrojenin kalori değerinde bir artış meydana gelmiştir. Kimyasal bileşimi 250°C'de üretilen hidrochar ve biochar, alt bitümlü kömürü andırdığı ortaya çıkmıştır. Hidrocharın yanma profili yapılan işlemde önemli ölçüde etkilenmiştir. Tedavi sıcaklığındaki artış, ateşleme, tepe ve yanma sıcaklıklarını etkilerken bu sonuçlar, 250°C'de üretilen hidrokarbürün yanmasının olduğunu göstermiştir. Tavuk gübresinin yakımı daha güvenli, daha verimli ve daha az kirletici olarak saptanmıştır. Ayrıca, 250°C yanma davranışı hidrochar, biochar ve kömüre benzer şekilde bulunmuştur. Yine de, hidrochar biochar üzerinde bir avantaja sahiptir ve enerji verimi daha fazla çıkmıştır. Bu nedenle, bu çalışma hidrotermal karbonlaşmanın işe yarar olduğunu göstermiştir. Kanatlı hayvan gübresini, enerjisi yoğun bir yakıtı dönüştürmenin ne kadar avantajlı olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, hidrochar yaygın olarak kullanılan kömürün yerini

alabilir, elektrik üretimi ve fosil yakıtlara olan bağımlılığımızın azaltabilir olduğu sonucuna varılmıştır [20].

Karoline Carvalho Dornelas ve arkadaşları (2017) bu çalışmayı, biyo ayırıcılarda ısıl işleminin kanatlı çöp üzerindeki etkileri ile oluşacak potansiyel biyogaz miktarının değerlendirmek için yapmışlardır. Kullanılan tavuk çöpü  $m^{-2}$  ye 14 tavuk düşen iki küçük kanatlı kümeden elde edilmiştir. 42 gün boyunca bekletilmiştir. 1. kuş kafesinden gelen çöpler ısıl işlem görmüşken, 2. kuş kafesinden üretilen her çöp grubu bir fermantasyon işlemi geçirmiştir. 2 kafesten de alınan her parti için, 35 günlük hidrolik tutma süresi ile iki biyodizel oluşturulmuştur. Biyosindirimi işleminin etkinliği, eklenen toplam katı madde (TS) ve aynı zamanda enerji üretme potansiyeli ile ilgili olarak biyogaz üretimi ile değerlendirilmiştir. Ölçülen hacimler, kuş kafesi 1 için 8,9 ila 41,1 L arasında biyogaz ve kuş kafesi 2 için 6,7 ila 33,9 L biyogaz arasında değişmektedir. Biyogaza eklenen ortalama katı maddenin; kafes 1 için 0,022 – 0,034 ve kafes 2 için 0,015 - 0,022 olduğu tespit edilmiştir. Üretilen biyogazın enerji değerleri kalorifik değere göre hesaplanmıştır ve fermantasyon olmayan tavuk kumu için 0,06 ila 0,33 kWh ve fermantasyona sahip tavuk kumu için 0,05 ila 0,27 kWh arasında değiştiği gözlenmiştir. Kanatlı hayvan atığının yeniden kullanılmasının, biyogaz üretiminin artmasına neden olduğu ve kanatlı hayvan atığının mikrobiyolojik arıtımında fermantasyon kullanımının, biyogaz üretimini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür [43].

Monika Mierzwa-Hersztek ve arkadaşlarının (2019) yaptığı çalışmanın amacı seçilen enerji parametrelerinin ağır metallerin sızabilirliğini ve biyo-kütlenin fitotoksitesini tespit etmektir. Farklı bitki biyo-kütleleri (buğday samanı, miscanthus samanı, ağaç kabuğu ve talaş) ve kanatlı gübresinden biochar üretilmiştir. Araştırılan malzemelerin yakın ve nihai analizinden elde edilen verilere dayanarak yakıt değeri endeksi (FVI) enerji üretimine uygunluklarını belirlemek için hesaplanmıştır. Küller her iki kimyasal madde için analiz edilmiştir. Sulu kül ekstratlarının fitotoksitesite testi *Lepidium sativum* L için yapılmıştır. Piroliz işleminde biochar'ın kalorifik değerinin, kullanılan hammadde için belirlenen değerden ortalama % 36 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Organik maddelerin pirolizi, uçucu madde içeriğinin

azalmasına neden olmuştur. Brüt *Miscanthus* sapı ve talaştan oluşturulan biocharlar da sırasıyla kalorifik değerler 26,6 ve 23,4 MJ/kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Biyo-kütle külünün ağır metallerinin sızabilirliği çok çeşitli ve analiz edilen elemana bağlı çıkmıştır. Malzeme Türü *Lepidium sativum* L. olarak seçilmiştir ve fitotoksisite analizi yapılmıştır. Kül, gübre veya sorbent kullanımı ilginç bir alternatif olabileceği düşünülmüştür. Piroliz işleminde elde edilen yüksek oranda biochar değeri göz önüne alındığında, yüksek bir enerjiye sahip ve potansiyel biyoyakıt olarak kullanılabilir olduğu ortaya çıkmıştır [44].

Deirdre Lynch ve arkadaşlarının (2013) yaptıkları çalışmada kanatlı çöpü yakıt kalitesi açısından bir kaynak olarak incelemekte ve akışkan yatak teknolojisinin küçük ölçekli uygulamasının, besin açısından zengin bir kül üretirken hem enerji hem de atık sorunlarını nasıl çözdüğünü göstermektedir. Tavuk gübresinin kuru bir bazda (db) 18 GJ/t<sup>-1</sup> daha yüksek bir ısıtma değerine (HHV) sahip olduğu bulunmuştur. Alınan bazda , %9 kül kütle oranına sahiptir ve külün temel fosfor içeriği 110 g/kg<sup>-1</sup> idi. Elde edilen mineral madde, mineral gübre yerine besin maddesi olarak kullanılabilirdi. Sonuç olarak kümes atıklarının yaklaşık 30 numune örneği analiz edilmiştir ve raporlanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yakıt kalitesi belirlenmiştir ve olası yanma sorunları tartışılmıştır. Kanatlı atığı yerli yenilenebilir biyo-kütle enerji kaynağı olarak tanımlanmıştır. Küçük ölçekli FBC uygulamasının atık yönetiminde faydalı olduğu gösterilmiştir ve fosfor formunda besin geri dönüşümü potansiyeli belirlenmiştir [45].

