

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAVUK KESİMhanESİ ATIKSU ARITMA ÇAMURUNUN
Arundo donax İLE DESTEKLENEREK BİYOYAKIT
KARAKTERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aslı ŞİMŞEK

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR

Aralık 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAVUK KESİMhanesi Atıksu Arıtma Çamurunun
Arundo donax İLE DESTEKLENEREK BİYoyakıt
KARAKTERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aslı ŞİMŞEK

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 22/12/21 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

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.

Aslı ŞİMŞEK

22/12/2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tezde, kaynak olarak kullandığımız bilim adına yapılmış çalışmalarda katkısı ve emeği olan kişilere de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, her zaman yanımda olan, bana inanan, güvenen sevgili babama, cennetten izleyen anneme, değerli ablama ve canım kardeşime sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Literatür Özeti	3
2.2. Tavuk Kesimhanesi Atıksu Arıtma Tesisi ve Arıtma Çamuru	3
2.3. Biyokütle ve Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı.....	5
2.4. <i>Arundo donax</i> (Kargı) ve Biyokütle Potansiyeli	9
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Materyal	11
3.2. Yöntem.....	11
3.2.1. Arıtma Çamuru	11
3.2.1.1. Çamur örneklerinin yaklaşık analizi	12
3.2.1.2. Nem içeriği tayini.....	13

3.2.2. <i>Arundo donax</i>	13
3.2.2.1. Kimyasal özellikler	14
3.2.2.2. Fiziksel özellikler	14
3.2.2.2.1. Nem tayini	15
3.2.2.2.2. Kül içeriği.....	15
3.3. Densifikasyon İşlemi ve Peletleme	15
3.3.1. Peletleme işleminde etkili materyal özellikleri	16
3.3.1.1. Nem içeriği.....	16
3.3.1.2. Yoğunluk.....	16
3.3.2. Kimyasal özellikler	17
3.3.2.1. Kül miktarı tayini	17
3.3.2.2. Isıl değer tayini	17
3.3.2.3. Nem içeriği tayini.....	17
3.3.2.4. Elemental CHNS tayini.....	17
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	18
4.1. Tavuk Kesimhanesi Atıksu Arıtma Çamuru	18
4.2. <i>Arundo donax</i>	19
4.3. Biyoyakıt Karışımı- Biyopelet.....	21
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	27
KAYNAKLAR	30
ÖZGEÇMİŞ	34

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American Society for Testing and Materials
ATY	: Atık Türevli Yakıt
CO ₂	: Karbondioksit
DAF	: Dissolved Air Flotation
FeCl ₃	: Demir(III) Klorür
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
LHV	: The Lower Heating Value
KÜK	: Kuru Ürün Kütlesi
NO _x	: Azot Oksitler
SO _x	: Kükürt Oksitler
YÜK	: Yaş Ürün Kütlesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 3.1. Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru ile enerji bitkisi Arundo donax kullanılarak pelet biyoyakıt üretiminin şematik gösterimi12
- Şekil 3.2. Kurutulmuş arıtma çamuru, Arundo donax samanı ve bunların 50:50 karışımından üretilmiş biyopelet12



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Arıtma çamuru yaklaşık analiz karakterizasyonu.....	18
Tablo 4.2. <i>Arundo donax</i> enerji bitkisinin yaklaşık analiz karakterizasyonu	20
Tablo 4.3. Biyopelet yaklaşık analiz karakterizasyonu	21
Tablo 4.4. Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru ile enerji bitkisi <i>Arundo donax</i> 'ın %50:50 karışımı ile yapılan peletin elemental analiz sonuçları	23

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kesimhane Atıksu Arıtma Çamuru, *Arundo donax*, Alternatif Enerji, Peletleme, Biyokütle, Direkt Yakma

Arıtım maliyetlerine büyük bir yük getirmesi nedeniyle enerji geri dönüşümü için arıtma çamurunun biyoyakıt olarak kullanılması, özellikle kullanılmayan bir yan üründen elde edilebilecek alternatif enerji üretim şekli olarak gelecek vaat eden bir teknolojidir.

Bu doğrultuda, yanma özelliklerinin iyileştirilmesi ve enerji yoğunluğunun artırılması için arıtma çamuru, biyokütle enerji bitkisi ile karıştırılmış ve biyopelet haline getirilmiştir. Çalışmada ham madde olarak tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru ve katkı malzemesi olarak yüksek verimli biyokütle enerji bitkisi *Arundo donax* kullanılmıştır.

Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurunun ısıl değerini belirleyen yaklaşık analiz (proximate) belirlenerek, ısıl değeri ortaya koyularak ve ardından ligno-selülozik yenilenebilir enerji bitkisi *Arundo donax* ile ısıl analiz sonuçlarını optimize edecek karışım hazırlanarak nihai ürünün enerji değeri incelenmiştir.

Yapılan yaklaşık (proximate) analiz sonuçlarına göre, tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru; 6873 cal/g kuru baz üst ısıl değere ve %15,377 kül içeriğine, ligno-selülozik yenilenebilir enerji bitkisi *Arundo donax*; 4014 cal/g kuru baz üst ısıl değere ve %6,560 kül içeriğine, ısıl analiz sonuçlarını optimize edecek şekilde hazırlanan karışım ise; 5454 cal/g kuru baz üst ısıl değere ve %10,740 kül içeriğine sahiptir.

IMPROVEMENT OF BIOFUEL CHARACTERISTICS OF CHICKEN SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER TREATMENT SLUDGE BY SUPPLEMENTING WITH *Arundo donax*

SUMMARY

Keywords: Slaughterhouse Wastewater Treatment Sludge, *Arundo donax*, Alternative Energy, Pelletizing, Biomass, Direct Combustion

The use of sewage sludge as a biofuel for energy recycling is a promising technology, especially as an alternative form of energy production that can be obtained from an unused by-product, as it imposes a large burden on treatment costs.

In this direction, the sewage sludge was mixed with the biomass energy plant and turned into biopellet in order to improve the combustion properties and increase the energy density. In the study, chicken slaughterhouse wastewater treatment sludge was used as raw material and high efficiency biomass energy plant *Arundo donax* was used as additive material.

The energy value of the final product was examined by determining the approximate analysis (proximate) that determines the heating value of the chicken slaughterhouse wastewater treatment sludge, revealing the thermal value, and then preparing a mixture to optimize the thermal analysis results with the ligno-cellulosic renewable energy plant *Arundo donax*.

According to the results of the proximate analysis, chicken slaughterhouse wastewater treatment sludge; with a dry base upper calorific value of 6873 cal/g and an ash content of 15,377%, Ligno-cellulosic renewable energy plant *Arundo donax*; with a dry base upper calorific value of 4014 cal/g and an ash content of 6.560%, The mixture prepared to optimizing the thermal analysis results; with a dry base upper calorific value of 5454 cal/g and an ash content of 10,740%.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Arıtım maliyetlerine büyük bir yük getirmesi nedeniyle enerji geri dönüşümü için arıtma çamurunun katı yakıt olarak kullanılması, özellikle kullanılmayan bir yan üründen elde edilebilecek alternatif enerji üretim şekli olarak gelecek vaat eden bir teknolojidir.

Nem ve kül içeriği ile yüksek uçucu katı madde içeriğine sahip arıtma çamuru; çamur yakma boyunca oluşan kül ve baca gazı emisyonlarının azaltılması ve ayrıca çamurun kalorifik değerinin önemli ölçüde iyileştirilmesi gibi nedenler doğrultusunda fosil yakıtlarla birlikte yakılmaktadır. Fakat önümüzdeki yıllarda tükeneceği tahmin edilen fosil yakıtlara geleceğin enerji kaynakları olarak bakılmamaktadır.

Fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılan biyokütle enerji bitkileri gerek günümüzde gerekse gelecekteki teknolojik gelişmeler açısından, sera gazı emisyonlarını azaltarak sürdürülebilir enerji üretimini sağlayan etkili bir gelecek vaat ettiği için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır [1] [2].

Bundan dolayıdır ki arıtma çamurunun enerji değeri, yanma özellikleri ve emisyon değerleri, yanma özellikleri daha iyi ve emisyon değerleri standartların oldukça altında olan biyokütle enerji bitkileri ile karışımlar kullanılarak geliştirildiğinde yanma ve emisyon değerleri bakımından kullanılabilir optimum yakıt kaynağı standardizasyonu ve kullanım kolaylığı sağlanabilir.

Atıksu arıtma çamurundan enerji üretimi teknolojilerinin kullanımında yaygınlaşma için çamur karakterizasyonun belirlenmesi önemlidir. Isıl enerji değerinin iyileşmesi, depolanabilmesi ve kolay yakılabilmesi için içindeki su oranının azaltılması ön şart olarak değerlendirilmektedir [3]. Yine yanma özellikleri daha iyi olan enerji

bitkisinden karışım malzemesi olarak faydalanılması standardizasyonu ve kullanım kolaylığını sağlayabilir [4].

Yoğunluğu düşük ve nem içeriği bir o kadar yüksek olan bitkisel ve hayvansal biyokütle materyalinin kurutularak öğütülmesi ve ardından peletlenmesi, enerji densifikasyonu sağlayarak hacim başına ısı değerini artırır ve böylece yanma özellikleri iyileştirilmiş bir biyoyakıt elde edilir.

