

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİ BİTKİLERİNDE
BİYODİZEL ÜRETİMİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet BİRİNCİOĞLU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİ BİTKİLERİNDE
BİYODİZEL ÜRETİMİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet BİRİNCİOĞLU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Cemile DEDE

ŞUBAT 2024

Mehmet BİRİNCİOĞLU tarafından hazırlanan “Arıtma Çamurlarının Enerji Bitkilerinde Biyodizel Üretimine Etkileri” adlı tez çalışması 09.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Nazire P. TANATTI Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Cemile DEDE Sakarya Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİ BİTKİLERİNDE BİYODİZEL ÜRETİMİNE ETKİLERİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete ’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

09/02/2024

Mehmet BİRİNCİOĞLU



TEŞEKKÜR

Tüm eğitim hayatım boyunca desteğini esirgemeyen başta babam ve anneme, 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 Dr. Öğr. Üyesi Cemile DEDE ye, eli hep üzerimde olan hayata bakış açımı değiştiren değerli hocam Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE ye, her an yardımını aldığım değerli hocam Arş. Gör. Hasan ÖZER'e, yoğun çalışmalarım esnasında gösterdiği sabır ve verdiği tüm destekler için eşim Şule BİRİNCİOĞLU'na, ve son olarak kahramanı olduğum bir tanecik kızım Nil BİRİNCİOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet BİRİNCİOĞLU

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2022-7-24-147 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	5
2.1. Biyo Yakıtlar ve Çeşitleri	6
2.1.1. Biyo alkoller	6
2.1.2. Biyo dizel	6
2.1.3. Alg temelli biyo yakıtlar	7
2.2. Biyodizel Üretimi ve Kullanımı	8
2.3. Biyodizel üretiminde kullanılan bitki türleri	10
2.4. Ricinus communis L. (Castor Been)	11
2.5. Arıtma Çamurlarının Enerji Bitkisi Yetiştirilmesinde Kullanımı	12
2.6. Konuyla İlgili Olarak Daha Önce Yapılmış Bilimsel Çalışmalar	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Çalışmanın uygulama alanı	20
3.2. Çalışmanın uygulama bahçesi	21
3.3. Yetiştirme ortamı ve arıtma çamurunun temini	22
3.4. Yetiştirme ortamı karışımlarının hazırlanması	23
3.5. Bitki denemelerin hazırlanması	24
3.6. Ricinus communis L. (Castor Been) bitkisinde yapılan ölçümler ve tohumlarının hasat edilmesi	26
3.7. Ricinus communis L. (Castor Been) bitkisi tohumlarından yağ eldesi	27
3.8. Kimyasal özelliklerin belirlenmesi için kullanılan yöntemler	28
3.9. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	31
4.1. Arıtma çamuru uygulamasının yetiştirme ortamlarının kimyasal özelliklerine etkisi	32
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	49



KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
Ca	: Carbon Dioxide Equivalent
Cu	: Bakır
CH₄	: Metan
CO	: Karbon Monoksit
DCO	: Dekarbonilasyon
DSİ	: Devlet Su İşleri
EC	: Elektriksel İletkenlik
Fe	: Demir
GJ	: Giga Joule
Ha	: Hektar
KOK	: Kalıcı Organik Kirleticiler
K₂O	: Potasyum hidroksit
KOH	: Potasyum Hidroksit
Mg	: Magnezyum
Mn	: Sodyum Hidroksit
NPK	: İçeriğinde Azot-Fosfor-Potasyum Bulunan Gübre
NaOH	: Sodyum Hidroksit
PAÇ	: Torf-Aritma Çamuru
P	: Torf
PH	: Çözeltinin Asitlik-Bazlık Derecesi
P₂O₅	: Fosfor Pentoksit
SS	: Arıtma Çamuru
SSA	: Arıtma Çamuru Islahı
SO₂	: Sodyum Hidroksit
TAÇ	: Toprak Arıtma Çamuru
T	: Toprak
Zn	: Çinko
µs	: Mikrosaniye



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Biyodizel üretiminde kullanılan bitki türleri ve yağ oranları [18].	10
Tablo 2.2. <i>Ricinus communis</i> L. (Castor Been) bitkisinin sınıflandırması	11
Tablo 3.1. Yetiştirme ortamlarının karışım oranları.....	23
Tablo 3.2 Arıtma çamuru, toprak ve uygulamaların kimyasal karakterizasyonu için kullanılan yöntemler.....	29
Tablo 4.1. Yetiştirme ortamlarının kimyasal özellikleri	33
Tablo 4.2. Saha uygulamasındaki toprak numunelerinin kimyasal özellikleri	39





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Biyo yakıt türleri [18].	8
Şekil 2.2. Biyodizel üretim prosesi akım şeması [18].	9
Şekil 2.3. Ricinus communis L. (Castor Been) bitkisi.....	12
Şekil 3.1. Çalışma uygulama alanı.....	21
Şekil 3.2. Çalışma uygulama bahçesi	22
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan arıtma çamurları.....	23
Şekil 3.4. Torf ve arıtma çamuru kullanılan yetiştirme ortamı numuneleri.....	24
Şekil 3.5. Toprak ve arıtma çamuru kullanılan yetiştirme ortamı numuneleri	24
Şekil 3.6. Saha çalışması için çimlendirilen castor been tohumları.....	25
Şekil 3.7. Saksılı denemelerde çimlendirilen castor been tohumları	25
Şekil 3.8. İki yıl sonunda ki Ricinus communis L. (Castor Been) bitkileri.....	26
Şekil 3.9. Hasat edilen Ricinus communis L. (Castor Been) tohumları	27
Şekil 3.10.Castor Been tohumlarından yağ elde edilmesi	28
Şekil 3.11. Castor Been yağı.....	28
Şekil 4.1. Yetiştirme ortamlarının toplam azot içeriği.....	34
Şekil 4.2. Yetiştirme ortamlarının fosfor içeriği.....	35
Şekil 4.3. Yetiştirme ortamlarının potasyum içeriği.....	35
Şekil 4.4. Yetiştirme ortamı uygulamalarında ölçülen bitki boyları.....	37
Şekil 4.5. Yetiştirme ortamı uygulamalarında ölçülen bitki gövde çapları	38
Şekil 4.6. Toprak numunelerinin toplam azot içeriği	39
Şekil 4.7. Toprak numunelerinin fosfor içeriği.....	39
Şekil 4.8. Toprak numunelerinin potasyum içeriği.....	40
Şekil 4.9. Toprak uygulamalarında ölçülen bitki boyları	41
Şekil 4.10. Toprak uygulamalarında ölçülen bitki gövde çapları	41
Şekil 4.11. Toprak uygulamalarında bitki başına elde edilen tohum miktarları.....	42
Şekil 4.12. Toprak uygulamalarındaki tohum yağ oranlar	42



ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİ BİTKİLERİNDE BİYODİZEL ÜRETİMİNE ETKİLERİ

ÖZET

Uzun zamandır kullanılan geleneksel fosil yakıtlara, hem doğal çevreye verdikleri zararların artık insan hayatını doğrudan etkilemeye başlaması, hem de miktarları azaldıkça maliyetlerindeki önemli artış gibi nedenlerle yeni alternatif arayışları sürmektedir. Ancak en önemli alternatifleri oluşturan güneş, rüzgar vb. yenilenebilir kaynaklarla yalnızca elektrik enerjisi üretilebildiğinden, bu kaynaklardan üretilen enerjilerin kullanılabilmesi için mevcut teknolojilerin ya bütünüyle yenilenmesi veya önemli ölçüde revizyona uğraması gerekmektedir. Oysaki biyodizel üretimi, konvansiyonel fosil yakıtlarla çalışan mevcut teknolojilere doğrudan uyumlu olmasından dolayı, yenilenebilir enerjilere tamamen geçiş sürecinde çok önemli bir yere sahiptir. Biyodizel üretiminde çeşitli bitkilerden üretilen yağlar kullanılmaktadır. Ancak bu bitkilerin yetiştirme koşulları ile biyodizel verimleri arasındaki ilişkileri açıklayan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmanın temel amacı; biyodizel üretiminde kullanılma potansiyeli yüksek olan *Ricinus communis* L. (castor bean) bitkisinin, günümüzün en önemli organik kökenli katı atıklarından biri olan arıtma çamurlarında yetiştirilmesi ve bu uygulamanın biyodizel verimine olan etkilerinin incelenmesi ve son yıllarda büyük oluşum miktarları nedeniyle en önemli katı atıklardan birisi konumuna gelen arıtma çamurları için alternatif bir bertaraf yöntemi önerilmesidir.

Çalışmada arıtma çamurlarının Euphorbiaceae ailesine ait yenmeyen yağlı tohumlu bir bitki olan *Ricinus communis* (castor been) bitkisinin büyüme, tohum ve yağ eldesi ve dolayısı ile biyodizel üretimine olan etkilerinin incelenmesi amacıyla evsel atık su arıtma çamurları değişik oranlarda saksılı ve toprakta yetiştiricilikte denenmiştir. Saksılı denemeler ile, arıtma çamuru ilavesinin *Ricinus communis* L. bitki büyümesine olan etkileri incelenirken, toprakta gerçekleştirilen denemelerde, arıtma çamurunun *Ricinus communis* L. bitkisinin tohum miktarı, yağ verimi ve biyodizel üretimine olan etkileri incelenmiştir.

Arıtma çamuru ilavesinin *Ricinus communis* L. bitkisinin büyümesine olan etkilerinin incelenmesi için, toprak ve ticari torfa değişen (%12.5, %25 ve %50; %V/V) oranlarda arıtma çamuru ilave edilerek yetiştirme ortamı karışımları hazırlanmıştır. Arıtma çamurları, karışımlarda kullanılmadan önce solar kurutma ile kurutulmuştur.

Saha çalışması için *Ricinus communis* L. bitkisinin tohumları viyollerde çimlendirilmiş, saksıda 15 cm boya ulaşana kadar büyütülen bitkiler, tesadüf parselleri deneme planına göre her uygulamada beş tekerrür olacak şekilde dikilmiş ve iki yıl büyütülmüştür.

Diğer taraftan arıtma çamurunun bitki büyümesine olan etkilerinin incelendiği denemeler için, tohumlar yetiştirme ortamı karışımları ile doldurulmuş 5 litrelik saksılara dikilmiş ve orada çimlenmesi ve büyümesi sağlanmıştır.

Toprak denemeleri ve saksılı uygulamalardaki bitkilerin, birinci ve ikinci yetiştirme yılları sonunda boyları ve gövde çapı ölçülmüştür. Toprak denemelerinde iki yıl büyütülen *Ricinus communis* L. bitkisinin tohumları her yıl hasat edilmiştir. Tohumlar hasattan sonra kurutulmuş ve her bir uygulamadan alınan tohum miktarını belirlemek amacıyla ayrı ayrı tartılmıştır. Tohumlardan yağ eldesi otomatik sıkma ile gerçekleştirilmiştir.

Arıtma çamuru ilavesinin yetiştirme ortamlarının makro ve mikro besin elementi içeriğini yükselttiği görülmüştür. Toprak kullanılan yetiştirme ortamlarında en yüksek mikro besin elementi içeriğinin %50 arıtma çamuru kullanılan uygulamada (Zn: 16.32 mg/kg, Cu: 7.32 mg/kg, Mn: 4.92 mg/kg) ölçülmüş, benzer şekilde torf kullanılan yetiştirme ortamları arasında en yüksek bitki besin elementi içeriği de yine %50 arıtma çamuru içeren uygulamada (Zn: 45.94 mg/kg, Cu: 9.12 mg/kg, Mn: 5.92 mg/kg) belirlenmiştir.

Arıtma çamuru ilavesi yetiştirme ortamlarının makro bitki besin elementi içeriğini de artırmıştır. Toprak ve arıtma çamuru karışımı ile hazırlanan yetiştirme ortamlarında en yüksek azot oranı %0.64, torf içeren yetiştirme ortamlarında ise %2.08 olarak %50 arıtma çamuru içeren uygulamalarda ölçülmüştür.

Toprak kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarında en yüksek fosfor içeriği 122 mg/kg olarak belirlenmiştir. Torf kullanılan yetiştirme ortamlarında ise, en yüksek fosfor değeri en fazla arıtma çamuru kullanılan uygulamadan elde edilmiştir. En yüksek potasyum değeri %50 torf ve %50 arıtma çamuru kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamında ölçülmüştür.

Saksılarda iki yıl büyütülen bitkilerin, birinci ve ikinci yıl sonundaki boyları ölçülmüştür. Birinci yıl ölçülen en yüksek bitki boyu 0.96 m bulunurken ikinci yıl ölçülen en yüksek bitki boyu 1.4 m olmuştur. Her iki büyüme yılı sonunda, en yüksek bitki boylarının ölçüldüğü uygulama %50 torf ve %50 arıtma çamuru karışımından oluşan uygulamadır. En düşük bitki boyları ise birinci ve ikinci yılda sırasıyla 0.62 m ve 1.05 m olarak %87,5 toprak ve %12,5 arıtma çamuru içeren uygulamada ölçülmüştür. Arıtma çamuru kullanılan tüm yetiştirme ortamlarında elde edilen bitki boyu değerleri, kontrol amacıyla kullanılan %100 toprak (1.yıl: 0.49 m, 2.yıl: 0.62 m) ve torf (1.yıl: 0.56 m, 2.yıl: 0.79 m) doldurulmuş saksılarda yetiştirilen bitkilerin birinci ve ikinci yıl sonundaki bitki boyu değerlerinin üzerinde olmuştur.

Arıtma çamurlarının, *Ricinus communis* L. bitkisinin büyümesine olan olumlu etkileri bitki gövde çapı sonuçlarında da açıkça görülmüştür. Saksı denemelerinde, birinci yıl sonunda ölçülen en yüksek gövde çapı değeri 1.7 cm ile en yüksek oranda arıtma çamuru içeren %50 torf ve %50 arıtma çamuru içeren uygulamada ölçülürken, ikinci yıl sonundaki en yüksek gövde çapı 2.3 cm ile yine bu uygulamada belirlenmiştir. Saksı denemelerinde ölçülen en düşük gövde çapı değeri %100 toprak kullanılan kontrol uygulamasında (0.4 cm) birinci yetiştirme yılı sonunda bulunmuştur.

Çalışma kapsamında Sakarya İli Karasu İlçesinde (Türkiye) bulunan bir bahçede, toprağa iki farklı oranda (SSW1:25 ton/ha, 50 SSW1 ton/ha) arıtma çamuru uygulanmış ve bu uygulamanın *Ricinus communis* L. bitkisinin büyüme ve tohum verimine etkileri incelenmiştir. Uygulama bahçesi silty-sandy toprak texture sahiptir (44.7% silt, 38.9% sand, 16.4% clay). Elde edilen sonuçlar, arıtma çamuru ilavesinin, içeriğindeki yüksek orandaki makro ve mikro besin elementleri ile toprağın bitki büyütme potansiyeline etki eden kimyasal özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Arıtma çamuru kullanılan her iki uygulamada da elde edilen toplam azot, potasyum ve

fosfor değerleri, kontrol uygulaması olan arıtma çamuru uygulanmamış topraktaki değerlerden yüksek bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek bitki boyu 3.29 m ile en yüksek miktarda arıtma çamuru kullanılan uygulama olan SSW2 uygulamasında görülmüştür. Kontrol uygulaması olarak kullanılan çamur uygulanmamış toprakta yetiştirilen bitkilerin ortama boyları 2.32 m olarak bulunmuştur. En yüksek gövde çapı 4,1 cm olarak en fazla SS kullanılan uygulamada gözlenmiştir. İlk yıl bitkiden elde edilen tohum miktarı düşük gerçekleşmiştir. Çalışma kapsamında, SSW2, SSW1 ve kontrol uygulamasından bitki başına elde edilen tohum miktarları sırasıyla 0.58 kg, 0.23 kg ve 0.15 kg olarak gerçekleşmiştir. Tohumların yağ içerikleri incelenmiş ve en yüksek yağ içeriğinin 45.82% ile en çok arıtma çamuru kullanılan SSW2 uygulamasında elde edildiği görülmüştür. Diğer amur kullanılan uygulama olan SSW1 uygulamasında bulunan tohum yağ içeriği 44.98% ve kontrol uygulamasından elde edilen yağ içeriği 44.12% olmuştur.

Çalışmada elde edilen tüm sonuçlar bir btn olarak değerlendirildiğinde arıtma çamuru uygulamasının toprağın kimyasal özelliklerini ve bitki büyütme potansiyelini önemli ölçüde iyileştirdiği söylenebilir.



EFFECTS OF SEWAGE SLUDGE ON BIODIESEL PRODUCTION IN ENERGY CROPS

SUMMARY

The search for new alternatives to traditional fossil fuels, which have been used for a long time, continues due to the fact that the damage they cause to the natural environment is now directly affecting human life and the significant increase in their costs as their quantities decrease. However, the most important alternatives are solar, wind, etc. Since only electrical energy can be produced from renewable sources, existing technologies must either be completely renewed or significantly revised in order to use the energy produced from these sources. However, biodiesel production has a very important place in the process of complete transition to renewable energies, as it is directly compatible with existing technologies that work with conventional fossil fuels. Oils produced from various plants are used in biodiesel production. However, studies explaining the relationships between the growing conditions of these plants and their biodiesel yield are quite limited.

The main purpose of this study is to grow the *Ricinus communis* L. (castor bean) plant, which has a high potential to be used in biodiesel production, in sewage sludge (SS), one of the most important organic solid wastes of today, to examine the effects of this application on biodiesel yield and to propose an alternative disposal method for sewage sludge, which has become one of the most important solid wastes in recent years due to its large formation amounts.

In the study, domestic wastewater treatment sludge was tested in potted and soil cultivation at different rates in order to examine the effects of SS on the growth, seed and oil production and therefore biodiesel production of *Ricinus communis* L., an inedible oilseed plant belonging to the Euphorbiaceae family.

While the effects of SS addition on *Ricinus communis* L. plant growth were examined in potted experiments, the effects of sewage sludge on seed quantity, oil yield and biodiesel production of *Ricinus communis* L. plant were examined in soil trials. To examine the effects of sewage sludge addition on the growth of *Ricinus communis* L. plant, growing medium mixtures were prepared by adding sewage sludge to soil and commercial peat at varying rates (12.5%, 25% and 50%; v/v%). SS was dried by solar drying before being used in mixtures.