İsmail Cem Kantarlı ve arkadaşlarının (2016) yaptıkları bu çalışmada, kümes hayvancılığında ve sanayiden kaynaklanan atıkların termokimyasal işlemler yoluyla biyo-kömür ve biyo-yağa dönüştürülmesi incelemiştir. Yakıt karakteristikleri ve biyo-kömürlerin, biyo-yağların kimyasal yapısı standart yakıt analizi ve spektroskopik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Kanatlı hayvan altlığından, hem hidrotermal karbonizasyon hem de 250 – 500°C arasındaki bir sıcaklık aralığında piroliz yoluyla biyo-kömür üretilmiştir. Hidrotermal karbonizasyona kıyasla, düşük sıcaklıklardaki pirolizle daha yüksek kütle verimine bağlı olarak daha yüksek enerji verimiyle biyo-kömür üretilmiştir. Her iki işlemle elde edilen biyo-kömür kömür ile

karşılaştırılabilir durumda bulunmuştur. Tavuk gübresinin farklı sıcaklıklarda hidrotermal sıvılaştırılması (200–325°C) yapılmıştır ve işlem koşullarını optimize etmek için karşılaştırılmıştır. Daha sonra 300°C’ de maksimum ağırlıkça ve %35 verimle biyo-ham yağ oluşumunu desteklenmiştir. Biyo-yagların daha yüksek ısıtma değerlerine sahip olması, biyo-yagın potansiyel bir sentetik yakıt kaynağı olabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, elementel analiz biyo-yagların yüksek azot içeriğine sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, kümes atıklarının hidrotermal sıvılaştırılmasından elde edilen biyo-yaglar, ısıtma için kullanılacak olan yakıt olarak değerlendirilmelidir sonucuna varılmıştır. Yapılan bu çalışma sonunda kümes atıklarının hidrotermal karbonlaşmasından oluşan biyo-kömürlerin linyit özelliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kümes atıklarının pirolizi sonucu elde edilen biyo-kömürler bitümlü kömüre benzer olduğu görülmüştür ve tavuk gübresinden elde edilen biyo-yagların içeriğinde ki azot miktarının fazla olması bazı durumlarda zorluklar çıkarabildiği saptanmıştır. Fakat hidrotermal sıvılaştırmadan gelen sulu çözeltinin azotlu gübre olarak kullanılabilmesi öne sürülmüştür [46].

Pieter Billen ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada organik gübreleme yöntemine alternatif bir yöntem aramaktadırlar. Kümes atıklarından üretilen CO<sub>2</sub> nötr elektrik nispeten kuru ve 6-8 MJ/kg ısıtma değerine sahip yenilenebilir bir yakıttır. Gübreden elde edilen elektrik üretimi, fosil kaynakların yakılmasından kaynaklanan baca gazı emisyonlardan tasarruf etmekte ve etki kategorisindeki iklim değişikliğinde çevresel etkinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, gübre nitrifikasyon ve denitrifikasyon nedeniyle çok fazla miktar da amonyak ve azot içerir. Bu yüzden tavuk gübresinin toprakta kullanılması sonucu bitkilerde NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O ve NO<sub>x</sub> birikimlerine neden olmaktadır. Kümes atıklarından elektrik üretimi araziye yayılmasından daha iyi performans gösterir. Hollanda’daki BMC’ nin akışkan yataklı yakıcıları, tavuk gübrelerinin yakılması sonucunda sıfır atık üretmişlerdir. Kümes atıkları tavuk gübresi talebi yüksek olan bölgelere ihraç edilmek için yakılarak kül haline getirilmiştir. Çünkü kokusuz, kuru, steril ve gübreden daha düşük bir kütleye ve hacme sahip olan kül daha ekonomik ve güvenilir şekilde taşınabilir. Ancak külün bazı durumlarda topaklanma ve biriktirme gibi teknolojik sorunlara neden olacağı belirtilmiştir [35].

M.Tanczuk ve arkadaşları (2017) yaptıkları çalışmada tavuk gübresine yönelik artan talep kümes atıklarından oluşan atık üretimi ile sonuçlanmıştır. Birçok biyo-kütle türü arasında, tavuk gübresi de dahil olmak üzere hayvansal atıklar, enerji endüstrisinde önemli bir potansiyele sahip olabilmektedir. Bu çalışmada, tavuk gübresinin ısıtılarak kullanımı önerilmiştir. Odun peletleriyle birlikte tavuk gübresi gazlaştırılması işlemi, 5 kg/saat kapasiteli sabit yataklı bir laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. İki tip yakıt karışımı için deneyler yapılmıştır. İlk deneyde, ahşap peletler çığ, tavuk gübresi ise önceden kurutulmuş şekilde kullanılmıştır ve bu iki numune karıştırılmıştır. İkinci deneyde ise peletlenmiş tavuk gübresi ve odun peletlerinin karışımlarının gazlaştırılması yapılmıştır. Deneylerin temel amacı, kurutulmuş tavuk gübresinin odun peleti besleme stoğunun gazlaştırma prosesi üzerine olan etkisi ve ayrıca üretilen sentez gazının fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Gazlaştırma analizlerinden gelen sonuçlar, tavuk gübresinin odun biyo-kütlesiyle birlikte gazlaştırılmasının kümes hayvanlarından kaynaklı atıkların kullanımı için umut verici bir öneri olabileceğini doğrulamıştır. Bir tavuk gübresi gazlaştırılması düşük ısı değerlerinde yanıcı sentez gazı üretilmesini sağlar ve çığ, önceden kurutulmuş tavuk gübresinde bu değer 2.0 MJ/m iken, tavuk gübresi peletleri durumunda 2.7 MJ/m<sup>3</sup> bulunmuştur. Odunsu biyo-kütlenin besleme stokun da ki payının arttırılması, sentez gazının kalorifik değerini önemli ölçüde arttırmaktadır. Hammadde bileşenlerinin (fraksiyon ve kül içeriği) farklı fiziksel özellikleri, analiz edilen yakıt karışımlarının birlikte gazlaştırılması için uygun olan reaktörü tanımlamak için daha fazla araştırma gerektirmektedir [40].

James ve arkadaşları (2013) yaptıkları incelemeyi gün geçtikçe artan tavuk gübresinin biyo-kütle olarak doğrudan yanmasıyla enerji üretim miktarının atmasını bekledikleri için yapmışlardır. Biyo-kütle yakma işlemlerinin büyük miktarlarda alt kül ürettiği bilinmektedir ve oluşan bu küllerin depolama ve bertaraf problemleriyle karşılaşmaktadır. Bazı dip küllerinde yanmamış karbon bulunması, küllerin enerji kaynağı potansiyeli olarak kullanılmasının faydalarını göstermektedir. Bu karşılaştırmalı çalışma, endüstriyel ölçekli sabit yataklı kazandan elde edilen iki dip külü örneğini karakterize etmektedir. Her bir külün fiziksel ve kimyasal özellikleri, bunların yanı sıra eleme ile elde edilen partikül fraksiyonları analiz edilip



tartışılmıştır. Yakın ve nihai analiz, yüzey alanı, termogravimetrik analiz ve kütle yoğunluğu analizleri yapılmıştır. Numunelerde ki sabit karbon yüzdesi %30 ve %50 çıkmıştır. Daha yüksek ısıtma değeri (HHV), fraksiyonlar içinde karakterize edildiğinde kül örnekleri için 5 - 25 MJ/kg arasında değiştiği görülmüştür. Kazan külü enerjinin %68 veya daha fazlasının yüksek karbon külü için  $\geq 425$  um fraksiyonlarda geri kazanılabileceğini göstermiştir. Düşük karbonlu kül fraksiyonları, yüksek karbon fraksiyonlarına kıyasla kütle yoğunluğunun dört katına sahip olduğu gözlenmiştir ve daha büyük fraksiyonlara sahip tavuk gübrelerini yeniden yakarak kül hacimlerin %50'nin üzerinde azaltıla bilinir olduğu bulunmuştur [47].