Yapılan araştırmalarda, arıtma çamurunun ek yakıt kullanılarak alternatif bir enerji kaynağı haline getirilmesi üzerine son zamanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bununla birlikte ulusal literatürde bu konularda uygulamaya dönük veya teorik, kapsamlı bir bilimsel çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın amacı tavuk kesimhanelerinden kaynaklanan arıtma çamurunun bertarafını, alternatif yakıt olarak kullanımı ile sağlamak ve bunun için yanma özellikleri enerji bitkisi ile iyileştirilmiş, enerji yoğunluğu artırılmış, otomasyon kullanımına uygun biyoyakıt kaynağı geliştirmektir.

Bu doğrultuda, yanma özelliklerinin iyileştirilmesi ve enerji yoğunluğunun artırılması için tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru, katkı malzemesi olarak yüksek verimli biyokütle enerji bitkisi *Arundo donax* ile karıştırılmış ve biyopelet haline getirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında santrifüjleme ünitesinden çıkan arıtma çamuru, nem oranının karışımlarda denenmek üzere optimum peletleme seviyesine kadar solar-enerji kurutma sistemleri ile kurutulmuştur. İkinci aşama da ise optimum yanma ve kül miktarını minimize edecek şekilde enerji bitkisi *Arundo donax* ile parçalanarak optimum karışım hazırlanmıştır. Ardından üçüncü aşamada enerji densifikasyonunu sağlamak için karışımlar preslenerek biyopelet haline getirilmiştir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Özeti

Literatürde yer alan tavuk kesimhanesinden çıkan organik atıkların değerlendirilmesi, arıtma çamurlarının ve biyoyakıtların alternatif enerji kaynağı olarak kullanımı ile ilgili çalışmalara dair örnekler aşağıda özet olarak verilmiştir.

Metik, (2018), yaptığı çalışmada Aydın ili için bertarafı önemli bir sorun haline gelmiş zeytinlerin atığı ile atıksu arıtma çamurunun, beraber kullanımı sonucunda bir biyoyakıt kaynağı haline getirilmesini araştırmıştır [5].

Sözen, Gündüz, Aydemir, & Güngör, (2017), yaptıkları çalışma ile biyoyakıtların kullanımının ekonomiye etkilerini incelemiş olup çevre ve çevre sağlığı açısından da konuyu ele alarak değerlendirilmesi ile literatür sağlamışlardır [6].

Küsek, Güngör, Öztürk, & Akdemir, (2015), yaptıkları çalışmada peletleme uygulamasında gerçekleşen iş akışını, peletleme teknolojisinin faydaları ve peletleme işlemini etkileyen materyal ile özellikleri ve biyo-peletlerini incelemişlerdir [7].

2.2. Tavuk Kesimhanesi Atıksu Arıtma Tesisi ve Arıtma Çamuru

Sakarya Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde yer alan tavuk kesimhanesi atıksu arıtma tesisinde proses kaynaklı atıksu oluşumu söz konusudur. Ayrıca, duş ve tuvaletlerden kaynaklanan evsel nitelikli atık sular da oluşmaktadır. Üretim kaynaklı atık sular tavuk kesimi, temizlenmesi ve rendering tesisinden meydana gelmektedir.

Tesisten kaynaklanan atıksuların arıtılması amacıyla işletilen atıksu arıtma tesisi; proses olarak filtrasyon (tüy tutma), kimyasal arıtma ünitesi (DAF) ve biyolojik arıtma proseslerini içermekte olup aşağıdaki birimlerden oluşur;

- Filtrasyon (Döner Elek)
- Dengeleme Havuzu
- Kimyasal Arıtma Ünitesi (DAF)
- Biyolojik Arıtma Ünitesi (Klasik Aktif Çamur)
- Çamur Yoğunlaştırma

Atıksu bünyesinde bulunan tüyler dengeleme havuzunda yüzeyde birikerek hem oksijen transferini ve karıştırma işlemini engellemekte ve hem de pompalarda arızaya yol açma ihtimali vardır. Bu nedenle tüylerin dengeleme havuzundan önce tutulmaları gerekmektedir. Bu yüzden ön arıtma olarak ince elek kullanılır. Elekten geçen sular dengeleme havuzuna alınır. Dengeleme havuzunun amacı debi dalgalanmalarını önlemek, atık suyu homojen hale getirmek ve kimyasal arıtmayı dengeli bir biçimde beslemektir. Dengeleme havuzunu müteakip atıksular pompa ile DAF ünitesine basılır. Kimyasal ilavesi ile atıksu içerisinde bulunan yağ DAF (Disolved Air Flotation) sistemi ile yüzdürülerek alınır.

Bu esnada $FeCl_3$ ve Polielektrolit adı verilen kimyasal maddeler kullanılır. Bu maddelerin amacı flokleşme sağlayarak hem sudaki yağı ve hem de partikül maddeleri yumaklaştırmaktadır. Kimyasal arıtmayı müteakip atık sular biyolojik arıtmaya verilir. Uygun ortamda üreyen bakteriler sudaki kirliliği özümseyerek yeni bakteri hücrelerine dönüştürülürler.

Çökeltme fazında havuzun üstündeki arıtılmış su deşarj edilmektedir. Biyolojik arıtma tesisi havalandırma ve çökeltme ünitelerinden oluşmaktadır. Biyolojik arıtma sistemi klasik aktif çamur prosesi esasına dayanmaktadır.

Uygun ortamda üreyen bakteriler sudaki kirliliği özümseyerek yeni bakteri hücrelerine dönüştürülürler. Çökeltme havuzunda çöken bakterilerin bir kısmı tekrar havalandırma havuzuna verilirler, fazla bakteri ise sistemden uzaklaştırılır. Çökeltme havuzunun üstündeki arıtılmış duru su ise deşarj edilir.

Atıksuların arıtılması sırasında meydana gelen ve kullanılan arıtım teknolojilerine göre farklılık gösteren atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan atıksu arıtma çamurlarının da arıtıma tabi tutulması gerekir.

Stabilize olmuş atıksu arıtma çamurunun nem içeriğinin düşürülmesi için yapılan işlemler çamur susuzlaştırma olarak tanımlanır. Çamur susuzlaştırma işlemi doğal yol olarak çamur kurutma yatakları ile, mekanik şeklinde ise santrifüjler, belt presler ve vakum filtreleri ile sağlanmaktadır. İşletme de santrifüjleme işlemi yapılmaktadır. Merkezkaç kuvveti kullanılarak atıksu arıtma çamurunun nem içeriğinin düşürülmesine santrifüjleme denilmektedir.

Santrifüjleme işlemiyle susuzlaştırılan atıksu arıtma çamurları çamur depolama alanına alınmaktadır. Arıtma tesisinden günlük ortalama 2,2 ton (yaş ağırlık) çamur keki çıkmaktadır. Tesisten çıkan çamurun katı madde oranı ise %25 civarındadır. Atıksu arıtma çamurunun kalorifik değerinin iyileştirilmesi için termal kurutma gibi ön işlem yapılması gerekmektedir.

Güneşle kurutma-solar enerji diğer metotlara göre daha az maliyetle ısı kaybını önleyen özel örtülerle kaplı sera şeklindeki alanlarda gerçekleştirilebilen bir metottur [8].

2.3. Biyokütle ve Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı

Yunan kökenli bir kelime olan ve soyut anlamda iş gerçekleştirebilme kabiliyeti anlamına gelen enerji, günlük yaşantının devamlılığı açısından temel girdilerdendir.

Endüstriyel devrim öncesi su, odun, rüzgâr gibi doğal kaynaklardan sağlanan enerji gereksinimi, sanayi devriminin en büyük gelişmelerinden biri olan buharlı makineler ile birlikte enerji ihtiyacının sağlanabileceği kaynakların değişmesine neden olmuştur [9].

Enerji kaynakları, üretim prosesleri yardımı ile enerji sağlamak amacı ile kullanılan kaynaklara denilmektedir. Enerji kaynakları, kullanım yöntemleri göz önüne alındığında; yenilenebilen (yenilenebilir) ve yenilenemeyen enerji kaynakları şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

Günümüzde Dünya'daki nüfus artışı ve enerji arz-talep ilişkisine bağlı olarak, mevcut teknolojiler kullanılarak düşük maliyetler ile kolayca ulaşılabilen yenilenemeyen enerji kaynakları yerine alternatif (yenilenebilir) enerji kaynaklarına yönelim başlamış ve böylelikle bu enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır [9].

Yenilenebilir enerji kaynakları; kullandığımız yakıtların temelini oluşturan güneş enerjisi başta olmak üzere, kinetik enerjiye dönüşebilen rüzgâr enerjisi, hidrojen enerjisi, biyokütleden elde edilen enerji, biyogaz enerjisi, jeotermal ve hidrotermal enerji olarak sayılabilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan biyokütle, önemli kaynaklardan sayılmaktadır ve biyokütleden sağlanan enerji biyokütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır [10].

Günümüzde biyokütle enerjisi çok az CO₂ emisyonuna sahip üçüncü büyük yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Bunun anlamı, dünya enerji tüketiminin %14-15'ini biyokütle enerjisi oluşturmaktadır.