In the field study SS was applied to the soil at two different rates (25, 50 tons/ha) in a garden located in Karasu District of Sakarya Province (Türkiye), and the effects of this application on the growth and seed yield of *Ricinus communis* L. (castor bean) plant were examined. The garden has a silty-sandy soil texture (44.7% silt, 38.9% sand, 16.4% clay). The SS that used was taken from the Karasu biological domestic wastewater treatment plant and dried by solar drying (90% DW). After the *Ricinus communis* L. seeds were germinated in the viols (15 cm), they were planted in 5 replicates in each application according to the randomized plots trial plan and their growth was monitored for two years.

In the experiments examining the effects of sewage sludge on plant growth, the seeds were planted in 5-liter pots filled with growing medium mixtures and allowed to germinate and grow there.

The height and stem diameter of the plants in soil trials and potted applications were measured at the end of the first and second growing years. The seeds of the *Ricinus communis* L. (Castor Bean) plant, which was grown for two years in soil experiments, were harvested every year. Seeds were dried after harvest and weighed individually to determine the amount of seed removed from each treatment. Oil extraction from seeds was carried out by automatic squeezing.

It has been observed that the addition of sewage sludge increases the macro and micro nutrient content of the growing media. In the growing media using soil, the highest micronutrient content was measured in the application using 50% SS (Zn: 16.32 mg/kg, Cu: 7.32 mg/kg, Mn: 4.92 mg/kg), and similarly, among the growing media using peat, the highest plant nutrient element content was determined in the application containing 50% SS (Zn :45.94 mg/kg, Cu: 9.12 mg/kg, Mn: 5.92 mg/kg).

The addition of sewage sludge also increased the macro plant nutrient content of the growing media. The highest nitrogen content was measured as 0.64% in growing media prepared with a mixture of soil and sewage sludge, and 2.08% in growing media containing peat, in applications containing 50% SS.

The highest phosphorus content in growing media prepared using soil was determined as 122 mg/kg. In growing media using peat, the highest phosphorus value was obtained from the application using the most sewage sludge. The highest potassium value was measured in the growing medium prepared using 50% peat and 50% SS.

The heights of the plants grown in pots for two years were measured at the end of the first and second year. The highest plant height measured in the first year was 0.96 m, while the highest plant height measured in the second year was 1.4 m. At the end of both growth years, the application in which the highest plant heights were measured was the application consisting of a mixture of 50% peat and 50% SS. The lowest plant heights were measured in the application containing 87.5% soil and 12.5% SS, as 0.62 m and 1.05 m in the first and second years, respectively.

The plant height values obtained in all growing environments using SS were above the plant height values at the end of the first and second year of the plants used for control purposes and grown in pots filled with 100% soil (1.year: 0.49 m, 2.year: 0.62 m) and peat (1st year: 0.56 m, 2nd year: 0.79 m).

The positive effects of SS on the growth of *Ricinus communis* L. were clearly seen in the plant stem diameter results. In pot experiments, the highest stem diameter value measured at the end of the first year was 1.7 cm in the application containing the highest amount of SS, containing 50% peat and 50% SS, while the highest stem diameter value at the end of the second year was determined in this application with 2.3 cm. The lowest stem diameter value measured in pot experiments was found at the end of the first growing year in the control application (0.4 cm) using 100% soil.

In the field experiments, SS was applied to the soil at two different rates (SSW1:25, SSW2:50 tons/ha) in a garden located in Karasu District of Sakarya Province (Türkiye), and the effects of this application on the growth and seed yield of *Ricinus communis* L. (castor bean) plant were examined. The garden has a silty-sandy soil texture (44.7% silt, 38.9% sand, 16.4% clay).

The results obtained showed that the addition of SS improved the chemical properties of the soil that affect plant growth potential with its high content of macro and micro nutrients. Total nitrogen, potassium and phosphorus values obtained in both applications using SS were found to be higher than the values in the soil without treatment sludge, which is the control application.

According to the results of field trails obtained, the highest plant height, 3.29 m, was seen in the application using the highest amount of SS. The average height of *Ricinus communis L.* plants grown in soil without SS as a control application was found to be 2.32 m. The highest stem diameter, 4.1 cm, was observed in the application using the highest amount of SS. The seed amount of the plant at the end of the first year was low. The amount of seeds obtained per plant from SSW2, SSW1 and control applications were 0.58 kg, 0.23 kg and 0.15 kg, respectively.

The oil content of the seeds was examined and it was seen that the highest oil content was obtained in the SSW2 application with 45.82%. The seed oil content in the SSW1 treatment was 44.98% and the oil content in the control treatment was 44.12%.

The results of the study are evaluated as a whole, it can be said that the application of sewage sludge significantly improves the chemical properties and plant growth potential of the soil.



1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan fosil yakıtlar, endüstrileşme ve teknolojik ilerleme ile birlikte küresel çapta yaygın bir kullanım bulmuştur. Petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar, enerji taleplerini karşılamak adına yaygın olarak kullanılsa da, bu kullanımın beraberinde getirdiği iklim değişikliği sorunları, insanlığın karşılaştığı en büyük zorluklardan biri haline gelmiştir. Fosil yakıtların neden olduğu sera gazı emisyonları, atmosferdeki sıcaklık artışına katkıda bulunur. Bu durum, iklimde değişikliklere yol açar ve bu değişiklikler, küresel ısınma, buzulların erimesi, deniz seviyelerinde yükselme, aşırı hava olayları ve ekosistemlerde dengesizlik gibi birçok olumsuz etkiye sebep olur. Ayrıca, kuraklık, seller, kasırgalar gibi aşırı hava olayları sıklıkla yaşanır hale gelir, tarım ve su kaynakları üzerinde baskı oluşturarak gıda güvenliğini tehlikeye atar [1].

Mevcut durumda enerji talebinin artması ve fosil yakıtların sürdürülebilirlik sorunlarıyla karşılaşması, alternatif enerji kaynaklarına yönelik araştırmaları hızlandırmıştır. Bununla birlikte son yıllarda iklim değişikliği, dünya genelinde ciddi bir tehdit oluşturarak çevre, ekonomi ve sosyal dengeleri sarsmaktadır. İklim değişikliği ile mücadele, küresel düzeyde birçok ülkenin ve uluslararası kuruluşun öncelikli gündem maddelerinden biri haline gelmiştir. Bu küresel soruna karşı alınması gereken tedbirler arasında öne çıkan stratejilerden biri de yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasıdır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi ve Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı gibi küresel ölçekteki girişimler, kapsamlı bir strateji ile sürdürülebilir enerjiye geçişi hedeflemektedir [2]. Bu doğrultuda geliştirilen politikalarla, güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyoenerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak teşvik edilmekte ve sürdürülebilir enerji projelerinin hayata geçirilmeleri sağlanmaktadır. Bu bağlamda, biyodizel gibi bugünün yakma teknolojilerine uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, hem enerji üretimi hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyele sahiptir [2, 3].

Biyodizel, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak öne çıkan biyoenerji kategorisine dahil edilen bir yakıttır. Biyodizel üretimi genellikle biyokütle kaynaklarından elde edilen yağların veya bitkisel yağların transesterifikasyon işlemiyle biyodizel ve gliserol adlı yan ürünlere dönüştürülmesini içerir. Biyodizel üretimi ve kullanımı, çeşitli avantajlar sağlayarak fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmayı ve çevresel sürdürülebilirliği artırmayı amaçlar. Bu durum biyodizel üretiminin, fosil yakıtların üretimi ve kullanımı ile kıyaslandığında daha düşük karbon salımı oluşturmamasından dolayıdır. Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel yağların eldesi için yetiştirilen bitkilerin büyümesi sırasında atmosferden karbon dioksit alınır ve bu bitkilerden elde edilen biyoyakıtların yanması sırasında salınan karbon, bitkinin absorbe ettiği kadar olur [4].

Dünya genelinde biyodizel üretimi ve kullanımı, enerji güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği gibi faktörlerle yakından ilişkilidir. Birçok ülke, biyodizel kullanımını destekleyen politikalar geliştirerek, biyoenerji sektörünü teşvik etmeye çalışmaktadır. Ancak, bu konuda farklı ülkeler arasında büyük farklılıklar bulunmakta ve biyodizel üretiminde kullanılan ham maddelerin sürdürülebilirliği üzerindeki endişeler devam etmektedir. Bundan dolayıdır ki biyodizel üretiminde kullanılan hammaddelerin sürdürülebilir olarak elde edilebilmesi için yeni alternatifler geliştirilmesine ihtiyaç vardır [5].

Evsel atık su arıtma tesislerinde ortaya çıkan çamurlar, su arıtma işlemlerinin bir yan ürünü olarak ortaya çıkar. Bu çamurlar, arıtma süreci sonunda suyun içinden giderilen kirleticiler ve partiküllerin bir araya gelmesiyle oluşur. Evsel atık su arıtma çamurları, genellikle organik ve inorganik maddeler, mikroorganizmalar ve su arıtma kimyasalları içerir. Bu çamurların etkili bir şekilde bertaraf edilmesi, çevresel sürdürülebilirlik ve halk sağlığı açısından kritik bir öneme sahiptir [6].

Evsel atık su arıtma çamurlarının bertarafında kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin başında çamurların yakılması veya depolanması gibi geleneksel bertaraf yöntemleri gelmektedir. Ancak, bu yöntemlerin çevresel etkileri ve enerji kullanımı göz önüne alındığında, daha sürdürülebilir ve yenilikçi çözümlere ihtiyaç olduğu açıktır. Evsel atık su arıtma çamurlarının etkili ve çevre dostu bir şekilde bertaraf edilmesi, su arıtma tesislerinin çevresel etkilerini en aza indirerek sürdürülebilir bir su yönetimi sağlamak için önemlidir.

Bunun yanında evsel atık su arıtma çamurlarının bertarafı için tarım arazilerine gübre olarak kullanılması ve çamurların içerdiği organik malzemelerin bakteriyel fermentasyonu yoluyla metan gazına dönüştürülmesi gibi daha çevreci yöntemlerde mevcuttur. Ancak, bu yöntemlerde arıtma çamurların içerdiği zararlı maddelerin kontrol altında tutulması ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi önemlidir [7, 8].

Bu çevreci yaklaşımların bütünleşik bir uygulaması olarak ortaya çıkan, atık su arıtma çamurlarının enerji bitkisi yetiştirilmesinde kullanılması ise en yenilikçi ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu uygulama, çamurların içerdiği besin maddelerinin, enerji bitkilerinde istenen hızlı bitki büyümesini sağlamak için bir kaynak olarak kullanılmasına dayanır. Arıtma çamurları, organik madde ve besin elementleri bakımından zengindir ve bu zengin içerik enerji bitkileri gibi tarımsal ürünlerin yetiştirilmesinde kullanılacak verimli bir kaynak haline getirilebilir [9, 10, 11].

Bu yöntem ile atık su arıtma çamurları, enerji bitkisi yetiştirmek için tarım arazilerinde veya özel yetiştirme alanlarında kullanılabilir. Çamurların içeriğindeki azot, fosfor ve diğer makro ve mikro bitki besin maddeleri hızlı bitki büyümesi için gerekli olan elementleri sağlar. Bu kullanım şekli, atık su arıtımı sonucu ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesi ve enerji bitkilerinin üretimi arasında bir köprü oluştururken, çevresel etkileri azaltarak sürdürülebilir bir döngü oluşturabilir. Ancak, bu uygulama sırasında çamurların içerdiği zararlı maddelerin bitkilere geçişini ve çevresel riskleri kontrol altında tutmak önemlidir. Ayrıca, çamurun içeriğine bağlı olarak bitkilerin büyümesi ve verimliliği üzerinde farklı etkiler olabileceğinden, sürecin dikkatlice izlenmesi ve yönetilmesi gerekebilir [9, 10, 11].

Bu çalışmanın temel amacı, biyodizel üretiminde kullanılma potansiyeli yüksek olan castor bean (*Ricinus communis*) bitkisinin, günümüzün en önemli organik kökenli katı atıklarından biri olan arıtma çamurlarında yetiştirilmesi ve bu uygulamanın biyodizel verimine olan etkilerinin incelenmesi ve son yıllarda büyük oluşum miktarları nedeniyle en önemli katı atıklardan birisi konumuna gelen arıtma çamurları için alternatif bir bertaraf yöntemi önerilmesidir.

Bu temel hedef doğrultusunda tasarlanan ve tamamlanan çalışma, aşağıda maddeler halinde belirtilen hedeflere ulaşmayı amaçlamıştır.

- Farklı oranlarda atık su arıtma çamuru kullanımının, castor bean (*Ricinus communis*) bitkisinin bitki büyüme koşulları ve verimliliği üzerindeki etkilerini belirlemesi
- Farklı arıtma çamuru oranlarının, castor bean (*Ricinus communis*) bitkisinin biyodizel üretiminde kullanılan tohumlarının miktarına ve elde edilen yağ oranına olan etkilerinin incelenmesi
- Castor bean bitkisinin yetiştirilmesinde evsel atık su arıtma çamurlarının kullanılmasının biyodizel üretimine olan etkilerinin ortaya koyulması
- Atık su arıtma çamurları gibi büyük oluşum miktarlarına sahip organik atıkların sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlayarak, çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunulması
- Enerji sektöründe sürdürülebilir alternatifler arayışında olan araştırmacılara, enerji politika yapıcılara ve endüstri kuruluşlarına ve belediyelere pratik uygulamalara yönelik alternatifler sunulması
- Alternatif enerji kaynakları ve katı atık bertarafı alanında bilimsel literatüre katkı sağlama

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

İnsanlığın erişmiş olduğu refah seviyesinin sürdürülebilmesi için en temel ihtiyaç enerjidir. Ancak günümüz şartlarında kullanılan enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtların kullanılması hem sınırlı rezervlere sahip olmaları, hem de başta iklim değişikliği olmak üzere birçok çevre sorununun nedeni olarak görülmesinden dolayı küresel ölçekte önemli bir endişe kaynağıdır [12, 13, 14].

Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl süren jeolojik süreçler sonucunda oluşan organik materyallerin ayrışmasıyla meydana gelir. Ancak, bu doğal süreçler, insanların tüketim hızıyla başa çıkamayacak kadar yavaştır. Petrol, özellikle, küresel enerji talebinin büyük bir kısmını karşılamak üzere kullanılırken, bu kaynağın rezervlerinin zaman içinde tükenmesi kaçınılmazdır. Bununla birlikte dünya genelinde kullanılan petrolün büyük bir kısmının belirli bölgelerden tedarik edilmesi, enerji arz güvenliği açısından oldukça sorunlu bir durumdur [12, 13, 14].

Fosil yakıtların sınırlı rezervlerine karşı bir çözüm, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha geniş çapta benimsenmesidir. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerji ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklar, sınırsız bir potansiyele sahiptir ve karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Ancak bu kaynaklardan üretilen enerji elektrik enerjisidir. Oysaki günümüzde sanayi tesisleri, evler ve ulaşım araçları gibi önemli ölçüde enerjiye ihtiyaç duyan unsurlardaki enerji tüketim teknolojileri daha çok petrol ve doğalgaz kökenli fosil yakıtlarla çalışmaktadır. Fosil yakıt teknolojilerinden elektrikli teknolojilere geçiş, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği açısından önemli bir adım olmasına karşılık, bu dönüşüm süreci belirli bir dizi faktöre ve yüksek bir maliyete bağlıdır. Fosil yakıt tabanlı enerji tüketiminden elektrik enerjisi tüketimine geçiş için önemli bir yeni altyapı dönüşümü gerekmektedir. Örneğin, elektrikli araçlar için şarj istasyonları, yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre eden enerji üretim tesisleri ve enerji depolama sistemleri gibi altyapı yatırımları bu dönüşümün önemli parçalarıdır. Elektrikli teknolojilere geçişte, araştırma, geliştirme ve inovasyon alanlarına büyük yatırımlar yapılması gereklidir.

Böylece daha verimli batarya teknolojileri, enerji depolama çözümleri, elektrikli araçlar ve temiz enerji üretim prosesleri geliştirilebilir [12, 13, 14].

Bununla birlikte mevcut teknolojilerle veya bu teknolojilerde yapılacak küçük modifikasyonlarla yenilenebilir enerjilerin kullanılabileceği alternatifler de vardır. Fosil yakıtlara göre çok daha az çevresel sorun oluşturan ve arz güvenliği ile yüksek sürdürülebilirliğe sahip bu alternatiflerden birisi biyoyakıtlardır.

2.1. Biyo Yakıtlar ve Çeşitleri

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemli alternatifleri oluşturan güneş, rüzgar vb. kaynaklarla yalnızca elektrik enerjisi üretilebildiğinden, bu kaynaklardan üretilen enerjilerin kullanılabilmesi için mevcut teknolojilerin ya bütünüyle yenilenmesi veya önemli ölçüde revizyona uğraması gerekmektedir. Oysaki biyo yakıt üretimi, konvansiyonel fosil yakıtlarla çalışan mevcut teknolojilere doğrudan uyumlu olmasından dolayı, yenilenebilir enerjilere tamamen geçiş sürecinde çok önemli bir yere sahiptir. Ayrıca güneş, rüzgar, hidro-enerji gibi yenilenebilir enerjilerin üretimi üzerinde hava koşullarının değişkenliğinin etkisi genellikle endişe kaynağı olmaktadır. Biyoenerji kullanımının hava koşullarından bağımsız olması enerji üretiminin daha yönetilebilir ve ihtiyaca göre üretilebilir olmasını sağlayabilir [15].

Ancak, biyoyakıtların fosil yakıtlara sürdürülebilir bir alternatif oluşturabilmesi için üretimin süreçlerinin ekonomik ve verimli hale getirilmesinin yanı sıra çevresel etkilerin de en aza indirilmesi gerekmektedir [16]. Biyodizel üretimi ve biyoyakıt olarak kullanılması sırasında ekolojik ve ekonomik faydalarının dikkate alınması oldukça önemlidir. Biyo yakıt üretim maliyeti büyük ölçüde hammaddeye bağlıdır. Hammadde taşımacılığı ile ilgili maliyetleri ve çevresel ayak izini azaltmak için biyo yakıtın hammaddenin bulunduğu bölgelerde üretilmesi tavsiye edilmektedir [17].

2.1.1. Biyo alkoller

Biyometanol, biyopropanol ve biyobutanol olarak sınıflandırılabilen biyo alkoller, enzimler ve mikroorganizmaların yardımıyla selüloz, glikoz, nişasta, karbonhidrat ve diğer şekerlerin alkol fermantasyonu yoluyla elde edilirler [18].