Albeha ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada tavuk gübresinin tek başına veya turba ile ağırlık bazında %50 oranında karıştırarak yanma çalışmalarını akışkan yataklarda gerçekleştirmişlerdir. Deneyler gerçekleştirilmeden önce tavuk gübresinin yüksek rutubet değerleri içermesi sebebiyle, yanmanın devam edip edemeyeceği konusunda bazı belirsizlikler olmuştur. İrlanda'da %100 tavuk gübresinin turba ile birlikte yakılarak iyileştirilmesi oldukça yaygındır. Ancak bu çalışma sonunda elde edilen sonuçlar tavuk gübresinin nem içeriği %25'in altında tutulduğu takdirde, yanmanın turba ilavesine ihtiyaç duymadığını göstermiştir. Çalışmada incelenen ana parametreler nem içeriği, hava evrelemesi ve hava seviyelerindeki aşırı değişikliklerdir. Çıkan sonuçları tavuk gübresinin yanmasının yakıt tedarikinin koşullarından çok etkilendiği görülmüştür. Çünkü tavuk gübresinin nem içeriği yakıt tedarikinin şekli ve zamanına güçlü bir şekilde bağlıdır. Sıcaklığın yanma işlemi için çok etkili olduğu, atıklardan açığa çıkan yanmamış karbon ve hidrokarbon seviyelerini azaltmasından anlaşılmıştır. Yanma yataklarından ve iki siklondan toplanan parçacıklar, ağır metal sızdırma analizlerine sokularak tarım arazilerinde güvenle kullanılıp kullanılmayacaklarını belirlemek için toplanan küllerle gerçekleştirilmiştir [12].

Hüseyin Topal, Ehsan Amirabedi'nin 2012 yılında yaptığı çalışmada 3 ayrı hammadde kullanmışlardır. Talaş ile kanatlı çöp, pirinç kabuğu ile kanatlı çöpü ve tunç bilek kömür analiz edilmiştir. Tavuk gübresi özellikleri yanma işlemlerinde özellikle nem içeriği, sabit uçucuların fraksiyonları ve kalorifik değer açısından

oldukça önemli olduğu saptanmıştır. Isıtma değerlerinde kömürden yaklaşık %50 den daha az nem oranına rastlanmış ve tavuk gübresi tiplerinde yüksek seviyede nem ve kl kaydedilmiştir. Kömür, kümes hayvanlarından daha yüksek karbon ve kükürt içeriğine sahipken azot içeriği tavuk gübrelerinde daha fazla gözükmektedir. Hidrojen değeri ise neredeyse hepsinde yakın sonuçlar vermiştir [11].

## BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller

Çalışmada kullanılan materyaller Sakarya şehrinde 25.000 kapasiteli broyler tavuk üreticiliği yapan bir tesisten alınmıştır. Hammadde olarak kullanılacak olan tavuk gübresinin özellikle kümes yetiştirme döneminin sonunda tavukların kümesten boşaltılmasının ardından kümesten alınan hammadde olmasına dikkat edilmiştir. Altlıklı yetiştiricilik yapan broyler tesisi altlık olarak çeltik kullanmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının temin edildiği kümes.



Şekil 3.2. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının temin edildiği kümes.

Yetiştirme dönemine başlayan tesis altlığı kümes tabanına serilmesi ve yavruların kümese yerleştirilmesi ile faaliyete geçmiş oluyor. Tavukların istenen kiloya ulaşmaya kadar devam eden bu süreç istenilen kiloya gelinmesiyle sonlandırılmaktadır ve daha sonra tavuklar kesimhaneye gönderilmektedir.



Şekil 3.3. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının temin edildiği kümes.

Gönderilen tavuklar sonrasında boşalan kümesin yeni yetiştirme dönemi için hazırlanması işlemlerinin faaliyete geçmesiyle tavuk gübresinin ortaya çıktığı dönem başlamış oluyor. Bu dönem tavuklardan kalan gübrelerin sıyırılması, kümesin temizlenmesi, havalandırma ve ilaçlama uygulamaları yapılarak temiz altlığın serilmesiyle devam ediyor. Çalışmada kullanılan tavuk gübreleri, tavuklar kesime gönderildikten hemen sonra alınmıştır.



Şekil 3.4. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının temin edildiği kümes.

### 3.2. Yaklaşık Analiz (Proximate)

Organik kümes atıkları çok düşük sabit karbon içeriğine sahiptirler, çünkü sabit karbon içeriği, yakılacak toplam hammaddeden kül ve uçucu madde miktarı çıkartarak elde edilir. Kimyasal bileşim, bir yakıtın toplam kütesine bağlı olarak nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon miktarına karşılık gelir. Bu durum sadece biyo-küttelede bulunan su miktarına göre değişkenlik göstermeyip aynı zamanda olası yakıt durumunu ve enerji verimliliğini de etkileyip duruma göre farklılık gösterir. Bu sebeple kümes atıkları için önemli bir parametredir. Genel olarak yapılan uygulamalara bakıldığında biyo-küttelede bulunan sabit karbon içeriği arttıkça, tutuşma ve yanma için gereken sıcaklık da artar.

#### 3.2.1. Rutubet miktarı tayini

Rutubet içeriği, doğal olmayan ana endekslerden biridir. Değerlendirilen kümes atıklarının kalitesi, yüksek nem içeriği ile bağlantılıdır. Yanma işlemleri biyo-kütlenin kurutulması için daha fazla enerji tüketimi ile sonuçlanabilir. Biyo-küttelede ki rutubet miktarı enerji tüketimi miktarını etkilerken aynı zamanda ilk ateşleme kabiliyetini de etkiler. Rutubet oranının fazla olması verimliliğini azaltır, elde edilen enerji miktarını ve termodinamik dengeyi bozar. Ayrıca, yüksek nem içeriği eksik yanmaya neden olur ve bununla birlikte karbon monoksitin çevreye salınımı gerçekleşir [31]. Uygulamalara bakıldığında kümes atıklarından verimli ısı ve elektrik üretimi için rutubet içeriğinin %25'i geçmemesi istenir [12].