Bitkiler büyüme ve metabolik prosesleri için ihtiyaç duydukları CO₂ gazını, diğer bitkilerin bozunma süreçleri sırasında atmosfere saldıkları CO₂'i kullanarak sağladıkları için biyokütlenin kullanım veya yanma prosesleri sırasında açığa çıkardığı

biyolojik kökenli CO₂ gazı, atmosferdeki CO₂ miktarında herhangi bir artışa sebebiyet vermez [9].

Biyokütle, geleneksel yöntemlerle ısı enerjisi üretebilmek için doğrudan yakılabildiği gibi modern yöntemlerle elektrik, termal enerji veya biyoyakıtlara dönüştürülerek de kullanılabilir.

Biyokütle dönüşüm proseslerine, biyokütlenin karakteristik özellikleri, ısı değeri, kimyasal yapısı, parçacık boyutu, miktarı, dönüştürülmek istendikleri enerji formu, son kullanım alanları, çevresel ve ekonomik koşullar gibi faktörler göz önünde bulundurularak karar verilebilir [9].

Biyokütlenin enerjiye dönüşümünde; termokimyasal, biyokimyasal ve fizyo-kimyasal dönüşüm prosesleri olarak üç ana dönüşüm prosesi kullanılmaktadır.

Termokimyasal dönüşüm prosesleri ile üretilcek ürünün istenilen özellikleri, miktarı, kimyasal yapısı ve kullanım alanları göz önüne alınarak sıvı veya gaz ara ürünleri enerji içerikleri daha yüksek olan ürünlere dönüştürmek mümkündür [9].

Termokimyasal dönüşüm prosesleri temel olarak yanma, piroliz, gazlaştırma ve sıvılaştırma şeklinde gruplandırılmaktadır [3].

Yanma Prosesi biyokütle yapısında bulunan karbon, hidrojen gibi elementlerin ve bazı metallerin oksijenle verdikleri heterojen ve homojen kimyasal reaksiyonlar olarak tanımlanmaktadır [11] [12].

Aynı zamanda biyokütle düşük kül ve kükürt içeriğine sahip olduğundan dolayı atmosfere verdikleri NO_x, SO_x gibi gaz emisyonlarının değeri diğer yakıtlara oranla daha düşüktür [13]. Bu reaksiyonlar sırasında açığa çıkan ısı ve buhar, elektrik üreten jeneratör ve türbinler yardımı ile elektrik, ısı ve buhar enerjisi üretiminde kullanılabilir.

Özel olarak enerji üretmek amaçlı yetiştirilen C₄, C₃ bitkileri, selüloz, şeker ve nişasta içerikli bitkiler, sulak alanlarda yetişen algler, yosunlar gibi su bitkileri bitkisel biyokütle kaynakları arasında sayılır [9]. Enerji talebinin yanıt bulabilmesi için biyokütle enerji bitkileri mühim bir kaynaktır.

Süreklilik bakımından odun ve enerji bitkileri biyokütle enerjisinin en önemli hammadde kaynaklarıdır [14].

Yağ, şeker ve/veya selüloz içeriği diğer bitkilere göre daha yüksek, bununla beraber birim alanda yüksek miktarda kuru madde üretme kapasitesine sahip bitkilere enerji bitkileri denmektedir [14].

Düşük yetiştirme maliyetleri, çorak alanlarda bile yetiştirilebilmeleri ve bileşenlerinin petrol yakıt bileşenlerine benzerliği gibi yüksek ekonomik faydalara sahip olmaları ve ayrıca enerji dönüşüm teknolojilerinin basit olmaları sebebi ile çok yaygın uygulama alanlarına sahiptirler.

Kuraklığa dayanıklı çorak ortamlarda yetiştirilebilme özelliğine sahip olan enerji bitkileri atmosferdeki karbondioksit ve suyu verimli kullandıkları, yüksek fotosentez etkinliğine sahip oldukları için geniş tarımsal yetiştiriciliği yapıldığında yeryüzündeki karbondioksit miktarını ve sera gazı etkisini düşüreceği öngörülmektedir [9].

Kargı kamışı (*Arundo donax* L.) her geçen gün önemini arttıran bir enerji bitkisi olarak dikkat çekmektedir [14]. Bu bitkinin enerji değeri açısından lignin, selüloz ve hemiselüloz değerleri yüksek, kül oranı düşük, C ve H değeri yüksektir. Kalorifik değerini yükseltmek için genellikle kurutulması gerekli olmaktadır.

2.4. *Arundo donax* (Kargı) ve Biyokütle Potansiyeli

Çoğunlukla Ege ve Akdeniz bölgesinde yayılış gösteren yıllık bir bitki olmakla beraber hızlı büyüyen, tropik ve subtropik iklim haricinde diğer ılıman ve nemli bölgelere de çabuk adapte olabilen *Arundo donax*, selüloz içeriği ve biyokütle üretiminin yüksek olmasından dolayı, kâğıt hamuru ve enerji üretimi için oldukça elverişli bir kaynaktır [14] [15].

Farklı ortamlarda kolayca yetişebilmesi ve her yıl hasat edilebilmesi *Arundo donax*'ı avantajlı bir biyokütle kaynağı kılmaktadır. Dünyanın çeşitli yerlerinde *Arundo donax*'ın biyokütle miktarı üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Genel itibariyle uygun yetiştirme koşulları altında yıllık 100 ton/hektar kadar biyokütle sağlayabilir [14].

Hektardaki biyokütle miktarı ile ısı değerinin uygun olması, kargı kamışını doğrudan yakma teknolojisi için yonga ya da pelet olarak kullanımını oldukça uygun kılmaktadır [14].

Biyokütle yakıtları yaşam döngüleri içinde tutukları karbon miktarı kadar salınım yapıyor olmaları nedeni ile biyokütle enerjisi yakma amaçlı diğer tüm enerji üretim biçimlerinden daha temiz kabul edilir [14].

Doğrudan yakma sistemlerinde yakıtın elemental analizi, içerdiği inorganik maddeler baca gazı ile salınacak kirleticiler, oluşacak kül ve cüruf miktarı önem taşımaktadır [4].

Biyokütlenin doğrudan yakılması ile elde edilen kalorifik değer, klasik fosil yakıtlar ile karşılaştırıldığında düşük kaldığı için biyokütle diğer kalorifik değerleri yüksek olan yenilenemeyen enerji kaynakları ile birlikte yakılarak kullanılabilir [9].

Aynı şekilde bir başka yenilebilir enerji kaynağı olan arıtma çamuru, yakma boyunca oluşan kül ve baca gazı emisyonlarının azaltılması ve ayrıca çamurun kalorifik

değerinin önemli ölçüde iyileştirilmesi gibi nedenler doğrultusunda fosil yakıtlarla birlikte yakılmaktadır.

Fakat önümüzdeki yıllarda tükeneceği tahmin edildiği için yenilenemeyen fosil yakıtlar yerine yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Bu nedenle biyokütle enerji bitkileri, arıtma çamuru ile karışımlar kullanılarak geliştirildiğinde enerji değeri ve yanma özellikleri daha iyi, emisyon değerleri ise standartların oldukça altında olan optimum yakıt kaynağı ortaya çıkabilir.

Yoğunluğu düşük ve nem içeriği bir o kadar yüksek olan bitkisel ve hayvansal biyokütle materyalinin kurutulması ile öğütülmesi ve ardından peletlemesi, enerji densifikasyonu sağlayarak hacim başına ısı değerini artırır ve böylece yanma özellikleri iyileştirilmiş bir biyoyakıt elde edilir [7].

Materyalin basınç uygulanarak sıkıştırılması ile boyutlarının küçültülmesi (yaklaşık 30 mm) peletleme olarak adlandırılır. Bu işlem sonrasında elde edilen çıktıya da pelet denilmektedir. Öğütücü değirmenden geçirilerek küçülen atık malzemeler, kurutulması sağlanarak nem içeriği azaltılır ve nem oranı düşürülen malzeme basınç uygulanarak peletlenir. Uygulan bu işlemler sonucunda sağlanan enerji densifikasyonu sayesinde enerji verimi %300 oranında artmaktadır [16].

Deneyisel çalışmada kullanılan arıtma çamuru ve enerji bitkisi solar enerji ile kurutulup parçalandıktan sonra peletlenmeye hazır hale getirilmiştir. Enerji değeri yüksek, kesimhane atıksu arıtma çamurlarının enerji bitkileriyle harmanlanması sonucu oluşan kalorifik değeri yüksek ve kül oranı oldukça düşük biyoyakıt karışımının Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında uygulanabilir hale getirilmesi sağlanmıştır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Döngüsel atık yönetim modelinin tavuk kesimhanesine uyarlamasının yapıldığı çalışmada tesiste proses atık suyunun arıtılması ile ortaya çıkan atıksu ve atık çamur kullanılarak, tesiste yeniden kullanılması mümkün enerji kaynağı üretilmiştir. Önerilen döngüsel atık yönetim modeli şematik olarak Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Çalışmalarda Sakarya Büyükşehir Belediyesinin sınırları içinde yer alan ve günde ortalama 100 bin baş tavuk kesimi yapılan bir tavuk kesimhanesinin atıksularının arıtıldığı atık su arıtma tesisinden çıkan arıtma çamuru ve Sakarya Üniversitesi çalışma alanlarında proje ekibinin kurduğu önceki bitki yetiştirme plantasyonlarından temin edilen biyokütle enerji bitkisi *Arundo donax* kullanılmıştır. Enerji bitkisi *Arundo donax* tesisten çıkan atıksu ile sulanmıştır.