2.1.2. Biyo dizel

Biyodizel, uzun zincirli yağ asidi esterlerinden oluşan lignoselülozik biyokütle de dahil olmak üzere yenilenebilir hammaddelerden elde edilen dizel formlarıdır.

Biyodizel, hayvansal yağ, soya fasulyesi yağı veya diğer bitkisel yağlar gibi lipidlerin alkolle reaksiyona sokulması ve metil, etil veya propil ester üretilmesi yoluyla kimyasal olarak üretilir. Biyodizel üretimi sırasında yaygın olarak kullanılan katalizör, NaOH veya KOH'u içerir [18].

1.1.1. Yeşil dizel

Trigliseritlerin hidro-işlenmesi, bitkisel yağlarda hidrojenli yeşil dizel üretir. İşlem sırasındaki üç ana reaksiyon, hidroleoksisjenasyon (HDO), dekarbonilasyon (DCO) ve dekarboksilasyondur (DCO₂) [18].

1.1.2. Biyogaz

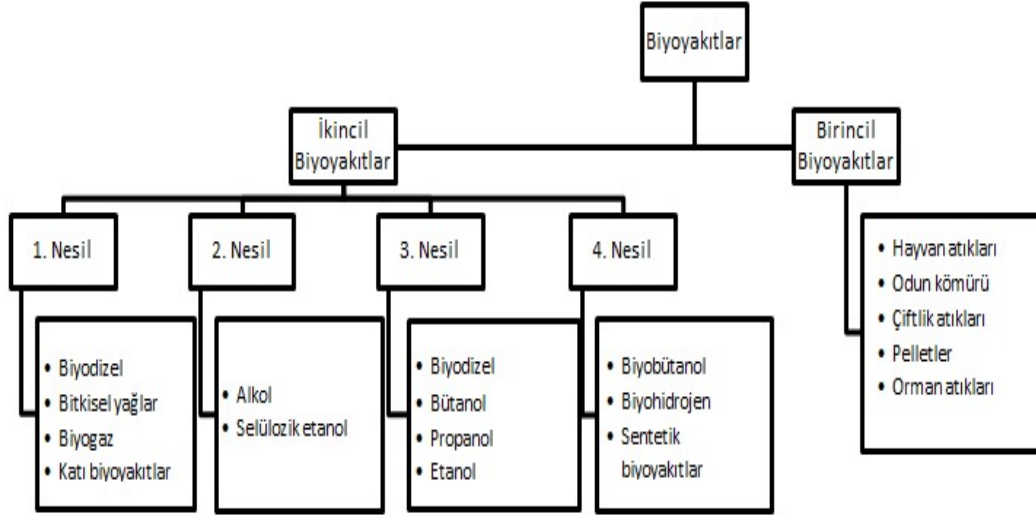
Biyogaz, oksijensiz ortamda anaerobik ayrışma yoluyla üretilir. Proses sırasında üretilen biyogaz yaklaşık %60 CH₄, %35 CO₂ ve %5 H₂, N₂, CO, NH₃, O₂ ve uçucu aminlerin karışımını içerir. Biyogaz endüstriyel enerji, kırsal alanlarda yemek pişirme ve ısı ve güç üretimi için kullanılabilir [18].

1.1.3. Katı biyo yakıtlar

Odun, talaş, yaprak, odun kömürü ve hayvan gübresi gibi ham maddeler genellikle katı biyoyakıt olarak kullanılır. Enerji sektöründe katı biyoyakıtların kullanımı belirli pazarlarla sınırlıdır. Örneğin odun, kırsal bölgelerde yemek pişirmek ve ısınmak için kullanılabilecek biyoenerjiyi üretmek için en yaygın stratejidir [18].

2.1.3. Alg temelli biyo yakıtlar

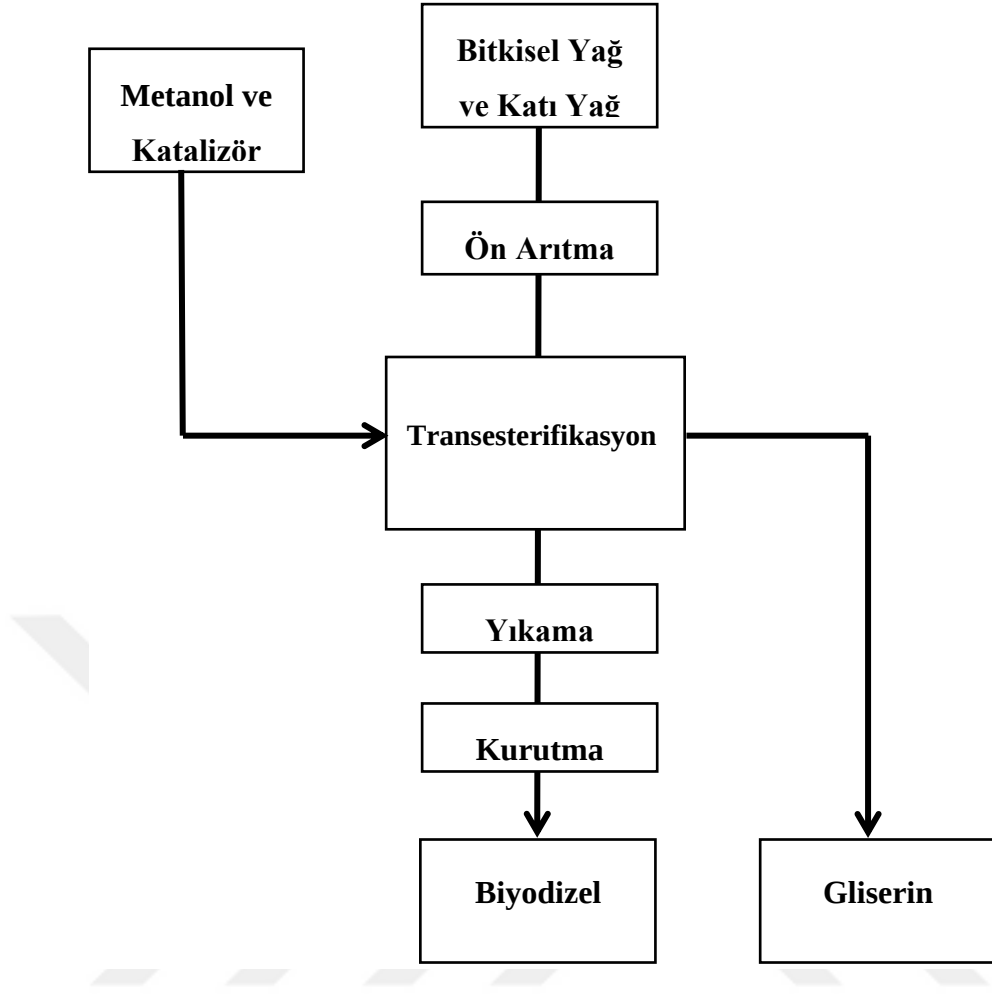
Algler, biyoyakıt üretimi için en hızlı büyüyen hammaddedir ve biyoyakıt ekstraksiyonunun vazgeçilmez bir alternatifidir. Alglerden biyokütlenin ekstraksiyonu ve konsantrasyonu teknikleri, santrifüjleme, toplama, yüzdürme, saflaştırma ve topaklaştırma gibi işlemleri içerir. Gelişmiş özellik kullanılarak alglerden biyodizel, biyogaz ve hidrojen gibi biyoyakıtlar üretilebilmektedir [18].



Şekil 2.1. Biyo yakıt türleri [18].

2.2. Biyodizel Üretimi ve Kullanımı

Biyodizel; American Society for Testing and Materials'a (ASTM) göre esas olarak ASTM D 6751 gereksinimlerini karşılayan yenilenebilir bitkisel ya da hayvansal yağlardan üretilen mono-alkil esterlerden oluşan bir yakıt olarak tanımlanmaktadır [19]. Biyokütle kaynaklı bir yakıt olarak biyodizel; yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan sürdürülebilir, çevre dostu bir alternatiftir. CO₂, CO, SO₂ ve HC gibi sera gazlarının miktarının azaltılmasına olanak sağlayabildiği için temiz enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir [20].



Şekil 2.2. Biyodizel üretim prosesi akım şeması [18].

Biyodizel, genellikle bitkisel yağlar veya hayvansal yağların transesterifikasyon reaksiyonu ile metil esterlere dönüştürülmesiyle üretilen bir biyoyakıttır. Bununla birlikte biyodizel üretimi bitkisel ve hayvansal atık yağlardan da gerçekleştirilebilmektedir. Bunun için öncelikle kullanılacak yağın arıtılması ve temizlenmesi gerekir.

Bu işlemle yağdaki su, serbest asitler ve diğer katı partiküllerin giderilmesi sağlanır. Yağ, metanol veya etanol ve bir katalizör (alkali katalizör) ile birleştirilir. Bu reaksiyon transesterifikasyon olarak adlandırılır ve biyodizeli oluşturan metil esterleri üretir. Bu adımda, metanol veya etanol, yağın gliserin ve metil esterlere ayrılması için bir reaksiyon başlatır. Transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda oluşan karışım, biyodizel ve gliserini içerir. Bu karışım, genellikle bir çöktürme işlemi veya santrifüjle ayırma yoluyla ayrılır. Ayırma işleminden sonra biyodizel, herhangi kalan gliserin, su ve diğer yan ürünlerden arındırılmak üzere temizlenir. Filtrasyon veya yıkama işlemleri kullanılabilir. Biyodizel, üretim sırasında kullanılan alkali katalizörün

etkilerini nötralize etmek için asidik bir yıkama sürecinden geçirilebilir. Bu adım, biyodizeldeki asit oranını azaltarak ürünün kalitesini artırabilir. Biyodizel, üretim sürecinde kalan suyun uzaklaştırılması amacıyla kurutulur. Temizlenmiş biyodizel, depolama tanklarına aktarılır ve kullanıma hazır hale getirilir. Biyodizel üretimi, genellikle endüstriyel tesislerde gerçekleştirilir ve dikkatli bir kontrole tabidir.

2.3. Biyodizel üretiminde kullanılan bitki türleri

Dünya genelinde biyodizel üretiminde kullanılabilecek 350 den fazla yağ bitkisi türü olduğu bildirilmektedir [21]. Bitkisel kaynaklardan biyodizel üretimi için hammadde olarak aspir, ayçiçeği, zeytin, kolza tohumu, kanola, soya fasulyesi, pamuk, yer fıstığı, mısır, gibi çeşitli bitkilerden elde edilen yağlar kullanılabilir de bu yağların gıda amaçlı kullanıma sahip olmaları biyodizel alanındaki kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Ayrıca yenilebilir enerji bitkilerinin yetiştirilebilmesi için büyük tarım alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır [20].

Gıda amaçlı kullanıma uygun olmayan bitkilerden yağ elde etme veya atık yağların geri dönüştürülmesi gibi alternatifler, biyodizel üretiminde yeni olanaklar sunabilir. Bu yaklaşımlar, gıda güvenliği endişelerini hafifletebilir ve biyodizel üretimini daha sürdürülebilir kılabilir. Tablo 2.1’ de biyodizel üretiminde kullanılma potansiyeli olan bazı bitkiler ve bu bitkilerden elde edilebilecek bitkisel yağ oranları verilmektedir.

Tablo 2.1. Biyodizel üretiminde kullanılan bitki türleri ve yağ oranları [18].

Bitki Türü	Yağ Oranı (%)
Ayçiçeği	25-35
Soya	15-20
Yer fıstığı	45-55
Palmiye	30-60
Zeytin	45-70
Hardal	40-42
Keten	35-45
Hindistan cevizi	63-65
Kanola	40-45
Jatropha	30-60
Castor	45-60

2.4. Ricinus communis L. (Castor Been)

Dünyada yaygın olarak Castor ya da Castor been olarak bilinen bitki ülkemizde Hint yağı ağacı, Dedemene, Genegerçek otu, Generçek, Hırva, Hint baklası, Hindiye, Hinttaş (Adana), Japonika, Japon şemsiyesi (Antalya), Kene ağ, Kenek, Kene otu adlarıyla da adlandırılmaktadır [22]. Bitkinin sınıflandırılması Tablo 2.'de sunulmaktadır.

Ricinus communis L. dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan, endüstriyel açıdan önemli, yenmeyen bir yağlı tohum bitkisidir [23]. Son zamanlarda ekonomik ve ekolojik nedenlerle kullanılmasının yanı sıra kontamine alanların fitoremediasyonu için de katma değerli bir bitki olarak popüler hale gelmektedir. Yüksek biyokütle üretkenliği, hem biyotik hem de ağır metaller, tuzluluk, kuraklık, haşereler, kalıcı organik kirleticiler (KOK'lar) gibi abiyotik streslere toleransı gibi bazı seçkin özelliklere sahiptir [24]. Yenilebilir olmayan yağlar arasında hint yağı, çeşitli endüstriyel, kozmetik ve tıbbi uygulamalar için en popüler olanıdır [24]. Biyodizel üretimi amacıyla yetiştirilecek bitkilerde tercih edilen özelliklerden bazıları, bitkinin yerel koşullara adaptasyonu, mevcutta bulunabilirliği, yüksek yağ içeriği ve uygun kompozisyona sahip olması, tarımsal altyapı ile yüksek adaptasyonu, üretilen farklı tarımsal yan ürünlerinin ticarileştirme potansiyelinin bulunması ve marjinal topraklarda da yetiştirilebilmesidir [17].

Tablo 2.2. *Ricinus communis L. (Castor Been)* bitkisinin sınıflandırması

Domain	
Alem	<i>Plantae</i> – Bitkiler
Alt Alem	<i>Tracheobionta</i> – Damarlı bitkiler
Üst Şube	<i>Spermatophyta</i> – Tohumlu bitkiler
Şube	<i>Magnoliophyta</i> – Çiçekli bitkiler
Sınıf	<i>Magnoliopsida</i> – Çift çenekliler
Alt Sınıf	<i>Rosidae</i>
Takım	<i>Euphorbiales</i>
Aile	<i>Euphorbiaceae</i> – Sütlegengiller
Cins	<i>Ricinus</i> <u>L.</u> – ricinus
Tür	<i>Ricinus communis</i> <u>L.</u> – castorbean



Şekil 2.3. *Ricinus communis* L. (Castor Bean) bitkisi

Hint yağı bitkisi; biyodizel üretiminde kullanılmasını sınırlayabilen yüksek viskozitesi haricinde; istenilen bu özelliklerin çoğunu karşılayan yağının sahip olduğu kendine has özellikleri nedeniyle biyodizel üretimi için önemli bir hammadde haline gelebilecek olan, dünya çapında önemli bir endüstriyel bitkidir.

Biyodizel üretimi için hammadde olarak aspir, ayçiçeği, zeytin, kolza tohumu, soya fasulyesi, pamuk, yer fıstığı, mısır, gibi çeşitli bitkilerden elde edilen yağlar kullanılabilir de bu yağların gıda amaçlı kullanıma sahip olmaları biyodizel alanındaki kullanımlarını sınırlandırmaktadır. *Ricinus communis* yenmeyen yağı ve alkollerde çözünürlüğü daha yüksek olan hidroksil gruplu ana yağ asidi (risinoleik asit) nedeniyle düşük sıcaklıklarda metil ester elde etmek için büyük avantaj sağlar [17].

2.5. Arıtma Çamurlarının Enerji Bitkisi Yetiştirilmesinde Kullanımı

Son yıllarda küresel ölçekte yaşanan hızlı şehirleşme neticesinde şehirler büyümüş ve nüfusları önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte su kullanım miktarlarında ve dolayısıyla atık su miktarında da ciddi bir yükseliş söz konusudur. Bu durum atık suların kanalizasyon sistemi ile toplanarak arıtma tesislerinde arıtılmasını zorunlu hale getirmiştir. Şehirlerdeki arıtma tesislerinin sayısı ve kapasiteleri artmıştır.

Evsel atık su arıtımı genellikle biyolojik proseslerle gerçekleştirilmekte ve katı sıvı ayırımından sonra ortaya ağırlıklı olarak canlı ve ölü mikroorganizma kütlesi ve

inorganik maddelerin bir karışımı olan arıtma çamuru çıkmaktadır. Mevcut durumda arıtma çamurları için geliştirilen birçok bertaraf seçeneği uygulanmaktadır. Depolama ve yakma en fazla kullanılan bertaraf seçenekleridir. Ancak arıtma çamurları içerdikleri yüksek organik madde, makro ve mikro besin elementlerinden dolayı toprak ıslahı ve bitkisel üretimde kullanılarak geri dönüşümü sağlanabilecek özellikte bir atıktır. Bu kullanım şekli toprak yapısını iyileştirme, erozyonu önleme, kullanılan kimyasal gübre ihtiyacını azaltma ve verim artışı gibi birçok olumlu katkı sağlayabilir. Buna karşılık kanalizasyon sisteminin yeterince kontrollü bir ortam sağlamaması, ağır metaller gibi zararlı kirleticilerin atık suya karışmasına ve dolayısıyla arıtma çamurunda yüksek konsantrasyonda birikmesine yol açabilir. Ayrıca insanlar için çeşitli hastalıklara yol açan patojen mikroorganizmalar çamurda bulunabilir. Bu sebeplerden dolayı ülkemizde arıtma çamurlarının bitkisel üretimde kullanımı sınırlandırılmış ve özellikle sebze meyve üretiminde kesin olarak yasaklanmıştır.

Diğer taraftan atık su arıtma çamurları süs bitkisi yetiştiriciliği ve enerji bitkisi yetiştiriciliğinde çok daha güvenli bir şekilde kullanılabilir. Özellikle içeriğindeki yüksek orandaki bitki besin elementi içeriği, enerji bitkisi üretiminde istenen hızlı bitki büyümesine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte birçok enerji bitkisi arıtma çamuru içerisinde bulunabilecek fitotoksik maddelere karşı oldukça dirençlidir.

2.6. Konuyla İlgili Olarak Daha Önce Yapılmış Bilimsel Çalışmalar

Konu ile ilgili bilimsel literatürde, bitkisel ve hayvansal kökenli yağlardan biyodizel üretimi ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların odak noktası çoğunlukla bitkilerin yağ üretim potansiyeli, kullanılan yağlardan biyodizel üretim miktarı ve koşulları, biyodizelin yakıt özellikleri gibi konulardır.