Şekil 3.5. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının peletlenmiş hali.

Rutubet miktarı genel olarak tavuk gübrelerinde yüksektir. Rutubet tayini yapılacak tavuk gübreleri numunelerinden 1'er g alınır. Peletlenmiş halde bulunan numunenin (Şekil 3.5.) pelet çapı 0,8'cm dir. Alınan numuneler önceden 105<sup>0</sup>C'de sabit tartıma getirilmiş numune camlarına koyulur. 105<sup>0</sup>C'ye getirilmiş olan etüvde numuneler sabit yüke ulaşmasına kadar (~3 saat) bekletilir. Geçen zaman sonrasında numuneler soğuma işleminin gerçekleşmesi için desikatöre koyulur ve ardından numuneler tartılır. Numunelerin rutubet miktarına kütle % sinin hesaplamak için;

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

$g_1$  : Numunenin fırına girmeden önceki ağırlığı (g)

$g_2$  : Fırında kurutulduktan sonraki ağırlık (g)

### 3.2.2. Kül ve uçucu madde analizi

Uçucu madde içeriği, uçucu madde miktarının yüksek sıcaklıklarda uçucu hale geleceğini ve yakıtın reaktivesini gösterir. Genel olarak, bitki biyo-kütlesi için uçucu madde içeriği %65 ile %83 arasında değişmektedir. Oysa hayvansal kaynaklı biyo-küttelede değerler daha heterojendir ve standardizasyon eksikliğinden dolayı uçucu madde içeriği %40 ile %75 arasında değişebilir. Küller proses sırasında reaktif olmayan yanma ürünlerinin sonucu bitki biyo-kütlesinin yaklaşık % 2'sini ve hayvan biyo-kütlesinin %45'ini temsil eder.

Kül ve uçucu madde analizi yapılması için rutubet oranı bulunan numunelerden örnekler alınarak krozelerde tartılır. Tartılma işleminden sonra numune 550<sup>0</sup>C'de tam yanma sağlanana kadar (~4 saat) yakılır. Daha sonra krozelerde soğutulur ve ardından tartımı alınarak uçucu madde ve kül miktarı analiz edilir.

$$\text{kül \%} = \frac{g_1 - g_2}{g_1} \times 100 \text{ formülü kullanılır.} \quad (3.2)$$

$g_1$  : yakılmak için alınan numunenin ilk ağırlığı (g)

$g_2$  : kül fırınında yakıldıktan sonraki ağırlık (g)

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

### 3.2.3. Sabit karbon (ASTM E870)

Bir biyo-kütle hammaddesinde bulunan nem, kül ve uçucu madde miktarının yüzdelerinin belirlenmesinin ardından nihai miktarını belirleyen hesaplamalarla katı miktarı ve yanıcı kalıntı miktarı belirlenmiştir. Uçucu madde analizleri 950°C'de 7 dakika süreyle kapaklı krozelerde gerçekleştirilmiştir ve daha sonra kül içeriği 550°C'de 6 saat açık krozelerde tekrar yakılarak gerçekleştirilmiştir. Sabit karbon, Denklem (3.1)'de belirtildiği gibi elde edilen değişkenlerin farklarıyla belirlenmiştir. Kül içeriği, sabit karbon, uçucu madde ve nemin tamamen uzaklaştırılmasından sonra kalan kalıntı inorganik içerik olarak tanımlanmaktadır [47].

Bu yöntemde önce nem içeriği bulunur, daha sonra uçucu maddeyi ölçmek gerekir ve sonra kül miktarını bulmak için numune tekrar yakılarak miktarı belirlenir ve sonuç olarak sabit karbonu hesaplamak için gerekli olan değişkenler elde edilir.

Sabit karbon denklemi (3.4) şöyledir:

$$\text{Sabit karbon (FC)} = 100 - \text{Rutubet} - \text{Uçucu madde} - \text{Kül} \quad (3.4)$$

### 3.2.4. Kalori tayini

Herhangi bir biyo-kütlenin kalorifik değeri, tam yanma sırasında ısı şeklinde salınan enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Tanımlanan bu değer kJ/kg olarak ölçülebilen yakıt kütle birimidir [31].

Numunelerin ısı değeri bomb kalorimetre kullanılarak belirlenmiştir. Bomb kalorimetre yönteminde numuneler önce sabit ağırlığa gelene kadar 60°C’de, ardından 105°C’de kurutulur ve rutubet oranları tayin edilir. Etüvde ki kuru numuneler sabit hacimli bomb kalorimetresine doldurulur. Bu bomb kalorimetresi çelik bir küvetten oluşur ve bu çelik küvette yanma işlemi meydana gelir. Yanma işlemi sonucu ortaya çıkan ısı, suyun sıcaklığındaki yükselmeyi belirler ve bu rakamlar belirlenerek hesaplama yapılır. Çıkan sonuçlar üst ısı değeri (HHV) olarak gösterilir. Alt ısı değeri ise aşağıdaki formül (Denklem 3.5) kullanılarak hesaplanır.

$$LHV=HHV\left(1-\frac{WC}{1000}\right)-P_s\left(\frac{WC}{1000}\right)\Delta H_v \quad (3.5)$$

WC: 60°C deki rutubet içeriği (g/kg)

Ps: Numune ağırlığı (1.03±0.01g)

ΔHv: Suyun buharlaşma ısısı (2.54 MJ/kg<sup>-1</sup>)

### 3.3. Yanma Gazları Analizi

Yanma gazları analizi uzmanlaşmış bir kurumda ölçülmüştür. Numunelerimizi gönderdiğimiz laboratuvar biyo-kütle yakıtları için uzmanlaşmış bir kurumdur. Yanma gazı emisyonlarının belirlenmesi için taşınabilir Gaz Analiz Cihazı (TESTO 350 M XL-454) kullanılmıştır. Peletlenmiş numuneler test yakıcısında yakılma esnasında atık gaz kompozisyonunda ki O, CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları, yanma süresince on-line olarak ölçülmüş ve ortalamaları verilmiştir.