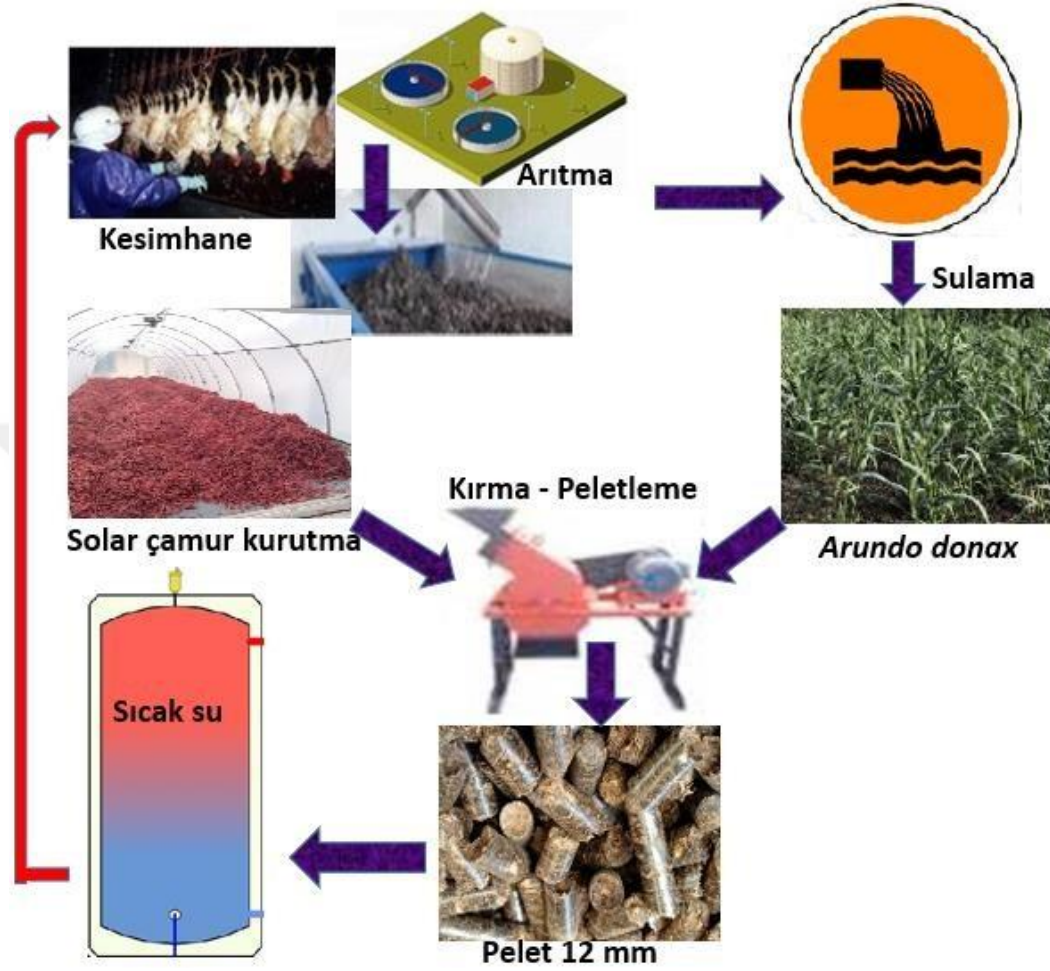
3.2. Yöntem

3.2.1. Arıtma Çamuru

Tavuk kesimhane atıksu arıtma tesisinde nihai olarak mekanik ekipmanlarla susuzlaştırıldıktan sonra depo alanına alınan arıtma çamuru, ısıl değerini artırmak ve yakma maliyetini düşürmek için diğer metotlara göre daha az maliyet ile gerçekleştirilebilen termal kurutma metodu, güneşle kurutma-solar enerji ile söz konusu tesiste ön işleme tabii tutulmuştur (Şekil 3.1.).

Nem oranı karışımlarda denenmek üzere optimum peletleme seviyesine kadar solar-enerji kurutma sistemi ile kurutulan tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru ısıt

değerini ortaya koyacak yaklaşık analizleri yapılmak üzere Sakarya Üniversitesi Çevre Laboratuvarına getirilmiştir.



Şekil 3.1. Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru ile enerji bitkisi *Arundo donax* kullanılarak pelet biyoyakıt üretiminin şematik gösterimi

3.2.1.1. Çamur örneklerinin yaklaşık analizi

Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtma çamurunun yaklaşık analizi ASTM (American Society for Testing and Materials) D3173, D3174, D3175 standart metodlara göre gerçekleştirilmiş, nem ve kül içeriği incelenmiştir.

İncelenmesi lazım gelen önemli parametrelerden biri olan kül miktarının fazla olması durumunda yakma sonucunda bertarafı gereken atık miktarı çok olacaktır. Ayrıca yine

kül oranının yüksek olması biyoyakıtın ısıl değerinin düşmesine neden olduğundan düşük kül içeriğine sahip formülasyonların geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

3.2.1.2. Nem içeriği tayini

Nem içeriği, 105 ± 2 °C’de numunenin kurutulmasından sonra ağırlık kaybı olarak tanımlanmaktadır. İstenmeyen yüksek nem içeriği arıtma çamurlarının hacmini daha çok arttıracığından, nihai bertarafının maliyetini yükseltir. Bu sebeple nem içeriği, ölçülmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Nem içeriği tayini yapılırken uçucu veya kolay parçalanabilir maddeler analiz değerini etkileyebilir. 1 gr tartılan çamur numunesi, 105 ± 2 °C’de etüv’de 24 saat süreyle kurutulmuştur. Daha sonra, soğuması için yarım saat desikatörde bekletilmiş ve tekrar tartılmıştır. Nem içeriği, gerekli hesaplamalar yapılarak bulunmuştur.

3.2.2. *Arundo donax*

Söz konusu bitkinin dikiminden 7 ila 12 ay sonrasında hasat edilebilir duruma gelmesi ve hasadının yaz sonunda yapılabildiği bilinmektedir. Yine optimum şartlarda yetiştirildiğinde 100 ton/hektar biyokütle verebilen bu bitki yürütülen önceki çalışmalardan temin edilmiştir. Tepe ve kök kısmı alınmış örneklerin dal boğumları ve yaprakları uzaklaştırılmıştır. Gölgede kurumaya bırakıldıktan sonra kibrit çöpü büyüklüğüne kadar küçültülmüş kargı yıllık bitkisi, değirmende öğütülmüş ve elekten geçirilmiştir (Şekil 3.2.). Daha sonra ağzı kapalı cam kavanozlarda saklanarak kimyasal analizlere tabi tutulmuştur.



Şekil 3.2. Kurutulmuş arıtma çamuru, *Arundo donax* samanı ve bunların 50:50 karışımından üretilmiş biyo-pelet

3.2.2.1. Kimyasal özellikler

Kargı kamışının biyokütle enerjisi üretimi için kimyasal karakterizasyonu üç alt başlık altında incelenebilir.

Bunlardan ilki temel kimyasal yapı, ikincisi Fourier dönüşümlü kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi ile yapısal analizi, üçüncüsü termal karakterizasyonudur. Kargı kamışı yapısını lignin, selüloz, hemiselüloz ve ekstraktifler oluşturan lignoselülozik bir materyaldir. Böyle bir yapıya sahip olması nedeniyle birçok kullanım alanı için avantajlı hale gelmektedir. Bu nedenledir ki; kargı kamışının temel kimyasal yapısının aydınlatılmasına yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır [14].

Yapılan çok sayıda çeşitli araştırmalar sonucunda kargı kamışının temel kimyasal bileşen oranları için genel itibariyle kargı kamışının yapısında %28,1 – 43,2 selüloz, %19,2 – 29,8 hemiselüloz, %13,4 – 24 lignin, %9,1 – 23,2 ekstraktif madde ve %2,9 – 6,1 kül ihtiva ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

3.2.2.2. Fiziksel özellikler

Ağız kapalı cam kavanozlarda saklanan öğütülmüş ve elekten geçirilmiş *Arundo donax* örneklerinin bu kapsamda, Nem(%), Kül(%) ve Üst Isıl Değer(kcal/kg) parametrelerine bakılmıştır.

Nem(%) Analizi, yöntem ASTM D 7582-12 ile, Kül(%) Analizi, yöntem ASTM E 1755-01 ile ve Üst Isıl Değer(kcal/kg) Analizi, yöntem ISO 1928-09 ile yapılmıştır.

3.2.2.2.1. Nem tayini

Nem tayini için, tartımı sabitlenen porselen krezeler not alındıktan sonra biyokütle enerji bitkisi *Arundo donax* örnekleri, tartılmış ve porselen krezeye alınmıştır. Ardından kroze etüvde 105 °C’ de tartımı sabitlenene kadar kalmıştır. Ağırlığı belirleyen son tartımdan sonra nem içeriği hesaplanmıştır.