Bununla birlikte yapılan literatür taramasında doğrudan Castor been (*Ricinus communis*) bitkisinin atık su arıtma çamurları kullanılarak yetiştirilmesinin biyodizel üretimine olan etkilerin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Konuyla ilgili bilimsel literatürde yapılmış çalışmalar ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda derlenmiştir.

Chiaradia ve ark. (2009), şeker kamışının rotasyonunu takiben killi distrofik bir Ultisol toprak tipinde arıtma çamuru uygulamasının *Ricinus communis* L. verimi ve beslenmesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Denemeler bitkiye N-P₂O₅-K₂O mineral gübrelemesi (sırasıyla 75-40-80) ile 0, 37.5 kg ha⁻¹, 75 kg ha⁻¹ ve 150 kg

miktarlarında N sağlamaya karşılık olacak şekilde hesaplanan ve 0, 5, 10 ve 20 t ha⁻¹, (kuru madde) şeklinde olan dört arıtma çamuru oranı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada IAC-Guarani varyetesi Kasım 2004-Mayıs 2005 arasındaki 180 günde yetiştirilmiştir. Araştırmacılar, *Ricinus communis* L. yetiştiriciliğinde 10 t ha⁻¹ arıtma çamuru uygulanmasının, mineral gübrelemeye kıyasla %85'lik bir agronomik verim indeksi ile bitkinin veriminde ve diğer biyometrik özelliklerinde önemli bir artışa yol açtığını bildirmişlerdir. Çalışmada azotun, bitki büyümesi ve verimi ile ilgili en sınırlayıcı besin maddesi olduğu ve kullanılan azot mineralizasyon oranında arazi koşullarında arıtma çamuru tarafından sağlanan N'nin düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışılan oranlarda arıtma çamuru uygulanmasının, toprak Cu ve Zn içeriğinin artmasına neden olduğu, ancak toprak ve bitki dokularındaki metal içeriklerinin çevre mevzuatının belirlediği sınırlar içinde olduğu tespit edilmiştir [25].

Nascimento ve ark. (2011), arıtma çamuru dozlarının *Ricinus communis* L. büyümesi ve verimi üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Denemeler, Guarany AL 2002 varyetesi kullanılarak Cambisol toprak tipinde, dört tekerrürlü tesadüf blokları deseninde gerçekleştirilmiştir. Denemelerde kimyasal gübre uygulamasına karşılık gelen ekimde 90 kg ha⁻¹ P₂O₅ ve 30 kg ha⁻¹ K₂O, ekimden 40 gün sonra 40 kg ha⁻¹ N, ve beş doz kuru arıtma çamuru (0, 15, 30, 45 ve 60 t ha⁻¹) uygulanmıştır. Ekim işleminden altı ay sonra gövde çapı, bitki boyu ve verimlilik değerlendirmeleri yapılmış, tohum verimliliği ve hint fasulyesinin biyometrik özelliklerinin, toprağa uygulanan artan arıtma çamuru dozları ile arttığı gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, toprağın ağır metallerle kontaminasyon riski olmadan mineral gübreleme yerine 15 t ha⁻¹ arıtma çamuru uygulamasının ürünün tane veriminde yeterli olduğunu bildirmişlerdir [26].

Seleiman ve ark. (2013), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, arıtma çamuru ve çürütülmüş çamurun sentetik gübreyle kıyasla biyokütle üretimi ve kalitesi üzerindeki etkileri üç yıllık bir saha deneyi ile araştırılmıştır. Mısır, kenevir ve kanola bitkilerinin kullanıldığı çalışmada her bitki türü için gübre uygulamaları, toplam azot bazında mısır 120 kg ha⁻¹, kenevir 60 kg ha⁻¹ ve kanola 90 kg ha⁻¹ azot olacak şekilde standardize edilmiştir. Mısırdaki (30 Mg ha⁻¹ kuru kütle) ve kenevirde (15 Mg ha⁻¹ kuru kütle) en yüksek biyokütle verimi arıtma çamuru uygulamasından elde edilmiştir. Çamur uygulaması ayrıca ekimden 60 gün sonra (çiçeklenme aşaması) hem mısır (14 g kg⁻¹) hem de kenevir (18 g kg⁻¹) biyokütlesinde en yüksek yaprak azot kütlesini

vermiştir. Arıtma çamurunun, mısır (438 GJ ha^{-1}) ve kenevirdeki (272 GJ ha^{-1}) brüt enerji verimini az miktarda artırdığı tespit edilmiştir. Külün kütle fraksiyonu ve klor, potasyum, sodyum ve kalsiyum gibi yanmayla ilgili elementler, arıtma çamuru ile gübrelenen bitkilerde, sentetik gübre ile gübrelenenlere göre daha düşük bulunmuştur. Çalışma sonuçları arıtma çamurunun sentetik gübreler kadar yüksek biyokütle verimi sağladığını ayrıca, biyokütlenin büyümesini ve kalitesini iyileştirdiğini göstermiştir [27].

Lobo ve ark. (2013) Brezilya’da gerçekleştirdikleri çalışmada kompostlaştırılmış arıtma çamuru ve N parametrelerinin ayçiçeği üretimine etkisini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar arıtma çamuru uygulamasının bitkinin tane verimi, yağ verimi, kuru madde ve 1.00 tohumun ağırlığında artış sağladığını belirlemişlerdir [28].

Lag-Brotons ve ark. (2014) arıtma çamuru kompostu uygulamasının bir enerji bitkisi olan *Cynara cardunculus* L. (cynara) verimliliği üzerindeki etkisini 2008-2011 yıllarını kapsayan üç yıllık bir gözlem süresinde değerlendirmişlerdir. Güneydoğu İspanya’da gerçekleştirilen denemelerde 0, 30, 50 ve 70 t ha^{-1} olmak üzere dört kompost uygulama oranı test edilmiştir. 2010/11 yılında kuru bazda elde edilen toprak üstü biyokütle, tohum, yağ ve enerji verimi 2008/09 ile karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur. Esas olarak 50 ve 70 t ha^{-1} çamur kompostu uygulamaları olumlu etkiler göstermiş, 70 t ha^{-1} çamur kompostu uygulamasının kontrol uygulamasına kıyasla bitkinin toprak üstü biyokütle ve enerji verimini %68, tohum ve yağ verimini %40 artırdığı belirlenmiştir [29].

Cavalcanti ve ark (2015) arıtma çamuru, potasyum (K) ve magnezyum (Mg) sülfat ile gübrelemenin *Ricinus communis* L. verimi ve beslenmesi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Denemeler BRS Energia varyetesi kullanılarak Ocak-Temmuz 2011 tarihleri arasında Brezilya’da litosol toprak tipinde gerçekleştirilmiştir. 0, 2.60, 5.20 ve 10.40 t ha^{-1} (kuru baz) olmak üzere dört doz arıtma çamuru ile iki doz K ve Mg uygulanmıştır. Araştırma sonucunda tane verimi üzerinde arıtma çamuru ve NPK gübrelemesi arasında farklılık olmadığı, arıtma çamurunun $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ uygulanmasının bitkide en yüksek tane verimini sağladığı belirlenmiştir. Arıtma çamuru ile gübreleme, yapraktaki konsantrasyonları etkilemeden, topraktaki çinko ve bakır seviyelerini geleneksel gübrelemedeki değerlere yakın veya daha yüksek değerlere çıkarmıştır. K ve Mg sülfat ile gübreleme, yapraklardaki konsantrasyonları etkilemeden bu katyonların topraktaki düzeylerini artırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre arıtma

çamuru ile gübreleme, toprakta organik madde, kükürt, çinko, demir, bakır ve bor, bitki yapraklarında manganez ve bor içeriğini artırmıştır. [30].

Özdemir ve ark (2018) tarafından yürütülen çalışmada, enerji bitkilerinden *A. donax* ve *M. x giganteus* bitkileri arıtma çamurunda yetiştirilmiş ve standart doğal toprakta yetiştirilen bitkilerle karşılaştırılarak kuru biyokütle özellikleri, kül ve emisyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Saksı denemeleri şeklinde gerçekleştirilen çalışmada toprak uygulamaları konvansiyonel gübre ile gübrenirken, çamur uygulamaları için herhangi bir gübreleme uygulanmamıştır. Her iki bitki türü de hem toprak hem de arıtma çamurunda yeterli biyokütle verimine ulaşmıştır. Toprakta ve arıtma çamurunda yetiştirilen bitkiler için ölçülen üst ısı değerleri arasındaki fark anlamsız bulunurken, arıtma çamurunun, her iki bitki türündeki makrobesin ve ağır metal içeriğini önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Kuru biyokütle verimi, bitki bileşimi ve enerji içeriğine ilişkin bulgular, besin açısından zengin arıtma çamurunun yanıcı hammadde miktarını artırmada etkili olabileceğini göstermiştir [31].

Zuo ve ark. (2019), 0, 25, 50, 125 ve 250 t ha⁻¹ oranlarındaki arıtma çamuru uygulamasının gelgit düzlüklerinde bulunan tuzlu-alkali toprakta yetiştirilmiş *Sorghum bicolor* L. verim ve kalitesi ile toprak fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, arıtma çamuru ıslahının (SSA), kütle yoğunluğunu, elektrik iletkenliğini, pH'ı azaltarak ve toprak organik karbonunu, > 0,25 mm suya dayanıklı agrega fraksiyonunu, katyon değişim kapasitesini, azot ve fosfor içeriğini artırarak gelgit düzlüklerinde bulunan toprağın fizikokimyasal özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Arıtma çamuru ıslahı *Sorghum bicolor* L. biyokütlesini ve brüt enerji içeriğini önemli ölçüde artırmıştır. Bitki 2016 ve 2017 yıllarında 250 t ha⁻¹ SSA oranında sırasıyla 4.73 ve 6.62 t ha⁻¹ maksimum biyokütleyle ulaşmıştır. Bitkinin gövde ve yaprağındaki kalorifik değerleri bir miktar düşürmesine rağmen, brüt enerji içeriği arıtma çamuru oranlarıyla birlikte önemli ölçüde artmıştır. Bitkinin maksimum brüt enerji içeriği 250 t ha⁻¹ SSA oranında 2016 ve 2017'de sırasıyla 79.62 ve 104.47 GJ ha⁻¹ olmuştur. SSA, *Sorghum bicolor* L. bitkisinde ağır metallerin birikmesine yol açsa da, en yüksek SSA'da bile bitkinin büyümesi engellenmemiştir. Çalışmada enerji bitkilerinin arıtma çamuru ile ıslah edilmiş gelgit düzlüklerinde yetiştirilmesinin gelgit düzlüklerinin ıslahı, katı atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi, kaynakların yeniden kullanımı-geri dönüşümü ve biyoenerji üretimi için yenilikçi bir çözüm olabileceği ifade edilmiştir [32].

Dubis ve ark. (2020) tarafından 2013-2018'de Polonya'da gerçekleştirilen bir çalışma ile 100 ve 160 kg N ha⁻¹'e eşdeğer oranlarda uygulanan arıtma çamurunun *Miscanthus giganteus* bitkisinin biyokütle verimi ve üretim sürecinin enerji dengesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Azot kaynağından (mineral gübreler, arıtma çamuru) bağımsız olarak optimum gübre oranı 160 kg N ha⁻¹ olarak belirlenmiş ve en yüksek biyokütle verimine (19,8 Mg ha⁻¹ kuru madde) ve en yüksek enerji verimine (272-275 GJ ha⁻¹) ulaşılmasına katkıda bulunmuştur. Mineral gübre içeren üretim teknolojilerinde enerji gereksiniminin en yüksek (19-24 GJ ha⁻¹) olduğu belirlenmiştir. Mineral gübrenin arıtma çamuru ile değiştirilmesi biyokütle üretiminde enerji girdilerini %32-34 oranında azaltmıştır. *M. giganteus*'a 160 kg N ha⁻¹'e eşdeğer bir oranda arıtma çamuru verildiğinde enerji kazanımı en yüksek seviyede (259 GJ ha⁻¹) gerçekleşmiştir. *M. giganteus* bitkilerine mineral gübre yerine arıtma çamuru verildiğinde enerji verimliliğinin %43-52 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [33].

Jankowski ve ark. (2021), Polonya' da gerçekleştirdikleri çalışmada *Helianthus tuberosus* L. bitkisini kullandıkları 2018-2020 yıllarını kapsayan üç yıllık saha çalışmasında 100 ve 160 kg N ha⁻¹ eşdeğerinde kullanılan kentsel arıtma çamurunun bitkinin toprak üstü biyokütle verimi ve enerji dengesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Mineral gübre kullanılan uygulamada enerji girdisi ilk yılda 23.5-28.1 GJ ha⁻¹ ve ikinci ve üçüncü yılda 12.6 -18.3 GJ ha⁻¹ olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru kullanılan uygulamalarda ise enerji gereksiniminin ilk yılda %27-32, ikinci ve üçüncü yılda ise %48-54 daha az olduğu tespit edilmiştir. Gübre türünden bağımsız olarak optimum azot oranının 100 kg ha⁻¹ olduğu ve bu oranla elde edilen bitki biyokütlesinin en yüksek enerji verimi ve enerji kazancı ile karakterize olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamuru kullanılan uygulamalarda enerji kazanımı hektar başına % 5-11, enerji verimliliği oranı ise mineral gübre uygulamasına kıyasla takriben iki kat daha yüksek bulunmuştur [34].



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Enerji bitkisi yetiştiriciliği, son yıllarda çok önemli ölçüde artmış ve küresel ölçekte önemli bir tarımsal üretim faaliyeti haline gelmiştir. Bununla birlikte dünyanın hızla artan nüfusunun beslenmesi için ihtiyaç duyulan gıdaların üretilmesi için kullanılabilecek tarımsal toprakların enerji bitkisi yetiştiriciliğine ayrılması, gıda temininin güvenliği açısından sorunlara yol açabilir. Oysaki küresel ölçekte verimli tarıma uygun alanlar mevcut topraklara göre oldukça küçüktür. Birçok alan toprak özelliklerinin yeterli olmamasından dolayı tarımsal faaliyet için uygun görülmemektedir. Bu alanların enerji bitkisi üretiminde kullanılması, verimli arazilerin gıda üretimine bırakılmasını sağlayabilir. Ayrıca bu uygulama marjinal topraklar olarak nitelendirilebilecek bu verimsiz alanların ıslah edilmesi için de yarar sağlayacaktır.

Ancak teorik olarak son derece uygun ve sürdürülebilir görünen bu düşüncenin geniş ölçekte ve etkili olarak uygulanabilmesinin önünde bazı engeller vardır. Bunların başında da marjinal alanların toprak özelliklerinin ve özellikle de bitki besin maddesi içeriğinin düşüklüğü gelmektedir. Bu alanlardaki topraklarının fiziksel özelliklerindeki uygunsuzluklar, kimyasal gübre uygulamalarının başarılı bir şekilde kullanılmasını da engellemektedir. Sorunun çözümü için bu alanlardaki toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bitkisel üretim açısından uygun hale getirilmesi gerekir. Enerji bitkilerinde istenen hızlı bitki büyümesi ve yüksek verim göz önünde bulundurulduğunda bu konunun önemi daha da artmaktadır. Atık su arıtma çamurları sahip olduğu özelliklerle, bu toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini, enerji bitkilerinin üretimi için uygun seviyeye getirebilir.

Evsel atık su arıtma çamurları bitkisel üretim için ideal bir bitki besin maddesi kaynağıdır. Bununla birlikte arıtma çamurlarının bertarafına bu yaklaşımla bakıldığında, bitkisel üretimde kullanım, hem doğal çevre ve insan sağlığı açısından ihtiyaç duyulan ideal arıtma çamuru bertaraf alternatifi hem de kimyasal gübre ihtiyacını azaltan sürdürülebilir bir bitki besin elementi kaynağına ulaşılabilir. Ayrıca

saha uygulamaları için gerekli tedbirler alındığında, bu bertaraf şekli düzenli veya vahşi depolama ve yakma uygulamaları ile kıyaslanmayacak ölçüde çevrecidir.

Bununla birlikte arıtma çamurunun diğer hayvansal gübrelere göre önemli avantajları da bulunmaktadır. Atık su arıtma çamurları, hayvansal gübrelere göre çok daha kontrollü bir ortamda oluşmakta ve içeriği sürekli olarak takip edilebilmektedir. Bunun yanında, arıtma çamurlarının olduğu atık su arıtma tesislerinde, tarımsal kullanım için ihtiyaç duyulabilecek tüm ön işlemlerin gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayacak teknik imkân ve personel bulunmaktadır. Bundan dolayı arıtma çamurlarının kaynağında, zenginleştirme ve tarım makinaları ile uygulamaya hazırlanma gibi işlemlerden geçirilmesi için önemli bir potansiyel vardır.

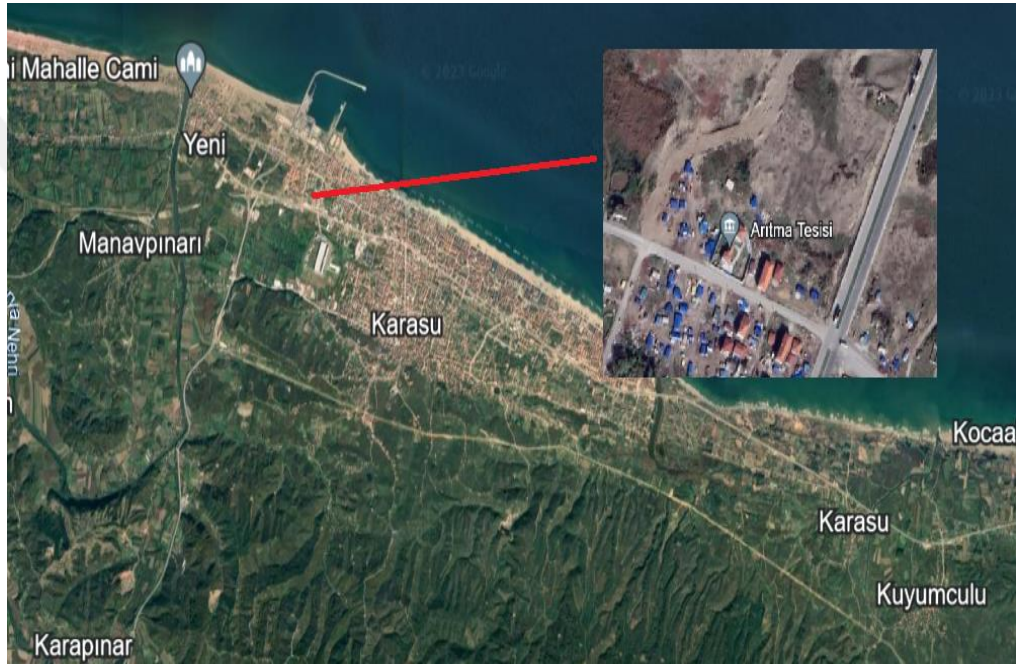
Tüm avantajlarının yanında arıtma çamurlarının saha uygulamalarında dikkat edilmesi gereken önemli kurallar bulunmaktadır. Bu kuralların başında arıtma çamuru uygulama miktarları gelmektedir. Uygulama miktarının doğru hesaplanması, her ne kadar limit değerlerin altında da olsa, arıtma çamurlarının içerisinde bulunabilecek kirleticilerin toprakta birikim yapmaması için önemlidir. Uygulanacak alanın toprak özellikleri, bitki türü, yağışlar ve iklim, arazinin eğimi, su kaynaklarına ve yerleşim yerlerine olan mesafesi dikkat edilmesi gereken diğer konulardandır. Diğer taraftan arıtma çamurlarının patojen mikroorganizma içeriği, tarımsal kullanımda göz önünde bulundurulmalıdır. Patojen mikroorganizmaların giderimi için etkin bir çamur stabilizasyon yöntemi kullanılması gerekir. Uygulanacak stabilizasyon işlemi, arıtma çamurlarının içerisindeki kolay ayrışabilir organik maddenin azaltılmasına ve dolayısı ile bitki toksisitesine yol açma potansiyelinin giderilmesine de katkı sağlayacaktır.