### 3.4. Elementel Analizi

Biyo-kütle numunelerin elementel karbon (C), hidrojen (H), azot (N) ve kükürt (S) analizi ASTM D5373-14 yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Toplam oksijen (O) aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir:

$$O = 1 - C - N - H - S \quad (3.6)$$



## **BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **4.1. Yaklaşık Analiz**

Rutubet, biyo-kütlelerin yanması aşamasında konvektif soğumaya neden olma, CO'un CO<sub>2</sub>'e dönüşümünün engellenmesi gibi yanma performansı, yanma kalitesi ve enerji değerini etkileyen en önemli parametre olarak değerlendirilir [24]. Kümes atıklarının rutubet oranı kümes altlık yönetimi, uygulanan teknoloji, yılın mevsimi gibi faktörlere bağlı olarak %50'ye kadar ulaşabilir. Yüksek nem seviyesine sahip biyo-kütlelerin yakılması yüksek maliyetli nakliye ve düşük enerji yoğunluğu nedeniyle biyo-kütle yakılmasını daha az karlı hale getirmektedir. Yanma sırasında yüksek nem içeriğine sahip yakıtlar hacmi artırır ve dolayısıyla yanma verimini azaltır. Ayrıca, baca gazlarındaki tüm yanıcı maddeleri yakmak için yanma odasındaki sıcaklık yeterli gelmeyebilir ve kısmi, eksik yanmalarla karşılaşılabilir. İncelediğimiz bu çalışmada tavuk gübresinin nem içeriği %23,21±1,98 bulunmuştur (Tablo 4.1.). Bulunan bu değer literatür aralıklarına bakıldığında istenilen standartlara uygun çıkmıştır. Genel olarak tavuk gübresinin nem içeriği %25'i geçmemesi beklenir [31].

Tablo 4.1. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının yaklaşık analiz değerleri ve literatürde verilen değerler ile karşılaştırılması.

Parametre	Tavuk Gübresi (n=5)	Literatür ağırlık [31, 5]
Üst ısııl değer kj/kg	14,22±112,1	12,60-16,80
Alt ısııl değer kj/kg	13,24±112,1	12,60-16,80
Nem(%)	23,2±1,98	8,20-43,00
Uçucu Madde(%)	48,30±1,14	38,90-62,20
Kül(%)	20,00±1,24	15,70-34,70
Sabit karbon (%)	8,49±0,75	1,70-14,00

Uçucu madde içeriği yanma işlemini doğrudan etkiler bu yüzden yanma için önemli bir parametredir. Literatür verileri biyo-kütlenin kömürden 2,5 kat daha fazla uçucu madde içerdiğini gösterir. Yanması sırasında kullanılan yüksek uçucu madde içeriğine sahip yakıtlar büyük miktarda yanıcı madde (CO, düşük hidrokarbonlar ve monosiklik aromatik hidrokarbonlar) salınımı yapmaktadır. Uçucu maddeler hava, zaman, sıcaklık ve türbülans koşullarına bağlı olarak biyo-kütle ısıtıldığında oluşur. İncelenen tavuk gübresi numunelerinin uçucu madde miktarı % 48,30±1,14 olarak bulunmuştur. Bu değer, literatürde verilen aralık değerlere benzer bulunmuştur (Tablo 4.1.). Biyo-kütle yakıtlarda uçucu maddenin yüksek çıkması arzu edilir, çalışma kapsamında incelenen tavuk altıklarının bu parametre yönünden biyo-yakıt olarak kullanılmasını cazip hale getirmektedir.

Kümes atıklarına uygulanan termal işlemlerden sonra önemli miktarda kalıntı külü olmasına rağmen uygulanan bu işlemlerden sonra daha kararlı ve steril hale getirilerek taşınması ve depolanması daha kolay olur. Çünkü kümes atıkları kül haline getirildiklerinde ciddi hacimsel azalma sağlanır ve patojenik mikroorganizmalar tamamen giderildiğinden çevresel endişe ortadan kaldırılmış olur. Kül haline getirilen kümes atıkları içeriğinde bulundurdukları potasyum, kalsiyum ve fosfor mineralleri gibi makro bitki besinlerinden oluşan bir yapıya sahip olması nedeniyle gübre kaynağı olarak değerlendirilebilir. Uygulanan ileri proseslerle içindeki gübre mineralleri saflaştırılıp geri kazanılabilir. Çalışmada incelenen kümes

atıklarının yaklaşık analiz sonuçlarına göre kül içerikleri  $20 \pm 1,24$  bulunmuştur. İstenilen standartlara uygun olan kül analiz değeri Tablo 4.1. de gösterildiği üzere literatür aralığına uygun çıkmıştır. Biyo-yakıtta bulunan kül konsantrasyonu ve kül bileşimi yakıtın yanma kalitesini aynı zamanda ısıtma değerini de etkiler. Tavuk gübresinin yanması sonucunda oluşan külden alkali konsantrasyonunun yüksek olması durumunda klor ve kükürt ile bağlantılı bileşikler, cüruf, korozyon, partikül emisyonu ve is-katran oluşumuna sebebiyet verirler [26].

Sabit karbon içeriği yanma sırasında oluşturulacak kok madde miktarını temsil eder. Sabit karbon içeriği, sıcaklığın doğrudan etkili olduğu piroliz gibi termokimyasal işlemlerde kullanılan bir analizdir. Biyo-kütlenin sabit karbon içeriği arttıkça ateşleme sıcaklığı ve daha sonra kullanılan sıcaklık değerleri de artmaktadır. Yapılan çalışmada incelenen kümes atıklarının yaklaşık analiz sonuçlarına göre sabit karbon içeriği  $8,49 \pm 0,75$  (Tablo 4.1.) bulunmuştur. Tablo 4.1. de gösterildiği üzere elde edilen veriler literatür aralığına uygun çıkmıştır. Organik kümes atıkları çok düşük sabit karbon içeriğine sahiptir, çünkü bu değişken yakıt olarak kullanılacak toplam malzemedeki kül ve uçucu maddeyi çıkararak elde edilir. Analiz edilen kimyasal bileşim, kullanılan yakıtın toplam kütlelerine göre nem, kül, uçucu madde ve sabit karbonun toplamına karşılık gelir [31]. Bu ilişki sadece biyo-kütlede ki su miktarını değil, aynı zamanda olası yakıt davranışlarını ve enerji süreçlerine dair bilgilerde verir. Bu ilişkileri nedeniyle sabit karbon kümes atıkları için önemli ve gerekli bir parametredir.

## 4.2. Elementel Analiz

Kümes atıkları diğer hayvanlardan elde edilen biyo-kütle kaynaklarına kıyasla daha yüksek karbon konsantrasyonlarına sahiptir. Çünkü tavukların yetiştirildikleri kümeslerde kullanılan altlık malzemelerinin dahil edilmesi tavuk gübrelerine bazı avantajlar sağlar. Tavuk gübresi diğer atık türleri ile karşılaştırıldığında, termokimyasal işlemleri yani yüksek uçucu madde konsantrasyonu, daha yüksek karbon ve hidrojen içeriği, düşük kükürt konsantrasyonu ve düşük nem nedeniyle

daha düşük sıcaklıklar gerektirir. Bu özellikler tavuk gübresini diğer yakıtlardan daha üstün kılar.

Tablo 4.2. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının elementel analiz değerleri ve literatürde verilen değerler ile karşılaştırılması.