Nem miktarı (r):

$\% r = [(m_r - m_o) / m_r] \times 100$ eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

m_r = Hava kuru örnek ağırlığı (gr)

m_o = Tam kuru haldeki örnek ağırlığı (gr) olmaktadır.

3.2.2.2.2. Kül içeriği

Kül oranı, kargı yıllık bitkisinin 575±25°C’de yakılmasıyla elde edilen yanmadan geriye kalan kısımdır. Kül oranının belirlenmesinde TAPPI T 211 OM-85 standardı uygulanmıştır.

3.3. Densifikasyon İşlemi ve Peletleme

Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru ile ligno-selülozik yenilenebilir enerji bitkisi *Arundo donax* kuru ağırlık bazında %50 oranda karışım hazırlanarak nihai ürün oluşturulmuştur. Enerji değeri yüksek, kesimhane atıksu arıtma çamurlarının enerji bitkileriyle harmanlanması sonucu oluşan kalorifik değeri yüksek ve kül oranı oldukça düşük biyoyakıt karışımının Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında uygulanabilir hale getirilmesi sağlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan arıtma çamuru ve enerji bitkisi solar enerji ile kurutulup parçalandıktan

sonra peletlenmeye hazır hale getirilmiştir. Öğütücü değirmenden geçirilerek küçülen atık malzemeler, kurutulmuş ve nem içeriği azaltılmıştır. Ardından sanayi tipi peletleme makinesinde preslenerek 10 mm'lik biyo peletler üretilmiştir (Şekil 3.1.).

3.3.1. Peletleme işleminde etkili materyal özellikleri

3.3.1.1. Nem içeriği

Nem içeriğinin yüksek olması, materyalin sıkıştırma deliklerinden kolaylıkla kaymasına sebep olacağından pelet kalitesi düşmektedir. Düşük nem içeriği olması ise, peletleme sırasında daha fazla basınç uygulanmasına neden olarak, kalıp deliklerinde materyalin sıkışmasına sebep olur ve peletleme işlemi olumsuz etkilenir. Materyal 105°C de kurutulmadan önce ve kuruttuktan sonra tartılmıştır.

$$Nİ = [(YÜK - KÜK) / YÜK] \times 100$$

Nİ: Nem Oranını (%)

YÜK: Ürünün Yaş Kütlesini (kg)

KÜK: Ürünün Kuru Kütlesini (kg) temsil etmektedir [7].

3.3.1.2. Yoğunluk

Peletlenecek materyalin yoğunluğunu belirlemek için ise materyalin ve koyulacağı kabın tartımları yapılarak kaydedilmiştir. Materyal kütlesi, kabın hacmine bölündüğünde materyal yoğunluğu hesaplanmış olmaktadır.

$$\rho = M / V$$

ρ : Materyalin Yoğunluğunu (kg/m³)

M: Materyalin Kütlesini (kg)

V: Materyalin Hacmini (m³) temsil etmektedir [7].

3.3.2. Kimyasal özellikler

Peletleme işleminden sonra hava almayacak şekilde kapalı plastik saklama kaplarında oda sıcaklığı koşullarında bekletilen biyopelet numunelerinin yaklaşık analiz, elemental analiz ve fiziksel karakterleri incelenmiştir.

3.3.2.1. Kül miktarı tayini

575±25°C’ de kül fırınında 4 saat bekletilen içinde biyopelet numunesi bulunan porselen krezeller, daha sonra desikatöre alınarak, soğutulması sağlanmış ve ardından tartımları yapılmıştır.

3.3.2.2. Isıl değer tayini

Biyo-peletler 105 °C’ de bekletilip içerisindeki nem uzaklaştırıldıktan sonra yakıt bombasında yakılmış ve ısı değeri cal/g cinsinden belirlenmiştir.

3.3.2.3. Nem içeriği tayini

Peletlerin nem içeriklerinin belirlenmesi amacıyla alınan materyaller 105°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma fırınından alınan peletler soğuması için bekletilmiştir. Kurutulmadan önceki ve sonraki ölçülen ağırlıklar ile yaş bazda nem içerikleri belirlenmiştir.

3.3.2.4. Elemental CHNS tayini

Çalışmada kullanılan biyoyakıt malzemelerinin elemental karbon (C), hidrojen (H), azot (N) ve kükürt (S) analizi ASTM D5373-14 yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Toplam oksijen (O) aşağıdaki formül kullanılarak tahmin edilmiştir:

$$O = 100 - (C + H + N + S)$$

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Tavuk Kesimhanesi Atıksu Arıtma Çamuru

Tavuk kesimhane atıksu arıtma tesisinde nihai olarak mekanik ekipmanlarla susuzlaştırıldıktan sonra depo alanına alınan arıtma çamuru, nem oranı karışımlarda denenmek üzere optimum peletleme seviyesine kadar solar-enerji kurutma sistemi ile kurutulmuş ve ısı değeri ortaya koyacak yaklaşık analizleri Sakarya Üniversitesi Çevre Laboratuvarında yapılmıştır. Ayrı ayrı ölçümü gerçekleştirilen nem, kül ve ısı değeri sonuçları Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Arıtma çamuru yaklaşık analiz karakterizasyonu

Parametre	Miktar	Nem İçeriği	Yoğunluk	Kül İçeriği	Orijinal Baz Üst Isıl Değer	Kuru Baz Üst Isıl Değer
Birim	kg	%	kg/m ³	%	cal/g	cal/g
Değer	26	10,29	0,59	15,37	5774	6873

Biyo-yakıt kaynaklarında incelenmesi gereken önemli parametrelerden biri olan kül miktarının, fazla çıkması durumunda, bertarafının sağlanması gereken atıklarının da çok olmasına neden olmakla beraber biyoyakıtın ısı değeri de düşmesine sebep olmaktadır [17].

İncelenmesi gereken bir diğer önemli parametrelerden biri olan nem içeriği, 105±2 °C'de kurutulmasından sonra numunede meydana gelen ağırlık kaybı olarak tanımlanır. Nem içeriği yüksek olduğunda biyoyakıtın hacmini daha çok arttıracığından ve nihai bertarafının maliyetini yükselteceğinden dolayı istenmez. Yüksek nem içeriği aynı zamanda biyoyakıtın alev alma derecesini yükseltmekte,

yanmasını zorlaştırmakta ve enerji verimliliğini düşürmektedir. Güneş enerjisinden faydalanılarak yapılan kurutmanın enerji verimliliğine katkısı pek çok çalışma ile ortaya koyulmuştur [18] [19]. Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru; solar enerji ile hava kuru, kararlı nem seviyesine kadar kurutulduğunda ısıl değerinde iyileşme gözlenmiştir. Öyle ki orijinal baz üst ısıl değeri 5774 cal/g olan tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru, solar enerji ile termal kurutma işlemine tabii tutulduğunda kuru baz üst ısıl değeri 6873 cal/g 'a yükselmiştir.

Bu da tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurunun mekanik ekipmanlarla susuzlaştırıldıktan sonra depo alanında termal kurutma metodu, güneşle kurutma-solar enerji ile kurutulmasının çamurun ısıl değerini artırmak ve yakma maliyetini düşürmek için başarılı bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır.

Solar sistemle kurutulan tavuk kesimhanesi arıtma çamurunun organik madde içeriği %85 olarak tespit edilmiş ve bu miktar biyoyakıt üretimi için gerekli organik madde miktarı aralığında bulunmuştur. Çamurun organik içerikli olması yanıcı olduğunun bir göstergesidir [20].

Yaklaşık analiz parametreleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde, tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurları, solar sistemle kurutulduktan sonra fiziksel olarak yanma amaçlı kullanıma uygun hale gelmektedir ve organik madde, kül ve ısıl değerleri direk yakma olarak ısıl amaçlı geri dönüşüm şeklinde kullanılmaya uygun değerler göstermektedir.

4.2. *Arundo donax*

Genel itibariyle yapısında %28,1 – 43,2 oranında lignoselüloz ve %2,9 – 6,1 kül ihtiva ettiğinden [4] ve ayrıca biyokütle üretiminin yüksek olmasından dolayı optimum karışım sağlandığında arıtma çamurunun yanma karakterini iyileştirmesi için seçilen biyokütle enerji bitkisi *Arundo donax* yürütülen önceki çalışmalardan temin edilmiştir.

Çalışmada kullanılan enerji bitkileri sonbaharda toprak seviyesinden kesilerek hasat edilmiş, bir bütün olarak açık havada kurutulmuş ve ardından biyokütle termik santralinde kullanılan endüstriyel shredder makinasında parçalanarak küçük parçalar haline getirilmiştir. Karakterizasyon analizi yapılan numuneler ilave olarak değirmende öğütülmüş ve 0,2 mm elekten geçirilmiştir. Ağzı kapalı cam kavanozlarda saklanan *Arundo donax* örneklerinin nem (%), kül (%) ve ısı değer (cal/g) parametreleri Tablo 4.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. *Arundo donax* enerji bitkisinin yaklaşık analiz karakterizasyonu

Parametre	Miktar	Nem İçeriği	Yoğunluk	Kül İçeriği	Orijinal Baz Üst Isıl Değer	Kuru Baz Üst Isıl Değer
Birim	kg	%	kg/m ³	%	cal/g	cal/g
Değer	18	12,47	0,24	6,56	3924	4014

Önemli parametrelerden olan kül miktarı, yakma sonucu bertaraf edilmesi gereken atık miktarını belirlemektedir ve biyoyakıtın ısı değerini de doğrudan etkilemektedir. Analiz sonuçlarına bakıldığında *Arundo donax* enerji bitkisinin kül içeriği önceki çalışmalara benzer şekilde ve doğrudan yanma karakterini olumlu etkileyecek şekilde düşük bulunmuştur. Öyle ki söz konusu bitki %94 organik madde miktarıyla biyoyakıt üretimi için gerekli organik madde miktarını içermektedir.