Arıtma çamurlarının, yağ içeriği yüksek tohumları ile biyodizel üretiminde kullanılmak üzere yetiştiriciliği gün geçtikçe artan *Ricinus communis L.* (Castor Been) bitkisinin bitki büyüme, tohum ve yağ eldesi ve dolayısı ile biyodizel üretimine olan etkilerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, evsel atık su arıtma çamurları değişik oranlarda saksılı ve toprakta yetiştiricilikte denenmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan yöntem ve uygulama detayları bu bölümde anlatılmaktadır.

3.1. Çalışmanın uygulama alanı

Bu çalışma kapsamında yürütülen saksılı yetiştiricilik ve saha denemeleri Türkiye' nin Sakarya İli Karasu İlçesinde gerçekleştirilmiştir. Karadeniz sahil şeridinde yer alan Karasu İlçesindeki en önemli tarımsal faaliyet fındık üretimidir. Çalışmanın uygulama

alanı olan Karasu İlçesinde Türkiye'nin hemen hemen tüm Karadeniz sahil şeridinde olduğu gibi ılıman iklim şartları hakimdir. Her mevsim yağış alan Karadeniz İkliminde yazları aşırı sıcaklar ve kışları aşırı soğuklar görülmez. Kar yağışı uzun süreli değildir ve uzun süreli kar örtüsü oluşmaz. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünün 1951-2022 yılları arasındaki uzun dönemli verilerine göre Karasu İlçesinin, en yüksek sıcaklığı 44 °C, ortalama en yüksek sıcaklığı 20.1 °C, en düşük sıcaklığı -14.5 °C, ortalama en düşük sıcaklığı 10.1 °C, ortalama yağışlı gün sayısı 130.7 gün ve ortalama aylık yağış miktarı ise 842,9 mm'dir.



Şekil 3.1. Çalışma uygulama alanı

3.2. Çalışmanın uygulama bahçesi

Çalışma uygulama sahasının içerisinde yer aldığı Sakarya ilinin genelinde oldukça verimli alüvyal toprak yapısı hakimdir. Bununla birlikte, kuzey ilçelerinin yer aldığı Karadeniz sahil şeridine yaklaşıldığında kahverengi orman toprakları görülmeye başlar. Çalışmanın uygulama bahçesinin yer aldığı Karasu sahil şeridine yakın alanlarda ise çoğunlukla görülen hakim toprak yapısı siltli-kumlu toprak türüdür. (44.7% silt, 38.9% kum, 16.4% kil).



Şekil 3.2. Çalışma uygulama bahçesi

3.3. Yetiştirme ortamı ve arıtma çamurunun temini

Ricinus communis L. (Castor Bean) bitkisinin saksılı yetiştirilmesinde kullanılan yetiştirme ortamları torf (sphagnum peat) ve arıtma çamuru karışımlarından hazırlanmıştır. Kullanılan torf ticari olarak satılmakta olup, satın alma yolu ile temin edilmiştir.

Arıtma çamurları ise çalışmanın uygulama sahası olan, Sakarya' nın Karasu ilçesinde bulunan atık su arıtma tesisinden temin edilmiştir. Susuzlaştırma ünitesinden çıkan arıtma çamurları, karışımlarda kullanılmadan önce solar kurutma ile kurutulmuştur.

Arıtma çamurlarının temin edildiği arıtma tesisi, Sakarya İli'nde yer almakta olup, bölgenin atık suyunun doğaya arıtılmış bir şekilde deşarj edilmesi için tasarlanmıştır. Tesis ortalama 38 dönüm alan içerisine konumlandırılıp, arıtılan su DSİ kanalına deşarj olmaktadır. DSİ kanalı 1250 metre mesafede Sakarya Nehri ile buluşmakta, Nehir ise 1350 metre mesafede Karadenize dökülmektedir. Tesis prosesi, azot ve fosfor giderimi sağlayan ileri biyolojik arıtma olarak, 2 kademeli projelendirilmiştir. 1 kademesi tamamlanmış olup 2023 yılına kadar günlük debisi $9.491 \text{ m}^3 / \text{gün}$ 100.000 kişilik eşdeğer nüfusa ve ortalama kapasiteye sahiptir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan arıtma çamurları

3.4. Yetiştirme ortamı karışımlarının hazırlanması

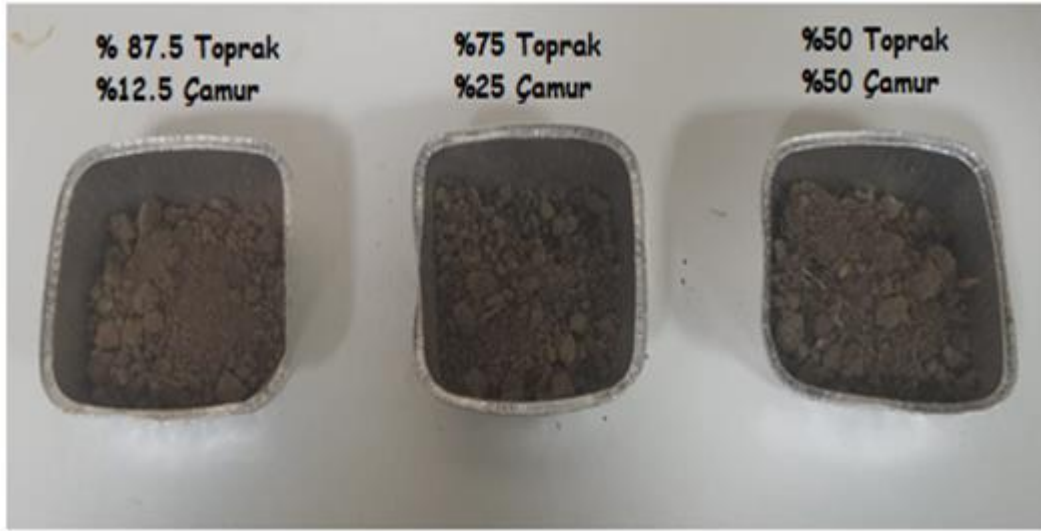
Arıtma çamuru ilavesinin *Ricinus communis L.* (Castor Been) bitkisinin büyümesine olan etkilerinin incelenmesi için, toprak ve ticari torfa değişen (%12.5, %25 ve %50) oranlarda arıtma çamuru ilave edilerek yetiştirme ortamı karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan yetiştirme ortamları karışım oranları Tablo 3.1’ de sunulmuştur. Karışım oranları hacimsel olarak (%V/V) belirlenmiştir Şekil 3.4 ve şekil 3.5’ de hazırlanan yetiştirme ortamları numuneleri görülmektedir. Yetiştirme ortamları saksılı denemelerde kullanılacak beş tekerrür ve analiz numunelerini karşılamak üzere 30 litre olarak hazırlanmıştır. Yetiştirme ortamları, ana materyalleri olan toprak ve torfa bitki besin elementi sağlayıcı olarak kullanılan hava kuru arıtma çamuru ilavesinden sonra, homojen dağılım sağlanana kadar karıştırılmıştır.

Tablo 3.1. Yetiştirme ortamlarının karışım oranları

Yetiştirme Ortamı Kodu	Kullanılan Materyaller ve oranları
P	% 100 Torf
T	% 100 Toprak
PAÇ1	% 87,5 Torf + %12,5 Arıtma Çamuru
PAÇ2	% 75 Torf + %25 Arıtma Çamuru
PAÇ3	% 50 Torf + %50 Arıtma Çamuru
TAÇ1	% 87,5 Toprak+ %12,5 Arıtma Çamuru
TAÇ2	% 75 Toprak+ %25 Arıtma Çamuru
TAÇ3	% 50 Toprak+ %50 Arıtma Çamuru



Şekil 3.4. Torf ve arıtma çamuru kullanılan yetiştirme ortamı numuneleri



Şekil 3.5. Toprak ve arıtma çamuru kullanılan yetiştirme ortamı numuneleri

3.5. Bitki denemelerin hazırlanması

Çalışma kapsamında yapılan bitki yetiştirme çalışmaları iki temel amaç için gerçekleştirilmiştir. Saksılı denemeler ile, arıtma çamuru ilavesinin *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitki büyümesine olan etkileri incelenirken, toprakta gerçekleştirilen denemelerde, arıtma çamurunun *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinin tohum miktarı, yağ verimi ve biyodizel üretimine olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Ricinus communis L. (Castor Been) bitkisinin tohumları Türkiye' nin Adana İli'nden temin edilerek viyollerde çimlendirilmiştir. Saksıda 15 cm boya ulaşana kadar büyütülen bitkiler, saha çalışması için tesadüf parselleri deneme planına göre her uygulamada beş tekerrür olacak şekilde dikilmiş ve iki yıl büyütülmüştür. Diğer

tarafından arıtma çamurunun bitki büyümesine olan etkilerinin incelendiği denemeler için, tohumlar yetiştirme ortamı karışımları ile doldurulmuş 5 litrelik saksılara dikilmiş ve orada çimlenmesi ve büyümesi sağlanmıştır. Saksı denemelerinde bitkiler bir yıl boyunca büyütülmüştür. Saha uygulaması ve saksılı yetiştiricilik uygulamaları ile ilgili görseller Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’ de sunulmaktadır.



Şekil 3.6. Saha çalışması için çimlendirilen castor been tohumları



Şekil 3.7. Saksılı denemelerde çimlendirilen castor been tohumları

3.6. *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinde yapılan ölçümler ve tohumlarının hasat edilmesi

Arıtma çamurlarının *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitki büyümesine etkilerinin belirlenmesi amacıyla, toprak denemeleri ve saksılı uygulamalardaki bitkilerin, birinci ve ikinci yetiştirme yılları sonunda boyları ve gövde çapı ölçülmüştür.

Bununla birlikte, toprak denemelerinde iki yıl büyütülen *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinin tohumları her yıl hasat edilmiştir. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 de hasat edilen bitkiler ve elde edilen tohumlar görülmektedir. Tohumlar hasattan sonra kurutulmuş ve her bir uygulamadan alınan tohum miktarını belirlemek amacıyla ayrı ayrı tartılmıştır. Saksılı denemelerde tohum hasadı yapılmamıştır. Bunun nedeni saksılı denemelerdeki bitki büyümesinin toprak uygulamalarına göre oldukça yavaş olması ve anlamlı bir tohum oluşumunun gözlenememesidir.



Şekil 3.8. İki yıl sonundaki *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkileri



Şekil 3.9. Hasat edilen *Ricinus communis* L. (Castor Been) tohumları

3.7. *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisi tohumlarından yağ eldesi

Çalışmanın odaklandığı temel konu arıtma çamuru ilavesinin *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinden elde edilen biyodizel üretiminde kullanılabilecek yağ miktarına etkilerinin incelenmesidir. Bitkiden elde edilebilecek yağ miktarını belirleyen iki temel faktör elde edilen tohum miktarı ve tohumlardaki yağ oranıdır. Literatürdeki konuyla ilgili benzer çalışmalarda biyodizel üretiminde kullanılacak bitkisel yağın eldesi için önerilen bir çok yöntem bulunmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemlerin içerisinde en yüksek ve saf yağ eldesi otomatik makinelerinin kullanılması ile elde edilmektedir.

Bundan dolayı çalışmada hasat edilen *Ricinus communis* L. (Castor Been) tohumlarından yağ çıkarma işlemi Sakarya İli' nde yağlı tohumlardan bitkisel yağ üretimi yapan bir tesiste otomatik sıkma makineleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretim alanında (9 m²) ortalama 10 kg tohum elde edilmiştir (1/11111 kg.ha⁻¹). Çalışma kapsamında gerçekleştirilen yağ eldesi işlemi ve elde edilen *Ricinus communis* L. (Castor Been) yağı ile ilgili görseller Şekil 3.9 ve Şekil 3.10' da sunulmuştur.



Şekil 3.10.Castor Been tohumlarından yağ elde edilmesi



Şekil 3.11. Castor Been yağı

3.8. Kimyasal özelliklerin belirlenmesi için kullanılan yöntemler

Kimyasal ve mikrobiyolojik karakterizasyon parametreleri ve kullanılan analiz yöntemleri Tablo 3.2’ de verilmiştir. Arıtma çamuru, toprak ve yetiştirme ortamlarının kimyasal ve mikrobiyolojik karakterizasyonu standart metotlar ve bilimsel literatürde

kabul görmüş yöntemlerle belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan numuneler uygulamanın başında alınmıştır.

Tablo 3.2 Arıtma çamuru, toprak ve uygulamaların kimyasal karakterizasyonu için kullanılan yöntemler.

Parametreler	Analiz metodu
Organik Madde (% v/v)	TS 9103
Toplam N (%)	Kjeldahl Metot
pH	TS 9106
EC	TS 9104
P (mg kg ⁻¹)	Nitrik Asit-Peroksit ile yaş yakma metodu (Mikrodalga yakma seti ve ICP)
K (mg kg ⁻¹)	
Ca (mg kg ⁻¹)	
Na (mg kg ⁻¹)	
Mg (mg kg ⁻¹)	
Mn (mg kg ⁻¹)	
Cu (mg kg ⁻¹)	
Zn (mg kg ⁻¹)	
Fe (mg kg ⁻¹)	
B (mg kg ⁻¹)	

3.9. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Hazırlanan bitki yetiştirme ortamı ve toprak denemesi numunelerinin kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar analizleri üç tekerrür olarak yapılmış ve sonuçlar ortalama değerler olarak sunulmuştur. Saksılı ve toprakta olmak üzere iki farklı bitki denemesi ise her bir denemede beş tekerrür olarak gerçekleştirilmiştir. Bitki boyu ve gövde çapı ölçümleri tüm tekerrürlerde ölçülerek ortalama değer olarak sunulmuştur.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Arıtma çamurlarının miktarı hızlı nüfus artışı ve şehirleşme nedeniyle hızla artmaktadır. Bu hızlı artış, son yıllarda önemli bir katı atık türü haline gelen arıtma çamurlarının bertarafında bir dizi çevresel, ekonomik ve yönetsel sorunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Arıtma çamurlarının çevresel etkileri en aza indirecek şekilde bertaraf edilmesi oldukça maliyetli ve yönetilmesi zor bir işlemdir [35].

Bunun yanında teknolojik ve yüksek kapasiteli bertaraf seçeneği olarak sunulan arıtma çamuru yakma ve çeşitli enerji üretim sistemleri, yüksek kurulum maliyetleri ve işletme zorluklarından dolayı özellikle küçük kapasiteli arıtma tesislerinin ürettikleri arıtma çamurları için kullanışlı değildir. Bununla birlikte yine bu tesisler, arıtma çamurlarının içerisindeki değerli organik madde ve bitki besin elementlerinin yok olmasına neden olmaları, yüksek oranda sera gazı salınımı ve oluşan kül ve cüruflar için düzenli depolamaya ihtiyaç duymalarından dolayı da sürdürülebilir bulunmamaktadır [35].

Bu nedenle evsel atık su arıtma çamurlarının toprak ıslahı ve bitkisel üretimde kullanılmaları önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Ancak bu kullanım bu bertaraf şeklinin de kendi içerisinde önemli riskler barındırması yaygın olarak uygulanmasını engellemektedir. Her ne kadar evsel atık suların arıtılması sonucu oluşsa da, kanalizasyon sisteminin yeterince kontrollü olmaması nedeniyle başta ağır metaller olmak üzere birçok tehlikeli kirleticinin arıtma çamurlarında birikmesi olasılığı mevcut durumda çözümlenememiş en büyük sorundur [35].

Bunun yanında yeterli ve etkili stabilizasyon işlemlerinin uygulanamadığı durumlarda arıtma çamurları çevre ve insan sağlığı açısından önemli sorunlara yol açabilir. Bu iki temel problem bitki büyütme potansiyeli çok yüksek olan arıtma çamurlarının, en önemli bitki yetiştirme faaliyeti olan gıda üretiminde kullanılmasını kısıtlamaktadır. Bu kısıtlama nedeni ile teoride en az maliyetli ve en sürdürülebilir çamur bertaraf alternatifi, arıtma çamurlarının yönetilmesinde yeterince etkin kullanılamamaktadır. Arıtma çamurlarının mevcut potansiyelinin bitkisel üretimde etkin olarak kullanılabilmesi için alternatif uygulamalara ihtiyaç vardır.

Enerji bitkisi yetiştiriciliği bu alternatif uygulamalar için en önemli alternatif bitkisel üretim faaliyetidir. Özellikle küresel ölçekte sürdürülen iklim değişikliği ile mücadele çalışmaları kapsamında fosil yakıtların tüketiminin kısıtlanmaya çalışıldığı günümüzde enerji bitkilerine olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca enerji bitkilerinin verimli tarım topraklarında yetiştirilmesinin gıda güvenliğini tehlikeye atacağı endişesi nedeni ile bu üretimin verimsiz topraklarda gerçekleştirilmesinin daha doğru olduğu düşünülmektedir. Bu durum verimsiz arazilerdeki toprak özelliklerinin iyileştirilmesini zorunlu kılmakta ve arıtma çamurları için önemli bir alan açmaktadır. Enerji bitkisi yetiştiriciliğinde belli bir dereceye kadar, arıtma çamurlarındaki çeşitli kirleticiler ve patojen mikroorganizmalarla ilgili risklerde kabul edilebilirdir. Bununla birlikte çeşitli enerji bitkilerinin arıtma çamuru uygulamalarından nasıl etkilendiğinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılması ihtiyacı vardır [18].

