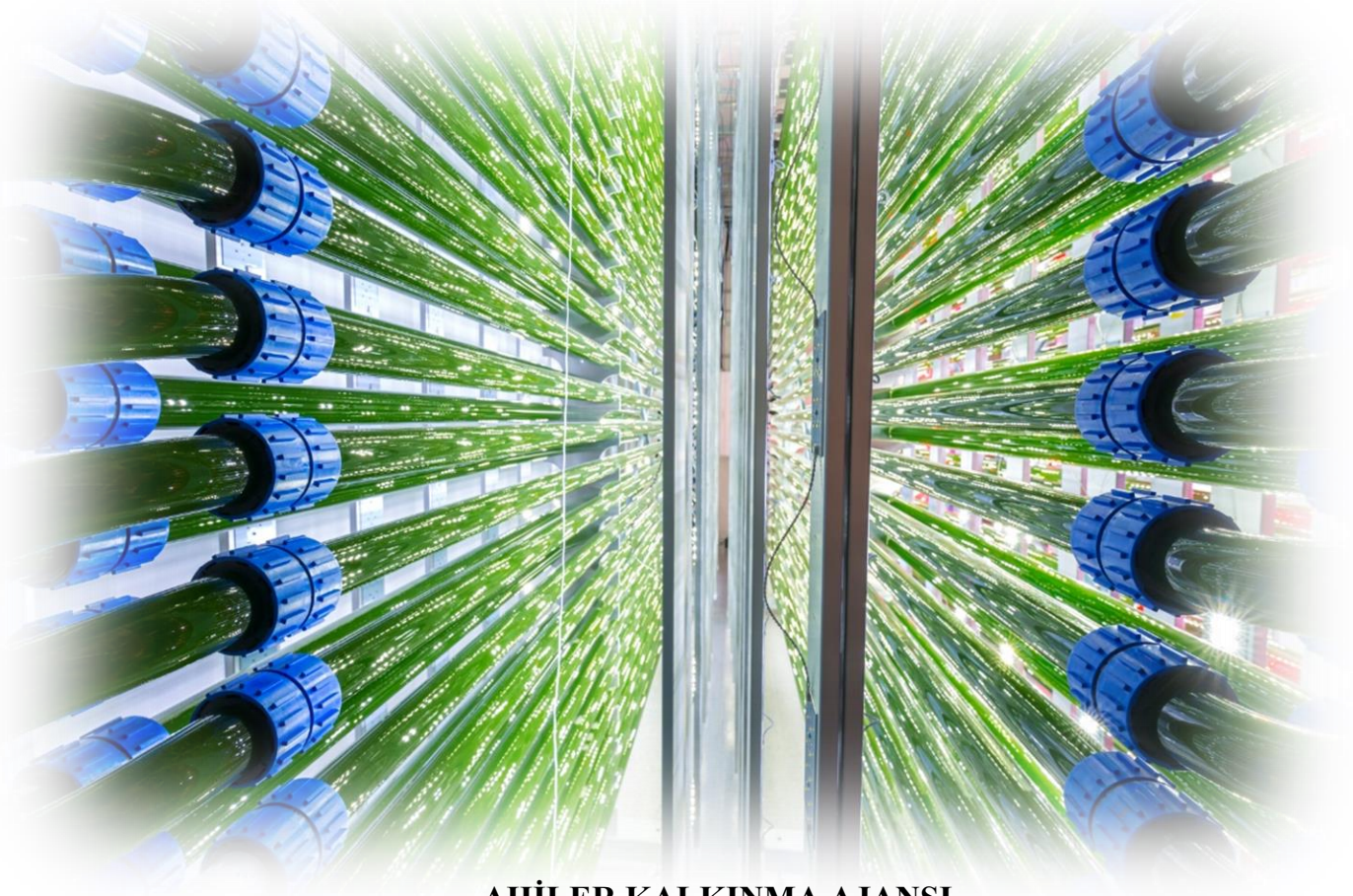




T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



Kızılırmak Nehri Alglerinden Üretilecek Biyokütlenin, Atık Bertarafı, Biyoenerji ve Gıda Bileşikleri Üretilmesinde Kullanımı Fizibilite Raporu



AHİLER KALKINMA AJANSI

2021



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



KIZILIRMAK NEHRİ ALGLERİNDEN ÜRETİLECEK BİYOKÜTLENİN, ATIK BERTARAFI, BİYOENERJİ VE GIDA BİLEŞİKLERİ ÜRETİLMESİNDE KULLANIMI

Fizibilite Raporu



KIRIKKALE
ÜNİVERSİTESİ



Bu Rapor Ahiler Kalkınma Ajansı'nın 2019 Yılı Fizibilite Destek Programı kapsamında hazırlanan bu yayının içeriği hiçbir surette Ahiler Kalkınma Ajansı ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın görüşlerini yansıtmamakta olup, içerik ile ilgili tek sorumluluk Kırıkkale Üniversitesi'ne ve GTE Karbon Sürdürülebilir Eğt. Dan. Tic ve Anonim Şirketi'ne aittir.

AHİLER KALKINMA AJANSI

Cevher Dudayev Mah.

Vatan Cad. No:42/1 Merkez/Nevşehir

T: +90 384 214 36 66

F: +90 384 214 00 46

<https://www.ahika.gov.tr/>

E-mail: info@ahika.gov.tr

ISBN: 978-605-80925-7-0

Sayfa Sayısı: 101

KIZILIRMAK NEHRİ ALGLERİNDEN ÜRETİLECEK BİYOKÜTLENİN, ATIK BERTARAFI, BİYOENERJİ VE GIDA BİLEŞİKLERİ ÜRETİLMESİNDE KULLANIMI FİZİBİLİTE RAPORU

Yayın Sahibi

Ahiler Kalkınma Ajansı

“Tüm hakları saklıdır.”

Bu eserin tamamı ya da bir bölümü, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu uyarınca kullanılmadan önce hak sahibinden 52. Maddeye uygun yazılı izin alınmadıkça, hiçbir şekilde ve yöntemle işlenmek, çoğaltılmak, çoğaltılmış nüshaları yayılmak, satılmak, kiralanmak, ödünç verilmek, temsil edilmek, sunulmak, telli/telsiz ya da başka teknik, sayısal ve/veya elektronik yöntemlerle iletilmek suretiyle kullanılamaz. Hazırlanmış olan çalışmanın tüm hakları Ahiler Kalkınma Ajansı'na aittir. Ahiler Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanan işbu çalışmadan kaynak gösterilmek suretiyle alıntı yapılabilir.

İçindekiler

PROJE ÖZETİ	1
a. Proje Kimlik Kartı.....	1
b. Projenin Gerekçesi	6
c. Projenin Hedef Kitlesi.....	7
d. Projenin Tanımı ve Kapsamı	9
e. Fizibilite Etüdü Analiz Sonuçları.....	10
f. Projenin Etkileri	11
1. PROJENİN TANIMI VE KAPSAMI.....	13
1.1. Projenin Politika Dokümanlarına Uygunluğu	13
1.2. Kurumsal Yapılar ve Yasal Mevzuat	16
1.3. Projenin Kurumun Geçmiş, Yürüyen ve Planlanan Diğer Projeleri İle İlişkisi	16
1.4. Projenin Diğer Kurumların Projeleri İle İlişkisi.....	20
1.4.1. Proje İle Eşzamanlı Götürülmesi Gereken Diğer Kurumların Projeleri	20
1.4.2. Projede Başka Kurumların Projeleri ile Fiziki Çakışma Oluşmamasına Yönelik Tedbirler	20
1.5. Proje ile İlgili Geçmişte Yapılmış Etüt Araştırma ve Diğer Çalışmalar	20
1.6. Proje İhtiyacı/Talebi.....	21
1.7. Proje Alternatifleri.....	23
1.7.1. Projesiz Durum	23
1.7.2. Bakım Onarım veya Tevsii Yatırımı.....	23
1.7.3. En İyi İkinci Alternatif.....	24
1.7.4. En İyi Alternatif (Tercih edilen alternatif).....	25
1.8. Teknoloji ve Tasarım	28
2. YER SEÇİMİ VE ARAZİ MALİYETİ	41
2.1. Fiziksel ve Coğrafi Özellikler	41
2.2. Ekonomik ve Fiziksel Altyapı.....	41
2.3. Sosyal Altyapı ve Sosyal Etkiler	42
2.4. Çevresel Etkiler	43
2.5. Alternatifler, Yer Seçimi ve Arazi Maliyeti (Kamulaştırma Bedeli de Dâhil)	44
3. TALEP TAHMİNİ VE KAPASİTE SEÇİMİ.....	50
3.1. Varsayımlar	50

3.2.	Talep Tahmin Yöntemi	50
3.3.	Talep Analizi	50
3.4.	Talep Tahmin Sonuçları	54
3.5.	Kapasite Seçimi.....	54
4.	YATIRIM TUTARI.....	58
4.1.	Sabit Sermaye Yatırım Tutarı	58
4.2.	Arazi Bedeli/Kamulaştırma Bedeli	58
4.3.	İşletme Sermayesi	59
4.4.	Toplam Yatırım Tutarı	59
5.	PROJENİN FİNANSMANI VE FİNANSAL ANALİZ	59
5.1.	Finansman Öngörüsü.....	59
5.2.	Finansman İhtiyacı ve Kaynakları.....	60
5.3.	Finansman Tablosu ve Finansal Oranlar Analizi	60
6.	TİCARİ ANALİZ	61
6.1.	Ticari Analiz ile İlgili Temel Varsayımlar (İskonto Oranı, Ekonomik Ömür, Hurda Değer, Yenileme Yatırımları, Enflasyon Artış Oranı vb.)	61
		62
6.2.	Ticari Faydalar ve Maliyetler (İşletme Dönemi Gelir ve Giderleri, Girdi İhtiyacı, Girdi Fiyatları ve Harcama Tahmini)	62
6.3.	Ticari Nakit Akış Tablosu	64
6.4.	Ticari Fayda Maliyet Analizi (NBD, İKO, GÖS, Fayda Maliyet Oranı vb.)	66
7.	EKONOMİK ANALİZ	69
7.1.	Ekonomik Analiz İle İlgili Temel Varsayımlar.....	69
7.2.	Ekonomik Faydalar ve Maliyetler.....	69
7.3.	Ekonomik Fayda Maliyet Analizi (Ekonomik NBD, Ekonomik İKO).....	74
7.4.	Maliyet Etkinlik Analizi.....	75
7.5.	Diğer Ekonomik Analiz Ölçütleri	75
8.	RİSK ANALİZİ	76
8.1.	Duyarlılık Analizi.....	76
8.2.	Proje İle İlgili Riskler ve Etkiler	79
8.3.	Temel Risklerle İlgili Risk Azaltma Tedbirleri.....	80
9.	ÇEVRESEL ANALİZ	80
9.1.	Çevresel Etkilerin Ön Değerlendirmesi	80

9.2.	Çevresel Riskler ve Azaltma Tedbirleri	81
10.	SOSYAL ANALİZ	81
10.1.	Projenin Sosyal Etkileri	81
10.2.	Projenin Toplumsal Gruplara Etkisi	81
10.3.	Bölgesel Düzeydeki Etkisi.....	82
11.	PROJE YÖNETİMİ VE UYGULAMA PROGRAMI	82
11.1.	Proje Yürütücüsü Kuruluş ve Teknik Kapasitesi	82
11.2.	Proje Organizasyonu ve Yönetim.....	83
11.3.	Proje Uygulama Planı ve Projede Kritik Aşamalar	84
12.	SONUÇ	84
12.1.	Projenin Ticari ve Ekonomik Yapılabilirliği İle İlgili Sonuçlar	84
12.2.	Projenin Sürdürülebilirliği	85
12.3.	Projeye İlişkin Temel Riskler	86
13.	EKLER.....	87
14.	KAYNAKÇA.....	88

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Alg Üretim Tesisi Akış Diyagramı	32
Şekil 1.2. Hava Beslemesi & CO2 Depolama Tankı	35
Şekil 1.3. E-4 ve E5 Pompaları	35
Şekil 1.4. Hazırlama Ünitesi	36
Şekil 1.5. LED Aydınlatma Sistemi.....	37
Şekil 1.6. Tüp Tipi Fotobiyoreaktör	38
Şekil 1.7. Tüp Tipi Fotobiyoreaktör Bağlantı Elemanları	39
Şekil 1.8. Filtrasyon Ünitesi.....	40
Şekil 3.1. Yıllar İtibariyle Lisanslı Biyokütle Santrali (Adet)	51
Şekil 3.2. Yıllar İtibariyle Lisanslı Biyokütle Santralleri Kurulu Gücü (MW)	51
Şekil 3.3. Yıllar İtibariyle Lisanslı Biyokütle Santralleri Elektrik Üretim Miktarları (MWh).....	52
Şekil 3.4. Türkiye'nin Gübre İhracatı, İthalatı ve Net Gübre İthalatı	53
Şekil 3.5. Yıllar İtibariyle Bitki Besin Maddesi Bazında Toplam Kimyevi Gübre Tüketimi	53
Şekil 7.1. İskonto Edilmiş Kümülatif Net Nakit Akımı.....	75
Şekil 8.1. İlk Yatırım Maliyeti, İşletme Maliyeti ve Yıllık Gelirin İç Karlılık Oranına Etkisi	77
Şekil 8.2. İlk Yatırım Maliyeti, İşletme Maliyeti ve Yıllık Gelirin Net Bugünkü Değere Etkisi.	78
Şekil 8.3. İlk Yatırım Maliyeti, İşletme Maliyeti ve Yıllık Gelirin Geri Ödeme Süresine Etkisi	79
Şekil 11.1. Proje Organizasyon Şeması	83

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Kızılırmak Havzası'ndaki toplam kirlilik yükleri	22
Tablo 1.2. Farklı atıksu kaynaklarının karakterizasyonu.....	30
Tablo 1.3. Reaktör tipleri arasındaki ana farklılıklar.....	38
Tablo 1.4. Işık Kaynakları Arasındaki Ana Farklar.....	39
Tablo 2.1. Atıksu-1 Karakterizasyonu	44
Tablo 2.2. Atıksu-2 Karakterizasyonu	45
Tablo 2.3. Atıksu-3 Karakterizasyonu	45
Tablo 2.4. Atıksu-4 Karakterizasyonu	46
Tablo 2.5. Atıksu-5 Karakterizasyonu	46
Tablo 2.6. Biyogaz Tesisi-1 Atıksu Karakterizasyonu	47
Tablo 2.7. Biyogaz Tesisi-2 Atıksu Karakterizasyonu	47
Tablo 2.8. Biyogaz Tesisi-3 Atıksu Karakterizasyonu	48
Tablo 2.9. 6 Farklı Biyogaz Tesisi Digestate Analiz Sonuçları.....	48
Tablo 3.1. Tipik Bir Biyogaz Tesisinde Üretilen Gaz İçeriği.....	54
Tablo 3.2. Alg Üretim Tesisi Kapasite ve Tasarım Seçimleri	55
Tablo 3.3. Alg Üretim Tesisi Tasarım Kapasiteleri.....	56
Tablo 3.4. Alg Üretim Tesisi Üretim Senaryoları.....	57
Tablo 4.1. Sabit Tesis Yatırım Tutarı	58
Tablo 5.1. Finansman İhtiyacı ve Kaynakları Tablosu	60
Tablo 6.1. Ortalama Amortisman Oranı Hesabı (TL).....	61
Tablo 6.2. Amortisman Tabi Kıymetler	61
Tablo 6.3. İşletme Gelir ve Giderleri Tablosu	63
Tablo 6.4. Ticari Nakit Akış Tablosu (TL).....	65
Tablo 6.5. Net Bugünkü Değer Tablosu (TL).....	66
Tablo 6.6. İç Karlılık Oranı (İKO) Tablosu (TL)	67
Tablo 11.1. İnsan Kaynağı İşletme Maliyetleri	83
Tablo 11.2. Uygulama Planı	84
Tablo 12.1. Proje Ticari ve Ekonomik Analiz Sonuçları.....	85

TANIM VE KISALTMALAR

AB: Avrupa Birliği

AKM: Askıda katı madde

Ar-Ge: Araştırma-geliştirme

ARR: Ortalama muhasebe getiri oranı

BOI: Biyolojik oksijen ihtiyaçı

C: Karbon

CH₄: Metan

CO₂: Karbondioksit

EPDK: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

G S: Geri  deme Süresi

IRR/IKO:   Karlılık Oranı

K: Potasyum

KOI: Kimyasal oksijen ihtiyaçı

MW: Megavat

N: Azot

NBD: Net Bugünkü Değer

P: Fosfor

PI: K rlilik endeksi

PIR: Kar yatırım oranı

S: Sülfür

STK: Sivil toplum kuruluřu

TEP: Ton eřdeęer petrol

TN: Toplam azot

TOK: Toplam organik karbon

TP: Toplam fosfor

TÜFE: Tüketiciler Fiyat Endeksi

Y - FE: Yurt  i  retici Fiyat Endeksi

PROJE ÖZETİ

a. Proje Kimlik Kartı

i. Temel Proje Verileri

- Proje Adı/ Proje No: Kızılırmak Nehri Alglerinden Üretilecek Biyokütlenin, Atık Bertarafı, Biyoenerji ve Gıda Bileşikleri Üretilmesinde Kullanımı/TR71/19/FZD/0026
- Sektör/Alt Sektör:
- Çevre ve Enerji Sektörleri
- Proje Sahibi Kuruluş: Kırıkkale Üniversitesi
- Uygulama Yeri: Aksaray
- Uygulayıcı Birim: Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü
- Maliyet ve Temel Finansal Göstergeler:

Proje Maliyeti ve Temel Finansal Göstergeler	Değer
İlk Yatırım Maliyeti	20.448.791 TL
İskonto Oranı (Yıllık)	15%
İç Karlılık Oranı-İKO (IRR)	19,26%
Geri Ödeme Süresi	14,3 Yıl
Net Bugünkü Değer-NBD (NPV)	9.792.989 TL
Fayda/Maliyet Oranı	1,94
Karlılık Endeksi (PI)	1,48
Ortalama Muhasebe Getirisi (AAR)	0,47

- Planlanan Çıktılar: Mikroalg üretim tesisi
- Genel Takvim ve Başlama-Bitiş Tarihi:
- 01.01.2022-31.12.2021

ii. Amaç ve Gerekçe

TR71 Bölgesi, Kızılırmak Nehri yüzey sularının yoğun şekilde kirlenmesi problemi ile karşı karşıyadır. Öte yandan, azot ve fosfor açısından en yoğun atıksular ağırlıklı olarak biyogaz tesislerinden kaynaklanmaktadır. Su kirliliği ve sınırlı nutrient kaynağıyla ilgili sıkıntılar, atık suların arıtılmasında nutrientlerin geri kazanılmasına dikkat çekmekte iken; alglerin ticari ölçekte kullanım potansiyeli de birçok alanda gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bu doğrultuda, biyogaz sistemlerine entegre olarak çalışacak mikroalg sistemi ile biyogaz atıksuyunun (sıvı kısmının) mikroalgler ile arıtılması üzerine bir mikroalg üretim tesisi yatırımının fizibilitesinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Proje ile mikroalg üretimi ve atık su arıtımı sinerjik şekilde kullanılarak olumsuz çevresel etkiler azaltılacak, ayrıca alg biyokütlesinden katma değerli ürünler geliştirilerek TR71 Bölgesi'nde biyogaz ve alg sektörlerinin işbirliği teşvik edilecektir.

iii. Yapılan İş Tanımı

TR71 Düzey 2 Bölgesi'nde mikroalg biyokütle üretiminin maksimize edilmesi ve atık su arıtımı sağlanması amacıyla öne çıkan atık su kaynakları analiz edilerek alg üretimi için uygun olan atık su kaynakları araştırılmıştır. Öne çıkan atık su kaynağı biyogaz tesisi atıksuları olarak belirlenerek bu atık suyun arıtılması ile alg üretiminin sağlanmasına yönelik bir pilot tesis için teknik/ekonomik uygulanabilirlik çalışması yürütülmüştür. Biyogaz tesisi olarak ise A1 Alt Bölgesi Aksaray ili Merkez ilçesinde yer alan bir biyogaz tesisi seçilmiş olup, sözkonusu mikroalg üretim tesisinin bu biyogaz tesisi yakınana kurulması üzerine fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir.

iv. Uzun ve Kısa Dönemli Amaçlarla İlişki (Kalkınma Planı, Ulusal Strateji Belgeleri, Stratejik Plan vb.)

Ahiler Kalkınma Ajansı tarafından yayınlanan Bölge Planı'nda (2014-2023) (Ahiler Kalkınma Ajansı, 2016); *Arıtma ve Atık Su Şebekelerinde Yetersizlik ve Toprak ve Su Kaynaklarında Görülen Kirlilik* öne çıkan başlıklardandır. Bölge Planı'nda Öncelik 3.3. çerçevesinde; yaşanabilir ve sürdürülebilir etkin çevre yönetiminin geliştirilmesi TR71 Düzey 2 Bölgesi'ne yönelik önerilen tüm fonksiyonların çevresel değerlerle uyum içerisinde geliştirilmesi, yani ekoloji ve kentleşme arasında koruma ile kullanma dengesinin sağlanması amaçlanmaktadır. TR71 Düzey 2 Bölgesi'nde atık su yönetimi, havza yönetimi ve temiz üretim konuları bölgede çevre yönetiminin iyileştirilmesi açısından önem taşıyan başlıca konular arasında yer almaktadır. Bu açıdan, bu proje çevresel açıdan sağlayacağı katkılar ile bölge stratejilerine uygun faaliyetler içermektedir. Ayrıca, On Birinci Kalkınma Planı (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2019) (Bölüm 2.4), sürdürülebilir çevre ve doğal kaynak yönetimine dikkat çekmektedir ve çevre kirliliğinin önlenmesi çalışmalarına,

biyolojik çeşitlilik ve doğal kaynakların korunmasına ve sürdürülebilir kullanımına öncelik verileceğinden bahsetmektedir. Öyle ki, Madde 309.9'da, temiz üretim, enerji verimliliği ile endüstriyel simbiyoz gibi konulara Kalkınma Ajansları tarafından öncelik verileceği de belirtilmektedir.

Kızılırmak'ta yaşanan ötrofikasyon sorunu aslında nehri kirleten sularda alg büyümesi için gereken başta azot ve fosfor olmak üzere bileşenlerin yeterli olduğunu göstermektedir. Bu durum da kontrollü mikroalg sistemleri ile Kızılırmak'ı kirleten atıksuların arıtılması için önemli bir potansiyele işaret etmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2016 yılında yayınlanan Kızılırmak Havzası Hassas Su Kütleleri İyileştirme Eylem Planı'nda (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016) ifade edildiği üzere; kentsel atık sular, sanayi atık suları ve tarımsal alanlardan gelen yerüstü akış suları taşıdıkları besin maddeleri nedeniyle alg üretiminin artmasına ve su kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır. Su ortamlarının azot ve fosfor gibi besi maddeleri ile zenginleşmesi sonucu meydana gelen ötrofikasyonun doğrudan etkileri arasında yer alan alg üretimindeki artış, bu algerin zamanla ölmesi ve çürümesi sonucunda suda oksijen miktarının azalmasına ve su ortamının ekolojik yapısının bozularak suyun kullanılmaz duruma gelmesine sebep olmaktadır. Bu çerçevede hassas alanların belirlenmesi, bunun için bir metodoloji oluşturulması ve ötrofikasyonun önlenmesine yönelik tedbirlerin tespiti önem arz etmektedir. Ayrıca, AB mevzuatına uyum sağlamak amacıyla yapılan çalışmalarla yürürlüğe giren Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı) ve Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı), Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği (23.07.2016 tarih ve 29779 sayılı), ile azot ve fosfor deşarj standartları mevzuatımıza dâhil edilmiştir. Aynı zamanda Atıksu Arıtımı Eylem Planı (2017-2023) ve Havza Eylem Planları (Kızılırmak Havzası) gibi atık su sektörünü ilgilendiren politika dokümanları mevcuttur. Bu çalışmalar, ülkemizde atık sulardan nutrient gideriminin özellikle hassas alıcı ortamlarda oluşabilecek kirliliği önlemek amacıyla önem kazandığını göstermektedir.

Bu projenin de hedeflenen çevresel etkileri arasında, alg biyokütleleri vasıtasıyla atık sudan azot ve fosforun arıtılması sağlanarak Kızılırmak Nehri'nin su kalitesini iyileştirmek, nutrientlerden kaynaklı olası koku kirliliği ve ötrafikasyon etkilerinin önüne geçilebilmek bulunmaktadır. Böylece gerek halk sağlığı, gerekse ekolojik dengeye yapacağı olumlu katkılar bakımından atık su yönetimi çerçevesinde örnek bir uygulama olacaktır.

v. Finansman Kaynağı ve Planı

Projenin gerçekleşmesi için gerekli yatırım miktarı özkaynaklar üzerinden karşılanabilir ancak üniversitelerin gelirlerini yıllık bütçe üzerinden almasından dolayı bunun mümkün olmaması durumunda lokal proje hibe fonlarından karşılamak üzere çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

vi. Proje Analiz Sonuçları (Alternatiflerin karşılaştırılması)

Seçilen Alternatif		Projesiz Durum	Bakım Onarım/ Tavsii	Seçilen İkinci Alternatif
Yatırım Tutarı	20.448.791 TL	Bu proje için ilgili değildir		
Net Bugünkü Değer	9.792.989 TL			
İ Karlılık Oranı	19,26%			
Geri Ödeme Süresi	14,3 Yıl			
Fayda/Maliyet Oranı	1,94			
Karlılık Endeksi	1,48			
Ortalama Muhasebe Getirisi	0,47			
Parasallaştırılmaya n Önemli Fayda ve Maliyetler	- Biyogaz tesislerindeki atıksu sorununu çözerek doğaya verilen N ve P mikronutrientlerin azaltılmasını sağlamak - Başta Kızılırmak olmak üzere önemli alıcı ortamlarda ötrofikasyon riskini ortadan kaldırmak - Karbondioksit gibi önemli bir sera gazını tutarak iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunmak			
Rakamsallaştırılma yan Önemli Hususlar	Mikroalg üretim tesisi, Dünyanın birçok ülkesinde kamu ve özel sektör tarafından halen işletilmekte olan ve bu			

	fizibilite proje kapsamına ek olarak farklı sektörleri de ilgilendiren pek çok konuda endüstriyel faaliyet alanı olarak yerini almış durumdadır. Fizibilite projesini takiben hayata geçirilebilecek muhtemel uygulamalar, dünyadaki emsalleriyle rekabet edebilecek haliyle, ülkemizin bu sektördeki eksikliğini gidermesi ve yaygınlaşmasına önemli bir katkıda bulunabilecektir.	
--	--	--

vii. Etüt Bilgileri

- Etüdü Hazırlayan Birim ve Etüdün Hazırlanış Tarihi: Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü

GTE Karbon Sürdürülebilir Eğt. Dan. Tic ve A.Ş.

13.07.2021

- Etüt Hakkında Yetkili Kişi / İletişim Bilgileri:

İlhami Tüzün

Kırıkkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 71450 Yahşihan / Kırıkkale (318) 357 4242 / ilhamituzun@kku.edu.tr

M. Kemal Demirkol

Maidan Mustafa Kemal Mah. 2118. Cad. No:4 C Blok 42 06510 Çankaya / Ankara (312) 514 63 63 / kemal@gte.com.tr

b. Projenin Gerekçesi

Ahiler Kalkınma Ajansı'nın Bölge Planı 2014-2023 içerisinde Bölüm 4.13.2. Değişimi Olumsuz Yönde Tetikleyen Faktörler Zayıf Yanlar ve Tehditler arasında yer alan aşağıdaki sorunlar ve ihtiyaçlar, projenin ortaya çıkmasını sağlayan temel gerekçelerdir.

Su Kaynaklarının Kısıtlılığı ve Kirliliği:

“TR71 Düzey 2 Bölgesi su kaynakları bakımından Türkiye ortalamasının altında bir bölgedir ve gelecekte bölgede ciddi boyutlarda su sıkıntısı olabileceği değerlendirilmektedir. Bölgenin uzun yıllar 1960-2012 yağış ortalaması 330 mm civarındadır ki bu oran bölgenin Türkiye'nin en az yağış alan bölgesi olması anlamına gelmektedir. Bölgenin yüzeysel ve yeraltı su kaynakları potansiyeli toplam 11.258 hm³/yıldır.” Bu durum bölgenin Kızılırmak Nehri'ne olan bağımlılığını ortaya koymaktadır. Kızılırmak Nehri'nde yaşanan kirlilik su kaynakları üzerinde yaşanan baskının daha da artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle Kızılırmak Nehri'nin kirlenmesini önleyecek her türlü çalışmaya/projeye acilen ihtiyaç vardır.

Tarımda Yüksek Maliyet:

Genel olarak tarımsal üretimde girdi fiyatları yüksektir. Üreticinin zaten pahalı olan girdileri rasyonel kullanamaması üretim maliyetlerini daha da artırmakta ve bu da rekabet edebilirliklerini düşürmektedir. Bir üst maddede bahsedildiği gibi kaliteli ve bol miktarda su kaynaklarına erişim de oldukça zorlaşmaktadır ve bu durum maliyetleri artırmaktadır.

Su kirliliği ve sınırlı nutrient (besin) kaynağı ile ilgili sıkıntılar, atık suların arıtılması sırasında besin maddelerinin geri kazanılmasına dikkat çekmektedir. Nutrient ve organik açıdan zengin atıklar kirlilik ve koku gibi çevresel problemlere neden olmaktadır. Özellikle fosfor ve azot açısından zengin atık suların bir arıtım sağlamadan doğal su kaynaklarına salınması koku ve ötrofikasyona neden olur. Doğal su kaynaklarının korunması amacıyla nutrientlerin atıksularda belirli seviyelerin altına düşürülmesi gerekmektedir. İncelenen atık su analizleri de bu problemi doğrulayıcı niteliktedir.

Nutrientlerin algler vasıtasıyla geri kazanımı, azot ve fosfor konsantrasyonlarını düşürmenin etkili bir yoldur. Bunun yanı sıra alternatif olarak ticari kullanım amaçlı katma değerli ürün eldesi de önerilmektedir. Dolayısıyla, proje iki açıdan çevresel ve ekonomik katkı sağlayacaktır: i. Mikroalgler kullanılarak atıksuların arıtılması sağlanacaktır. ii. Üretilen algler ticari olarak kullanılabilen ürünler olması açısından maliyetleri düşürme potansiyeline sahiptir.

Ek olarak, TR71 Bölgesi'nde, çevre, enerji, gıda başta olmak üzere sektörlerde katma değerin artırılması, girişimciliğin geliştirilmesi, üretimin çeşitlendirilmesi, ihtisaslaşma ve kümelenmenin geliştirilmesi, üretim alt yapısının güçlendirilmesi, yenilikçi üretimin yaygınlaştırılması, markalaşmanın artırılması ve bölgenin yatırım ve tanıtım olanaklarının geliştirilmesi bölgenin başlıca hedeflerinden olup, proje amaçlarıyla örtüşmektedir.

c. Projenin Hedef Kitlesi

Projenin hedef grupları aşağıdaki şekilde 3 başlık altında ele alınmıştır:

Kırıkkale Üniversitesi:

Ahiler Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanan Bölge Planı 2014-2023 göstermektedir ki, bölge üniversiteleri, örneğin proje yürütücüsü olan Kırıkkale Üniversitesi kısmen genç üniversitelerdendir ve kurumsallaşma çalışmaları halen devam etmektedir. Üniversitelerin kalkınma süreçlerinde aldığı rolün daha üst seviyelere çekilme ihtiyacı bulunmaktadır. Ar-Ge çalışmaları ve sanayi ile bağlarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Kalkınma süreçlerine katkı ve projelere olan ilgi akademik ilgilerin ötesine taşınmalıdır. Bu proje ile Kırıkkale Üniversitesi, bugüne kadar yürüttüğü laboratuvar çalışmalarının ileriye taşınması için, kapasite gelişimi konusunda yukarıda belirtilen ihtiyaçlara yönelik faaliyetler yürütmüş olacaktır.

Atıksu arıtımına ihtiyaç duyan kurum ve kuruluşlar:

Bu raporun ilerleyen bölümlerinde detaylı bahsedildiği gibi, TR71 Bölgesi, su kaynaklarının yönetimi konusunda çeşitli problemler ile karşı karşıyadır. Bu problemlerin başında yüzey sularının, örneğin Kızılırmak Nehri'nin insan kaynaklı faaliyetler sonucu yoğun şekilde kirlenmesi gelmektedir. Bu nedenle atık su üretimi gerçekleştiren kurum ve kuruluşların ilgili atık sularını alıcı ortamlara deşarj etmeden önce etkin bir şekilde arıtmaları gerekmektedir.

Hali hazırda pek çok kurum/kuruluş atık su arıtımı konusunda sorunlar yaşamakta, bu kurumların bir bölümü atık su arıtma tesislerinin işletilmesi aşamasında bakım gibi teknik gereksinimlerin yanı sıra yüksek arıtma maliyetleri ile karşılaşmaktadır. Bu proje, atık su arıtımına ihtiyaç duyan kurum ve kuruluşlar için maliyet etkin bir yöntem olarak mikroalg sistemlerinin yaygınlaşmasına katkıda bulunacaktır.