Yine aynı şekilde nem içeriği, yüksek olduğunda biyoyakıtın yanma özellikleri bozulacağından ve ısı değeri ile enerji verimliliği düşeceğinden dolayı önemli parametreler arasında yer alır. Yapılan analizler ile *Arundo donax*'ın nem içeriğinin yanma için ideal sınırlar içinde olduğu görülmektedir. Sahip olduğu rutubet değerinde *Arundo donax* enerji bitkisinin ısı değeri literatürde verilen aralık değerleri arasında bulunmuştur. Biyokütlenin enerji değerini temel olarak rutubet, kül kapsamı ile lignoselülozik maddenin oransal değişimi belirler [21]. Çalışmada saptanan 3924 ila 4014 cal/g ısı değeri lignoselülozik enerji hammadde kaynaklarının tipik değerini göstermiştir [18].

4.3. Biyoyakıt Karışımı- Biyopelet

Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru katkı malzemesi olarak yüksek verimli biyokütle enerji bitkisi *Arundo donax* ile hava kuru bazda ağırlık olarak %50 oranda karıştırılmış, biyokütle enerji santralinde kullanılan endüstriyel pelet makinesi ile basınç altında sıkıştırılarak 12 mm çapında ve yaklaşık 0,5 - 30 mm boy aralığında biyopelet haline getirilmiştir. Uygulan bu işlemler sonucunda sağlanan enerji densifikasyonu sayesinde yanma ve enerji verimi arttırılmıştır. Enerji değeri yüksek, kesimhane atıksu arıtma çamurlarının enerji bitkileriyle harmanlanması sonucu oluşan kalorifik değeri yüksek ve kül oranı oldukça düşük biyoyakıt karışımının Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında uygulanabilir hale getirilmesi sağlanmıştır. Biyopelet numunelerinin üst ısı değeri ile içerdiği kül miktarları Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Biyopelet yaklaşık analiz karakterizasyonu

Parametre	Miktar	Nem İçeriği	Yoğunluk	Kül İçeriği	Orijinal Baz Üst Isıl Değer	Kuru Baz Üst Isıl Değer
Birim	kg	%	kg/m ³	%	cal/g	cal/g
Değer	25	12,55	0,53	10,74	4874	5454

Peletleme de önemli özelliklerden sayılan materyal nem oranı ile yoğunluk değerinin ideal olması lazım gelir. Kuru bazda %50:50 oranda karışımdan oluşturulmuş biyopeletin denemelerin yapıldığı koşullarda denge nem içeriği %12,55 bulunmuştur.

Kül; sabit karbonun yanmasından sonra kalan inorganik atıklar olarak tanımlanabilir. Kül yanma teknolojisini belirlemede önemli parametrelerden biridir. Kül miktarının veya oranının yüksek olması yetersiz yanmaya sebep olarak ısı değeri ve yanma verimini düşürür.

Arundo donax (%50) ve tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru (%50) karışımından oluşturulmuş biyoyakıt karışımı, %88 organik madde miktarıyla da biyoyakıt üretimi için gerekli organik madde miktarını içermektedir.

Diğer yandan yakma kazanlarında ve akışkan yataklı yakıcılarda biyokütle materyali yakılacağına kömüre kıyasla yoğunluk farkından dolayı teknik yakma problemleri oluşmaktadır. Bu nedenle biyokütle yakma uygulamalarında pelet yapımı sık kullanılan yöntemlerden olmaktadır. Pelet uygulaması yakmada teknik problemlere çözüm oluşturma yanında taşıma gibi işlemlere de avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada yapılan pelet uygulaması özellikle *Arundo donax* enerji bitkisinden kaynaklanan düşük hacim ağırlığı parametresini iki katına çıkararak %100 bir iyileşme sağlamıştır. Yine %50:50 karışımında pelet hacim ağırlığı 530 kg/m³, yoğunluğu 1.20 g/cm³ ve enerji yoğunluğu 20,50 KJ/m³ gibi yüksek orana çıkarılarak biyokütle enerji kaynağının teknik yakma ve lojistik özellikleri arzu edilen seviyelere çıkarmaktadır.

Farklı arıtma çamurları ve biyokütle karışımlarından pelet yapımı çalışmalarında, ham madde nem içeriğinin %10-15 olması önerilmektedir [22]. Diğer yandan yine ham maddenin lignin, protein ve karbonhidrat içeriği doğal bağlayıcı olarak işlev görmesi nedeniyle peletleme başarısı ve son ürünün enerji içeriği, yanma karakteri ve depolama performansını etkilemektedir. Protein ve karbonhidratın artan esnekliği, ligninin daha yüksek sıkıştırma sıcaklığında yumuşaması ve erimesinden kaynaklanan partiküllerin azalan plastisitesini dengelemektedir [23]. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında pelet karışımında kullanılan protein ve yağ-gres ağırlıklı tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru ile lignoselülozik enerji bitkisi *Arundo donax* önceki çalışmalarda değinilen optimum peletleme koşullarını sağlamıştır. Diğer yandan uluslararası ticarete konu olan ISO 17225-2 kalite standartlarında belirtilen hacim ağırlığı (≥ 600 kg/m³), kül (≤ 10), azot ($\leq 1,0$), kül ($\leq 2,0$) değerleri standartların dışında olmakla birlikte, HHV (16,5 MJ/kg), pelet boyu (3,15-40 mm), pelet çapı (8 ± 1 mm) standart değerleri içinde yer almıştır [24].

4.4. Elemental Analiz

Biyoyakıt kaynaklarında karbon ve hidrojen enerji değerine pozitif katkıda bulunurken, oksijen, azot ve kükürt negatif etkide bulunur. Azot ve kükürt ilave olarak fazlalık durumlarında hava kirliliği emisyonu oluşturur. Bu nedenle biyoyakıtın bahsedilen elemental değerlerinin önceden bilinmesi yakıt karakterizasyonu ve yakma koşullarının oluşturulması için önem taşır.

Çalışmada analiz edilen biyo-kütle kaynağı olan tavuk gübresinin C, O, H, N, S değerleri bulunmuştur. Analiz edilen bu değerler Tablo 4.4. de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru ile enerji bitkisi *Arundo donax*'ın %50:50 karışımı ile yapılan peletin elemental analiz sonuçları

Numune	Karbon (C %)	Hidrojen (H %)	Azot (% N)	Kükürt (% S)	Oksijen (%)
Arıtma çamuru	45,37	6,51	3,10	0,00	45,02
<i>Arundo donax</i>	44,26	3,98	0,90	0,00	50,86
Pelet	44,65	5,27	2,21	0,00	47,87

Tablo 4.4. incelendiğinde kuru maddede C, H ve N konsantrasyonlarının tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurunda, *Arundo donax* enerji bitkisinden daha yüksek olduğu ve bunların karışımından yapılan pelette ara değerlerin olduğu görülmektedir. Kesimhane atıksu arıtma çamuru, kesimhanede yıkama sularının arıtılması ile ortaya çıkmaktadır. Kesimhane atıksuyu ise ağırlıklı olarak yağ-gres, tüy kalıntıları ile yem ve dışkı kalıntıları içerir [25]. Özellikle yağ-gres parametresinden dolayı karbon ve hidrojen değeri ile hayvansal et ve onun proteininden kaynaklı azot oranı yüksek bulunmuştur. Diğer yandan lignoselolik enerji bitkisi *Arundo donax*'ın bitkisel kaynaklı enerji ham maddesi özelliğinden dolayı C değeri yüksek fakat H ve N değeri atıksu arıtma çamurundan düşük tespit edilmiştir. Saptanan bu değerler literatür bilgileri ile uyum içindedir [26]. Fakat bu çalışmada önceki çalışmalarda eser miktarda raporlanan S (kükürt) parametresi kullanılan analiz yönteminde tespit edilememiştir. Diğer yandan, biyoyakıtlarda N ve S parametreleri yanma hava

emisyonları oluşturdıkları için tercih edilmeyen elementlerdir [27]. Biyokütle enerji kaynağında N ve S'nin varlığı NO_x ve SO_2 emisyonlarına neden olabilmektedir [11]. Tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamuru ve enerji bitkisi *Arundo donax*'ın %50:50 karışımı arıtma çamurunun olumsuz kabul edilebilecek N ve S parametrelerini aşağı çekerken, biyoyakıtlarda olması arzu edilen C ve H parametresini yükseltmesi bakımından olumlu bir gelişme olarak kabul edilebilir. Dolayısıyla çalışmanın ana hipotezlerinden birisi olan arıtma çamuru ve enerji bitkisinin karıştırılması ile daha uygun biyoyakıt karakteri sağlanabileceği hipotezi doğrulanmıştır.

4.5. Enerji Dengesi

Günde 100.000 tavuk/gün kesim kapasiteli kanatlı mezbahası $1050 \text{ m}^3 \text{ gün}^{-1}$ proses suyu kullanmaktadır [28]. Su tüketiminin büyük bir kısmı (%68) kesim sürecine ilişkindir ve geri kalanı tesisin ve diğer ekipmanların temizlenmesi ile yıkanmasına gitmektedir [29]. Sıcak su tüketim aşamasının en büyük hacmi haşlanma, tüylenme ve iç organ çıkarmadır. Konvansiyonel bir mezbahada, su ısıtma sistemi yaklaşık 18°C sıcaklıkta ham su alır ve su ısıtması, istenen 53°C sıcaklığa kadar ekipmana doğrudan veya dolaylı buhar enjeksiyonu ile gerçekleştirilir. Bu varsayımdan hareketle 1050 m^3 proses suyunun 53°C ' ye ısıtılması için günlük enerji tüketimi miktarı, temel ısı denklemi kullanılarak yaklaşık $153828 \text{ GJ gün}^{-1}$ olarak tahmin edilebilir.

Tavuk kesimhanelerinde kuru çamur genellikle, çimento klinkerinde yakmak için ATY (atık türevli yakıt) hazırlamak üzere sözleşmeli bir atık işleme şirketi tarafından alınmaktadır. Bertaraf maliyeti olan bu yöntem yerine çamur biyopelet yakıt haline getirilerek, tesiste gerekli 53°C 'de yıkama suyu amaçlı kullanılabilir. Günde 100.000 tavuk kesen kesimhanede 2.2 ton/gün atık çamur ortaya çıkmaktadır [28]. Bu çamur %50 *Arundo donax* ile karıştırılacağında 4.4 ton/gün pelet üretme potansiyeli vardır. Mevcut çalışma önerisi ile ilgili olarak, bu çamur keki *A. donax* samanı ile kuru ağırlığa göre 50:50 karışım oranında birlikte peletlenerek günlük $4,4 \text{ ton PAS+AD}$ pelet üretmek mümkündür. PAS+AD peletlerinin $22.83 \text{ MJ Kg}^{-1} \text{ HHV}$ 'sine dayanarak, $4,4 \text{ ton}$ pelet yaklaşık 100452 GJ $4,4 \text{ ton}^{-1} (\text{gün})$ biyokütle enerjisi üretir.

Türkiye'de kanatlı mezbahaları için geleneksel su ısıtma ekipmanı kömürle çalışan kazanlardır. Bu kazanların yanma verimi %88 - 92 aralığındadır. %90 verimliliğe dayanarak, kömürle çalışan kazanlar için kömürün %58'ini PAS+AD biyo pelet yakıtı ile değiştirmek mümkündür. Yakıt ihtiyacının geri kalanı, bir kazan ısıtıcısında birlikte yanma için kömür veya diğer biyokütle kaynaklarıyla sağlanabilir.

Önceki çalışmalar, yüksek oranda biyokütle yakıtının kül bileşimi ile kül kaynaklı yakma sorununa [30], düşük yoğunluk nedeniyle yüksek oranda kütle kaybına [31] ve buna bağlı azot ve kükürt gibi gaz emisyonuna neden olabileceğini bildirmektedir [4]. Bu nedenle uygun biyokütle, kömür oranı, pelet biyoyakıtların yanma özelliklerini ve kül cüruf birikimini dikkate almalıdır [32].

Bu çalışma kapsamında peletin enerji değeri 4874 cal/g (LHV) olarak bulunmuştur. Bu durumda bir günde çıkan çamur, aynı miktarda enerji bitkisi ile kombine edildiğinde 4.4 ton pelet ve 20.4 KJ/kg ile hesaplandığında 20400 KJ/ton = 89760 KJ/4.4 ton (gün) enerji elde edebilir.

Tesiste kullanılan 1050 m³ gün⁻¹ proses suyunun, yıkama suyu olarak kullanımında 53°C'ye kadar ısıtılması için harcanacak enerji miktarı temel ısı formülü kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$m \text{ (kütle)} = 1050 \text{ m}^3 \text{ su} = 1050 \text{ 000 000 gr c}$$

$$(\text{ısıtma ısısı}) = 1 \text{ cal / g } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t \text{ (sıcaklık farkı)} = 53^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C} = 35^\circ\text{C}$$

Bu durumda;

$$Q = (1050 \text{ 000 000 g}) \cdot (1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}) \cdot (35^\circ\text{C}) = 36 \text{ 7500 000 kcal} = 153864900 \text{ KJ}$$

Sonuç olarak bir günde çıkan çamur, aynı miktarda enerji bitkisi ile kombine edildiğinde elde edilen 89760 KJ/4.4 ton (gün) enerji, tesiste kullanılan 1050 m³ gün⁻¹

¹ proses suyunun, yıkama suyu olarak kullanımında 53°C'ye kadar ısıtılması için harcanacak enerji miktarının %58'ini karşılamaktadır.

Tesiste kullanılan 1050 m³ gün⁻¹ proses suyunun, yıkama suyu olarak kullanımında 53°C'ye kadar ısıtılması için 7000 kcal enerji değerine sahip 10 ton gün⁻¹ kömür kullanılmaktadır. Bir günde çıkan atık çamur ve aynı miktarda enerji bitkisi ile kombine edilen 4.4 ton biyopelet ile elde edilen 89760 KJ/4.4 ton (gün) enerji, tesisin enerji ihtiyacının %58'lik bir kısmını karşıladığında geri kalan %42'lik enerji açığını karşılamak için yaklaşık 2,5 ton kömüre ihtiyaç kalmaktadır.

Doğal bağlayıcı ve presleme başarısı olarak %50 arıtma çamuru %50 çeltik samanı karışımının optimum koşulları sağladığı, enerji veriminin karışımda çeltik samanı arttıkça yükseldiği, ekonomikliğin arıtma çamuru arttıkça arttığı, 50:50 karışımda ise %46,83 maliyet avantajı sağlandığı bildirilmektedir [22]. Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında ekonomik analiz yapılmamış fakat, benzer şekilde 50:50 karışım oranı ile ısıtma suyu enerjisinin %58'ini karşılayabileceği bulunmuştur. Yağ-gres oranı yüksek zeytin yağı proses atıkları peletin enerji değerini yükseltmektedir [33]. Bu çalışmada da yağ-gres oranı yüksek arıtma çamuru peletin enerji değerini yükseltmiştir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, uygun bir şekilde bertaraf edilmediğinde içerisindeki patojenik mikroorganizmaların varlığı nedeniyle sağlık açısından bir tehdit olan tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurunun alternatif yakıt olarak kullanımı araştırılıp kullanılabilir biyoyakıt kaynağı olarak geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Arıtım maliyetlerine büyük bir yük getirmesi nedeniyle enerji geri dönüşümü için tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurunun katı yakıt olarak kullanılması, özellikle kullanılmayan bir yan üründen elde edilebilecek alternatif enerji üretim şekli olarak gelecek vaat eden bir teknolojidir.

Ancak tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurunun ham halinin enerji değeri düşük, yanma özellikleri kötü ve pratik yakma uygulamalarına uygun değildir. Bu nedenle yanma özelliklerinin iyileştirilmesi, enerji yoğunluğunun artırılması için çamur, biyokütle enerji bitkisi *Arundo donax* ile karıştırılarak biyopelet haline getirilmiştir.

Arıtma çamurundan enerji üretilmesi teknolojilerinin kullanımı için çamur karakterizasyonun belirlenmesi gerekir. Arıtma çamurunun ısı enerji değerinin iyileştirilmesi, çamurun kolay depolanabilmesi ve tam yanma sağlanabilmesi için içindeki su oranının azaltılması ön şart olarak değerlendirilmektedir. Yine yanma özellikleri daha iyi ve emisyon değerleri standartların oldukça altında olan enerji bitkilerinden karışım malzemesi olarak faydalanılması standardizasyonu ve kullanım kolaylığını sağlayabilir.

Bu çalışmada, bir tavuk kesimhanesi atıksu arıtma tesisinden alınan organik kökenli arıtma çamuru, %50 oranda *Arundo donax* enerji bitkisi ilave edilerek kullanılmış ve biyopelet üretimi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle arıtma çamurlarının bertarafı sağlanarak, yakıt olarak kullanılacak bir ürün ortaya çıkarılmıştır.

Arundo donax,

- Çok yıllık bir bitki olması ve üremesi için tohum ihtiyacı duymaması
- Farklı ekolojik şartlara uyum sağlayabilmesi ve hızlıca yayılabilmesi
- Biyokütle miktarının oldukça fazla olması
- Isıl değerinin yüksek olması
- Depoladığı karbon miktarının salınım yaptığı karbon miktarından fazla olması gibi birçok yönüyle avantajlı bir biyokütle kaynağıdır.

Arıtma çamuru ile enerji bitkisi *Arundo donax*'ın karışımından hazırlanan biyopeletin alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması ekonomik açıdan bir kazanç sağlayacağı gibi çevre ve insan sağlığının tehdit edici unsurların yok edilmesi açısından önemlidir.