Bu ihtiyaçtan yola çıkılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, gübre sağlayıcı olarak evsel atık su arıtma çamuru kullanımın, biyodizel üretiminde kullanılabilecek yağlı tohumlara sahip *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinin büyümesine, tohum miktarına ve tohum yağ oranına etkileri incelenmiş ve çalışmada elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılması bu bölümde sunulmuştur.

4.1. Arıtma çamuru uygulamasının yetiştirme ortamlarının kimyasal özelliklerine etkisi

Çalışmada arıtma çamurlarının *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinin bitki büyümesine etkileri saksı denemeleri ve saha uygulaması ile ayrı ayrı belirlenmeye çalışılmıştır. Saksılı denemelerinde toprak ve torf temel bileşen olmak üzere, %12.5, 25 ve 50 oranında çamur karıştırılarak yetiştirme ortamları hazırlanmıştır. Yetiştirme ortamlarının bazı kimyasal özellikleri tablo 4.1' de sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre yetiştirme ortamları arasında en yüksek organik madde içeriği %89.46 ile PAÇ1 (%87.5 Torf + %12.5 Arıtma Çamuru) uygulamasında, en düşük organik madde içeriği ise %10.86 ile TAÇ1 (%87.5 Toprak + %12.5 Arıtma Çamuru) uygulamasında belirlenmiştir. Torfun organik maddesi (%92) arıtma çamurundan (%62.88) yüksektir. Bundan dolayı torf içeren yetiştirme ortamlarında, karışımlardaki arıtma çamuru oranının artması organik madde içeriğini düşürmüştür. Bunun aksine toprağın organik madde oranı (%2.32) arıtma çamuruna göre oldukça

düşüktür. Bu durum toprak içeren yetiştirme ortamlarında arıtma çamuru oranı arttıkça organik madde içeriğinin yükselmesini sağlamıştır.

Tablo 4.1. Yetiştirme ortamlarının kimyasal özellikleri

Parametreler	Aritma Çamuru	Toprak (T)	Torf (P)	TAÇ1	TAÇ2	TAÇ3	PAÇ1	PAÇ2	PAÇ3
Organic matter (% v/v)	62.68	2.32	92	10.86	15.42	27.05	89.46	83.12	74.64
pH	7.2	7.9	6.4	7.8	7.6	7.6	6.4	6.5	6.8
EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1928	529	1118	648	789	942	1292	1316	1462
Ca (mg kg^{-1})	1.82	11.52	98.82	11.32	11.14	9.92	92.24	90.65	90.14
Mn (mg kg^{-1})	1.24	7.59	7.65	7.22	5.64	4.92	6.84	6.42	5.92
Cu (mg kg^{-1})	16	1.82	4.12	2.62	4.94	7.32	7.46	8.16	9.12
Zn (mg kg^{-1})	1236	1.02	12.26	2.76	9.44	16.32	22.92	28.14	45.94

Yetiştirme ortamlarını oluşturan temel materyallerden toprak, torf ve arıtma çamurlarının pH değerleri sırasıyla 7.9, 6.4 ve 7.2 dir. Bu durum toprak içeren yetiştirme ortamlarında arıtma çamuru oranı yükseldikçe pH' ın düşmesine, torf uygulamalarında ise yükselmesine neden olmuştur (Tablo 4.1).

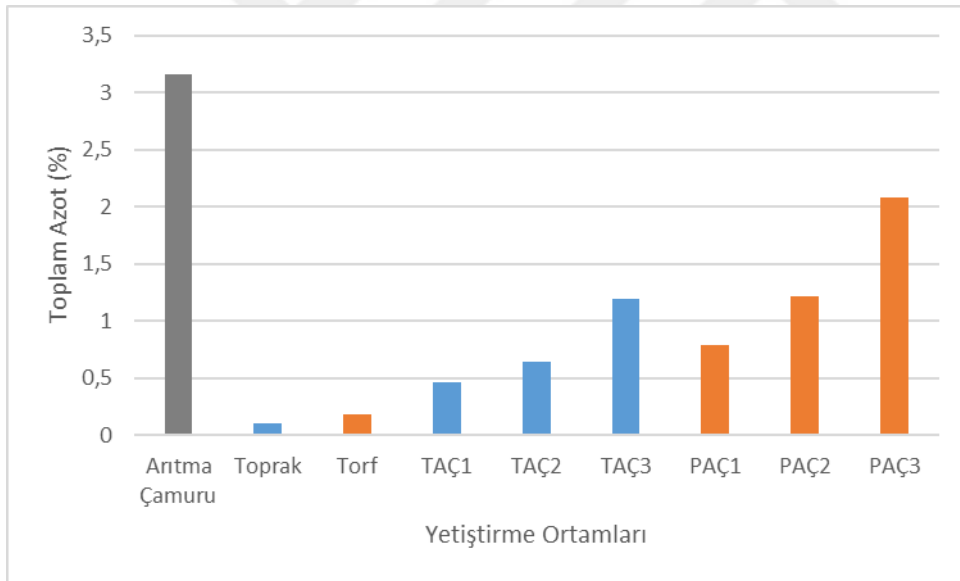
Yetiştirme ortamı içerisinde en yüksek elektriksel iletkenlik değeri %50 torf ve %50 arıtma çamurundan oluşan PAÇ3 uygulamasında ($1462 \mu\text{S cm}^{-1}$), en düşük elektriksel iletkenlik değeri ise %87.5 toprak ve %12.5 arıtma çamurundan oluşan TAÇ1 uygulamasında ($648 \mu\text{S cm}^{-1}$) ölçülmüştür.

Çalışmada kullanılan toprak (Ca:11.52 mg/kg) ve torfun (Ca:98.82 mg/kg) kalsiyum değerleri arıtma çamurundan (Ca:1.82 mg/kg) yüksektir. Bu durum toprak ve torf uygulamalarının tamamında karışımlardaki arıtma çamuru oranı yükseldikçe, yetiştirme ortamlarının kalsiyum değerinin düşmesine neden olmuştur. Yetiştirme ortamları arasında en yüksek kalsiyum değeri 92.24 mg/kg ile PAÇ1 uygulamasında, en düşük kalsiyum değeri ise 9.92 mg/kg ile TAÇ3 uygulamasında bulunmuştur (Tablo 4.1).

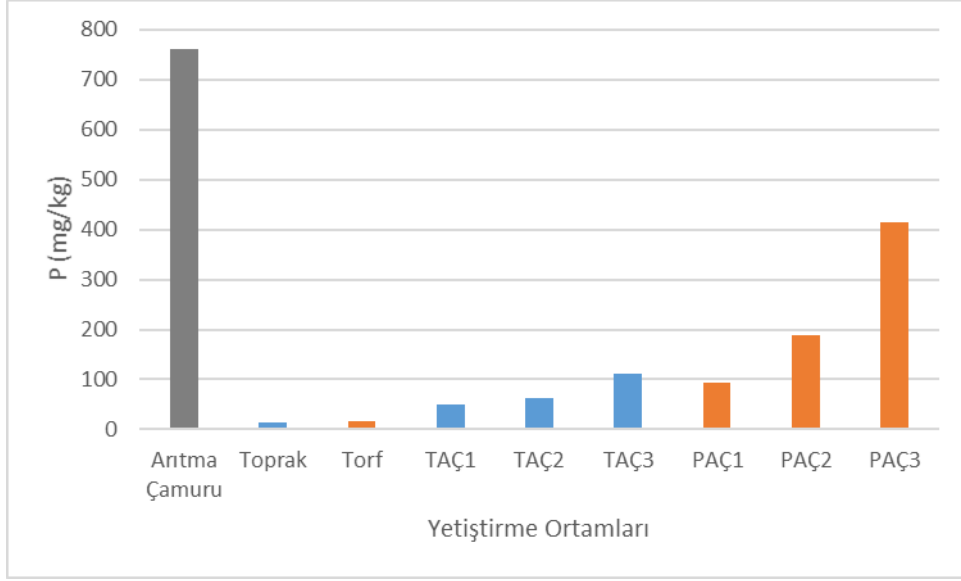
Arıtma çamuru ilavesi yüksek bitki besin elementi içeriğinden dolayı yetiştirme ortamlarının makro ve mikro besin elementi içeriğini yükseltmiştir. Tablo 4.1' de verilen yetiştirme ortamlarının mikro bitki besin elementi içerikleri incelendiğinde,

toprak kullanılan yetiştirme ortamlarında en yüksek mikro besin elementi içeriğinin %50 arıtma çamuru kullanılan TAÇ3 uygulamasında (Zn:16.32 mg/kg, Cu: 7.32 mg/kg, Mn: 4.92 mg/kg) ölçüldüğü, benzer şekilde torf kullanılan yetiştirme ortamları arasında en yüksek bitki besin elementi içeriğinin de yine %50 arıtma çamuru içeren PAÇ3 uygulamasında (Zn: 45.94 mg/kg, Cu: 9.12 mg/kg, Mn: 5.92 mg/kg) belirlendiği söylenebilir.

Arıtma çamuru ilavesi mikro besin içeriğinde olduğu gibi yetiştirme ortamlarının makro bitki besin elementi içeriğini de artırmıştır. Yetiştirme ortamlarının toplam azot, fosfor ve potasyum içerikleri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’ de sunulmuştur. Arıtma çamurunun yüksek azot içeriği (%3.16), toprak ve torf kullanılan her iki uygulamada da, arıtma çamuru oranı arttıkça azot miktarının yükselmesini sağlamıştır. Toprak ve arıtma çamuru karışımı ile hazırlanan yetiştirme ortamlarında en yüksek azot oranı %0.64 ile TAÇ3 uygulamasında, torf içeren yetiştirme ortamlarında ise en yüksek azot oranı %2.08 ile PAÇ3 uygulamasında ölçülmüştür (Şekil 4.1).

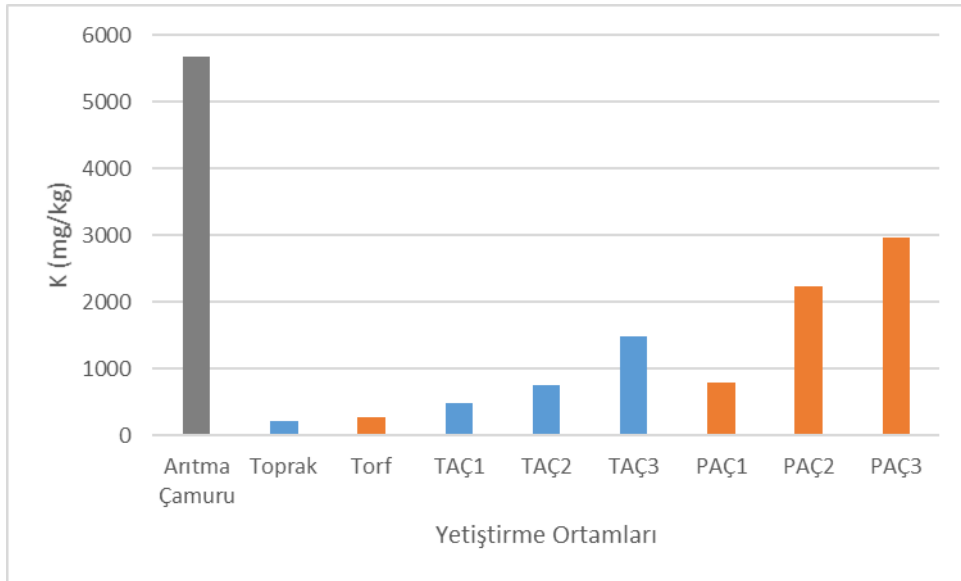


Şekil 4.1. Yetiştirme ortamlarının toplam azot içeriği



Şekil 4.2. Yetiştirme ortamlarının fosfor içeriği

Yetiştirme ortamlarının fosfor içeriklerinin sunulduğu Şekil 4.2 incelendiğinde, azot içeriğine benzer şekilde tüm yetiştirme ortamlarında, karışımın arıtma çamuru arttıkça fosfor içeriğinin de yükseldiği söylenebilir. Toprak kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarında en yüksek fosfor içeriği 122 mg/kg ile TAÇ3 uygulamasında en düşük fosfor içeriği ise 49.4 mg/kg ile TAÇ1 uygulamasında belirlenmiştir. Torf kullanılan yetiştirme ortamlarında ise, en yüksek fosfor değeri en fazla arıtma çamuru kullanılan PAÇ3 uygulamasında, en düşük değer ise en düşük oranda arıtma çamuru kullanılan PAÇ1 uygulamasında ölçülmüştür.

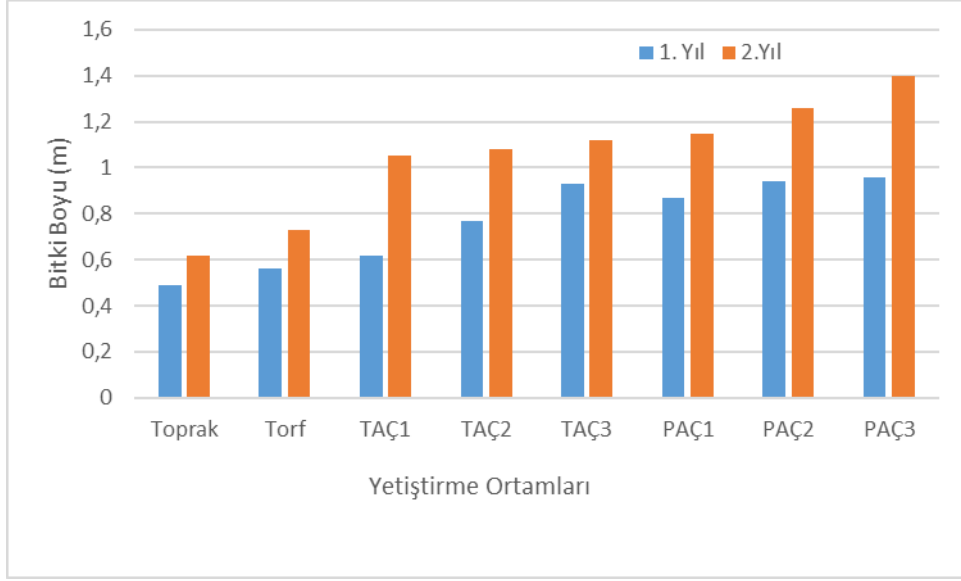


Şekil 4.3. Yetiştirme ortamlarının potasyum içeriği

Yetiştirme ortamı karışımlarının hazırlanmasında kullanılan toprak, torf ve arıtma çamurlarının potasyum değeri sırasıyla, 214, 266 ve 5682 mg/kg olup, arıtma çamuru diğer bileşenlere göre oldukça yüksek bir potasyum içeriğine sahiptir. Bundan dolayıdır ki, toprak ve torf kullanılarak hazırlanan yetiştirme ortamlarının tamamında arıtma çamuru ilavesi potasyum içeriğini artırmıştır. Çalışmada ölçülen en yüksek potasyum değeri %50 torf ve %50 arıtma çamuru kullanılarak hazırlanan PAÇ3 (2964 mg/kg) yetiştirme ortamında, en düşük potasyum değeri ise %87.5 toprak ve %12.5 arıtma çamuru kullanılarak hazırlanan TAÇ1 (492 mg/kg) yetiştirme ortamında bulunmuştur (Şekil 4.3).

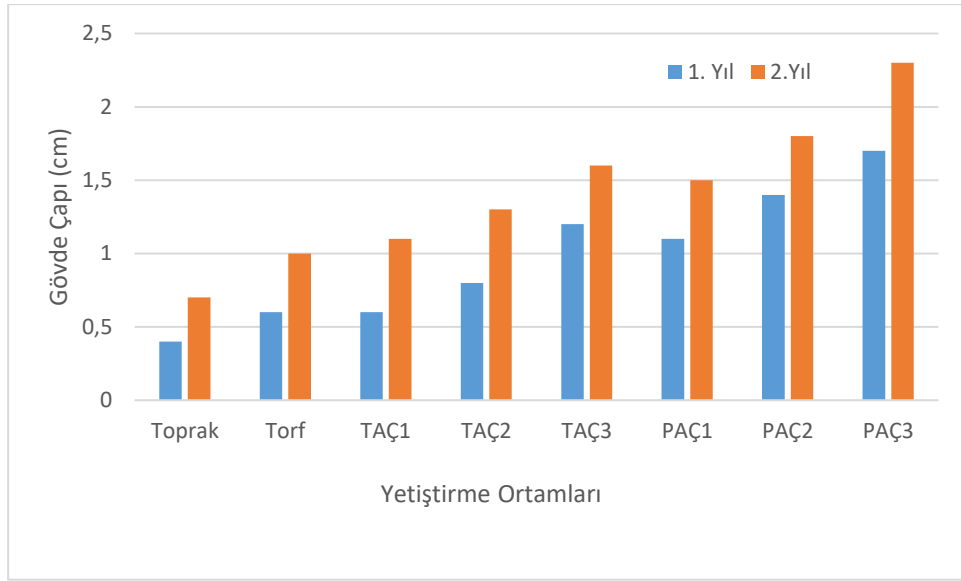
Arıtma çamurlarının bitkisel üretimde kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalarda arıtma çamuru ilavesinin toprak ve yetiştirme ortamlarının mikro ve makro bitki besin elementi içeriklerini artırdığı rapor edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki ilgili çalışmaların sonuçları ile uyumlu bulunmuştur [37-38].