Ahiler Kalkınma Ajansı ve Paydaş Kurumlar:

2014-2023 yıllarını kapsayan Bölge Planı'nda oldukça detaylı bir şekilde ele alındığı gibi Ahiler Kalkınma Ajansı, bölgenin kalkınması sürecinde sürdürülebilir gelişme konusunu önemli bir strateji olarak benimsemiştir. Bu çerçevede bölgenin ekonomik ve çevresel kalkınmasını aynı anda sağlayacak her türlü yatırımın yaygınlaştırılması konusunda adımlar atmaktadır. Bu fizibilite raporu, ekonomik ve çevresel kalkınma modeli sunmakta olup, Ahiler Kalkınma Ajansı ve TR71 bölgesinde yer alan paydaşlar tarafından çevresel yatırım stratejileri kapsamında kullanılabilecek bir kaynak olarak ortaya konulmaktadır.

Projenin nihai yararlanıcıları aşağıdaki şekilde 3 başlık altında ele alınmıştır:

Kızılırmak su kullanıcıları:

TR71 Bölgesi'nin sosyal ve ekonomik kalkınmasında oldukça önemli bir yeri bulunan başta tarım sektörü olmak üzere pek çok sektör su riski ile karşı karşıyadır. Bu risklerden bir tanesi de bölgenin en önemli su kaynaklarından bir tanesi olan Kızılırmak Nehri'nin yoğun şekilde kirlenmesidir. Bu proje ile yukarıda sunulan risklerin azaltılması için alınabilecek önlemin ve yapılabilecek yatırımın fizibilite analizi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede mikroalg üretim tesisi yatırımı önerisinin bölgede yaygınlaşması ve atık su kirliliğinin gerek yüzey gerek yeraltı akışlar vasıtasıyla Kızılırmak Nehri'ne ulaşması önlenerek ilgili su kullanıcılarının kaliteli suya erişmesi sağlanacaktır.

Alg ve Biyogaz Yatırım Sektörü:

2014-2023 yıllarını kapsayan Bölge Planı göstermektedir ki TR71 Bölgesi'nde girişimcilik ve çevre/enerji yatırımları istenen seviyede değildir. Gerçekleştirilen fizibilite çalışması sonucunda bölgeye özellikle alg ve biyogaz sektöründen yatırımcıların çekilmesi mümkün olabilecektir. Bu sayede alg ve biyogaz yatırım sektörünün geliştirilmesi sağlanacak ve bölgede istihdamın artırılması yönünde adımlar atılmış olacaktır.

TR71 Bölgesi'nde yer alan su ve enerji yönetimi paydaşları:

Ahiler Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanan Bölge Planı'nda (2014-2023) bahsedildiği gibi bölgedeki paydaşların, mevcut tecrübe ve gözlemler ışığında profili incelendiğinde büyük bir çoğunluğunun proje planlama ve uygulama kapasitesinin olmadığı ya da son derece kısıtlı olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilecek proje ile, su ve enerji yönetimi paydaşları olan bakanlık il müdürlükleri, ilgili STK'lar ve sanayi/meslek odaları vb. olmak üzere ilgili tarafların çevre/enerji/kalkınma sinerjisinde proje planlama ve uygulama konusunda farkındalığı artırılmış olacaktır.

d. Projenin Tanımı ve Kapsamı

Biyokütle kullanımı yaklaşımı, çevre, enerji ve gıda başta olmak üzere ilaç ve tıp, tarım ve biyogübre, hayvancılık ve yem, kozmetik gibi bir çok sektörü aynı anda kullanılır hale getiren sosyo-ekonomik sürdürülebilir büyümedeki entegre yaklaşımın karşılığıdır. Biyokütle kaynakları, yenilenebilir özelliğinin yanı sıra, çevre kirliliğinin önlenmesinde etkin ve doğal bir şekilde kullanılabilmekte; biyolojik arıtım ve katma değeri yüksek bileşik ürün eldesine imkan vermektedir.

Bu çalışmanın genel amacı, TR71 Bölgesi'nde, çevre ve enerji sektörlerinde katma değer artırılması, girişimciliğin geliştirilmesi, üretimin çeşitlendirilmesi, ihtisaslaşma ve kümelenmenin geliştirilmesi, üretim alt yapısının güçlendirilmesi, yenilikçi üretimin yaygınlaştırılması, markalaşmanın artırılması ve bölgenin yatırım ve tanıtım olanaklarının geliştirilmesi olarak belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasının yanı sıra, yapılan araştırmalar neticesinde biyokütle yenilenebilir kaynağının, küresel ölçekte en çok kullanılan uygulama aracı olduğu görülmüş, fizibilite çalışmasında özellikle biyogaz tesislerine ve biyogaz tesisine entegre bir mikroalg üretim tesisine odaklanılmıştır. Bu nedenle, projenin özel amacı, TR71 Bölgesi'nde, biyogaz tesislerine entegre mikroalg biyokütle üretimi ile alg ve atık su arıtımı teknolojisini sinerjik bir şekilde kullanarak, çevre kirliliğini giderecek yöntemler ile atık su arıtımı gerçekleştirmek, atık su arıtımına ihtiyaç duyan kurum ve kuruluşların kullanabileceği bir teknolojinin fizibilitesini yapmak ve alg biyokütlesinden, katma değeri yüksek ürünler geliştirilmesine yönelik bölgedeki ilgili sektörlerin işbirliğini Ar-Ge ve üretim konularında teşvik etmek ve yerli mikroalg üretimine geçilmesine ön ayak olmaktır.

TR71 Bölgesi'nde, atık su olarak seçilen biyogaz atık suyunun (sıvı kısmının) arıtılarak nutrient geri kazanımı sağlayacak yenilikçi bir mikroalg üretim tesisi yatırımı planlanmaktadır. Ticari mikroalg üretim sisteminin biyogaz sistemlerine entegre olarak çalışması, dolayısıyla biyogaz tesisi yakınına kurulması öngörülmektedir. Biyogaz tesisi olarak, Aksaray Merkez ilçesinde 2235-2236-2238-2257 no.lu parseller üzerinde bulunan bir biyogaz tesisi seçilmiştir. Projenin sahibi yürütücü kuruluş Kırıkkale Üniversitesi'dir ve uygulama süresi 12 aydır.

Mikroalg üretim tesisinin girdisi biyogaz tesisinin atıksuyu olacaktır. Böylece, biyogaz tesisinin atık suyundan nutrientlerin uzaklaştırılması sağlanırken, aynı zamanda atıksuyun içerisindeki nutrientler ile mikroalglerin yetişmesiyle ürün elde edilecektir. Elde edilecek ürünün biyogaz tesisine geri beslenmesiyle biyogaz verimini artırılması planlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, 500 m² alanda, en fazla 18.600 L/gün atıksu işleme ve 225,1 kg/gün hasat alabilme kapasitesine sahip mikroalg üretim tesisinin yatırımının fizibilite analizi gerçekleştirilmiştir.

e. Fizibilite Etüdü Analiz Sonuçları

Projede atık suyun algler ile arıtımı gerçekleştirilerek azot ve fosfor geri kazanımı yapılması hedeflenmiştir. Böylece, alıcı ortama deşarj edilen atık sular çevre kirliliğine sebep olmadan yönetilmiş olacak ve aynı zamanda azot ve fosfor geri kazanılarak sürdürülebilir bir yöntem uygulanmış olacaktır. Atıksu karakterizasyon analizleri doğrultusunda yapılan ön incelemelerde azot ve fosfor açısından en yoğun atıksuların ağırlıklı olarak biyogaz tesislerinden kaynaklandığı görülmüştür. Bu doğrultuda, biyogaz sistemlerine entegre olarak çalışacak mikroalg sistemi ile biyogaz atıksuyunun (sıvı kısmının) algler ile arıtılması üzerine bir mikroalg üretim tesisi fizibilitesi çalışılmıştır. Bu mikroalg üretim tesisi, Aksaray Merkez ilçesinde yer alan bir biyogaz tesisi yakınında 500 m² alana kurulacak, 360 gün operasyonda olacaktır. Tesis, foto-biyoreaktörler, hazırlama ünitesi, filtrasyon ünitesi, CO₂ besleme ünitesi, yardımcı üniteler (LED, ısıtmalı-soğutmalı sirkülasyon ünitesi, tanklar, pompalar, sensörler, otomasyon vb.) komponentlerinden oluşacaktır. Reaktör olarak tüp tipi foto-biyoreaktörler ortalama üretim verimliliği ve dış ortam uyumluluğundan dolayı tercih edilmiştir. En kötü ve en iyi senaryolar baz alındığında mikroalg üretim tesisinde günlük 6.000-18.600 L atıksu işlenebilecek, 3,6-225,1 kg günlük hasat alınabilecektir. Proje kapsamında üretilecek Chlorella ve Spriluna çeşidi alglerin piyasa değeri, pazar araştırması detayları Bölüm 7.2.'de verildiği üzere susuzlaştırılmış (filtrelenmiş) mikroalg için 20,00 ABD doları/kg olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalara göre böyle bir tesisin kurulumu için 20.448.791 TL yatırım yapılması gerekmektedir. Karlılık endeksi 1,48 olarak bulunmuş olup, projenin geri ödeme süresi 14,3 yıldır. Tüm bu bilgiler ışığında yatırım mevcut durumda ticari açıdan “karlı” bir yatırım olarak görünmemektedir. Her ne kadar karlılık endeksi olarak 1,00’ın üzerinde bir değer bulunmuş, yani gelir getirici bir faaliyet olduğu ortaya koyulmuş olsa dahi yatırımın kendisini çok uzun sürede amorti edecek olması yatırımın fizibil olmasını engellemektedir. Öte yandan, projenin çevresel faydaları bulunmaktadır. Bu çevresel faydalar, biyogaz tesislerindeki atıksu sorununu çözerek doğaya verilen N ve P nutrientlerin azaltılmasını sağlamak, başta Kızılırmak olmak üzere önemli alıcı ortamlarda ötrofikasyon riskini ortadan kaldırmak, karbondioksit gibi önemli bir sera gazını tutarak iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunmak olarak sıralanabilmektedir. Bölüm 3.5.’te detayları verildiği üzere, biyogaz tesisleri için megawatt kurulu güç bazında 416,6 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır ve önerilen mikroalg sistemi yıllık 91,3 ton/yıl CO₂’ye ihtiyaç duyacaktır. Dolayısıyla lisanslı biyogaz tesislerinin kurulu güçleri düşünüldüğünde (en düşük kurulu güç 1 MW) herhangi bir biyogaz tesisinin elektrik motorunda üretilecek CO₂ miktarının ihtiyacı karşılayacağı görülmektedir. Yatırım yeri olarak seçilen Aksaray Merkez ilçesinde bulunan biyogaz tesisi de 1,467 MW kurulu güce sahiptir.

f. Projenin Etkileri

Proje faaliyetleri ışığında TR71 Bölgesi Aksaray ilinde atıksuların arıtılarak nutrient geri kazanımı sağlayacak yenilikçi mikroalg üretim tesisi yatırımı planlanmakta, bu tesiste Kızılırmak Nehri'nden alınan lokal alg türlerinden alg biyokütlesinin üretimi düşünülmektedir. Son yıllarda dünyada ticari ölçekte de gün geçtikçe yaygınlaşmaya başlayan mikroalg sistemleri atıksu arıtımı için araştırılmakta/denenmektedir. Ancak simbiyotik bir anlayışla atıksuların arıtılırken aynı zamanda üretilen alglerden ticari olarak kullanılabilecek ürün elde edilmesi dünyada oldukça yeni araştırılmaya başlanmıştır. Biyogaz atıksuyunun (sıvı kısmının) arıtılması üzerine kurulan kurgu ile biyogaz sistemlerine entegre olarak çalışacak ticari mikroalg sistemleri için, ülkemizde ise çok az sayıda akademik araştırma mevcut olup, bunlar da yalnızca laboratuvar ölçeğinde kalmıştır. Ülkemizde mikroalg ve biyogaz entegre sistemlerine yönelik olarak özel sektör kuruluşlarının bugüne kadar herhangi bir girişimi olmamıştır. Bu nedenle, proje ile önerilen mikroalg sistemi ülkemiz için atılmış önemli bir adımdır ve TR71 Bölgesi'nin kalkınmasına ek olarak ülkemizde hızla büyümekte olan biyogaz sektörüne de somut çevresel ve ekonomik getirileri olacağı öngörülmektedir. Ayrıca, nutrientlerin geri kazanımı ile elde edilecek değerli ürünler ekonomiye katkıda bulunabilecek potansiyele sahiptir. Mikroalgler, çevre, enerji ve gıda başta olmak üzere ilaç ve tıp, tarım, biyogübre, hayvancılık, yem, kozmetik gibi birçok sektörde faydalanılabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasının yanı sıra, yapılan araştırmalar neticesinde biyokütle yenilenebilir kaynağının, diğerlerine olan üstün özellikleri nedeniyle küresel ölçekte en çok kullanılan uygulama aracı olduğu görülmüştür. Bu nedenle, fizibilite çalışmasında özellikle biyogaz tesislerine ve biyogaz tesisine entegre bir mikroalg üretim tesisine odaklanılmıştır.

Projenin etkileri genel olarak aşağıda iki açıdan incelenmiştir: makro düzeyde ve teknik düzeyde etkiler. Sürdürülebilir ekonomik büyüme, TR71 Bölgesi'nin gelişme eksenleri arasında yer almaktadır. Bu gelişme eksenini bölgede ekonomik büyümenin sürdürülebilirliğinin sağlanmasını hedeflemektedir. Bu çerçevede makro düzeyde etkilere bakıldığında;

- Bölge ekonomisinde önemli rol oynayan tarım ve sanayi sektörlerinde verimlilik sağlanarak katma değer yaratılacaktır.
- Mikroalg tabanlı yeni ürün araştırmalarının yapılmasında ilk adımlar atılacaktır.
- Üniversite-sanayi işbirliği teşvik edilecek ve böylece yenilikçi üretime katkı yapılacaktır.
- Bölgenin üretim potansiyeli ve avantajları biyogaz ve alg teknoloji yatırımcılarına tanıtılarak bölgede daha fazla yatırım yapılması sağlanacaktır. Girişimcilik desteklenerek yeni iş imkanlarının oluşturulmasına katkıda bulunulacaktır.

Teknik düzeyde etkilere bakıldığında;

- Atık sulardan mikroalgler tarafından azot ve fosfor giderimi sağlanacak, bu sayede atık suyun kirlilik yükü azaltılacaktır. Kızılırmak Havzası'ndaki toplam kirlilik yükleri ve projeksiyonlarına göre, 2010 yılından 2040 yılına kadar kentsel kaynaklı yaklaşık %24 oranında azot, %27 oranında fosfor kirlilik artışı beklenmektedir. Ortalama bir biyogaz tesisinde günlük 200-300 ton sıvı atık çıkmaktadır. Proje ile, nutrientlerden kaynaklı olası koku kirliliği ve ötrafikasyon etkilerinin önüne geçilebilecektir. Bu nedenle gerek halk sağlığı, gerekse ekolojik dengeye yapacağı olumlu katkılar bakımından atık su yönetimi çerçevesinde iyi bir uygulama olarak düşünülmektedir.
- Alg üretiminde kullanılacak karbondioksit (CO_2) biyogaz tesisinden temin edilecektir. Genel anlamda, mikroalglerin büyümesi için (fotosentez) gerekli karbondioksit ihtiyacı, biyoteknolojik uygulamalarda satın alma yoluyla karşılanmakta ve maliyet olarak ilave bir yük getirebilmektedir. Bu projede de tasarlandığı üzere, halihazırda karbondioksit emisyonu bulunan tesislere entegre edilerek yapılan alg yetiştiriciliği uygulamalarında, (azot ve fosfor atıklarının yanısıra) karbondioksit atıklarının da tekrar çevrime katılacak şekilde kullanılması en iyi alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bölüm 3.5.'te detayları verildiği üzere, biyogaz tesisleri için megawatt kurulu güç bazında yıllık 416,6 ton CO_2 emisyonu ortaya çıkmaktadır ve verilen kapasite seçimine göre mikroalg tesisinin ihtiyacı olan yıllık 91,3 ton/yıl CO_2 , lisanslı biyogaz tesislerinin kurulu güçleri düşünüldüğünde herhangi bir biyogaz tesisinin elektrik motorunda üretilen CO_2 miktarından karşılanabilecektir. Böylece biyogaz üretiminde oluşan karbondioksitin mikroalgler tarafından biyolojik olarak hapsedilmesiyle sera gazı emisyonunun azaltılması sağlanacaktır. Elde edilen ürün de biyogaz tesisine beslenerek biyogaz veriminin artması sağlanacaktır.
- Üretilen mikroalglerin biyogaz tesisleri dışında kullanılabileceği alternatif ürün türü biyogübrelerdir. Biyogaz tesisine geri beslenmeyen muhtemel fazla ürün biyogübre olarak toprakta kullanılabilecektir. Böylece, değerli besin maddelerinin (N, P, K) toprağa geri verilmesiyle tarımsal toprak kalitesinin iyileştirilebileceği öngörülmektedir. Ayrıca, gübre üretimi enerji yoğun bir sektör olmakla beraber küresel sera gazı emisyonlarının %2-3'ünden sorumludur. Dolayısıyla, biyogübre, gübre yerine geçerek sera gazı emisyon azaltımına bu şekilde de katkıda bulunmuş olacaktır.

1. PROJENİN TANIMI VE KAPSAMI

1.1. Projenin Politika Dokümanlarına Uygunluğu

Yenilenebilir, çevreci ve ileri teknoloji araçlarını kullanan biyoekonomi döngüsel ekonomi temelli büyüme modeli, ülkemizin de katıldığı ve uygulamaya geçirdiği önemli ulusal hedeflerden biri haline gelmiştir. Ülkemizin bu ekseninde yürütmekte olduğu çalışmalara, kalkınma bölgelerinin de dahil olması ihtiyacı bulunmaktadır. Özellikle, yenilenebilir ürün ve proseslerinin geliştirilmesi, genel anlamda bölgenin sürdürülebilir büyümesine katkıda bulunması açısından önemli hale gelmiştir. Bu proje ile TR71 Bölgesi'nde temel olarak biyokütle kullanımı yaklaşımını ilgilendiren çevre ve enerji sektörlerinde katma değerin artırılması, yenilikçi üretimin yaygınlaştırılması, markalaşmanın artırılması ve bölgenin yatırım ve tanıtım olanaklarının geliştirilmesi hedeflendiğinden, proje bölgesel ve ulusal hedeflere katkı sağlayacaktır. Projenin, Ahiler Kalkınma Ajansı'nın 2019 Yılı Fizibilite Desteği Programı kapsamında bölge için belirlediği önceliklerle ilişkisi aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır:

- i. Program önceliklerinin 7. maddesinde *“Bölgedeki yenilenebilir enerji kaynaklarının ve bu alanda yeni teknolojilerin araştırılmasına, altyapı yatırımlarının güçlendirilmesine ve yenilenebilir enerjinin kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik projelendirme çalışmalarının desteklenmesi”* belirtilmektedir. Proje bu önceliğe uygunluk göstermektedir. Kızılırmak Nehri'nden alınacak lokal alg türlerinden alg biyokütlesinin üretimi ve üretilen biyokütlenin yenilenebilir enerji üretiminde faydalanılacak olması, bu projenin temel basamaklarından biridir.
- ii. Program önceliklerinin 3. maddesinde *“Bölgedeki muhtemel ekonomik, çevresel tehdit ve risklerin önlenmesine ve acil tedbirlerin alınmasına katkı sağlayacak çalışmaların desteklenmesi”* ifade edilmektedir. Proje bu önceliğe uygunluk göstermektedir. Alg biyokütlesinin üretilmesinde atık su kullanılması ve böylece atık su arıtımının gerçekleştirilmesi, projenin diğer bir temel basamağını oluşturmaktadır.
- iii. Program önceliklerinin 2. maddesinde *“Bölgenin yenilikçilik kapasitesinin artırılmasına, bilim ve teknoloji odaklı uygulamalı araştırmalara, üretim altyapısının güçlendirilmesine yönelik projelendirme çalışmalarının desteklenmesi”* denmektedir. Bu önceliğe uygun olarak, biyokütle kullanımı yaklaşımı içerisinde yürütülecek bu proje, dünyada halen üzerinde yoğun akademik çalışmalar yapıldığı ve sonuçlarının hızlı bir şekilde uygulamaya aktarıldığı öncül bilimsel konularda yenilikçi çalışmaları kapsamaktadır.
- iv. Program önceliklerinin 8. maddesinde *“Tarımsal üretimde alternatif ürün geliştirilmesine, tarımsal ürünlerin katma değerini artıracak, tarıma dayalı sanayi üretiminin çeşitlendirilmesine yönelik projelendirme çalışmalarının desteklenmesi”* ifadesi yer

almaktadır. Proje kapsamında elde edilecek ürünün alternatiflerinden bir tanesi değerli biyobileşikler olup, biyogübre gibi tarımsal üretimi ilgilendiren ürünlerin de geliştirilebileceğine örnek teşkil edecektir.

- v. Program önceliklerinin 9. Maddesinde ise *“Bölgede mevcut üretim altyapısı ile ithal edilen/edilmek zorunda olan malların/ara malların üretilebilirliğine yönelik çalışmaların desteklenmesi”* denmektedir. Proje kapsamında değerlendirilen mikroalglerden üretilebilecek yüksek katma değerli bileşikler, mevcutta gıda, tarım, hayvancılık, yem ve kozmetik sektörlerinde kullanılmak üzere ithal edilmektedir. Ürün yelpazesi çok geniş olmasına rağmen, bu gibi değerli biyobileşiklerin alg biyokütlesinden yerli olarak üretilebileceği gösterilebilecektir.

Ayrıca, projenin çevresel olumlu etkileri göz önünde bulundurulduğunda ulusal politikalara uygunluk sağlamaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2016 yılında yayınlanan Kızılırmak Havzası Hassas Su Kütleleri İyileştirme Eylem Planı³’nda şu ifadeler yer verilmiştir: *“Kentsel atık sular, sanayi atık suları ve tarımsal alanlardan gelen yerüstü akış suları taşıdıkları besin maddeleri nedeniyle alg üretiminin artmasına ve su kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Su ortamlarının azot ve fosfor gibi besin maddeleri ile zenginleşmesi sonucu meydana gelen Ötrofikasyonun doğrudan etkileri arasında yer alan alg üretimindeki artış, bu alglerin zamanla ölmesi ve çürümesi sonucunda suda oksijen miktarının azalmasına ve su ortamının ekolojik yapısının bozularak suyun kullanılmaz duruma gelmesine sebep olmaktadır. Ötrofikasyon oluşumunun başlıca sebeplerinden olan ve organik atığın mikrobiyal bozunması neticesinde de ortaya çıkan amonyak, nitrat, nitrit, fosfat ve diğer inorganik maddeler sadece su kalite parametrelerini değiştirmekle kalmayıp bentik canlıları etkilemekte, habitat değişimine sebep olmakta ve alanın hassas alan haline gelmesine neden olmaktadır. Bu çerçevede hassas alanların belirlenmesi, bunun için bir metodoloji oluşturulması ve ötrofikasyonun önlenmesine yönelik tedbirlerin tespiti önem arz etmektedir.”*

Yukarıda bahsi geçen ve Kızılırmak’ta yaşanan ötrofikasyon sorunu aslında nehri kirleten sularda alg büyümesi için gereken başta azot ve fosfor olmak üzere bileşenlerin yeterli olduğunu göstermektedir. Bu durum da kontrollü mikroalg sistemleri ile Kızılırmak’ı kirleten atıksuların arıtılması için önemli bir potansiyele işaret etmektedir.

Öte yandan Ahiler Kalkınma Ajansı tarafından yayınlanan Bölge Planı’nda (2014-2023) aşağıdaki başlıklar dikkat çekmektedir:

a. Arıtma ve Atık Su Şebekelerinde Yetersizlik:

“TR71 Bölgesi’nde bazı arıtma tesisleri, işletme maliyetlerinin karşılanamaması nedeniyle etkin ve verimli olarak çalıştırılmamaktadır. Bunun yanında arıtma ve atık su tesislerine sahip olmayan yerleşimler azımsanmayacak ölçüdedir.”

b. Toprak ve Su Kaynaklarında Görülen Kirlilik:

“Bölgede tarımsal faaliyetler oldukça yoğun olup bu, zaman zaman bazı yerlerde ciddi kirliliğin sebebi olmaktadır. Özellikle hayvansal üretimin yoğun olduğu yerlerde organik atıkların yarattığı kirlilik hem toprak hem de yeraltı sularını olumsuz yönde etkilemektedir. Bitkisel üretimde kullanılan kimyasallar toprağın verimliliğini ciddi oranda azaltmakta ve ileri düzeylerde toprağın üretim yapılamaz duruma gelmesine neden olmaktadır. Bu tür kimyasalların sulama ile yeraltı sularına karışması da ciddi bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır.”

Ahiler Kalkınma Ajansı’nın Bölge Planı’nda (2014-2023) yer alan Öncelik 3.3. çerçevesinde, yaşanabilir ve sürdürülebilir etkin çevre yönetiminin geliştirilmesi için TR71 Düzey 2 Bölgesi’ne yönelik önerilen çalışmaların çevresel değerlerle uyum içerisinde ve ekoloji ile kentleşme arasında bir denge gözetilerek gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

TR71 Düzey 2 Bölgesi’nde atıksu yönetimi, havza yönetimi ve temiz üretim konuları bölgede çevre yönetiminin iyileştirilmesi açısından önem taşıyan başlıca iki konu arasında yer almaktadır. On Birinci Kalkınma Planı da (Bölüm 2.4), sürdürülebilir çevre ve doğal kaynak yönetimine dikkat çekmektedir ve çevre kirliliğinin önlenmesi çalışmalarına, biyolojik çeşitlilik ve doğal kaynakların korunmasına ve sürdürülebilir kullanımına öncelik verileceğinden bahsetmektedir.

Birleşmiş Milletler tarafından yayınlanan Bin Yıl Kalkınma Hedefleri arasında “Çevresel sürdürülebilirliği sağlama” hedefi yer almaktadır. Bunlarla paralel olarak TR71 Düzey 2 Bölgesi’nde sürdürülebilir çevre yönetimi uygulamaları önem arz etmektedir. Bu kapsamda özel çevre koruma alanlarının eylem planlarına katkı verilmesi ve su havzalarının sürdürülebilir yönetiminin desteklenmesi hedeflenmiştir. Ek olarak, sağlıklı gıda tüketimi ve yeşil etiketli üretim sistemlerinin yaygınlaştırılacağı ifade edilmektedir. Bu proje, Ahiler Kalkınma Ajansı tarafından belirlenen bu makro hedeflere hizmet etmesi açısından çevresel sürdürülebilirlik konusunda önemli bir potansiyele sahiptir.

1.2. Kurumsal Yapılar ve Yasal Mevzuat

Proje kapsamında atıksuda alg biyokütlesi yetiştirilerek atıksuyun arıtımı ve azot ve fosfor geri kazanımı planlanmıştır. Projenin hayata geçirilmesi ile birlikte azot ve fosfor içerikli atıksuyun nutrientlerden arıtımı sağlanmış ve bu nutrientlerden kaynaklı çevre kirliliğine karşı önlem alınmış olacak; azot ve fosforun geri kazanımı ile ekonomik anlamda değer kazanılması sağlanacaktır.

Atıksu arıtma proseslerinde en önemli nutrientler azot ve fosfordur. Ülkemizde atık sulardan nutrient giderimi özellikle hassas alıcı ortamlarda oluşabilecek kirliliği önlemek amacıyla önem kazanmıştır. Bu sebeple AB mevzuatına uyum sağlamak amacıyla yapılan çalışmalarla yürürlüğe giren Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı) ve Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı), Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği (23.07.2016 tarih ve 29779 sayılı) ile azot ve fosfor deşarj standartları mevzuatımıza dâhil edilmiştir. Aynı zamanda Atıksu Arıtımı Eylem Planı (2017-2023) ve Havza Eylem Planları (Kızılırmak Havzası) gibi atıksu sektörünü ilgilendiren politika dokümanları mevcuttur.

Bir diğer husus da, Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği kapsamında çevre iznine veya çevre izin ve lisansına tabi işletmeler, çevresel etkilerine göre yönetmeliğin Ek-1 (Çevreye kirlletici etkisi yüksek düzeyde olan işletmeler) ve Ek-2 (Çevreye kirlletici etkisi olan işletmeler) listelerinde sınıflandırılmıştır. Ek-1 ve Ek-2 listelerinde yer alan işletmeler, faaliyette bulunabilmeleri için, öncelikle geçici faaliyet belgesi almak zorundadır. Geçici faaliyet belgesi alan işletmeler belge tarihinden itibaren 1 yıl içerisinde çevre izni veya çevre izin ve lisans belgesi almak zorundadır. Aynı şekilde, ÇED Yönetmeliği kapsamında Ek-1 ve Ek-2’de “Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler Listesi” ve “Seçme-Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesi” yer almaktadır ancak projeye konu tesis bu listelerde yer almamaktadır.

Çevre izin ve lisans muafiyetine ve ÇED Yönetmeliği kapsamı dışında yer alan projeler ile ilgili olarak ÇED Yönetmeliği muafiyetine ilişkin başvurular ilgili Valiliklere (Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü) yapılmaktadır. Öte yandan, tesisler, Çevre Mevzuatı kapsamında yer alan diğer yönetmeliklere tabidir.

1.3. Projenin Kurumun Geçmiş, Yürüyen ve Planlanan Diğer Projeleri İle İlişkisi

Kırıkkale Üniversitesi Alg Kültür Laboratuvarı çatısı altında bugüne kadar mikroalg geliştirme eksenli pek çok çalışma yürütülmüş ve yürütülmeye devam etmektedir. Bu çalışma konularına örnekler aşağıda yer almaktadır:

Atık gideriminde bazı alg türlerinin biyolojik arıtım ajanı olarak kullanılabilme olanakları;

Makale: Bayramoğlu, G, Tüzün İ, Çelik G, Yılmaz M, Arıca MY. “*Biosorption of mercury(II), cadmium(II) and lead(II) ions from aqueous system by microalgae Chlamydomonas reinhardtii immobilized in alginate beads*,” Int. J. of Miner. Process. 81: 35-43 (2006).

Makale: Kankılıç GB, Metin AÜ, Tüzün İ. “*Phragmites australis: An alternative biosorbent for basic dye removal*” Ecological Engineering 86 (2016) 85–94.

Ulusal Sunum; Kankılıç G, Metin AÜ, Tüzün İ. “*Metilen Mavisi Uzaklaştırılmasında Phragmites australis Bitkisinin Kullanımının Kesikli Sistemlerde Araştırılması*” XII. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 14-17 Eylül, Muğla Sıtkı Koçman Üniv., 2015.

Sucul sistemlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bütünsel olarak incelenmesi ve sistem analizi, içme suyu kalitesiyle ilişkisi:

Yüksek Lisans Tezi; Başaran, G., “*Kapulukaya Baraj Gölü Su Kalitesi: Su İşletimi ve Yönetiminin Kimyasal ve Fiziksel Özellikler Üzerindeki Etkileri*”, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.

Doktora Tezi; İnce, Ö., “*Kapulukaya Baraj Gölü Limnolojisi*”, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

Ötrofikasyon ve önlenmesi için kullanılacak tekniklerin tespiti ve uygulanması, özellikle besin zincirinin kullanılması ve biyomanipulasyon yöntemleri:

Yüksek Lisans Tezi; Aluç, Y., “*Kırıkkale Üniversitesi Kampüs Göllerinde Besin Zinciri İlişkilerinin Su Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*” Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008

Kızılırmak’tan izole edilmiş mikroalg türleri üzerinde yağ (biyodizel) ve amino asit üretimine ilişkin bilimsel çalışmalar:

BAP Proje; Tüzün İ, Aluç Y, Kavasbaşıoğlu M. “*Bazı lokal alg türlerinde amino asit kompozisyonunun belirlenmesi*”, Proje No: 2019/162.

Uluslararası Sunum; Aluç Y, Kankılıç GB, Tüzün İ. “*Determination of carotenoids in two algae species from the saline water of Kapulukaya reservoir by HPLC*”, ICACCHE (International Conference on Applications in chemistry and Chemical Engineering, 11-15 October, 2017, Sarajevo.

Uluslararası Sunum; Tüzün İ, Young E, Çakmak T. “*Two Pronounced Chlorella Species For Neutral Lipid And Carbohydrate Production*” ICACCHE (International Conference on Applications in chemistry and Chemical Engineering), 11-15 October, 2017, Sarajevo.

Makale; Tüzün İ, Çakmak ZE, Young E, Çakmak T. “Two pronounced *Chlorella* strains for efficient biodiesel feedstock production”, Turk J Bot (2019) 43: 458-467.

Makale: Kavasbaşıoğlu M, Tuzun İ, Aluç Y. “Farklı Besi Ortamlarında Yetişen *Chlorella Vulgaris* Türüne Ait Protein Ve Aminoasit Kompozisyonunun Karşılaştırılması” Eurasian J. Bio. Chem. Sci., Cilt: 3 Volume: 2, 130-137, 2020.

Mikroalg Karotenoid İçeriği Üzerinde İzomerizasyona Bağlı Değişimlerin Belirlenmesi:

Proje; Tüzün İ, Aluç Y, Kök O. “Mikroalg Karotenoid İçeriği Üzerinde İzomerizasyona Bağlı Değişimlerin Belirlenmesi” Devam ediyor. Proje No: 2019/054, Kırıkkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.

Proje: “Kızılırmak (Kırıkkale) bölgesine uyum sağlamış farklı alg türlerinden karotenoid ekstraksiyonu ve antioksidasyonu ve antioksidan seviyelerinin belirlenmesi” Proje No: 2011/011, Kırıkkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.