Alternatif enerji kaynağı olarak arıtma çamurunun kullanılabilmesi için etkin faktör kalorifik değerdir. Çalışmada arıtma çamuruna *Arundo donax* eklenmesi ile tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurunun ısı enerjisi değeri iyileştirilmiş ve solar enerjiden yararlanılarak karışımların nem içeriğinin azaltılması için doğal kurutma işlemi yapılmıştır. Laboratuvarlarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucu tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurunun ortalama üst ısı değerleri 4882-5461 cal/g arasındadır.

Sonuçlar üretilen biyopeletin ticari yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Ölçülen ısı değeri istenilen miktarın üzerindedir. Bu özellik üretilen biyopeletin yakıt olarak verimli olduğunu göstermektedir.

Ayrıca tavuk kesimhanesi atıksu arıtma çamurunun yakma prosesi ile bertarafı ve yakma karakterini iyileştirecek enerji bitkileri ile biyoyakıt haline getirilmesi gibi konularda yapılacak çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Arıtma çamuru yanması sırasında veya birlikte yakma prosesi esnasında, tam yanma sağlanması için optimum sıcaklık, basınç ve nem miktarı belirlenip ayarlanmalıdır.

Biyoyakıt kullanımında peletleme teknolojisinin tercih edilmesi, çevre kirliliğine yol açmayacağı için doğadaki mevcut dengeyi de bozmayarak avantajlı bir yöntem olacaktır.

Enerjide dışa bağımlılığın azalması, yerli kaynakların değerlendirilmesi ve pelet haline getirilerek alternatif enerji üretilmesi ile mümkün olacaktır. Böylelikle pelet üretimi için kurulan tesislerde istihdam sağlanacaktır.

Bunun için pelet üretimi, devlet tarafından desteklenebilir ve teşvik edilerek alternatif enerji kaynaklarına olan ilgi arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Aksoy, E., & Dede, İ. (2014). Biyokütle Kaynağı Enerji Bitkileri Üretiminin İngiltere Modeli İle Türkiye'de Değerlendirilmesi. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, (s. 139-147). Samsun.
- [2] Civaş, N., & Koçar, G. (2014). Biyometan Potansiyelinin Artırılmasında Alternatif Enerji Bitkilerinin Fizibilitesi: Tarıma Entegre Olması Ve Geliştirilmesi. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, (s. 179-186). Samsun.
- [3] Sari, O. F., Ozdemir, S., Celebi, A. (2016). Utilization and Management of Poultry Slaughterhouse Wastes with New Methods. Eurasia Waste Management Symposium, Istanbul, Turkey.
- [4] Ozdemir, S., Yetilmezsoy, K., Nuhoglu, N. N., Dede, O. H., Turp, S. M. 2020. Effects of poultry abattoir sludge amendment on feedstock composition, energy content, and combustion emissions of giant reed (*Arundo donax* L.). J. King Saud Univ. Sci. 32(1), 149-155.
- [5] Metik, A. (2018). Zeytin Atığının Arıtma Çamuru İle Karıştırılıp Kurutulması Ve Peletlenerek Yakılmasından Oluşan Külün İnşaat Malzemesi Olarak Değerlendirme Olanaklarının İncelenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar Ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- [6] Sözen, E., Aydemir, D., Gündüz, G., & Güngör, E. (2017). Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi* 19(1), 148-160.
- [7] Küsek, G., Akdemir, Ş., Güngör, C., & Öztürk, H. H. (2015). Tarımsal Artıklardan Biyopelet Üretimi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 29(2), 137-145.

- [8] Ömürlü, N. (2010). Arıtma Çamurlarının Karakterizasyonu Ve Briket Kömür İmalatında Kullanımı. *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.*
- [9] Özgündüz, H. İ. (2020). Farklı Enerji Bitkileri Ve Organik Atıklar Kullanılarak Elde Edilen Enerji Peletlerinde Karakteristik Özelliklerin İncelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı Doktora Tezi.*
- [10] İnan, M. (2018). Arıtma Çamurunda Yetişen Enerji Bitkilerinin Emisyon Değerleri Ölçümü Ve Değerlendirilmesi. *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.*
- [11] Brosse, N., Dufour, A., Meng, X., Sun, Q., Ragauskas, A. (2012). Miscanthus: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(5), 580-598.
- [12] Özdemir ve Sezer, 2013. Kümes Atıklarının Organik Gübre ve Biyoyakıt Olarak Değerlendirilmesi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi* 10: 20-24.
- [13] Ozdemir, S., Dede, O. H., Inan, M., & Turp, S. M. (2018). Effects of sewage sludge on energy content and combustion emissions of energy crops. *Int. J. Agric. Biol*, 20(7), 1575-1580.
- [14] Arslan, M. B., Gümüştas, S., & Yücel, A. (2021). Gizli Kalmış Bir Enerji Kaynağı: Kargı Kamışı (*Arundo donax L.*). *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 12(1), 167-178.
- [15] Akbaş, S. (2011). Kargı (*Arundo donax L.*) Yıllık Bitkisinden Elde Edilen Biyo-yagın Odun Koruma Maddesi Olarak Etkinliğinin Araştırılması. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.*
- [16] Tüplek, A. (2011). Odun Talaşı ve Tozundan Pelet Biyoyakıt Üretilmesi ve Yanma Analizi. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.*

- [17] Ferreira, A., Kunh, S. S., Cremonez, P. A., Dieter, J., Teleken, J. G., Sampaio, S. C., Kunh, P. D. (2018). Brazilian poultry activity waste: Destinations and energetic potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 3081-3089.
- [18] Ozdemir, S., & Demir, M. S. (2021). Biofuel characteristics and combustion emissions of poultry litter and lignocellulosic biomass. *Environmental Progress&Sustainable Energy* 40(3), e13555.
- [19] Parlak, N., Ozdemir, S., Yetilmezsoy, K., & Bahramian, M. (2021). Mathematical Modeling of Thin-Layer Solar Drying of Poultry Abattoir Sludge. *International Journal of Environmental Research*, 15(1), 177-190.
- [20] Oh, S., & Yoon, Y. (2017). Energy Recovery Efficiency of Poultry Slaughterhouse Sludge Cake by Hydrothermal Carbonization. *Energies* 10, 1876.
- [21] Özdemir, S., & Er, A. (2018). Tavuk Gübresi ve Tarımsal Atıkların Biyoyakıt Karakterlerinin İncelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 22(2), 489-494.
- [22] Duangjaiboon, K., Kitiwan, M., & Kaewpengkrow, P. R. (2021). Co-pelletization of industrial sewage sludge and rice straw: characteristics and economic analysis. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10(3): 653-662.
- [23] Li, H., Jiang, L. B., Li, C. Z., Liang, J., Yuan, X. Z., Xiao, Z. H., ... & Wang, H. (2015). Co-pelletization of sewage sludge and biomass: The energy input and properties of pellets. *Fuel processing technology*, 132, 55-61.
- [24] Cui, X., Yang, J., Shi, X., Lei, W., Huang, T., & Bai, C. (2019). Pelletization of sunflower seed husks: Evaluating and optimizing energy consumption and physical properties by response surface methodology (RSM). *Processes*, 7(9), 591.
- [25] Ozdemir, S., & Yetilmezsoy, K. (2020). A mini literature review on sustainable management of poultry abattoir wastes. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 22(1), 11-21.
- [26] Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89(5), 913-9

- [27] Garcia-Maraver, A., Perez-Jimenez, J.A., & Serrano-Bernardo F., & Zamorano, M. (2015). Determination and comparison of combustion kinetics parameters of agricultural biomass from olive trees. *Renewable Energy*, vol. 83, pp. 897-904.
- [28] Yoon, Y., Kim, S., Oh, S., & Kim, C. (2014). Potential of anaerobic digestion for material recovery and energy production in waste biomass from a poultry slaughterhouse. *Waste Management* 34(1), 204-209.
- [29] Amorim, A. K. B., De Nardi, I. R., Del Nery, V. (2007). Water conservation and effluent minimization: Case study of a poultry slaughterhouse. *Resources, Conservation and Recycling*, 51(1), 93-100.
- [30] Jiang, L., Yuan, X., Xiao, Z., Liang, J., Li, H., Cao, L., Zeng, G. (2016). A comparative study of biomass pellet and biomass-sludge mixed pellet: Energy input and pellet properties. *Energy Conversion and Management*, 126, 509-515.
- [31] Kocabaş-Ataklı, Z. Ö., Okyay-Öner, F., Yürüm, Y. (2015). Combustion characteristics of Turkish hazelnut shell biomass, lignite coal, and their respective blends via thermogravimetric analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 119(3), 1723-1729.
- [32] Yilmaz, E., Wzorek, M., & Akçay, S. (2018). Co-pelletization of sewage sludge and agricultural wastes. *Journal of environmental management*, 216, 169-175.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aslı Şimşek

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / İş Sağlığı ve Güvenliği	2021
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği	2019
Lise	Ulubey Anadolu Lisesi	2015

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2021-Halen	ADS Metal	Kalite Kontrol Müh
2020-2021	Koçbey Grup Fuska Doğal Kaynak Suyu	Kalite Kontrol Müh

YABANCI DİL

İngilizce