Gerçekleştirilen çalışmada, arıtma çamurlarının *Ricinus communis L.* (Castor Been) bitkisinin büyümesine olan katkılarının belirlenebilmesi amacıyla saksı denemeleri hazırlanmış ve saksılarda iki yıl büyütülen bitkilerin, birinci ve ikinci yıl sonundaki bitki boyu ve gövde çapı değişimleri gözlenmiştir. Ölçülen bitki boyu değerleri Şekil 4.4' de sunulmaktadır. Denemeler arasında birinci yıl ölçülen en yüksek bitki boyu 0.96 m bulunurken ikinci yıl ölçülen en yüksek bitki boyu 1.4 m olmuştur. Her iki büyüme yılı sonunda, en yüksek bitki boylarının ölçüldüğü uygulama %50 torf ve %50 arıtma çamuru karışımından oluşan PAÇ3 uygulamasıdır. Arıtma çamuru kullanılan denemeler arasında birinci ve ikinci yıl sonunda ölçülen en düşük bitki boyları TAÇ1 uygulamasında ve 0.62 ve 1.05 m olmuştur. Ölçülen en düşük bitki boyu değerleri dahil olmak üzere arıtma çamuru kullanılan tüm yetiştirme ortamlarında elde edilen bitki boyu değerleri, kontrol amacıyla kullanılan %100 toprak (1.yıl: 0.49 m, 2.yıl: 0.62 m) ve torf (1.yıl: 0.56 m, 2.yıl: 0.79 m) doldurulmuş saksılarda yetiştirilen bitkilerin birinci ve ikinci yıl sonundaki bitki boyu değerlerinin üzerindedir. Arıtma çamuru ilavesinin bitki boyu üzerindeki olumlu etkileri konu ile ilgili bilimsel çalışmaların ortak bulguları arasındadır. Bu çalışmada elde edilen bitki boyu sonuçları literatürdeki çalışmaların sonuçları ile paraleldir [38-39].



Şekil 4.4. Yetiştirme ortamı uygulamalarında ölçülen bitki boyları

Saksı denemelerinde olduğu gibi arıtma çamurlarının, *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinin büyümesine olan olumlu etkileri bitki gövde çapı sonuçlarında da açıkça görülmüştür. Saksı denemelerinde, birinci yıl sonunda ölçülen en yüksek gövde çapı değeri 1.7 cm ile en yüksek oranda arıtma çamuru içeren PAÇ3 uygulamasında ölçülürken, ikinci yıl sonundaki en yüksek gövde çapı 2.3 cm ile yine bu uygulamada belirlenmiştir (Şekil 4.5). Saksı denemelerinde ölçülen en düşük gövde çapı değeri %100 toprak kullanılan kontrol uygulamasında (0.4 cm) birinci yetiştirme yılı sonunda bulunmuştur. Bununla birlikte her iki yetiştirme yılındaki gövde çapı ölçümlerinde elde edilen sonuçlar torf kullanılan yetiştirme ortamındaki bitkilerin, toprak kullanılan uygulamalarda yetiştirilen bitkilerden daha yüksek gövde çapı değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmada belirlenen gövde çapı artışları, arıtma çamuru kullanılan yetiştirme ortamları ile yapılmış literatürdeki çalışmalarla benzerdir [40].

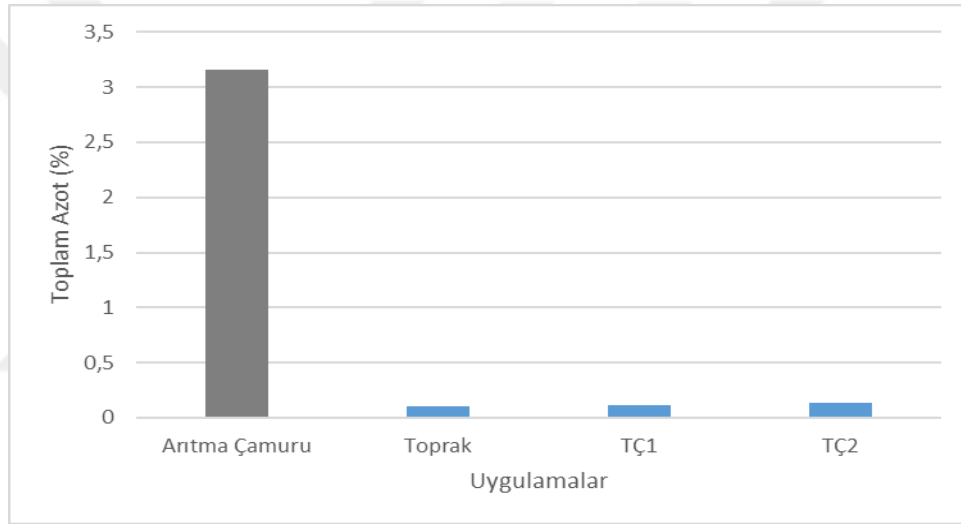


Şekil 4.5. Yetiştirme ortamı uygulamalarında ölçülen bitki gövde çapları

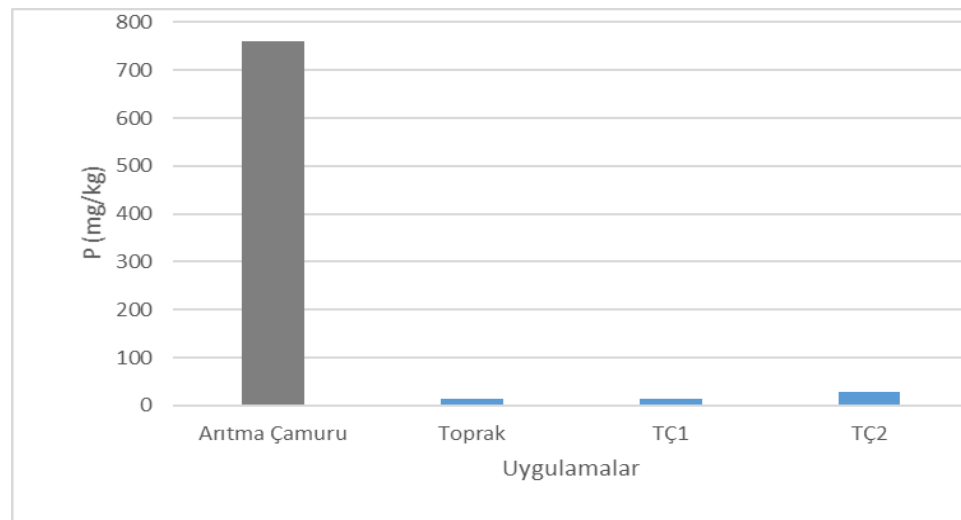
Saksı denemeleri ile arıtma çamuru kullanımının *Ricinus communis L.* (Castor Been) bitkisinin büyümesine olan katkılarını saha koşullarında test etmek ve bu katkının bitkinin biyodizel üretiminde kullanılan tohumları ve tohum yağ oranı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla iki farklı arıtma çamuru yüklemesi yapılarak saha denemesi gerçekleştirilmiştir. Saha denemelerinde toprağa gübre sağlayıcı olarak katılan arıtma çamurlarının, toprağın kimyasal özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla analizler yapılmış ve sonuçları Tablo 4.2, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’ de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, arıtma çamuru ilavesinin, içeriğindeki yüksek orandaki makro ve mikro besin elementleri ile toprağın bitki büyütme potansiyeline etki eden kimyasal özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Arıtma çamuru kullanılan her iki uygulamada da (SSW1 and SSW2) elde edilen toplam azot, potasyum ve fosfor değerleri, kontrol uygulaması olan arıtma çamuru uygulanmamış topraktaki değerlerden yüksektir. Bununla birlikte en yüksek değerler en fazla arıtma çamuru kullanılan SSW2 uygulamasında elde edilmiştir. Bitki gelişimi için en önemli besin elementleri olan azot, fosfor ve potasyumdaki bu artış bitki büyütme potansiyelini artıran temel nedendir. Benzer şekilde arıtma çamuru ilavesi toprağın mikro besin elementi içeriğini de artırmıştır. Özellikle çinko içeriğindeki artış bitki gelişimi açısından önemlidir.

Tablo 4.2. Saha uygulamasındaki toprak numunelerinin kimyasal özellikleri

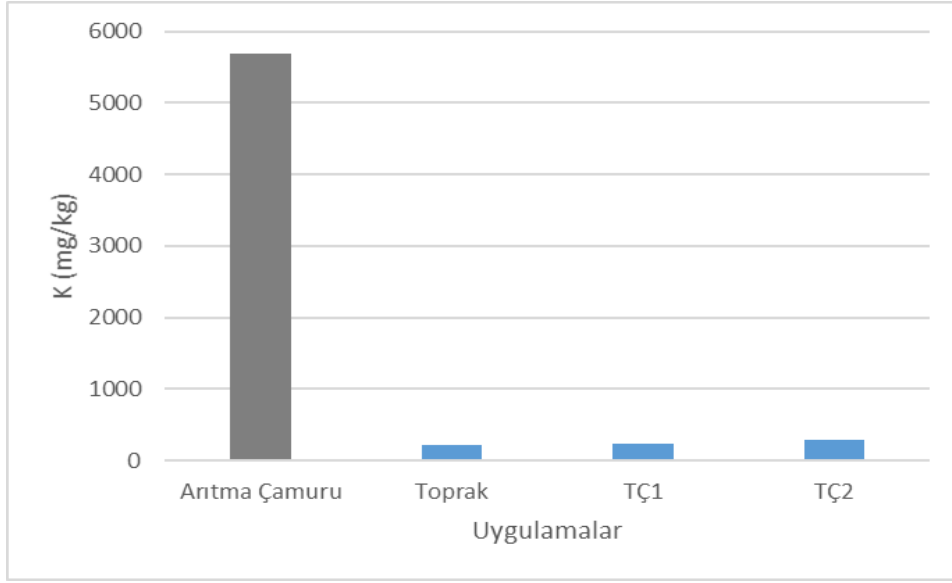
Parametreler	Aritma Çamuru	Toprak	TÇ1	TÇ2
Organic matter (% v/v)	62.68	2.32	2.45	2.93
pH	7.2	7.9	7.9	7.8
EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1928	529	573	612
Ca (mg kg^{-1})	1.82	11.52	10.96	10.65
Mn (mg kg^{-1})	1.24	7.59	7.58	7.58
Cu (mg kg^{-1})	16	1.82	1.88	2.05
Zn (mg kg^{-1})	1236	1.02	2.54	2.96



Şekil 4.6. Toprak numunelerinin toplam azot içeriği

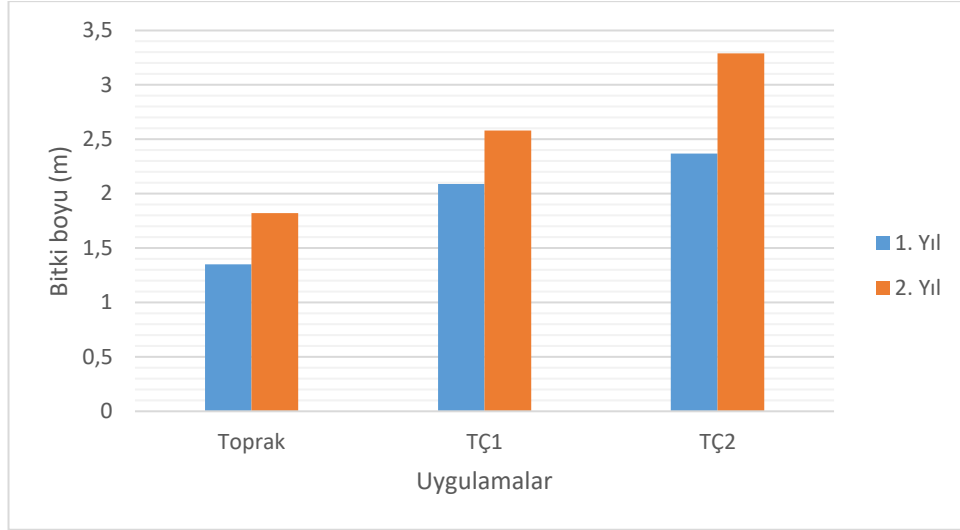


Şekil 4.7. Toprak numunelerinin fosfor içeriği

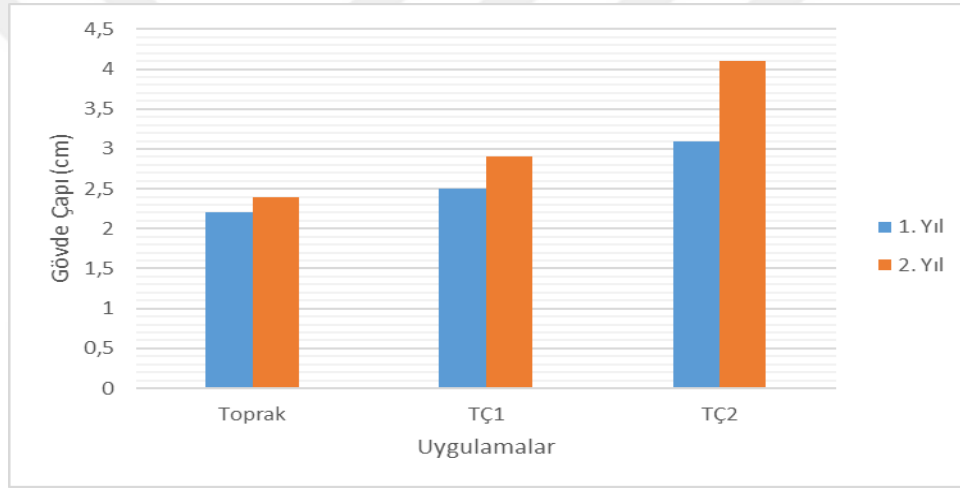


Şekil 4.8. Toprak numunelerinin potasyum içeriği

Çalışma kapsamındaki saha çalışmalarında doğrudan toprakta yetiştirilen *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinin bitki boyu, gövde çapı, tohum miktarı ve tohum yağ oranlarındaki değişim Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’ de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek bitki boyu 3.29 m ile en yüksek miktarda arıtma çamuru kullanılan uygulama olan SSW2 uygulamasında görülmüştür. Kontrol uygulaması olarak kullanılan çamur uygulanmamış toprakta yetiştirilen *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkilerinin ortama boyları 2.32 m olarak bulunmuştur (Şekil 4.9). Bununla birlikte birinci ve ikinci yıllar arasındaki bitki boyu farkları incelendiğinde kontrol ve SSW1 uygulamasında yaklaşık en yüksek fark 0.92 m ile SSW2 uygulamasında görülürken kontrol ve SSW1 uygulaması benzer sonuç vermiştir. Bu durum düşük miktarda çamur kullanılan SSW1 uygulamasındaki makro ve mikro besin elementinin yağışlar ve sulama gibi dış etkenlerinde etkisi ile azalmasından kaynaklanabilir.



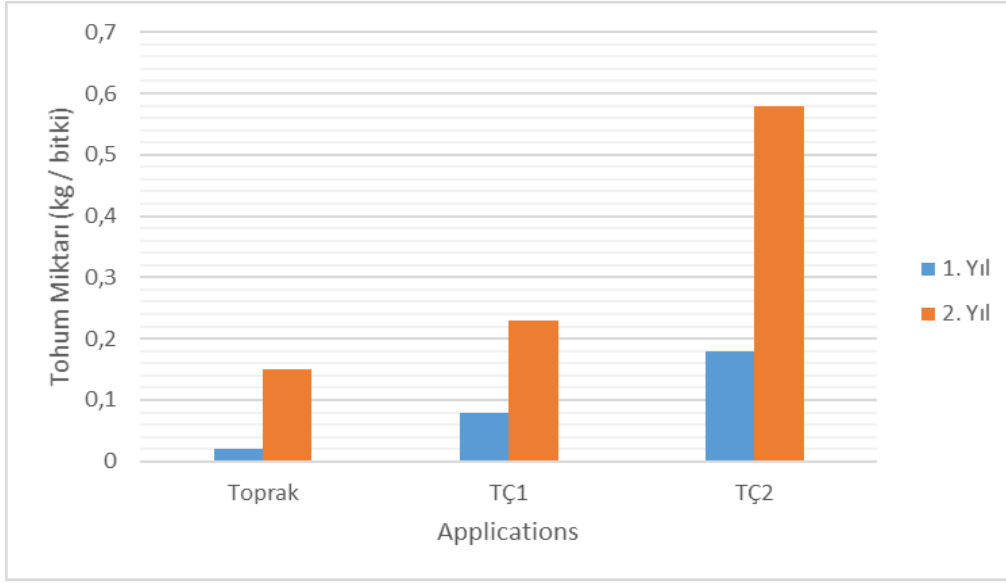
Şekil 4.9. Toprak uygulamalarında ölçülen bitki boyları



Şekil 4.10. Toprak uygulamalarında ölçülen bitki gövde çapları

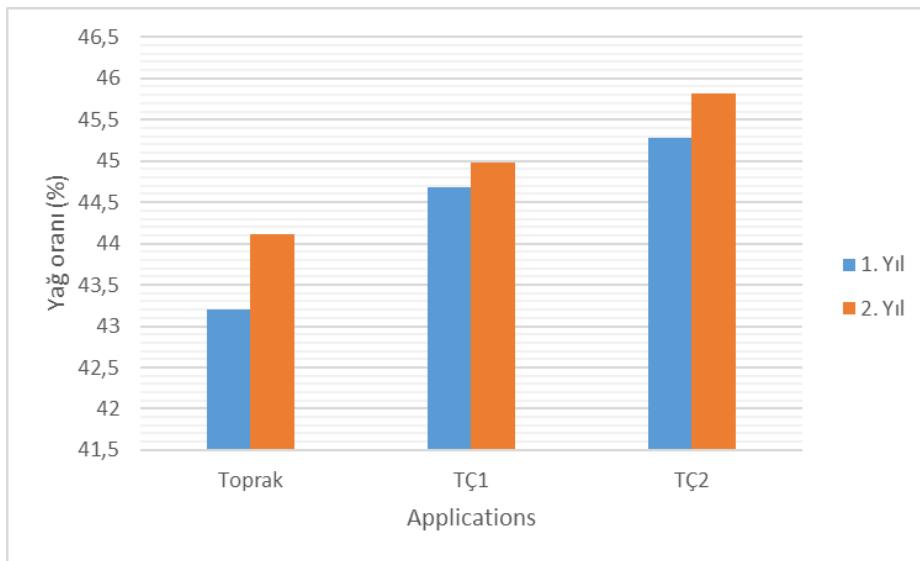
Benzer şekilde en yüksek gövde çapı 4.1 cm ile en yüksek miktarda çamur kullanılan SSW2 uygulamasında görülmüştür. Diğer çamur kullanılan uygulama olan SSW1 uygulamasında ikinci yıl sonunda elde edilen bitki gövde çapı 2.9 cm dir. Kontrol uygulamasında ki bitkilerin ikinci yıl sonundaki bitki gövde çapı ortalamaları ise 2.4 cm dir. (Şekil 4.10).