Parametreler	Tavuk gübresi	Literatür aralık [31]
C(%)	28,01±0,48	24,84-37,78
O(%)	33,23±0,48	15,64-34,43
H(%)	3,56±0,48	1,90-5,20
N(%)	3,90±0,48	2,50-5,60
S(%)	0,92±0,48	0,13-2,50

Çalışmada analiz edilen biyo-kütle kaynağı olan tavuk gübresinin C, O, H, N, S değerleri bulunmuştur. Analiz edilen bu değerler Tablo 4.2. de gösterilmiştir. En yüksek oranlardan birine sahip olan karbon elementi uçucu maddeyle olan ilişkisi vasıtasıyla hesaplanmıştır. Genel olarak biyo-küteller için kuru madde bazında toplam organik maddenin %58'ni organik C içerdiği kabul edilir.

### 4.3. Yanma Gazı Emisyonları

Tavuk gübresi diğer biyo-kütle kaynaklarıyla karşılaştırıldığında mineral içeriği bakımından en zengin biyo-kütle kaynağıdır. Tavuk gübresinin yapısında bulunan bu mineraller özellikle tavuk gübresinde bol miktarda bulunan azot elementi yakma sözü konusu olduğunda NO<sub>x</sub> emisyonlarını açığa çıkardığından çevreye ve biyo-kütle dönüşümüne oldukça zarar vermektedir. Çalışmada incelenen tavuk gübresinin yanma gazı emisyonları analizi Tabloda verilmiştir. İncelenen tavuk gübresi numunesinde NO<sub>x</sub> emisyonu 155 ppm olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu veri SKHKK [49] limit verileri olan 300 ppm ile karşılaştırıldığında sınır değerinin oldukça altında olduğu görülmüştür. (Tablo 4.3.). Sülfür içeriği bakımından zengin olan tavuk gübresi yapısında bulundurduğu yüksek sülfür nedeniyle SO<sub>x</sub> emisyonlarının da artışına sebebiyet verebilmektedir. Çalışmada incelenen bir diğer değer olan SO<sub>x</sub> emisyonu da NO<sub>x</sub> gibi diğer biyo-kütle kaynaklarına göre tavuk

gübresinde daha fazla miktarda bulunmaktadır. Yakıtta kükürt bulunması yanma gazı emisyonlarını yükseltirken SO<sub>x</sub> gibi emisyonların oluşumuna neden olur ve bununla birlikte kimyasal reaksiyonlarında artmasına neden olmaktadır. Kükürt içeriği sonucu oluşan SO<sub>x</sub> emisyonları aynı zamanda yanma ekipmanlarında birikerek korozyona sebebiyet vermektedir.

Çalışmada ölçülen O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve CO yanma gazı emisyonlarının konsantrasyonları yapılan uygulamalarla karşılaştırıldığında istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. Tavuk gübrelerinin yanma sıcaklıkları, yakıtın oksijen içeriği ve yanma etkinliği tam oksidasyon sağladığı durumlarda yarım yanma durumunu ortadan kaldırmakta ve CO, CO<sub>2</sub> emisyonlarının yükselmemesini sağlamaktadır.

Tablo 4.3. Çalışmada incelenen broyler tavuk altlığının yanma gazı emisyon analiz değerleri

Parametreler	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO(ppm)	NO(ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)
Numune	18,42	2,45	1222	148	155	8,25

Biyo-kütle kaynaklı yakıtlar 600-800°C arasında yakılmaktadır. Eğer bu sıcaklıklar daha yüksek seviyelerde tutulursa tavuk gübresinin yanma işlemi sırasında havada bulunan azot gazının sebebiyet verdiği NO<sub>x</sub> emisyonu oluşma olasılığı düşük olur. Biyo-kütle yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları içerdikleri azot elementinden kaynaklanmaktadır ve 800°C civarında yakılan amonyak hızla NO<sub>x</sub>'e dönüşmektedir [31]. Enerji verimliliğini azaltan ve çevresel tehdit oluşturan bu değerler iyileştirmeler ile düşürülebilir, fakat bu maddelerin kimyasal bileşimleri hiçbir şekilde değiştirilemez. Biyo-kütlelerin kimyasal bileşimleri sadece daha iyi bir sonuç almak için karışım oranları ile optimize edilebilir. Mevcut termokimyasal işlemlerin optimizasyonu için gerekli teknolojik mekanizmaları enerjisi geliştirmek için önemlidir. Azot içeriği bakımından diğer biyo-kütle kaynaklarına oranla daha zengin olan tavuk gübreleri belli oranlarda azot kapsamı daha düşük olan biyo-yakıtlarla karıştırılarak NO<sub>x</sub> emisyonları optimize edilerek iyileştirme sağlanabilir. NO<sub>x</sub> emisyonu sorununa çözüm bulunurken kükürt kaynaklı sorunlarda büyük oranlarda

düzeltilmeler yapılamamıştır. Çünkü diğler biyo-kütle kaynaklarının sülfür değerleri tavuk gübresine yakın olduğundan iyileştirmeler sınırlı kalmaktadır.

## **BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ**

Dünyada ve ülkemizde broyler tavuk üreticiliği hızla yaygınlaşmakta ve yıllar geçtikçe artan taleple birlikte kurulan tesis sayısında buna eşit oranda artmaktadır. Yetiştirme dönemini hızlandırmak ve büyütülen tavuk miktarını arttırmak için çok miktarda broyler tavuk yetiştiriciliği için yüksek kapasiteli kümes kurulmaktadır. Kurulan kümeslerin sayısı arttıkça kümeslerden çıkan tavuk gübresi miktarı da artmaktadır.

Tavuk üreticileri, uygun bir bertaraf yöntemi bulamadıkları için kümeslerden çıkan tavuk gübrelerini boş alanlarda biriktirmekte veya gelişi güzel bir şekilde çevreye boşaltmaktadır. Daha hızlı ürün elde edebilmek için tavuklara verilen besin değeri yüksek yemler tamamı sindirilmeden tavukların dışkılarından çıktıkları taktirde mikrobiyal faaliyetlerle ayrışma işlemini gerçekleştirip çevre için tehdit oluşturmaktadırlar. Özellikle tavuk yetiştiriciliğinin çok yaygın olduğu kırsal kesimlerde koku, sinek gibi problemler oluşmaktadır. Yol, dere kenarlarına, ormanlık alanlara düzensiz boşaltılan tavuk gübreleri yer altı kaynakları içinde büyük tehdit oluşturmaktadırlar. Kümeslerden çıkan tavuk gübreleri kurutulup stabilize edildikleri taktirde içlerinde bulundurdukları organik bileşikler nedeniyle çiftçiler için verimli bir gübre kaynağı haline gelebilmektedirler. Fakat kümes ve tavuk gübresi miktarının devamlı artması sürekli çıkan tavuk gübrelerine uygulanan stabilizasyon işlemlerini aksatmakta ve hali hazırda olan tavuk gübresi bertarafı sorununu çözmemektedir.

Artan bertaraf sorunları o bölgelerde yaşayan halkı, kümes yetiştiriciliği yapan işletmeleri ve çevrecileri fazlasıyla rahatsız etmektedir. Buna çözüm olarak geliştirilen tavuk gübrelerinin diğer biyo-kütleler gibi yakılması işlemi denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Kümeslerden çıkan tavuk gübrelerinin nakliye işlemi çok maliyetli olduğundan bu yöntem hacimsel azaltma sağladığı için nakliye sorunlarına da bir çözüm olarak görülmekte ve işletmeler tarafından tercih edilen yöntem haline

gelmektedir. Tavuk gübresinin diğer bertaraf yöntemlerinden biri olan kompostlama işlemi sırasında kayba uğrayan azot ve diğer besin elementlerinin miktarının yüksek olması bir dezavantaj olarak görülürken yakma yöntemi tercih edildiğinde içeriğinde bulunan az miktarda ki azot ve kükürt içerikleri açığa çıkan yanma gazı emisyonlarında azalma sağlamaktadır. Bazı noktalarda sorun olarak görülen nem ve kül içeriği, akışkan yataklı yakma sistemlerinin uygulama esnekliğinden ve ekonomik oluşundan dolayı yakıt olarak kullanılabilirlikindedir.

Dünyada halen bir sorun teşkil eden tavuk gübrelerinin doğrudan yakılabilir olması bir enerji kaynağı olarak da görülmekte ve elektrik üretiminde de kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, alt ısıl değer baz alınarak, Türkiye'deki kanatlı atıklarının yıllık teorik enerji potansiyelinin 92 PJ civarında olduğu hesaplanmıştır. Biyo-kütle kaynağı olarak kullanılan tavuk gübresi aynı zamanda fosil yakıtlara olan bağımlılığı da azaltmıştır. Enerjiyi büyük oranda ithal eden ülkemizin enerji arzındaki süreklilik için tavuk gübreleri enerji kaynağı olarak kullanılabilir ve ekosisteme olduğu gibi ekonomiye de kazandırılabilir. Bu durum bir pazar haline getirildiğinde yeni yanma tesisleri kurulacak ve bu sayede yeni iş alanları oluşacaktır.

Bu çalışmada tavuk gübresi ekonomik, ekolojik ve sürdürülebilir bir bertaraf yöntemi ortaya koymak amacı ile, uygulanan bu bertaraf yönteminin eksilerini ve artılarını görmek için tavuk gübresi uygun ortamlarda yakılmıştır. Yapılan bu çalışmada Sakarya bölgesinde ki kümes atıklarının karakterizasyonu ve hava emisyonları incelenmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan ham kümes atıklarının enerji değeri 3320 – 3399 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Bu değerler kömür gibi atıkların literatürdeki değerleriyle karşılaştırıldığında neredeyse kömürden elde edilen enerjinin yaklaşık olarak yarısına tekabül etmektedir. Yaptığımız çalışma sonunda bulduğumuz tavuk gübresinin enerji değeri literatürde verilen 3000 - 4000 kcal/kg aralığına uygun çıkmıştır [12, 5]. Tavuk gübresinin yakılması sonucunda oluşan yanma gazı emisyon değerleri istenilenlere uygun çıkmıştır. Analiz edilen CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> genel olarak literatüre uygun çıksa da istisnai durumlarda belirli sınırlamalarla kontrol altına alınır. Kümes atıklarının meydana getirdiği CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi emisyon değerleri



fosil yakıtlar ile kıyaslandığında daha düşük değerlere sahiptirler. Kümes atıklarının içeriğinde bulundurduğu yüksek azot bileşiminden dolayı fazla NO<sub>x</sub> emisyonunun açığa çıkması mümkündür. Fakat yapılan çoğu çalışmada tavuk gübresi tek başına yakıldığında veya orman ürünleri ile birlikte yakıldığı durumlarda ortaya çıkan emisyon değerleri AB standartlarına uygundur. Çıkan yanma gazı emisyonları istenilen değerler dışına çıktığı takdirde bu değerler iyileştirmelerle optimize edilebilir.

Ham tavuk gübresinin azot oranı diğer biyo-kütle kaynakları ile kıyaslandığında oldukça yüksektir. Çalışmada incelenen kümes atıklarının yaklaşık analiz, elementel analiz ve yanma gazı emisyon değerleri sonuçlarına göre istenilen standartlara uygun bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar açıkça çalışmada incelenen kümes atıklarının biyoyakıt olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Böylece kümes atıkları problem olmaktan çıkıp katma değer eklenmiş ararır ürün haline gelecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] FAO 2017. [www.fao.org](http://www.fao.org) Erişim Tarihi: 22.10.2019.
- [2] TÜİK, 2019. Türkiye İstatistik Kurumu. [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr) Erişim Tarihi: 24.10.2019.
- [3] TÜİK, 2018. Türkiye İstatistik Kurumu. [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr) Erişim Tarihi: 24.10.2019.
- [4] Baydan E., Yıldız, G., Tavuk dışkılarından kaynaklanan sorunlar ve başlıca çözüm yolları. Lalahan Hayvan Araştırma Enstitüsü Dergisi. 98-105, 2000.
- [5] Özdemir, S., Sezer, B., Kümes atıklarının organik gübre ve biyoyakıt olarak değerlendirilmesi. Tavukçuluk Araştırma Dergisi. 10, 20-24, 2013.
- [6] Roeper, H. Khan, S. Koerner I. Stegmann, R.,2005. Low-Tech options for chicken manure treatment and application possibilities in agriculture, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 2005.
- [7] Bitzer, C. C., Sims, J. T. 1988. Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies. Journal of Environmental Quality 17: 47-54.
- [8] Sweetena J.M, Annamalaib K., Thien B., McDonald L. A. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) fuels. Part I. Feedlot biomass (cattle manure) fuel quality and characteristics, Fuel, 2003, Nr. 83, p. 1167-1182.
- [9] McMullen, J., Fasina, O.O., Wood, C.W., Feng, Y., 2005. Storage and handling characteristics of pellets from poultry litter. Applied Engineering in Agriculture 21, 645-651.
- [10] 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,Nr. 83, p. 27–36, 2002.

- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Cotana F., Coccia V., Petrozzi A.,Cavalaglio G., Gelosia M., Merico M. C., Energy valorization of poultry manure in a thermal power plant: experimental campaign, Franco Cotana et al. / *Energy Procedia* 45 ( 2014 ) 315 – 322.
- [14] Bernhart, M., Fasina, O.O., Moisture effect on the storage, handling and flow properties of poultry litter, *Waste Management*. 29, 1392-1398, 2009.
- [15] Dagnall, S., Hill, J., Pegg, D., Resource mapping and analysis of farm livestock manures-assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes, *Bioresource Technology* 71, 225-234, 2000.
- [16] Bernhart M., Characterization of poultry litter for storage and process design, Graduate Faculty of Auburn University, 2017.
- [17] Woodcock, C. R., Mason, J. S. 1987. *Bulk Solids Handling: An Introduction to the Practice and Technology*. Glasgow, Scotland: Blackie and Son Ltd.
- [18] Barbosa-Canovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H. 2005. *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Pub.
- [19] Viana, M., P. Jouannin, C. Pontier, Chulia, D. 2002. About pycnometric density measurements. *Talanta* 57: 583-593.
- [20] Mau V., Gross A., Energy conversion and gas emissions from production and combustion of poultry-litter-derived hydrochar and biochar, *Applied Energy* 213 (2018) 510–519.
- [21] Sheng, C., Azevedo, J.L.T., Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data, *Biomass Bioenergy*, 28, 499–507, 2005.
- [22] Quiroga, G., Castrillon, Y., Maranon, E., Physico-chemical analysis and calorific values of poultry manure. *Waste Management*. 30, 880-884, 2010.

- [23] By S.G. Wiedemann, Energy Recovery from Litter: A Guide for Users, rural industries research development corporation, RIRDC Publication No. 14/096, 2015.
- [24] Qian X., Lee S., Chandrasekaran R., Yang Y., Caballes M., Alamu O., Chen G., Electricity Evaluation and Emission Characteristics of Poultry Litter Co-Combustion Process, *Appl. Sci.* 2019, 9, 4116.
- [25] Lopez-Mosquera, M.E, Cabaleiro F, Sainz, M.J., Lopez-Fabal, A., Carral, E., Fertilizing value of broiler litter: Effects of drying and pelletizing, *Bioresource Technology*, 99, 5626-5633, 2008.
- [26] Özdemir, S., Er, A., Tavuk gübresi ve tarımsal atıkların biyoyakıt karakterlerinin incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), 489-494, 2018.
- [27] Williams, A. G., Leinonen, I., & Kyriazakis, I.. Environmental benefits of using turkey litter as a fuel instead of a fertiliser. *Journal of Cleaner Production*, 113, 167-175, 2016.
- [28] Easterly, J. L., Burnham, M. 1996. Overview of Biomass and Waste Fuel Resources for Power Production. *Biomass and Bioenergy* 10(2): 79-92.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] Dalólio, F. S., da Silva, J. N., de Oliveira, A. C. C., Tinôco, I. D. F. F., Barbosa, R. C., de Oliveira Resende, M., ... & Coelho, S. T. Poultry litter as biomass energy: A review and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 941-949, 2017.
- [32] Dagnall SP., Poultry litter as a fuel, *World's Poult Sci J*, 49:175-7. <http://dx.doi.org/10.1079/WPS19930017>, 1993.
- [33] Vassilev SV, Baxter D, Andersen LK, Vassileva CG. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel* 2010;89:913-33.
- [34] Edwards DR, Daniel TC. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposala review. *Biores Technol* 1992;41:9-33.

- [35] Billen P, Costa J, Van Der AaL, Caneghem JV, Vandecasteele C. Electricity from poultry manure: a cleaner alternative to direct land application. *J Clean Prod* 2015;96:467–75.
- [36] Vermeulen I, Block C, Vandecasteele C. Estimation of fuel-nitrogen oxide emissions from the element composition of the solid or waste fuel. *Fuel* 2012;94:75–80.
- [37] Acharya B., Dutta A., Mahmud S., Tushar M., Leon M., Ash Analysis of Poultry Litter, Willow and Oats for Combustion in Boilers, School of Engineering, University of Guelph, , 2014.
- [38] K.G. Burra , M.S. Hussein , R.S. Amano , A.K. Gupta , Syngas evolutionary behavior during chicken manure pyrolysis and air gasification , *Applied Energy* 181 (2016) 408–415.
- [39] Billen P, Costa J., Van der Aa L., Caneghem J. V., Vandecasteele C., Electricity from poultry manure: a cleaner alternative to direct land application, *Journal of Cleaner Production* 96 (2015) 467-475.
- [40] M. Tanczuk , R. Junga , S. Werle , M. Chabi\_nski , Ł. Zi\_ołkowski, Experimental analysis of the fixed bed gasification process of the mixtures of the chicken manure with biomass, *Renewable Energy* xxx (2017) 1-9.
- [41] Y. Huang, M. Anderson, G. A. Lyons, W. C. McRoberts, Wang Y., D.R. McIlveen-Wright, AP Roskilly, N.J. Hewitt, Techno-economic Analysis of BioChar Production and Energy Generation from Poultry Litter Waste, *Energy Procedia* 61 ( 2014 ) 714 – 717.
- [42] Staron P., Kowalski Z., Staron A., Banach M., Thermal conversion of granules from feathers, meat and bone meal and poultry litter to ash with fertilizing properties, *P. Staron et al.* (2017) 26: 173-180.
- [43] Dornelas K. C., Schneider R. M., Adriana Garcia do Amaral, Biogas from poultry waste-production and energy potential, *Environ Monit Assess* (2017) 189: 407.
- [44] Hersztek M., Gondek K., Jewiarz M., Dziedzic K., Assessment of energy parameters of biomass and biochars, leachability of heavy metals and phytotoxicity of their ashes, *Journal of Material Cycles and Waste Management* (2019) 21:786–800.

- [45] Lynch D , Henihan A. M. , Bowen B., Lynch D., McDonnell K. , Kwapinski W., J.J. Leahy, Utilisation of poultry litter as an energy feedstock, biomass and bioenergy 49 ( 2013 ) 197 -204.
- [46] Kantarli I. C., Kabadayi A., Ucar S., Yanik J., Conversion of poultry wastes into energy feedstocks, Waste Management 56 (2016) 530–539.
- [47] James, A. K., Thring, R. W., Rutherford, P. M., & Helle, S. S. (2013). Characterization of biomass bottom ash from an industrial scale fixed-bed boiler by fractionation. Energy and Environment Research, 3(2), 21.
- [48] Nelson, D.W. and L.E. Sommers, Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed., A.L. Page et al., Ed. Agronomy. 9:961-1010. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, WI, 1996.
- [49] SKHKK., Sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği. Resmi Gazete. Sayı. 27277, 2009.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Meryem Sekine DEMİR, 17.03.1995 tarihinde Bodrum' da doğdu. İlk ve orta okul eğitimlerini Bodrum, lise eğitimini Milas' da tamamladı. 2013 yılında Milas Dr. Mete ERSOY Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2018 yılında mezun oldu. 2018 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.