Makale; Aluç Y, Kankılıç GB, Tüzün İ. “Determination of carotenoids in two algae species from the saline water of Kapulukaya reservoir by HPLC”, Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies, 2018.
<https://doi.org/10.1080/10826076.2017.1418376>.

Siyanobakter-Azolla simbiyontunun azot fiksasyonu ve biyolojik gübre üretiminde kullanma imkanlarının araştırılması:

Proje: Tüzün İ, Aluç Y, Özçalık Y, Yaman M, Özkan S. “Siyanobakter-Azolla Simbiyontunun Azot Fiksasyonu Ve Biyolojik Gübre Üretiminde Kullanma İmkanlarının Araştırılması” Proje No: 2015/003, Kırıkkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma projeleri Birimi, 2015.

Kapulukaya Baraj Gölü Kırıkkale ve yakın havzasının su, sediment ve makrofit örneklerinde ağır metal birikimler inin belirlenmesi

Makale: Kankılıç GB, Tüzün İ, Kadioğlu YK. “Assessment of heavy metal levels in sediment samples of Kapulukaya Dam Lake (Kırıkkale) and lower catchment area” Environ Monit Assess (2013) 185:6739–6750.

Biyoyuyluluk, çevre ve yakıt analiz laboratuvarlarının kurulması;

Proje: Türk M, Karahan S, Ekici H, Tüzün İ. “Biyoyuyluluk, çevre ve yakıt analiz laboratuvarlarının kurulması projesine eş finansman sağlanması”. Proje No: 2014/136, Kırıkkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi. 2016.

Benzer konularda hazırlanan diğer yayınlar ise aşağıda yer almaktadır:

- Kurusakız, M. (2020). *Scenedesmus intermedius* ve *Scenedesmus planctonicus* Alg Türlerinde Azota Bağlı Lipit İçeriğindeki Değişimlerin İncelenmesi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Danışman: Prof. Dr. İlhami Tüzün
- Özalın, G. (2020). *Scenedesmus regularis* ve *Scenedesmus obliquus* alg türlerinde azota bağlı lipit içeriğindeki değişimlerin incelenmesi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Danışman: Prof. Dr. İlhami Tüzün
- Young, E.C. (2015). Türkiye’deki Farklı Volkanik Göllerden İzole Edilmiş Beş *Chlorella* Türünün Biyodizel ve Hammadde Ürün Verimliliğinin Değerlendirilmesi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Danışman: Prof. Dr. İlhami Tüzün
- Tüzün, İ. Bayramoğlu, G., Başaran G., Çelik, G. ve Arıca, M.Y. (2005) Equilibrium and kinetic studies on biosorption of Hg(II), Cd(II) and Pb(II) ions onto microalgae *Chlamydomonas reinhardtii*, Journal of Environmental Management 77, 85–92
- Arıca, M.Y. Tüzün, İ. Yalçın E., İnce Ö, Bayramoğlu, G. (2005). Utilisation of native, heat and acid-treated microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* preparations for biosorption of Cr(VI) ions, Process Biochemistry 40, 2351–2358

Yukarıda bahsedilen bu çalışmalar, Kırıkkale Üniversitesi’nin mikroalg sistemleri konusunda ihtisaslaştığını göstermektedir. Kırıkkale Üniversitesi’nin bu fizibilite çalışması girişimiyle, kurulacak endüstriyel ölçekte biyogaz tesisine entegre mikroalg üretim tesisinin ilk adımı atılmış olacaktır. Üniversite, halihazırda Kızılırmak’tan izole edilmiş mikroalg türleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu tesiste de, edinilen bilgi birikimi ile Kızılırmak Nehri’nden alınan lokal alg türlerinden alg biyokütlesinin üretimi gerçekleştirilecektir ve algler biyogaz tesisinin atıksuyu ile beslenerek gerekli nutrient ihtiyacı karşılanacaktır. Tesisin Kırıkkale Üniversitesi Alg Kültür Laboratuvarı için bir Ar-Ge merkezi işlevi görmesi ve yalnızca bölgesel değil ulusal bir marka olarak ülkemizin biyomühendislik alanında kapasitesinin geliştirilmesine önemli katkısı olacağı düşünülmektedir. Bu açıdan Kırıkkale Üniversitesi projenin sürdürülebilirliği temin edecek tüm imkanlarını kullanacaktır. Tüm bu açılardan değerlendirildiğinde bu proje geçmiş projelerin birikimiyle geliştirilecek ve gelecek projelere taban oluşturacaktır.

1.4. Projenin Diğer Kurumların Projeleri İle İlişkisi

1.4.1. Proje İle Eşzamanlı Götürülmesi Gereken Diğer Kurumların Projeleri

Bu projede, atık sudan nutrientlerin uzaklaştırılmasıyla katma değerli ürün eldesine yönelik önerilen mikroalg üretim tesisi yatırımının fizibilite analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilecek mikroalg ürünü biyogaz tesisinin verimini artırmada kullanılacak olup; ihtiyaç halinde gübre olarak kullanılabilir. Tesis, Aksaray’da yer alan bir biyogaz tesisi ile entegre çalışacak ve 500 m² alanda kurulacaktır. Mikroalg ürünü üretimi için tüp tipi fotobiyoreaktör ile ortalama 55,8 kg/gün hasat elde edilecektir. Projenin yatırım ve/veya işletme aşamalarında başka bir yatırım projesine ihtiyaç olmayacağı öngörülmektedir.

1.4.2. Projede Başka Kurumların Projeleri ile Fiziki Çakışma Oluşmamasına Yönelik Tedbirler

Fizibilite çalışmasının konu “Kızılırmak Nehri Alglerinden Üretilen Biyokütlenin, Atık Bertarafı, Biyoenerji ve Gıda Bileşikler Üretilmesinde Kullanımı” projesinin uygulanmasını olumsuz yönde etkileyecek başka bir yatırım projesi olmadığı Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ve Kırıkkale Organize Sanayi Bölgesi gibi paydaşlarla yapılan görüşmelerde teyit edilmiş, bölgede proje konusuna benzer veya çakışan mevcutta yürütülen bir proje olmadığı belirtilmiştir.

Öyle ki, biyogaz atık suyunun (sıvı kısmının) artırılması üzerine kurulan kurgu ile biyogaz sistemlerine entegre olarak çalışacak ticari mikroalg sistemleri, ülkemiz ölçeğinde dahi çok az sayıda üniversite/bilim insanı tarafından yalnızca laboratuvar ölçeğinde araştırılmıştır. Kırıkkale Üniversitesi’nde de çevre mikrobiyolojisi üzerine çalışmalar yapıldığı bilinmekte ancak akademik düzeyde laboratuvar ölçeğindedir. Öte yandan, ülkemizde mikroalg ve biyogaz entegre sistemlerine yönelik olarak özel sektör kuruluşlarının bugüne kadar herhangi bir girişimi olmamıştır. Bu sebeple, yapılan paydaş görüşmelerini destekleyici nitelikte, fiziki çakışma olması beklenmemektedir.

1.5. Proje ile İlgili Geçmişte Yapılmış Etüt Araştırma ve Diğer Çalışmalar

Son yıllarda çok hızlı ve yoğun çabalar sonucu devreye sokulmaya çalışılan yenilenebilir kaynaklar arasında biyokütle yenilenebilir kaynağının, diğerlerine olan üstün özellikleri nedeniyle küresel ölçekte en çok kullanılan uygulama aracı olduğu görülmüştür. Araştırmalar, yenilenebilir özelliği, biyolojik arıtım ile çevre kirliliğinin önlenmesinde etkin ve doğal bir şekilde kullanılabilmesi, katma değeri yüksek bileşik-ürün eldesine imkan vermesi gibi faydaları olduğunu göstermiştir. Proje kapsamında incelenecek mikroalglerin, çevre, enerji ve gıda başta

olmak üzere ilaç ve tıp, tarım, biyogübre, hayvancılık, yem, kozmetik gibi birçok sektörde faydalanabildiği anlaşılmıştır. Örneğin, mikroalglerden elde edilebilen biyobileşik ürünler (örn; Astaksantin) gıda, kozmetik ve ilaç sanayine yönelik kullanılabilmekte, böylece insan sağlığı konusunda katkıda bulunmaktadır.

Fizibilite çalışmasına konu olan mikroalgler, Kırıkkale Üniversitesi Alg Kültür Laboratuvarı çatısı altında bugüne kadar çeşitli çalışmalarla da ele alınmıştır. Alg türlerinin atıksu arıtma tesislerinde biyolojik arıtım ajanı olarak kullanılabilme olanaklarının araştırılması, mikroalg içeriği özelinde yapılan laboratuvar çalışmaları gibi geçmişte yürütülen çalışmalar, bu proje kapsamında gerçekleştirilmesi planlanan faaliyetlere girdi oluşturmaktadır. Ahiler Kalkınma Ajansı TR71 Bölgesi'ne yönelik olarak verdiği destekler kapsamında, Kırıkkale Üniversitesi'nin projesini desteklemiş, TR71/13/GPD/01 sözleşme numaralı “Biyouyumluluk, Çevre ve Yakıt Analiz Laboratuvarı Kurulumu” projesi Ahiler Kalkınma Ajansı ve Kırıkkale Üniversitesi ortak işbirliği ile güdümlü proje olarak yürütülmüştür. Alınan bu destekle kurulan laboratuvarın bölgeye hizmet vermesi amaçlanmıştır. Dolayısıyla, kurulan laboratuvar yatırımı, çalışmalar için altyapı oluşturmaktadır.

Ayrıca, yapılan ön incelemeler ve bilimsel çalışmalar, TR71 Bölgesi'nde çevre kirliliğini giderecek atık su arıtımı ile ilgili yöntemler geliştirme ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Bu konuda geçmişte yapılan, “Kapulukaya Baraj Gölü'nde içme suyu kalitesi çalışmaları” ve “Kapulukaya Baraj Gölü Kırıkkale ve yakın havzasının su, sediment ve makrofit örneklerinde ağır metal birikimlerinin belirlenmesi” gibi çalışmalar da bu tespitleri destekleyici niteliktedir.

1.6. Proje İhtiyacı/Talebi

Atık sulardaki bazı bileşiklerin çevreye deşarjının önemli kirlilik problemlerine yol açtığı bilinmektedir. Arıtılmış atık sudan geriye kalan bileşiklerin çevredeki potansiyel etkisi deşarj ortamına göre önemli değişiklikler göstermektedir. Her ne kadar askıda katı ve biyolojik olarak parçalanabilen organiklerin arıtımı için klasik ikinci kademe arıtma sistemleri yeterli olsa da deşarjın göl, nehir, dere veya hassas bölgelere yapılması durumunda daha fazla arıtım gerekmekte, bu da ileri arıtma sistemlerinin ilavesini zorunlu kılmaktadır. Dünyada kullanma suyunun sınırlı olduğu yerlerde arıtılmış atık suyun tekrar kullanımı da giderek önem kazanmaktadır.

Besin maddelerinden azot (N) ve fosfor (P) arıtılmış atık suların deşarjında önemli parametrelerdendir. Atıksudaki azot ve fosforun alıcı ortamlarda ötrifikasyonu hızlandırdığı ve sucul büyümeyi artırdığı bilinmektedir. Bu nedenle azot ve fosforun kontrolü önem kazanmış, çevre izleme çalışmaları ile arıtılmış atık suyun deşarj limitlerinin daha sıkı ve sınırlayıcı olmasına

yol açmıştır. Azotun yüksek konsantrasyonlarda deşarjının sebep olduğu diğer zararlı etkileri, alıcı ortamda çözünmüş oksijen düşüşü, sudaki hayat üzerinde toksik etki, klorla dezenfeksiyon verimini etkileme, halk sağlığına zararlı olma, atık suyun tekrar kullanım amacına uygunluğunu bozmak olarak sıralanabilir. Bu nedenle azot ve fosforun kontrolü, su kalitesi yönetiminde ve atık su arıtma sistemlerinin tasarımında büyük öneme sahiptir.

Kızılırmak Havzası'ndaki toplam kirlilik yükleri ve projeksiyonlar aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Bu tablodan görüleceği üzere, 2010 yılından 2040 yılına kadar kentsel kaynaklı yaklaşık %24 oranında azot, %27 oranında fosfor kirlilik artışı beklenmektedir. Bu dokümanların da işaret ettiği organik madde ve besin (azot, fosfor) tuzları girdileri, iç sularda doğal ekolojik özelliklerin aşırı değişimi ve yoğun plankton üretime kadar varan problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Suyun kalitesinin bozulması, kullanılabilir su kaynaklarını daha da sınırlı hale getirmeye başlamıştır.

Tablo 1.1. Kızılırmak Havzası'ndaki toplam kirlilik yükleri

Yıllar	Yükler (ton/yıl)						
	Toplam Azot (TN)				Toplam Fosfor (TP)		
	Noktasal		Yayılı	Toplam	Noktasal		Yayılı
	Kentsel	Endüstriyel			Kentsel	Endüstriyel	
2010	5.756	494	45577	51828	967	50	5885
2020	5.066	413	38605	44085	948	45	4719
2030	6.442	372	35198	42012	1.135	41	4156
2040	7.564	331	31734	39629	1.320	36	3596

Kaynak: (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2010)

Kızılırmak Havzası Eylem Planı'na göre Kızılırmak Havzası'nda üretilen endüstriyel kirlilik yüklerinin giderim yüzdeleri TN için %20 ve TP için ise %7'dir. Bu sebeple, ulusal olarak gözetilen ve yasal mevzuatlarda öne çıkan atık sudan nutrient giderimi konusu projenin hedefleriyle örtüşmektedir. Atık sular ileri arıtmaya tabi tutulmadıkları takdirde çevreye zarar verebilecek önemli kaynaklardır. Dolayısıyla, yapılan çalışmalar ve araştırmalar, alg biyoteknolojisi ile simbiyotik ilişki içerisinde atıksulardan nutrientlerin geri kazanımı projesine olan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Gerek Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2016 yılında yayınlanan Kızılırmak Havzası Hassas Su Kütleleri İyileştirme Eylem Planı, gerekse Ahiler Kalkınma Ajansı tarafından yayınlanan Bölge Planı (2014-2023), Kızılırmak'ta yaşanan kirliliği ve hali hazırda TR71 Bölgesi'nde pek çok kurum/kuruluşun atık su arıtımı konusunda sorunlar yaşamakta olduğunu

belirtmektedir. Öte yandan bu proje ile, atık sularda azot ve fosfor arıtımı gerçekleştirmenin yanında, nutrient geri kazanımı ile değerli ürün eldesinin bir arada sunulabileceği alternatifler ortaya koyularak sürdürülebilir kalkınmaya ve çevrenin korunmasına yönelik olan ihtiyaca katkıda bulunulacaktır.

1.7. Proje Alternatifleri

1.7.1. Projesiz Durum

Mevcut durumda ileri arıtmaya (ve özellikle azot/fosfor giderimine) tabi tutulmadığı durumlarda kentsel atık sular, sanayi atık suları ve tarımsal alanlardan gelen yerüstü akış suları taşıdıkları besin maddeleri nedeniyle alg üretiminin artmasına ve su kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Su ortamlarının azot ve fosfor gibi besin maddeleri ile zenginleşmesi sonucu meydana gelen ötrofikasyonun doğrudan etkileri arasında yer alan alg üretimindeki artış, bu alglerin zamanla ölmesi ve çürümesi sonucunda sudaki oksijen miktarının azalmasına ve su ortamının ekolojik yapısının bozularak suyun kullanılmaz duruma gelmesine sebep olmaktadır.

Ötrofikasyon oluşumunun başlıca sebeplerinden olan ve organik atığın mikrobiyal bozunması neticesinde de ortaya çıkan amonyak, nitrat, nitrit, fosfat ve diğer inorganik maddeler sadece su kalite parametrelerini değiştirmekle kalmayıp bentik canlıları etkilemekte, habitat değişimine sebep olmakta ve alanın hassas alan haline gelmesine neden olmaktadır. Bu çerçevede hassas alanların belirlenmesi, bunun için bir metodoloji oluşturulması ve ötrofikasyonun önlenmesine yönelik tedbirlerin tespiti önem arz etmektedir.

Yukarıda bahsi geçen ve Kızılırmak'ta yaşanan ötrofikasyon sorunu aslında nehri kirleten sularda alg büyümesi için gereken başta azot ve fosfor olmak üzere bileşenlerin yeterli olduğunu göstermektedir. Bu durum da kontrollü mikroalg sistemleri ile Kızılırmak'ı kirleten atık suların arıtılması için önemli bir potansiyele işaret etmektedir. Öyle ki, bu raporun 1.1. Projenin Politika Dokümanlarına Uygunluğu bölümünde de detaylı olarak bahsedildiği üzere Ahiler Kalkınma Ajansı tarafından yayınlanan Bölge Planı'nda (2014-2023), arıtma ve atık su şebekelerinde yetersizlik ve su kaynaklarında görülen kirlilik konularına dikkat çekilmektedir.

1.7.2. Bakım Onarım veya Tevsii Yatırımı

Hâlihazırda proje konusu mal/hizmet ihtiyacını karşılayan bir birim bulunmamaktadır. Projeye konu biyogaz tesisi atık suları mevcut durumda lagün gibi depolama alanlarında depolanmakta, veya atıksularını gübre olarak kullanılmak üzere bölgedeki tarım arazilerine veya mera alanlarına

deşarj edebilmektedir. Önerilen proje ile mevcutta olmayan faaliyetler gerçekleştirilecek olup, bakım-onarım veya tevsii yatırımları bu kapsamda bir alternatif olarak değerlendirilmemektedir.

1.7.3. En İyi İkinci Alternatif

Atık sudaki azot ve fosfor yüklerinden kaynaklı çevresel kirlilik bu projeye de konu olan temel problemdir. Azot ve fosfor evsel, tarımsal ve endüstriyel kaynaklı olabilmektedir. Organik ve inorganik azotlu ve fosforlu maddeler alıcı ortamlarda aşırı azot ve fosfor kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle, ikinci alternatif olarak, atık suyun ileri arıtma teknolojileriyle arıtımı değerlendirilmiştir. Azot ve fosforun, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve biyolojik fosfor giderimi gibi ileri arıtma yöntemleriyle arıtılarak alıcı ortama verilmesi gerekmektedir. Atık sulardan nutrient gideriminde biyolojik metotlar; kimyasal madde kullanımında, çamur üretiminde, işletme maliyetlerinde, çamur bertarafında ve havalandırma gereksinimlerinde sağladıkları ekonomik avantajlardan dolayı, pratikte en çok tercih edilen metotlardır.

Biyolojik azot ve fosfor giderimi yapan aktif çamur sistemleri kısa ve/veya uzun süreli değişken çevresel koşullara ve kirlilik yüklerine maruz kaldığından en uygun giderim veriminin sürdürülebilirliğinin sağlanması için bu sistemlerin uygun ve yerinde ölçüm cihazları, proses kontrol ekipmanları ve otomasyon sistemleri ile donatılması gerekmektedir. Biyolojik azot ve fosfor giderimi için;

- Tasarıma öncelikle nitrifikasyon prosesinden başlanmalı ve sistemin olumsuz çevresel koşullar altında verimli çalışması için gerekli önlemler alınmalıdır.
- İkinci adımda denitrifikasyon prosesi için gerekli olan hacimler belirlenmelidir.
- Son olarak biyolojik fosfor giderimi için gerekli tasarım kriterleri oluşturularak tank hacimleri hesaplanmalıdır.

Biyolojik nutrient giderimi için tasarlanan aktif çamur sistemi seçimi atık su karakterizasyonuna ve çevresel koşullara bağlıdır. Bunun yanında endüstriyel katılımların yüksek olduğu atık sular evsel atıksu karakterizasyonundan çok büyük farklılık gösterebileceğinden, yukarıda bahsedilen tasarım kriterlerinin uygulanması açısından sıkıntı olabilir. Özellikle endüstriyel atık su oranı yüksek kentsel atık sularda ayrışabilen organik madde miktarı, türleri ve ayrışma hızlarının yanında azot ve fosfor parametreleri de farklılık gösterebileceğinden, biyolojik azot-fosfor giderimi açısından prosesin uygunluğunun detaylı olarak araştırılması gerekmektedir.

Temelde prosesin mantığı, atık suyun içerdiği amonyum iyonlarının, azot bakterileri yardımıyla nitrifikasyon kademesinde önce nitrite ve sonra nitrata dönüştürülmesine dayanmaktadır. Daha

sonra denitrifikasyon kademesinde anoksik şartlar altında azot gazı hâlinde atıksudan uzaklaştırılmaktadır. Nitrifikasyon askıda büyüme (aktif çamur) veya tutunarak büyüme (biyofilm) prosesleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Proseste önemli olan nitrifiye bakterilerin büyümelerinin sağlanacağı uygun koşulların yaratılmasıdır. Nitrifikasyon prosesinde işletme parametreleri olarak sıcaklık pH, çözünmüş oksijen, havalandırma periyodu, çamur yaşı, karbon/azot oranı önem taşımaktadır. Denitrifikasyon prosesi nitratın azot gazına indirgenmesidir. Biyolojik denitrifikasyon prosesi organik karbon kaynağı olarak metanol gibi maddelerin kullanılmasıyla ayrı reaktörlerde gerçekleştirilebildiği gibi, kombine karbon oksidasyon nitrifikasyon denitrifikasyon sistemleri de uygulanabilmektedir.

Fosfor bileşiklerini gidermek için kimyasal ve biyolojik metotlar ayrı ayrı veya birlikte kullanılabilir. Kimyasal arıtmada kimyasal maddeler kullanılarak yüksek pH değerinde fosfor, fosfat tuzları hâlinde çöktürülmektedir. Biyolojik metotlarla fosfor arıtımı, biyolojik arıtma sırasında fosfatın mikroorganizmalarca alınması ile sağlanmaktadır. Biyolojik ve kimyasal arıtmanın birlikte kullanılması biyolojik arıtma çıkışında son çökeltme tankı girişinde metal tuzları ve polimer ilavesi ile gerçekleşmektedir. Böylece aynı zamanda daha iyi bir çökeltme sağlanabileceği gibi, çıkışta daha düşük BOI₅ değerleri sağlanabilmektedir.

Atık sulardan biyolojik azot giderimi ile birlikte fosfor giderimi için; havasız, anoksik ve havalı koşulların sağlandığı aktif çamur sistemi konfigürasyonları gerekmektedir. Biyolojik azot giderimi prosesine ek olarak fosfor depolayan bakteriler için havasız şartların da sağlanması ihtiyacı bulunmaktadır.

Geleneksel aktif çamur sistemlerinin bazı dezavantajları vardır. Bunlardan ilki hidrolik tutma süresi ve çamur tutma süresi nedeniyle büyük hacimli tanklara ihtiyaç duyulmasıdır. Bir diğeri ise bu işlemten sonra atılması gereken önemli miktarda çamur vardır ki, bu daha yüksek bertaraf maliyetleri anlamına gelmektedir. Öte yandan, proje amacı doğrultusunda belirlenen en büyük dezavantaj, bu arıtma yöntemiyle bir simbiyotik ilişki kurulamayacak olmasıdır. Aşağıda bahsedilen tercih edilen alternatifin en önemli özelliği ise atıksu arıtımı yanında ürün elde edilebilecek olmasıdır. Bu nedenle, biyogaz atık sularının arıtılarak su kirlilik yükünün azaltılması için değerlendirilen bu alternatif tercih edilmemiştir.

1.7.4. En İyi Alternatif (Tercih edilen alternatif)

Projede, atık suyun algler ile arıtımı gerçekleştirilerek azot ve fosfor geri kazanımı alternatifi tercih edilmiştir. Böylece, atık sular çevre kirliliğine sebep olmadan yönetilmiş olacak ve aynı zamanda azot ve fosfor geri kazanılarak sürdürülebilir bir yöntem uygulanmış olacaktır.

Algler, pek çok alanda kullanım potansiyeli bulunan sürdürülebilir bir biyokütle hammaddesi kaynağıdır ve çok yönlü çevre koşulları altında çoğalabilmektedir. Alglerin ekimi, teknik olarak pahalı ve zorlu bir süreç olmasına karşın, atık sular, alg yetiştiriciliği için gerekli besinlerin mevcut kaynağıdır. Alg büyümesi için en önemli inorganik besinler azot ve fosfordur ve genel olarak sırasıyla nitrat veya amonyak ve fosfat olarak bulunmaktadır. Mikroalgler fosfat ve azot gideriminde çok iyi bir potansiyele sahiptirler. Başlıca teknikler, atık sulardan hücre içine alımı, alg yardımıyla besin giderimi ve amonyanın yüksek pH ile ayrılmasıdır.

Açık ve kapalı sistemlerde atık su arıtımı ile birlikte mikroalg yetiştirme alanındaki potansiyel ilerleme, alg biyokütle üretiminde gelişmelere yol açmıştır. Özellikle son 20 yılda birçok ileri arıtma teknolojisi geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur. Yapılan çalışmalarda tek hücreli tatlısu mikroalgi *Chlorella vulgaris*'in biyosorpsiyon ile atık sudan azot ve fosfor gideriminde yüksek bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Son on yıl içinde mikroalglerin çeşitli türlerinin kullanılması üçüncül bir arıtma yöntemi olarak konu olmuştur ve bu konuda çeşitli potansiyel iyileştirmeler değerlendirilmeye devam etmektedir. Temeldeki varsayım, mikroalglerin kirleticilerin bir kısmını tehlikeli olmayan maddelere dönüştüreceği ve arıtılmış suyun güvenle tekrar kullanılabilmesidir. Alglerin, gelişmiş atık su arıtımı için uygun maliyetli ve sürdürülebilir bir araç olmasının yanında ticari olarak değerli ürünlerin üretimi de eşzamanlı olarak sağlanmaktadır.

Bu alternatifte, mikroalgleri atık suda yetiştirerek atık sudaki nutrientleri kullanmak, böylece nutrientlerin geri kazanımını sağlamak ve atık suyun ileri arıtımıyla azot ve fosfor giderimi sağlamak değerlendirilmiştir. Atık su olarak; belediye, üniversite, sanayi bölgesi, endüstri tesisi ve biyogaz tesisleri atıksuları olmak üzere 8 farklı atıksu değerlendirilmiştir. Alg büyümesini etkileyecek parametreler incelenmiş, atık suların azot ve fosfor açısından zenginliği ortaya konmuştur.

Biyogaz tesisleri atık sularının arıtımı, proje hedefleri açısından uygunluk göstermektedir. Biyogaz tesislerinin atık sularının hedef olarak seçilmesinin nedeni Yer Seçimi (Bölüm 2) bölümünde açıklanmıştır. Simbiyotik bir anlayışla biyogaz tesisi atık sularıyla üretilen mikroalgler dünyada oldukça hızla gelişmekte olan bir alandır. Biyogaz tesisleri organik atıkların bertarafı, enerji ve organik gübre üretimi amacıyla birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de teşvik edilmekte, sürdürülebilir bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Öte yandan, sayıları hızla artan tesislerin en büyük problemi zayıf nutrient giderimi olup, biyogaz üretimi sonrasında oluşan atığın sürdürülebilir şekilde değerlendirilememesidir. Kıymetli bir organik gübre olan digestate, çürütücülerden çıktıktan sonra separatörlerden geçirilerek, katı ve sıvı olarak ikiye ayrılmaktadır. Katı kısım, nispeten kolay bir şekilde değerlendirilmekte olup, organik gübre olarak

satılabilmektedir. Sıvı kısım ise, tüm biyogaz tesisleri için problem yaratmaktadır ve mevcut durumda neredeyse tüm tesislerde çevresel ve mevzuata uyum ile ilgili sorunlar yaratmaktadır. Ortalama bir tesiste, günlük 200-300 ton sıvı atık çıkmakta ve bu atıklar üstü kapalı lagünlerde depolanmakta ve genellikle uygun mevsimlerde tarlalarda sıvı gübre olarak kullanılmaktadır. Büyük tesislerde, bu atıkların miktarı çok daha fazla olup, yeterli kullanım arazisinin bulunmaması gibi sebeplerden dolayı sürekli olarak bertarafı mümkün görünmemektedir. Dolayısıyla, biyogaz atık suyu yüksek besin (nitrojen ve fosfor) içeriğine sahip olmakla birlikte, bu atık su sıvı gübre olarak etkili şekilde değerlendirilememektedir.

Diğer taraftan, sıvı atık içinde bulunan azot, fosfor gibi elementler, serbest formda olduğundan geri kazanımı mümkündür. Değerlendirilen bu alternatifin amacı, yönetiminde problem yaşanan kirlilik yükü yoğun biyogaz tesisi atık suyunda (centrate yani sıvı kısmında) alg üretimi gerçekleştirerek nutrient geri kazanımı sağlamaktır. Bu sayede bu atık suların sürdürülebilir yönetimi için yenilikçi ve alternatif bir teknoloji geliştirilmiş olacaktır. Biyogaz atık su kirlilik yükünün azaltılacak olmasının yanı sıra, bir diğer avantaj yetiştirilen yüksek nutrient içeriğine sahip alglerin biyogaz tesisine geri beslenmesiyle biyogaz verimini artırmaya yönelik kullanımı oluşacaktır.

Bu alternatif, atık sudan nutrientlerin uzaklaştırılmasıyla ürün eldesine yönelik fizibilitesinin ortaya konmasıyla sürdürülebilir kalkınmaya ve çevrenin korunmasına katkıda bulunacaktır. Öte yandan, biyogaz üretiminde oluşan karbondioksitin (CO_2) alg üretiminde mikroalgler tarafından biyolojik olarak hapsedilmesiyle sera gazı emisyonunun azaltılmasına da katkıda bulunulmuş olacaktır. Ek olarak, CO_2 temini alg üretiminin büyük maliyetlerden bir tanesi iken, bu sayede maliyeti düşürücü nitelikte olacaktır.

Sonuç olarak, biyogaz tesisine entegre olarak çalışacak mikroalg sistemi ile biyogaz atıksuyunun (sıvı kısmının) mikroalgler ile arıtılması üzerine bir mikroalg üretim tesisi fizibilitesi çalışılmıştır. Bu mikroalg üretim tesisi 500 m² alana kurulacak, 360 gün operasyonda olacaktır. Tesis, foto-biyoreaktörler, hazırlama ünitesi, filtrasyon ünitesi, CO_2 besleme ünitesi, yardımcı üniteler (LED, ısıtmalı-soğutmalı sirkülasyon ünitesi, tanklar, pompalar, sensörler, otomasyon vb.) komponentlerinden oluşacaktır. Reaktör olarak tüp tipi foto-biyoreaktörler ortalama üretim verimliliği ve dış ortam uyumluluğundan dolayı tercih edilmiştir. En kötü ve en iyi senaryolar baz alındığında alg üretim tesisinde günlük 6.000-18.600 L atıksu işlenebilecek, 3,6-225,1 kg günlük hasat alınabilmektedir. Tesisin kurulumu için 20.448.791 TL yatırım yapılması gerekmektedir. İç karlılık oranı %19,26; karlılık endeksi 1,48 olarak bulunmuş olup, projenin geri ödeme süresi 14,3 yıldır. Proje kapsamında üretilen Chlorella ve Spirulina çeşidi alglerin piyasa değeri, pazar araştırması detayları Bölüm 7.2.'de verildiği üzere 20,00 ABD Doları/kg olarak belirlenmiştir. Elde

edilecek mikroalg ürünü biyogaz tesisinin verimini artırmada kullanılacak olup; ihtiyaç halinde gübre olarak kullanılabilecektir.

Aksaray’da Merkez ilçesinde bir biyogaz tesisi yakınına kurulması planlanan mikroalg üretim tesisi, TR71 Düzey 2 Bölgesi’ndeki diğer illerde bulunan biyogaz tesislerine projeye konu teknolojinin uygulanması açısından örnek olacaktır. Böylece, ilerleyen zamanlarda bölgede bulunan biyogaz tesislerinin yanı sıra, gelecekte yatırımı olabilecek biyogaz tesisleri için de projeye konu teknoloji uygulanabilecektir.

1.8. Teknoloji ve Tasarım

Algler, çok çeşitli kirleticileri metabolize etme ve giderme kapasiteleri nedeniyle atıksu yönetimi ve iyileştirme için umut verici bir çözümdür. Atık su arıtımının mikroalg yetiştiriciliğiyle birleştirilmesinin başlıca avantajları değerli besin maddelerinin geri kazanımı ve gelişmiş atık su arıtımıdır. Atık su, çeşitli mikroalgal büyümesi için düşük maliyetli ve erişilebilir mükemmel bir ortamdır. Mikroalglerin büyümesini destekleyen makro ve mikro besinler içerir. Nitrat, amonyak, fosfat, üre ve eser mineraller, atık suda bulunan başlıca besin maddeleridir. Karbon (C), nitrojen (N) ve fosfor (P), mikroalgal büyümesinin artırılması için bir atık su kaynağını değerlendirirken en öneme sahip üç besindir. Atık suyun bir ortam olarak kullanılmasıyla elde edilecek yoğun mikroalg kültürü, mevcut arıtma uygulamalarına ek olarak ötrofikasyonun azaltılması ile ekosistemlere çevre dostu bir strateji sağlayarak su yönetimini destekleyecektir. Özellikle fosfor kaynağının kısıtlı olduğu bu yüzyılda fosforun atıklardan geri kazanılması önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Fosfor konsantrasyonları, evsel ve endüstriyel atık sularda yüksek olarak bulunmaktadır ve fosfor ve azotu birlikte geri kazanmanın umut vadeden bir alternatifi mikroalg yetiştirmektir.

Atık su arıtımı sırasında oluşan mikroalgal biyokütle hasat edilerek ve başarılı bir şekilde çeşitli biyoürünlere dönüştürülerek yaşam döngüsü etki değerlendirmesi açısından olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Çeşitli çalışmalar, belediye, tarım ve endüstriyel kaynaklardan kaynaklanan çeşitli kirleticiler içeren atık suyun arıtılmasında mikroalgal sistemlerin kullanılmasının etkinliğini ortaya koymuştur.

i. Başarılı bir mikroalg yetiştiriciliği için uygun atıksu seçimi:

Azot ve fosfor mikroalglerin yetiştirilmesinde gerekli olan başlıca besin maddelerindendir. Mikroalglerin büyümesi için gereken N/P oranı değişen metabolik aktiviteleri nedeniyle türe bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. *Chlorella vulgaris* ve *Spirulina* yaygın olarak kullanılan

mikroalg türleridir. N/P oranı, biyokütle verimliliği üzerindeki etkisi değişmekle birlikte, atık sudaki ekolojik koşullara bağlı olarak 30'a kadar geniş bir aralıkta olabilmektedir. Literatürde bulunan çalışmalarda N/P oranlarının 10'a kadar çıkması biyokütle üretimini sürekli olarak arttırmaktadır. Bu noktadan sonra biyokütle üretimi kademeli olarak azalmakta ve N/P oranı 30 civarında sabit bir değere ulaşmaktadır. Mikroalglerin büyümesinin, hidrodinamik ve ışık koşulları ve besin ağının yapısı gibi diğer birçok faktöre de bağlı olduğu belirtilmektedir (Choi ve Lee, 2014) (Demirer, 2015) (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

Atıksu olarak Kırıkkale Belediyesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Organize Sanayi Bölgesi, demir-çelik tesisi vb. kaynaklı çeşitli atıksular ve 3 farklı biyogaz tesisinin atıksuyu değerlendirilmiştir. Bu atıksularının karakterizasyon analiz sonuçları detaylı olarak Yer Seçimi Bölümü'nde (Bölüm 2) verilmiş olup, aşağıdaki tabloda alg büyümesinde en önemli besin parametrelerinden olan azot ve fosfor değerleri açısından özet kıyaslama verilmiştir. Ayrıca, literatürdeki tez çalışmasından elde edilen 6 biyogaz tesisinin analiz sonuçları da kıyaslama açısından bu tabloda yer almaktadır.

Atıksu-1 ve Atıksu-3 örneklerindeki gibi, atık suda yeterli miktarda fosfor bulunmadığında reaktörlere fosfor limitasyon problemini çözmek için fosfor beslemesi yapmak gerekmektedir. Bu atıksular yüksek azota karşın düşük fosfor içeriği dolayısıyla 30'dan yüksek N/P oranına sahip olup, ideal değildir. Azotun fosfora kıyasla çok yüksek bulunması azot inhibisyonuna da sebep olabilmektedir. Atıksu-4'te de azot miktarının çok az olduğu görülmektedir. Öte yandan, genel olarak incelendiğinde, azot ve fosfor açısından en yoğun atıksuların ağırlıklı olarak biyogaz tesislerinden kaynaklandığı görülmektedir. Biyogaz tesisleri kullandıkları hammadde türüne göre farklı atık su karakterizasyonuna sahip olabilmektedir. Ancak yine de 9 biyogaz tesisi atıksu analiz sonucuna bakıldığında hepsi benzer N/P oranına sahiptir. Biyolojik kontaminasyon, sıcaklık, pH, ışık gibi çevresel faktörler mikroalg büyümesini etkileyen faktörler olsa da, yüksek azot ve fosfor içeriği umut vaad etmektedir.

Proje yürütücüsü Kırıkkale Üniversitesi olduğu için Kırıkkale ve civarında yer alan biyogaz tesisleri de değerlendirilmek istenmiş olup, Kırıkkale'de halihazırda bir biyogaz tesisi bulunmaması, yakın yerlerde de işletmeye başlatılmamış olmaları ve ilgili veri temin edilemediği için, veri temin edilebilen çeşitli illerdeki farklı biyogaz tesisleri değerlendirmeye alınmıştır. Öyle ki, incelenen biyogaz tesisi atıksuları diğer biyogaz tesisleri için de bir izlenim yaratabilecektir. Eldeki analiz sonuçlarına dayanarak, biyogaz tesislerinin atıksularının karakterizasyonlarında alg yetiştirilmesi için gerekli besinler açısından büyük farklar görülmediği söylenebilir. Böylece, ilerleyen zamanlarda TR71 Düzey 2 Bölgesi'nde yer alan Kırıkkale ve diğer illerde bulunan ve gelecekte yatırımı olabilecek biyogaz tesisleri için de projeye konu teknoloji uygulanabilecektir.

Tablo 1.2. Farklı atıksu kaynaklarının karakterizasyonu

Atıksu Kaynağı	Parametre ^a	
	Azot, mg/L	Fosfor, mg/L
Atıksu-1	7,81	0,245
Atıksu-2	16,8	6,18
Atıksu-3	2.312 ^b	21,2
Atıksu-4	1,82	0,765
Atıksu-5	-	-
Biyogaz Tesisi-1^d	4.000-5.000	1.441- 2.183,4 ^c
Biyogaz Tesisi-2	2.000	873,4 ^c
Biyogaz Tesisi-3	5.000	1.310 ^c
6 farklı biyogaz tesisi (literatürdeki tez çalışması kaynağı) (Ülgüdür, 2019)	1.051-8.394 ^e	352-2.786 ^e

^a Birden fazla analiz sonucunun olduğu atıksu kaynakları için, bariz farklılıklar olmadığından tabloda en güncel olan atıksu analiz sonucuna yer verilmiştir.

^b Analiz sonuçlarına göre nitrit ve nitrat azotu değerleri TKN'ye göre çok düşük olduğundan toplam azot TKN'ye eşit alınmıştır.

^c Bitkideki ve topraktaki fosforun tamamına yakını fosfor pentaoksit (P_2O_5) formunda bulunur. Bu sebeple, gübre analizlerinde fosfor, fosfor pentaoksit (P_2O_5) olarak analiz edilmektedir. Kıyaslama yapılabilmesi için P/P_2O_5 : 0.4365 ($1 P_2O_5 = 2.29 P$) eşitliğinden yararlanarak toplam fosfor değeri bulunmuştur.

^d Biyogaz tesisi-1'in analiz sonuçları filtre öncesi ve filtre sonrası olması dolayısıyla birlikte verilmiştir.

^e Literatürde yer alan tez çalışması kapsamında 6 farklı biyogaz tesisi için elde edilen analiz sonuçları için en düşük ve en yüksek değer aralıkları verilmiştir.

ii. Mikroalg yetiştiriciliği için atıksu ön arıtma yöntemleri

Mikroalg yetiştirmenin uzun vadeli korunması, diğer mikroorganizmalar tarafından kontaminasyonu önlemek için hassas bir ortam gerektirir. Atık su, besinler için rekabet ederek alg büyümesini engelleyebilen ve nispeten daha hızlı büyümeleri nedeniyle baskın olabilen çok sayıda bakteri için bir habitatır. Atık sudan elde edilen mikroalgler için çoğu kültür ortamı, esasen N ve P gibi temel besinleri içeren ikincil veya üçüncül arıtılmış atık sudur. Arıtılan atık su ayrıca mikroalgal üretim için kullanılmadan önce otoklavlama, filtreleme, UV ışınlama ve seyreltme gibi ön işlem yöntemlerine tabi tutulmalıdır. Ön arıtma, rakip mikroorganizmaları ortadan kaldırır ve askıdaki katı maddeleri ve atık suyun toksisitesini azaltır.

iii. Atıksuya toleranslı mikroalgal türlerinin taranması ve seçimi

Uygun mikroalg türlerinin seçimi, alg bazlı uygulamaların genel başarısı için önemli faktörlerden birisidir. Mikroalgler türlere bağlı olarak hidrokarbonlar, lipidler, pigmentler, omega-3 yağ asitleri, vitaminler, antioksidanlar ve steroller gibi çeşitli metabolitleri toplayabilmektedir. İdeal türler, kirletici maddelerin varlığında hızlı ve istikrarlı büyüme, açık havuzlarda yabancı yerli türlere karşı çekicilik, yüksek karbondioksit emme yeteneği ve sınırlı besin gereksinimleri, günlük döngü ve mevsimden kaynaklanan sıcaklık farklılıklarına tolerans ve daha kolay hücre hasadı için kendi kendine topaklanma yeteneği gibi özelliklere sahip olmalıdır.

Literatürde yapılan çalışmalarda, *Chlorella vulgaris* ve *Spirulina* mikroalglerinin atık sudan azot ve fosfor gideriminde yüksek bir potansiyele sahip olduğu ve etkili bir şekilde kullanılabileceği belirtilmektedir (Sayadi vd., 2016).

iv. Alg Üretim Sistemi Tasarımı

Alg üretim sistemi tasarımı akış diyagramı Şekil 1.1.'de gösterilmiştir. Akış diyagramında bulunan ekipmanların seçim gerekçeleri aşağıda başlıklar altında özetlenmiştir.

1. **Besi Tankı:** Su analiz raporlarında belirtilen azot, fosfor kükürt, pH gibi parametreler diğer atık su kaynakları ile kıyaslandığında, planlanan tesis için oldukça fazla besinin atık su içerisinde var olduğunu göstermiştir. Ancak, atık suda olası kompozisyonel değişikliklerin, alg yetiştirme hızını minimize etmek için besi tankı sistem sınırları içerisine alınmıştır. Besi tankının ana iki işlevi aşağıdaki maddelerde özetlenmiştir.
 - a. Üretim esnasında algin tüketileceği besin kaynaklarındaki değişiklikleri, algin ihtiyacına göre minimize etmek ve üretim tesisine takviye etmek
 - b. Ana besi ortamı olarak kullanılacak atık suyun, C:N:P:S oranı ve pH'ı, yetiştirilecek alg türünün ihtiyaç duyduğu optimum değerlere getirilmesinde kullanılacaktır. Örnek olarak, atık suyun C:N:P değerlerindeki olası bir düşüşte, bu tank ile algin optimum besi koşulları için ihtiyaç duyduğu C:N:P:S oranı kadar takviye sağlanacaktır.

Besi tankının pompalama kapasitesi maksimum 70 L/dk olarak tasarlanmış olup, hacmi 10 m³ olarak belirlenmiştir. Bu tasarım seçimi yapılırken, herhangi bir besi parametresinde azot (KNO₃), fosfor (K₂PHO₄), pH (HNO₃ veya NaOH) optimum koşullardan 50% fazla sapma durumu ortaya çıktığında, sistemi 15 gün kompanse edebilmesi öngörülmüştür. Normal şartlarda besi tankına ihtiyaç olması beklenmediği için, besi tankından beslenecek olası azot, fosfor, asit ya da baz belirtilmemiştir. Besi tankı yedek bir sistem elemanı olarak sistem tanımı içerisinde yer almıştır.

2. **Atık Su Tankı:** Atık su tankı, ana besi ortamı olarak kullanılacak atık suyun depolanması amacıyla sistemde yer alacaktır. Su analiz raporlarında belirtilen azot, fosfor, kükürt, pH gibi parametreler planlanan tesis için yeteri kadar besinin atık su içerisinde var olduğunu göstermiştir. Ancak atık suda meydana gelebilecek değişikliklerde aşağıda özetlenen noktalarda belirtilen durumlara göre önlem alınarak sistemde kullanılması planlanmaktadır.

- a. *Azot ve fosfor* alg üretimi için ana besin maddeleridir. Yapay kültür besiyerlerinde azot konsantrasyonu genelde nitrat bazlı öğelerden 50 mgN/L olarak hazırlanır (Acién vd., 2018). Fosfor, fosfat ya da bazı inorganik bileşiklerin yapısında bulunmaktadır. Algin büyümesi sırasında ortaya çıkan oksijenin yarattığı oksitleyici ortam fosforun neredeyse tamamını fosfata çevirebildiği için fosforun besi yerindeki formu, azot kıyaslaya daha az önemlidir. Besi yeri olarak atık suyun kullanılması durumunda, fosforun aksine amonyak konsantrasyonunun bazı alg türleri için toksik olabileceği limitler önceden belirlenmelidir (Collos ve Harrison, 2014). Atık suyun alkali içeriğinin yüksek olması durumunda fosforun, kalsiyum fosfat gibi bileşiklere dönüşme becerisi reaktörler içerisinde çökme ve tıkanma gibi problemler yaratabilmektedir. Sudaki asitliğin artırılması ya da su sertliğinin düşürülmesi gibi yöntemler bu koşullarda tercih edilebilir (Posadas vd., 2013) (Solovchenko vd., 2016).

- b. *Bulanıklık*, alg üretimi için kritik parametrelerden biridir. Algin besiyeri olarak düşünülen atık sudaki bulanıklık değerinin yüksek olması durumunda, ışık geçirgenliğindeki düşüşün algin büyüme hızını önemli derecede azaltması beklenmektedir (Ledda vd., 2015). Bu problemin çözümü için filtreleme ya da seyreltme süreç tasarımlarında düşünülen iki opsiyondur. Bulanıklığı az olan su ile seyreltme, toplam hacmi artırdığı için daha az tercih edilmesi gereken bir yöntemdir. Sistem tasarımı mevcut durumda filtreleme veya seyreltmeye ihtiyaç duyulmayacak şekilde yapılmıştır. Ancak ilerleyen aşamalarda performansın artırılması için bu sistem ünitelerinin eklenmesi düşünülebilecektir.
- c. *Biyolojik (BOİ) ve kimyasal (KOİ) oksijen ihtiyacı*, yapay olmayan besiyerlerinde bulunan toplam bozulabilir maddelerin belirlenmesinde kullanılan iki ana faktördür. Algin büyük organik bileşikler parçalama beceresinin düşük olmasından dolayı, bu parçalama görevinden bakteriler tercih edilmelidir (Ren vd., 2014). Alg ve bakterilerin aynı ortamda yer alması durumunun yarattığı rekabet algin büyüme hızını negatif etkileyici için, alg üretim sistemine sokulmadan önce bakteriler yardımıyla organik bileşenlerin parçalama işlevini tamamlaması ve bileşenleri serbest forma getirmesi gerekmektedir (Ouali vd., 2015). Alg üretim tesisine beslenmeden önce besiyerinin bakteri yoğunluğu alg ile rekabet edemeyecek seviyeye getirilmelidir. Önerilen tasarım biyogaz tesislerinin atıksuları için geliştirildiği için biyogaz tesisinde sağlanan biyolojik arıtma işleminin algler için uygun ortamı sağladığı düşünülmektedir.

Atık su tankının pompalama kapasitesi maksimum 70 L/dk olarak tasarlanmış olup, hacmi 10 m³ olarak belirlenmiştir. Bu tasarım yapılırken, Tablo 3.4'te verilen ortalama senaryodaki bir işletim sırasında atık suyun geldiği tesiste meydana gelebilecek 1 günlük kesintinin kompanse edilmesi göz önüne alınmıştır.

- 3. **Hava Beslemesi & CO₂ Depolama Tankı:** Alg üretim tesisindeki alglerin büyümesi ve havalandırılması için gerekli olan CO₂/hava oranı, I-1 ve I-2 akış kontrolcülerinin yardımıyla, reaktör sistemine ve hazırlama tankına gönderilecektir. Havalandırma işlemi ağırlıklı olarak hazırlama ünitesinde gerçekleştirilecektir. Foto-biyoreaktör kısmına sadece ihtiyaç halinde CO₂/hava karışımı sağlanacaktır. Bunun dışında foto-biyoreaktörde sadece CO₂ beslemesi yeterli olacaktır. Sisteme hava beslemesi, hava üfleyici ile sağlanacaktır. CO₂ ihtiyacının sağlanması için ara CO₂ depolama tankı kullanılacaktır. Hava üfleyicisinin kapasitesi 200 m³/sa olarak belirlenirken CO₂ tankının depolama miktarı 2500 kg olarak tasarlanmıştır. Mevcut durumda mikroalg üretimi için biyogaz tesisinin elektrik motorundan çıkan baca gazı kullanılacak olup, yalnızca ihtiyaç halinde CO₂ beslemesi yapılacaktır.



Şekil 1.2. Hava Beslemesi & CO2 Depolama Tankı

4. **E-4 ve E5 Pompaları:** E-4 ve E-5 pompaları, besi ve atık su tanklarında depolanan sıvının, operasyonel koşullara göre hazırlama tankına gönderilmesi için kullanılacaktır. E-4 ve E-5 pompaları maksimum 70L/dk basabilen santrifüj pompa (centrifugal pump) olarak belirlenmiştir.



Şekil 1.3. E-4 ve E5 Pompaları

5. **Hazırlama Ünitesi, Soğutma-Isıtma Sirkülatörü ve E-8 Pompası:** Hazırlama ünitesi, algin ilk tesise beslenmesinde ve üretim süreci içerisinde algin besi ortamındaki değişikliklerin algin optimum koşullarına göre tekrar düzenlemesi için kullanılacaktır. Bu tank sahip olduğu;
- Karıştırma ünitesi ile takviye edilen sıvıların alg kültürü ile optimum şekilde karışmasını sağlayacaktır.
 - Havalandırma ile kültürün çökmemesi ve ihtiyaç duyduğu CO₂/hava oranı, besi ortamında sağlanacaktır.



Şekil 1.4. Hazırlama Ünitesi

Soğutma-ısıtma ünitesi, algin büyümesi için gerekli olan sıcaklık aralığının sağlanması için kullanılacaktır. E-8 pompası, alg kültürünün hazırlama tankından reaktörlere transferi için kullanılacaktır.

Hazırlama tankının kapasitesi, sistemde işlenen toplam sıvının %20'sini ihtiva edecek şekilde tasarlanmıştır. Hazırlama tankının operasyon kapasitesi 6.200 L iken, tasarım kapasitesi 8.000 L'dir. Soğutma-ısıtma ünitesi, giriş ve çıkış sıcaklığında beklenen maksimum 10°C'lik farkı ortadan kaldırmak için 5,3 kW olarak belirlenmiştir. E-8 pompasının kapasitesi maksimum 70 L/dk basabilen santrifüjlü pompa olarak belirlenmiştir.

6. Reaktör ve Işık Ünitesi: Reaktörler, hazırlama tankında optimum koşulları sağlanmış besi sıvısı içerisindeki alglerin büyümesi için gerekli olan ışık temasını sağlayacaktır. Tasarım sırasında dikkat edilen ana noktalar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- a. Algin ışık ile etkileşimi, algin büyüme hızına etkileyen ana faktörlerden biridir. Algin reaktör içerisindeki hareketi sırasında, ışık ile maksimum etkileştiği an aydınlık faz olarak tanımlanırken uzaklaştığı an ise karanlık faz olarak tanımlanmaktadır. Algin aydınlık faz ile karanlık faz arasında döngüsel hareketi ise aydınlık/karanlık döngüyü oluşturur (Burlew, 1953). Bu döngünün büyüklüğü, reaktör içerisindeki akışkanın doğrusal hızı ile orantılıdır. Yüksek frekans döngüleri, 100ms ya da az sürelerde algin aydınlık ve karanlık arasındaki

geçişini belirtmekte kullanılırken, orta ve düşük frekans döngüler sırasıyla saniye/dakika ve saat/gün olarak tanımlanmaktadır (Grobbelaar, 1991). Yüksek frekanslı döngülerde, fotosentez verimliği spesifik aydınlanma koşullarında artsa da akışkan hızının artırılmasının getirdiği pompalama masraflarından dolayı orta frekans döngüler genelde tercih edilmektedir (Terry, 1986) (Acién vd., 2017).

- b. Reaktörün içerisindeki akışkanın hangi rejimde yer aldığı (laminer, geçiş, türbülans), alg kültürünün büyüme hızını etkileyen bir diğer faktördür. Reaktör içerisindeki akışkan rejiminin laminer olduğu durumda, alg ve besinin karışması mümkün olamayacağı için büyüme verimi düşecektir. Ayrıca, tübüler reaktör uygulamaların r- ekseninde değişimin olmaması, düşük frekans döngüleri yaratarak, algin büyümesi için gerekli olan fotosentez kabiliyetini minimize edecektir. Yüksek türbülanslı rejimlerde ise, kayma geriliminin artması ve girdapların oluşması büyümekte olan algin üzerinde stres yaratarak, hücre parçalanmasına ve ölümüne giden süreçleri de başlatabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, akışkan rejiminin ve rejimin derecesinin belirlenmesi tasarım açısından yüksek önem taşımaktadır (Torzillo vd., 2003) (Molina-Grima vd., 2007). Gerçekleştirilen tasarımda bu hususlara dikkat edilmiştir.
- c. Potansiyel reaktör tipleri, havuz tipi, tüp tipi, yassı tip ve kolon tipi olarak sıralanmaktadır. Bu reaktör tipleri arasındaki ana farklar Tablo 1.3'te sıralanmıştır.

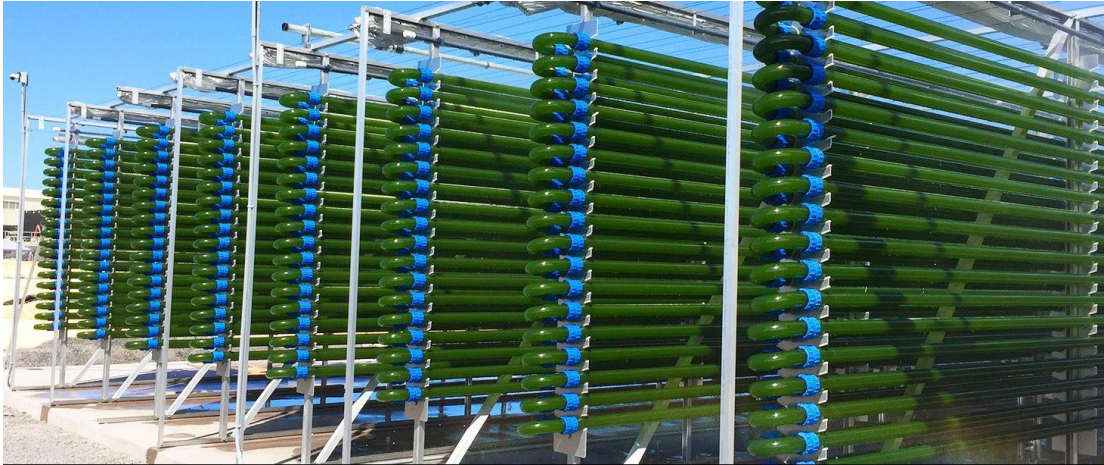


Şekil 1.5. LED Aydınlatma Sistemi

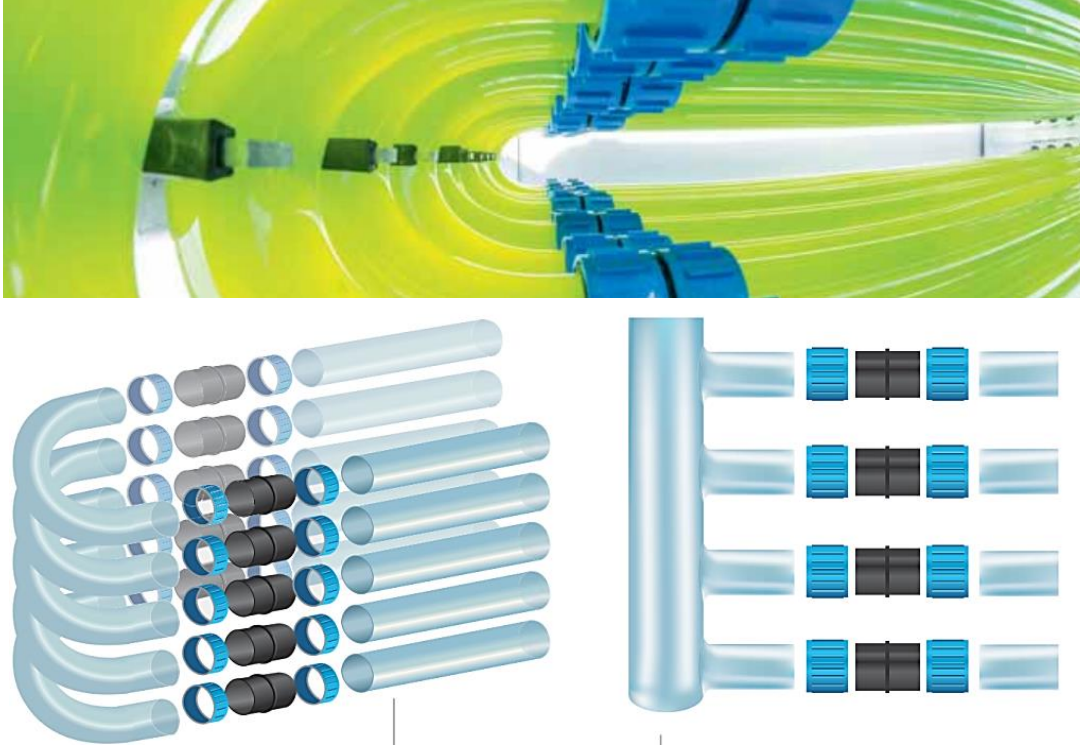
Tablo 1.3. Reaktör tipleri arasındaki ana farklılıklar

Tip	Avantaj	Dezavantaj
Havuz	Temizleme ve bakım kolaylığı, ucuz	Düşük üretim oranı, kirlenme riski, geniş alan ihtiyacı
Tüp	Ortalama üretim verimliliği, dış ortam uyumlu	Yüzeylerin ışık geçirgenliğinin zamanla azalma ihtimali, geniş alan ihtiyacı
Yassı	Yüksek üretim verimliliği, yüksek aydınlanma alanı, kolay sterilizasyon	Üretim büyütmesindeki ve sıcaklık kontrolündeki zorluklar
Kolon	Yüksek kütle transferi, kolay sterilizasyon	Düşük aydınlanma alanı

Tasarım sırasında, tüp tipi foto-biyoreaktörler ortalama üretim verimliliği ve dış ortam uyumluluğundan dolayı tercih edilmiştir. Reaktör dış çapı ışık geçirgenliği de dikkate alınarak 55 mm olarak belirlenmiştir. Reaktör hacmi, 2.500 cm³'ye 2.000 cm³'lik bir alanda maksimum işlenebilir ürüne ulaşabilmek amacıyla Ek-1'de verilen yerleşim planı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Reaktörler serpantin pozisyonunda yatay yerleştirilmiş olup, iki reaktör arasındaki açı 15°'de tutulmuştur. Bir reaktör setinin boyu 180 cm, genişliği 30 cm olarak tasarlanmıştır. Bu reaktör setlerinden toplam 18 adet çift olarak (toplam 9 çift) belirtilen alana yerleştirilirken, her çift arasındaki mesafe kurulum, bakım gibi parametreler göz önüne alınarak 100 cm olarak ayarlanmıştır. Reaktör kapasitesi tasarım sonucunda 31.000 L olarak belirlenmiştir.



Şekil 1.6. Tüp Tipi Fotobiyoreaktör



Şekil 1.7. Tüp Tipi Fotobiyoreaktör Bağlantı Elemanları

Alg üretim sisteminde alglerin büyümesi için gerekli olan aydınlanma ihtiyacı ışık kaynağı ile karşılanacaktır. Potansiyel ışık kaynakları, doğal (güneş) ya da doğal olmayan (florasan, LED vb.) ışık kaynakları olarak sıralanmaktadır. Işık kaynakları arasındaki ana farklar Tablo 1.4'te gösterilmiştir.

Tablo 1.4. Işık Kaynakları Arasındaki Ana Farklar

Tip	Avantaj	Dezavantaj
Doğal	Maliyetsiz	Mevsimsel koşullara göre ışık şiddeti değişken
Doğal Olmayan	Işık kontrolü, ışık şiddeti ve renk dağılım kontrolü	Bakım ve enerji maliyetleri

Alg sisteminin aydınlatma tasarımında LED aydınlatma tercih edilmiştir. LED teknoloji iki ana nedenden dolayı tercih edilmiştir;

- a. Radyasyon kaynaklı ısı etkisinin minimize edilerek ortam ısısının kontrol edilmesi
- b. İstenen dalga boylarının ayarlanarak algin büyüme hızının optimuma çekilmesi

Reaktör aydınlatması için LED'ler yere paralele olacak şekilde yerleştirilmiştir.

7. Filtrasyon Ünitesi ve Süzüntü Tankı: Reaktörde yeterli olgunluğa erişmiş alg kültürü, filtrasyon ünitesine aktarılacaktır. Filtrasyon ünitesinde, algin sudan ayrılması vakum altında sağlanacaktır. Süzülen su, filtrasyon tankında depolanacaktır. Filtrasyon ünitesinde süzülen alg, daha sonra istenilen üniteye şlam pompası ya da manuel olarak aktarılacaktır. Filtrasyon tankındaki su, operasyona bağlı olarak birkaç defa daha filtrasyon ünitesinde süzülecektir. Filtrasyon ünitesinin hızı ve süzüntü tankının kapasitesi Tablo 3.4'te verilen parametreler dikkate alınarak 15 L/dk olarak belirlenmiştir. Hasat verimi, istenen alg kültürü işleme kapasitesine ulaşmak için filtrasyon ünitesinde ne kadarlık bir hacmin işlenmesi gerektiği bilgisini vermektedir. Bu tasarımda 16%'lık hasat verimi ile, 15 L/dk'lık bir işleme kapasitesi için yaklaşık 100L'lik (94L) filtrasyon ünitesi gerekmektedir.



Şekil 1.8. Filtrasyon Ünitesi

2. YER SEÇİMİ VE ARAZİ MALİYETİ

Söz konusu yatırım için TR71 Düzey 2 Bölgesi'nde yer alan Aksaray ili, Merkez İlçesi 2235-2236-2238-2257 no.lu parseller üzerinde bulunan bir biyogaz tesisi seçilmiştir. Aksaray'ın fiziki, ekonomik ve sosyal özellikleri ve yer seçiminin gerekçesi aşağıdaki bölümlerde detaylandırılmaktadır.

2.1. Fiziksel ve Coğrafi Özellikler

Aksaray'ın yüz ölçümü 7.997 km² olup, denizden yüksekliği 980 m'dir. Aksaray, Türkiye'nin kuzeyini güneye, doğusunu batıya bağlayan kavşak noktasında bulunan tek il olması sebebiyle önemli bir coğrafi konumda bulunmaktadır. Doğuda Nevşehir, Niğde, güneyde Konya, batıda Konya, Ankara, kuzeyde Kırşehir illeri ile komşudur. İlçeleri, Ağaçoören, Eskil, Gülağaç, Güzelyurt, Ortaköy, Sarıyahşi ve Sultanhanı'dır.

Aksaray orta iklim kuşağında yer almaktadır ve soğuk, kara iklimi hakimdir. Ortalama sıcaklık 15°C'dir. Ortalama yağış miktarı Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre 343,3 mm'dir. Havzanın karasal iklimini yıllık sıcaklık dalgalanmaları karakterize eder. Yüzey şekilleri itibariyle düzlüktür ve kuzeyi, güneyi ve orta kesimleri ovalıklardan oluşmaktadır. Tuz gölü havzasında yer alan Aksaray'a deniz hiç etki etmemektedir. Ulurmak akarsuyu ve ülkemizin en büyük ikinci gölü Tuz Gölü Aksaray sınırları içerisinde yer almaktadır. İlde bulunan önemli göletlerden biri Mamasın Baraj Gölüdür. DSİ tarafından sulama amaçlı yapılan Güzelyurt, Ortaköy-Balcı, Helvadere, Ortaköy Çiftevi göletlerinin yanı sıra Kültepe ve Bozkır baraj gölleri bulunmaktadır. Aksaray baraj göletleri sebebiyle Kızılırmak ile sınır olmuştur. Sivas'tan doğan Kızılırmak Nehri daha sonra sırasıyla Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Aksaray, Çankırı, Çorum ve Samsun illerinden geçmekte ve öyle Bafra Burnu'ndan Karadeniz'e ulaşmaktadır.

2.2. Ekonomik ve Fiziksel Altyapı

Aksaray ilinde çalışan nüfusun %70'i tarım ve hayvancılıkla geçimini sağlamaktadır (Aksaray Ziraat Odası, tarih yok). İlde şehirleşme oranı, kişi başına gayrisafi yurtiçi hâsıla ve sanayi iş kolunda çalışanların toplam istihdama oranına göre Türkiye ortalamasının altında yer almaktadır. Nüfus artış hızı ile tarımda çalışan toplam istihdam oranına bakıldığında ise Türkiye ortalamasının üzerinde yer almaktadır. Sosyoekonomik altyapısı tarım ve hayvancılığa dayanan Aksaray ilinin tarım arazilerinde başta buğday olmak üzere üzüm, elma, mısır, burçak, fasulye, arpa, patates, soğan, ve şeker pancarı yetiştirilmektedir. Hayvancılıkta ise platolardaki otlaklarda koyun beslenmektedir.

Sanayi açısından bakıldığında Aksaray'da önde gelen sektörler otomotiv ve yan sanayi, süt ve süt ürünleri ve metal işleme sektörleridir. Aksaray'ın Merkez ilçesi sosyoekonomik açıdan en

gelişmiş ilçedir ve bunun nedeni Mercedes ve Süttaş gibi büyük firmaların merkez ilçede yer almasıdır. Aynı zamanda merkez ilçede gelişmişliğin nedenleri arasında büyük şehir olan Konya ile ticari açıdan yoğun etkileşim içerisinde olunması yer almaktadır ve bu durum Merkez ilçede istihdamın ve üretimin artmasıyla beraber nüfusun yoğunlaşmasına neden olmuştur. TR71 bölgesinde Aksaray Merkez ilçesi en yüksek gelişmişlik endeks değerine sahiptir. İmalat sanayinde ve hizmet sektöründe çalışanların toplam istihdamdaki payı; mali gelişmişlik açısından banka şube sayısı ve genel bütçe gelirleri; tarım ve yaşam kalitesi göstergelerine göre tarım grubunda hayvansal ve bitkisel üretim değeri bakımından Aksaray Merkez ilçesi TR71 bölgesinde en üst sırada yer almaktadır (AHİKA, 2016).

Türkiye İhracatçıları Meclisi (TİM) verilerine göre, Aksaray ilinde ihracat en fazla çelik, elektrik elektronik, kimyevi maddeler ve mamulleri, makine ve aksamları ve otomotiv sektörlerinde gerçekleştirilmektedir. Bu sektörel hakimiyet açısından Aksaray yatırım teşvik imkanı, girişimcilik düzeyi ve yabancı sermaye varlığında rekabetçilik avantajına sahiptir. Buna rağmen, Mercedes Benz Türk Kamyon Şirketi haricinde, Aksaray ili uluslararası pazara erişimde ve işgücü niteliğinde avantajlı konumda değildir. TİM 2021 verilerine göre Aksaray ilindeki toplam ihracat performansı 57.017.520 ABD Doları değerindedir ve Türkiye genelinin toplam ihracat performansına oranı yaklaşık olarak %0,07'dir. Nüfusa göre kıyaslandığında Aksaray nüfusunun, Türkiye nüfusuna oranı % 0,50 olduğundan ihracat performansı düşük kalmaktadır (TİM, 2021).

Aksaray'da, 2 adet biyogaz tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerden biri günde 80 ton organik atık kullanarak saatte 1,467 MW elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahiptir. Biyogaz üretimine ek olarak, üretim sonucu meydana gelen katı atıklar tarım sektöründe gübre olarak kullanılabilir. Diğer tesiste ise günlük 1.800 ton organik atık işlenerek saat başı üretilen elektrik enerjisi 6,4 MW'tır. Elektrik enerjisinin yanı sıra bu tesiste de günde 350 ton organomineral gübre üretimi gerçekleştirilmektedir.

2.3. Sosyal Altyapı ve Sosyal Etkiler

Aksaray nüfusu 2020 yılı verilerine göre 423.011'dir. Türkiye genelinde olduğu gibi Aksaray'da da nüfus çevre ilçelerden merkeze doğru yönelmektedir. Öte yandan, Aksaray'ın en fazla göç verdiği illerin özellikle yakınlığından dolayı Ankara ve ülkemizde en fazla göç alan il olan İstanbul gibi gelişmiş iller olduğu söylenebilmektedir.

Sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralamalarında Aksaray, Türkiye ortalama seviyelerinde yer almakta olup, illerin sosyoekonomik gelişmişlik sıralaması SEGE 2017 verilerine göre 51. sıradadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2017). Ortalama iyi bir yaşanabilirlik düzeyi olduğu belirlenen Aksaray, beşeri sermaye ve yenilikçilik açısından ise Türkiye genelinde iyi bir düzeyde değildir. Öte yandan Aksaray'ın zengin tarihsel ve kültürel bir geçmişi, bir turizm kenti

olma potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel, Aksaray'ın eski medeniyetlere ev sahipliği yapmış bir kültür kenti olmasından gelmektedir. Tarihsel ve kültürel yapısıyla turistlerin ilgisini çekebilecek olan kent aynı zamanda doğal güzelliklere, mağaralara, göllere ve kaplıcalara sahiptir. Aksaray'da inanç turizmi, kültür turizmi, termal turizm ve eko-turizm öne çıkmaktadır.

Aksaray ilinin eğitim durumuna bakıldığında ise 2021 TÜİK verilerine göre ilkokul, ortaokul ve lise düzeyinde okullaşma oranları sırasıyla %92,29, %94,34 ve %81,85'tir ve bu oranlar Türkiye ortalamasının altında kalmaktadır. TR71 bölgesinde eğitim göstergelerin açısından alt sıralarda yer alan Aksaray Merkez ilçesi dokuzuncu sıradadır (TÜİK, 2021).

Aksaray'da kişi başına düşen GSYH yıllar itibariyle artış göstermektedir. İstihdam ve işgücüne katılım oranlarında, tarım ve sanayi sektörlerinin ekonomideki katma değerinde ve Ar&Ge harcamaları ve Ar-Ge personel sayısında da artış beklenmektedir. Ayrıca, 2020 TÜİK verilerine göre Aksaray ilinin de yer aldığı TR71 bölgesindeki istihdam oranı %47,2'dir (TÜİK, 2021).

Su kaynaklarındaki kirlenmenin artmasıyla TR71 Düzey 2 Bölgesi'nde kaliteli ve miktar açısından erişim oldukça zorlaşmaktadır. Projeye konu mikroalg üretim tesisi ile birlikte çevresel ve toplumsal sorunlara sebep olan atıksuların arıtımı ve Kızılırmak suyunun kirlilik yükünün azaltılarak ilgili su kullanıcılarının toplumların en önemli kaynağı olan kaliteli suya erişmesi sağlanarak, sosyal refahın sürdürülebilirliğine katkıda bulunulmuş olacaktır.

Ek olarak, Aksaray'da bulunan biyogaz tesisi yakınına kurulacak mikroalg üretim tesisi, TR71 Düzey 2 Bölgesi'ne örnek olarak, bölgede bulunan diğer biyogaz tesislerine de bu teknolojinin uygulanması için yatırımcıların ilgisini çekebilecektir. Böylece, bu teknolojinin bölgede gelişmesi sağlanacak ve bölge istihdamının artırılması yönünde adımlar atılmış olacaktır. Bölgede yenilik kapasitesi istenen düzeyde olmadığı için, proje ile bölgenin ilgili paydaşlarının çevre/enerji/kalkınma sinerjisinde proje planlama ve uygulama konusunda farkındalığı artırılmış olacaktır. Böylece gelecek potansiyel yatırımlara ışık tutarak bölgesel kalkınmada etki yaratılacaktır.

2.4. Çevresel Etkiler

Projeye konu yatırım bir mikroalg üretim tesisi olup, TR71 Düzey 2 Bölgesi'nin en önemli su kaynağı olan Kızılırmak Nehri'nde mevcut su kirliliği gibi çevresel sorunlarla mücadele etmeyi hedeflemektedir. Atıksulardan mikroalgler tarafından azot ve fosfor giderimi sağlanacak, bu sayede atıksuların kirlilik yükü azaltılacaktır. Nutrientlerden kaynaklı olası koku kirliliği ve ötrafikasyon etkilerinin önüne geçilebilecektir.

Projede mikroalg üretim tesisinin biyogaz tesisi yanına kurulmasının hedeflenmesinin nedeni, biyogaz atıksuları, yönetilmesinde problem yaşanan çevre kirliliğine yol açan atıksulardır. Bu

proje, biyogaz tesisi atıksularının sürdürülebilir yönetimi için yenilikçi ve alternatif bir teknoloji geliştirilmesiyle çevresel açıdan olumlu etkiler doğuracaktır.

Öte yandan, projede mikroalg üretim tesisinin CO₂ ihtiyacının biyogaz tesisinden sağlanması planlanmıştır. Böylece, biyogaz üretiminde oluşan karbondioksitin, alg üretiminde mikroalgler tarafından biyolojik olarak hapsedilmesiyle sera gazı emisyonunun azaltılmasına da katkıda bulunulmuş olacaktır.

2.5. Alternatifler, Yer Seçimi ve Arazi Maliyeti (Kamulaştırma Bedeli de Dâhil)

Proje kapsamında söz konusu yatırım mikroalg üretim tesisidir. Atıksuyun algler ile arıtımını gerçekleştirerek azot ve fosfor geri kazanımı sağlanması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, ilgili atıksuyun kaynağı olan tesisin yakınına, alg üretim sisteminin entegre edilmesi düşünülmektedir. Dolayısıyla yer seçimini etkileyecek en önemli koşul, hangi atıksuyun mikroalgler ile arıtımının değerlendirileceği, yani atıksu seçimidir.

Bu kapsamda, çeşitli atıksular (belediye, üniversite, sanayi bölgesi, endüstri tesisi vb.) ile 3 farklı biyogaz tesisinin atıksuyu ele alınmıştır. Bahsi geçen 8 farklı atıksu kaynağı (Atıksu 1, 2, 3, 4, 5 ve Biyogaz tesisi 1, 2, 3) için, yapılan görüşmeler neticesinde temin edilen atıksu analiz verileri aşağıda verilmektedir. Bunlara ek olarak, literatürde bulunan bir tez çalışmasındaki 6 farklı biyogaz tesisi için yapılan analiz sonuçları da kıyaslama açısından aşağıda yer almaktadır. Eldeki analiz sonuçlarına dayanarak, biyogaz tesislerinin atıksularının karakterizasyonlarında alg yetiştirilmesi için gerekli besinler açısından büyük farklar görülmediği söylenebilir. Bu, diğer biyogaz tesisleri için de projeye konu teknolojinin uygulanabileceğini göstermektedir.

Atıksu-1:

Tablo 2.1. Atıksu-1 Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Analiz Sonucu (05.07.2019)
Toplam Askıda Katı Madde	mg/L	<10
KOI	mg/L	16,1
BOI	mg/L	3,9
T. Fosfor	mg/L	0,245
T. Azot	mg/L	7,81

Atıksu-2:

Tablo 2.2. Atıksu-2 Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Analiz Sonucu			
		22.08.19	09.09.19	24.09.19	09.10.19
KOI (giriş)	mg/L	149	197	249	337
KOI (çıkış)	mg/L	25,3	31,5	28,2	27,5
Fosfor	mg/L	5,23	4,58	5,93	6,18
Azot	mg/L	12,9	8,63	9,95	16,8
pH (giriş)	-	-	-	7,68	-
pH (çıkış)	-	-	-	7,92	-
Çözünmüş oksijen (giriş)	mg/L	-	-	0,42	-
Çözünmüş oksijen (çıkış)	mg/L	-	-	6,8	-

Atıksu-3:**Tablo 2.3. Atıksu-3 Karakterizasyonu**

Parametre	Birim	Analiz Sonucu			
		22.02.17	19.09.17	06.03.18	01.10.18
pH	-	8,06	8,42	8,28	7,97
Çözünmüş oksijen	mg/L	0,18	0,56	2,94	0,06
Oksijen Doygunluğu	%	1,70	2,3	29,1	1,0
İletkenlik	uS/cm	27400	28600	26900	27300
KOI	mg/L	3123	4415,1	3414	>6000
AKM	mg/L	303	59,5	50,3	526,8
Yağ ve gres	mg/L	15,3	16,8	16	22,1
TOK	mg/L	1616	1407,5	1227	-
Nitrat azotu	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrit azotu	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Amonyum azotu	mg/L	1767	1975,6	2087	2126
Toplam Kjeldahl Azotu	mg/L	1783	2027	2207	2312
Toplam fosfor	mg/L	14,2	27,3	15,33	21,2

Atıksu-4:

Tablo 2.4. Atıksu-4 Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Analiz Sonucu	
		27.12.2018	12.08.2020
pH	-	8,39±0,11	8,31
Yağ-gres	mg/L	<13,56	<3,00
KOI	mg/L	16,00±2,56	20,04
AKM	mg/L	-	15,00
Toplam Kjeldahl Azotu	mg/L	-	1,82
Toplam fosfor	mg/L	-	0,765
Bakır	mg/L	-	<0,005
Civa	mg/L	-	<0,001
Çinko	mg/L	-	<0,04
Demir	mg/L	-	0,2
Florür	mg/L	-	0,706
Kadmiyum	mg/L	-	<0,005
Krom (Cr⁺⁶)	mg/L	-	0,02
Toplam krom	mg/L	-	<0,005
Kurşun	mg/L	-	<0,005
Sülfat	mg/L	-	285,52
Toplam siyanür	mg/L	-	<0,01

Atıksu-5:**Tablo 2.5. Atıksu-5 Karakterizasyonu**

Parametre	Birim	Analiz Sonucu		
		17.04.2018	17.07.2020	26.06.2020
pH	-	8,41	7,71	8,36
İletkenlik	uS/cm	698	-	-
KOI	mg/L	29	18,99	326
AKM	mg/L	23	31	23,6
BOI	mg/L	17	<3,00	9,7
Demir	mg/L	-	1,627	-
Klorür	mg/L	-	929,9	-
Sülfat	mg/L	-	1496,6	-

Biyogaz Tesisi-1:

Tablo 2.6. Biyogaz Tesisi-1 Atıksu Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Analiz Sonucu	
		Sıvı Gübre (Filtre Öncesi)	Sıvı Gübre (Filtre Sonrası)
		27.03.2020	03.04.2020
pH	-	8,5	8,44
Tuzluluk (EC)	dS/m	3,28	3,3
Nem	%	92,9	93,5
AKM	mg/L	60400	36700
BOI	mg/L	3460	8640
KOI	mg/L	21449	43313
Demir	%	0,2	0,1
Kükürt	%	0,1	0,08
Organik Azot	%	<0,2	<0,2
Organik Madde	%	4,2	3,8
Toplam Azot	%	0,5	0,4
Toplam fosfor pentaoksit (P2O5)	%	0,33	0,5
Suda çözünür potasyum oksit (K2O)	%	0,5	0,4

Biyogaz Tesisi-2:**Tablo 2.7. Biyogaz Tesisi-2 Atıksu Karakterizasyonu**

Parametre	Birim	Analiz Sonucu	
		Gübre Analiz Raporu	
		01.03.2019	23.07.2020
pH	-	8,2	8,3
Tuzluluk (EC)	dS/m	0,46	2,24
Organik madde	%	2,2	4,4
Toplam (hümik+fülvik)	%	1,5	1,7
Organik karbon	%	1,3	-
Organik Azot	%	0,23	-
Toplam Azot	%	0,26	0,2
Toplam fosfor pentaoksit (P2O5)	%	0,04	0,2
Suda çözünür potasyum oksit (K2O)	%	0,06	0,4

Biyogaz Tesisi-3:

Tablo 2.8. Biyogaz Tesisi-3 Atıksu Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Analiz Sonucu	
		Gübre Analiz Raporu	
		27.05.2020	23.07.2020
pH	-	8,5	8,5
Tuzluluk (EC)	dS/m	3,4	3,3
Organik madde	%	5,1	4,5
Toplam (hümik+fülvik)	%	3,4	1,7
Toplam Azot	%	0,6	0,5
Toplam fosfor pentaoksit (P2O5)	%	0,2	0,3
Suda çözünür potasyum oksit (K2O)	%	0,3	0,5

Literatürde yer alan bir tez çalışmasında ele alınan 6 farklı biyogaz tesisi için (Biyogaz tesislerinden çıkan katı ürün, digestate) analiz sonuçları (Ülgüdür, 2019):

Tablo 2.9. 6 Farklı Biyogaz Tesisi Digestate Analiz Sonuçları

Parametre	Anaerobik çürütücü ürünü (digestate)						Inoklum
	1	2	3	4	5	6	
pH	8.78	8.50	8.72	8.87	8.60	8.36	8.71
Top. katı madde, mg/L	105,250±152	53,263±593	59,053±321	74,830±255	49,920±524	18,773±176	14,107±255
Uçucu katı madde, mg/L	72,630±1139	25,970±260	38,013±213	50,953±82	28,180±425	9,837±160	7,330±264
Katı içeriği, %	10.2	5.1	6.0	7.4	4.9	1.9	1.4
Yoğunluk, kg/m ³	1,028±4.1	1,035±9.3	989±8.0	1,014±1.5	1,010±4.8	999±4.0	1,005±5.0
CODt, mg/L	111,056±6992	39,010±913	57,334±2635	76,675±40254	3,751±488	21,079±798	12,893±540
CODs, mg O ₂ /L	14,007±941	14,809±761	3,642±647	10,969±805	11,310±5417	656±51	548±16
TKN, mg/L	3,694±35.3	8,394±283.6	2,285±37.9	5,147±100.5	4,815±469.7	1,051±21.7	1,274±197.3
NH ₄ ⁺ - N, mg/L	3,288±24.9	7,703±41.8	1,782±11.7	4,569±66.8	4,071±17.8	826±14.9	892±6.0
TP, mg/L	2,314±5.8	2,786±0.0	1,340±0.0	1,555±0.0	1,725±0.0	352±5.1	409±0.0
DRP, mg/L	1,156.1±3.74	1,097.9±3.74	289.7±0.00	465.6±3.74	548.9±1.87	33.7±0.04	27.2±0.04
Top. alkalinite, mg/L CaCO ₃	15,555	30,529	9,740	18,012	16,573	3,620	3,227
IA/PA	0.12	0.11	0.13	0.12	0.09	0.06	0.07
COD:TKN	30:1	5:1	25:1	15:1	9:1	20:1	10:1
COD:TP	48:1	14:1	43:1	49:1	25:1	60:1	32:1

Alg büyümesini etkileyecek parametrelerin başında atıksuyun içeriğindeki azot ve fosfor yoğunluğu gelmektedir. Karbonun (C) dışında, azot (N) ve fosfor (P), mikroalgal büyümenin arttırılması için bir atıksu kaynağını değerlendirirken en öneme sahip besinlerdir. Bu açıdan değerlendirildiğinde genel olarak biyogaz tesislerinin bu koşulu sağladığı söylenebilir. İncelenen 1-2-3 numaralı biyogaz tesisi atıksularının ve literatürde yer alan tez çalışmasında konu olan 6 biyogaz tesisinin atıksularının, Bölüm 1.8’de diğer atık sularla kıyaslaması gösterildiği üzere, tamamının yüksek azot ve fosfor içeriğine sahip olduğu analiz sonuçlarından görülmektedir.

Dünyada olduğu kadar Türkiye’de de biyogaz tesislerinin sayıları hızla artmaktadır. Yıllar itibariyle biyogaz santrallerinin sayısı, kurulu güçleri ve yıllık elektrik üretim miktarları sürekli ve düzenli bir şekilde artış göstermiştir. Özellikle 2018-2019 yılları arasındaki artış dikkate değerdir. İlerleyen yıllarda da biyogaz yatırımlarının artış göstereceği öngörülmektedir. Ancak, atıksularından zayıf nutrient giderimi biyogaz tesisleri için büyük problem yaratmaktadır. Katı kısım organik gübre olarak değerlendirilebilse de, sıvı kısım neredeyse tüm biyogaz tesislerinde ortak bir sorundur. Ortalama bir tesiste, günlük 200-300 ton sıvı atık çıkmaktadır ve sıvı atık içinde bulunan azot, fosfor gibi elementler, serbest formda olduğundan geri kazanımı mümkündür. Dolayısıyla, biyogaz sektöründeki bu problem, biyogaz tesisi atıksularının yüksek N-P içeriğinin yanı sıra, hedef seçilmesi için gerekçe sunmaktadır.

Eldeki analiz sonuçlarına dayanarak, biyogaz tesislerinin atıksularının karakterizasyonlarında alg yetiştirilmesi için gerekli besinler açısından büyük farklar görülmediği söylenebilir. Bu nedenle, incelenen biyogaz tesisi atıksuları diğer biyogaz tesisleri için de bir izlenim yaratabilecektir. Kırıkkale ili sınırları içerisinde halihazırda bir biyogaz tesisi bulunmamaktadır ancak, ilerleyen zamanlarda TR71 Düzey 2 Bölgesi’nde bulunan illerde mevcut ve gelecekte yatırımı olabilecek biyogaz tesisleri için de projeye konu teknoloji uygulanabilecektir.

Söz konusu yatırım için TR71 Düzey 2 Bölgesi’nde yer alan Aksaray ili, Merkez İlçesi, Kutlu Köyü, 2235-2236-2238-2257 no.lu parseller üzerinde bulunan bir biyogaz tesisi seçilmiştir. Bu tesisin avantajlarından biri küçük bir tesis olmasıdır çünkü ilgili teknolojinin kurulması henüz yeni bir uygulama olduğundan, daha kontrollü olabilecektir. Yenilikçilik açısından Türkiye geneline göre iyi bir düzeyde olmayan Aksaray için de yenilikçi teknolojilerin bölgeye getirilmesi değer yaratacaktır. Söz konusu biyogaz tesisi yaklaşık 6.000 m²’lik bir alanda kuruludur ve kurulu gücü 1,467 MW’tır. Biyogaz tesisi ile entegre çalışacak mikroalg üretim tesisinin seçilen biyogaz tesisi yakınında kurulması düşünülmektedir. Bölge aktörlerinden edinilen bilgilere göre Aksaray Merkez ilçesindeki biyogaz tesisi yakınında 500 m² arazinin ortalama fiyatının 50.000 TL olacağı öngörülmüştür.

3. TALEP TAHMİNİ VE KAPASİTE SEÇİMİ

3.1. Varsayımlar

Atık su arıtımı ile elde edilecek mikro alg biyokütlesinin ilk kullanım alanının biyogaz tesisi olacağı varsayılmıştır. Böylece biyokütle tasfiye maliyetlerini azaltırken, biyogaz üretim verimini artırması hedeflenmektedir. İkinci talebin besiyer madde içeriği yüksek gübre eldesi olacağı varsayılmıştır. Biyogaz tesisine beslenmeyen biyokütlenin fazlası, ihtiyaç doğrultusunda gübre sanayisinde kullanılabilir.

3.2. Talep Tahmin Yöntemi

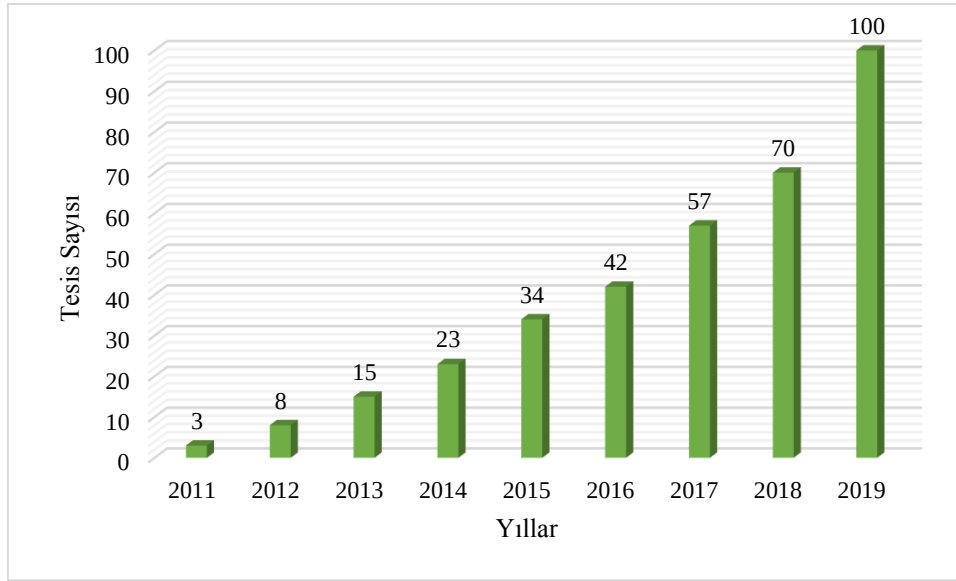
Talep tahmini gerçekleştirirken Türkiye biyogaz sektörü ile ilgili güncel veriler ve bilgilerden faydalanarak başlanmıştır. Özellikle T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) gibi güvenilir kurumların en güncel verileri dikkate alınarak biyogaz sektörünün mevcut durumu ortaya koyulmuştur. Buna ek olarak biyogaz sektöründe faaliyet gösteren tesislerden elde edilen bilgiler ve görüşler ile de hem Bölüm 2’de yer alan bilgiler ışığında (N ve P konsantrasyonu başta olmak üzere) hem de aşağıda sunulan hesaplamalar yapılarak kapasite seçimi gerçekleştirilmiştir. Gübre piyasasında talep tahmini gerçekleştirmek için TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası’nın ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın verilerinden faydalanılmıştır.

3.3. Talep Analizi

i. Biyogaz tesislerinde kullanım:

Alg üretim tesisinde üretilecek mikroalg çıktıları biyogaz tesisinde verim artırmak amacıyla kullanılabilir. Günlük organik debisi 95 ton/gün olan Aksaray’da seçilen biyogaz tesisinin toplam 1,467 MWe kapasitesi bulunmaktadır.

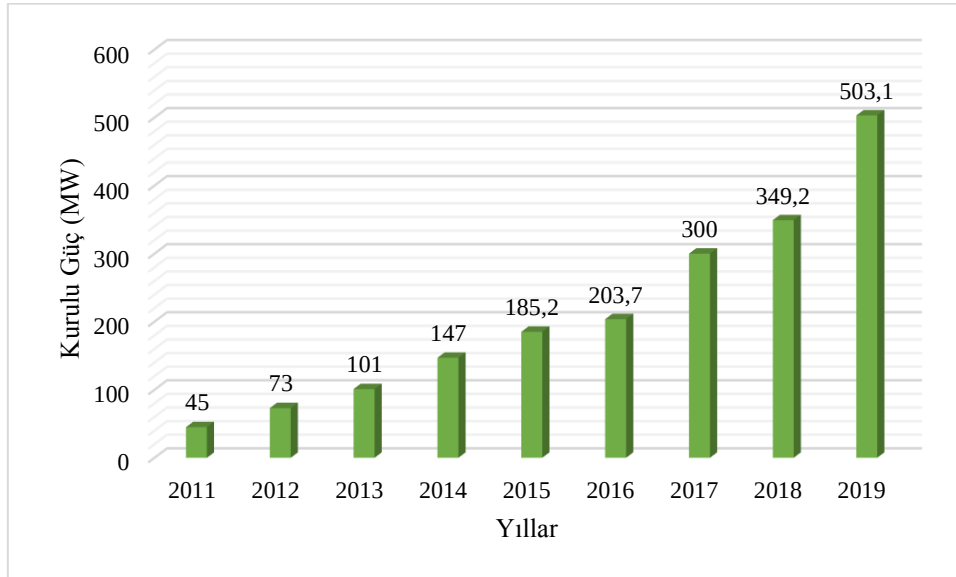
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın 2019 tarihinde paylaştığı bilgilere göre 2018 yılı sonu itibarıyla Türkiye’de 100’e yakın biyogaz tesisi faaliyete geçmiş durumdadır. 45 ilde faaliyet gösteren bu santrallerin kurulu gücü 500 megavata yaklaşmıştır (MW). Ayrıca Türkiye’nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton petrol eşdeğeri (MTEP) ve biyogaz üretim potansiyeli miktarının yaklaşık 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, tarih yok). Halihazırda faaliyette olan veya işletmeye hazır biyogaz santralinin kurulu gücü 1 MWe ile 25 MWe arasında değişmektedir (EPDK, tarih yok).



Şekil 3.1. Yıllar İtibariyle Lisanslı Biyokütle Santrali (Adet)

Kaynak: (EPDK, 2019)

Yıllar itibariyle biyogaz santrallerinin sayısı, kurulu güçleri ve yıllık elektrik üretim miktarları sürekli ve düzenli bir şekilde artış göstermiştir. Özellikle 2018-2019 yılları arasındaki artış dikkate değerdir.



Şekil 3.2. Yıllar İtibariyle Lisanslı Biyokütle Santralleri Kurulu Gücü (MW)

Kaynak: (EPDK, 2019)



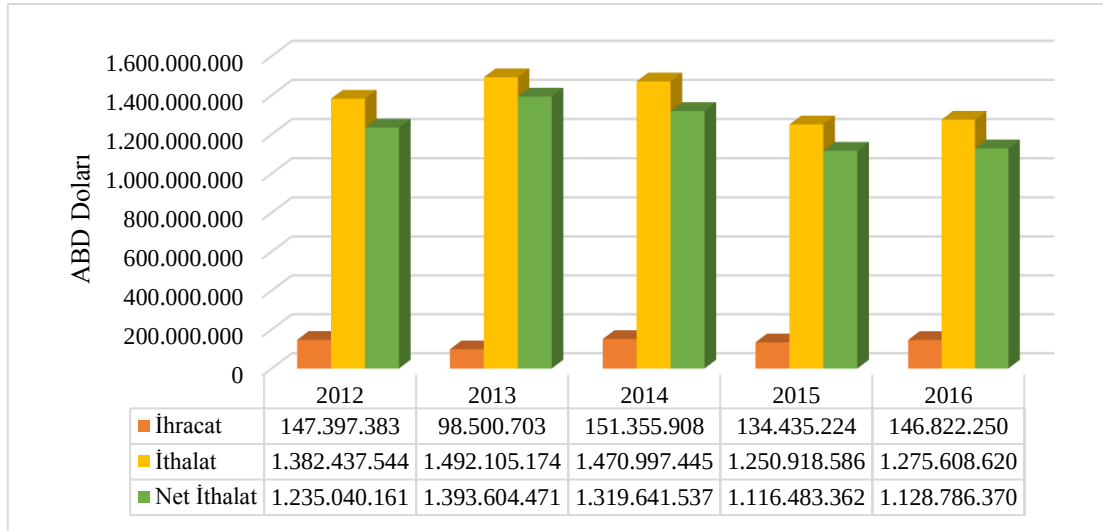
Şekil 3.3. Yıllar İtibariyle Lisanslı Biyokütle Santralleri Elektrik Üretim Miktarları (MWh)

Kaynak: (EPDK, 2019)

ii. Gübre olarak kullanım:

Atık sudan beslenerek üretilecek mikroalg ürünü aynı zamanda, ihtiyaç doğrultusunda gübre sanayisinde de kullanılabilecektir. Türkiye gübre konusunda ihracattan çok ithalat yapmaktadır. 2016 yılında 1 milyar 275 milyon ABD Doları değerinde gübre ithalatı gerçekleşmiştir (Şekil 3.4).

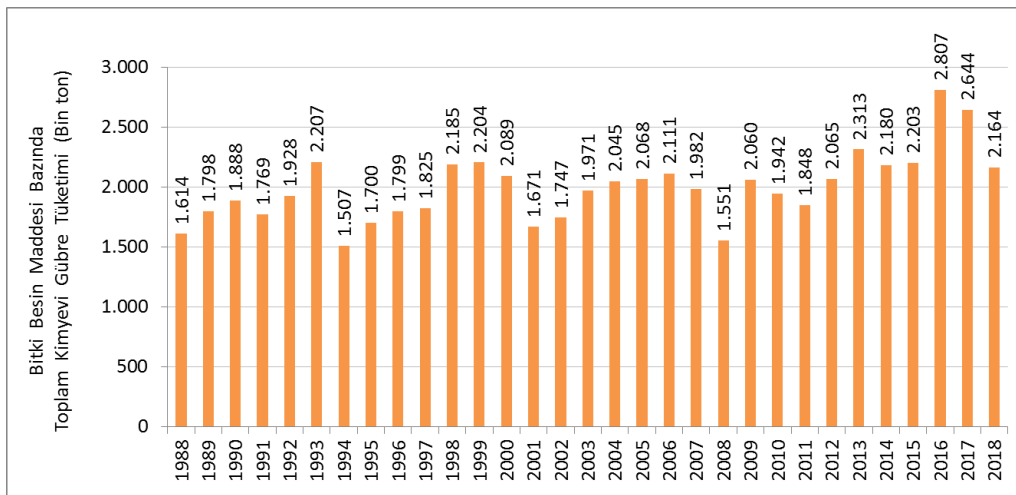
TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası'nın 2019 yılında yaptığı açıklamaya göre 2018 yılında yaklaşık 5,5 milyon ton gübre tüketilmiştir. 2018 yılında 2016 ve 2017 yıllarına göre gübre tüketim miktarı azalmıştır ve bunun sebebi dövizle bağlı gübre fiyatlarının artmasıdır. Tüketilen gübrelerin yaklaşık 1/3'ü ve gübre hammaddelerinin yaklaşık %95'i ithal edilmektedir.



Şekil 3.4. Türkiye'nin Gübre İhracatı, İthalatı ve Net Gübre İthalatı

Kaynak: (Eker, 2017)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre ise Türkiye’de 2018 yılında kullanılan saf bitki besin maddesi (N, P₂O₅, K₂O) olarak kimyasal gübre miktarı 2.164.158 tondur ve 2017 yılına göre %18,15 azalmıştır. Toplam işlenen tarım alanı miktarı ise 23.185.463 hektardır. 2018’de tarım arazisi hektarı başına saf bitki besin maddesi olarak kimyasal gübre kullanım miktarı 93,34 kg’dır. Dünya Bankası 2016 yılı verilerine göre, ortalama olarak ekilebilir arazi hektarı başına bitki besin maddesi bazında gübre kullanımı dünyada 140,6 kg/ha, Avrupa Birliği ülkelerinde 152,6 kg/ha, Türkiye’de ise 137,7 kg/ha olarak belirtilmektedir. Kimyasal gübrelerin yanı sıra, organik ve organomineral gübre kullanımının yaygınlaştırılması önem arz etmektedir.



Şekil 3.5. Yıllar İtibariyle Bitki Besin Maddesi Bazında Toplam Kimyevi Gübre Tüketimi

Kaynak: (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019)

3.4. Talep Tahmin Sonuçları

Talep analizi değerlendirmelerine bakıldığında, yıllar itibariyle biyogaz santrallerinin sayısı, kurulu güçleri ve yıllık elektrik üretim miktarları sürekli ve düzenli bir şekilde artış göstermektedir. Bu da, biyogaz tesislerinin atık su miktarlarının artacağını ve arıtmak için yeni teknolojilere ihtiyaç duyacağını göstermektedir. Ek olarak, projeye konu atık sularda azot ve fosfor arıtımı gerçekleştirmenin yanında, nutrient geri kazanımı ile değerli ürün eldesi gibi simbiyotik ilişkilerle doğal kaynakların korunmasına ve sürdürülebilir kalkınma için yenilikçi teknolojilere ihtiyaç bulunmaktadır.

Öte yandan, yine talep analizi bölümünde bahsedildiği üzere, Türkiye’de gübre pazarına bakıldığında, büyük bir çoğunluğu ithal edilmektedir. Türkiye’de en fazla azot, fosfor ve potasyumdan ikisini veya üçünü de içeren mineral ve kimyasal gübreler ithal edilmektedir. Bölgede de tarımın yaygın olduğu düşünüldüğünde, bu durumda bölgede yerli gübre ihtiyacı olduğu sonucuna varılmaktadır. Kurulacak mikroalg tesisi ile yılda yaklaşık 20 ton mikroalg üretilcektir. Bu ürünün ihtiyaç halinde gübre olarak kullanılabilecek olması ile yeni bir pazar yaratılmış olacaktır. Aksaray’ın Türkiye’nin işlenen toplam tarım alanının yaklaşık %1,8’ine sahip olduğundan yola çıkarak, Aksaray’da 38.955 ton kadar gübre kullanıldığı varsayılmaktadır. Dolayısıyla yaklaşık % 0,05 kullanım bu tesis ile karşılanabilir.

3.5. Kapasite Seçimi

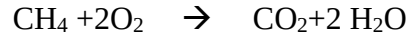
Biyogaz, ağırlıklı olarak metan (CH₄) ve karbondioksitten (CO₂), ayrıca su buharından ve eser miktarda diğer gazlardan oluşan bir gaz karışımıdır. Aşağıdaki tabloda ortalama bir biyogaz tesisinin (mezofilik şartlarda işletilen) biyogaz kompozisyon değerleri ifade edilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, tarih yok). Daha önceki bölümlerde bahsedilen azot (N) ve fosfora (P) ek olarak CO₂ miktarı mikroalg sistemlerinin tasarımı ve kapasite seçiminde önemli yer tutmaktadır. O nedenle aşağıdaki tabloda ve raporun devamında CO₂ in önemli bir tasarım parametresi olarak nasıl dikkate alındığına ışık tutulmaktadır.

Tablo 3.1. Tipik Bir Biyogaz Tesisinde Üretilen Gaz İçeriği

Metan (CH ₄)	% 50-75 (Hacmen)
Karbondioksit (CO ₂)	% 25-45 (Hacmen)
Su (H ₂ O)	% 2-7 (Hacmen)
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	20-20000 ppm
Azot (N ₂)	<% 2 (Hacmen)
Oksijen (O ₂)	<% 2 (Hacmen)
Hidrojen (H ₂)	<% 1 (Hacmen)

2018 takvim yılına yönelik 2020 yılında yayınlanmış olan Türkiye Ulusal Sera Gazı emisyonu Envanteri'nde paylaşılmış olan bilgilere göre, 2018 yılı içerisinde operasyonda olan biyogaz tesislerinden aynı yıl içerisinde 32.900 ton/yıl CH₄'ün atmosfere salınmadan enerji üretimi amacıyla geri kazanımını sağlanmış bulunmaktadır (TÜİK, 2020). Biyogaz içerisindeki gaz kompozisyonu açısından ortalama %60 CH₄ ile %40 CO₂ içeriği bulunduğu düşünüldüğünde 32.900 ton/yıl CH₄ %60'lık paya sahip ise %40'lık hacme tekabül eden CO₂ üretim miktarının yaklaşık 58.666 ton/yıl olduğu öngörülebilmektedir.

İlaveten biyogaz tesislerinde geri kazanılmış olan metan gazının gaz motorlarında değerlendirilmesi sonucunda da karbondioksit gazı ortaya çıkmaktadır. Stokiyometrik olarak normal şartlar altında ve tam yanma gerçekleştiği varsayıldığında 1 mol (22,4 NL) CH₄ yanması sonucu 1 mol (44 g) CO₂ oluşmaktadır.



32.900 ton/yıl CH₄ gaz motorlarında yakıldığında 90.475 ton/yıl CO₂ gazı çıktığı varsayılabilir. Sonuç olarak Türkiye'deki 2018 yılı itibari ile operasyonda olan biyogaz tesislerinden bir yıl içerisinde 149.141 ton/yıl CO₂ emisyonu olduğu ifade edilebilir. Dolayısıyla biyogaz tesisleri için megawatt kurulu güç bazında yıllık 416,6 ton CO₂ emisyonu ortaya çıktığı ifade edilebilmektedir (416,6 ton CO₂/MW).

Önerilen mikroalg sistemi günlük 250 kg CO₂'ye ihtiyaç duyacaktır. Bu çerçevede yıllık 91,3 ton/yıl CO₂'ye ihtiyaç duyulacağı görülmektedir. Lisanslı biyogaz tesislerinin kurulu güçleri düşünüldüğünde (en düşük kurulu güç 1 MW) herhangi bir biyogaz tesisinin elektrik motorunda üretilecek CO₂ miktarının ihtiyacı karşılayacağı görülmektedir. Öyle ki, Aksaray'da seçilen biyogaz tesisi de 1,467 MW kurulu güce sahiptir.

Teknoloji ve tasarım bölümünde de verilen bilgiler ışığında, alg üretim tesisinin kapasite seçimleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Alg Üretim Tesisi Kapasite ve Tasarım Seçimleri

Alg Türü	Spriluna ve/veya Chlorella
Aydınlık/Karanlık Döngüsü*	Orta (10 saniye/Döngü)
Doğrusal Hız	0.1 m/s
Akışkan Rejimi	Türbülans (N _{RE} =11000)
Biyoreaktör Çeşidi	Serpantin Boru Tip
Biyoreaktör Çapı	Dış Çap 55mm
Biyoreaktör Malzemesi	Borosilikat
Aydınlatma Tipi	LED (Gün Işığı)

Hasat Yöntemi	Vakum ya da basınç altında filtreleme
Hasat Verimi	16%

* Algin, tübüler akış içerisinde, türbülans akış rejiminden kaynaklı olarak ışık ile teması (Boru yüzeyi) daha sonrasında daha az ihtiva eden içerilere doğru hareket eder. Bu karanlık faz diye tanımlanır. Bu bir döngüdür, iki döngü arasındaki zaman skalası varsayımı verilmiştir.

Alg üretim tesisi tasarımı sonrasında ortaya çıkan tasarım kapasitesi parametreleri Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Alg Üretim Tesisi Tasarım Kapasiteleri

Toplam Biyoreaktör Hacmi	31.000 L
Hazırlama Ünitesi Hacmi	8.000 L
Toplam Tesis Hacmi	39.200 L
Toplam Tesis Alanı	500 m ²
Operasyon Süresi	360 gün
Işıklandırma Süresi	10 sa/gün
Sıvı Medyum Hızı	30 L/dk
Azot Beslemesi	40 kg/gün
Fosfor Beslemesi	10 kg/gün
CO ₂ Beslemesi	250 kg/gün
Güç İhtiyacı	750 kWh/gün

Alg üretim tesisi tasarımı sonrasında ortaya çıkan üretim parametreleri üç farklı senaryoda Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Senaryolardaki günlük N, P, ve C tüketimleri kötü senaryo örnek alınarak şu şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Büyüme Oranı} = \frac{1}{\text{Alg konsantrasyonun iki katına çıkma süresi}} = \frac{1}{5,2\text{gün}} = 0,192 \text{ gün}^{-1}$$

$$\text{Günlük Hasat Miktarı} = \text{Toplam Hacim} \cdot \frac{\text{Büyüme Oranı}}{1+\text{Büyüme Oranı}} \cdot \text{Ortalama Alg Büyüme Miktarı}$$

$$\text{Günlük Hasat Miktarı} = 37.200\text{L} \cdot \frac{0,192}{1+0,192} \cdot 0,6\text{g L}^{-1}\text{gün}^{-1} = 3.595\text{g gün}^{-1} = 3,6\text{kg gün}^{-1}$$

Alg'in elemental Bileşim dağılımı N=10%; P=2%; C=45% (Burlew, 1953) (Jamilatun vd., 2017)

Günlük Azot Tüketimi = Günlük Hasat Miktarı ·

Azotun Alg içerisindeki kütlece oranı

$$\text{Günlük Azot Tüketimi} = 3,6\text{kg gün}^{-1} \cdot 10\% = 0,36\text{kg N gün}^{-1}$$

Günlük Fosfor Tüketimi = Günlük Hasat Miktarı ·

Fosforun Alg içerisindeki kütlece oranı

$$\text{Günlük Fosfor Tüketimi} = 3,6\text{kg gün}^{-1} \cdot 2\% = 0,07\text{kg P gün}^{-1}$$

Günlük Karbon Tüketimi = Günlük Hasat Miktarı ·

Karbonun Alg içerisindeki kütlece oranı

$$\text{Günlük Fosfor Tüketimi} = 3,6\text{kg gün}^{-1} \cdot 45\% = 1,062\text{kg C gün}^{-1}$$

Tablo 3.4. Alg Üretim Tesisi Üretim Senaryoları

	Kötü Senaryo	Ortalama Senaryo	En iyi Senaryo
Alg konsantrasyonun iki katına çıkma süresi	5,2 gün	2,8 gün	1 gün
Ortalama Alg Büyüme Miktarı	0,6 g/L/gün	5,7 g/L/gün	12,1 g/L/gün
Günlük İşlenecek Su miktarı	6.000 L	9.800 L	18.600 L
Filtrasyon Ünitesi İşleme Hızı	4,2 L/dk	6,8 L/dk	12,9 L/dk
Günlük Hasat	3,6 kg	55,8 kg	225,1 kg
Günlük Azot Tüketimi	0,36 kg	5,6 kg	22,5 kg
Günlük Fosfor Tüketimi	0,07 kg	1,1 kg	4,5 kg
Günlük Karbon Tüketimi	1,62 kg	25,1 kg	101,3

4. YATIRIM TUTARI

Fizibilite çalışmasına konu olan Mikroalg üretim sistemi için sabit sermaye yatırımı, işletme sermayesi ve toplam yatırım tutarı ile ilgili bilgiler bu bölümde sunulmuştur.

4.1. Sabit Sermaye Yatırım Tutarı

Yatırımın uygulanması sırasında edinilen ve faydalı ömrü boyunca kullanılacak maddi ve maddi olmayan unsurların para birimiyle değeri sabit yatırımı oluşturmaktadır. Mikroalg üretim sistemi için Sabit yatırım tutarını oluşturan ana kalemler şunlardır: Foto-biyoreaktörler, Hazırlama Ünitesi, Filtrasyon Ünitesi, CO₂ Besleme Ünitesi, Yardımcı Üniteler (LED, ısıtmalı-soğutmalı sirkülasyon ünitesi, tanklar, pompalar, sensörler, otomasyon vb.), Kurulum Maliyeti, Borulama, Elektrik/Elektronik Altyapı, Yapısal İşlemler (Bina, yer, altyapı, müteahhit vb.), Mühendislik ve danışmanlık ve Beklenmedik Maliyetler. Maliyet öngörülerini ilgili yatırım kalemleri için teklif alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 4.1. Sabit Tesis Yatırım Tutarı

Harcama Kalemleri	Tutar (TL)
Foto-biyoreaktörler	2.111.472
Hazırlama Ünitesi	103.200
Filtrasyon Ünitesi	2.686.640
CO ₂ Besleme Ünitesi	361.200
Yardımcı Üniteler (LED, ısıtmalı-soğutmalı sirkülasyon ünitesi, tanklar, pompalar, sensörler, otomasyon vb.)	4.521.020
Kurulum Maliyeti	1.950.000
Borulama	850.000
Elektrik/Elektronik Altyapı	1.050.000
Yapısal İşlemler (Bina, yer, altyapı, müteahhit vb.)	2.500.000
Mühendislik ve danışmanlık	2.000.000
Beklenmedik Maliyetler	944.355
Sabit Tesis Yatırım Tutarı	19.077.887

4.2. Arazi Bedeli/Kamulaştırma Bedeli

Hayata geçirilecek sistemin toplam arazi gereksinimi 500 m²'dir. Mikroalg üretim tesisi, Aksaray Merkez ilçesinde bulunan bir biyogaz tesisi yakınına kurulacaktır. Bölge aktörlerinden edinilen bilgilere göre, bu koşullarda bir arazinin maliyeti olarak 50.000 TL'ye ihtiyaç duyulacağı düşünülmektedir.

4.3. İşletme Sermayesi

Önerilen mikroalg sistemi biyolojik bir sistemdir ve kademeli bir şekilde kurulum aşamasında devreye alınacaktır. Tablo 4.1’de belirtilen yatırım tutarları içerisinde yer alan “Mühendislik ve Danışmanlık” bütçesi devreye alma faaliyetlerini ve ilgili maliyetlerin bir bölümünü içermektedir. Buna ek olarak tesisin devreye alınması için ilk yıllık işletme giderleri işletme sermayesi olarak öngörülmüştür. Rutin işletme giderleri ile ilgili detaylı değerlendirmeler ise bu raporun 7. Bölümü olan “Ekonomik Analiz” başlığı altında analiz edilmiştir.

4.4. Toplam Yatırım Tutarı

Table 4.2’de sabit sermaye harcamaları tutarı ve arsa bedelinden oluşan toplam yatırım tutarı ifade edilmektedir. Yatırımın gerçekleşme süresi bir yıldan az olduğu için toplam yatırım tutarı harcamalarının yıllara göre dağılımı verilmemiştir.

Tablo 4.2. Toplam Yatırım Tutarı

Harcama Kalemleri	Tutar (TL)
A.Arsa Bedeli	50.000
B.Sabit Tesis Yatırımı	19.077.887
Sabit Yatırım Tutarı (A+B)	19.127.887
C. İşletme Sermayesi İhtiyacı	1.320.904
Toplam Yatırım Tutarı (A+B+C)	20.448.791

5. PROJENİN FİNANSMANI VE FİNANSAL ANALİZ

Fizibilite etüdüne konu yatırımın finansman modeli ve finansal analizi bu bölümde sunulmaktadır.

5.1. Finansman Öngörüsü

Devlet Üniversiteleri yaklaşık %90 oranında Hazine (Merkezi Yönetim) tarafından finanse edilen kurumlardır. Devlet Üniversiteleri gelirleri aşağıdaki şekilde oluşmaktadır;

Devlet eğitim katkısı (Hazine katkısı) + öğrenci gelirleri+ araştırma gelirleri+ topluma hizmet gelirleri+ hibeler.

Proje, Kırıkkale Üniversitesi tarafından yürütülecektir. Projenin gerçekleşmesi için gerekli yatırım miktarı özkaynaklar üzerinden karşılanabilir ancak üniversitelerin gelirlerini yıllık

bütçe üzerinden almasından dolayı bunun mümkün olmaması durumunda lokal proje hibe fonlarından karşılamak üzere çalışmalar yapılması gerekmektedir. Finansman ihtiyacı için güdümlü proje desteklerine başvurulabilir.

Öte yandan, üniversite ile sanayi ilişkilerinin somut işbirliğine dönüşmesi, üniversitelerdeki akademik bilginin teknolojik ürünlere dönüşmesi, teknoloji transferinin gerçekleştirilmesi ve Ar-Ge ürünlerinin pazarlara sunulması amaçları ile üniversiteler bünyesinde teknoparklar kurulmaktadır. Kırıkkale Üniversitesi de bu doğrultuda 2013 yılında Kırıkkale Üniversitesi Teknopark'ını kurmuştur. Kırıkkale Üniversitesi sahip olduğu Ar-Ge altyapısı ile yapılan bu fizibilite çalışması sonucunda, projeyi yukarıda ifade edildiği gibi hibe destekleri yoluyla finanse ederek Teknopark bünyesinde de hayata geçirebilir.

5.2. Finansman İhtiyacı ve Kaynakları

Finansman ihtiyacı ve bunu finanse edecek olan kaynakların ve değerlendirme sonuçları aşağıda yer alan Tablo 5.1’de sunulmaktadır.

Tablo 5.1. Finansman İhtiyacı ve Kaynakları Tablosu

Yıllar	TOPLAM	
FİNANSMAN İHTİYACI	İç Para (TL)	Dış Para (TL)
Sabit Yatırım Tutarı	19.127.887	-
Finansman Giderleri	-	-
Sabit Yatırım Toplamı	19.127.887	-
İşletme Sermayesi Yatırımı	1.320.904	-
TOPLAM FİNANSMAN İHTİYACI	20.448.791	-
<i>FİNANSMAN KAYNAKLARI</i>	-	-
Öz Kaynaklar	20.448.791	-
Yabancı Kaynaklar	-	-
TOPLAM FİNANSMAN KAYNAKLARI	20.448.791	-

5.3. Finansman Tablosu ve Finansal Oranlar Analizi

Geçmiş yıllara ait bilanço, gelir tablosu vb. mali veriler bulunmadığı için finansal oranlar analizi yapılmamıştır.

6. TİCARİ ANALİZ

Ticari analizde proje, yatırımcı kuruluş açısından ele alınmış ve ticari karlılığın maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Ticari analizde fayda ve maliyetler, cari piyasa fiyatları ile hesaplanmıştır. Ticari analizde dolaylı ve dışsal etkiler hesaba katılmamıştır.

6.1. Ticari Analiz ile İlgili Temel Varsayımlar (İskonto Oranı, Ekonomik Ömür, Hurda Değer, Yenileme Yatırımları, Enflasyon Artış Oranı vb.)

Ticari analizin yapılması için kullanılan temel varsayımlar aşağıda özetlenmiştir.

İskonto Oranı

Yatırım proje finansmanının yalnız öz kaynaklardan sağlanıyor olması nedeniyle, iskonto oranı olarak yatırım bedelinin güvenli kaynak olarak kabul edilen banka mevduatından sağlayabileceği yıllık getiri kullanılacaktır.

Nakit akımlarının indirgenmesinde kullanılacak iskonto oranı TCMB 2021 itibarıyla 1 yıl ve üzeri bankalar ortalama mevduat faiz oranı olan %15 olarak alınmıştır.

Ekonomik Ömür

Yatırımın faydalı olarak üretimde bulunabileceği süre geçmişte gerçekleştirilen benzer yatırımlar ve uluslararası örnekler de göz önünde bulundurularak belirlenmiş ve bu bölümde ifade edilmiştir. Projenin ekonomik ömrü 20 yıl olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.1. Ortalama Amortisman Oranı Hesabı (TL)

ORTALAMA AMORTİSMAN ORANI HESABI TABLOSU (TL)			
Amortisman Tabi Kıymetler	Değeri	Amortisman Oranı	Amortisman Tutarı
Bina-İnşaat	2.500.000	%5	125.000
Makine-Teçhizat	11.683.532	%5	584.177
Taşıt-Demirbaşlar	944.355	%5	47.218
TOPLAM	15.127.887		756.394
Ortalama Amortisman Oranı	%5		

Tablo 6.2. Amortisman Tabi Kıymetler

Amortisman Tabi Kıymetler	Değeri (TL)
Sabit Tesis Yatırımı	19.077.887

Finansman Giderleri	0
Kur Farkları	0
(-) Birikmiş Amortismanlar	0
Net Toplam	19.077.887
Ortalama Yıllık Amortisman Tutarı (TL)	953.894

Hurda Değer

Makine, teçhizat vb. gibi yatırımlarda, bu yatırımın gerçekleşmesinden belli bir süre sonra makine ve teçhizatın ekonomik ömrünü doldurması nedeniyle satılması halinde ele geçmesi öngörülen tutar bu başlık altında ifade edilmiştir. Tesis ekonomik ömrünü doldurduktan sonra kullanım dışı tesis ekipmanlarının bertaraf karşılığı bedelsiz olarak tesisten uzaklaştırılacağı varsayımı yapılmıştır. Bu nedenle makine ve teçhizatın proje süresi (20 yıl) sonrası herhangi bir hurda değeri olmayacağı düşünülmüştür.

Yenileme Yatırımları

Mikroalg tesisinde kullanılan araçların eskimesi ya da üretimdeki verimliliğin azalması üzerine faaliyetlerin etkin olarak devam ettirilebilmesi için gerekli olması muhtemel ara bakım onarım faaliyetleri olacaktır. Bunun dışında bir yenileme yatırımı öngörülmemiştir.

Enflasyon Oranı

Ülke genelindeki fiyat artışlarının ölçüsü olarak kullanılan fiyat endekslerinden yararlanılarak tahmin edilen enflasyon oranı dikkate alınmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu tarafından Ağustos 2021’de yayınlanan bilgilere göre, Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE)’de 2021 yılı Temmuz ayında bir önceki aya göre %1,80, bir önceki yılın Aralık ayına göre %10,41, bir önceki yılın aynı ayına göre %18,95 ve on iki aylık ortalamalara göre %15,15 artış gerçekleşmiştir. Yurt içi Üretici Fiyat Endeksi 2021 yılı Temmuz ayında bir önceki aya göre %2,46, bir önceki yılın Aralık ayına göre %25,05, bir önceki yılın aynı ayına göre %44,92 ve on iki aylık ortalamalara göre %28,47 artış göstermiştir. Türkiye Merkez bankası ise Temmuz 2021 tarihli açıklamasında 2021 yıl sonu için yüzde 12,2 olan enflasyon tahminini yüzde 14,1 olarak yukarı yönlü güncellemiştir. Bu çalışmada da uzun vadeli enflasyon oranı %15 olarak belirlenmiş, tüm ileri tarihli fiyat ve maliyet hesaplamalarında bu oran kullanılmıştır.

6.2. . Ticari Faydalar ve Maliyetler (İşletme Dönemi Gelir ve Giderleri, Girdi İhtiyacı, Girdi Fiyatları ve Harcama Tahmini)

Bu bölümde proje konusu yatırımın işletme döneminde oluşturacağı fayda ve yol açacağı maliyetler belirtilmiştir.

Tablo 6.3. İşletme Gelir ve Giderleri Tablosu

Yıllar	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4. Yıl	5.Yıl	6.Yıl	7.Yıl	8.Yıl	9.Yıl	10.Yıl	11.Yıl	12.Yıl	13.Yıl	14.Yıl	15.Yıl	16.Yıl	17.Yıl	18.Yıl	19.Yıl	20.Yıl
Kapasite Kullanım Oranı	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
1.İşletme Gelirleri	3.503.124	4.028.593	4.632.881	5.327.814	6.126.986	7.046.034	8.102.939	9.318.379	10.716.136	12.323.557	14.172.090	16.297.904	18.742.590	21.553.978	24.787.075	28.505.136	32.780.906	37.698.042	43.352.749	49.855.661
2.Üretim Giderleri	1.320.904	1.519.040	1.746.896	2.008.930	2.310.269	2.656.810	3.055.331	3.513.631	4.040.676	4.646.777	5.343.793	6.145.362	7.067.167	8.127.242	9.346.328	10.748.277	12.360.519	14.214.597	16.346.786	18.798.804
3.Amortisman	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894	953.894
4.Finansman Giderleri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.Satış Giderleri	100.000	115.000	132.250	152.088	174.901	201.136	231.306	266.002	305.902	351.788	404.556	465.239	535.025	615.279	707.571	813.706	935.762	1.076.126	1.237.545	1.423.177
6.Brüt Kar (1-2-3-4-5)	1.128.326	1.440.659	1.799.842	2.212.902	2.687.921	3.234.194	3.862.407	4.584.852	5.415.664	6.371.098	7.469.847	8.733.408	10.186.503	11.857.563	13.779.282	15.989.258	18.530.731	21.453.425	24.814.523	28.679.785
7.Matrahtan İndirilecekler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.Vergi Matrahı (6-7)	1.128.326	1.440.659	1.799.842	2.212.902	2.687.921	3.234.194	3.862.407	4.584.852	5.415.664	6.371.098	7.469.847	8.733.408	10.186.503	11.857.563	13.779.282	15.989.258	18.530.731	21.453.425	24.814.523	28.679.785
9.Vergi ve Stopajlar	282,081	360,165	449,960	553,225	671,980	808,548	965,602	1,146,213	1,353,916	1,592,775	1,867,462	2,183,352	2,546,626	2,964,391	3,444,820	3,997,315	4,632,683	5,363,356	6,203,631	7,169,946
10.Net Kar (6-9)	846,244	1,080,494	1,349,881	1,659,676	2,015,941	2,425,645	2,896,805	3,438,639	4,061,748	4,778,324	5,602,385	6,550,056	7,639,878	8,893,172	10,334,461	11,991,944	13,898,048	16,090,069	18,610,892	21,509,839
11.Temettüler (Dağıtılacak Karlar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.Kullanılabilir Kar (10-11)	846,244	1,080,494	1,349,881	1,659,676	2,015,941	2,425,645	2,896,805	3,438,639	4,061,748	4,778,324	5,602,385	6,550,056	7,639,878	8,893,172	10,334,461	11,991,944	13,898,048	16,090,069	18,610,892	21,509,839

Bu raporun “Talep Tahmini” ve “Kapasite Seçimi” bölümlerinde detayları sunulduğu üzere, yıllar itibariyle biyogaz santrallerinin sayısı, kurulu güçleri ve yıllık elektrik üretim miktarları sürekli ve düzenli bir şekilde artış göstermektedir. Bu da, biyogaz tesislerinin atık su miktarlarının artacağını ve arıtmak için yeni teknolojilere ihtiyaç duyacağını göstermektedir. Öte yandan, yine talep analizi bölümünde bahsedildiği üzere, Türkiye’de ve bölgedeki gübre talebinin mikro alg ürünlerine olan ilgiyi doğrudan etkileyeceği ve bu nedenle kurulduğu gün itibariyle üretilen ürünlere talep olacağı varsayılmıştır. Tüm bu gerekçelerle 1. yıl itibariyle tesisin %100 kapasite ile faaliyet göstermesi beklenmektedir.

6.3. Ticari Nakit Akış Tablosu

Ticari nakit akış tablosu, yıllar itibariyle nakit giriş ve çıkışlarının karşılaştırıldığı tablodur. Nakit girişleri olarak yurtiçi satış gelirleri, nakit çıkışları olarak da yatırım harcamaları, işletme giderleri, borç anapara geri ödemeleri, vergi ve stopaj ve dağıtılan kar paylarından oluşmaktadır. Nakit farkı (nakit akımı) olarak da nakit girişleri ile nakit çıkışları arasındaki fark hesaplanmıştır.

Tablo 6.4. Ticari Nakit Akış Tablosu (TL)

Yıllar	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4. Yıl	5.Yıl	6.Yıl	7.Yıl	8.Yıl	9.Yıl	10.Yıl	11.Yıl	12.Yıl	13.Yıl	14.Yıl	15.Yıl	16.Yıl	17.Yıl	18.Yıl	19.Yıl	20.Yıl
A.Nakit Girişleri																				
-İşletme Gelirleri	3.503.124	4.028.593	4.632.881	5.327.814	6.126.986	7.046.034	8.102.939	9.318.379	10.716.136	12.323.557	14.172.090	16.297.904	18.742.590	21.553.978	24.787.075	28.505.136	32.780.906	37.698.042	43.352.749	49.855.661
-Diğer Nakit Girişleri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B.Nakit Çıktıları																				
-İşletme Dönemi Yatırım Harcamaları	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-İşletme Giderleri	2,374,798	2,587,934	2,833,040	3,114,912	3,439,064	3,811,840	4,240,532	4,733,527	5,300,472	5,952,459	6,702,244	7,564,496	8,556,086	9,696,415	11,007,793	12,515,878	14,250,175	16,244,617	18,538,226	21,175,876
-Borç Anapara Geri Ödemeleri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-Vergi ve Stopaj	282,081	360,165	449,960	553,225	671,980	808,548	965,602	1,146,213	1,353,916	1,592,775	1,867,462	2,183,352	2,546,626	2,964,391	3,444,820	3,997,315	4,632,683	5,363,356	6,203,631	7,169,946
-Dağıtılan Kar Payları	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nakit Farkı- Nakit Akımı (A-B)	846,244	1,080,494	1,349,881	1,659,676	2,015,941	2,425,645	2,896,805	3,438,639	4,061,748	4,778,324	5,602,385	6,550,056	7,639,878	8,893,172	10,334,461	11,991,944	13,898,048	16,090,069	18,610,892	21,509,839

6.4. Ticari Fayda Maliyet Analizi (NBD, İKO, GÖS, Fayda Maliyet Oranı vb.)

Yapılması planlanan mikroalg projesinin sektörel ve teknik değerlendirme sonuçlarına dayalı olarak yapılan mali analizleri içeren bilgiler bu bölümde sunulmuştur. Bu bölümde yapılan temel analiz teknikleri aşağıda verilmiştir:

Net Bugünkü Değer

Bölüm 6.1’de belirlenen iskonto oranı üzerinden, yatırım harcamalarını ve yatırımın sağlayacağı net nakit girişlerini aynı zaman noktasına indirgeyerek aralarındaki farkın hesaplanması amacıyla aşağıdaki tablodan faydalanılmıştır. Önerilen Mikroalg sisteminin net bugünkü değeri 9.792.989 TL olarak tespit edilmiştir.

Tablo 6.5. Net Bugünkü Değer Tablosu (TL)

Yıllar	Sabit Yatırım Tutarı	İşletme Gelirleri	İşletme Giderleri	Vergi Öncesi Kar	İskonto Oranı (%15)	İskonto Edilmiş Net Nakit Akımı
0	20.448.791	0	0	0	1,000	
1		3.503.124	2.374.798	1.128.326	0,870	981.153
2		4.028.593	2.587.934	1.440.659	0,756	1.089.345
3		4.632.881	2.833.040	1.799.842	0,658	1.183.425
4		5.327.814	3.114.912	2.212.902	0,572	1.265.234
5		6.126.986	3.439.064	2.687.921	0,497	1.336.372
6		7.046.034	3.811.840	3.234.194	0,432	1.398.231
7		8.102.939	4.240.532	3.862.407	0,376	1.452.022
8		9.318.379	4.733.527	4.584.852	0,327	1.498.796
9		10.716.136	5.300.472	5.415.664	0,284	1.539.470
10		12.323.557	5.952.459	6.371.098	0,247	1.574.838
11		14.172.090	6.702.244	7.469.847	0,215	1.605.593
12		16.297.904	7.564.496	8.733.408	0,187	1.632.336
13		18.742.590	8.556.086	10.186.503	0,163	1.655.592
14		21.553.978	9.696.415	11.857.563	0,141	1.675.813
15		24.787.075	11.007.793	13.779.282	0,123	1.693.398
16		28.505.136	12.515.878	15.989.258	0,107	1.708.688
17		32.780.906	14.250.175	18.530.731	0,093	1.721.985
18		37.698.042	16.244.617	21.453.425	0,081	1.733.547
19		43.352.749	18.538.226	24.814.523	0,070	1.743.600
20		49.855.661	21.175.876	28.679.785	0,061	1.752.343

Toplam	20.448.791	358.872.573	164.640.383	194.232.190	30.241.781
NOT - Yatırım tutarı ile nakit girişlerinin net bugünkü değeri arasındaki fark 9.792.989 TL’dir					

İç Karlılık Oranı

Projenin ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı net nakit girişlerinin bugünkü değerini yatırım harcamalarının bugünkü değerine eşitleyen iskonto oranıdır. Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda yatırımın iç karlılık oranı %19,26 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.6. İç Karlılık Oranı (İKO) Tablosu (TL)

Yıllar	Sabit Yatırım Tutarı	İşletme Gelirleri	İşletme Giderleri	Vergi Öncesi Kar	İskonto Oranı	İskonto Edilmiş Net Nakit Akımı
0	20.448.791	0	0	0	1,000	-20.448.791
1		3.503.124	2.374.798	1.128.326	0.838	946,066
2		4.028.593	2.587.934	1.440.659	0.703	1,012,827
3		4.632.881	2.833.040	1.799.842	0.589	1,060,952
4		5.327.814	3.114.912	2.212.902	0.494	1,093,732
5		6.126.986	3.439.064	2.687.921	0.414	1,113,916
6		7.046.034	3.811.840	3.234.194	0.347	1,123,800
7		8.102.939	4.240.532	3.862.407	0.291	1,125,299
8		9.318.379	4.733.527	4.584.852	0.244	1,120,012
9		10.716.136	5.300.472	5.415.664	0.205	1,109,267
10		12.323.557	5.952.459	6.371.098	0.172	1,094,172
11		14.172.090	6.702.244	7.469.847	0.144	1,075,648
12		16.297.904	7.564.496	8.733.408	0.121	1,054,459
13		18.742.590	8.556.086	10.186.503	0.101	1,031,236
14		21.553.978	9.696.415	11.857.563	0.085	1,006,504
15		24.787.075	11.007.793	13.779.282	0.071	980,695
16		28.505.136	12.515.878	15.989.258	0.060	954,163
17		32.780.906	14.250.175	18.530.731	0.050	927,201
18		37.698.042	16.244.617	21.453.425	0.042	900,047
19		43.352.749	18.538.226	24.814.523	0.035	872,895
20		49.855.661	21.175.876	28.679.785	0.029	845,900
Toplam	20.448.791	358.872.573	164.640.383	194.232.190		0
İç Karlılık Oranı (İKO) = 0,1926						
İç Karlılık Oranı (İKO) = %19,26						

Geri Ödeme Süresi

Toplam yatırım harcamasının net nakit akışlarıyla ödenebileceği süredir. Önerilen Mikroalg sisteminin geri ödeme süresi 14,3 yıl olarak hesaplanmıştır. Tüm bu bilgiler ışığında yatırım mevcut durumda ticari açıdan “karlı” bir yatırım olarak görünmemektedir. Her ne kadar karlılık endeksi olarak aşağıdaki bölümde bahsedildiği gibi 1,00’in üzerinde bir değer bulunmuş, yani gelir getirici bir faaliyet olduğu ortaya koyulmuş olsa dahi yatırımın kendisini çok uzun sürede amorti edecek olması yatırımın fizibil olmasını engellemektedir.

Karlılık Endeksi

Karlılık endeksi (PI) veya kar yatırım oranı (PIR), bir yatırım projesinin geçerliliğini ve kârlılığını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçüdür. Gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerinin yatırılan ilk miktara bölünmesi ile bulunur. Kârlılık endeksi, 1’den büyük veya ona eşit ise, buna daha iyi ve kabul edilebilir bir yatırım denir. Önerilen Mikroalg tesis yatırım projesinin karlılık endeksi 1,48 olarak hesaplanmıştır.

Ortalama Muhasebe Getiri Oranı

Basit veya ortalama getiri oranı olarak da bilinen ortalama muhasebe getiri oranı (ARR), bir yatırımda beklenen kar veya getiri miktarını ölçer. Bu oran, bir işletmenin sürdürülmesinin ayrılmaz bir parçası olabilecek para ya da nakit akışlarının zaman değerini dikkate almaz. Ortalama Muhasebe Getiri Oranı, bir yatırımın karlılığının hızlı bir şekilde hesaplanması için yararlı olan bir sermaye bütçeleme metriğidir. Bu oran, bir yatırımın performansında çok basit bir görünüm olduğu için genellikle birden fazla proje arasında genel bir karşılaştırma olarak kullanılır. Muhasebe oranı bu proje için yıllık ortalama muhasebe karının, projenin ilk yatırımına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Önerilen mikroalg tesis yatırımı için ortalama muhasebe getiri oranı 0,47 olarak bulunmuştur.

Fayda/Maliyet Oranı

Projenin ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı faydaların (nakit girişleri) bugünkü değerlerinin toplamının, maliyetlerin (yatırım harcamaları ve diğer nakit çıkışları) bugünkü değerlerinin toplamına oranıdır. İlgili hesaplama gerçekleştirilerek önerilen mikroalg tesis yatırımı için fayda/maliyet oranı 1,94 bulunmuştur.

7. EKONOMİK ANALİZ

7.1. Ekonomik Analiz İle İlgili Temel Varsayımlar

Bu bölümde ekonomik analizin temelini oluşturan varsayımlar ve dayandıkları gerekçeler yer almaktadır.

- Hesaplamalarda kullanılan iskonto oranı %15 olarak belirlenmiştir.
- Kurumlar vergisi oranı % 25 olarak alınmıştır.
- ABD Doları olarak elde edilen yatırım kalemleri 8,6 TL/ABD Doları kur değeri kullanılarak TL cinsinden ifade edilmiş ve tüm hesaplarda o şekilde kullanılmıştır.
- Elektrik birim fiyatının 0,63 TL/kWh seviyelerinden her yıl ortalama %15 (enflasyon oranı kabullenmesi) oranında artacağı seyredeceği varsayılmıştır.
- Biyogaz sektöründeki büyümenin ve talebin artarak devam edeceği varsayılmıştır.
- Mikroalg ve mikroalg bazlı ürünlere olan talebin artarak devam edeceği varsayılmıştır.
- Mikroalg ve mikroalg bazlı ürünlerin piyasa fiyatlarını belirlerken güncel literatürden ve bu alanda ulusal/uluslararası çalışmalarda sunulan bilgilerden faydalanılmıştır.
- Ulusal çevre mevzuatına göre biyogaz sektörü atıksularının arıtılmadan doğaya verilmesi konusundaki yasal zorunlulukların devam edeceği varsayılmıştır.

7.2. Ekonomik Faydalar ve Maliyetler

Mikroalg sistemlerinde üretilecek olan mikroalg çeşidi ve ilgili çeşidin hangi değerli biyoürün üretiminde kullanılacak olması tesisin gelir yapısını ve katma değerini etkileyen en önemli unsurları oluşturmaktadır. Bu nedenle fizibilite çalışması kapsamında ekonomik faydaları ortaya koyabilmek amacıyla üretilecek mikroalg çeşidinin piyasa değerine ilişkin bir değerlendirme ortaya koyacak şekilde detaylı bir pazar araştırması yapılmıştır. Hali hazırda mikroalgler Türkiye’de yaygın bir şekilde ticareti yapılan ürünler değildir. O nedenle bu fizibilite çalışmasında literatür taraması, uluslararası başarılı örnekler ve ulusal bazı bilgilerden yararlanılmıştır. İlgili piyasa araştırması ve en temel bulgular aşağıda özetlenmiştir:

Mikroalg Ticari Değerleri:

Alg biyokütlesinin dünya çapındaki yıllık üretiminin yaklaşık 330 ABD Doları/kg piyasa değeri ile 5 milyon kg/yıl olduğu tahmin edilmektedir (Özçiçek vd., 2017). Mikroalgal pazarını domine eden mikroalgler bu projenin de konusu olan *Chlorella* ve *Spirulina* türleridir. Mikroalglerin ticari büyük ölçekli üretimi 1960’ların başında Japonya’da bir gıda katkı maddesi olarak *Chlorella* kültürüyle başlamış, bunu 1970’lerde ve 1980’lerde ABD, Hindistan, İsrail ve Avustralya gibi ülkelerde artan üretim izlemiştir. Öyle ki, Tablo 7.1’den de görülebileceği üzere 2004 yılında, mikroalg endüstrisi yılda 7000 ton kuru madde üretecek şekilde büyümüştür.

Aşağıdaki tabloda ABD, Çin, Hindistan, Japonya, Avusturalya, Tayvan, Almanya, İsrail ülkelerindeki mikroalg üretim miktarları ve fiyatları verilmektedir (Sayaner, 2013).

Tablo 7.1. Mikroalg Türü Bazında Üretim Miktarları ve Ticari Değerler

Mikroalg	Yıllık üretim	Uygulama ve Ürün	Fiyat (€)
Spirulina	3000 ton kuru ağırlık	Beşeri besin	36 kg ⁻¹
		Hayvansal besin	
		Kozmetik	
		Phycobiliproteins	11 mg ⁻¹
Chlorella	2000 ton kuru ağırlık	Beşeri besin	36 kg ⁻¹
		Kozmetik	
		Su ürünleri yetiştiriciliği	50 l ⁻¹
Dunaliella salina	1200 ton kuru ağırlık	Beşeri besin	
		Kozmetik	
		β-karoten	215-2150 kg ⁻¹
Aphanizomenon flos-aquae	500 ton kuru ağırlık	Beşeri tüketim	
Haematococcus pluvialis	300 ton kuru ağırlık	Su ürünleri yetiştiriciliği	50 l ⁻¹
		Astaksantin	7150 kg ⁻¹
Cryptocodinium cohnii	240 ton DHA yağı	DHA yağı	43 g ⁻¹
Shizochytrium	10 ton DHA yağı	DHA yağı	43 g ⁻¹

İnternet satış fiyatları incelendiğinde, gıda, kozmetik, balık yemi satışı amaçlı üretilen mikroalg özü tozu Chlorella Vulgaris'in piyasa fiyatı \$9,00 - \$19,00/kg olarak ifade edilmektedir (Turkish Alibaba, tarih yok). Bio-chlorella mikroalg tozunun piyasa fiyatı \$4,50 - \$22,00 / kg olarak belirlenmiştir (Turkish Alibaba, tarih yok). Bir diğer çalışmanın öngördüğü dünyadaki biyokütle piyasa tahminleri ise aşağıdaki tabloda verilmektedir (Biorizon Biotech, 2018).

Tablo 7.2. Ürün Bazlı Mikroalg Ticari Değerleri

Ürün	Fiyat (ABD Doları)
Sağlık amaçlı gıda	15-28 kg ⁻¹
Fonksiyonel gıda	25-52 kg ⁻¹
Yem katkısı	10-130 kg ⁻¹
Su ürünleri yetiştiriciliği	50-150 kg ⁻¹
Toprak düzenleyiciler	>10 kg ⁻¹

Diğer Alg Biyokütlelerinin Ticari Değeri:

- Nannochloropsis sp. Türü (Akçansa Çimento, tarih yok):
 - Nannochloropsis sp. küçük (2-5 µm) bir mikroalg türü olup, akuakültür endüstrisinde yeşil su tekniği ve zooplankton kültüründe yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu tür aynı zamanda W3 yağ asidi olan EPA bakımından da zengindir. Başta levrek ve çipura olmak üzere deniz balıkları üretimi konusunda Türkiye oldukça iyi bir durumdadır. Kuluçkahaneler kendi alglerini üretiyor olsa da üretimin yüksek olduğu dönemlerde çoğu firma Reed Aquaculture ve Necton firmalarından konsantre mikroalg ürünlerini almaktadır.
 - 1 litre konsantre Nannochloropsis (17-18% in dry weight) satış fiyatı yaklaşık 80 USD civarındır. 1 litre konsantre algin satış fiyatı 40 ABD Doları (piyasada satılan ürünlerin yarı fiyatı) bile olsa, 1 kg kuru alg biyokütlesinin satış fiyatı yaklaşık 200 ABD Doları/kg'a ulaşmaktadır
 - 2016 yılında Akçansa firması tarafından gerçekleştirilen bir TÜBİTAK projesinde öngörülen Mikroalg Satış Fiyatı 150 TL/kg'dır.
- Haematococcus pluvialis Türü (Akçansa Çimento, tarih yok):
 - stres koşulları altında biriktirdiği astaksantin pigmenti ile mikroalg biyoteknolojide önemli bir türdür.
 - Organik bir ürün olan Haematococcus'un fiyatı 8.000 ABD Doları/kg civarındadır. Yeryüzündeki en yüksek astaksantin içeriğine sahip canlıdır.
- Kömür yakıtlı termik santral ile bütünleştirilmiş bir mikroalg CO₂ azaltımı sistemi için yeşil ve mavi-yeşil mikroalg kültürlerinin karışımından oluşan kültür ile yapılan projede, ön ekonomik değerlendirme ekipman, işletim ve bakım maliyetlerini karşılamak için hasat edilen biyokütlenin tonunun yaklaşık 97 ABD Doları değerinde olması gerektiğini göstermektedir (Sayaner, 2013).

Alg Tabanlı Çeşitli Biyoürünlerin Piyasa Değerleri:

Piyasada çeşitli mikroalg biyostimülan üreticileri bulunmaktadır: örn. İspanya (Agroplasma S.A. ve AlgaEnergy S.A.), Türkiye (Mct Tarım), ABD (AgroValley Inc.) ve Soley Biotech (Hindistan). Bu ekstratlar, Spirulina, Chlorella, Nannochloropsis ve Scenedesmus gibi yaygın olarak üretilen mikroalgelere dayanmaktadır. Örneğin, Soley Biyoteknoloji Enstitüsü, Spirulina, Haematococcus, Chlorella sp. ve Nannochloropsis sp. karışımını organik mikroalg toprak gübreleri olarak (9-23 € / kg) pazarlamaktadır. Agroplasma S.A. (İspanya), Ferticell mikroalg biyostimülanlarını 1300-1500 €/ton karşılığında satmaktadır (Voort vd., 2015). Ek olarak, bazı mikroalglerden elde edilen ürünleri fiyatları Tablo 7.3.'te verilmektedir.

Tablo 7.3. Bazı Mikroalglerden Elde Dilen Ürünleri Fiyatı

Ürün	Mikroalg	Fiyat (ABD \$)	Üretici
B-Carotene	Dunalliella	300-3000/kg kuru madde	AquaCarotene (USA), Cognis Nutritions & Health (Avustralya) , Perry Pharmaceuticals (Hindistan)
Astaxanthin	Haematococcus	10.000/kg 880€/kg (sentetik) 2000\$ (doğal)	Alga Technologies (İsrail), Bioreal (ABD), Perry Pharmaceuticals (Hindistan)
Tüm-hücre diyet takviyesi	Spirulina, Chlorella, Chlamydomonas	50/kg	BlueBiotech (Almanya), Coastal Biomarine (ABD)
Doymamış yağ asitleri	Cryptocodinium, Schizochytrium	60/kg	Martek Biosciences (ABD), BlueBiotech (Almanya)

Kaynak: (Rosenberg vd., 2008) (Rad ve Şen, 2014) (GTE, 2017)

Tüm bu bilgiler ışığında proje kapsamında üretilecek Chlorella ve Spirulina çeşidi alglerin piyasa değerleri 20,00 ABD Doları/kg olarak belirlenmiş ve bu rapordaki tüm ticari ve ekonomik analizler bu fiyat üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Büyük ölçekli bir mikroalg yetiştirme tesisinden elde edilecek mikroalg biyokütlesi, aynı anda, biyoyakıt üretiminden ilaç yapımına, kozmetik ürünlerden hayvan yemine kadar farklı alanlarda değerlendirilmelidir. Pazar hacmi biyoyakıtlara göre oldukça düşük olan mikroalg kökenli beslenme ve ilaç ürünleri, birim miktar başına yüksek ekonomik getirileri ile CO₂ azaltımı amaçlı büyük ölçekli mikroalg yetiştiriciliğini uygulanabilir duruma getirebilir.

Tablo 7.4. Ekonomik Nakit Akış Tablosu (TL)

Yıllar	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4. Yıl	5.Yıl	6.Yıl	7.Yıl	8.Yıl	9.Yıl	10.Yıl	11.Yıl	12.Yıl	13.Yıl	14.Yıl	15.Yıl	16.Yıl	17.Yıl	18.Yıl	19.Yıl	20.Yıl
A. Projenin Faydaları																				
- Doğrudan Faydaları	3.503.124	4.028.593	4.632.881	5.327.814	6.126.986	7.046.034	8.102.939	9.318.379	10.716.136	12.323.557	14.172.090	16.297.904	18.742.590	21.553.978	24.787.075	28.505.136	32.780.906	37.698.042	43.352.749	49.855.661
- Dolaylı Faydalar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Parasallaştırılamayan Önemli Faydalar	- Biyogaz tesislerindeki atıksu sorununu çözerek doğaya verilen N ve P mikronutrientlerin azaltılmasını sağlamak - Başta Kızılırmak olmak üzere önemli alıcı ortamlarda Ötrofikasyon riskini ortadan kaldırmak - Karbondioksit gibi önemi bir sera gazını tutarak iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunmak																			
B. Projenin Maliyetleri																				
- Yatırım Harcamaları	20.448.791																			
- İşletme Giderleri	2.374.798	2.587.934	2.833.040	3.114.912	3.439.064	3.811.840	4.240.532	4.733.527	5.300.472	5.952.459	6.702.244	7.564.496	8.556.086	9.696.415	11.007.793	12.515.878	14.250.175	16.244.617	18.538.226	21.175.876
- Finansman Maliyeti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Olumsuz etkiler	Bulunmamaktadır																			

Tablo 7.5. Alg Üretim Tesisi Yıllık Operasyonel Maliyetler

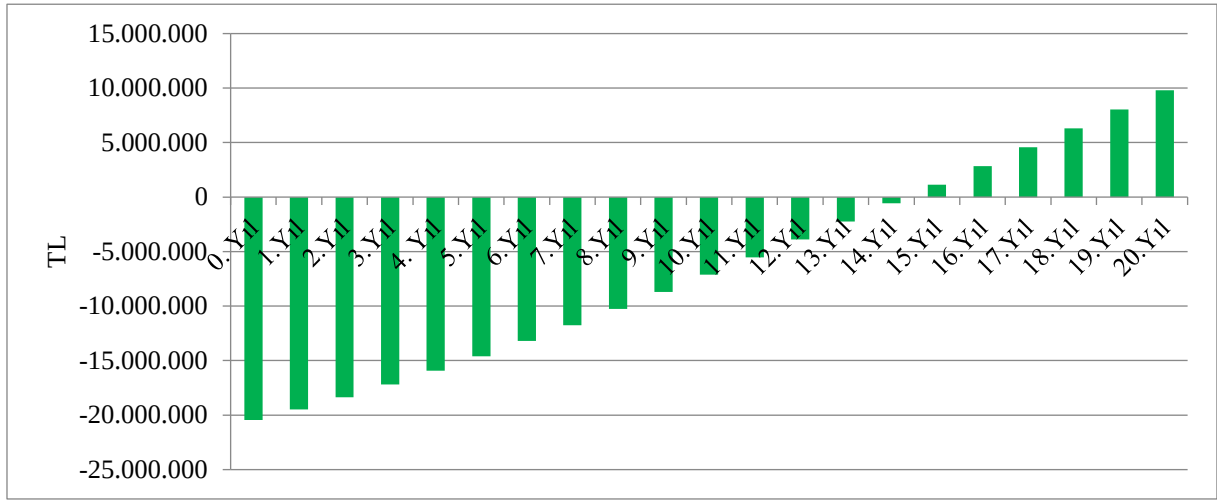
İşletme Maliyetleri				
	Kalemler	Birim	Birim Fiyatı	Toplam Maliyet (TL)
1	Elektrik Giderleri (kWh)	270.000 kwh/yıl	0,63 TL/kWh	170.100
2	Mavi Yakalı Personel	3 işçi	48.000 TL/Yıl	96.000
3	Süper Vizyon /Teknik ve Akademik Danışmanlık	1.500 TL/Gün	72 gün/yıl	108.000
4	Beyaz Yakalı Personel Maaş Giderleri	1 personel	120.000 TL/Yıl	120.000
5	Bakım Giderleri	12 ay	40.765 TL/ay	489.177
6	Diğer Tesis Giderleri	12 ay	28.136 TL/ay	337.627
	Toplam İşletme Maliyetleri			1.320.904

7.3. Ekonomik Fayda Maliyet Analizi (Ekonomik NBD, Ekonomik İKO)

Analizi gerçekleştirilen mikroalg sisteminin fayda maliyet analiz özeti aşağıdaki tabloda sunulmuştur:

Tablo 7.6. Fayda Maliyet Özet Tablosu

Parametre	Değer
İlk Yatırım Maliyeti	20.448.791 TL
İskonto Oranı (Yıllık)	15%
İç Karlılık Oranı-İKO (IRR)	19,26%
Geri Ödeme Süresi	14,3 Yıl
Net Bugünkü Değer-NBD (NPV)	9.792.989 TL
Karlılık Endeksi (PI)	1,48
Ortalama Muhasebe Getirisi (AAR)	0,47
Fayda/Maliyet Oranı	1,94



Şekil 7.1. İskonto Edilmiş Kümülatif Net Nakit Akımı

7.4. Maliyet Etkinlik Analizi

Raporun 6. Bölüm’ünde fayda maliyet analizi sunulmuş olduğu için bu bölümde ayrıca maliyet etkinlik analizi gerçekleştirilmemiştir.

7.5. Diğer Ekonomik Analiz Ölçütleri

- Kaliteli su erişimi dünyada maliyetli bir hal almakta iken, Kızılırmak suyunun kirlilikten arındırılarak ilgili su kullanıcılarının kaliteli suya erişmesi sağlanacaktır.
- Çevre-enerji-biyoyürün sektörlerini birbirine entegre etme özelliğini göstermesi açısından, üretimde entegre yaklaşım ve ekonomik verimlilik arasındaki Ar-Ge ve yüksek teknolojinin işletmeler tarafından sahiplenilmesine örnek teşkil edecek sonuçlar ortaya koyabilecek bir model olacaktır.
- Alg ve biyogaz yatırım sektörünün geliştirilmesi sağlanacak ve bölgede istihdamın artırılması yönünde adımlar atılmış olacaktır.
- Bölgede, yakıt rafinerisi ve ilgili işletmeler bulunması açısından, gelecekteki enerji gündemini oluşturacak konulardan birisi olan alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi için zemin oluşturacak, bölgede biyogaz yatırımı cazibesi artacaktır.
- Nutrientlerin geri kazanımı ile atıksudan “katma değer” etkisi yaratılmış olacaktır.
- Başta su ve enerji yönetimi paydaşları bakanlık il müdürlükleri, STKlar, sanayi/meslek odaları vb. olmak üzere ilgili tarafların çevre/enerji/kalkınma sinerjisinde proje planlama ve uygulama

konusunda farkındalığı artırılmış olacak, böylece ulusal ve bölgesel kalkınma hedeflerine yönelik adım atılmış olacaktır.

- Bölgemiz, biyokütle kullanımı konusunda, dünya ülkeleri arasında ülkemizi temsil edecek, nitelikli ve prestijli bir konuma ve kimliğe sahip marka özelliği ALG71 kazanabilecektir. Bölge için ekonomik kazanç niteliğinde olacaktır.

8. RİSK ANALİZİ

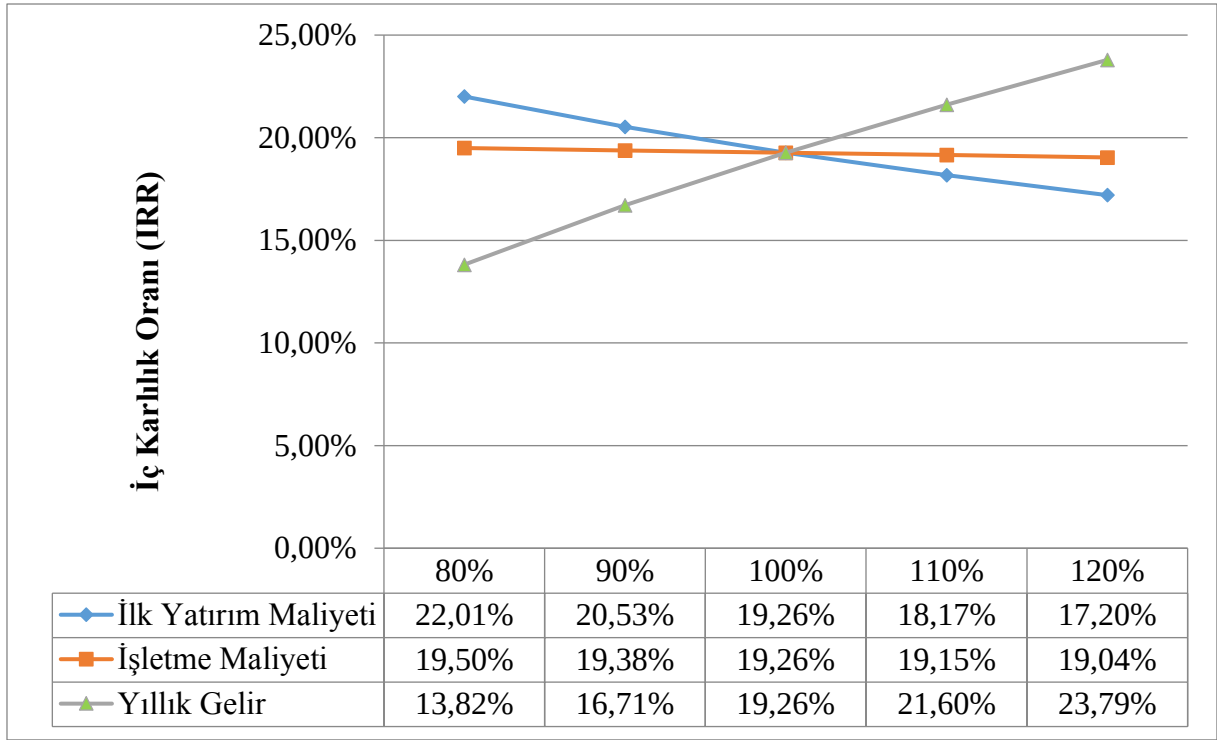
8.1. Duyarlılık Analizi

Fizibilite çalışması yapılan mikroalg tesisinin en önemli ekonomik parametreleri arasında yer alan iç karlılık oranı (IRR), net bugünkü değer (NPV) ve yatırım geri ödeme süresine ilişkin duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu önemli ekonomik parametreler üzerinde en çok etki yaratacak değişkenleri belirlemek amacıyla kullanılan bu analiz yönteminde özellikle;

- İlk yatırım maliyeti
- İşletme maliyeti
- Yıllık gelir

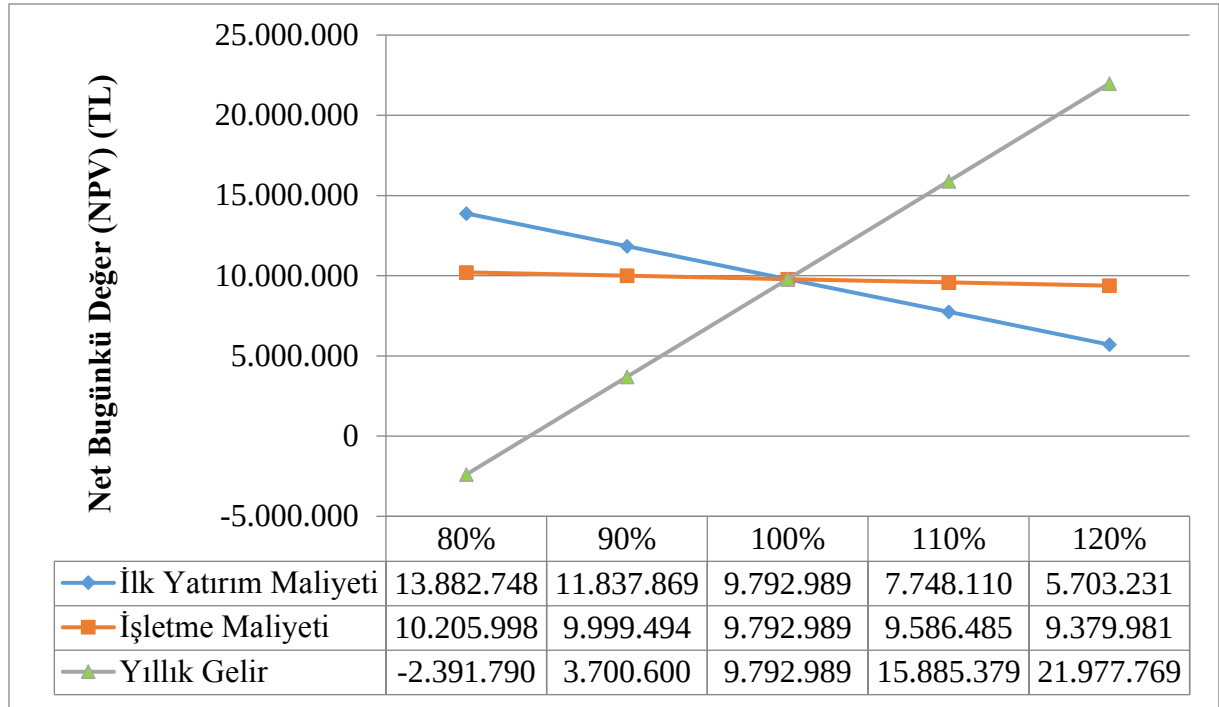
değişkenlerinin iç karlılık oranı (IRR), net bugünkü değer (NPV) ve yatırım geri ödeme süresine olan etkisi ortaya koyulmuştur.

Şekil 8.1’den görüleceği üzere, ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve yıllık gelir değişkenleri arasından iç karlılık oranına en büyük etkiyi gerçekleştiren “yıllık gelir” olmuştur. Yıllık gelirin %10’luk değişimlerinin iç karlılık oranında ortaya koyduğu fark belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Yıllık gelirin %80’i seviyelerinde iç karlılık oranı %13.82 gibi iskonto oranının dahi altına düşerek yatırımın karlı olmaktan çıkmasına neden olabilecektir. Aynı şekilde ürün fiyatları ve pazar koşullarının optimum düzeyde olması durumunda yıllık gelirden yaşanabilecek %20’lik artış ise yatırımın %23.79 seviyelerinde iç karlılık oranına ulaşarak oldukça etkin bir seviyede gerçekleşmesini sağlayabilecektir. Öte yandan ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti ise iç karlılık oranı üzerinde yıllık gelir kadar etkili görünmemektedir. Bu durum maliyetlerde yaşanabilecek ani değişikliklerin yatırım üzerinde sadece marjinal etkisinin olabileceğini göstermesi açısından önemlidir.



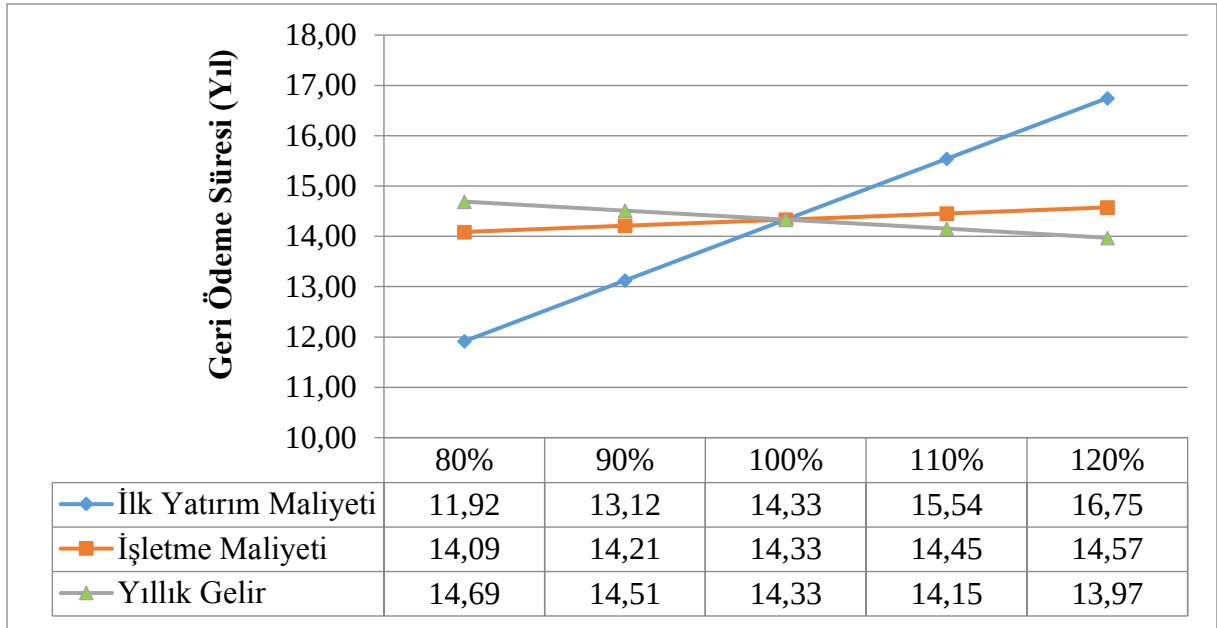
Şekil 8.1. İlk Yatırım Maliyeti, İşletme Maliyeti ve Yıllık Gelirin İç Karlılık Oranına Etkisi

İç karlılık oranında olduğu gibi, net bugünkü değer hesaplarında da yıllık gelir değişkeni, ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti ile kıyaslandığında etkinlik açısından daha ön plandadır. Yıllık gelirin %80'i seviyelerinde net bugünkü değer -2.391.790 TL gibi sıfırın altına düşerek yatırımın karlı olmaktan çıkmasına neden olabilecektir. Aynı şekilde ürün fiyatları ve pazar koşullarının optimum düzeyde olması durumunda yıllık gelirden yaşanabilecek %20'lik artış ise yatırımın 21.977.769 TL seviyelerinde net bugünkü TL fiyatlarına ulaşarak oldukça etkin bir seviyede gerçekleşmesini sağlayabilecektir. Öte yandan ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti ise net bugünkü değer üzerinde yıllık gelir kadar etkili görünmemektedir.



Şekil 8.2. İlk Yatırım Maliyeti, İşletme Maliyeti ve Yıllık Gelirin Net Bugünkü Değere Etkisi

Gerçekleştirilen duyarlılık analizi göstermektedir ki iç karlılık oranı ve net bugünkü değer hesaplarında olduğundan farklı olarak ilk yatırım maliyetinin geri ödeme süresinde olan etkisi diğer değişkenlerden daha fazladır. İlk yatırım maliyetinin %80'i seviyelerinde yatırımın geri ödeme süresi 11,92 yıl seviyelerine kadar yatırımın kendisini daha kısa sürede geri ödemesine neden olabilecektir. Öte yandan ilk yatırım maliyetinin başta öngörülenden %20 fazla olması durumunda ise yatırımın 16,75 yıl gibi daha uzun sürede kendisini amorti etmesi beklenmektedir. Bunun yanı sıra yıllık gelir ve işletme maliyeti ise yatırımın geri ödeme süresi üzerinde ilk yatırım maliyeti kadar etkili görünmemektedir.



Şekil 8.3. İlk Yatırım Maliyeti, İşletme Maliyeti ve Yıllık Gelirin Geri Ödeme Süresine Etkisi

8.2. Proje İle İlgili Riskler ve Etkiler

Proje konusu mikroalg üretim tesisinin bir biyogaz tesisi yakınına kurulması önerilmektedir. Projenin hayata geçirilmesi aşamasında yatırıma dair öngörülen mali riskler:

- Döviz kurundaki dalgalanmalar (döviz fiyatındaki artışlar),
- Küresel Ekonomi,
- Tedarikçi firmaların fiyat politikalarındaki değişikliklerdir (ekipman fiyatlarındaki artışlar vb)

Mikroalg üretimine ilişkin tarafından sunulan faydalara rağmen, özellikle mevcut teknolojiler ile suni ortamlarda alg yetiştirilmesinin tam ölçekli uygulamaları oldukça pahalıdır.

Bir diğer risk unsuru olarak, biyogaz atık suyunun (sıvı kısmının) arıtılması üzerine kurulan kurgu ile biyogaz sistemlerine entegre olarak çalışacak mikroalg sisteminin, ülkemiz ölçeğinde dahi çok az sayıda üniversite/bilim insanı tarafından yalnızca laboratuvar ölçeğinde araştırılmış olması sebebiyle, ticari başarı riski öngörülmüştür. Ülkemizde mikroalg ve biyogaz entegre sistemlerine yönelik olarak özel sektör kuruluşlarının bugüne kadar herhangi bir girişimi olmamıştır.

8.3. Temel Risklerle İlgili Risk Azaltma Tedbirleri

Bölüm 8.2’de belirtilen risklerle ilgili aşağıdaki risk azaltma tedbirlerinin alınması öngörülmüştür.

- Projenin hayata geçirilmesi için yatırım çalışmalarına hızlı bir şekilde başlanması sağlanacaktır.
- Yerli firmalara öncelik verilecektir.
- Alg üretiminde büyük maliyetlerden bir tanesi karbondioksit temini iken, projede karbondioksitin (CO₂) biyogaz tesisinden temin edilecek olması maliyeti düşürücü niteliktedir. Genel çerçevede, alg üretiminin atıksu arıtımı ve biyogaz tesisinden CO₂ kullanımı gibi endüstriyel faaliyetler ile entegrasyonu ekonomik maliyetlerin azaltılmasında fayda sağlayacaktır.
- Kırıkkale Üniversitesi projenin sürdürülebilirliği temin edecek tüm imkanlarını kullanacaktır. Mikroalg sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ile geçmiş birikimlerin projeye aktarılmasıyla, ticari boyuttaki tesis için varsayılan risklerin aşılabileceği öngörülmektedir.

9. ÇEVRESEL ANALİZ

9.1. Çevresel Etkilerin Ön Değerlendirmesi

Biyogaz atıksuları yönetilmesinde problem yaşanan çevre kirliliğine yol açan atıksulardır. Bu proje, biyogaz tesisi atıksularının sürdürülebilir yönetimi için yenilikçi ve alternatif bir teknoloji geliştirilmesiyle çevresel açıdan olumlu etkiler doğuracaktır.

- Atık suların mikroalgler tarafından azot ve fosfor giderimi sağlanacak, bu sayede atık suyun kirlilik yükü azaltılacaktır. Nutrientlerden kaynaklı olası koku kirliliği ve ötrafikasyon etkilerinin önüne geçilebilecektir.
- Bir başka çevresel etkisi düşünüldüğünde, biyogaz üretimindeki oluşan karbondioksitin alg üretiminde mikroalgler tarafından biyolojik olarak hapsedilmesiyle sera gazı emisyonunun azaltılmasına da katkıda bulunulmuş olacaktır.

Bu etkiler, atıksuda yetişen mikroalglerin sürdürülebilir bir yaklaşım olmasını sağlayacaktır.

Proje kapsamında önerilen biyogaz tesisine entegre mikroalg üretim tesisi, Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği’ne tabi, Ek-1 listesinde (Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler Listesi) veya Ek-2 listesinde (Seçme-Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesi) bulunan projeler arasında yer almamaktadır.

9.2. Çevresel Riskler ve Azaltma Tedbirleri

Projenin sağlayacağı olumlu çevresel etkiler Bölüm 9.1’de açıklanmıştır. Öte yandan projenin çevreye olumsuz bir etkisi olmayacaktır.

10. SOSYAL ANALİZ

10.1. Projenin Sosyal Etkileri

Güvenli kaynağa erişim günümüz sosyal etki değerlendirmelerinin en önemli indikatörlerinden birisidir. Öte yandan, TR71 Bölgesi’nin sosyal ve ekonomik kalkınmasında oldukça önemli bir yeri bulunan başta tarım sektörü olmak üzere pek çok su kullanıcısı sektör risk ile karşı karşıyadır. Bu risklerden bir tanesi de bölgenin en önemli su kaynaklarından bir tanesi olan Kızılırmak Nehri’nin yoğun şekilde kirlenmesidir. İstihdam dağılımına göre bölgede istihdam edilenlerin yaklaşık %36’sı tarım sektöründe çalışmaktadır (Ahiler Kalkınma Ajansı, 2016). Genel olarak tarımsal üretimde girdi fiyatları yüksektir. Üreticinin zaten pahalı olan girdileri rasyonel kullanamaması üretim maliyetlerini daha da artırmakta ve bu da rekabet edebilirliklerini düşürmektedir. Kirlenmenin artmasıyla kaliteli ve bol miktarda su kaynaklarına erişim de oldukça zorlaşmaktadır ve bu durum maliyetleri artırmaktadır. Bu da çevresel problemlerin yanı sıra, toplumsal sorunlar oluşturmaktadır. Önerilen mikroalg üretim tesisi ile birlikte çevresel ve toplumsal sorunlara sebep olan atık suların arıtımı ve Kızılırmak suyunun kirlilik yükünün azaltılarak ilgili su kullanıcılarının kaliteli suya erişmesi sağlanacaktır. Ek olarak, üretilen alglerin gübre olarak kullanılabilen ürünler olma potansiyeli bulunduğundan, atıktan üretilmiş bir tarımsal girdi olarak maliyetleri düşürme olasılığına da sahiptir.

Bu fizibilite çalışması sonucunda mikroalg sistemlerinin kullanımının sunulması ile bölgeye özellikle alg ve biyogaz sektöründen yatırımcıların çekilmesi mümkün olabilecektir. Bu sayede alg ve biyogaz yatırım sektörünün geliştirilmesi sağlanacak ve bölge de istihdamın artırılması yönünde adımlar atılmış olacaktır. Böylece uzun vadede, Türkiye’nin %2’lik nüfusunu oluşturan TR71 Düzey 2 Bölgesi’nde sosyal refaha erişime katkıda bulunulmuş olacaktır.

10.2. Projenin Toplumsal Gruplara Etkisi

Toplumun etkilenebilirlik açısından en kırılgan grupları kadın, genç ve çocuklardır. Bu gruplar sosyal ve ekonomik yaşamda aldıkları yer açısından dezavantajlı olup, TR71 Bölgesi bu konuda da Türkiye ortalamasının çok altında kalmaktadır. Projenin, temiz su kaynaklarına erişim, gelecekte istihdam yaratma ve sosyal refaha ulaşma etki boyutları, bölgenin çevresel, ekonomik ve sosyal yapısına katkıda bulunacaktır. Yaşam kalitesini artırmanın önceliklerinden olan etkin çevre yönetimi, su sürdürülebilirliği, enerji verimliliği ve alternatif enerji sistemlerinin

özendirilmesi ve teşviki, kirlilik ve atık su arıtma sistemlerinin geliştirilmesi (Ahiler Kalkınma Ajansı, 2016), bu projenin toplumun kırılgan kesimine yönelik pozitif çarpan etkilerindendir.

10.3. Bölgesel Düzeydeki Etkisi

TR71 Düzey 2 Bölgesi'nin gelişmişlik açısından incelenen birçok veriye göre Türkiye ortalamasının gerisinde kaldığı ve diğer illere göre geride kalma eğiliminde olduğu görülmektedir (Ahiler Kalkınma Ajansı, 2016). Gelişmeyi olumsuz yönde etkileyen faktörler arasında su kaynaklarının kısıtlılığı ve tarımda yüksek maliyet bulunmaktadır. Ekonomik büyüme, diğer tüm bölgelerde olduğu gibi TR71 Bölgesi'nin de ana itici gücü durumundadır ancak 2014-2023 yıllarını kapsayan Bölge Planı göstermektedir ki TR71 Bölgesi'nde girişimcilik ve çevre/enerji yatırımları istenen seviyede değildir. Bu çerçevede projenin bölgesel kalkınma açısından etkileri aşağıda listelenmektedir:

- Bu proje ile bölgenin ilgili paydaşlarının çevre/enerji/kalkınma sinerjisinde proje planlama ve uygulama konusunda farkındalığı artırılmış olacaktır. Böylece gelecek potansiyel yatırımlara ışık tutarak bölgesel kalkınmada etki yaratılacaktır.
- Ülkemizde entegre edilme çalışmaları sürdürülen döngüsel ekonomi modelinin, hızla büyümekte olan biyogaz sektöründe ele alınarak, TR71 Bölgesi'nin kalkınmasına ve ülke gelişmişlik ortalamalarına yaklaşmasında, somut çevresel ve ekonomik getirileri olacağı öngörülmektedir.
- Nutrientlerin geri kazanımı ile değerli ürün eldesi sayesinde ekonomiye katkıda bulunabilecek ürün potansiyeli yaratılmış olacaktır.

11. PROJE YÖNETİMİ VE UYGULAMA PROGRAMI

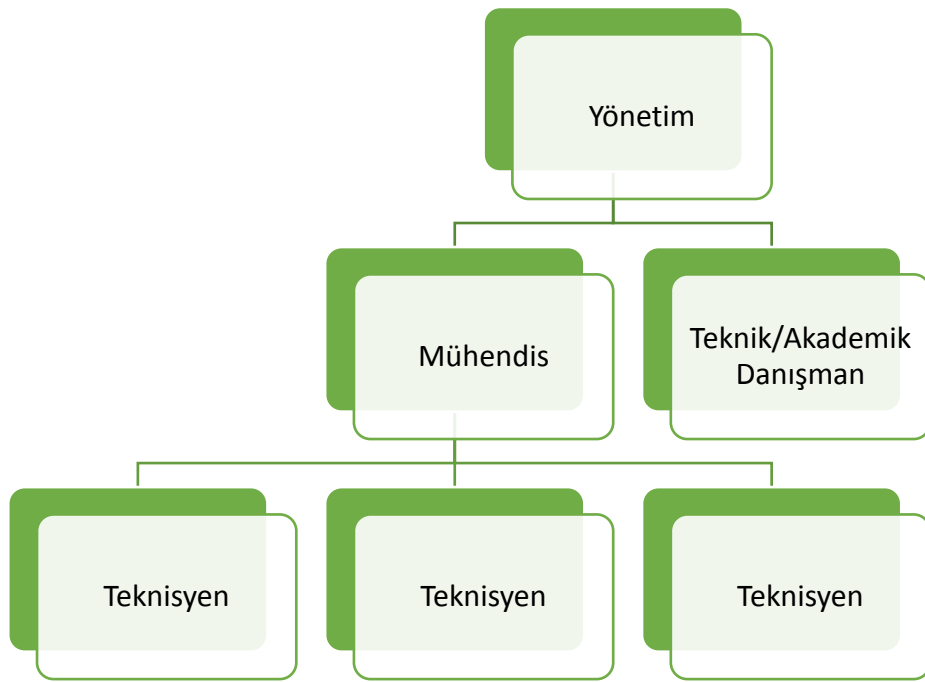
11.1. Proje Yürütücüsü Kuruluş ve Teknik Kapasitesi

Proje yürütücüsü kuruluş Kırıkkale Üniversitesi'dir. Uygulayıcı birim Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü'dür. Kırıkkale Üniversitesi Alg Kültür Laboratuvarı çatısı altında bugüne kadar mikroalg geliştirme eksenli pek çok çalışma yürütmüştür. Bu çalışmalar Kırıkkale Üniversitesi'ne mikroalgelere ilişkin tecrübe ve yetkinlik kazandırmıştır. Ayrıca, Ahiler Kalkınma Ajansı'nın desteğiyle kurulan çevre referans laboratuvarı çalışmalara altyapı oluşturmuştur. Alg türlerinin atıksu arıtma tesislerinde biyolojik arıtım ajanı olarak kullanılabilme olanaklarının araştırılması, mikroalg içeriği özelinde yapılan laboratuvar çalışmaları gibi geçmişte yürütülen çalışmalarla elde edilen bilgi birikimi, bu projeye aktarılmaktadır.

11.2. Proje Organizasyonu ve Yönetim

Proje, Kırıkkale Üniversitesi tarafından yürütülecektir. Projenin finansmanı bölümünde bahsedildiği üzere, proje, hibe desteklerine başvurarak Kırıkkale Üniversitesi Teknopark firması kurularak da hayata geçirilebilir. Bu durumda, kurulacak teknopark firması tesisin yönetimini ve insan kaynağını sağlayacaktır.

Proje aşamasında öngörülen insan kaynağı Kırıkkale Üniversitesi/Teknopark firması yönetimi yürütücülüğünde, 1 mühendis, 1 teknik/akademik danışman ve 3 teknisyendir (Şekil 11.1).



Şekil 11.1. Proje Organizasyon Şeması

Tesisin yıllık insan kaynağı giderleri, işletme kalemlerinin detaylı yer aldığı Tablo 7.5'te de belirtildiği üzere aşağıdaki gibidir.

Tablo 11.1. İnsan Kaynağı İşletme Maliyetleri

Kalemler	Toplam Maliyet (TL/Yıl)
Mavi Yakalı Personel	96.000
Süper Vizyon-Teknik/Akademik Danışman	108.000
Beyaz Yakalı Personel Maaş Giderleri	120.000

11.3. Proje Uygulama Planı ve Projede Kritik Aşamalar

Projenin uygulanması için toplam uygulama süresi Tablo 11.2’de gösterildiği gibi 12 aydır. Bu süre zarfında hazırlık-etüt ve proje, tesisat işleri (elektrik/elektronik altyapı, yapısal işlemler), makine-teçhizat, montaj/kurulum, işletmeye alma aşamaları gerçekleştirilecektir. Faaliyetlerden bazıları tabloda görüldüğü gibi paralel yürütülmeye çalışılacak, bazı faaliyetler ise bir önceki faaliyetin tamamlanmasından sonra başlayabilecektir. Son faaliyet işletmeye alma olup, önerilen mikroalg sistemi biyolojik bir sistem olduğundan kademeli bir şekilde kurulum aşamasında devreye alınmaya başlayacaktır.

Tablo 11.2. Uygulama Planı

Faaliyetler	AYLAR											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hazırlık-Etüt ve Proje												
Tesisat İşleri (Elektrik/elektronik altyapı, yapısal işlemler)												
Makine-Teçhizat												
Montaj/Kurulum												
İşletmeye Alma												
Tesisinin İşletilmesi												→

12. SONUÇ

12.1. Projenin Ticari ve Ekonomik Yapılabilirliği İle İlgili Sonuçlar

Biyogaz sistemlerine entegre olarak çalışacak mikroalg sistemi ile biyogaz atıksuyunun (sıvı kısmının) mikroalgler ile arıtılması üzerine bir mikroalg üretim tesisi fizibilitesi çalışılmıştır. Bu mikroalg üretim tesisi Aksaray’ın Merkez ilçesinde bulunan bir biyogaz tesisi yakınında 500 m² alana kurulacak, 360 gün operasyonda olacaktır. Tesis, foto-biyoreaktörler, hazırlama ünitesi, filtrasyon ünitesi, CO₂ besleme ünitesi, yardımcı üniteler (LED, ısıtmalı-soğutmalı sirkülasyon ünitesi, tanklar, pompalar, sensörler, otomasyon vb.) komponentlerinden oluşmaktadır. Reaktör olarak tüp tipi foto-biyoreaktörler ortalama üretim verimliliği ve dış ortam uyumluluğundan dolayı tercih edilmiştir.

Projenin sağlayacağı çevresel faydalar; biyogaz tesislerindeki atıksu sorununu çözerek doğaya verilen N ve P nutrientlerin azaltılmasını sağlamak, başta Kızılırmak olmak üzere önemli alıcı ortamlarda ötrofikasyon riskini ortadan kaldırmak, karbondioksit gibi önemi bir sera gazını tutarak iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunmak olarak sıralanabilir. Bu faydalar projenin parasallaştırılamayan önemli fayda ve maliyetleri olarak sunulmaktadır.

En kötü ve en iyi senaryolar baz alındığında alg üretim tesisinde günlük 6.000-18.600 L atıksu işlenebilecek, 3,6-225,1 kg günlük hasat alınabilecektir. Hali hazırda mikroalgler Türkiye’de yaygın bir şekilde ticareti yapılan ürünler değildir. O nedenle bu fizibilite çalışmasında literatür taraması, uluslararası başarılı örnekler ve ulusal bazı bilgilerden yararlanılmıştır. Alg pazarını domine eden mikroalgler bu projenin de konusu olan Chlorella ve Spirulina türleridir. Proje kapsamında üretilcek Chlorella ve Spriluna çeşidi alglerin piyasa değerleri 20,00 ABD Doları/kg olarak belirlenmiş ve tüm ticari ve ekonomik analizler bu fiyat üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ekonomik analizlerin sonucu aşağıda özetlenmektedir.

Tablo 12.1. Proje Ticari ve Ekonomik Analiz Sonuçları

Parametre	Değer
İlk Yatırım Maliyeti	20.448.791 TL
İskonto Oranı (Yıllık)	15%
İç Karlılık Oranı-İKO (IRR)	19,26%
Geri Ödeme Süresi	14,3 Yıl
Net Bugünkü Değer-NBD (NPV)	9.792.989 TL
Karlılık Endeksi (PI)	1,48
Ortalama Muhasebe Getirisi (AAR)	0,47
Fayda/Maliyet Oranı	1,94

12.2. Projenin Sürdürülebilirliği

Proje sahibi Kırıkkale Üniversitesi’dir. Kırıkkale Üniversitesi projenin sürdürülebilirliği temin edecek tüm imkanlarını kullanacaktır. Mikroalg sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ile geçmiş birikimlerin projeye aktarılmasıyla, ticari boyuttaki tesis için oluşabilecek teknik risklerin aşılabileceği öngörülmektedir. Atık su kirlilik yükünü ve sera gazı emisyonlarını azaltması gibi çevresel katkıları sebebiyle mikroalgler sürdürülebilir bir yaklaşım olacaktır.

Öte yandan, alg üretiminde büyük maliyetlerden bir tanesi karbondioksit temini iken, projede karbondioksitin (CO₂) biyogaz tesisinden temin edilecek olması maliyeti düşürücü niteliktedir. Genel çerçevede, alg üretiminin atıksu arıtımı ve biyogaz tesisinden CO₂ kullanımı gibi endüstriyel faaliyetler ile entegrasyonu, sürdürülebilirliğin en önemli boyutlarından biri olan ekonomik maliyetlerin azaltılmasında fayda sağlayacaktır. Biyogaz tesisleri için megawatt kurulu güç bazında 416,6 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır. Önerilen mikroalg sistemi yıllık 91,3 ton/yıl CO₂’ye ihtiyaç duyacaktır. Dolayısıyla lisanslı biyogaz tesislerinin kurulu güçleri düşünüldüğünde (en düşük kurulu güç 1 MW) herhangi bir biyogaz tesisinin elektrik

motorunda üretilen CO₂ miktarının ihtiyacı karşılayacağı görülmektedir. Öyle ki, yatırım yeri olarak seçilen Aksaray’da bulunan biyogaz tesisinin kurulu gücü 1,467 MW’tır. Bir biyogaz tesisinden atıksu ve CO₂ düzenli olarak çıkacak olduğundan ve çıkacak CO₂ miktarı alg üretim tesisinin ihtiyacını karşılayabileceğinden tesisin işletiminin sürdürülebilirliği sağlanacaktır.

12.3. Projeye İlişkin Temel Riskler

Yapılan fizibilite çalışmasında çeşitli atık sular değerlendirilmiş ve biyogaz tesisi atık suları seçilerek mikroalg üretim tesisi ile biyogaz atık sularının arıtılarak, ürün elde edilmesi planlanmıştır.

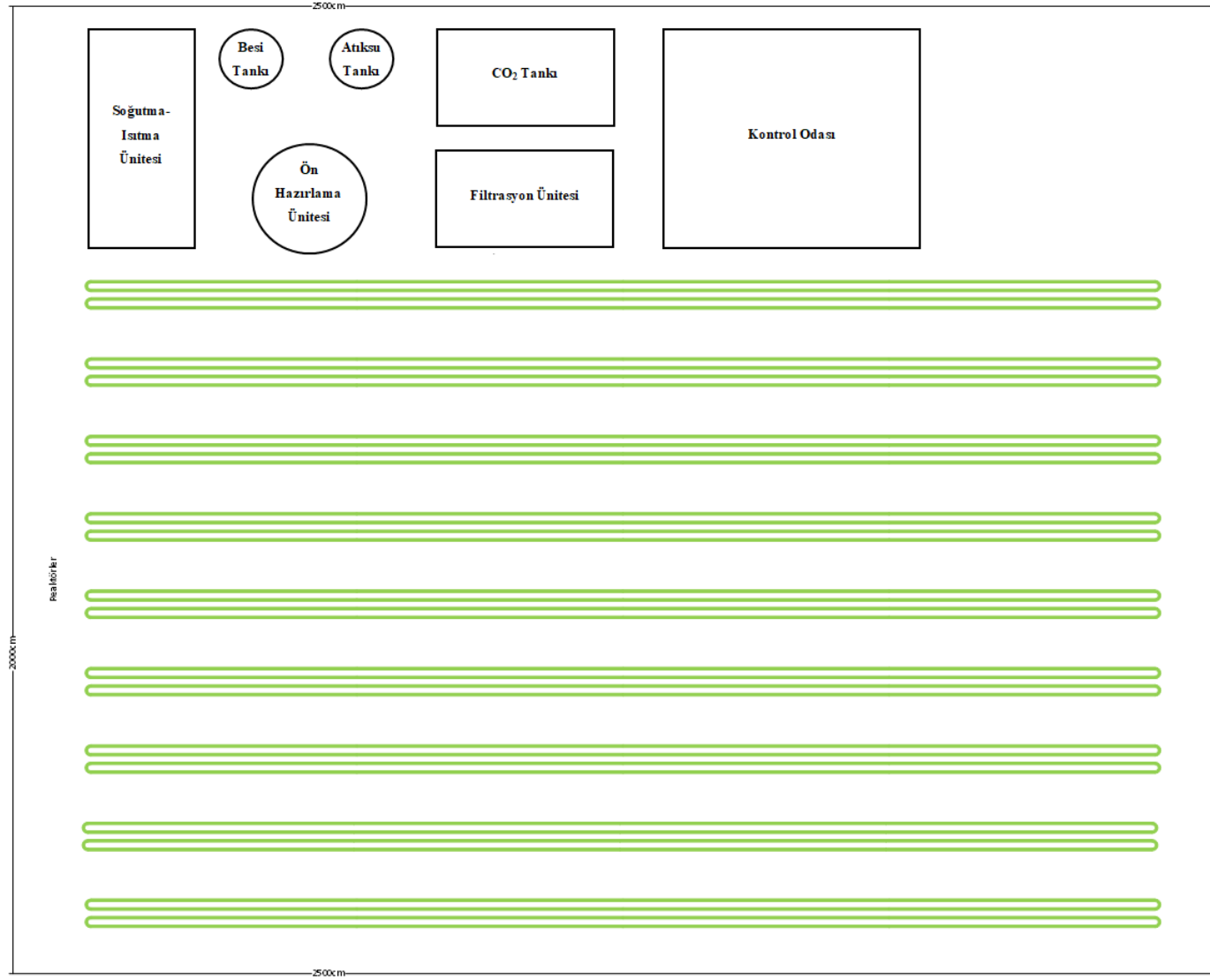
Projenin hayata geçirilmesi aşamasında yatırıma dair mali riskler öngörülmektedir. Bunlar;

- Döviz kurundaki dalgalanmalar (döviz fiyatındaki artışlar),
- Küresel Ekonomi,
- Tedarikçi firmaların fiyat politikalarındaki değişikliklerdir (ekipman fiyatlarındaki artışlar vb) olarak sıralanabilir.

Bu risklere yönelik alınabilecek tedbirlerin başında projenin hayata geçirilmesi için yatırım çalışmalarına hızlı bir şekilde başlanması ve yerli firmalara öncelik verilmesi gelmektedir.

13. EKLER

EK-1: Alg Üretim Tesisi Yerleşim Planı



14. KAYNAKÇA

- Acien, F.G., Gómez-Serrano, C. ve Fernández-Sevilla, J. M. (2018). Recovery of Nutrients From Wastewaters Using Microalgae. *Front. Sustain. Food Syst.* 2: 1–13. DOI: 10.3389/fsufs..00059.
- Acien, F.G., Molina, E., Reis, A., Torzillo, G., Zittelli, G.C., Sepúlveda, C., Masojídek, J. (2017). Photobioreactors for the production of microalgae. In *Woodhead Publishing Series in Energy, Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*, Woodhead Publishing, sf. 1-44.
- Ahiler Kalkınma Ajansı. (2016). TR71 Düzey 2 Bölgesi Bölge Planı 2014-2023, s.63.
- Ahiler Kalkınma Ajansı, 2016, TR71 Düzey 2 Bölgesi Bölge Planı 2014-2023, s.40
- Ahiler Kalkınma Ajansı, 2016, TR71 Düzey 2 Bölgesi Bölge Planı 2014-2023, s.72
- Ahiler Kalkınma Ajansı, 2016, TR71 Düzey 2 Bölgesi Bölge Planı 2014-2023, s.52
- Akçansa Çimento. (tarih yok). Üretim Prosesinde Mikroalgelerin CO₂ Tutucu Olarak Kullanımı
- Aksaray Ziraat Odası. (tarih yok). Tarım Profili. <http://aksaray.ziraatodasi.org.tr/tarim-profil>
- Biorizon Biotech. (2018). Sustainable Algae Biorefinery for Agriculture and Aquaculture. Cost and Economic Feasibility Guide for Large Scale Microalgal Biorefineries
- Burlew J. S. (1953). *Algal Culture from Laboratory to Pilot Plant*. Carnegie Institution Of Washington Publication 600 Washington, D. C. DOI:10.1093/aibsbulletin/3.5.11
- Choi H. ve Lee S-M. (2014). Effect of the N/P ratio on biomass productivity and nutrient removal from municipal wastewater. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 38: 10. 1007/s00449-014-1317-z.
- Collos, Y. ve Harrison, P.J. (2014). “Acclimation and toxicity of high ammonium concentrations to unicellular algae,” *Mar. Pollut. Bull.*, 80 (1–2):8–23. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.01.006.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). Kimyevi Gübre Kullanımı. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kimyevi-gubre-kullanimi-i-85833>

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (tarih yok). Biyogaz Kılavuzu – Üretimden Kullanıma, Türk-Alman Biyogaz Projesi. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/biyogaz%20kilavuzu%20pdf.pdf>
- Demirer GN. (2015). Mikroalgal ve Anaerobik Mikrobiyel Kültürlerin Kullanımı ile Entegre Besiyer Madde Giderimi, Sera Gazı Mitigasyonu ve Biyo-Yakıt ve Biyo-Ürün Eldesi. Tübitak 111Y205 nolu proje.
- Eker Ö. 2017. Gübre İthalatı ve İhracatı. <https://www.disticaret.biz.tr/2017/03/gubre-ithalati-ve-ihracati.html>
- Elcik H. ve Çakmacı M. (2017). Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32(3): 795-820
- EPDK. (tarih yok). Elektrik Piyasası Üretim Lisansları. <http://lisans.epdk.org.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretim/elektrikUretimOzetSorgula.xhtml>
- EPDK. (2019). Elektrik Piyasası Yıllık Rapor-Elektrik Piyasası Gelişim Raporları. <http://epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-102/yillik-rapor-elektrik-piyasasi-gelisim-raporlari>
- Grobbelaar JU. (1991). The influence of light/dark cycles in mixed algal cultures on their productivity. Bioresour. Technol. 38 (2–3): 189–194. DOI: 10.1016/0960-8524(91)90153-B.
- GTE. (2017). 1511-GDA-KTKM-2017-2 Doğal CO₂ Kullanarak Alglerden Gıda Takviyesi Elde Edilmesi, GTE Proje sunumu
- Jamilatun S, Budiman A, Budhijanto B ve Rochmadi R. (2017). Non-catalytic slow pyrolysis of spirulina platensis residue for production of liquid biofuel. Int. J. Renew. Energy Res., 7 (4): 1901–1908.
- Molina-Grima, E., Acien, G. ve Robles, A. (2007). Downstream Processing of Cell-Mass and Products. Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. sf. 215–252, doi: 10.1002/9780470995280.ch10.
- Ledda C, Romero Villegas GI, Adani F, Acien FG. ve Molina Grima E. (2015). Utilization of centrate from wastewater treatment for the outdoor production of Nannochloropsis gaditana biomass at pilot-scale. Algal Res., 12: 17–25. Doi: 10.1016/j.algal.2015.08.002.

- Ouali A, Jupsin H, Vassel JL ve Ghrabi A. (2015). Removal of E. coli and enterococci in maturation pond and kinetic modelling under sunlight conditions. Desalin. Water Treat., 53 (4): 1068–1074. Doi: 10.1080/19443994.2013.856350.
- Özçiçek E, Can E, Yılmaz K. ve Seyhaneyıldız CŞ. (2017). Usage of microalgae as a sustainable food source in aquaculture. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 34 (3): 347-354. DOI:[10.12714/egejfas.2017.34.3.15](https://doi.org/10.12714/egejfas.2017.34.3.15).
- Posadas E, García-Encina PA, Soltau A, Domínguez A, Díaz I ve Muñoz R. (2013). Carbon and nutrient removal from centrates and domestic wastewater using algal-bacterial biofilm bioreactors. Bioresour. Technol., 139: 50–58. Doi: 10.1016/j.biortech.2013.04.008.
- Rad F ve Şen I. (2014). Biyo-Ekonomi ve Su Ürünleri: Mavi Ekonomi ve Fırsatlar. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Biyo-ekonomi Çalıştayı. 7 Mayıs 2014.
- Ren HY, Liu BF, Kong F, Zhao L, Xie GJ ve Ren NQ. (2014). Energy conversion analysis of microalgal lipid production under different culture modes. Bioresour. Technol., 166: 625–629. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.05.106.
- Rosenberg JN, Oyler GA, Wilkison L ve Betenbough M. (2008). A green light for engineering algae: redirecting metabolism to fuel biotechnology revolution. Current Opinion in Biotechnology, 19:430-436.
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2017). *İllerin ve Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması SEGE-2017*. Ankara: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü.
- Sayadi M.H., Ahmadpour N., Fallahi Capoorchali, M., Rezaei, M.R. (2016). Removal of nitrate and phosphate from aqueous solutions by microalgae: An experimental study. Global J. Environ. Sci. Manage. ,2(3): 357-364.
- Sayaner, O. (2013). Mikroalg yetiştiriciliği yoluyla baca gazı kaynaklı karbondioksit azaltımı, İTÜ Yüksek lisans tezi.
- Solovchenko, A., Verschoor, A.M., Jablonowski, N.D. ve Nedbal, L. (2016). Phosphorus from wastewater to crops: An alternative path involving microalgae. Biotechnol. Adv., 34 (5): 550–564. Doi: 10.1016/j.biotechadv.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2019). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), Bölüm 2.4.

- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2016). Kızılırmak Havzası Hassas Su Kütleleri İyileştirme Eylem Planı, s.1,2.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2010). Havza Koruma Eylem Planı-Kızılırmak Havzası, s.32.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (tarih yok). Biyokütle. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle>
- Terry KL. (1986). Photosynthesis in modulated light: Quantitative dependence of photosynthetic enhancement on flashing rate. *Biotechnol. Bioeng.*, 28 (7): 988–995. DOI: 10.1002/bit.260280709.
- TİM. (2021, Mayıs). *İhracat Rakamları*. Türkiye İhracatçılar Meclisi: <https://tim.org.tr/tr/ihracat-rakamlari>.
- Torzillo G, Pushparaj B, Masojidek J. ve Vonshak A. (2003). Biological constraints in algal biotechnology. *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, 8 (6): 338–348. DOI: 10.1007/BF02949277.
- Turkish Alibaba. (tarih yok). <https://turkish.alibaba.com/product-detail/food-cosmetics-fish-feed-sale-microalgae-extract-powder-chlorella-vulgaris-60752705787.html?spm=a2700.8699010.normalList.113.34cc4c59W2chj4>
- Turkish Alibaba. (tarih yok). https://turkish.alibaba.com/product-detail/bio-chlorella-microalgae-powder-factory-supply-private-label-tablet-60834757487.html?spm=a2700.md_tr_TR.maylikeexp.1.2ad8282cSgOi4l
- TÜİK. (2021). *TR71 Kırıkkale-Aksaray-Niğde-Nevşehir-Kırşehir İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu.
- TÜİK. (2021, Haziran). İstatistik Veri Portalı. İstihdam, İşsizlik ve Ücret : <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Istihdam,-Issizlik-ve-Ucret-108>
- TÜİK. (2020). Turkish GHG Inventory 1990-2018, sf. 435. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/tur-2020-nir-13apr20.zip>
- Ülgüdür N. (2019). Treatment and Valorization of Anaerobic Digestate (Doktora Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Voort, MPJ, van der Vulsteke E, Visser CLM de. (2015). Macro-economics of algae products, Public Output report of the EnAlgae project, Swansea, June 2015, 47.



Ahiler Kalkınma Ajansı

Cevher Dudayev Mah. Vatan Cad. No:42/1 Merkez / NEVŞEHİR

T: +90 384 214 36 66 F: +90 384 214 00 46

<https://www.ahika.gov.tr/> E-mail: info@ahika.gov.tr

Eylül 2021

ISBN: 978-605-80925-7-0

“Kalkınma Ajansı Yayınları Bedelsizdir, Satılamaz”