Ricinus communis L. (Castor Been) bitkisinde beklendiği üzere ilk yıl sonundaki tohum miktarı çok düşüktür. Esas tohum oluşumu bitkiler belli bir büyüklüğe ulaştıktan sonra ikinci yılda gerçekleşmiştir. Çalışma kapsamında, SSW2, SSW1 ve kontrol uygulamasından bitki başına elde edilen tohum miktarları sırasıyla 0.58 kg, 0.23 kg ve 0.15 kg olarak gerçekleşmiştir. En yüksek miktarda tohum eldesi en yüksek miktarda arıtma çamuru kullanılan SSW2 uygulamasında görülmüştür (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Toprak uygulamalarında bitki başına elde edilen tohum miktarları

Çalışma kapsamında *Ricinus communis* L. (Castor Been) tohumlarının yağ içerikleri incelenmiş ve en yüksek yağ içeriğinin 45.82% ile en çok arıtma çamuru kullanılan SSW2 uygulamasında elde edildiği görülmüştür. Diğer çamur kullanılan uygulama olan SSW1 uygulamasında bulunan tohum yağ içeriği 44.98% ve kontrol uygulamasından elde edilen yağ içeriği 44.12% olmuştur. Birinci yılda *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinden elde edilen tohum miktarının çok düşük olmasının yanında tohumların yağ oranları da ikinci yıla göre düşük bulunmuştur. Bu durumun bitkinin yeterli olgunluğa gelmemesinde kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Toprak uygulamalarındaki tohum yağ oranlar

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değışikliğinin olumsuz etkilerinin her geçen gün daha fazla hissedilmeye başlamış olması ve konu ile ilgili gelecek projeksiyonunun işaret ettiği olumsuzluklar, iklim değışikliğine neden olan en önemli kaynağı olan fosil yakıtların tüketimin azaltılması konusundaki kararlılığı artırmıştır. Bununla birlikte günümüz insan yaşamının enerjiye bağımlı olması, fosil yakıtları ikame edecek yenilenebilir enerji kaynaklarının yeterince kullanılamaması ve dönüşüm maliyetinin yüksekliği gibi birincil sorunlara çözüm bulunamamış olması iklim değışikliğine ile mücadelenin yavaş ilerlemesine neden olmaktadır. Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynaklarının en verimli şekliyle ve yaygın olarak kullanılması çok önemlidir.

Biyodizel retimi ve kullanımı yenilenebilir enerji kullanımında sağladığı avantajlarla ön plana çıkmaktadır. Bunun en temel sebebi mevcut sabit ve mobil yanma ünitelerinde çoğunlukla modifikasyon gerektirmeden veya küçük modifikasyonlarla sorunsuz kullanılabilmesi ve enerji bitkileri ve atıklardan retilenmesidir. Ancak enerji bitkilerinin büyük miktarlarda retimnin gıda güvenliği açısından risk oluşturacağı düşünülmektedir. Oysaki mevcut durumda gıda üretimi yapılan tarım alanları dışında kalan verimsiz arazilerin enerji bitkisi üretiminde kullanılması bu riskleri azaltabilir. Bununla birlikte bitkisel yağların elde edilmesi için kullanılan bitkilerin yetiştirilmesinde kimyasal gübre uygulamaları yetiştirilecek enerji bitkisi maliyetini artırmaktadır. Bu durumda izlenmesi gereken yol bu verimsiz arazilerin enerji bitkisi yetiştiriciliğine uygun hale getirmenin en ekonomik ve uygulanabilir yöntemini geliştirmektir. Toprak iyileştirici ve bitki besin elementi sağlayıcı olarak atık su arıtma amurlarının kullanılması bu konuda iyi bir alternatif sunabilir.

Bu bakış açısı ile gerçekleştirilen bu çalışmada, evsel atık su arıtma amurlarının, yağlı tohumlu bir bitki olan ve bu nedenle biyodizel üretiminde kuvvetli bir potansiyel barındıran *Ricinus communis L.* (Castor Been) bitkisinin büyümesine, tohum ve yağ miktarına olan etkileri saksı denemeleri ve saha uygulaması ile incelenmiştir.

Çalışmada elde edilen tüm sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde arıtma çamuru uygulamasının toprağın kimyasal özelliklerini ve bitki büyütme potansiyelini

önemli ölçüde iyileştirdiği söylenebilir. Konu ile ilgili literatürde arıtma çamurunun yavaş salınımlı gübreler gibi davrandığı rapor edilmektedir.

Bu durum özellikle *Ricinus communis* L. (Castor Been) bitkisinin büyümesine olumlu katkı sağlamıştır. Özellikle elde edilen tohum miktarının artması ve daha yüksek yağ oranına ulaşması elde edilebilecek biyodizel miktarının artmasını sağlayacaktır. Bu durum enerji bitkisi yetiştiriciliğinin artması ile fosil yakıtlara olan talebin azalmasını sağlayacak ve iklim değişikliği ile mücadeleye katkı sunacaktır.

Bunun yanında bu kullanım şekli son yıllarda çok büyük artış gösteren ve önemli bir katı atık türü olan atık su arıtma çamurları için ekonomik, ekolojik ve sürdürülebilir bir bertaraf alternatifi sağlayacaktır. Böylece arıtma çamurlarının doğal çevre ve insan sağlığı açısından oluşturduğu riskler azaltılmış olacaktır. Ancak atık su kanalizasyon sistemlerinin yeterinde kontrol edilememesi nedeniyle arıtma çamuru içerisinde artabilecek ağır metaller gibi kirleticiler toprak uygulaması sonucunda toprakta birikim yapabilir. Bunun yanında toprak uygulaması yapılan arazinin zemin özellikleri, eğim ve iklim şartları gibi özellikleri uygulanan arıtma çamurlarının yüzey ve yer altı sularına ulaşmasına ve kirlilik oluşturmaya neden olabilir. Bu gibi durumların oluşmaması için arıtma çamuru uygulamalarının ulusal ve uluslararası yönetmeliklere uygun yapılması ve takibi önemlidir. Arıtma çamurlarının enerji bitkilerinin üretiminde kullanılması konusunda ilerleme sağlanması için farklı toprak koşullarında, değişik iklimlerde ve farklı bitki türleriyle denemeler yapılması, arıtma çamurlarına olan ilgiyi artıracak ve yerel, ulusal ve uluslararası düzeyde politika geliştiricilerin karar verme süreçlerinde etkili olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Abbasi, Tasneem & Abbasi, S. A.. (2011). Decarbonization of fossil fuels as a strategy to control global warming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15. 1828-1834. 10.1016/j.rser.2010.11.049.
- [2] Coram, Alex & Katzner, Donald. (2018). Reducing fossil-fuel emissions: Dynamic paths for alternative energy-producing technologies. *Energy Economics*. 70. 10.1016/j.eneco.2017.12.028.
- [3] Ackerman, F., DeCanio, S. J, Howarth, R. B, & Sheeran, K. (2009). Limitations of integrated assessment models of climate change. Springer Netherlands. *Climatic Change: An Interdisciplinary, International Journal Devoted to the Description, Causes and Implications of Climatic Change*, 95(3).
- [4] Meijaard, Erik & Brooks, Thomas & Carlson, Kimberly & Slade, Eleanor & Garcia-Ulloa, John & Gaveau, D. & Lee, Janice Ser Huay & Santika, Truly & Juffe-Bignoli, Diego & Struebig, Matthew & Wich, Serge & Ancrenaz, Marc & Koh, Lian & Zamira, Nadine & Abrams, Jesse & Prins, Herbert & Sendashonga, Cyriaque & Murdiyarso, Daniel & Furumo, Paul & Sheil, Douglas. (2020). The environmental impacts of palm oil in context. *Nature Plants*. 6. 1418. 10.1038/s41477-020-00813-w
- [5] Wibul, Pharawee & Malakul, Pomthong & Pavasant, Prasert & Kangvansaichol, Kunn & Papong, Seksan. (2012). Life Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae in Thailand: Energy Efficiency and Global Warming Impact Reduction. *Chemical Engineering Transactions*. 29. 1183-1188. 10.3303/CET1229198.
- [6] Nascimento, Altina & de Souza, Adijailton & Oliveira, Fernando & Coscione, Aline & Viana, Douglas & Regitano, Jussara. (2020). Chemical attributes of sewage sludges: Relationships to sources and treatments, and implications for sludge usage in agriculture. *Journal of Cleaner Production*. 258. 10.1016/j.jclepro.2020.120746.
- [7] Bravo, Sandra & Navarro, Francisco Jesus & Amoros, Jose & Pérez-de-los-Reyes, Caridad & Higuera, Pablo. (2015). Effect of the addition of sewage sludge as a fertilizer on a sandy vineyard soil. *Journal of Soils and Sediments*. 16. 10.1007/s11368-015-1102-x.
- [8] Vieira, Rosana & Pazianotto, Ricardo. (2016). Microbial activities in soil cultivated with corn and amended with sewage sludge. *SpringerPlus*. 5. 10.1186/s40064-016-3502-9.
- [9] Nascimento, Altina & de Souza, Adijailton & Oliveira, Fernando & Coscione, Aline & Viana, Douglas & Regitano, Jussara. (2020). Chemical attributes of sewage sludges: Relationships to sources and treatments, and implications for sludge usage in agriculture. *Journal of Cleaner Production*. 258. 10.1016/j.jclepro.2020.120746.

- [10] Kacprzak, Malgorzata & Neczaj, Ewa & Fijałkowski, Krzysztof & Grobelak, Anna & Grosser, Anna & Worważ, Małgorzata & Rorat, Agnieszka & Brattebø, Helge & Almås, Åsgeir & Singh, Bal. (2017). Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental Research*. 156. 39-46. 10.1016/j.envres.2017.03.010.
- [11] Xiao, Lishan & Yin, Wang & Zhilong, Ye & Jiangfu, Liao. (2018). Comparative life cycle assessment of sludge management: A case study of Xiamen, China. *Journal of Cleaner Production*. 192. 10.1016/j.jclepro.2018.04.171.
- [12] Wuebbles, Donald & Jain, Atul. (2001). Concerns About Climate Change and the Role of Fossil Fuel Use. *Fuel Processing Technology*. 71. 99-119. 10.1016/S0378-3820(01)00139-4.
- [13] Day, Creina & Day, Garth. (2017). Climate change, fossil fuel prices and depletion: The rationale for a falling export tax. *Economic Modelling*. 63. 153-160. 10.1016/j.econmod.2017.01.006.
- [14] Dede, G.; Pekarchuk, O.; Ozer, H.; Dede, O.H. Alternative Growing Media Components for Green Wall Designs in Terms of Lightweight. In *Proceedings of the 2nd International Congress on Engineering and Architecture, Marmaris, Turkey, 22–24 April 2019*; pp. 373–383.
- [15] Shir Reen Chia, S.R. Ong, H.C., Chew, K.W. Show, P.L., Phang, S.M., Ling, T.C., Nagarajan, D., Lee, D.J., Chang, J.S., Sustainable approaches for algae utilisation in bioenergy production, *Renewable Energy* 129 (2018) 838-852].
- [16] Gaurav, N., Sivasankari, S., Kiran, GS., Ninawe, A., Selvin, N., Utilization of bioresources for sustainable biofuels: A Review, Volume 73, June 2017, Pages 205-214; (Adair, KL., Wratten, S., Barnes, A.M., Waterhouse, B.R., Smith, M., Lear, G., Weber, P., Pizey, M., Boyer, S., Effects of biosolids on biodiesel crop yield and belowground communities, *Ecological Engineering* 68 (2014) 270–278)].
- [17] Carlos S. Osorio-González, Natali Gómez-Falcon, Fabiola Sandoval-Salas, Rahul Saini, Satinder K. Brar, Antonio Avalos Ramírez, Production of Biodiesel from Castor Oil: A Review, *Energies* 2020, 13, 2467;
- [18] Neupane, Dhurba. (2022). Biofuels from Renewable Sources, a Potential Option for Biodiesel Production. *Bioengineering*. 10. 29. 10.3390/bioengineering10010029.
- [19] Osorio-González, C.S., Gómez-Falcon, N., Sandoval-Salas, F., Saini, R., Brar, S.K., Ramírez, A.A. (2020). Production of Biodiesel from Castor Oil: A Review, *Energies*, 13, 2467.
- [20] Mathew, G.M., Raina, D., Narisetty, V., Kumar, V., Saran, S., Pugazhendhi, A., Sindhu, R., Pandey, A., Binod, P. (2021). Recent advances in biodiesel production: Challenges and solutions, *Science of the Total Environment* 794, 148751.
- [21] Torres, E.A., Cerqueira, G.S., Ferrer, T.M., Quintella, C.M., Raboni, M., Torretta, V., Urbini, G. (2013). Recovery of different waste vegetable oils for biodiesel production: a pilot experience in Bahia State, Brazil. *Waste Manage.* 33, 2670–2674.

- [22] TÜBİTAK (2022). Türkiye Bitkileri Veri Servisi, (Son Erişim Tarihi: 16.11.2023)].
- [23] Darshan T. Dharajiya, Anshuman Shah, Bhemji P. Galvadiya, M.P. Patel, Rishi Srivastava, Nalin K. Pagi, S.D. Solanki, Swarup K. Parida, Kapil K. Tiwari, Genome-wide microsatellite markers in castor (*Ricinus communis* L.): Identification, development, characterization, and transferability in Euphorbiaceae, *Industrial Crops and Products*, Volume 151, 2020, 112461, ISSN 0926-6690.
- [24] Kuldeep Baudh, Kripal Singh, Bhaskar Singh, Rana P. Singh, *Ricinus communis*: A robust plant for bio-energy and phytoremediation of toxic metals from contaminated soil, *Ecological Engineering* 84 (2015) 640–652.
- [25] Chiaradia, J. J.; Chiba, M. K.; Andrade, C. A.; Oliveira, C.; Lavoretti, A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33. p.701-709, 2009.
- [26] Altina Lacerda Nascimento, Reginaldo Arruda Sampaio, D.S. Brandão Jr, Luiz Arnaldo Fernandes, Productivity of castor bean in response to fertilization with Sewage sludge, 2011, *Revista Caatinga* 24(4):145-151.
- [27] Seleiman, M. F., Santanen, A., Stoddard, F. L., Mäkelä, P. (2012). Feedstock quality and growth of bioenergy crops fertilized with sewage sludge. *Chemosphere* 89 (10), 1211–1217. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.07.031.
- [28] Thomaz F. Lobo, Helio Grassi Filho, Leonardo T. Bull, Ana C. B. Kummer, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(5):504–509, 2013.
- [29] Lag-Brotons, A., Gomez, I., Navarro-Pedreno, J., Mayoral, A.M., Curt, M.D., Sewage sludge compost use in bioenergy production – a case study on the effects on *Cynara cardunculus* L energy crop. *J. Cleaner Production*. 79, 32-40, 2014].
- [30] Thâmara F. M. Cavalcanti, Geraldo R. Zuba Junio, Reginaldo A. Sampaio, João P. Carneiro, Ely S. A. de Oliveira, Márcio N. Rodrigues, Yield of castor bean fertilized with sewage sludge and potassium and magnesium sulphate, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.8, p.773–779, 2015].
- [31] Özdemir, S., Dede, O.H., Inan, M., Turp, S.M., Effects of Sewage Sludge on Energy Content and Combustion Emissions of Energy Crops, *International Journal Of Agriculture & Biology*, 20(7), 1575-1580].
- [32] Zuo, W., Gu, C., Zhang, W., Xu, K., Wang, Y., Bai, Y., Shan, Y., Dai, Q., Sewage sludge amendment improved soil properties and sweet sorghum yield and quality in a newly reclaimed mudflat land, *Science of the Total Environment* 654 (2019) 541–549]].
- [33] Dubis, B., Jankowski, K.J., Załuski, D., Sokolski., The effect of sewage sludge fertilization on the biomass yield of giant miscanthus and the energy balance of the production process, *Energy* 206 (2020) 118189]].
- [34] Jankowski, K.J., Dubis, B., Kozak, M., Sewage sludge and the energy balance of Jerusalem artichoke production - A case study in north-eastern Poland, *Energy* 236 (2021) 121545.)).

- [35] Spinosa, L.; Ayol, A.; Baudez, J.-C.; Canziani, R.; Jenicek, P.; Leonard, A.; Rulkens, W.; Xu, G.; Van Dijk, L. Sustainable and Innovative Solutions for Sewage Sludge Management. *Water* 2011, 3, 702-717.
- [36] Ahmed, Hussein & Fawy, Hassan & Abdel-Hady, E.S.. (2010). Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 1. 1044-1049. 10.5251/abjna.2010.1.5.1044.1049.
- [37] Ying-heng Fei, Dan Zhao, Ye Liu, Weihua Zhang, Yuan-yuan Tang, Xuexia Huang, Qihang Wu, Yue-xing Wang, Tangfu Xiao, Chengshuai Liu, Feasibility of sewage sludge derived hydrochars for agricultural application: Nutrients (N, P, K) and potentially toxic elements (Zn, Cu, Pb, Ni, Cd), *Chemosphere*, Volume 236, 2019, 124841, ISSN 0045-6535,
- [38] Omer Hulusi Dede & Saim Ozdemir (2018) Development of nutrient-rich growing media with hazelnut husk and municipal sewage sludge, *Environmental Technology*, 39:17, 2223-2230.
- [39] Dede G, Ozdemir S, Dede HO, Altundag H, Dundar SM, Kiziloglu TF. Effects of sewage sludge on nutrient availability for kiwi fruits under high pH soil conditions. *Fresenius Environmental Bulletin* PSP. 2015, 24:5a.
- [40] Wong, I., Baldwin, A.N., Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region, *Building and Environment* 97, 34-39, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet BİRİNCİOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Önlisans** : 2009, Giresun Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Harita Kadastro
- **Lisans** : 2013, Anadolu Üniversitesi / İşletme Fakültesi / İşletme
- **Lisans** : 2020, Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü/Çevre Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009-2011 yılları arasında Detay Harita Mühendislik Bürosunda çalıştı.
- 2011 yılında girmiş olduğu Sakarya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresinde halen görev almaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Dede, C., Birincioğlu, M., Investigation of the effects of sewage sludge on The growing of non-food oilseed energy crops, 8th International Congress on Environmental Research and Technology, Proceedings Book, pp:35-43, Editors: Özkök, A., Kekeçoğlu, M., E-ISBN: 978-625-98726-5-0.

DİĞER ESERLER: