



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



İstanbul İli Atık Su ve CO₂ Arıtımı ile Mikroalgal Biyodizel Üretimi Ön Fizibilite Raporu





T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



İstanbul İli Atık Su ve CO₂ Aritımı ile Mikroalgal Biyodizel Üretimi Ön Fizibilite Raporu



2021
TEMMUZ

RAPORUN KAPSAMI

Bu ön fizibilite raporu, özel sektör yatırımcıları, sanayiciler, melek yatırımcılar ve risk sermayedarları için proje havuzu çalışması amacıyla İstanbul ilinde Atık Su ve CO₂ Artırımıyla Mikroalgal Biyodizel Üretim Tesisi kurulmasının uygunluğunu tespit etmek, yatırımcılarda yatırım fikri oluşturmak ve detaylı fizibilite çalışmalarına atlık oluşturmak üzere Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı koordinasyonunda faaliyet gösteren İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanmıştır.

HAKLAR BEYANI

Bu rapor, yalnızca ilgililere genel rehberlik etmesi amacıyla hazırlanmıştır. Raporda yer alan bilgi ve analizler raporun hazırlandığı zaman diliminde doğru ve güvenilir olduğuna inanılan kaynaklar ve bilgiler kullanılarak, yatırımcıları yönlendirme ve bilgilendirme amaçlı olarak yazılmıştır. Rapordaki bilgilerin değerlendirilmesi ve kullanılması sorumluluğu, doğrudan veya dolaylı olarak, bu rapora dayanarak yatırım kararı veren ya da finansman sağlayan şahıs ve kurumlara aittir. Bu rapordaki bilgilere dayanarak bir eylemde bulunan, eylemde bulunmayan veya karar alan kimselere karşı Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile İstanbul Kalkınma Ajansı sorumlu tutulamaz.

Bu raporun tüm hakları İstanbul Kalkınma Ajansı'na aittir. Raporda yer alan görseller ile bilgiler telif hakkına tabi olabileceğinden, her ne koşulda olursa olsun, bu rapor hizmet gördüğü çerçevenin dışında kullanılamaz. Bu nedenle; İstanbul Kalkınma Ajansı'nın yazılı onayı olmadan raporun içeriği kısmen veya tamamen kopyalanamaz, elektronik, mekanik veya benzeri bir araçla herhangi bir şekilde basılamaz, çoğaltılamaz, fotokopi veya teksir edilemez, dağıtılamaz, kaynak gösterilmeden iktibas edilemez.

İÇİNDEKİLER

1.	YATIRIMIN KÜNYESİ	4
2.	EKONOMİK ANALİZ	6
2.1.	Sektörün Tanımı	6
2.2.	Sektöre Yönelik Sağlanan Destekler	12
2.2.1.	Yatırım Teşvik Sistemi	12
2.2.2.	Diğer Destekler	13
2.3.	Sektörün Profili	15
2.4.	Dış Ticaret ve Yurt İçi Talep	23
2.5.	Üretim, Kapasite ve Talep Tahmini	28
2.6.	Girdi Piyasası.....	29
2.7.	Pazar ve Satış Analizi.....	32
3.	TEKNİK ANALİZ	38
3.1.	Kuruluş Yeri Seçimi	38
3.2.	Üretim Teknolojisi	40
3.3.	İnsan Kaynakları	48
4.	FİNANSAL ANALİZ	51
4.1.	Sabit Yatırım Tutarı.....	51
4.2.	Yatırımın Geri Dönüş Süresi.....	53
5.	ÇEVRESEL VE SOSYAL ETKİ ANALİZİ	54

TABLolar

Tablo 1: Bazı Biyodizel Kaynaklarının Karşılaştırılması	8
Tablo 2: Bazı Mikroalg Türlerinin Yağ İçeriği.....	9
Tablo 3: Mikroalgal Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Karşılaştırılması	11
Tablo 4: Farklı Alg Türlerinin Motor Performansına Etkileri	11
Tablo 5: Türkiye’de 2015-2020 Yılları Arasında Gerçekleşen Biyoyakıt Üretim Miktarları (Ton).....	18
Tablo 6: Dünya Biyodizel Üretim Miktarı (Günde Bin Varil Petrol Eşdeğeri).....	20
Tablo 7: Dünya Biyodizel Tüketim Miktarı (Günde Bin Varil Petrol Eşdeğeri)	21
Tablo 8: Dünya Genelinde Algal Biyoyakıt Üreten Başlıca Firmalar	22
Tablo 9: 2016-2020 Yılları Petrol Piyasası İthalat Genel Görünümü (Ton).....	24
Tablo 10: 2016-2020 Yılları Petrol Piyasası İhracat Genel Görünümü (Ton)	25
Tablo 11: Türkiye’de Biyodizel Firmalarının İhracat Miktarları (Ton).....	27
Tablo 12: Türkiye’nin Son Yılda En Çok Motorin İhracat ve İthalatı Yaptığı Ülkeler ve Miktarları (Ton)	27
Tablo 13: İşletmeye Geçtikten Sonra Hedeflenen Yıllık Ürün ve Enerji Üretim Miktarları	29
Tablo 14: Algal Hammadde ve Kimyasal Girdi Fiyatları	29
Tablo 15: İstanbul’da Son 10 Yılda Evsel/Endüstriyel Temin Edilen Atık Su Miktarları (m ³)	31
Tablo 16: Baca Gazı ve Saf Karbondioksit Satış Fiyatları (\$)	32
Tablo 17: Algal Biyodizel Üretim Tesisi Ürün ve Servislerin Birim Satış Fiyatı	32
Tablo 18: Şehirlerarası Teknolojik Altyapı Endeksi	34
Tablo 19: Bazı Dağıtıcı Lisanslı Petrol Firmaları ve Satış Potansiyelleri	35
Tablo 20: Yıllara ve Biyokütleye Göre Biyodizel Fabrika Çıkış Fiyatları	35
Tablo 21: Türkiye’de Bulunan Biyodizel Üretim Tesisleri	38
Tablo 22: İstanbul’da Bulunan Organize Sanayi Bölgeleri	39
Tablo 23: Tesiste Kullanılacak Küçük Ölçekli Makine ve Ekipmanların Ortalama Fiyatı	48
Tablo 24: Tesiste Kullanılacak Büyük Ölçekli Makine ve Ekipmanların Ortalama Fiyatı	48
Tablo 25: İstanbul İli Nüfusunun Eğitim Kademelerine Göre Durumu	48
Tablo 26: İstanbul İli Çalışma Çağındaki Nüfus (15-64 yaş arası) İstatistikleri	49
Tablo 27: İstanbul İli Çalışma Çağındaki Nüfus (15-64 yaş arası) İstatistiklerinin İl Nüfusuna Oranı ...	49
Tablo 28: İstanbul İli Genç Nüfus (15-24 yaş arası) İstatistikleri	50
Tablo 29: İstanbul İli Genç Nüfus (15-24 yaş arası) İstatistiklerinin İl Nüfusuna Oranı	50
Tablo 30: İstanbul İli İstihdam Durumu (15-24 yaş arası)	50
Tablo 31: İstihdam Edilecek Personelin Unvanları, Sayıları, Maaş Bilgileri	50
Tablo 32: Yatırıma Konu Ürün Üretimi Konusunda Önde Gelen 5 Ülke ile Ülkemiz Maaşlarının Karşılaştırılması.....	51
Tablo 33: Algal Biyodizel Üretim Tesisi Girdi/Üretim Miktarları	52
Tablo 34: Algal Biyodizel Üretim Tesisi Genel Bilgileri ve Sabit Maliyetleri	52
Tablo 35: Algal Biyodizel Üretim Tesisi Gelir Kalemleri	53
Tablo 36: Mikroalgal Yatırımların Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine Etkileri.....	56

ŞEKİLLER

Şekil 1: Mikroalgal Biyokütle.....	6
Şekil 2: Petrol Dizelinin ve Biyodizelin Moleküler Yapısı.....	8
Şekil 3: Dünya ve Türkiye’de Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı	15
Şekil 4: Dünya Biyodizel Pazarı Gelişimi.....	17
Şekil 5: Avrupa Biyodizel Sektörü Üretim ve Kapasite Miktarları-Türkiye Biyodizel Harmanlama Miktarları ve Kapasite Kullanım Oranları	17
Şekil 6: Türkiye’de Biyodizel Yetki Belgesi Bulunan Tesislerin Coğrafi Dağılımı	18
Şekil 7: Dünya Geneli Biyoyakıt Üretimi (Günde Bin Varil Petrol Eşdeğeri)	19
Şekil 8: Dünya Geneli Biyoyakıt Tüketimi (Günde Bin Varil Petrol Eşdeğeri)	20
Şekil 9: Ülke/Bölge ve Yakıt Türüne Göre 2016-2022 Yılları Arasında Biyoyakıt Üretimi	23
Şekil 10: 2017-2020 Yılları Petrol Piyasası Genel Görünümü	26
Şekil 11: 2020 Yılı Ürün Türlerine Göre Arz-Talep Dengesi (Ton).....	26
Şekil 12: Dünya Biyodizel Pazarı	28
Şekil 13: İstanbul İklim Haritası	40
Şekil 14: Raceway Açık Havuz Algal Üretim Reaktörleri	41
Şekil 15: Kapalı Sistem Fotobiyoreaktörlerde Algal Üretim Sistemleri.....	41
Şekil 16: Algal Yağlardan Biyodizel Üretimi Kimyasal Reaksiyonu (Transesterifikasyon)	44
Şekil 17: 100-ha Algal Biyokütle Üretim Tesisi Tasarımı	46
Şekil 18: 4-ha Algal Havuz Tasarımı	47
Şekil 19: Mikroalgal Biyoyakıt Üretiminin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	54

İSTANBUL İLİ ATIK SU VE CO₂ ARITIMI İLE MİKROALGAL BİYODİZEL ÜRETİMİ ÖN FİZİBİLİTE RAPORU

1. YATIRIMIN KÜNYESİ

Yatırım Konusu	<i>Atık Su ve CO₂ Arıtımıyla Mikroalgallı Biyodizel Üretimi</i>	
Üretilecek Ürün/Hizmet	<i>Biyodizel, Biyogaz, Gliserin, Atık Su Arıtımı</i>	
Yatırım Yeri (İl-İlçe)	<i>İstanbul-Tuzla</i>	
Tesisin Teknik Kapasitesi	<i>49.300 bbl/yıl Biyodizel</i>	
Sabit Yatırım Tutarı	<i>110.200.000\$</i>	
Yatırım Süresi	<i>2 Yıl</i>	
Sektörün Kapasite Kullanım Oranı	<i>%95-100</i>	
İstihdam Kapasitesi	<i>62 Kişi</i>	
Yatırımın Geri Dönüş Süresi	<i>8,5 Yıl</i>	
İlgili NACE Kodu (Rev. 3)	<i>20.59.13 – Biyodizel, vb. biyoyakıt imalatı (Bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen uzun zincirli yağ asitlerinin mono alkil esterleri) (%70 veya daha fazla petrol yağı ile karıştırılmış biyodizelden ürünler hariç)</i>	
İlgili GTİP Numarası	<i>382600100011 – Hacim itibariyle %96,5 veya daha fazla yağ asidi metil esterleri içerenler (YAME/BIODİZEL)</i>	
Yatırımın Hedef Ülkesi	<i>Yurtiçi ve Yurtdışı</i>	
Yatırımın Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına Etkisi	Doğrudan Etki	Dolaylı Etki
	<i>Amaç 13: İklim Eylemi</i>	<i>Amaç 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji</i>
Diğer İlgili Hususlar	<i>Ön fizibilitenin tasarımı için alg havuzlarının toplam alanı 400 hektar olarak kabul edilmiştir. Toplam 13.600 ML/yıl atık su girişi ve 28.900 mt/yıl hasat edilmiş biyokütle ile hem petrol hem de biyogaz düşünüldüğünde tesisin toplam enerji üretimi 556.000 x 10³ MJ/yıl'dır.</i>	

Subject of the Project	<i>Biodiesel Production from Microalgae by Wastewater and CO₂ Treatment</i>	
Information about the Product/Service	<i>Biodiesel, Biogas, Glycerin, Wastewater Treatment</i>	
Investment Location (Province-District)	<i>İstanbul-Tuzla</i>	
Technical Capacity of the Facility	<i>49,300 bbl/yr</i>	
Fixed Investment Cost	<i>110,200,000\$</i>	
Investment Period	<i>2 Years</i>	
Economic Capacity Utilization Rate of the Sector	<i>95-100%</i>	
Employment Capacity	<i>62 People</i>	
Payback Period of Investment	<i>8.5 Years</i>	
NACE Code of the Product/Service (Rev.3)	<i>20.59.13 - Biodiesel, etc. manufacture of biofuels (mono alkyl esters of long-chain fatty acids from vegetable and animal oils) (excluding products from biodiesel mixed with petroleum oil of 70% or more)</i>	
Harmonized Code (HS) of the Product/Service	<i>382600100011 - Containing 96.5% or more fatty acid methyl ester by volume (YAME/BIODIESEL)</i>	
Target Country of Investment	<i>Global</i>	
Impact of the Investment on Sustainable Development Goals	<i>Direct Effect</i>	<i>Indirect Effect</i>
	<i>Goal 13: Climate Action</i>	<i>Goal 7: Affordable and Clean Energy</i>
Other Related Issues	<i>For the design of the pre-feasibility, the total area of the algae ponds was considered as 400 hectares. With a total of 13,600 ML/year wastewater input and 28,900 mt/year harvested biomass, the total energy production of the facility is 556,000 x 10³ MJ/year when both oil and biogas are considered.</i>	

2. EKONOMİK ANALİZ

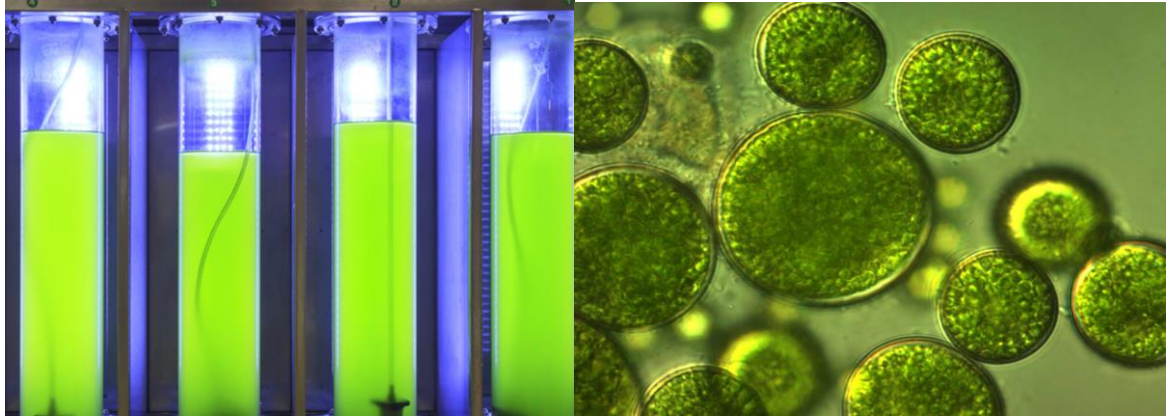
2.1. Sektörün Tanımı

Fosil yakıtın tükenmesi, enerjiye artan talep ve küresel iklim değişikliği endişeleri, insanlığı alternatif bir sürdürülebilir yakıt kaynağı bulma araştırmalarına yönlendirmiştir. Bu kapsamda bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, evsel/endüstriyel atık yağlar biyoyakıt üretimi için bir hammadde olarak görülmüştür. Fakat özellikle bitkisel yağlardan üretilen biyoyakıtlar, tarım arazilerine ihtiyaç duymaları, soya, ayçiçeği, kanola gibi gıda mahsulleri ile rekabet etmeleri, temiz su kaynaklarını tüketmeleri nedeniyle 2018 yılında Renewable Energy Directive II ile 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kategorisinde en fazla %1,7 ile sınırlandırılmıştır. Buna karşın mikroalgler, biyoyakıt üretimi için potansiyel bir hammadde olarak ortaya çıkmıştır. Algler, kerosen yağı ve biyodizel gibi farklı yakıt türlerine dönüştürülebilir %20-80 oranında yağ içeriğine sahiptir. Alglerden dizel üretimi ekonomik ve kolaydır. Buna ek olarak, mikroalgler, tarım arazilerine veya ekolojik peyzajlara ihtiyaç duymadan kültürebilmektedir. Ayrıca küresel iklim değişikliğini önlemek için, atık su arıtma ve karbondioksit tutma teknolojilerine entegre sistemler halinde artırım teknolojilerini kullanabilmek için olanak sağlar. *Tribonema*, *Chlorella*, *Nannochloropsis* gibi farklı türler biyodizel üretimi için iyi bir potansiyele sahiptir. Gen teknolojisi, yağ ve biyodizel içeriklerinin üretimini ve alglerin stabilitesini arttırmak için kullanılabilir. Genetik ifadeleri artırarak, yakıt eksikliğini gidermek için gerekli biyoyakıt miktarlarına kolayca ve sürekli olarak ulaşmanın yolları halihazırda akademilerde araştırılmaya devam edilmektedir (Khan, ve diğerleri, 2017; Sharma, Saharia, Srivstava, Kumar, & Sahoo, 2018).

- **Mikroalgler**

Algler, deniz yosunları (makroalgler) ve mikroalgler olarak bilinen çok çeşitli mikroorganizmaları içeren O₂ üretebilen, fotosentetik organizmaların (ve ikincil olarak fotosentetik olmayan evrimsel torunların) polifiletik, yapay bir topluluğudur. Ökaryotik alg grupları, bazıları geleneksel olarak mantar ve protozoa olarak tanınan protistleri içeren en az beş farklı evrimsel soyu temsil eder. Deniz, tatlı su ve kara habitatlarında her yerde bulunan ve geniş biyokimyasal çeşitliliğe sahip olan alg türlerinin sayısının, bir ila on milyon arasında olduğu tahmin edilmektedir. Biyokimyasal çeşitliliğin ve birçok biyoteknolojik ve endüstriyel uygulamanın temelini oluşturmaktadırlar (Metting, 1996). Şekil 1'de mikroalgal biyokütleye ait örnek resimler verilmiştir.

Şekil 1: Mikroalgal Biyokütle



Mikroalglerin kimyasal bileşimi, içsel bir sabit olmamakla birlikte hem türlere hem de yetiştirme koşullarına bağlı olarak çok çeşitli faktörlere göre değişmektedir. Bazı mikroalgler, çevresel değişkenliğe tepki olarak kimyasal bileşimlerini değiştirerek çevresel koşullardaki değişikliklere uyum sağlama kapasitesine sahiptir. Özellikle fosforu tükenmiş ortamlarda fosfolipidleri fosfor olmayan membran lipidleri ile değiştirme yetenekleri vardır (Bonachela, Raghieb, & Levin, 2011). Sıcaklık, aydınlatma, pH, CO₂ temini, tuz ve besin maddeleri gibi çevresel faktörleri değiştirerek mikroalglerde istenilen ürünleri büyük ölçüde biriktirmek mümkündür.

Mikroalgler, besin döngüsünde ve inorganik karbonun organik moleküllere sabitlenmesinde ve deniz biyosferinde oksijenin üretilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Balık yağı, omega-3 yağ asidi içeriği ile bilinmektedir fakat aslında balıklar omega-3 üretmezler, bunun yerine mikroalg tüketerek

omega-3 rezervlerini biriktirirler. Bu omega-3 yağ asitleri, insan diyetinde doğrudan onları üreten mikroalglerden elde edilebilir. Ayrıca mikroalgler, türlere ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak önemli miktarda protein biriktirebilir. Ekilebilir olmayan arazilerde büyüme yetenekleri nedeniyle mikroalgler, insan tüketimi veya hayvan yemi için alternatif bir protein kaynağı sağlayabilir. Mikroalg proteinleri ayrıca gıda endüstrisinde hayvan bazlı proteinlerin yerine koyulaştırıcı ajanlar veya emülsiyon ve köpük stabilizatörleri olarak kullanılabilirler (Becker, 2007). Bazı mikroalgler, ekstrakte edilebilen ve renklendirici olarak kullanılabilen klorofil, karotenoidler veya fikobiliproteinler gibi kromoforları da biriktirebilirler (Hu, Nagarajan, Zhang, Chang, & Lee, 2018).

- **Biyoyakıtlar**

Biyoyakıtlar, mevcut motor teknolojileriyle uyumlulukları nedeniyle, mevcut petrol bazlı yakıtların bir alternatiftir. Biyoenerji kullanımı genel olarak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve fosil yakıtları ikame etmek için zorunludur.

Birinci nesil biyoyakıtlar şeker, nişasta ve bitkisel yağdan yapılmaktadır. Etanol, propanol ve bütanol gibi biyolojik olarak üretilen yakıtlar, şekerlerin veya nişastaların veya selülozun fermantasyonu yoluyla mikroorganizmaların ve enzimlerin etkisiyle üretilmektedir. Birinci nesil biyoyakıt süreçleri faydalıdır, ancak gıda kaynaklarını ve biyoçeşitliliği tehdit etmeden yeterli biyoyakıt üretmeyecekleri nedeniyle sürdürülebilir değildir. Birinci nesil biyoyakıtların çoğu sübvansiyonlara bağlıdır ve petrol gibi mevcut fosil yakıtlarla maliyet açısından rekabetçi değildir. Üretim ve ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar göz önüne alındığında, birinci nesil biyoyakıtların yaşam döngüsü değerlendirmesi sıklıkla geleneksel fosil yakıtlarinkini aşmaktadır. İkinci nesil biyoyakıtlar lignoselülozik bitkilerden elde edilmektedir. Bu üretim teknolojisi, bir bitkinin lignin ve selülozunun ayrılmasını sağlar, böylece selüloz fermente edilerek alkole dönüştürülebilir. Bu biyoyakıtlar, herhangi bir organik karbon kaynağını tanımladığı için farklı biyokütle türlerinden üretilir. İkinci nesil biyoyakıt teknolojileri, birinci nesil biyoyakıt üretiminin sınırlamaları olduğu için geliştirilmiştir. İkinci nesil biyoyakıtlar bu sorunları çözebilir ve daha büyük çevresel faydalarla sürdürülebilir ve ekonomik olarak daha büyük oranda biyoyakıt sağlayabilir. İkinci nesil biyoyakıt proseslerinin amacı, biyokütle kullanılarak sürdürülebilir bir şekilde üretilebilecek biyoyakıt miktarını artırmaktır.

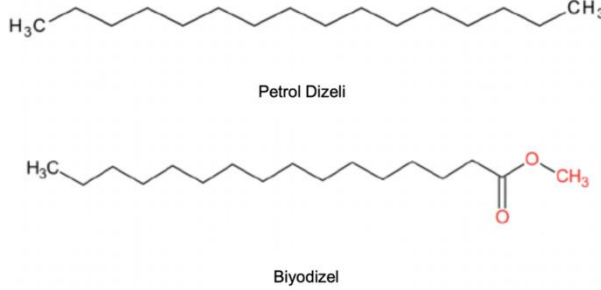
Üçüncü nesil biyoyakıtlar, daha çok karbon yakalama teknolojisine sahip olan, gıda sektörü ile rekabet etmeyen biyokütlelerden elde edilen biyoyakıtlardan oluşmaktadır. Algler, enerji piyasasında tamamen devrim yaratma potansiyeline sahip oldukları için güçlü bir biyoyakıt kaynağı olarak görülmektedirler. Alglerin büyümek için yalnızca CO₂, besin, su ve güneş ışığına ihtiyaç duymaları nedeniyle birçok avantajı vardır. Dahası alg kültürleri atık su içinde de büyütülebilmektedir, bu da tatlı su ortamı ihtiyacını ortadan kaldırdığı için maliyeti daha da düşürmektedir. Ek olarak, yenilenebilir biyoyakıtların geleneksel yakıtlara kıyasla çok uygun bir enerji verimine sahip olduğu kanıtlanmıştır, bu da gereken enerjiye kıyasla kazanılan enerjinin çok daha yüksek olduğu ve çok daha düşük bir karbon ayak izini koruduğu anlamına gelmektedir. Laboratuvar ve pilot ölçek çalışmalarına dayanarak, alglerin, soya fasulyesi gibi arazi mahsullerinden dönüm başına 30 kata kadar daha fazla enerji üretebildiği bilinmektedir. Fosil yakıtların (petrol) arzının azalmasıyla, alg kültürüne çok fazla ilgi duyulmaktadır. Birçok biyoyakıtın diğer yakıt türlerine göre en büyük avantajı, biyobozunur olmaları ve dolayısıyla çevreye zararsız olmalarıdır. Özellikle Amerika başta olmak üzere birkaç şirket ve devlet kurumu, sermaye ve işletme maliyetlerini düşürme ve alg yakıtı üretimini ticari olarak uygulanabilir hale getirme çalışmalarını finanse etmektedir (Dahman, Syed, Begum, Roy, & Mohtasebi, 2019).

- **Biyodizel**

Bitkisel biyoyakıtlar 10 yıllık bir süreçten itibaren ulaşım ve sanayi sektörlerinde petrol bazlı dizel yerine başarılı bir şekilde ticarileştirilmiştir. Dünya geneli toplam biyoyakıtın üretiminin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Biyodizel kimyasal olarak toksik değildir, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen bir yakıt türüdür. Yağ asidi metil esterlerinin karışımı olan biyodizel, genellikle hayvansal yağlardan veya kolza tohumu, mısır, soya fasulyesi, palmye ve hint fasulyesi gibi yağlı mahsullerden elde edilen yağın transesterifikasyonu ile üretilir. Bununla birlikte, bu hammadde kaynakları düşük yağ verimine sahiptir ve su, toprak ve gübreler için yüksek üretim maliyetleri gerektirmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir kalkınma arayışı içinde biyodizel üretimi için alternatif kaynaklar aramak önemlidir. Özellikle biyolojik karbon yakalama potansiyeline sahip yağ üretebilen

algler biyodizel üretimi için çok önemlidir ve sürdürülebilirliği regülasyonlar ile kanıtlanmıştır (Zhu, ve diğerleri, 2017). Petrol dizeli ile algal biyodizel arasındaki en temel farklardan biri yağ asidi zincirlerinin farklı olmasıdır. Bu durum ise motor performansta algal biyodizel ekstre avantaj sağlamaktadır. Şekil 2'de petrol dizelinin ve algal biyodizelin yapısal farklılıkları gösterilmektedir.

Şekil 2: Petrol Dizelinin ve Biyodizelin Moleküler Yapısı



- **Mikroalglerin Biyodizel Üretim Potansiyeli**

Amerika Birleşik Devletleri'nde tüketilen tüm transport yakıtının biyodizel ile değiştirilmesi, mevcut tüketim oranında yılda 0,53 milyar m³ biyodizel gerektirecektir. Yağ bitkileri, atık yemeklik yağlar ve hayvansal yağlar bu talebi gerçekçi bir şekilde karşılayamayacaktır. Ayrıca karbon yakalama teknolojilerinin olmaması, atık su bertarafı gerçekleştirilememeleri gibi sebeplerden dolayı çevreci özelliklerini kaybetmektedirler. Örnek olarak biyodizel ile mevcut ABD ulaşım yakıtı ihtiyacının sadece yarısının karşılanması, petrol ürünleri için sürdürülemez büyüklükte ekim alanları gerektirecektir. Çeşitli mahsullerden hektar başına ortalama yağ verimi kullanılarak, ABD transport yakıtı ihtiyacının %50'sini karşılamak için gereken ekim alanı Tablo 1, sütun 3'te belirtilmiştir. 4. sütunda bu alan, Amerika Birleşik Devletleri'nin toplam tarım alanının yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Yüksek verimli bir yağ bitkisi olan palmye yağı yetiştirilebilirse, transport yakıtı ihtiyacının sadece %50'sini karşılamak için toplam ekili arazinin %24'ünün ekime ayrılması gerekecektir. Açıkça görülüyor ki, bitkisel petrol ürünleri, yakın gelecekte petrolden üretilen sıvı yakıtların değiştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunamaz. Biyodizel üretmek için mikroalgler kullanılırsa, bu senaryo etkili bir biçimde değişmektedir. Toplam ABD tarım alanının %1 ila %3'ü, transport yakıtı ihtiyacının %50'sini karşılayan alg biyokütlesi üretmek için yeterli olacaktır. Tablo 1'de verilen mikroalgal yağ verimleri, fotobiyoreaktörlerde deneysel olarak kanıtlanmış biyokütle üretkenliğine dayanmaktadır. Hektar başına gerçek biyodizel verimi, Tablo 1'de verilen ana bitki yağı veriminin yaklaşık %80'idir (FB., 1996)

Tablo 1: Bazı Biyodizel Kaynaklarının Karşılaştırılması

Biyokütle	Yağ Verimi (L/ha)	İhtiyaç Duyulan Tarım Arazisi (M ha)	Mevcut ABD Tarım Alanının Yüzdesi ^a
Mısır	172	1.540	846
Soya	446	594	326
Kanola	1.190	223	122
Jatropha	1.892	140	77
Hindistan Cevizi Yağı	2.689	99	54
Palm Yağı	5.950	45	24
Mikroalg^b	136.900	2	1,1

Mikroalg^c	58.700	4,5	2,5
-----------------------------	--------	-----	-----

^a Amerika Birleşik Devletleri'nin tüm ulaşım yakıtı ihtiyacının %50'sini karşılamak için.

^b Biyokütlede %70 yağ (ağırlıkça).

^c Biyokütlede %30 yağ (ağırlıkça).

Kaynak: Priyadarshani & Rath, 2012

Tablo 1'e göre, mikroalgler, fosil dizeli tamamen yerinden etme potansiyeline sahip tek biyodizel kaynağı olarak görünmektedir. Diğer yağ bitkilerinden farklı olarak, mikroalgler son derece hızlı büyür ve birçoğu yağ açısından son derecede zengindir. Mikroalgler genellikle 24 saat içinde biyokütlerini ikiye katlamaktadırlar. Üstel büyüme sırasında biyokütle ikiye katlanma süreleri genellikle 3,5 saat kadardır ve kısadır. Tablo 2'de görüldüğü üzere mikroalglerdeki yağ içeriği, kuru biyokütlenin ağırlıkça %80'ini geçebilir. %20-50 arası yağ seviyeleri oldukça yaygındır. Yağ verimliliği veya algal biyokütlede birim hacim başına üretilen yağ kütlesi, alg büyüme hızına ve biyokütlenin yağ içeriğine bağlıdır. Biyodizel üretimi için yüksek yağ verimine sahip mikroalgler tercih edilmektedir.

Mikroalgler türlere bağlı olarak birçok farklı türde lipit, hidrokarbon ve diğer karmaşık yağlar üretmektedir. Tüm alg yağları biyodizel yapmak için yeterli veya uygun değildir, ancak uygun yağlar yaygın olarak bulunmaktadır. Biyodizel üretmek için mikroalg kullanmak, mahsullerden elde edilen gıda, yem ve diğer ürünlerin üretiminden bitkisel biyokütlede olduğu gibi ödün vermemektedir. Potansiyel olarak, mikroalgler yerine, şeker gibi doğal bir organik karbon kaynağı üzerinde yetiştirilen yağ üreten heterotrofik mikroorganizmalar biyodizel yapmak için kullanılabilir; bununla birlikte heterotrofik üretim, fotosentetik mikroalg kullanımı kadar verimli değildir. Bunun nedeni, heterotrofik mikroorganizmaların büyümesi için gerekli olan yenilenebilir organik karbon kaynaklarının, genellikle ekin bitkilerinde nihayetinde fotosentez yoluyla üretilmesidir.

Tablo 2: Bazı Mikroalg Türlerinin Yağ İçeriği

Mikroalg	Yağ İçeriği (% Kuru Kütle)
<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
<i>Chlorella sp.</i>	28–32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca sp.</i>	16–37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis sp.</i>	25–33
<i>Monallanthus salina</i>	20
<i>Nannochloris sp.</i>	20–35
<i>Nannochloropsis sp.</i>	31–68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–54
<i>Nitzschia sp.</i>	45–47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30
<i>Schizochytrium sp.</i>	50–77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23

Kaynak: Chisti, 2007

Mikroalglerde lipid birikiminden abiyotik faktörler sorumludur. Bunlar arasında besin eksikliği veya stres, özellikle nitrojen veya fosfat, mikroalgal trigliserit (TAG) birikimindeki artış için etkili olarak bilinmektedir. Mikroalgal suşların lipid üretkenliği türe özgüdür ve tuzluluk, gelen ışığın yoğunluğu ve sıcaklık gibi abiyotik faktörlere bağlıdır. Daha önceki çalışmalar, ışık yoğunluğunun belirli yoğunluklarda azaltılmasının biyokütle verimliliğinde belirgin bir artışı ortaya çıkaracağını

belirtmektedir. Bunun nedeni, hücrelerin karanlık döngü frekansında bir artışa neden olan ve böylece reaksiyon merkezi başına daha yüksek ışık darbe hızı sağlayan kültürün yüzeyinde sağlanan ışık radyasyonudur.

Ökaryotik organizmaların (algler) büyümesi için gerekli hayati bileşenler çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) gibi algal yağ içeriğini etkileyebilmektedirler. Bunların arasında, dokosaheksaenoik asit (C22:6) ve eikosapentaenoik asit (C20:5), farmasötik ve nutrasötik uygulamaları nedeniyle önemlidir. Mikroalgler, abiyotik stres ortamında PUFA'lar ile birlikte çok sayıda bileşik üretir. Mikroalglerin yetiştirme verimliliği, önemli ölçüde ışığın sınırlandırılmasına, suyun buharlaşmasına, sıcaklık dalgalanmasına, karışımdaki minimum yoğunluğa ve yetersiz karbondioksit mevcudiyetine bağlıdır. Karbondioksit, sıcaklık ve pH gibi büyüme parametreleri, üretim maliyeti ile fotobiyoreaktörün işletiminde optimize edilebilir ve kontrol edilebilir. Abiyotik stres faktörleri ROS (Reaktif Oksijen Türleri) oluşumundan ve lipid peroksidasyonundan sorumludur. Bu nedenle, abiyotik faktörlerin kontrolü artan PUFA içeriği sağlamakta ve böylece elde edilecek biyodizel miktarda artış gösterebilmektedir. PUFA'lar organizmada mevcut serbest radikalleri temizleyerek hücrel membranın onarım mekanizmalarına dahil olmaktadır. Deniz ekosisteminde, mikroalgler, ototrofik, heterotrofik ve miksotropik çevre koşullarında gelişebilen, bitkilerden daha kısa hasat süresine sahip olan, atmosferik CO₂'yi sabitleyebilen çoklu doymamış yağ asitlerinin (PUFA'lar) birincil üreticileridir, ışık enerjisini ve CO₂'yi karbonhidratlara, proteinlere ve lipid açısından zengin biyokütleyle dönüştürebilirler. Esas olarak PUFA'dan oluşan trigliseritler, yüksek doymamış yağ asitlerinin (C16 ve C18) kimyasal olarak kolza tohumu, hurma, soya fasulyesi yağı vb. bitkisel yağlara benzediği gözlenen mikrobiyal yağ bileşeni olarak kabul edilir. Özellikle C16 ve C18 yağ asitleri verimli biyodizel üretimi için gereklidir. Mikrobiyal yağın bu özellikleri esas olarak biyodizel kalitesinden sorumludur.

Lipidler genellikle hücre içinde birikir, bu nedenle hem laboratuvarında hem de büyük ölçekte lipid geri kazanım süreçleri karmaşıktır. Organik çözücülerle lipid ekstraksiyonu, genellikle hücre parçalanmasını kolaylaştırır. Mikrobiyal biyokütlenin susuzlaştırılması veya kurutulması işlemleri, hücrel parçalama yöntemlerini daha fazla enerji gerektiren ve pahalı hale getirmektedir. Otoklavlama, bead beating, yüksek hızlı homojenizasyon, yüksek basınçlı homojenizasyon, ekstraksiyon için ultrasonikasyon, mikrodalga ışıması ve termoliz hücre duvarını kırmak için uygulanan yöntemlerdir. Mikrobiyal dönüşüm, sıvılaştırma, gazlaştırma, yakma, piroliz, transesterifikasyon gibi çok sayıda kimyasal yöntemle yenilenebilir enerjiye dönüştürülebilir. Biyokütle dönüşümündeki en büyük engel, hücre duvarı bileşenlerinin karmaşık hücrel yapısıdır. Hücre duvarına bağlı organik bileşikler, biyolojik olarak parçalanabilirliğe karşı direnç gösteren hemiselüloz ve selülozdan oluşmaktadır. Selüloz ve hemiselüloza dayalı hücre duvarı sertliği, polimerin biyolojik olarak parçalanabilirliğini sağlamaktadır. Bu nedenle biyokütle ön işleme, hücre duvarı sindirilebilirliğini ve biyoyakıt gibi biyoürünlerin üretimini kolaylaştırmak için gereklidir. Mekanik, termal, biyolojik ve kimyasal gibi ön işlemler algal hücre duvarı parçalamada yaygın olarak kullanılmaktadır (Ananthi, Brindhadevi, Pugazhendhi, & Arun, 2021).

• Mikroalgal Biyodizelin Motor Performans Özellikleri

Setan sayısı, biyoyakıtın kimyasal bileşimi ile veya yağ asidi metil ester (YAME) bileşimi ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Biyodizelin çeşitli kimyasal ve fiziksel özellikleri motorun performansına ve emisyon özelliklerine katkıda bulunmaktadır. Biyodizel genellikle kütlece yaklaşık %10 oksijen içerir, bu da yanma performansını ve emisyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Biyodizel kullanımı içerik bileşenleri açısından yanmamış hidrokarbonlar (HC), partikül madde (PM) ve karbonmonoksit emisyonlarını azaltmaktadır. Lipit içeriği ve YAME profili aynı alg türü için de değişken olabilmektedir, bu nedenle alg suşu seçimi, biyodizel üretimi için büyük ölçekli yetiştirmede maliyet ve zamanı azaltmak adına en önemli adımlardan biridir. Doymuş yağ asitleri yakıt özelliklerinde önemli bir rol oynamaktadır. Setan sayısı doymuş yağ asitlerinin içeriği ile artmaktadır. Kısacası algal suş seçimi, yetiştirme yöntemi, kültür koşulları ve alglerin kimyasal bileşimi, üretim maliyetlerini ve aynı zamanda motorun performansını ve egzoz emisyonlarını güçlü bir şekilde etkilemektedir. Tabloda mikroalglerden elde edilen biyodizelin ASTM standartları (Amerikan standartları) ile temel özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3: Mikroalgal Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Karşılaştırılması

Yakıt Özellikleri	Dizel Yakıt (ASTM D7675)	Biyodizel (ASTM D6751)	Algal Biyodizel
Yoğunluk (g/cm ³)	0.84-0.90	0.86-0.90	0.85-0.87
Kinematik Viskozite (mm ² /s)	1.9-4.1	1.9-6.0	2.0-5.2
Isıtma Değeri (MJ/kg)	40-45	39	37-41
Asit Değeri (mg KOH/g)	0.7-1.0	0.5	0.37-0.42
İyot Değeri (g l/100 g)	120	25	19.0
Parlama Noktası (°C)	62	100	115
Akma Noktası (°C)	-16	-11.6	-6
Setan Sayısı	60	47	37-72

Kaynak: Piloto-Rodriguez, Sanchez-Borroto, Melo-Espinosa & Verhelst, 2017

Algal biyokütle içerisindeki doymuş yağ asitleri motor performansında daha verimli setan sayısı, oksidatif stabilite, yanma sıcaklığı ve viskozite sağlamaktadır. Daha yüksek doymuş yağ asitleri içeriği soğuk akışı kötüleştirir ancak oksidatif stabiliteyi ve yanmayı iyileştirir. Daha yüksek doymamış yağ asidi içeriği ise, özellikle çoklu doymamış yağ asitleri, soğuk akışı iyileştirir ancak daha zayıf oksidatif stabiliteye ve yanmaya yol açar. Yağ asidi metil esterindeki (YAME) doymuş ve doymamış yağ asitlerinin toplam oranı biyodizel kalitesini belirleyen en önemli faktörlerdir. Bu nedenle, alg biyodizel yağ asidi profilinin incelenmesi, ticari bir ürünü ortaya çıkarmanın ilk adımındır. Bu konu ile ilgili olarak Tablo 4'te farklı alg türlerinin motor performansına sağladığı etkiler belirtilmiştir (Piloto-Rodriguez, Sánchez-Borroto, Melo-Espinosa, & Verhelst, 2017)

Tablo 4: Farklı Alg Türlerinin Motor Performansına Etkileri

Mikroalg	Harmanlama Oranı (%)	Motor Özellikleri	Bulgular
<i>Spirulina sp.</i>	B100	Tek silindirli, dört zamanlı, 17,5 Sıkıştırma oranı, 3,7 kW	B100 kullanılırken fren termal verimliliğinde, torkta, egzoz gazı sıcaklığında, karbondioksit nitrojen oksitinde azalma, SFC'de artış
<i>Chlorella</i>	B0, B100, ham alg yağı	Kirloskar dizel motor, tek silindirli, su soğutmalı, kapasite 5.2 kw	CO, Yanmamış Hidrokarbonlar, NOx ve Duman Opaklığı emisyonlarının azaltılması
<i>Scenedesmus obliquus</i>	B10, B20	Kirloskar, tek silindirli dört zamanlı, su soğutmalı, dizel motor	B20 için daha düşük BSFC, EGT, daha yüksek fren termal verimliliği, daha düşük emisyonlar

<i>Chlorella vulgaris</i>	B10, B20	Kirloskar TV-I DI, dört zamanlı, tek silindirli, kapasite 3.6kw, su soğutmalı	B20 için NOx, CO ve hidrokarbon emisyonlarında azalma
<i>Schizochytrium sp.</i>	B20, B40 ve B60	Kirloskar, AV1, tek silindirli, dikey, dört zamanlı, kapasite 3.7kw	Zayıf atomizasyon ve yükselen egzoz gazı sıcaklıkları daha düşük termal verim, daha düşük HC, daha yüksek BSFC, NOx ve CO verdi, ateşleme gecikmesinde azaldı
<i>Ankistrodesmus braunii ve Nannochloropsis brauni</i>	B0, B50, ham alg yağı	Ricardo E6 tek silindirli, dolaylı enjeksiyonlu dizel motor	Motorun çıkış torkunun düşürülmesi ve yanmadan kaynaklanan gürültünün artması, motorun sıkıştırma oranının azalması yanma gürültüsünün azalmasına neden olmuştur.

Kaynak: Murad & Al-Dawody, 2020

Çalışmaya konu yatırımların İstanbul'da çevrede ve atmosferde kirlilik yaratan atık suların ve CO₂'in yarattığı problemleri önlemek için bu kaynakları mikroalgler yardımıyla arıtarak ve absorbe ederek elde edilen biyokütleden biyodizel üretimi tesislerine yönelik olması nedeniyle ilgili NACE kodu "Biyodizel, vb. biyoyakıt imalatı (bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilen uzun zincirli yağ asitlerinin mono alkil esterleri) (%70 veya daha fazla petrol yağı ile karıştırılmış biyodizelden ürünler hariç) (20.59.13)" olarak tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında özellikle mikroalgal biyokütleden biyodizel üretilmesine yönelik tesislere odaklanılacağı için ilgili GTİP numarası "GTİP: 382600100011 YAME/Biodizel; ağırlık itibarıyla yağ asiti metil esterleri >= %96,5, petrol/bitümenli mineral yağı oranı < %70" olarak belirlenmiştir.

2.2. Sektöre Yönelik Sağlanan Destekler

2.2.1. Yatırım Teşvik Sistemi

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yayımlanan 2012/3305 sayılı "Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Karar" uyarınca, "Teknolojik dönüşümü sağlayacak yüksek ve orta-yüksek teknoloji içeren yatırımlar" kapsamında yatırım konusu 'Öncelikli Yatırımlar' olan girişimler aşağıdaki Yatırım Teşvik Uygulamalarından faydalanmaya hak kazanmaktadır.

Öncelikli yatırımlar kapsamında 'Atık Su ve CO₂ Arıtımıyla Mikroalgal Biyodizel Üretim Tesisi' aşağıdaki yatırım konularında hizmet etmektedir;

- Enerji Verimliliğine Yönelik Yatırımlar
- Savunma Alanındaki Yatırımlar
- Çevre Lisansına Tabi Yatırımlar
- AR-GE ve Çevre Yatırımları

Yatırım Teşvik Uygulamaları;

Gümrük Vergisi Muafiyeti: Var

Katma Değer Vergisi İstisnası: Var

Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği: 7 yıl

Vergi İndirimi: Yatırıma Katkı Oranı %40, Vergi İndirim %80

Yatırım Yeri Tahsisi: Var

Faiz-Kâr Payı Desteği: TL 5 puan, Döviz 2 puan İndirimli, (TOSHP kapsamında yüksek teknoloji üründe 10)

Yukarıdaki vergi indirimi teşvikleri, imalat sanayiine yönelik (US-97 Kodu:15-37) düzenlenen yatırım teşvik belgeleri kapsamında, 1/1/2017 ve 31/12/2022 tarihleri arasında gerçekleştirilecek yatırım harcamaları için yatırıma katkı oranı geçerli olan yatırıma katkı oranına 15 puan ilave edilmek suretiyle, vergi indirimi oranı %100 oranında ve yatırıma katkı tutarının yatırım döneminde kullanılabilir oranı %100 olarak uygulanır.1.-5. bölgelerde yapılacak yatırımlar için 5. Bölge desteği, 6. bölgelerde yapılacak yatırımlar için 6. Bölge desteği uygulanır. TCMB kaynaklı yatırım taahhütlü Avans Kredileri için 5 puan faiz desteği uygulanır. 2017-2021 yılında imalat sektöründe gerçekleştirilecek teşvik belgeli tüm yatırımlara ilişkin bina-inşaat harcamaları KDV iadesinden yararlanabilmektedir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

Ayrıca biyodizel üretimi kapsamında ÖTV muafiyeti hakkında 31 Aralık 2013 tarihli ve 28868 sayılı Resmî Gazete'de 29 Seri No.lu Özel Tüketim Vergisi Genel Tebliği yayımlanmıştır. Teslim edilen oto biodizelli motorine harmanlanmış olan oto biodizel veya motorin için ödenen ÖTV'nin, Özel Tüketim Vergisi Kanununun 9 uncu maddesi hükmüne indirimi mümkündür. Buna göre oto biodizelli motorinin satılan kısmında yer alan gerek oto biodizel gerekse motorin miktarına ilişkin ödenen ÖTV tutarı, (1) numaralı ÖTV beyannamesinin "İstisnalar ve İndirimler" bölümünün "İndirimler (Üretime Giren Mal İçin)" kısmında beyan edilmek suretiyle hesaplanan ÖTV'den indirilebilecektir. Bu uygulama kapsamındaki ÖTV iadesini harmanlayıcılar talep edebilecektir. Kararname uyarınca oto biodizelli motorinin teslim edilmiş olduğunun tespiti halinde, bu malın ÖTV tutarı teslim edilmiş maldaki oto biodizel miktarının toplam harmanlanmış mal miktarına oranı kadar eksik uygulanacaktır. Ancak bu orana göre belirlenen vergi tutarları, motorin türleri için (I) sayılı listenin (A) cetvelinde belirlenmiş olan vergi tutarlarının %98'inden az olamayacak, %98'den az olması halinde ise bu vergi tutarlarının %98'i dikkate alınacaktır. Oto biodizeli motorine ilişkin iadesi talep edilebilecek ÖTV tutarı aşağıdaki formüller uygulanmak suretiyle hesaplanabilecektir. Bu formüllerin uygulanması sonucu bulunan vergi tutarlarında virgülden sonraki 4 hane dikkate alınacaktır (T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı, 2013).

Oto Biodizelli Motorine Kararname Uyarınca Uygulanacak Birim ÖTV Tutarı = Motorin İçin Uygulanan Birim ÖTV Tutarı x (1- Oto Biodizel Miktarı/Oto Biodizelli Motorin Miktarı)

İfadeye Konu Edilebilecek Birim ÖTV Tutarı = Motorin İçin Uygulanan Birim ÖTV Tutarı-Oto Biodizelli Motorine Kararname Uyarınca Uygulanan Birim ÖTV Tutarı

Ayrıca Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu 16.06.2017 tarihli 30098 sayılı Resmî Gazete'de "Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ" yayımlamıştır. Bu tebliğ, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, bitkisel atık yağların etkin olarak geri kazanımının sağlanması, çevre kirliliğinin azaltılması ve Avrupa Birliği'nin yenilenebilir enerji politikalarına uyum sağlanması amacıyla hazırlanmıştır. Bu kapsamda dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolun üniteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en az %0,5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biodizelin harmanlanmış olması zorunludur. Bu maddenin birinci fıkrasında tanımlanan biodizel harmanlama yükümlülüğünden fazla olan veya eksik kalan biodizel miktarı gelecek takvim yılının yükümlülüğünün hesaplanmasında ayrıca dikkate alınacaktır (EPDK, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ, 2017).

2.2.2. Diğer Destekler

Atıktan enerji, karbon yakalama ve depolama teknolojileri, biyokütle enerjisi vb. konular TÜBİTAK, KOSGEB, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), HORIZON Programı tarafından öncelikli alanlar olarak vurgulanmış olup çeşitli araçlar ile desteklenmektedir. Dolayısıyla değerlendirilebilecek birçok ulusal ve uluslararası fon bulunmaktadır. Ulusal bazda verilen tüm destek tipleri ve destek veren kurumlar aşağıda belirtilmiştir. Destekler ile ilgili detaylar ve güncel bilgiler ilgili kurumların web sitelerinde yer almaktadır.

KOSGEB, AR-GE, ÜR-GE ve İnovasyon Destek Programı: AR-GE, ÜR-GE ve İnovasyon Destek Programından araştırma geliştirme ve inovasyon konularında projesi olan işletmeler/girişimciler ile ürün geliştirme konusunda projesi olan işletmeler yararlanabilir. AR-GE ve inovasyon projesi kapsamındaki başvuru sahiplerinin; yeni bir ürün/süreç/hizmet üretilmesi, mevcut bir ürün/süreç/hizmet geliştirilmesi, iyileştirilmesi, ürün kalitesi veya standardının yükseltilmesi veya

maliyet düşürücü nitelikte yeni tekniklerin, yeni üretim teknolojilerinin geliştirilmesi vb. konulardaki AR-GE ve inovasyon niteliği taşıyan projelerine destek sağlanır. ÜR-GE projeleri kapsamındaki başvuru sahiplerinin; değişen pazar taleplerine ve/veya teknolojik gelişmelere uyum sağlamaları amacıyla orijinal, iyileştirilmiş veya değiştirilmiş yeni bir ürün geliştirmeleri için gerçekleştirecekleri projelerine destek sağlanır. Proje süresi en az 8 ay ve en fazla 24 aydır. Bu sınırlar içinde olmak kaydıyla proje süresi, 4 ayın katları olacak şekilde başvuru sahibi tarafından belirlenir. Küçük işletmeler için 1.000.000 TL orta büyüklükteki işletmeler için 6.000.000 TL destek verilmektedir.

KOBİ TEKNOYATIRIM - KOBİ Teknolojik Ürün Yatırım Destek Programı: AR-GE/yenilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ürünler için yatırım projesi başvuruları için; en çok 5 yıl önce düzenlenmiş olmak üzere AR-GE projesini tamamladığını gösterir aşağıdaki belgelerden herhangi birine sahip olan, KOSGEB ve diğer kamu kurum ve kuruluşları, kanunla kurulan vakıflar veya uluslararası fonlar tarafından desteklenen AR-GE ve yenilik projelerinin başarıyla tamamlandığını gösteren belgesi olan veya, Patent belgesi olan veya, Doktora tezi konusu olan veya, Teknolojik Ürün (TÜR) Deneyim belgesi olan veya, Yurtiçi Teknoloji Geliştirme Bölgelerinde tamamlanmış AR-GE faaliyeti sonucu ortaya çıktığı belgelenen veya, Kamu AR-GE Merkezleri Enstitülerinde yürütülen AR-GE faaliyeti sonucu ortaya çıktığı belgelenen veya, 5746 sayılı kanun kapsamında kurulan AR-GE Merkezlerinde yürütülen AR-GE faaliyeti sonucu ortaya çıktığı belgelenen ve prototip çalışmasını tamamlamış ürün sahibi işletmeler veya her türlü kullanım hakkını süresiz olarak sözleşme ile hak sahibinden noter onaylı sözleşme ile devralmış işletmeler başvuru yapabilir. AR-GE/yenilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ürünlerin üretimini ve ticarileştirilmesini sağlamak amacıyla yapılan başvurularda düşük ve orta düşük teknoloji alanlarında verilecek desteklerin üst limiti geri ödemeli 700.000 TL ve geri ödemesiz 300.000 TL olmak üzere toplam 1.000.000 TL'dir. Orta yüksek ve yüksek teknoloji alanlarında verilecek desteklerin üst limiti geri ödemeli 4.200.000 TL ve geri ödemesiz 1.800.000 TL olmak üzere toplam 6.000.000 TL'dir. Yatırım proje süresi en fazla 36 aydır (KOSGEB, 2021).

TÜBİTAK 1501 Sanayi AR-GE Projeleri Destekleme Programı: Programa sadece KOBİ'ler başvuru yapabilmektedir. Sanayi Araştırma Teknoloji Geliştirme ve Yenilik Projeleri Destekleme Programı kapsamında, yenilik tanımı çerçevesinde; yeni bir ürün üretilmesi, mevcut bir ürünün geliştirilmesi, iyileştirilmesi, ürün kalitesi veya standardının yükseltilmesi veya maliyet düşürücü nitelikte yeni tekniklerin, yeni üretim teknolojilerinin geliştirilmesi konularında yürütülen AR-GE nitelikli projeler desteklenmektedir. Programda, proje toplam tahmini bütçesinin %25'ini ve 2.000.000 TL sınırını geçmemek üzere desteklenen projeler kapsamında kuruluşlara ön ödeme yapılabilir. Proje bütçesi 100.000.000 TL ve üzeri olan projelerde, proje kapsamında yapılacak transfer ödemelerinin her biri için 2.000.000 TL üst sınır uygulanmamaktadır.

TÜBİTAK 1505 Üniversite-Sanayi İşbirliği Destek Programı: Yenilik tanımı çerçevesinde; yeni bir ürün üretilmesi, mevcut bir ürünün geliştirilmesi, iyileştirilmesi, ürün kalitesi veya standardının yükseltilmesi veya maliyet düşürücü nitelikte yeni tekniklerin, yeni üretim teknolojilerinin geliştirilmesi konularındaki projeleri kapsar. Sektörüne bakılmaksızın firma düzeyinde katma değer yaratan, Türkiye'de yerleşik ve proje sonuçlarını Türkiye'de uygulamayı taahhüt eden sermaye şirketleri ile Yükseköğretim Kanunu kapsamında yer alan yükseköğretim kurumları, vakıf üniversiteleri, eğitim ve araştırma hastaneleri ve ilgili mevzuatında AR-GE yapmakla görevlendirilmiş kamu araştırma merkez ve enstitüleri ortak proje başvurusunda bulunur. Önerilen projenin bütçesi Proje Teşvik İkramesi (PTİ) ve Kurum Hissesi hariç en fazla 1.000.000 TL'dir.

1511-TÜBİTAK Öncelikli Alanlar Araştırma Teknoloji Geliştirme ve Yenilik P. D. P. (Teknoloji Odaklı Sanayi Hamlesi Programı): Öncelikli Alanlar AR-GE Projeleri Destekleme Programı Uygulama Esaslarında belirtilen şartları sağlayan, firma düzeyinde katma değer oluşturan Türkiye'de yerleşik tüm sermaye şirketleri proje başvurusunda bulunabilir. Öncelikli Alanlar AR-GE Projeleri Destekleme Programı ile, ulusal stratejik hedef ve politikalar kapsamında belirlenen öncelikli alanlarda; hedef ve ihtiyaç odaklı, izlenebilir sonuçları olan; yeni bir ürün üretilmesi, mevcut bir ürünün geliştirilmesi/iyileştirilmesi, ürün kalitesi veya standardının yükseltilmesi, maliyet düşürücü ve standart yükseltici yeni tekniklerin geliştirilmesi, yeni üretim teknolojilerinin geliştirilmesi konularında yürütülen AR-GE nitelikli projeler desteklenmektedir. Firmaların desteklenen proje giderlerine harcama sonrası büyük ölçekli kuruluşlar için %60, KOBİ'ler için %75 oranında geri ödemesiz (hibe) destek verilmektedir. Ayrıca, kuruluşlara %10 genel gider desteği uygulanır. Destek süresi, her çağrı duyurusunda belirtilir (Ulusal Destek Programları, 2021).

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Yatırıma Destek Platformu, Teknoloji Odaklı Sanayi Hamlesi Programı: AR-GE ve/veya yatırım harcaması toplamı 10 milyon TL'yi aşan proje bütçesi öngören her ölçekten özel sektör kuruluşları, çağrı dönemlerinde başvurabilmektedir. Programın amacı, aşağıda listesi yer alan orta-yüksek ve yüksek teknoloji seviyeli sektörlerdeki katma değeri yüksek ürünlerin ve bu sektörlerin gelişimi için kritik önemi haiz ürünlerin üretimini artırmaktır. AR-GE ve/veya üretim yatırımı desteklenecek ürünler tebliğ ile ilan edilmektedir. Program amacına uygun yatırım projeleri için AR-GE, ticarileşme, yatırım ve üretim süreçlerinden ilgili proje başvurusu kapsamında Komite tarafından gerekli ve uygun görülenlerin tamamını kapsayacak şekilde uçtan uca destek sağlanmaktadır. Yatırım Teşvik Belgesi: 2012/3305 sayılı Karar kapsamında Stratejik Yatırım Teşvik Belgesi, 2016/9495 sayılı Karar kapsamında Proje Bazlı Teşvik Belgesi (50 milyon TL ve üzeri sabit yatırım öngörülmesi halinde) (Teknoloji Odaklı Sanayi Hamlesi Programı, 2021)

Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), Yenilenebilir Enerji Desteği: Yenilenebilir Enerji Desteği Programı ile rüzgâr, güneş, biyokütle, biyogaz ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi ile ilgili yatırım projelerinin uygun şartlarda desteklenmesi ve sera gazı salımlarının azaltılmasına katkı sağlanması amaçlanmıştır. Destek miktarı en fazla 1.000.000\$'dır. Öncelikleri yerli teknoloji ve ekipman kullanımı, yenilikçi ve/veya ileri teknoloji (malzeme, elektronik, yazılım, vb.) uygulamaları ve üretilen enerjinin doğrudan sanayide kullanılmasıdır. Geri ödeme süresi 1 yılı geri ödemesiz toplam 4 yıldır (Faizsiz) (TTGV, 2021)

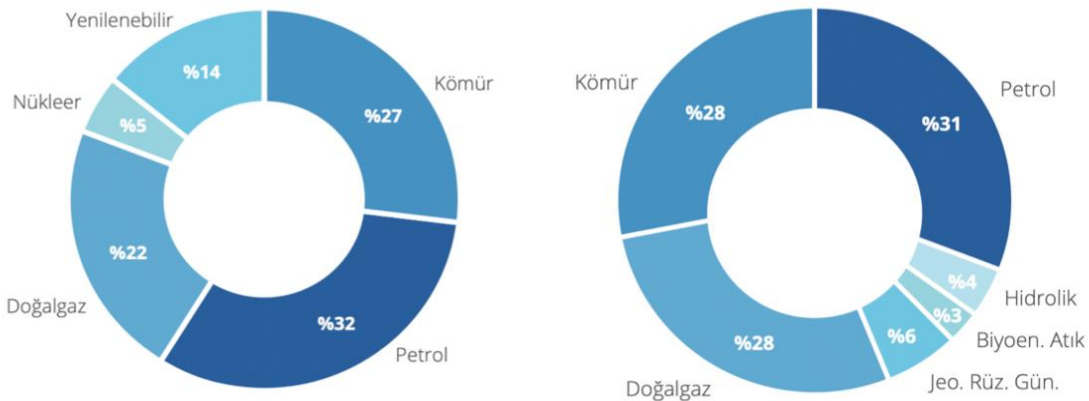
TÜBİTAK UFUK2020 Güvenli, Temiz ve Verimli Enerji: Güvenilir, Temiz ve Verimli Enerji (Secure, Clean and Efficient Energy) alanı, AB Ufuk2020 Programı, Toplumsal Sorunlara Çözümler bileşeni altında yer almaktadır. Alanın amacı güvenilir, düşük maliyetli, kamuoyu tarafından kabul görmüş, sürdürülebilir ve rekabetçi enerji sistemlerine geçişin sağlanmasıdır. Güvenilir, Temiz ve Verimli Enerji alanı, ağırlıklı olarak fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, artan enerji ihtiyacı ve iklim değişikliği gibi sorunlarla mücadele edilmesine odaklanılmıştır. Dolayısıyla, söz konusu alan aracılığıyla; AB'nin sera gazı emisyonlarının 1990 yılındaki seviyeye göre, 2030 yılına kadar en az %40 oranında azaltılması, enerji verimliliği yoluyla enerji tüketiminin %27 düşürülmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimindeki payının %27'ye çıkartılması, böylece AB'nin 2030 yılı iklim ve enerji hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkıda bulunulması hedeflenmektedir. Toplam proje bütçesi 5.9 milyon Avro'dur (HORIZON, 2020).

2.3. Sektörün Profili

- **Sektörün Genel Yapısı**

Dünya genelinde enerji tüketimi nüfusa bağlı olarak artmaktadır ve çoğu enerji kaynağı ağırlıklı olarak fosil kaynaklardan üretilmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) yayınladığı Dünya Enerji İstatistiklerine göre, 2016 yılında enerji arzında fosil yakıtların payının %81 olduğu, aynı yıl Türkiye değerlendirmesinde ise %87 olduğu, %13'lük payın da yenilenebilir enerji kaynakları tarafından oluşturulduğu görülmüştür. Dünya ve Türkiye'de birincil enerji arzında kaynak payları Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3: Dünya ve Türkiye'de Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı



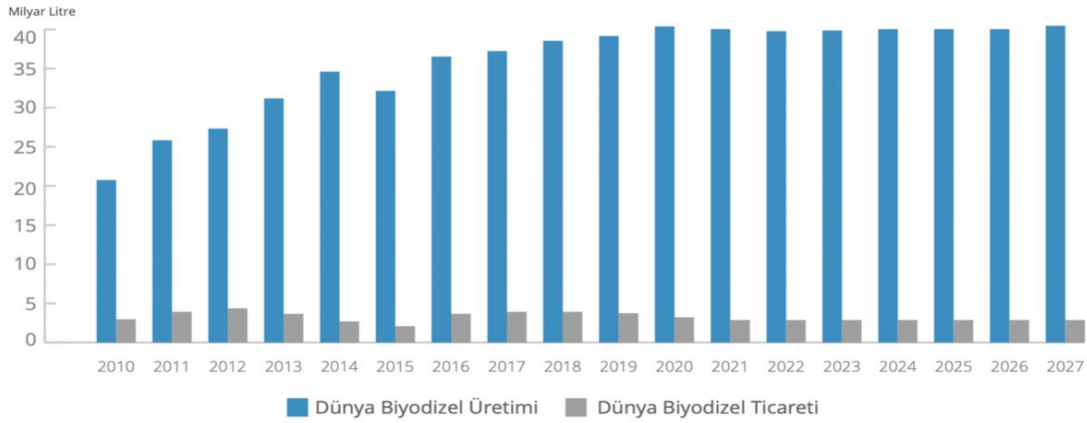
Kaynak: Biyodizel Sanayi Derneği, 2019

Ülkelerin enerji tasarrufuna yönelik benimsediği politikalar bugün enerji arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılığın azaltılması, çevrenin korunması ve iklim değişikliği ile mücadelede son derece kritik bir alan olarak görülmektedir. Özellikle 2015 yılında 195 katılımcı ülke tarafından imzalanan Paris İklim Sözleşmesi, iklim değişikliği ile mücadele konusunda bir milat olarak kabul edilmiş, bu doğrultuda “Avrupa Birliği Yenilenebilir Enerji Direktifi” 2018 yılında güncellenmiştir. “Yenilenebilir Enerji Direktifi”ne göre 2030 yılına kadar nihai tüketimde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %32’ye, ulaşımda yenilenebilir enerji kaynaklarının payının ise %14’e çıkarılması, sera gazı salınımlarının %40 oranında azaltılması hedeflenmektedir. Türkiye’de ise enerjinin verimliliğinin artırılması hedefi çerçevesinde 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu yürürlüğe girmiştir. 2017-2023 yılları arasında uygulanacak olan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamında içinde bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve yatay konular olmak üzere toplam 6 kategoride tanımlanan 55 eylem ile, Türkiye’nin enerji tüketiminin 2023 yılında 2011 yılına göre en az %20 azaltılması öngörülmektedir. Ulaşım sektörü %33’lük pay ile enerji tüketiminde Avrupa Birliği (AB) Ülkeleri’nde birinci sırada yer almaktadır, Türkiye’de ise ulaşım harcanan enerji %25 olarak belirlenmiştir. Karbon nötr/negatif ekonomiye adaptasyon sürecinde ulaşım sektöründe yenilenebilir enerji kaynakları kullanımında gelişmiş biyoyakıtlar en temel çözümlerden biridir (Biyodizel Sanayi Derneği, 2019).

Sıvı biyoyakıt tüketimi, net sıfır emisyon (NZE) senaryosunda, 2020’de 1,6 milyon varil petrol eşdeğerinden (mboe/d) 2030’da özellikle ağır hizmet kamyonlarında kullanım için 6 mboe/d’ye yükselmesi hedeflenmektedir. Sürdürülebilir biyoyakıtlar (algal biyoyakıtlar), petrol türevli yakıtlar için mevcut dağıtım ağlarını kullanabilmekte ve sadece küçük değişikliklerle veya hiç değişiklik yapılmadan araçlarda kullanılabilir. Bu sayede dünyanın net sıfır emisyon yolunda kalmasına yardımcı olmak için önümüzdeki on yılda karayolu taşımacılığı emisyonlarını kararlı bir şekilde azaltmak mümkündür. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)’na göre 2030’dan sonra, sıvı biyoyakıt kullanımının %90’ı gelişmiş biyoyakıtlar (algal biyoyakıtlar) olacaktır, günümüzde bu gelişmiş biyoyakıtlar %1’den daha azdır. Elektrik, karayolu taşımacılığına giderek daha fazla hâkim olduğundan, gelişmiş sıvı biyoyakıtların kullanımı ilerleyen dönemlerde, denizcilik ve havacılık gibi elektrikleştirilmesi daha zor alanlara kayacaktır. 2020’lerin sonlarından itibaren, gelişmiş sıvı biyoyakıtlar (algal biyoyakıtlar), alternatif düşük karbon seçeneklerinin sınırlı olduğu havacılıktan kaynaklanan emisyonların azaltılmasına önemli katkılar sağlamaya başlayacaktır. 2030 yılında jet kerosenin yerine kullanılan biyojet kerosen, havacılıktaki toplam yakıt tüketiminin yaklaşık %15’ini oluşturmaktadır ve 2050 yılına kadar sıvı biyoyakıt kullanımının neredeyse yarısı havacılık için kullanılacaktır. Ajansa göre yine 2050 yılında toplam biyoenerjinin yaklaşık %10’u karbon yakalama, kullanma ve depolama ile donatılmış tesislerde kullanılacaktır ve yaklaşık 1,3 milyar ton CO₂ tutacaktır. Bu CO₂’nin yaklaşık %45’i biyoyakıt üretiminde (algal biyoyakıtlar), %40’ı elektrik sektöründe ve geri kalanı, özellikle çimento üretimi olmak üzere ağır sanayide tutulacaktır.

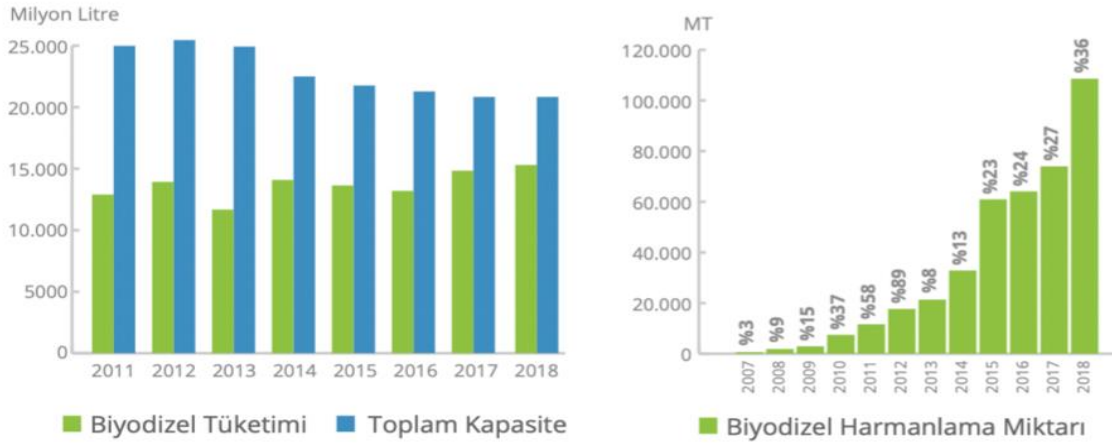
• Dünya ve Türkiye’de Sektörün Büyüklüğü

Dünya genelinde biyodizel üretiminin 2027 yılına kadar, 2017 seviyesinden %9 artışla 39,3 milyar litreye ulaşması beklenmektedir. Önümüzdeki yıllarda ülke politikalarının üretim modellerini olumlu yönde etkilemeye devam edeceği düşünülmektedir. Özellikle Avrupa Birliği’nin en büyük biyodizel üreticisi olacağı öngörülmektedir. Dünya biyodizel pazarı gelişimi Şekil 4’te verilmiştir. Dünyadaki ikinci büyük biyodizel üreticisi konumunda olan Amerika’nın üretiminin 2017 yılında 6,9 milyar litreden 2019 yılında 7,2 milyar litreye çıkması, üçüncü sırada yer alan Brezilya’nın ise küresel biyodizel üretiminin %50’sine katkıda bulunacak şekilde üretiminin 2027 yılında 5,6 milyar litreye yükselmesi beklenmektedir. Bu süreçte biyoyakıt piyasasının gelişim yönünü makroekonomik göstergeler, ulusal olarak benimsenen politikalar ve ham petrol fiyatları belirleyecektir (Biyodizel Sanayi Derneği, 2019).

Şekil 4: Dünya Biyodizel Pazarı Gelişimi

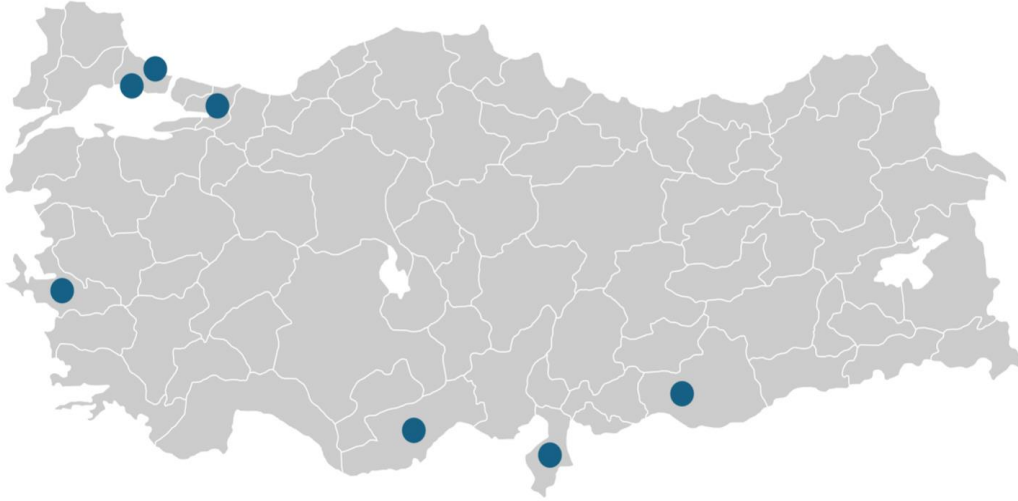
Kaynak: Biyodizel Sanayi Derneği, 2019

Ülkemizde 2017 yılında Avrupa Birliği Benzin ve Motorin Kalitesi Direktifi dikkate alınarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın "Benzin ve Motorin Türlerinin Çevresel Etkilerine Dair Yönetmelik" hazırlanmıştır. Yönetmelik kapsamında tanımlanan yakıtların ithalat, temin ve sunumunda EN 228 (Benzin) ve EN 590 (Motorin) standardı kapsamında EPDK tarafından belirlenen teknik özellikler esas alınmaktadır. 1 Ocak 2018 tarihinde yürürlüğe giren yönetmelik gereğince motorin türlerine %0,5 oranında biyodizel harmanlaması zorunluluğu getirilmiştir. Zorunluluğun ilk yılında motorine toplam 108.609 mt biyodizel harmanlaması gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda Türkiye'de aktif durumdaki 7 biyodizel tesisinde biyodizel üretimi ve satışı gerçekleştirilmektedir. EPDK verileri doğrultusunda son 5 yılın değerlendirilmesine bakıldığında, 2018 yılı itibariyle ülkemizde üretilen ve satışı gerçekleştirilen biyodizelde önceki yıllara oranla %40'lık bir artış yaşandığı görülmektedir.

Şekil 5: Avrupa Biyodizel Sektörü Üretim ve Kapasite Miktarları-Türkiye Biyodizel Harmanlama Miktarları ve Kapasite Kullanım Oranları

Kaynak: Biyodizel Sanayi Derneği, 2019

Türkiye'de gelişmiş biyoyakıt (algal biyoyakıt) üretimi bulunmamakla birlikte, hammadde olarak kullanılan biyokütleler bitkisel, hayvansal ve atık yağlardır. Bu kapsamda ikisi İstanbul'da olmak üzere Türkiye'de toplamda 6 adet bitkisel biyodizel üreticisi bulunmaktadır. Şekil 6'da gösterilen üreticiler halihazırda lisanslaması olan veya lisansı iptal edilmiş biyodizel üreticileridir. Halihazırda bitkisel biyodizel üretimi lisansı bulunan 6 firma: DB Tarımsal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İzmir), AVES Enerji Yağ ve Gıda Sanayi A.Ş. (Mersin), TBE Biyodizel Tarımsal Enerji (Kocaeli), Kolza Biyodizel (İstanbul), Deha Biyodizel (Kocaeli), Maysa Yağ Sanayi A.Ş. (İstanbul).

Şekil 6: Türkiye'de Biyodizel Yetki Belgesi Bulunan Tesislerin Coğrafi Dağılımı

Kaynak: Biyodizel Sanayi Derneği, 2019

Dünya genelinde biyoyakıt pazarını çoğunlukla atık yağ, bitkisel yağ veya hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel ve biyoetanol oluşturmaktadır. Gelişmiş biyoyakıtlar günümüzde hala %1'den azdır fakat regülasyonlar doğrultusunda bu oran 2030 yılında %3,5'a çıkartılırken, bitkisel biyodizel harmanlaması %1,7 ile sınırlandırılacaktır. Bu kapsamda bitkisel biyodizel üretimi sürdürülebilir değildir. Türkiye'de bitkisel biyoyakıt üreten firmalar Tablo 5'te listelenmiştir.

Tablo 5: Türkiye'de 2015-2020 Yılları Arasında Gerçekleşen Biyoyakıt Üretim Miktarları (Ton)

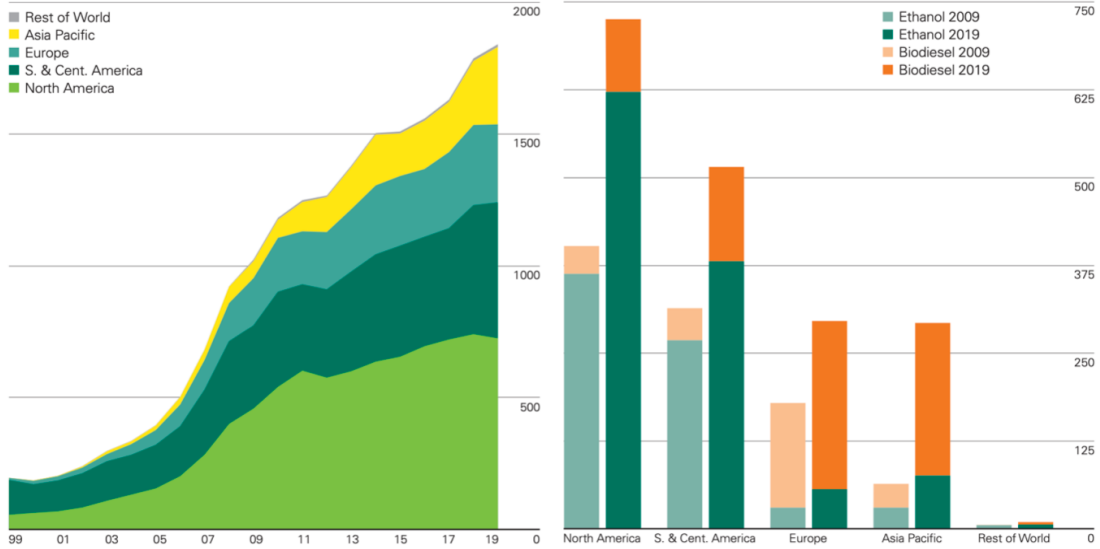
Firma	Ürünler	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DB Tarımsal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Biyodizel	58.707	32.792	44.432	74.791	83.771	58.678
Aves Enerji Yağ ve Gıda Sanayi A.Ş.	Biyodizel	2.982	6.225	5.979	9.758	8.018	14.805
TBE Biyodizel Tarımsal Enerji	Biyodizel	7.497	25.086	14.332	20.541	14.431	-
Kolza Biyodizel	Biyodizel	-	-	439	1.736	3.855	-
Ömer Bucak Sanayi	Biyodizel	-	-	-	215	386	650
Maysa Yağ Sanayi A.Ş.	Biyodizel	-	-	418	1.332	7.998	442
Tarımsal Kimya A.Ş.	Harmanlan Etanol	25.509	27.654	31.009	27.381	30.199	20.094

Konya Şeker A.Ş.	Harmanlanan Etanol	19.708	23.204	-	23.946	21.559	16.198
Tezlim Tarımsal Kimya A.Ş.	Harmanlanan Etanol	22.456	22.471	24.449	23.558	24.189	15.974
Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş.	Harmanlanan Etanol	-	-	23.405	299	1.435	-

Kaynak: EPDK, 2020

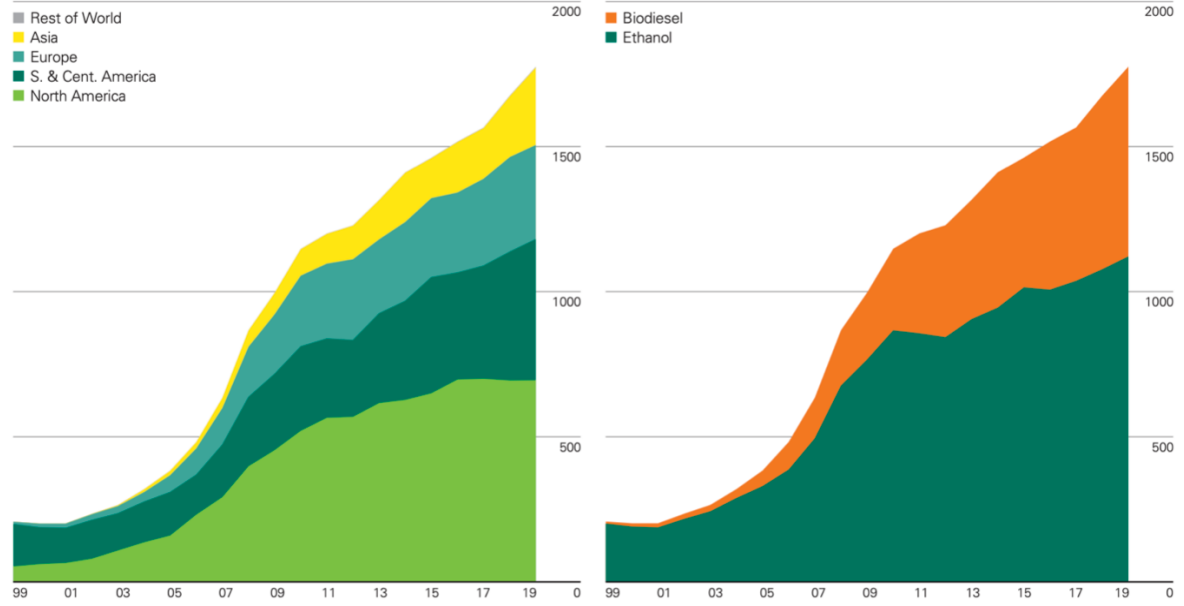
2016 yılında, etanol ve biyodizelin üretim ve toptan fiyatlandırılması için küresel pazar 136 milyar \$'ın üzerine çıkmıştır. 2024 yılına kadar pazarın yaklaşık 154 milyar \$'a ulaşması beklenmektedir. Dünya genelinde biyoyakıt üretim artışı ortalama %3 (günde 54.000 varil petrol eşdeğeri veya boe/gün)'tür. Büyümeye Brezilya (31.000 boe/gün) ve Endonezya (32.000 boe/gün) öncülük etmiştir, ancak ABD üretimi 19.000 boe/gün azalmıştır. Biyodizel, daha çok Avrupa ve Asya Pasifik'te baskın bir yakıttır (2019'da biyoyakıtların sırasıyla %81 ve %74'ünü oluşturmaktadır). Şekil 7'de Dünya geneli biyoyakıt üretim görüntüsü verilmiştir.

Şekil 7: Dünya Geneli Biyoyakıt Üretimi (Günde Bin Varil Petrol Eşdeğeri)



Kaynak: BP, 2020

Biyoyakıt tüketimi ise 2020 yılında dünya genelinde bir önceki yıla göre %6 oranında artmıştır (100.000 boe/gün). Üretimde olduğu gibi, büyümede de çoğunlukla baskın yakıtı etanol olan Brezilya (42.000 boe/gün) ve baskın yakıtı büyük ölçüde biyodizel olan Endonezya (56.000 boe/gün) rol oynamıştır. Küresel düzeyde, 2019'da biyoyakıtların %63'ünü etanol oluşturmuştur, ancak biyodizelin payı sürekli artmıştır. Örneğin biyodizelin payı 2009'da %23 iken 2020'de %37'ye yükselmiştir. Şekil 8'de dünya geneli biyoyakıt tüketimi belirtilmiştir.

Şekil 8: Dünya Geneli Biyoyakıt Tüketimi (Günde Bin Varil Petrol Eşdeğeri)

Kaynak: BP, 2020

Tablo 6 ve Tablo 7'de dünya genelinde biyodizel üretim ve tüketim miktarları, yıllara göre değişim oranları ile birlikte verilmiştir.

Tablo 6: Dünya Biyodizel Üretim Miktarı (Günde Bin Varil Petrol Eşdeğeri)

Biyodizel	2009	2011	2013	2015	2017	2019	2019 ^a	2008-2018 ^a	2019 ^b
Kanada/ Meksika	2	2	2	5	7	7	%22	%15,7	%1
ABD	29	54	76	70	89	96	%-7,2	%10,6	%13,8
Brezilya	24	39	43	58	63	87	%10,3	%16,5	%12,4
Güney/ Kuzey ABD	22	48	43	40	57	47	%-9,8	%15,8	%6,8
AB	149	160	184	207	232	240	%-2,4	%7,4	%34,3
Asya	34	71	111	102	130	218	%24	%18	%31,2
Dünya	260	375	460	483	581	699	%5,1	%11,6	%100

^a Yıllık büyüme oranı^b Toplam pay

Kaynak: BP, 2020

Tablo 7: Dünya Biyodizel Tüketim Miktarı (Günde Bin Varil Petrol Eşdeğeri)

Biyodizel	2009	2011	2013	2015	2017	2019	2019 ^a	2008-2018 ^a	2019 ^b
Kanada/ Meksika	1	4	5	4	6	5	%-4,5	%20,1	%15,4
ABD	18	49	80	83	111	101	%-5,7	%27,7	%0,8
Brezilya	23	38	43	58	63	87	%11	%11,9	%13,3
Güney/ Kuzey ABD	3	16	20	23	25	25	%2,9	%29,1	%3
AB	160	200	200	217	243	261	%-2,6	%7	%9,9
Asya	26	36	63	61	80	173	%50,1	%19,4	%26,4
Dünya	231	344	412	448	530	655	%9,2	%12,1	%100

^a Yıllık büyüme oranı^b Toplam pay

Kaynak: BP, 2020

Algal biyoyakıt pazarı, karbon yakalama teknolojilerinden dolayı gelişmiş biyoyakıt pazarı olarak adlandırılmaktadır. Algal biyoyakıt üretim teknolojileri 2009 yılından beri çeşitli üniversiteler ve firmalar tarafından AR-GE faaliyetleri olarak sürdürülmektedir. Küresel algal biyoyakıt pazar büyüklüğünün 2025 yılına kadar %8'lik yıllık bileşik büyüme oranı ile 10,73 milyar \$'a ulaşması beklenmektedir. Çok sayıda yeni kurulan şirketin yanı sıra çeşitli petrol ve gaz şirketleri ve üniversite liderliğindeki araştırma konsorsiyumları tarafından artırılarak devam eden AR-GE çalışmalarının, öngörülen süre boyunca üretimi ilerletmesi beklenmektedir. Ancak, alg biyokütlesi ve yakıt üretimine yönelik teknolojik zorluklar ve yüksek sermaye yatırımının endüstri büyümesini sınırlaması da beklenmektedir. Petrol tedarik zincirindeki kırılabilirliği hafifletmek ve otomotiv ve havacılık sektörünün artan yakıt talebini karşılamak için düşük maliyetli, güvenilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik artan talebin, tahmin döneminde endüstri büyümesi üzerinde olumlu bir etkisi olması ön görülmektedir. Sonuç olarak, pazarın, büyük ölçekli üretimler için üretim ve teknoloji alışverişinden yararlanmak için bölgesel ortaklıklar ve iş birlikleri öngörmesi beklenmektedir.

• Dünyada Sektörde Öne Çıkan Ülkeler ve Firmalar

Otomotiv araçlarında dizel ve benzinin yerini alma potansiyelinin yüksek olması nedeniyle, 2025 yılına kadar toplam talebin %70'inden fazlasını oluşturan alg biyoyakıt pazarına ulaşımın hâkim olması beklenmektedir. Aynı zamanda Avrupa'da, taşımacılık uygulamasındaki ürün talebinin 2018'den 2025'e kadar %12'nin üzerinde bir CAGR ile büyümesi beklenmektedir. Avrupa ülkelerinde hükümet düzenlemeleri ve bölgedeki yüksek benimseme oranı nedeniyle yüksek biyodizel talebinin artması ön görülmektedir. Yeni kurulan şirketler ve ABD hükümetinin yenilenebilir enerji sektörünü desteklemek için yaptığı yüksek yatırım sayesinde, Kuzey Amerika'nın %30'u aşan en büyük algal biyoyakıt pazarı olması hedeflenmektedir. Ayrıca Asya Pasifik'in bölgedeki hızlı teknolojik gelişmeler ve düşük hammadde maliyetleri sayesinde 2025 yılına kadar 2 milyarın üzerinde gelire ulaşması için %8'in üzerinde bir CAGR ile büyümesi beklenmektedir.

Alg biyoyakıt endüstrisindeki başlıca oyuncular arasında dünya genelinde Algenol, Exxon Mobil-Synthetic Genomics, Solazyme Inc., Algae Systems, Solix Biofuels, Algae Production Systems, Shell, Chevron vb. firmalar bulunmaktadır. 2010 yılında, ABD merkezli Solazyme, Inc., ürün ticarileştirme yolunda önemli bir adım olarak görülen test ve sertifikasyon amacıyla ABD Donanmasına 36.000 litreden fazla %100 alg türevli biyoyakıt teslim etmiştir. 2017 yılında Exxon Mobil Synthetic Genomics ile algal biyoyakıtlara 250 milyon \$ yatırım yapmıştır. Bugün, ExxonMobil ve Synthetic Genomics, alglerden gelişmiş biyoyakıtlar geliştirmek için temel bir araştırma programı

yürütmektedir. Sektörün ilke en büyük tedarikçileri olan ExxonMobil ve Synthetic Genomics, 2025 yılına kadar günde 10.000 varil algal biyoyakıt üretmek için birlikte çalışmaktadır. ExxonMobil-Synthetic Genomics araştırma ekibi, Synthetic Genomics'teki gelişmiş hücre mühendisliği teknolojilerini kullanarak alg türünde genetik modifikasyonlar sağlamıştır ve bu sayede algal yağ içeriğini %20'den %40'ın üzerine çıkarmışlardır (Ajjawi, ve diğerleri, 2017). Dünya geneli algal biyoyakıt üretimi yapan firmalar Tablo 8'de belirtilmiştir.

Tablo 8: Dünya Genelinde Algal Biyoyakıt Üreten Başlıca Firmalar

Firma	Ülke
Exxon Mobil	Tektaş, ABD
Shell-Cellana	Tektaş, ABD
Chevron-US NREL	California, ABD
Algenol	Florida, ABD
Solix Biofuels	Colorado, ABD
Solazyme	California, ABD
Manta Biofuels	Baltimore, ABD
AlgaEnergy	Madrid, AB
AlgaFuel	Lisbon, AB
ENI Energy	İtalya, AB
British Algoil	İngiltere
Seamiotic	İsrail

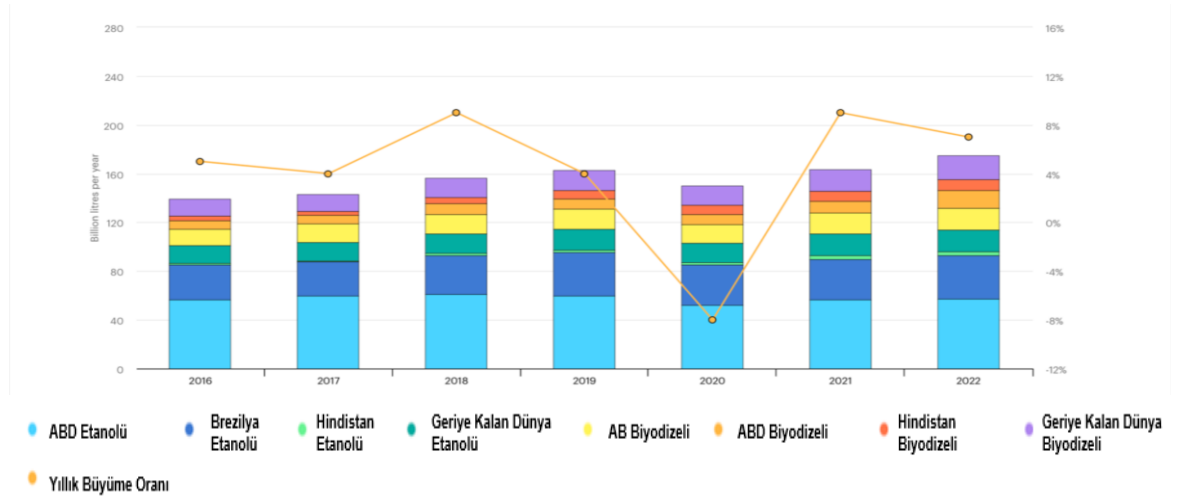
Algal biyoyakıt pazarının büyümesi yenilenebilir enerji kapsamında regülasyonlar ile Avrupa Birliği ve Amerika tarafından yasal olarak zorunlu hale getirilmiştir. Yenilenebilir enerji biçimlerinin teşvik edilmesi, AB enerji politikasının hedeflerinden biridir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve "2015 Paris Agreement on Climate Change ve The EU Policy Framework for Climate and Energy (2020 to 2030)" uymak için gereken önlemler paketinin bir parçasıdır. Bu yeniden düzenlenmiş yönerge, "Energy Efficiency Directive and a New Governance Regulation" ile birlikte önümüzdeki on yıl için enerji düzenlemesine ilişkin yeni, kapsamlı kurallar sağlamayı amaçlayan Tüm Avrupalılar için Temiz Enerji paketinin bir parçasıdır. Kasım 2016'da Avrupa Komisyonu, "Tüm Avrupalılar için Temiz Enerji" girişimini yayımlamıştır. Bu paketin bir parçası olarak komisyon, Yenilenebilir Enerji Direktifinin yeniden biçimlendirilmesi için yasal bir teklif kabul etmiştir. Ortak karar prosedürü bağlamında, Haziran 2018'de AB kurumları arasında nihai bir uzlaşma metni kabul edilmiştir. Aralık 2018'de, revize edilmiş Yenilenebilir Enerji Direktifi 2018/2001/EU yürürlüğe girmiştir. RED II'de, 2030 yılına kadar Yenilenebilir Enerji Kaynakları tüketimine yönelik genel AB hedefi %32'ye yükseltilmiştir. Komisyon'un orijinal önerisi, nihai anlaşmada ortak yasa koyucular tarafından getirilen bir ulaştırma alt hedefini içermemekle birlikte, üye devletler, yakıt tedarikçilerinin 2030 yılına kadar karayolu ve demiryolu taşımacılığında tüketilen enerjinin en az %14'ünün yenilenebilir enerji olarak sağlanmasını şart koşmaktadır. %14 transport alt hedefi dahilinde, Ek IX Kısım A'da listelenen hammaddelerden üretilen gelişmiş biyoyakıtlar için özel bir hedef bulunmaktadır. Ek IX Bölüm A'da listelenen hammaddeden üretilen gelişmiş biyoyakıtın (algal biyoyakıtların içerisinde bulunduğu kısım) ulaştırma sektöründe nihai enerji tüketiminin payı olarak katkısı 2022'de en az %0,2, 2025'te en az %1 ve 2030'da en az %3,5 olacaktır. Ulaşım sektöründe, %14'lük bir bağlayıcı hedef, %3,5'lik gelişmiş biyoyakıtlar için belirli bir alt hedef ve konvansiyonel biyoyakıtlarda ve yüksek dolaylı arazi kullanımı değişikliği riski biyoyakıtlarında üst sınır (%1,7) getirilmiştir. AB, kapsamalarını nihai enerji kullanımlarına

bakılmaksızın biyokütleden üretilen tüm yakıtları kapsayacak şekilde genişleterek, biyoenerji için AB sürdürülebilirlik kriterlerini güçlendirmiştir. Yönerge 24 Aralık 2018'den beri uygulanmaktadır ve 30 Haziran 2021'e kadar AB ülkelerinde yasalaşması gerekmektedir (European Parliament, 2018). Amerika'da ise Çevre Koruma Ajansı (EPA), Renewable Fuel Standards yayımlamıştır ve bu kapsamda 2030 yılına kadar yakıt standartları; selülozik biyoyakıt için %0,34, biyokütleyle dayalı dizel için %2,1, gelişmiş biyoyakıtlar (algal biyoyakıtlar) için %2,93, (iv) geleneksel yenilenebilir yakıtlar için %11,56 olacaktır (Environmental Protection Agency, 2020).

2.4. Dış Ticaret ve Yurt İçi Talep

Taşımacılık için toplam biyoyakıt talebi 2019'dan 2020'ye %8 oranında azalarak 150 milyar litreye (2 590 kb/d) gerilemiştir, buna karşın 2021 için Yenilenebilir Enerji tahminini 144 milyar litreyi (2 480 kb/d) aşmıştır. Küresel biyoyakıt üretiminin "Renewables 2020"de tahmin edildiği gibi 2021'de 2019 seviyesine yükselmesi beklenmektedir. Biyodizel ve hidro-işlenmiş bitkisel yağ (HVO) üretimi küresel olarak artmaktadır ve etanol üretimi özellikle Hindistan'da genişlemektedir. Yeni projeler programa uygun olarak inşa edilirse, HVO kapasitesinin 2021'de 2020'ye göre %50 daha yüksek olması beklenmektedir. Bununla birlikte, Covid-19 krizinin talep üzerindeki süregelen etkileri ve etanolün Brezilya'da tatlandırıcılara göre fiyat belirsizliği hem Amerika Birleşik Devletleri'nde hem de Brezilya'da etanol üretimini 2019 seviyelerinin altında tutmaya devam etmektedir. Covid-19 pandemisi, daha önce üretim artışının beklendiği Endonezya, Malezya, Tayland ve Brezilya'da biyoyakıt politikası uygulamasını geciktirmiştir. Bununla birlikte, biyoyakıt üretiminin ABD ve Endonezya'daki HVO artışı ve Brezilya'da 2019 etanol üretim seviyelerine geri dönüş nedeniyle 2022'de 2021'e göre %7 oranında daha yüksek olması beklenmektedir. HVO dahil biyodizel üretimi, önemli kapasite artışları sayesinde 2021'de 2019'a göre %10 daha yüksektir. Biyoyakıt üretim miktarının yıllara göre değişimi Şekil 9'da gösterilmiştir.

Şekil 9: Ülke/Bölge ve Yakıt Türüne Göre 2016-2022 Yılları Arasında Biyoyakıt Üretimi



Kaynak: IEA, 2021

Bazı ülkelerde Covid-19 ve bitkisel biyodizelin gıda ile rekabet etmesinden dolayı özellikle bitkisel biyodizel üretimine sınırlandırılmalar şimdiden getirilmeye başlanmıştır. Endonezya hükümeti, Covid-19 ile ilgili test kesintileri ve kapasite artırımlarının yanı sıra biyodizel üretimi için yüksek palmiye yağı maliyeti nedeniyle 2021'den en az 2022'ye kadar olan %40 biyodizel harmanlama tebliğinin uygulanmasını ertelemiştir. Malezya, bazı bölgelerde %20 biyodizel harmanlama zorunluluğunu en az altı ay ertelemiştir. Hükümet %20 biyodizel harmanlama oranı zorunluluğunu karşılamak için biyodizel harmanlamayı 2021 yılı Haziran'da Sabah Bölgesi'nde ve Aralık'ta Malezya yarımadasında artırmayı hedeflemektedir. Tayland, maliyet endişeleri nedeniyle %20 etanol harmanlama yetkisinin uygulanmasını süresiz olarak ertelemiştir. Şubat 2021'de etanolün fiyatının benzinden %80 daha yüksek olduğu bilinmektedir. Eylül 2020'de Brezilya Ulusal Petrol Ajansı, yakıt piyasasındaki belirsizlikler yakıt tedarikçilerinin hedeflere ulaşmasını zorlaştırmış olabileceğinden,

sera gazı emisyonlarını azaltma hedeflerini %50 oranında azaltmıştır. Nisan 2021'de Brezilya, biyodizel üretiminde kullanılan soya fasulyesinin artan maliyetleri nedeniyle Temmuz 2020'den bu yana neredeyse iki katına çıkan biyodizel fiyatlarındaki artışa yanıt olarak biyodizel yükümlülüğünü geçici olarak %13'ten %10'a düşürmüştür.

ABD Yenilenebilir yakıt standardı, Kaliforniya'nın düşük karbonlu yakıt standardı ve biyodizel karıştırıcı kredisi, HVO projelerini ekonomik olarak çekici kıldığı için, ABD politikaları, küresel olarak HVO kapasite ilavelerinin %85'inin arkasındadır. Amerika Birleşik Devletleri dışında, yeni projeler Avrupa'da 2020'den 2022'ye kadar kapasiteyi %12 ve Asya-Pasifik bölgesinde %32 artıracaktır. Tam üretim kapasitesine sahip HVO tesisleri, 2022'de tahmini küresel biyoyakıt üretiminin %11'ini oluşturacak ve 2019 HVO payı iki katından fazla artacaktır. Fakat tüm bunlara rağmen HVO, CO₂ yakalama teknolojisi olmaması, gıda ile rekabet etmesi ve tarım arazisi kullanımı sebebiyle sürdürülebilir değildir. Dolayısı ile REDII'de de belirtildiği gibi, algal biyoyakıtlar gibi gelişmiş biyoyakıtların dünya geneli pazara hakimiyet stratejisi artırılmıştır. Avrupa Birliği REDII yönergesinde bitkisel biyodizeli %1,7 ile sınırlandıracağını, algal biyoyakıtlar gibi gelişmiş biyoyakıtların oranını ise %3,5'a çıkaracağını tüm Avrupa ülkeleri için Haziran 2021'den itibaren zorunlu hale getirdiğini belirtmiştir. Artan biyoyakıt talebine karşı bitkisel biyodizele getirilen sınırlandırmalar, dünya genelinde algal biyoyakıtlara olan ilgi ve talebi artırmaktadır (IEA, 2021).

Türkiye'nin akaryakıt ürünlerinde dışa bağımlılığı %90 seviyesindedir. 2020 yılında ham petrol ithalat miktarı ortalama 30.000.000 tondur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu verileri 2009 yılından beri motorin satışlarının sürekli olarak artışını vurgulamaktadır. Bu kapsamda eğer ülkemizde biyodizel üretimi yapılmıyorsa, 2018 içinde üretim, satış ve harmanlaması yapılan 110.000 ton biyodizele denk gelen 110.000 ton motorinin yaklaşık 100.000 tonluk kısmının doğrudan motorin olarak veya motorin ve/veya diğer akaryakıt ürünleri üretmek üzere ham petrol olarak ithal etme zorunluluğumuz doğacaktı. 2020 yılı yurtiçi biyodizel talebi 106.395 tondur.

2020'de pandemi dolayısıyla global petrol marketlerinde büyük çalkalanma gerçekleşmiştir ve bu sebeple birçok ülkenin ithal ettiği yakıt miktarında azalmalar gerçekleşmiştir.

İthalatta 2020 yılında 2019 yılına göre:

- Toplam ithalat %9,67 oranında azalarak 40.502.790 ton
- Ham petrol ithalatı %5,49 oranında azalarak 29.368.757 ton
- Motorin türleri ithalatı %20,86 oranında azalarak 8.639.334 ton
- Fuel oil türleri ithalatı %38,72 oranında azalarak 341.098 ton
- Havacılık yakıtları ithalatı %64,11 oranında azalarak 127.135 ton
- Denizcilik yakıtları ithalatı %296,35 oranında artarak 120.978 ton
- Diğer ürünler ithalatı %0,04 oranında azalarak 1.905.486 ton olarak gerçekleşmiştir.

İhracatta 2020 yılında 2019 yılına göre:

- Toplam ihracat %37,35 oranında azalarak 8.954.254 ton
- Benzin türleri ihracatı %37,18 oranında azalarak 1.867.319 ton
- Motorin türleri ihracatı %26,24 oranında artarak 2.678.560 ton
- Havacılık yakıtları ihracatı %52,02 oranında azalarak 2.431.632 ton olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 9 ve Tablo 10'da 2016-2020 yılları arasında Türkiye petrol piyasasında gerçekleştirilen ithalat ve ihracat miktarları verilmiştir.

Tablo 9: 2016-2020 Yılları Petrol Piyasası İthalat Genel Görünümü (Ton)

Ürün Türü	2016	2017	2018	2019	2020
Benzin	0	0	0	0	0
Motorin	12.381.766	13.455.723	13.752.120	10.916.036	8.639.335
Fuel Oil	1.163.616	828.758	553.552	556.581	341.098

Havacılık Yakıtı	341.285	196.906	481.734	354.256	127.136
Denizcilik Yakıtı	14.699	1.211	10.254	30.523	120.978
Gaz Yağı	0	0	0	0	0
Diğer Ürünler (Biyodizel içermektedir)	1.215.482	2.404.282	2.973.841	1.906.156	1.905.486
Toplam	15.116.847	16.886.881	17.771.502	13.763.553	11.134.033

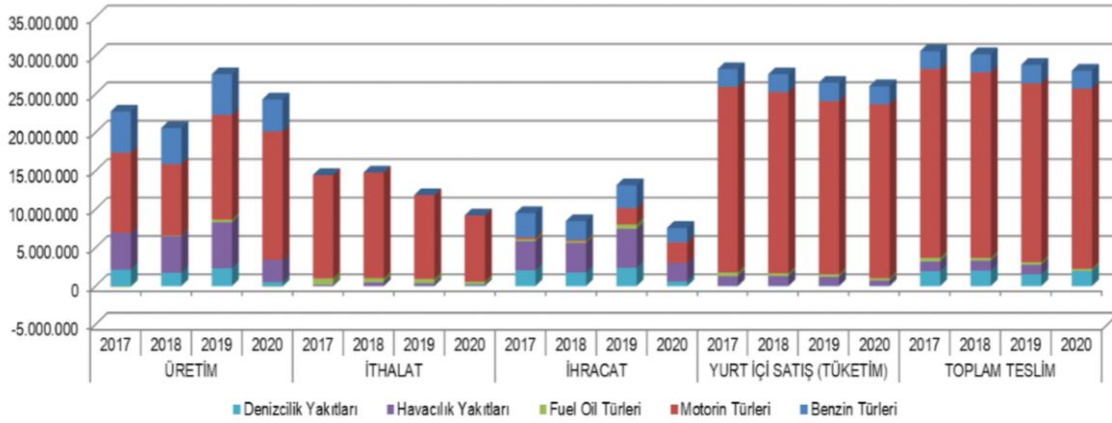
Kaynak: EPDK Petrol Piyasası Sektör Raporu, 2020

Tablo 10: 2016-2020 Yılları Petrol Piyasası İhracat Genel Görünümü (Ton)

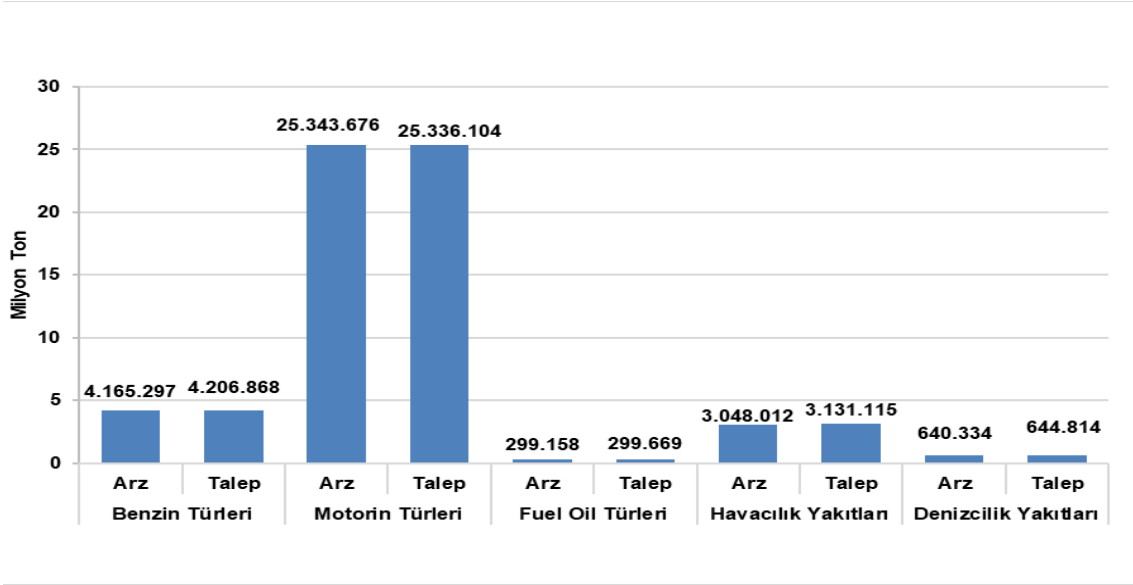
Ürün Türü	2016	2017	2018	2019	2020
Benzin	2.888.063	3.167.398	2.439.858	2.972.490	1.867.319
Motorin	71.405	233.060	145.962	2.121.843	2.678.560
Fuel Oil	282.001	252.068	235.830	585.510	0
Havacılık Yakıtı	3.528.546	3.770.931	3.874.909	5.068.034	2.431.633
Denizcilik Yakıtı	2.261.816	2.097.170	1.785.550	2.936.947	602.988
Gaz Yağı	0	0	0	0	0
Diğer Ürünler (Biyodizel içermektedir)	656.683	569.410	392.907	1.148.130	1.373.754
Toplam	9.688.515	10.090.038	8.875.016	14.297.955	8.954.254

Kaynak: EPDK Petrol Piyasası Sektör Raporu, 2020

Şekil 10: 2017-2020 Yılları Petrol Piyasası Genel Görünümü



Şekil 11: 2020 Yılı Ürün Türlerine Göre Arz-Talep Dengesi (Ton)



Kaynak: EPDK Petrol Piyasası Sektör Raporu, 2020

Biyodizel Sanayi Derneği'nin 2019 yılı Biyodizel Sektör Raporu'nda 2018 yılı için Türkiye'de akaryakıt fiyatları incelendiğinde Ultra Düşük Kükürtlü Motorin (ULSD) 10 ppm fiyatlarının \$600/ton seviyesinden satıldığı, biyodizel üretimi sağladığımız için yerine ikame edilen yakıtın 60 milyon \$'ı yurt içinde kaldığı belirtilmiştir. Yine aynı raporda "Ülkemize çeşitli ülkelerden motorin ithalatı yapılmakla beraber 1 ton motorinin ülkemize ortalama 25\$'ı deniz navlun ücreti karşılığında taşındığı esas alınır, yerli biyodizelle ikame edilen ithal motorin için (100.000 ton x 25\$/ton hesabıyla) yaklaşık 2,5 milyon \$ tasarruf edilerek ülkemizde kaldığı; karşılığında yarı mamullerin tarımsal üretiminin yapıldığı lokasyonlardan öncelikle bölgesel kırıcılara ardından biyodizel fabrikalarına taşınması ve aynı miktarda bitmiş ürünün biyodizel fabrikalarından harmanlama yapılmak üzere dağıtım şirketlerinin depolarına sevki neticesinde yaratılan çift yönlü trafik neticesinde (2x100.000 ton hesabıyla) Türkiye içinde asgari 200.000 tonluk ürün hareketi oluşturulduğu, bunun da 25 tonluk ortalama kamyon kapasitesiyle yaklaşık 8.000 kamyonluk bir iç taşımacıya denk geldiği" hesaplaması yapılmıştır. Ayrıca bölgesel olarak kırıcılar da bu süreçte yer almaktadır (Biyodizel Sanayi Derneği, 2019). Tablo 11'de ülke geneli biyodizel ihracatı yapan firmaların ihracat miktarları belirtilmiştir.

Tablo 11: Türkiye’de Biyodizel Firmalarının İhracat Miktarları (Ton)

Firma	2016	2017	2018	2019	2020
TBE Biyodizel Tarımsal Enerji	-	-	-	1.506,42	9.505,74
Kolza Biyodizel Yakıt ve Petrol	-	-	-	1.463,56	5.182,16
Maysa Yağ Sanayi A.Ş.	96,60	537,30	305,34	97,90	1.756,16

Kaynak: EPDK, 2020

Hasat yapılan yağlı tohumların aynı bölgedeki kırıcılarda işlenmesi neticesinde, anılan sanayi kolunun çalışmasına da destek verilmektedir. Biyodizel üretimi sadece ürün ithalatını ikame etmekle kalmayıp, aynı zamanda hizmet ithalatının da önüne geçerek muadil bir sermayenin iç piyasada kalmasına ve yerel kırıcılar ve nakliyatçılar gibi hayati iki sektörün sürekliliğine katkıda bulunmaktadır. Tüm bu dahili değer zincirini oluşturan faaliyetler yerli para birimimiz olan Türk Lirası ile yapıldığından piyasanın büyümesiyle orantılı olarak döviz bağımlılığımız da kademeli olarak azalmaktadır (Biyodizel Sanayi Derneği, 2019).

Tablo 12: Türkiye’nin Son Yılda En Çok Motorin İhracat ve İthalatı Yaptığı Ülkeler ve Miktarları (Ton)

Ülke	İhracat	İthalat
Hollanda	1.088	29.417
Türkiye	8.650	0
İspanya	82.433	87.465
İtalya	351.178	78.459
ABD	1.099	55.312
Mısır	3.336	33.363
Rusya	7.111	3.777.326
Fransa	99.975	24.964
İngiltere	1.261	0
Çin	390.006	64.800
Hindistan	0	2.045.654
İsrail	704.998	1.324.260
Toplam (Tüm Ülkeler Dahil)	2.678.560	8.639.334

Türkiye petrol ve petrol ürünleri ithalatında da Rusya’ya oldukça bağımlı durumdadır. 2020 yılında Türkiye petrol ve petrol ürünleri ithalatında özellikle motorinde Rusya %43,7’lik pay ile Hindistan’ı geçerek birinci sırada gelmiştir. Rusya’dan ham petrol ithalatı görece olarak sınırlıyken (2017’de 2 milyar ton), motorin ve diğer petrol ürünlerinde Rusya Türkiye’nin ithalatında ilk sırada gelmektedir. İthalat-ihracat raporlarına göre “Türkiye için Rusya sadece ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bölümünü karşılama kapasitesine sahip bir tedarikçi değil, aynı zamanda güvenilir bir ortak olarak

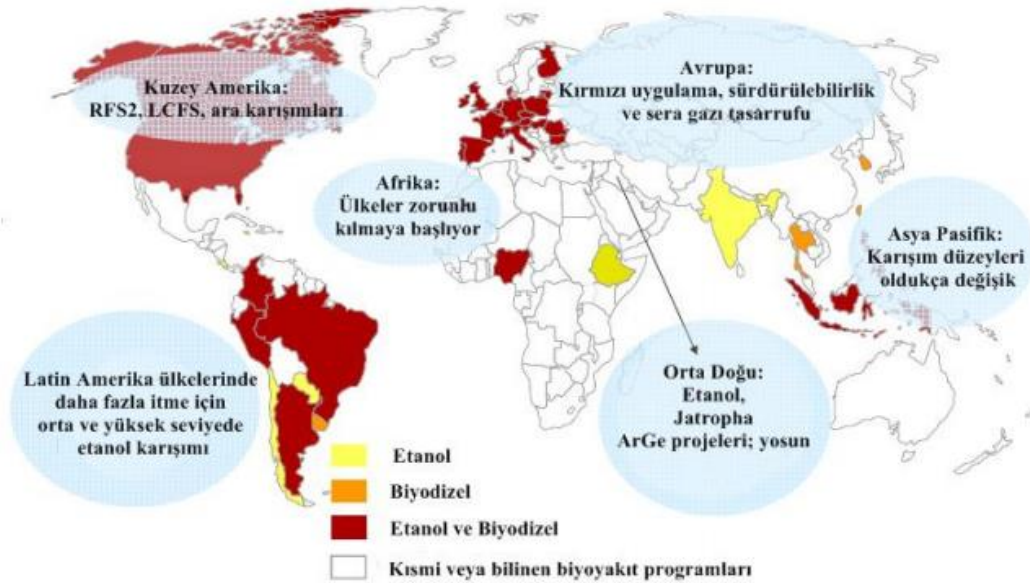
görülmüştür. Türkiye için Rusya güvenilir bir tedarikçi iken, Rusya için de Türkiye gaz talebi hızla artan önemli bir pazardır. 2017 yılında 29,03 milyar metreküp gaz ithalatıyla Türkiye, 53,44 milyar metreküp ithal eden Almanya'nın ardından Gazprom'un ikinci büyük müşterisi olmuştur". Aynı zamanda motorin ithalatında öne çıkan Rusya üretimde maliyet avantajına sahiptir. Dolayısıyla petrol ürünlerinde en çok bağlı olduğumuz ülkelerden biri haline gelmiştir (EPDK, Yıllık Sektör Raporu, 2020).

Ülkemizde ithal biyoyakıtlara vergi muafiyeti uygulanmamaktadır. AB'de ise üye ülkelerin çok çeşitli ve değişken bir coğrafyada tarım yaptıkları dikkate alındığında ithal ürünlere birtakım dönemsel gümrük/vergi muafiyetleri uygulandığı görülmekte ve piyasa yabancı menşeli ürünlere açılmaktadır. AB'nin bir süreklilik arz etmeyen bu tür ithalatlarda ise ağırlıklı ticari partnerleri Arjantin ve Endonezya'dır. Dönemsel olarak izin verilen bu tür ithalatlarda temel amaç, RED'de öngörülen birtakım kriterlerin kesintiye uğramasının teminidir.

2.5. Üretim, Kapasite ve Talep Tahmini

Dünyada ticari olarak algal biyoyakıt satışları ortalama 5 yıldır gerçekleşmektedir. Bu konudaki en büyük AR-GE ve üretim çalışması Exxon Mobil'e aittir. 2025'te günlük algal biyoyakıt üretimlerinin günlük 10.000 varil olmasını hedeflemektedir. Bunun haricinde 2. nesil bitkisel, hayvansal ve atık yağdan üretilen biyodizel satışları 2010 yılından beri devam etmektedir ve her geçen yıl artan nüfusun enerji ihtiyacına yenilenebilir bir şekilde karşılık vermek için artmaktadır. Dünya geneli biyoyakıtların pazar yoğunluğu Şekil 12'de gösterilmiştir.

Şekil 12: Dünya Biyodizel Pazarı



Kaynak: Fidan & Alkan, 2014

Türkiye'de 2020 yılı itibarıyla toplam 6 adet biyodizel üreten firma vardır. Fakat firmaların hepsi bitkisel biyokütle veya atık yağ kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirmektedir. Ülkemizde 3. nesil gelişmiş algal biyoyakıt üretimi bulunmamaktadır. Dolayısıyla herhangi bir kurulu kapasite de bulunmamaktadır. Bu nedenlerle algal biyoyakıt üretim miktarımız sıfır olarak değerlendirilmektedir. Dünya'da üretimi ve bilinirliği giderek artan algal biyoyakıtların ülkemizde de AR-GE ve üretim çalışmaları yaygınlaşmaktadır. Avrupa Birliği tarafından yayımlanan Renewable Energy Directive II dikkate alındığında, ülkemizde de 3. nesil gelişmiş biyoyakıtların yasal olarak zorunlu hale geleceği öngörülmektedir. Ülkemizde 2020 yılı içerisinde motorin türleri satışları bir önceki yıla göre %0,54 oranında artarak 22.657.543 ton olmuştur ve EPDK kararı gereği minimum %0,5 oranında biyodizel harmanlanması yasal olarak zorunludur. Bu kapsamda regülasyon değişikliği olmazsa ülkemizde sonraki 5 yıl içerisinde de yılda minimum 110 bin ton biyodizel harmanlanması zorunluluğu yasal olarak devam edecektir. AB tarafından belirlenen REDII kararı gereği bitkisel veya atık yağdan yapılan biyoyakıtlar sürdürülebilir olmadığı için 2030 yılına kadar harmanlama miktarı maksimum

%1,7 olarak değiştirilmiştir (Ülkemizde zaten kullanılmayan bu miktar Avrupa ve Amerika'da B100, %100 biyodizel vb. olarak kullanılmaktadır). Dolayısı ile önümüzdeki 5 ila 10 yıl içerisinde sürdürülebilir olmayan bitkisel biyodizelin yerine oluşan talebin arzını karbon yakalama teknolojisine sahip algal biyoyakıtlar tamamlamak zorunda kalacaktır.

- **Tesis Üretim Miktarları**

Ön fizibilitenin tasarımı için alg havuzlarının toplam alanı 400 hektar olarak kabul edilmiştir. 100 hektarlık tesisin temel yerleşiminin, her biri 100 hektarlık dört modüle genişletileceği varsayılmıştır. Tesiste minimum 56 adet tam kalifiye-egitilecek tam zamanlı mühendis-operatör çalıştırılacaktır. Tablo 13'te gösterildiği gibi, toplam 13.600 ML/yıl atık su girişi ve 28.900 mt/yıl hasat edilmiş biyokütle ile hem petrol hem de biyogaz düşünüldüğünde tesisin toplam enerji üretimi 556.000 x 10³ MJ/yıl'dır. Yapılan tüm hesaplamalar teoriktir ve bugüne kadar gerçekleştirilmiş yatırıma konu teknolojiye dair yapılan akademik çalışmalar baz alınarak yapılmıştır.

Tablo 13: İşletmeye Geçtikten Sonra Hedeflenen Yıllık Ürün ve Enerji Üretim Miktarları

Atık Su Girişi (ML/yıl)	Biyokütle Hasadı (mt/yıl)	Biyoyakıt	Ürün Miktarı	10 ³ MJ/yıl	MJ/mt	MJ/ML
13.600	28.900	Biyodizel	49.300 bbl/yıl	285.000	9.870	20.900
		Biyogaz	6,95 x 10 ⁶ m ³ CH ₄ /yıl	271.000	9.390	19.900
		Toplam		556.000	19.300	40.800

2.6. Girdi Piyasası

Ön fizibilite konusu ürün üretimi için temel girdiler atık su, CO₂ ve mikroalgdır. Ülkemizde mikroalg hammadde satışları genel olarak üniversitelerce sağlanmaktadır. Daha sonra algal biyokütle kurulacak tesis içerisinde sürekli olarak stok kültür kapsamında yetiştirilecektir. Kısacası algal hammadde daimî olarak satın alınmayacaktır, tesis içerisinde besi yeri ortamında atık arıtım havuzlarına basılmak için sürekli olarak üretilenektir. Burada temel olan yan hammaddeler, bu stok algal biyokütlenin sürekli üretimini sağlamak için gereken ve ayrıca biyodizel üretim reaksiyonu için gerekli olan kimyasal bileşenlerdir. Algal hammadde ve kimyasal ürünlerin dolar bazında KDV hariç satış fiyatları tabloda gösterilmiştir. Tablo 14'teki fiyatlandırmalar ilgili yerli laboratuvar ve kimyasal tedarikçilerden ve üniversitelerden alınan proformalara dayalı olarak verilmiştir.

Tablo 14: Algal Hammadde ve Kimyasal Girdi Fiyatları

Girdi Adı	Fiyat (\$)
Mikroalg (250 ml)	70
Sodyum Nitrat (1 kg)	43
Magnezyum Sülfat Heptahidrat (1 kg)	43
Sodyum Klorür (1 kg)	10,5
Dipotasyum Hidrojen Fosfat (1 kg)	47
Potasyum Dihidrojen Fosfat (1 kg)	26

Kalsiyum Klorür Dihidrat (1 kg)	35
Zinc Sülfat Heptahidrat (1 kg)	39
Manganez II Klorür (1 kg)	120
Borik Asit (1 kg)	28
Titriplex III (1 kg)	102
Potasyum Hidroksit (1 kg)	18
Sülfirik Asit %95-98 (2.5 L)	32
Sitrik Asit Monohidrat (1 kg)	18
Sodyum Hidroksit (1 kg)	17
Potasyum Nitrat (1 kg)	33,5
Hekzan (2.5 L)	39
Etil Alkol %99 (2.5 L)	30
Metanol (2.5 L)	18
Agar (1 Kg)	280

Algal biyokütle ve biyoyakıt üretiminin bir diğer önemli girdisi de algal büyütme için gerekli olan atık sulardır. Mikroalgler yardımıyla atık suların biyolojik arıtımı gerçekleştirilebilmektedir. Atık su geri kazanım uygulamasında, arıtma yöntemi yeniden kullanım amacına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kentsel ve evsel atık suların arıtımında kullanılan konvansiyonel arıtma uygulamalarında arıtma kademeleri şu şekildedir: Birincil Arıtma; atık suyun fiziksel, mekanik ve/veya kimyasal işlemler ile arıtılmasıdır. İkincil Arıtma; biyolojik arıtma ile atık suda bulunan askıda katı madde ve biyolojik olarak ayrışabilir organik maddenin arıtılmasıdır. Üçüncül Arıtma/İleri Arıtma; biyolojik arıtma ile atık suda bulunan askıda katı madde ve biyolojik olarak ayrışabilir organik maddenin arıtılmasına ilave olarak atık suda bulunan besin maddelerinin de arıtılmasıdır.

Atık suda bulunan, alglerin besin olarak kullandığı ve bu sayede arıttığı N ve P konsantrasyonları, türüne ve arıtma işleminin aşamasına bağlı olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Kentsel atık su (ayrıca kanalizasyon olarak da adlandırılır) sanayiye ölçülebilir düşük miktarlarda toplam N ve P içerir; konsantrasyonlar 10–100 mg L⁻¹ civarındadır. İkincil işlemde sonra, toplam N ve P sırasıyla 20-40 mg L⁻¹ ve 1-10 mg L⁻¹ aralıklarına düşer. Bu konsantrasyonlar mikroalg ekim için oldukça uygundur. Kanalizasyon, 11 ila 13 oranında N ve P içerir (NO₃⁻ ve PO₄³⁻ temelinde hesaplanır). Tipik alg biyokütlesi, atık suda bulunana benzer bir bileşim olan 11,2 molar N:P oranıyla kuru ağırlıkta %6,6 N ve %1,3 P içermektedir (Lage, Gojkovic, Funk, & Gentili, 2018). Yapılan ön fizibilite çalışmasında mikroalgler ile biyolojik arıtım kısmına odaklanılacaktır. İstanbul bölgesinde atık sular organize sanayi bölgeleri, fabrikalar, oteller ve belediye tesislerinden temin edilebilmektedir. TÜİK verilerinde İstanbul'da her 2 yılda bir yapılan Atık Su Arıtma Tesislerinde Arıtılan Atık Su Miktarı olarak en son 2018 yılında toplam 1.439.230 bin m³ olarak ölçülmüştür. Bu rakamlara belediyeler tarafından işletilmeyen atık su arıtma tesislerinde arıtılan kentsel atık sular da dahildir. Atık su arıtma tesislerinin enerji giderlerinin %50'sine kadarlık kısmı T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca karşılanmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021).

Tablo 15: İstanbul'da Son 10 Yılda Evsel/Endüstriyel Temin Edilen Atık Su Miktarları (m³)

İstanbul	Atık Su (m ³)
2012	1.118.741
2014	1.207.069
2016	1.223.815
2018	1.439.230

Kaynak: TÜİK, 2020

Ön fizibilitesi yapılan çalışmada algal arıtmada en temel özgün değer sanayi atıklarının arıtılmasıdır. Tablo 15'te İstanbul geneli evsel/endüstriyel atık su çıktı miktarları gösterilmektedir. Dolayısı ile OSB Müdürlüklerinin altyapı hizmetleri verilerine göre, atık su arıtımı vb. idari faaliyetleri sonucu 2018 yılında OSB'ler de toplam 287 bin ton atık oluşmuştur. Oluşan atığın 8 bin tonu OSB bünyesinde geri kazanılmış veya geçici depolanmıştır. 137 bin tonu OSB dışında geri kazanılmıştır, 142 bin tonu ise OSB bünyesinde veya OSB dışında bertaraf edilmiştir. Bertaraf edilen atıkların %54,4'ü belediye/OSB çöplüklerinde, %45,6'sı ise düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilmiştir (TÜİK, 2018).

Algal büyütmenin diğer bir önemli girdisi de karbondioksit veya baca gazıdır. Mevzuat kapsamında mevcut tesislerin baca gazı emisyonlarının yönetmelikte belirtilen usullere uygun olarak tesis işletmecisi tarafından ölçtürülmesi baca dışından emisyon yayan tesisler için hesaplama yöntemi kullanılarak saatlik kütleli debilerin tespit edilmesi (kg/saat), kütleli debilerin aşılması halinde tesisi işleten tarafından, tesis etki alanında, hava kirliliği seviyesinin ölçülmesi ve tesisin kirliletiliğinin değerlendirilmesi gerekmektedir (Resmi Gazete, 2009). Bu yönetmelik gereği baca gazı arıtımı ve filtrasyonu gerçekleştirilmektedir. Herhangi bir tesisin yıllık toplam emisyonları, enerji kaynaklı emisyonlar (yakıtların yanması) ile proses emisyonlarının toplanmasıyla elde edilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019):

Toplam Yıllık CO₂ emisyonları (tesis) = CO₂ emisyonları (enerji kaynaklı) + CO₂ emisyonları (proses)

Sera gazı envanteri sonuçlarına göre, 2019 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %3,1 oranında azalarak 506,1 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri (eşd.) olarak hesaplanmıştır. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton CO₂ eşd., 2018 yılında 6,4 ton CO₂ eşd. ve 2019 yılında 6,1 ton CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Toplam sera gazı emisyonlarında 2019 yılında CO₂ eşd. olarak en büyük payı %72 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken bunu sırasıyla %13,4 ile tarım, %11,2 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %3,4 ile atık sektörü takip etmiştir. Enerji sektörü emisyonları 2019 yılında, 1990 yılına göre %161 oranında artarken bir önceki yıla göre %2,3 oranında azalarak 364,4 Mt CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır. Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı emisyonları 1990 yılına göre %147,1 oranında artarken bir önceki yıla göre ise %14,3 oranında azalarak 56,4 Mt CO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır (TÜİK, 2019).

Doğal gazın ve kömürün yakılmasından kaynaklanan baca gazları sırasıyla %5-6 ve %10-15 CO₂ içermektedir. CO₂'ye ek olarak, baca gazları nitrojen oksitler gibi çeşitli zehirli gazlar dahil olmak üzere 100'den fazla farklı bileşik içerebilir (NO_x, nitrik oksit ve nitrojen dioksit baskındır). Ayrıca SO_x veya N₂, H₂O, O₂, yanmamış karbonhidratlar (metan ve bütan gibi C_xH_y), CO, ağır metaller, halojen asitler ve partikül maddeler de içerebilmektedirler. Fabrika veya sanayi bölgelerinden alüminyum/çelik tüplere toplanan baca gazları doğrudan veya filtreden geçirilerek mikroalgal kültürlerine membran difüzör vb. ile verilebilmektedir. Gaz akış hızı, gaz akış ölçer cihazları kullanılarak istenilen ölçüğe (örnek olarak 0,05 vvm'ye (hacim suyu/dakika başına hacim gazı) ayarlanabilmekte ve reaktörlere aktarılabilir. Baca gazı satışı veya analizi genellikle AR-GE faaliyetleri kapsamında yapılmaktadır, dolayısı ile m³ başına baca gazı ücretlendirilmesi için iş birliği yapılacak kurumlardan fiyat teklifi alınmalıdır. Ayrıca baca gazları simülasyon olarak gaz tedarikçilerinde üretilmektedir veya üretim için saf CO₂ kullanılabilir. Bu kapsamda

endüstriyel gaz tedarikçilerinden baca gazı ve saf karbondioksit tedarigi için sağlanan dolar bazında KDV hariç satış fiyatları Tablo 16'da gösterilmiştir.

Tablo 16: Baca Gazı ve Saf Karbondioksit Satış Fiyatları (\$)

Açıklama	Fiyat (\$)
%12,5 CO ₂ + 400 ppm SO ₂ + 125 ppm NO + Balance N ₂ (10 Litre Alüminyum tüp içinde 150 bar, 1,56 m ³) %2 Analitik Tolerans %5 İmalat Toleransı Standart Analiz Sertifikası	132
Saf Karbonsidoksit (10 Litre Çelik tüp içinde 7 kg)	142

2.7. Pazar ve Satış Analizi

- Mikroalgal Biyodizelin Muadillerine Göre Pazar Avantaj ve Dezavantajları**

Ön fizibilitenin tasarımı için algal üretim tesisinin toplam alanı 400 hektar olarak kabul edilmiştir. 100 hektarlık tesisin temel yerleşiminin, her biri 100 hektarlık dört modüle bölüneceği planlanmıştır. Toplam 13.600 ML/yıl atık su girişi ve 28.900 mt/yıl hasat edilmiş biyokütle ile hem biyoyakıt hem de biyogaz düşünüldüğünde tesisin toplam enerji üretimi yıllık 556.000x10³ MJ/yıl'dır. Algal biyoyakıt üretim tesisinde yapılacak olan servis ve ürünler satış maliyetleriyle birlikte Tablo 17'de belirtilmiştir. Tesis faaliyete geçtikten sonraki beş yılı kapsayacak şekilde kapasite kullanım oranları sırasıyla %90, %90, %90, %95, %95'tir. Yapılan tüm hesaplamalar teoriktir ve bugüne kadar gerçekleştirilmiş yatırıma konu teknolojiye dair yapılan akademik çalışmalar baz alınarak yapılmıştır.

Tablo 17: Algal Biyodizel Üretim Tesisi Ürün ve Servislerin Birim Satış Fiyatı

Atık Su Arıtım	Biyogaz Elektrik Enerjisi	Biyodizel
0.25\$ m ³	0.10\$ kWh	240\$ bbl

Biyodizel, petrol dizelinin yerli olarak üretilen, temiz yanan, yenilenebilir bir alternatifidir. Biyodizelin araç yakıtı olarak kullanılması enerji güvenliğini artırır, hava kalitesini ve çevreyi iyileştirir ve güvenlik avantajları sağlar. Yakıt tüketimini azaltmak için biyodizel ve diğer alternatif yakıtların ve ileri teknolojilerin kullanılması, ulusal güvenliği güçlendirmeye, işletmeler ve tüketiciler için ulaşım enerji maliyetlerini düşürmeye devam etmektedir. 2010 ve sonrasında üretilen motorlar ister biyodizel ister dizel veya herhangi bir alternatif yakıtla çalışıyor olsun, aynı emisyon standartlarını karşılamalıdır. Dizel araçlarda nitrojen oksit (NO_x) emisyonlarını sıfıra yakın seviyelere indiren seçici katalitik indirgeme (SCR) teknolojisi bunu mümkün kılmaktadır. Dizel yakıt kullanan motorlardan kaynaklanan emisyonlar, biyodizel karışımlarından kaynaklanan emisyonlarla karşılaştırılabilir. Biyodizel kullanımı yaşam döngüsü emisyonlarını azaltır, çünkü biyodizel yanmasından salınan karbondioksit, yakıtı üretmek için kullanılan baca gazından emilen karbondioksit tarafından dengelenir. Argonne Ulusal Laboratuvarı tarafından tamamlanan yaşam döngüsü analizi, B100 kullanımının petrol dizeline kıyasla karbondioksit emisyonlarını %74 oranında azalttığını bulmuştur. California Hava Kaynakları Kurulu (CARB), biyodizelin yaşam döngüsü analizi için çeşitli kaynaklardan benzer değerler bildirmiştir. Motor performans açısından bakılacak olursa biyodizel yakıtın kayganlığını iyileştirmekte ve yakıtın setan sayısını yükseltmektedir. Dizel motorlar, hareketli parçaların erken aşınmasını önlemek için yakıtın yağlayıcılığına bağlıdır. Biyodizel, %1 gibi düşük karışım seviyelerinde dizel yakıtlara yakıt kayganlığını artırabilir (AFDC, 2021). En önemlisi mikroalgler tarafından üretilen biyodizel yüksek oranda biyolojik olarak parçalanabilir ve kükürt veya toksik madde içermez.

Mikroalglerin su ortamında yetiştirilmesi kolaydır ve karasal bitkilerden daha az suya ihtiyaç duyarlar. Ekilebilir olmayan arazilerde deniz suyunda veya acı suda yetiştirilebilirler. Mikroalgler yüksek bir büyüme hızına, kısa bir yaşam döngüsüne sahiptir ve sürekli olarak hasat edilebilir.

Mikroalgler 24 saat içinde biyokütlerini ikiye katlar. Dahası üstel büyüme sırasında mikroalgler için biyokütle iki katına çıkma süresi 3,5 saat kadar kısa olabilir, bu da yağ bitkilerinin iki katına çıkma zamanından çok daha hızlıdır. Güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürmek için basit fotosentez kullanarak kendilerini çoğaltabilme ve yağ, karbonhidrat, protein vb. formdaki lipidlerini biriktirme yeteneğine sahiptirler. Mikroalgler basit besinlerde ve güneş ışığında büyüyebilir, ancak büyüme hızı belirli besinlerin eklenmesi ve havalandırma ile değişmektedir. Birçok mikroalg türü, biyodizele dönüştürülebilen yüksek seviyelerde yağ biriktirmektedir. Mikroalgler, biyokütlenin kuru ağırlığı üzerinde %80'den fazla lipid biriktirebilir. ABD Enerji Bakanlığı'na göre, alglerin yağ verimi, geleneksel yağlı tohum ekinlerinden (soya, kolza tohumu veya *Jatropha* ve palmiye gibi ağaç kaynaklı yağ plantasyonlarından) 10-100 kat daha yüksektir. Mikroalgler, 47.000–308.000 L ha⁻¹ yıl⁻¹ yüksek teorik üretim verimine sahiptir; palmiye yağı ise yılda 5.950 L biyodizel üretme kabiliyetine sahiptir. Karasal veya sudaki mikroalg biyokütlesi, en iyi alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir.

Mikroalg biyokütle üretimi, atık CO₂'in doğrudan biyofiksasyonu ile birleştirilebilir (yaklaşık 1 kg mikroalg 1,8 kg CO₂ gerektiren absorblayabilmektedir). Mikroalg türlerine bağlı olarak, ekstrakte edilebilecek diğer bileşikler arasında yağlar, PUFA'lar, doğal boyalar, şekerler, pigmentler, antioksidanlar, yüksek değerli biyoaktif yorumlar gibi çok çeşitli ince kimyasallar ve dökme ürünler bulunur. Bu durum alglerin birçok olası ticari uygulamaya sahip katma değeri yüksek değerli biyolojik türevler, mikroalglerin biyoyakıtlar, kozmetikler, ilaçlar, beslenme ve gıda katkı maddeleri, su ürünleri yetiştiriciliği ve kirliliğin önlenmesi dahil olmak üzere çok sayıda biyoteknoloji alanında potansiyel olarak kullanılabilmesi anlamına gelmektedir (Ramaraj, ve diğerleri, 2015; Sathasivam, Kermanee, Roytrakul, & Juntawong, 2012). Ayrıca mikroalgler bitkilerden farklı olarak endüstriyel atık su bertarafında ve baca gazı absorpsiyonunda kullanılabilirler. Bu sayede sanayi ölçekli sera gazı emisyonu azaltımı sağlayabilmekte ve Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nden (SKA) en az 9 tanesinde pozitif etki yaratabilmektedirler. Buna karşılık olarak algal biyokütleden biyodizel üretimi süreci konvansiyonel biyodizel ve petrol-dizeline göre birim maliyet olarak daha yüksektir. Fakat alglerin biyoyakıt üretiminde sağladığı birden fazla çevreci özellik, bertaraf ve regülasyonlarla satış garantisinin olması, pazarın sürdürülebilir olması, REDII kararı ile bitkisel biyodizele sınırlama getirilmesi algal biyoyakıtlara Shell, BP, Chevron gibi pazardaki büyük rakiplerin fosil yakıtlarına karşın rekabet avantajı üstünlüğü sağlamaktadır.

- **Teknolojik Üstünlük**

Petrol dizelinin ve bitkisel dizelin aksine mikroalgler ile baca gazı arıtımı ve atık su bertarafı gerçekleştirilebilmektedir. Mikroalgler tarafından CO₂ fiksasyon hızı, çeşitli türler ve hatta aynı türün mutasyona uğramış suşları arasında da farklı olabilir. *Dunaliella tertiolecta* SAD-13.86 (272,4 mg/L/gün), *Chlorella vulgaris* LEB-104 (251,64 mg/L/gün), *Spirulina platensis* LEB-52 (318,61 mg/L/gün), *Botryococcus braunii* SAG-30.81 (496,98 mg/L/gün) ve *Chlorococcum littorale* (1,000 mg/L/gün). *C. vulgaris*, baca gazından yayılan CO₂'i 260 mg/L/saat'e kadar sabitlerken, *C. sorokiniana*, CO₂ içeren baca gazına 96 saat maruz kaldıktan sonra 330 mg L⁻¹ vermiştir. Ayrıca, *Scenedesmus obliquus* WUST4'ün mutant bir suşunun baca gazından CO₂ yakaladığı ve mutant olmayan *S. obliquus*'a (0,653 g) kıyasla %10 CO₂ konsantrasyonları altında yüksek bir biyokütle konsantrasyonu (0,922 g/L) biriktirdiği de bulunmuştur (Molazadeh, Ahmadzadeh, Pourianfar, Lyon, & Rampelotto, 2019).

Kentsel atık su arıtımında, nitratlar ve fosfatlar gibi makro besinlerin uzaklaştırılması, üçüncül arıtma için ana kriterlerden biridir. Genellikle nitrojen, daha fazla geri dönüşüm olmadan uzaklaştırılır ve böylece N₂'ye dönüştürülür ve atmosfere geçer. Fosfor esas olarak pahalı olan kalsiyum, alüminyum ve demir gibi katyonların eklenmesiyle çökeltilir. Geleneksel üçüncül arıtmaya bir alternatif olarak hem azot hem de fosfor, hızla büyüyen alg kültürleri ile uzaklaştırılabilir. Bu şekilde, nitrojen ve fosfor mikroalgler tarafından doğrudan alınabilir ve bu da değerli alg biyokütlesi ile sonuçlanır. Daha sonra biyokütle biyodizel üretimi için kullanılır. Bu teknolojik üstünlük geleneksel arıtım firmalarının aksine, aktif çamur sorununu ortadan kaldırmakta ve sonucunda atıktan enerji üretilmesini sağlamaktadır.

- **Coğrafi Avantaj ve Hammaddeye Yakınlık**

Türkiye'de ticarileştirilmiş bir algal biyoyakıt üretim firması yoktur. Fakat İstanbul'da kurulacak olan bir algal biyoyakıt firması atık su ve baca gazı ana girdilerine yakınlık açısından potansiyel olarak diğer şehirlere kıyasla daha avantajlı olacaktır. İstanbul'da her 2 yılda bir yapılan Atık Su Arıtma

Tesislerinde arıtılan atık su miktarı en son 2018 yılında toplam 1.439.230 bin m³ olarak ölçülmüştür. 8'i İstanbul'da olmak üzere Marmara Bölgesi'nde atık su ve baca gazı tedarik edilebilecek ve lojistik açısından pozitif avantaj sağlayacak toplam 91 adet Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır (OSBUK, 2019). Ayrıca yalnızca İstanbul'da yine atık su lojistiği sağlanabilecek devlete ait toplamda 89 adet atık su arıtma tesisi bulunmaktadır (İSKİ, 2021).

İstanbul Üniversitesi Şehir Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından hazırlanan ve bu yıl üçüncüsü açıklanan "İller Arası Rekabet Endeksi" yayımlandı. "İller Arası Rekabet Endeksi 2018-2019 Raporu"nda Rekabet endeksinin bileşenlerinden biri olan ekonomik yapı incelendiğinde; ilde gerçekleştirilen ihracatın ülke ihracatı içindeki payı bakımından İstanbul'un %51 ile ilk sırada yer aldığı, İstanbul'u sırasıyla %6,6 ile Bursa, %6 ile İzmir ve %5,4 ile Kocaeli'nin takip ettiği görülmektedir. Ayrıca Türkiye'deki sanayi işletmelerinin %24'ü İstanbul'da iken, Ankara ve İzmir sanayinin en fazla yoğunlaştığı diğer iller arasında yer almıştır. Ancak sanayi çalışanları açısından bakıldığında İstanbul'dan sonra Bursa en fazla sanayi çalışanın olduğu şehirdir. Bursa, AR-GE birimi olan firma oranı açısından da İstanbul'un ardından ikinci sırada gelmektedir. Yüksek teknolojiye dayalı ihracatta ise İstanbul'u Manisa takip etmektedir. Ayrıca tedarikte sağlanabilecek teknolojik destek konusunda da İstanbul, hatta Marmara Bölgesi, Türkiye'nin diğer illerine göre endeks olarak listenin 1. sırasında yer almaktadır (İÜ, 2019).

Tablo 18: Şehirlerarası Teknolojik Altyapı Endeksi

Sıra	Şehir	Endeks Skoru
1	İstanbul	93
2	Ankara	89
3	İzmir	87
4	Kocaeli	85
5	Bursa	84

Kaynak: İÜ, 2019

İstanbul Rekabet Endeksi araştırmasına göre 100 farklı gösterge düzeyinde yürütülen araştırmada, ilçeler arası rekabet endekslerinin yanı sıra, demografik yapı, eğitim, sağlık, sosyal yaşam, ekonomik kapasite, ticari hayat ve girişimcilik, finansal yapı, turizm, altyapı ve ulaşım başlıklarında 39 ilçe incelenerek rekabet güçlerine göre sıralanmıştır. Araştırmaya göre İstanbul'da en rekabetçi ilçeler Şişli, Kadıköy, Beşiktaş, Bakırköy ve Üsküdar olurken Arnavutköy, Sultangazi, Çatalca, Şile ve Sultanbeyli ise rekabet gücü en düşük ilçeler olarak sıralanmıştır. Finansal yapı endeksinde Kadıköy, Şişli, Beşiktaş, Ümraniye ve Fatih ilçeleri rekabetçi ilçeler olarak öne çıkmıştır (İSTKA, 2021).

GPC (Global Protocol for Community) Protokolüne uygun olarak İBB tarafından hazırlanan İstanbul'un 2019 yılına ait Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu'na göre, İstanbul'da toplam emisyon miktarının 50.905.125 t CO₂e olduğu belirlenmiştir. İstanbul'da en çok emisyon salınımına sahip sektörler enerji ve ulaşım sektörü olarak sıralanmıştır (İBB, 2019). Bu kapsamda ön fizibilitesi hazırlanan çalışmada, açık havuz sistemlerinde büyütülecek alglerin, yalnızca reaktörlere sağlanan baca gazından değil aynı zamanda İstanbul'un hava kalitesinin içerdiği CO₂ emisyonlarından da faydalanabileceği düşünülmektedir. Bu kapsamda özellikle sanayi bölgesi olan Kocaeli iline yakınlığı kapsamında baca gazı veya CO₂ lojistiğinde önemli avantajlar oluşturabileceği vurgulanmaktadır.

• Dağıtım Kanalları

Türkiye'de biyodizel satışları üretim tesisi bünyesinde dağıtıcı lisanslı petrol firmalarının tankerlerine harmanlama ürün olarak gerçekleştirilmektedir. Son kullanıcıya direk olarak satış yoktur. Bu nedenle dağıtım/satış yalnızca tesisin bulunduğu İstanbul ilinde gerçekleşecektir. Ayrıca harmanlama ürünü olarak EPDK tarafından dağıtıcı lisansı olan tüm petrol firmalarına harmanlama ürün olarak satışı gerçekleştirilebilecektir. Ulusal marker uygulaması vardır. EPDK marker mevzuatlarına göre "Ulusal marker, yurt içinde pazarlanacak akaryakıtta, rafineri çıkışında, gümrük girişinde, sanayide yan ürün

olarak veya diğer şekillerde üretilen veya tasfiye edilmiş kaçak akaryakıtın teknik düzenlemelere uygun olan akaryakıtı veya benzin türlerine harmanlanacak biyodizel ticari faaliyete konu edilmeden önce, ilgili lisans sahibi tüzel kişiler tarafından kurumca belirlenecek şart ve özellikte ve bağımsız gözetim firması nezaretinde eklenir. Gümrük girişinde ulusal marker ekleme işlemi, ancak ithalat işlemlerini tamamlayan ilgili lisans sahibi tarafından gerçekleştirilebilir. Ancak ithalatın gerçekleşmesine rağmen, lisansın iptal edilmesi veya sona ermesi nedeniyle ulusal markerin eklenemediği durumlarda ulusal marker başvurusu yapılması halinde konu kurul tarafından değerlendirilir” (EPDK, Yıllık Sektör Raporu, 2020). Tablo 19’da belirtildiği üzere, Türkiye’de 2018 yılında biyodizel üreticileri tarafından üretilen ve satışı yapılan ürünün tamamı dağıtım şirketlerince yapılan harmanlama neticesinde nihai tüketicilere 12.500 istasyonda buluşmuştur.

Tablo 19: Bazı Dağıtıcı Lisanslı Petrol Firmaları ve Satış Potansiyelleri

Sıra	Firma	İstasyon Sayısı
1	Aytemiz Akaryakıt Dağıtım A.Ş.	>550
2	BP Petrolleri A.Ş.	>1000
3	Shell&Turcas Petrol A.Ş.	>1000
4	Total Türkiye A.Ş.	>500
5	TP Petrol Dağıtım A.Ş.	700
6	Opet Petrolcülük A.Ş.	1500
7	Petrol Ofisi A.Ş.	>1800
8	Lukoil Eurasia Petrol A.Ş.	600

- **Biyodizelin Yıllık Ortalama Satış Fiyatı**

2020 yılında petrol fiyatlarının 17 yılın en düşük seviyesini çok kısa sürede sert bir düşüş ile gördüğü bir dönemde COVID-19 virüsünün yarattığı talep daralmasının küresel petrol talebi ve fiyatları üzerinde yarattığı aşağı yönlü baskı ile sadece Türkiye’de değil küresel ölçekte tüm yenilenebilir enerji sektörlerinin rekabet açısından zorlanacağı bir alana taşınmıştır. Fakat atık bertarafıyla üretilen algal biyoyakıtlar ve aynı zamanda Avrupa Birliği tarafından getirilen yasal zorunlu regülasyonlar algal biyoyakıtların önümüzdeki 10 yıl içerisinde üstel bir artışla satış garantisi olacağını ve artmaya devam edeceğini belirtmektedir. Türkiye’de biyodizel satışları genellikle petrol fiyatlarının ortalama %10 üstündedir. Satışlar direk dağıtıcı lisanslı petrol firmalarına gerçekleştiriliyor olup dağıtıcı ve kâr marjı eklendikten sonra son kullanıcıya istasyonlarda harmanlama olarak ulaştırılmaktadır. Tablo 20’de belirtilen fiyatlar dolar bazında, KDV hariç, fabrika çıkış fiyatıdır.

Tablo 20: Yıllara ve Biyokütleyle Göre Biyodizel Fabrika Çıkış Fiyatları

Ürün	Birim	2016	2017	2018	2019	2018/2019 Değişim
Soya Biyodizeli (SME)	\$/ton	943	942	904	850	%-9
Kolza Biyodizeli (RME)	\$/ton	766	776	711	700	%-7
Mumyağı	\$/ton	655	704	581	600	%17

Kaynak: LMC, 2019

• Pazarda Regülasyonların Rolü

Türkiye'de 2017 yılında EPDK tarafından yayımlanan [Resmî Gazete](#) tebliğine göre dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolun üniteleri hariç rafineriden temin edilen motorininin toplamına, en az %0,5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biodizelin harmanlanmış olması zorunludur. Regülasyon zorunluluğu ürüne satış garantisi sunmaktadır. Ayrıca Avrupa Birliği ve Amerika'da aşağıda belirtilen regülasyonlar doğrultusunda algal biyoyakıtları tüm ülkeler için 2018 yasal olarak zorunlu hale getirmiştir ve bu karar 2021 Haziran itibarıyla resmîyette başlamıştır. Dolayısı ile bu konuda AB ve ABD'nin regülasyonları doğrultusunda hareket etmek en doğru karardır.

Birleşmiş Milletler tarafından 2018 yılında yürürlüğe giren ve Haziran 2021 itibarıyla tüm Avrupa ülkelerinde yasal olarak zorunlu hale gelen Renewable Energy Directive II (RED II)'e algal biyoyakıt pazarı özellikle 2030 yılına kadar üstel olarak artacak, daha sonrasında ise 3. nesil karbon yakalama teknolojili biyoyakıtlar olduğu için petrol yakıtlarının yerini alacaktır. Bu kapsamda yönergede özellikle ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerjinin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Regülasyon aşağıda yazan maddeleri içermektedir;

Madde 25 (1) 1. Ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerji kullanımını yaygınlaştırmak için, her üye Devlet, yakıt tedarikçilerine, yenilenebilir enerjinin ulaştırma sektöründeki nihai enerji tüketimi içindeki payının, 2018 yılı itibarıyla en az %14 olmasını sağlama yükümlülüğünü koyacaktır. Komisyon, bu yükümlülüğü 2023 yılına kadar sunmak amacıyla değerlendirecektir. Buna göre Üye Devletler, yakıt tedarikçileri üzerindeki yükümlülüğü belirlerken farklı yakıt tedarikçilerini ve farklı enerji taşıyıcılarını muaf tutabilir veya bunlar arasında ayırım yapabilir, farklı olgunluk derecelerinin ve farklı teknolojilerin maliyetlerinin dikkate alınmasını sağlarlar.

Birinci alt paragrafta atıfta bulunulan asgari payın hesaplanması için Üye Devletler:

(a) Konvansiyonel yakıtların üretimi için ara ürünler olarak kullanıldıklarında da biyolojik kökenli olmayan yenilenebilir sıvı ve gazlı taşıma yakıtlarını dikkate alacaktır; ve

(b) Geri dönüştürülmüş karbon yakıtlarını dikkate alacaktır.

Birinci alt paragrafta atıfta bulunulan asgari pay dahilinde, ulaştırma sektöründe nihai enerji tüketiminin bir payı olarak Ek IX Kısım A'da listelenen hammaddeden üretilen gelişmiş biyoyakıtların (algal biyoyakıtların içerisinde bulunduğu sınıf) ve biyogazın katkısı 2022 yılına kadar en az %0,2, 2025'te en az %1 ve 2030'da en az %3,5 olacaktır. Üye Devletler, elektrik veya biyolojik kökenli olmayan yenilenebilir sıvı ve gazlı nakliye yakıtları şeklinde yakıt sağlayan yakıt tedarikçilerini, Ek IX Kısım A'da listelenen hammaddeden üretilen gelişmiş biyoyakıtların ve biyogazın asgari payına uyma gerekliliğinden muaf tutabilir.

2. Biyolojik kökenli olmayan yenilenebilir sıvı ve gazlı ulaşım yakıtlarının kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyon tasarrufları 1 Ocak 2021'den itibaren en az %70 olacaktır.

1 Ocak 2021'e kadar Komisyon, her bir yakıtın özelliklerini dikkate alan bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yoluyla geri dönüştürülmüş karbon yakıtlarının sera gazı emisyon tasarrufları için uygun minimum eşikler belirleyerek bu direktifi tamamlamak üzere Madde 35'e uygun bir yetki devrini kabul edecektir.

Bölüm A. Madde 25(1)'in birinci ve dördüncü alt paragraflarında belirtilen asgari paylara katkısı, ulaşım için biyogaz ve gelişmiş biyoyakıt üretimi için hammaddelerin enerji içeriğinin iki katı olarak kabul edilebilir:

(a) Göllerde veya fotobiyoreaktörlerde arazide yetiştiriliyorsa algler;

(b) Karışık belediye atıklarının biyokütle oranı, ancak 2008/98/EC Direktifi Madde 11(2)'nin (a) noktası kapsamında geri dönüşüm hedeflerine tabi olan ayrılmamış evsel atıklar;

(c) 2008/98/EC sayılı Direktifin 3. maddesinin (4) numaralı bendinde tanımlandığı gibi, bu Direktifin 3. maddesinin (11) bendinde tanımlandığı gibi ayrı toplamaya tabi olan özel evlerden elde edilen biyoatık;

(d) Perakende ve toptan satış malzemeleri ve tarım-gıda ve balık ve su ürünleri endüstrisi dahil olmak üzere ve bu Ek'in B bölümünde listelenen hammaddeler hariç, gıda veya yem zincirinde kullanıma uygun olmayan endüstriyel atıkların biyokütle fraksiyonu;

(e) Saman

(f) Hayvan gübresi ve kanalizasyon çamuru

(g) Palmiye yağı değirmeni atığı ve boş palmiye meyvesi demetleri

(h) Yüksek petrol sahası

(i) Ham gliserin

(j) Biyogaz

(k) Üzüm zarları ve şarap artıkları

(l) Fındık kabukları

(m) Kabuklar

(n) Mısır tanelerinden temizlenmiş koçanlar

(o) Ağaç kabuğu, dallar, ticari öncesi inceltmeler, yapraklar, iğneler, ağaç tepeleri, talaş, kesici talaşlar, kara likör, kahverengi likör, lif çamuru gibi ormancılık ve ormana dayalı endüstrilerden kaynaklanan atık ve artıkların biyokütle fraksiyonu, lignin ve uzun yağ

(p) Diğer gıda dışı selülozik malzemeler

(q) Testere kütükleri ve kaplama kütükleri hariç diğer ligno-selülozik malzemeler.

Kısım B. 25(1) maddesinin birinci alt paragrafında belirlenen asgari paya katkısı sınırlı olacak ve enerji içeriğinin iki katı olarak kabul edilebilecek, ulaşım için biyoyakıt ve biyogaz üretimi için hammaddeler:

(a) Kullanılmış yemeklik yağ;

(b) 1069/2009 (EC) Sayılı Tüzük uyarınca kategori 1 ve 2 olarak sınıflandırılan hayvansal yağlar (Chiaramonti & Goumas, 2019).

Ayrıca Amerika Birleşik Devletleri US Environmental Protection Agency (EPA) tarafından yayımlanan Renewable Fuel Standards (RFS) yönergesinde 2020 yılından itibaren algal biyoyakıtlar gibi gelişmiş biyoyakıtları harmanlama zorunluluğu getirmiştir. Bu kapsamda 2020 için Yenilenebilir Yakıt Standartları;

(i) 2020 için selülozik biyoyakıt standardının değeri %0,34 olacaktır.

(ii) 2020 için biyokütleyle dayalı dizel standardının değeri %2,10 olacaktır.

(iii) 2020 için gelişmiş biyoyakıt standardının değeri %2,93 olacaktır.

(iv) Yenilenebilir yakıt standardının 2020 değeri %11,56 olacaktır (Bracmort, 2018).

Tüm bu regülasyonlar incelendiğinde, başta Amerika ve Avrupa olmak üzere tüm dünya ülkelerinde algal biyoyakıtlar gibi gelişmiş biyoyakıtların pazarı her geçen gün regülasyonlar ile zorunlu olarak büyümektedir. Hatta RED II'de belirtildiği gibi klasik biyoyakıtlara göre algal biyoyakıtların harmanlanma oranları resmîyette klasik yakıtlara göre 2 katı sayılacaktır ve bu şekilde de kullanımının zorunlu olarak artırılması hedeflenmektedir. Ayrıca Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'ne göre eğer sanayi ve ulaşımda bu şekilde kısmi yenilenebilir enerji veya fosil yakıt bazlı enerji kullanılmaya devam edilecek olunursa 2030-2050 yılları arasında 1,5°C'lik iklim değişikliği sınırı aşılabacaktır. Panel bu durumun önlenmesinin tek yolunun karbon yakalama teknolojili biyoyakıtlar olduğunu vurgulamaktadır (Sutton, 2018). Şu ana kadar kullanılan tüm yenilenebilir enerji çeşitleri, karbon yakalama teknolojisi ile entegre edilemezse bu sınırın gelmesi kaçınılmazdır. Dolayısı ile yenilenebilir enerji pazarında karbon yakalama teknolojili algal biyoyakıtların pazar değeri, elektrikli araçlarınkı ile neredeyse aynıdır. Artık yenilenebilir enerji kaynaklarında sadece çıktı değil, tüm yaşam döngüsü değerlendirmesi önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirilirken sadece tüketimde değil üretimde de ne kadar karbondioksit veya sera gazı salınımı gerçekleştireceği de incelenmelidir.

3. TEKNİK ANALİZ

3.1. Kuruluş Yeri Seçimi

Mikroalglerden biyodizel üretimi yatırımı kapsamında en önemli girdiler endüstriyel atık su ve baca gazı (CO₂)'dir. Dolayısı ile kurulacak tesisin sanayi bölgelerine yakınlığı lojistik maliyetleri açısından önem kazanmaktadır. İstanbul bu açıdan avantajlı bir bölge olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Marmara Bölgesi'nde İstanbul, Kocaeli ve Bursa gibi diğer sanayi bölgelerine de yakınlık sağlamaktadır. Ayrıca kendi bünyesinde bulunan toplam 8 Organize Sanayi Bölgesi ve yaklaşık kapladıkları 1.000 ha alan ile atık su hammadde tedariki açısından avantajlı sayılmaktadır. Bu kapsamda ayrıca Kocaeli sanayi bölgesine yakınlığı ve arazi fiyatları/büyüklüğü açısından İstanbul'da kurulacak biyoyakıt tesisi için en uygun bölgelerden birinin Tuzla olduğu tespit edilmiştir. Yapılacak yatırımların, hâlihazırda OSB bulunan ilçelerde gerçekleşmesi, kurulacak tesisin girdiye daha ucuz ulaşmasını sağlayacaktır. Bu açıdan yine baca gazı taşıma/lojistiği açısından özellikle Tuzla, öne çıkmaktadır. Tablo 21'de de görüldüğü üzere genel olarak biyodizel üreticileri İstanbul Tuzla veya Kocaeli bölgesinde yoğunlaşmışlardır.

Tablo 21: Türkiye'de Bulunan Biyodizel Üretim Tesisleri

Firma Ünvanı	İl	Adres
DB Tarımsal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş.	İzmir	Yedi Eylül Mh., Phılsa Cd., No:30/2, Torbalı
AVES Enerji Yağ ve Gıda Sanayi A.Ş.	Mersin	Toroslar Mah. Gizem Sok. No:19 Akdeniz
TBE Biyodizel Tarımsal Enerji	Kocaeli	Arslan Bey Org. San. Böl. Mh.,11. Sk., No:2/1 Kartepe
Kolza Biyodizel	İstanbul	Kimya Sanayicileri Organize Sanayi Bölgesi Melek Aras Bulvarı Aromatik Cad. No:31 Tuzla
Deha Biyodizel	Kocaeli	Dilovası Organize Sanayi Bölgesi, Dicle Caddesi Mimar Sinan Köprüsü yanı No:2 Dilovası
Maysa Yağ Sanayi A.Ş.	İstanbul	İkitelli OSB Mah. Eski Turgut Özal Cad. 14 Haseyad San. Sit. 1. Kısım Başakşehir

Ayrıca İstanbul'da Tablo 22'de görüldüğü üzere hem OSB alan büyüklüğü hem de tesis sayısı ve üretilen atık su miktarları incelendiğinde, Tuzla ilçesinin hammadde girdileri ve teknolojik altyapı açısından uygunluğu görülmektedir. Arsa maliyetleri Tuzla'da 500-800 USD/m² ortalamalarıdır.

Arazinin mülkiyet durumu yatırımcı çeşidine göre farklı olanaklar ile değerlendirilebilir. OSB arazisi ilk yatırım maliyetinde ön fizibilite çalışmasında pozitif avantaj sağlayacaktır.

Tablo 22:İstanbul'da Bulunan Organize Sanayi Bölgeleri

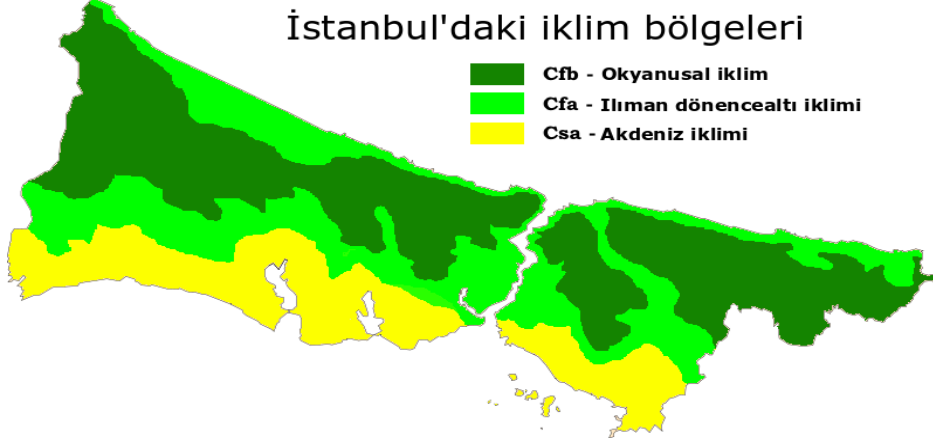
OSB	Büyükülüğü	İşletme Sayısı	Türü	İlçe
İstanbul Anadolu Yakası Organize Sanayi Bölgesi	79 ha	140	Karma	Tuzla
İstanbul Birlik Organize Sanayi Bölgesi	51 ha	80	Karma	Tuzla
İstanbul Dudullu Organize Sanayi Bölgesi	265 ha	2640	Karma	Ümraniye
İstanbul Tuzla Kimya Sanayicileri Organize Sanayi Bölgesi	74 ha	155	Karma	Tuzla
İstanbul Deri Organize Sanayi Bölgesi	740 ha	800	Karma	Tuzla
İstanbul Tuzla Organize Sanayi Bölgesi	60 ha	100	Karma	Tuzla

Kaynak: Sanayi Portalı, 2021

İstanbul Kalkınma Ajansı tarafından ilçe bazında yapılmış olan çalışan analizi (nüfusun çalıştığı sektörler) incelendiğinde Tuzla ilçesi, Ulaştırma, Üretim, Depolama (H), Kamu Yönetimi ve Savunma (O) ile Diğer Hizmet Faaliyetleri (S); Pendik ilçesi, Gayrimenkul Faaliyetleri (L), Eğitim (P), İnsan Sağlığı ve Sosyal Hizmet Faaliyetleri (Q); Beylikdüzü ilçesi, Tarım (A) ile İnşaat (F); Şile ilçesi Elektrik, Gaz, Buhar ve İklimlendirme Üretimi ve Dağıtım (D) ile Kamu yönetimi ve Savunma (O); Avcılar ilçesi, Diğer Hizmet Faaliyetleri (S), Esenyurt ilçesi Gayrimenkul Faaliyetleri (L) ve Başakşehir ilçesi Toptan ve Perakende Ticaret (G) sektörlerinde de 2016 yılı itibariyle uzmanlaşmıştır. Bu kapsamda İstanbul'da Tuzla ilçesi üretim konusunda yatırım amaçlı uygun görülmektedir. Ayrıca Tuzla ilçesinde halihazırda bölgede bulunan sanayi kuruluşları sebebiyle vasıflı ve vasıfsız işgücünde de bir artış bulunmaktadır. Personelin, tedarik ve teslimat zincirindeki ulaşım kolaylığı ve maliyeti de kuruluş yeri seçiminde etkili olacağı için bu faktörler de göz önüne alındığında yatırımda tesis kurulumu için Anadolu Yakası Tuzla bölgesi uygun olacaktır.

Mikroalgal biyokütlenin üretilmesi sürecinde iklim önemli bir rol oynamaktadır. Çeşitli oranlardaki iklim koşullarına dayanıklılık sağlayan alg türleri için optimal büyüme sıcaklıkları 20-25 derece arasındadır. Dolayısıyla yatırım için tesis bölgesi seçilirken iklim büyük rol oynamaktadır. İstanbul'un iklimi, Türkiye'de Karadeniz iklimi ile Akdeniz iklimi arasında geçiş özelliği gösteren bir iklimdir, dolayısıyla İstanbul'un iklimi ılımandır. Bu kapsamda Şekil 13'teki İstanbul iklim haritası göz önünde bulundurulduğunda, İstanbul'un güney bölgelerinde Akdeniz ikliminin hâkim olduğu görülmektedir. Şehrin Marmara Denizi'ne bakan güney kısımları daha kuru ve sıcak bir iklime sahip olup, daha az yağış almaktadır. Ayrıca Tuzla bölgesi iklim için de doğru bir tercih olmuş olacaktır.

Şekil 13: İstanbul İklim Haritası



Kaynak: Sanayi Portalı, 2021

3.2. Üretim Teknolojisi

Mikroalgler tatlı veya tuzlu suda yaşayan, aynı zamanda ekstrem koşullarda büyüeyebilen fotosentetik tek hücreli canlılardır. Hareketsiz veya sıvı su ekosistemleri gibi çeşitli ekosistemlerde bulunurlar. Mikroalgler, lipitler yerine şeker ve diğer karbonhidratları üretme eğiliminde olan makroalglerin aksine, biyodizel üretiminin temeli olan lipitleri (yağ) sağlayabilirler.

Günümüzde açık hava havuzları ve kapalı fotobiyoreaktörlerden heterotrofik üretime, bu sistemleri birleştiren sistemlere kadar çok sayıda alg yetiştirme sistemi başarıyla geliştirilmektedir. Algler, tarıma elverişsiz topraklarda büyüeyebilir, atık su kullanılabilir ve gıda mahsulleriyle rekabet etmezler, dolayısıyla günde yüz binlerce varil dizel üretimi, soya fasulyesi ve mısır ekimi için kullanılan arazinin %1'inden daha azını gerektirerek üretilebilir. Kuru biyokütlesinde %30 yağ içeren mikroalgler, yağlı tohumlu kolza veya soya fasulyesine kıyasla çok daha fazla miktarda biyodizel (58.700 L/ha/yıl) üretebilmektedir. Temel olarak 2 farklı algal üretim sistemi mevcuttur; açık havuz reaktörler ve kapalı sistem fotobiyoreaktörler. İki farklı sistemin en temel farklılık parametresi üretim maliyetleridir. Fotobiyoreaktör sistemler genel olarak atık arıtımında, biyoyakıt üretiminde, üretim maliyetini artırdıkları için kullanılmamaktadır. Öte yandan besleyici gıda takviyesi olarak alg üretiminde veya kozmetik hammaddesi olarak pigment, vitamin vb. üretiminde daha spesifik ortam koşulları yaratmak için kullanılmaktadır. Açık algal havuzlar ise maliyetleri düşük olduğu ve kolay bir şekilde tasarlanabildikleri için büyük ölçekli algal üretim tesislerinde ve algal arıtım sistemlerinde daha çok tercih edilmektedir. Dolayısı ile bu ön fizibilite çalışması dünya geneli akademik veya ticari tüm algal biyoyakıt üretiminde olduğu gibi açık havuz algal üretim sistemleri üzerine tasarlanmıştır.

- **Açık Havuz Algal Üretim Reaktörleri**

Açık havuzlar (Open Pond Raceways), su karıştırmalı veya karıştırmaz, kanallı veya dairesel olabilir. Karıştırıcı olmayan havuzlar en basit ve en ucuz maliyetli olanlarıdır. Mevsime ve diğer faktörlere bağlı olarak havuz suyunun hacminin %20 ila %40'ı günlük olarak hasat edilebilir. Bu havuz tipinin ek bir avantajı, daha az bakım gerektirmesi, havuz sayısını artırarak havuz alanını büyütme olasılığıdır. Atık su arıtma süreçleriyle entegre olma yeteneği ek bir faydadır. Şekil 14'te görüldüğü üzere, Raceway açık havuzları derinliği 15 ila 30 cm arasında olan pist şeklinde bir veya daha fazla bağlantılı kanaldan oluşur. Kürek çarkı, kanallar boyunca sürekli su akışını ve alglerin karışmasını sağlamak için yaygın olarak kullanılır. Sistem güneşe ve CO₂'ye maruz kalan algleri mümkün olduğunca tutmak ve alg biyokütlesinin altta çökmesini önlemek için kullanılır. Dairesel havuzlarda su, merkezi olarak döndürülen bir karıştırıcı tarafından karıştırılır. Açık havuz sistemleri doğal ışık kullanır, bu nedenle yapay ışık kullanma maliyeti bulunmaz. Fotobiyoreaktörlerle karşılaştırıldığında, açık havuzların düşük biyokütle verimi, yüksek hasat maliyetleri ve yabancı algler, mikroorganizmalar ve bakteriler tarafından kontamine olma gibi dezavantajları vardır. Yüksek oranda su buharlaşması açık havuzda alg yetiştiriciliğini yalnızca düşük maliyetli su bulunan alanlar ve atık su entegre sistemler için uygun kılmaktadır.

Şekil 14: Raceway Açık Havuz Algal Üretim Reaktörleri



- **Kapalı Sistem Algal Fotobiyoreaktörler**

Diğer bir alg yetiştirme sistemi, fotobiyoreaktör adı verilen kapalı cam kaplara dayanmaktadır. Düz panel, dikey kolon, boru şeklinde ve hibrit sistemler gibi farklı fotobiyoreaktör tasarımları uygulanmaktadır. Şekil 15'te görüldüğü üzere plastik veya cam torbalar, kaplar veya kuleler şeklinde yapılabilmektedir. Algal biyokütlenin yüksek verimi, kabarcık kolonlarında ve hava taşımalı fotobiyoreaktörlerde elde edilebilmektedir. Fotobiyoreaktör geliştirmenin temel amacı, ince mikroalg süspansiyon katmanları aracılığıyla optimum ışık kaynağı yoluyla alg büyümesini en üst düzeye çıkarmaktır. Bazen verimi artırmak için yapay ışık kullanılır. Yapay ışığın kullanımı genellikle kirleticilere karşı yüksek hassasiyetle sonuçlanan önemli sayıda yüzeye ve alg üretimi için yüksek enerji tüketimine neden olur. Kapalı bir alg yetiştirme sisteminin temel avantajlarından biri, açık havuzlarda elde edilemeyen belirli alg türlerinin büyümesi için daha iyi, daha kontrollü koşullar yaratmasıdır. Ayrıca, yararlı alglerin verimini etkileyen zararlı alglerin ve zooplanktonların istilasını önleyebilmektedir. Bu avantajlara ek olarak, fotobiyoreaktörlerin en büyük dezavantajı yüksek yatırım maliyetidir. Ayrıca atık su arıtımında yaygın olarak kullanılmaması ve arıtımda verimli olmaması gibi nedenlerden dolayı söz konusu ön fizibilite çalışması açık havuz sistemler göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Diğer dezavantajlar arasında ölçek büyütme, aşırı ısınma, oksijen birikimi, biyolojik kirlenme ve zamanla hücre hasarı ile ilgili zorluklar yer almaktadır.

Şekil 15: Kapalı Sistem Fotobiyoreaktörlerde Algal Üretim Sistemleri



- **Alglerin Büyüme Etkileyen Fiziksel Parametreleri**

pH: Algal hücre duvarının toplam çökmesi, optimize edilmemiş pH seviyesi ile gerçekleşir. Uygun hücre büyümesi, 7.2-8.7 pH aralığında gerçekleşir ve ortama CO₂ eklenmesi, optimize edilmiş pH'ın elde edilmesini sağlar.

Aydınlatma: Aydınlatmanın yeterli ışık periyodunda ve yoğunlukta yoğunlaştırılması gerekir. Bunlar kültürün yoğunluğuna ve kullanılan reaktörün derinliğine/genişliğine bağlıdır. Aydınlatma ile ilgili önemli stratejiler şunlardır:

Florosan Lambalar: Alg büyümesi için 380-500 nm (mavi ışık) ve 600-700 nm (kırmızı ışık) radyasyonu tercih edilir.

Fotoperiyot: Uygun kültür bakımı için aydınlatma süresinin 16-18 saat civarında olması beklenmektedir.

Işık Yoğunluğu: Yosun büyümesi, %5 ila %10 arasında değişen ışık yoğunluğu ile farklılık gösterir. Çoğunlukla, hücreler sürekli aydınlatmada büyümediği için aydınlık/karanlık döngüsü izlenir.

Sıcaklık: Kültür ortamının sıcaklığı, bölgelerin sıcaklık bölgelerine göre değişir. Hindistan ve ABD gibi ülkelerde (ılıman bölgeler) alg kültürü 10°C–25°C'de yetişebilir ve tropikal ülkelerde (örn., Brezilya ve Singapur) etki sıcaklığı 20°C'nin altındadır. 35°C'nin üzerindeki sıcaklık, yavaş alg büyümesine sebep olur.

Kültür Ortamı: Kültür ortamı atık su veya kimyasallar ile hazırlanmış spesifik besiyerlerinden oluşabilir. Algal büyümede en çok kullanılan besi ortamları BG-11 ve Bold Basal Medium'dur. Kültürün kontaminasyonu algal büyümede engel oluşturur. Çevreden kaynaklı bakteri kontaminasyonu, farklı alg türü kontaminasyonu bunlardan birkaçıdır. Algler tuzlu sularda yetişebilir fakat deniz suyu vitaminler, şelatlayıcı maddeler, tamponlar, toprak özü vb. içerebilir. Dolayısı ile algal büyüme ortamı kültüre göre spesifik olarak modifiye edilmelidir (Ganesan, ve diğerleri, 2020).

- **Mikroalgler ile Atık Su ve Baca Gazı Arıtım Süreci**

Nitrojen (N) ve fosforun (P) uzaklaştırılması, alglerle atık su arıtımının temel amacıdır. İkincil amaç ise, farklı biyoaktif kirleticilerin ve ksenobiyotiklerin atık sudan uzaklaştırılmasıdır. Arıtılmış atık su, askıdaki kültürden ayrılmalıdır ve yönetmeliklere uygunsa serbest bırakılabilir. Atık su arıtma prosesleri genellikle biyoyakıt üretimi için mikroalg biyokütlesi veya lipid birikimi üretimine yöneliktir. Mikroalg türlerinin, özellikle *Chlorella* ve *Scenedesmus* cinslerinin, N ve P'yi uzaklaştırmada çok etkili olduğu gösterilmiştir. Mikroalglerin besin uzaklaştırma kapasiteleri *Spirulina* türü, *Nannochlorosis* türü, *Botryococcus braunii* ve *Phormidium bohneri*'de de incelenmiştir. Mikroalgal atık su arıtımı ile ilgili çalışmaların çoğu belediye atık suları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Birincil arıtılmış belediye atık suyunda yetiştirilen *Chlorella vulgaris*'in laboratuvar ölçekli parti kültürleri, 10 gün sonra %90 NH₄⁺ ve %80 PO₄³⁻'in üzerinde uzaklaştırılmıştır. *Scenedesmus sp.* arıtılmamış belediye atık suyunda kültürlenelerin 24 saat içinde NH₄⁺'nin %85'ini ve PO₄³⁻'nin %72-76'sını uzaklaştırdığı, fosfattan yoksun hücrelerin ise aynı dönemde %100 NH₄⁺ ve %87 PO₄³⁻'yi çıkarabildiği rapor edilmiştir.

Fotoototrofik alg kültürleri tarafından CO₂ fiksasyonu, CO₂'in atmosfere salınımını azaltma potansiyeline sahiptir ve küresel ısınmaya yönelik eğilimin hafifletilmesine yardımcı olur. Elektrik santrallerinden egzoz gazı yoluyla salınan CO₂'i sabitlemek ve böylece atmosfere salınan karbon miktarını azaltmak için mikro alg kullanmak yıllardır uygulanabilen bir tasarımdır. Çok yüksek CO₂ konsantrasyonlarıyla başa çıkabilen ve aynı zamanda yüksek büyüme oranlarına sahip suşları belirlemek algal baca gazı arıtımında çok önemlidir. Baca gazı içeriğindeki CO₂ algal kültür ortamının pH'ını etkileyen en temel etkidir. Algal büyümede CO₂ pH sabitleyici olarak kullanılabilir. Algal büyüme için optimal pH aralığı genellikle 6,5-8,5 arasında değişiklik göstermektedir. Ayrıca algal hücre kültürlerine verilen sıcak baca gazlarının kültürün sıcaklığı etkileyebileceği bilinmektedir. Algal büyüme için optimal kültür sıcaklığı 15°C-30°C arasında değişmektedir. *Scenedesmus* cinsi, baca gazı havuzlarında, baca gazı olmayan arıtma havuzlarına kıyasla en büyük tür zenginliğini ve algal biyokütle miktarını verme konusunda başarı türlerdendir. *Diatomaceae* türleri arasında *Navicula sp*, *Nitzschia sp* ve *Synedra sp* cinsleri yine baca gazı ortamında efektif büyüme sağlayan diğer türlerdendir. Yeşil alg türlerinden *Ulothrix sp.* ve *Coelastrum sp.* bir önceki tür çeşitlerine göre baca gazı bulunan ortamda daha az büyüme göstermektedir. Ayrıca mikroalg üretiminde baca gazı kullanımının, her baca gazındaki ağır metal konsantrasyonunda farklılıklar olduğu göz önüne alınarak yapılmalıdır. Arıtılmış baca gazının konsantrasyon seviyelerinde bile mikroalg popülasyonunun büyümesini, biyokimyasal bileşimini ve atılımını etkileyebilen birkaç kimyasal bileşik bulunabilmektedir. Ek olarak mikroalgler ayrıca CO₂,

NO_x, SO_x, ağır metaller ve yanmamış karbonhidratlar gibi baca gazı bileşiklerinin uzaklaştırılmasını da doğrudan ve dolaylı olarak etkileyebilir (Guruvaiah & Lee, 2014).

- **Mikroalglerden Biyodizel Üretim Süreci**

Alglerin büyüme döngüsü bitkisel biyokütleden farklı olarak çok kısadır (bir ila on gün), bu sayede ayda birkaç hasata izin verir. Uygulanan hasat teknolojisi, yetiştirilen alg türüne bağlıdır; toplama ve alg biyokütlesi konsantrasiyonu olmak üzere iki ana süreci içerir. Su içeriğinin ayrılması, daha sonraki biyodizel üretim süreci için bu biyokütle toplama ile ilgilidir. İşlem iki özel adımı içerir:

1. Mikroseparatorler, elektroforez-çökeltme, yüzdürme ve flokülasyon yoluyla toplu süspansiyondan mikroalglerin ayrılması ve yoğunlaştırılması

2. Mikroalg bulamacının susuzlaştırılması, filtrasyon veya santrifüj uygulanması.

Algal hasatta ilk adım, eleme işlemi veya filtreleme yapmaktır. Mikroseparatorler ve titreşimli elekler kullanılan standart eleme cihazlarıdır. Titreşimli elek filtrasyonu kullanılarak %95'lik yüksek hasat oranları ve kaldırma verimliliği elde edilebilmektedir. Konsantrasyonun iyileştirilmesi için katı püskürtme diski, katı çanak dekantör ve hidrosiklon gibi çeşitli santrifüj sistemleri kullanılmaktadır. Santrifüjleme, optimal koşullar altında %95'e varan biyokütle geri kazanımı ile en hızlı yöntemi temsil etmektedir, bu nedenle diğer yöntemlere göre tercih edilir. Büyük alg sistemleri için (kapalı fotobiyoreaktör), yüksek enerji tüketimi gerektiren 1 kg alg biyokütlesini işlemek, 73 kg su gerekir. Bu yüzden flokülasyon uygulamak enerji tüketimini azaltır. Flokülasyonda ilk olarak, nötralizasyon sırasında kolloidin kararsız safsızlıkları ve agrega oluşumu; ikinci olarak, köprülendirme işlemi yoluyla agrega tarafından organik maddenin adsorpsiyonu; son olarak, partikül agregaları çökeltme, filtrasyon ve süpürme yoluyla uzaklaştırma vardır.

Yüzdürme işleminde, hava kabarcıkları alg kütlelerine yapışır ve onları sıvının yüzeyine, toplanmasının daha kolay olduğu yüzeye kaldırır. Alg süspansiyonunun %5 ila %15 kuru madde üzerinde konsantrasyon edilmesinden sonra, biyodizel üretiminin bir sonraki adımına geçmek için daha fazla bulamaç dehidrasyonu gereklidir. Algal biyokütlenin kurutulması için 11,22 MJ/kg kadar önemli bir enerji miktarı gereklidir. Bu nedenle, kurutma önemli bir ekonomik kaygıdır çünkü yosunları kurutmak için gereken enerji, işleme maliyetlerinin en büyük payını oluşturabilir. Alg biyokütlesinden nem içeriğinin çıkarılması gereklidir çünkü nem, lipid ekstraksiyonu ve transesterifikasyon gibi daha sonraki işlem adımlarını engeller. Güneşte kurutma, dondurarak kurutma, flaş kurutma, döner kurutma, sprey kurutma, toroidal kurutma ve akışkan yataklı kurutma gibi alg süspansiyonlarını kurutmak için birçok farklı dehidrasyon tekniği kullanılabilir. Algal bulamacın yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılmasına yönelik tüm özel teknolojilerin farklı karakterleri vardır. Yetiştirme için kullanılan ortamın mikroalg türü, boyutu, morfolojisi ve bileşimi bu teknolojilerin etkinliğini etkiler. Hangisinin uygulanacağını seçmeden önce mevcut tüm teknolojileri analiz etmek önemlidir (Bošnjaković & Sinaga, 2020).

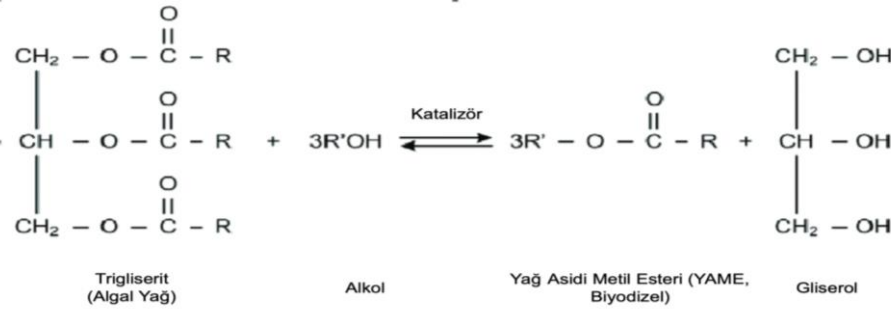
Biyokütlenin dehidrasyonunu, alg biyokütlesinden lipid ekstraksiyonu takip eder. İşlem, karasal kültürlerden yağ ekstraksiyonundan çok daha zordur. Alg kütlelerinden lipidlerin ekstraksiyonu genellikle mekanik bir işlem (expeller press) veya kimyasallar ve çözücüler ile yapılır. Ekstrüzyon presisi, uygulanması, yağı elde etmek için alg hücrelerinin mekanik olarak ezilmesi için basit ve verimli bir işlemdir. Lipid kalitesinde düşüş olduğu için uygulanan basınç çok yüksek olmamalıdır. Kullanılan diğer mekanik teknikler arasında 'bead beating' yer alır. n-heksan, metanol ve etanol gibi alg lipidlerinin ekstraksiyonu için kimyasal çözücünün uygulanması, geçerli olduğu ve laboratuvar araştırmalarında yaygın olarak kullanıldığı için en uygun yöntemi temsil etmektedir (Folch yöntemi en popüler olanıdır). Bununla birlikte, bu yöntemin etkinliği büyük ölçüde mikroalg suşlarına bağlıdır. İki aşamalı süreç, sabunlaştırmayı azaltıp ve esterleştirme verimini artırabilmektedir (homojen katalizör yöntemi, lipidin biyodizele dönüşümünün verimi %90'a yükseltilebilir).

Otoklavlama, süper kritik teknik ve ozmotik teknik gibi alg lipid ekstraksiyonunu geliştirmeyi amaçlayan diğer teknolojiler hala geliştirme aşamasındadır. Değiştirilebilir solvent ekstraksiyonu, vakumlu shelf kurutması, elektroporasyon tekniği ve bulamaçtan alg biyokütlesinin ozmotik dehidrasyonu için enerji tüketimini ortadan kaldırmak için, ıslak alg biyokütlesi tekniğinden yağ çıkarma teknolojisi ayrıca uygulanmaktadır. Yağ ekstraksiyonundan sonra biyodizel üretiminde 3. aşama transesterifikasyon prosesisidir (Lundquist, Woertz, T., & Benemann, 2010).

• Transesterifikasyon

50 yıldan fazla bir süredir, trigliserit (TG) transesterifikasyon işlemi biyodizel sentezinde uygulanmaktadır. Bu işlem sırasında, TG, yağ asidi esterleri oluşturmak için bir katalizör varlığında alkol ile reaksiyona girer. Biyodizel sentezi sırasında, daha kısa zincirli alkol esterlerini sentezlemek için gliserol ve yağ asidi esterleri (TG) kullanılır ve ortaya çıkan yan ürün gliseroldür. Metanol ve etanol, biyodizel sentezi sırasında en sık asil reseptörü olarak kullanılır. Transesterifikasyon reaksiyonu birkaç aşamadan oluşur. 1. aşamada, TG'nin alkol ile reaksiyonu, bir TG molekülünden bir ester molekülü ve bir digliserit (DG) molekülü üretir. 2. aşamada, bir DG molekülünden başka bir ester molekülü ve monogliserit (MG) oluşturulur. 3. aşamada, MG, üçüncü bir ester molekülü ve gliserol yapmak için bir alkol molekülü ile reaksiyona girer. Bir TG molekülünün transesterifikasyonu, üç alkol molekülü gerektirirken, reaksiyon, TG molekülü başına üç daha kısa zincirli bileşik (yağ asidi esterleri (biyodizel) ve gliserol) oluşmasıyla sonuçlanır. Ester sentezinin ana prosesine ek olarak, koşullara bağlı olarak biyodizel üretimi sırasında başka reaksiyonlar da meydana gelebilir. Reaksiyon ortamında bulunan nem, yağ hidrolizine neden olabilir. Elde edilen serbest yağ asitleri (FFA), bir alkali katalizör ile reaksiyona girerek sabun üretebilir. Şekil 16'da anlatılan kimyasal prosesin reaksiyon şeması verilmiştir.

Şekil 16: Algal Yağlardan Biyodizel Üretimi Kimyasal Reaksiyonu (Transesterifikasyon)



Biyodizel üretiminin kimyasal reaksiyonlarının oldukça yavaş olduğu göz önüne alındığında, hızlandırmak için katalizörler kullanılmaktadır. Proseste kullanılan katalizör tipine bağlı olarak biyodizel üretim yöntemleri kimyasal veya biyoteknolojik olabilir. Reaksiyona katılan maddelerin agregasyon durumuna göre, proses homojen veya heterojen kataliz olarak sınıflandırılır. Kimyasal yöntemde alkali ve asit katalizörler kullanılmaktadır. Biyoteknolojik yöntem, kimyasal reaktifler yerine reaksiyonu hızlandırmak için enzimlerin kullanılmasıyla kimyasal olandan farklıdır. Biyodizel üretim teknolojilerindeki gelişmeler, süperkritik koşullar olarak adlandırılan, yani reaksiyon sırasında hiçbir katalizör kullanılmadığında bir biyodizel üretim yönteminin ortaya çıkmasını da sağlamıştır. Transesterifikasyon işlemi tamamlandığında üretilen gliserol ve kalan alkol ayrılırken üretilen biyodizel gliserol, sabunlar, gliseritler ve kalıntı gliserolden saflaştırılır (Makareviciene & Skorupskaite, 2019).

Geleneksel transesterifikasyon prosesine alternatif olarak in-situ transesterifikasyon endüstriyel üretimde pozitif avantaj sağlamaktadır. İn-situ transesterifikasyon prosesinde hasat edilen alglerden biyodizele kadar belirli aşamaların (yani lipid ekstraksiyonu) ihtiyacını ortadan kaldırmaktır, bu nedenle in-situ transesterifikasyon, ekipman kurulum ve bakım maliyetini ve enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olur. Bununla birlikte, in-situ transesterifikasyon, lipid ekstraksiyonunu geliştirmek ve biyodizele yüksek bir dönüşüm oranı elde etmek için kurutulmuş mikroalg gerektirir. Kurutulmuş biyokütle üretimi için enerji tüketiminin yüzdesi araştırmadan araştırmaya biraz değişse de genel olarak mikroalg kurutma adımının (nem düzeyi <5'e kadar) toplam biyodizel üretim maliyetinin %70'inden fazlasını tükettiği kabul edilmektedir. Islak in-situ transesterifikasyon mikroalglerin kurutma adımını daha da ortadan kaldırarak, sermaye ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilmektedir.

Islak in-situ transesterifikasyon işlemi, %60-80 nem içeriği içeren kısmen suyu alınmış ıslak mikroalgleri kullanır. Suya sahip olmak, ısıtma için yüksek enerji tüketimi ve katalizörlere geciktirici olarak su engelini telafi etmek için ek kimyasal girdi açısından biyodizel üretim süreci için genellikle istenmeyen bir durumdur. Alkali katalizör kullanıldığında su sabun oluşumuna neden olduğundan,

Islak in-situ transesterifikasyon işlemi genel olarak bir asit katalizörünü tercih etmektedir. Islak in-situ transesterifikasyon işlemi için önemli olabilecek başka bir parametre de mikroalg hücrelerinin iç kısmından lipit yağı çıkarmak için doğrudan hasattan itibaren işlenmemiş ıslak alglerin hücre duvarlarının parçalanması gerektiğidir. Hücrelerin ve duvarlarının özellikleri mikroalg türlerine göre değişir. Bu nedenle, çözücülerin veya iyonik sıvıların ilave kimyasal girdisinin bir kombinasyonu ile kullanılan mikrodalga, sonikasyon ve karıştırma gibi fiziksel çözümler ıslak in-situ transesterifikasyonda, özellikle düşük sıcaklık bölgesinde daha sık kullanılmaktadır. 200°C'nin üzerinde yürütülen ıslak in-situ transesterifikasyon için, araştırmacılar mikroalglerde su içeriği avantajlarını kullanmışlardır, çoğu çalışma hem reaktif hem de çözücü olarak suyun süper kritik durumuna veya alkole odaklanmışlardır. Reaktanları istenen sıcaklığa kadar ısıtmak için büyük miktarda enerji girişi gereklidir, bu da ıslak in-situ transesterifikasyonun ekonomik uygulanabilirliğini düşürür. Bir orta sıcaklık bölgesinde, ıslak in-situ transesterifikasyon hem düşük hem de yüksek sıcaklık bölgelerinin avantajlarını alma eğilimindedir. Reaksiyon sıcaklığının 100 ve 200°C arasına yükseltilmesiyle, 100°C'nin altındaki bir sıcaklık bölgesinde ıslak in-situ transesterifikasyona kıyasla ilave kimyasal seviye düşürülebilir ve yine de biyodizel yüksek bir dönüşüm oranı elde edilebilir (Kim, ve diğerleri, 2019).

• Algal Biyogaz Üretimi

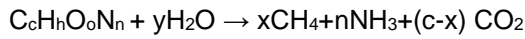
Mikroalglerden biyodizel üretim prosesinin ardından atık olarak algal biyokütle çıkmaktadır. Bu atıklar fermantasyon ile biyogaza dönüştürülerek elektrik enerjisi girdisi sağlayabilmektedir. Dolayısıyla bu ön fizibilite raporunda biyodizel üretim prosesinin ardından kalan biyokütleden biyogaz elde edilip, gelir modeline eklenmiştir. Algal biyokütle, organik ve inorganik madde karışımından oluşur. Organik kısım, proteinler, polisakkaritler, lipidler ve nükleik asitler gibi karmaşık polimerik makromoleküllerden oluşur. Polimerler partikül veya koloidal formda görünür. Anaerobik sindirim prosesi (ADP), organik maddeyi nihai ürünlere (metan ve karbondioksit), yeni biyokütle ve inorganik kalıntıya dönüştürür. Substrat transformasyonunda birkaç mikroorganizma grubu yer alır ve genel proses, birçok ara ürün ile birden fazla aşamadan oluşur. Genel olarak süreç, birbirini takip eden dört adımla basitleştirilebilir: (1) hidroliz; (2) fermantasyon veya asidojeniz; (3) asetogenez; ve (4) metanojeniz (5) elektrik enerjisi. Basamaklar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1. Kolloid ve partikül biyopolimerlerin monomerlere hidrolizi.
2. Amino asitlerin ve şekerlerin ara ürünlere (propionat, bütirat, laktat, etanol, vb.), asetat, hidrojen ve formata fermantasyonu veya asidojenizi.
3. Uzun zincirli yağ asitlerinin oksidasyonu ve alkolün uçucu yağ asitlerine (VFA) ve hidrojene fermantasyonu. VFA'lar gibi ara ürünlerin asetat, karbon dioksit ve hidrojene anaerobik oksidasyonu veya asetogenez. Bu reaksiyon, zorunlu ve fakültatif hidrojen üreten türler tarafından gerçekleştirilir.
4. Asetoklastik metanojenler tarafından asetatin metana dönüştürülmesi. Moleküler hidrojen ve karbon dioksitin hidrojenofilik metanojenler tarafından metana dönüştürülmesi.
5. Metanın gaz türbini ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi (Bohutskyi & Bouwer, 2013).

Birincil fermenterler olan aynı mikroorganizma grubu ilk üç adımı gerçekleştirir. Bu biyolojik süreçler bazen asidojeniz veya asit fazı olarak adlandırılır. ADP'deki diğer önemli biyolojik süreçler şunlardır: Çeşitli monokarbon bileşiklerinin (örn. format, metanol) asetik aside dönüştürülmesi. Bu reaksiyon homoasetojenik bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Kükürt indirgeyen bakteriler tarafından kükürt bileşiklerinin hidrojen sülfüre indirgenmesi. Mikroalgler için geçerli çevresel ve operasyonel parametreleri korumak, etkili metan üretimi için kilit faktörlerden biridir. Ana çevresel faktörler sıcaklık, pH, alkalinite ve redoks potansiyelidir. C:N:P oranı, temel mikro besinlerin varlığı, organik yükleme hızı (OLR), hidroliz (HRT) ve katı tutma süresi (SRT) ve gelen tuzlar ve toksik madde konsantrasyonu gibi operasyonel parametreler sıkı kontrol ve düzenlemeye tabidir. VFA'lar, amonyak ve hidrojen sülfür gibi belirli ara ürünlerin veya yan ürünlerin birikmesi metan üretiminin inhibisyonuna yol açabilir (Chen, Cheng, & Creamer, 2008).

Biyogaz AD sırasında oluşur ve iki ana bileşeni vardır: Metan (hacimce yaklaşık %55-70) ve karbondioksit (%30-40). Biyogazın kaynağına bağlı olarak, diğer küçük bileşenler arasında nitrojen (<%2), hidrojen, oksijen (<%1), hidrojen sülfür (0-50 ppm) ve diğer sülfid bileşikler, uçucu organik

bileşikler (VOC) bulunur. Evsel atıkların sindirilmesi sırasında büyük miktarlarda zararlı VOC üretilebilir. Karbondioksit zararlı bir inert gaz değildir ancak biyogazın içindeki karbondioksit varlığı kalori değerini düşürür. Karbondioksitin uzaklaştırılması pahalı bir işlemdir ve güç üretim ekipmanı genellikle %40-50'ye varan karbondioksit konsantrasyonlarıyla çalışır. Biyogazda en bol bulunan kükürt bileşiği hidrojen sülfürdür ancak diğer indirgenmiş kükürt kimyasalları da (örn. sülfidler, tiyoller) mevcuttur. Biyogazdaki ana kükürt kaynağı, kükürt içeren amino asitlerin (sistein ve metionin) bozunmasıdır. 300-500 ppm'den daha yüksek konsantrasyonlarda hidrojen sülfid, boru hattı metal parçalarını, depolama tanklarını, kompresörleri ve motorları aşındıran sağlıksız ve tehlikeli kükürt dioksit (SO₂) ve sülfürik asit (H₂SO₄) oluşturabilir. Biyogaz uygulamasından önce kükürt giderme tesislerinin kurulması gerekir. Bir başka aşındırıcı kirletici amonyaktır (NH₃). Biyogazın yüksek amonyak konsantrasyonu ile yakılması, atmosfere nitrojen oksit emisyonunu artırır. Hem hidrojen sülfid hem de amonyak sağlık riski oluşturan kirleticilerdir. Biyogazda endişe duyulan diğer bileşikler siloksanlardır- çok çeşitli endüstriyel, kişisel bakım, farmasötik ve diğer ürünlerden gelen silikonun organik polimerleridir. Bu organik bileşikler silikon dioksit oksitlenebilir ve valferde, gaz türbinlerinde ve motorlarda birikerek erozyona neden olur ve çalışma verimini düşürür. Biyogazın teorik verimi Bushwell denklemi ile tahmin edilebilir (Buswell & Mueller, 1952).



$$x = (4c + h - 2o - 3n - 2s) / 8$$

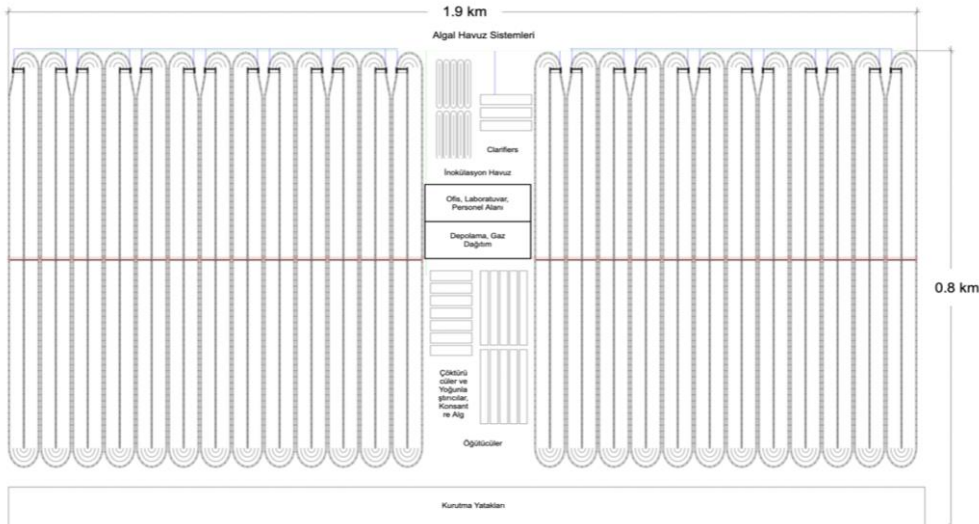
$$y = (4c - h - 2o + 3n + 3s) / 4$$

Lipitler, proteinler, gliserol ve karbonhidratlardan elde edilen metan veriminin iki katından fazla olan en düşük oksidasyon durumuna ve en büyük teorik metan verimine sahiptir. Teorik metan verimi, substratın ortalama karbon oksidasyon durumu ile ilişkilidir. Yüksek karbonhidrat içeriğine sahip makroalgler ve yüksek protein içeriğine sahip siyanobakteriler teorik olarak metan üretimi için daha zayıf hammadde iken, yüksek lipid içeriğine sahip mikroalglerin potansiyel metan verimi daha yüksektir.

• Üretim Tesisi

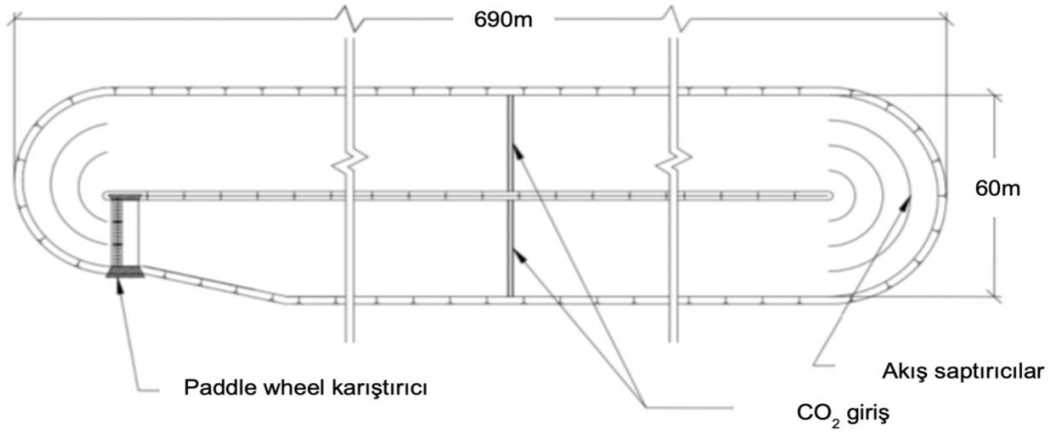
Ön fizibilitenin tasarımı için alg havuzlarının toplam alanı 400 hektar olarak kabul edilmiştir. 100 hektarlık tesisin temel yerleşiminin, her biri 100 hektarlık dört modüle genişletileceği varsayılmıştır. Tesiste minimum 56 adet tam kalifiye-eğitilecek tam zamanlı mühendis-operatör çalıştırılacaktır. Toplam 13.600 ML/yıl atık su girişi ve 28.900 mt/yıl hasat edilmiş biyokütle ile hem petrol hem de biyogaz düşünüldüğünde tesisin toplam enerji üretimi 556.000x10³ MJ/yıl'dır. Yapılan tüm hesaplamalar teoriktir ve bugüne kadar gerçekleştirilmiş yatırıma konu teknolojiye dair yapılan akademik çalışmalar baz alınarak yapılmıştır. Şekil 17'de 100 hektarlık bir arazide kurulacak olan algal biyodizel üretim tesisinin plan olarak tasarımı mevcuttur.

Şekil 17: 100-ha Algal Biyokütle Üretim Tesisi Tasarımı



Algal havuz inşasında üretim ve maliyeti etkileyen birden fazla faktör bulunmaktadır. Algal havuzlar için, kanalın uzunluk-genişlik oranı maliyeti etkilemektedir; dar kanallar, havuzun çevre inşaat malzemelerine daha fazla ihtiyaç duyulması nedeniyle daha maliyetlidir. Ayrıca daha geniş kanallar da geniş kanatlı çarklar ve karbonatlama istasyonları nedeniyle daha maliyetlidir. Ek olarak aşırı geniş kanalların, kıvrımlı akış modellerine, artan rüzgâr etkisine ve alg çökmesine yol açması göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışma için 30m'lik bir kanal genişliği seçilerek ön fizibilite hazırlanmıştır. Her açık havuz paddle-wheel karıştırıcıya ve diğer donanımlara ihtiyaç duyduğundan, ölçek ekonomisi için her havuzun alanı mümkün olduğunca geniş olmalıdır. Bununla birlikte, kanal uzunluğu, havuzun karbonatlama (yani, CO₂ sağlama) ihtiyacı ile sınırlıdır. Uzunluk ayrıca, 30 cm'lik standart bir su derinliği göz önüne alındığında, kanal devresi etrafındaki akış yük kaybının üstesinden gelmek için gereken kaldırma ile sınırlıdır. Seçilen havuzların boyutları 60 m genişliğinde ve 690 m uzunluğundadır ve her bir havuzun alanı 4 ha'dır. Şekil 18'de 4-ha'lık algal havuzun tasarım gösterimi mevcuttur.

Şekil 18: 4-ha Algal Havuz Tasarımı



Havuzların doğu-batı yönünde yerleşimi gölgelemeyi azaltacaktır. Malzemelerin verimli bir şekilde dağıtılmasına ve alınmasına izin vermek için ön arıtma ve katı işleme gibi diğer işlemler tesisin ortasına yerleştirilmelidir. Algal havuzlar, 2.5:1 eğimli ve her bir havuzun tüm çevresi boyunca toplam 0,9 m yüksekliğinde toprak setler oluşturmak için kanalların tesviye edilmesiyle inşa edilecek şekilde tasarlanmıştır. Merkez bölücü benzer şekilde inşa edilmiştir, ancak dikey bölücü duvara (beton bloklardan) kıyasla inşaat maliyetlerinden tasarruf etmek için daha dar bir barkete sahip olmalıdır. 0,3 m su derinliği ile 0,6 m fribord, atık sularla iletim sağlanırken olası yasal gereklilikler uyarınca kazara taşma veya rüzgâr kaynaklı dalgalara karşı koruma sağlar. Bu havuzları inşa etmek için, 6 inçlik asansörler halinde yerleştirilmiş ve sıkıştırılmış seddeler üzerinde dozerler kullanılmaktadır. İlk tesviye için 15 yada küp büyüklüğündeki toprak tavalar kullanılır ve saha, toprak tava ekipmanı tarafından oluşturulan "shimming" işaretini düzeltecek olan üç planya ile bitirilir. Hafriyat birim maliyet tahminleri iki müteahhitten alınmıştır ve ayrıntılar maliyet analizine dahil edilmiştir. İnokülasyon havuzları, toplam üretim havuzlarının %1'i veya 100ha sistem için 10.000 m²'lik bir alana sahip plastik havuz malzemesi ile inşa edilmelidir. Her biri 1.000 m² alana sahip on ayrı aşılama havuzu, yukarıda açıklanan yüksek oranlı havuzların ayrı kanatlı çarklarla küçültülmüş bir versiyonudur. Farklılık olarak, aşılama havuzlarının büyüme mevsimini uzatmak ve istenmeyen alglerden kaynaklanan kontaminasyondan daha fazla koruma sağlamak için plastik bir sera ile kaplanması gerekmektedir (Lundquist, Woertz, T., & Benemann, 2010).

Yukarıda belirtilen tesiste kullanılacak makine/teçhizat ve reaktörler Türkiye, Amerika ve Avrupa başta olmak üzere birden fazla tedarikçi firma tarafından sağlanmaktadır. MicrobioEngineering, Global Algae Innovations, A4F bu firmalardan bazılarıdır. Bu reaktörlerin Tablo 23'te belirtilenden daha büyük ölçekleri, birim alan başına sermaye maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır. Dolayısı ile aşağıdaki tablolardaki maliyetler baz alınarak önerilen proje çizimindeki reaktör maliyetleri hesaplanmalıdır.

Tablo 23: Tesiste Kullanılacak Küçük Ölçekli Makine ve Ekipmanların Ortalama Fiyatı

Raceway Havuz Reaktörler (RW)	Yüzey Alanı (m ²)	Hacim	Sipariş edilebilecek minimum Reaktör Sayısı	Karıştırıcı Çeşidi	Fiyat (\$)
RW0.5i	0.5	100 L 20 cm	4	Impeller	4 adet için 7,027 8 adet için 14,054
RW0.5	0.5	100 L 20 cm	4	Paddle wheel	4 adet için 15,824 8 adet için 31,648
RW3.4	3.4	950 L 30 cm	2	Paddle wheel	2 adet için 13,380 3 adet için 19,664 4 adet için 25,586

Tablo 24: Tesiste Kullanılacak Büyük Ölçekli Makine ve Ekipmanların Ortalama Fiyatı

Raceway Havuz Reaktörler (RW)	Yüzey Alanı (m ²)	Hacim (m ³)	Fiyat (\$)
RW22	22	6.5	20,847
RW29	29	8.7	22,350
RW36	36	10.8	23,853
RW101	101	30.3	38,088

3.3. İnsan Kaynakları

İstanbul'un nüfusu 2020 yılında 15 milyon 462 bin 452 kişi olmuştur. İstanbul'un nüfusu, bir önceki yıla göre 56 bin 815 kişi azalarak 15 milyon 462 bin 452 kişiye düşmüştür. Türkiye nüfusunun %18,49'unun ikamet ettiği İstanbul'u, 5 milyon 663 bin 322 kişi ile Ankara, 4 milyon 394 bin 694 kişi ile İzmir, 3 milyon 101 bin 833 kişi ile Bursa ve 2 milyon 548 bin 308 kişi ile Antalya izlemektedir.

Tablo 25: İstanbul İli Nüfusunun Eğitim Kademelerine Göre Durumu

İşgücü (bin)	2016	2017	2018	2019	2020
15+ ve Okuma Yazma Bilmeyen	89	109	88	101	64

15+ ve Lise Altı Eğitimliler	3.091	3.095	3.143	3.119	2.728
15+ ve Lise ve Dengi Meslek Okulu	1.418	1.457	1.495	1.537	1.429
15+ ve Yüksek Öğretim	1.829	1.917	2.012	2.019	2.068
15-64 ve Okuma Yazma Bilmeyen	84	103	83	96	58
15-64 ve Lise Altı Eğitimliler	3.062	3.062	3.096	3.070	2.692

Kaynak: TÜİK, 2021

Tablo 25'teki veriler incelendiğinde İstanbul'da istihdam edilecek çalışanların eğitim açısından kalifiye olabileceği ve bu sayede mühendis veya üretim operatörlerine konum olarak erişilebileceği gözlemlenmektedir. Türkiye'de genel olarak çalışma çağındaki nüfusun oranı %67,7 olmuştur. Çalışma çağı olarak tanımlanan 15-64 yaş grubundaki nüfusun oranı, 2007 yılında %66,5 iken 2020 yılında %67,7 olmuştur. Türkiye'de çalışma çağındaki nüfusun oranı 2023'te %67,2, 2080'de %58,7 olacaktır. Çalışma çağında yer alan 15-64 yaş grubundaki nüfus oranının 2018 yılında %67,8, 2023'te %67,2, 2040'da %64,4, 2060'ta %60,4 ve 2080'de %58,7 olması beklenmektedir. Çocuk nüfus olarak tanımlanan 0-14 yaş grubundaki nüfusun oranının ise, 2018 yılında %23,5, 2023'te %22,6, 2040'da %19,3, 2060'ta %16,9 ve 2080'de %15,7 olacağı öngörülmektedir.

Tablo 26: İstanbul İli Çalışma Çağındaki Nüfus (15-64 yaş arası) İstatistikleri

İşgücü (bin)	2016	2017	2018	2019	2020
15-19	353	319	348	357	243
20-24	773	763	765	815	684
25-34	2.107	2.070	2.048	1.993	1.803
35-54	2.785	2.794	3.066	3.097	3.077
55+	353	394	436	444	412

Kaynak: TÜİK, 2021

Tablo 27: İstanbul İli Çalışma Çağındaki Nüfus (15-64 yaş arası) İstatistiklerinin İl Nüfusuna Oranı

İşgücünün Nüfusa Oranı (%)	2016	2017	2018	2019	2020
15-19	32	30	32,4	33,5	22,9
20-24	65,7	66,3	64,9	67,6	59,5
25-34	74,2	74,8	75,3	75,8	70,8
35-54	65,1	67,9	67,8	67,7	65,5

55+	30,8	33,4	34,5	33,1	28,8
------------	------	------	------	------	------

Kaynak: TÜİK, 2021

Tablo 28: İstanbul İli Genç Nüfus (15-24 yaş arası) İstatistikleri

İşgücü (bin)	2016	2017	2018	2019	2020
15-19	353	319	348	357	243
20-24	773	763	765	815	684

Kaynak: TÜİK, 2021

Tablo 29: İstanbul İli Genç Nüfus (15-24 yaş arası) İstatistiklerinin İİ Nüfusuna Oranı

İşgücünün Nüfusa Oranı (%)	2016	2017	2018	2019	2020
15-19	32	30	32,4	33,5	22,9
20-24	65,7	66,3	64,9	67,6	59,5

Kaynak: TÜİK, 2021

Tablo 30: İstanbul İli İstihdam Durumu (15-24 yaş arası)

İşgücü (bin)	2016	2017	2018	2019	2020
15-19	279	254	273	272	189
20-24	599	577	616	610	502
25-34	1.841	1.804	1.806	1.701	1.538
35-54	2.485	2.638	2.756	2.733	2.716
55+	355	392	447	462	418

Kaynak: TÜİK, 2021

Tablo 26'dan Tablo 30'a kadar verilen nüfus istatistik verileri incelendiğinde İstanbul ili genç ve çalışmaya uygun nüfusun yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca eğitim açısından değerlendirildiğinde bu yatırım kapsamında ihtiyaç duyulan nitelikli işgücünün İstanbul'da var olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle tesisin kurulması beklenen bölge olan Tuzla'da 15-24 yaş arası genç nüfus 40.000 civarındadır ve çalışma çağındaki nüfus (15-64 yaş) yaklaşık olarak 200.000 civarındadır. İstanbul, Türkiye'de eğitim seviyesi en yüksek olan illerden biridir. Dolayısıyla özellikle yüksek lisans ve doktora döneminde olan mühendislere istihdam yaratılabilmesi ihtimali İstanbul'da daha yüksektir. Kurulacak olan tesis 400 hektarlık bir alanı kaplayacak olup, bünyesinde fabrika direktörü, müdürü, operatör müdürü, laboratuvar müdürü, mühendisler ve üretim operatörleri çalıştıracaktır. Tesis 24 saat çalışacak olup, yalnızca kışın 2 ay süreyle üretimi durduracaktır. Bünyesinde başta biyomühendis, biyoteknoloji mühendisi, genetik mühendisi, su ürünleri mühendisi ve çevre mühendisi olmak üzere, yazılım mühendisi, kimya mühendisi, elektrik-elektronik mühendisi alanlarından birden fazla mühendis çalıştıracaktır. Tesiste istihdam edilen her üretim personeli algal biyoteknoloji ile ilgili eğitime tabi tutulacaktır. Kurulacak tesiste idari personel dahil olmak üzere personel bilgileri ve tahmini brüt maaşları Tablo 31' de yer almaktadır.

Tablo 31: İstihdam Edilecek Personelin Unvanları, Sayıları, Maaş Bilgileri

Unvan	Sayı	Maaş Bilgisi (₺)	Maaş Bilgisi (\$)
-------	------	------------------	-------------------

Fabrika Direktörü	1	16.000-19.000	2,000-3,000
Fabrika Müdürü	1	13.000-15.000	1,500-2,000
Operatör Müdürü	1	9.000-12.000	1,000-1,500
Laboratuvar Müdürü	1	5.000-7.000	600-1,000
Mühendis	20	5.000-7.000	600-1,000
Yönetici Asistanı/Sekreter	2	3.600-5.000	400-600
Üretim Operatörü	36	3.600-5.000	400-600

Tablo 32’de görüldüğü üzere ülkemizde istihdam edilen meslek gruplarının ortalama maaşları Amerika ve Avrupa bölgesine bakıldığında daha düşük seviyelerde ilerlemektedir. Dolayısı ile yatırım maliyetleri göz önüne alındığında Türkiye üretim için uygun bir bölge olarak kabul edilmektedir.

Tablo 32: Yatırıma Konu Ürün Üretimi Konusunda Önde Gelen 5 Ülke ile Ülkemiz Maaşlarının Karşılaştırılması

Unvan	ABD Maaş (\$)	AB Maaş (€)	TR Maaş (₺)
Fabrika Direktörü	17.000-22.000	16.000-20.000	16.000-19.000
Fabrika Müdürü	15.000-18.000	10.000-15.000	13.000-15.000
Operatör Müdürü	12.000-15.000	10.000-13.000	9.000-12.000
Laboratuvar Müdürü	8.000-10.000	7.000-9.000	5.000-7.000
Mühendis	8.000-15.000	5.000-9.000	5.000-7.000
Yönetici Asistanı/Sekreter	4.000-5.000	3.500-4.500	3.600-5.000
Üretim Operatörü	6.000-8.000	4.000-6.000	3.600-5.000

4. FİNANSAL ANALİZ

Algal biyoyakıt üretim tesisi yatırımı biyoreaktör çeşitleri, hasatlama teknolojisi, biyodizel üretim prosesi, iklimlendirme, atık bertarafı, karbon kredisi ve yan ürün üretimine göre çok geniş ölçekte farklı fizibilite ve yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarına ihtiyaç duymaktadır. Bu ön fizibilite çalışmasında yapılan finansal analiz, tamamen dünya geneli akademide ve pilot uygulamalarda yapılan üretimlere dayanarak teorik olarak oluşturulmuştur. Tesiste üretilmesi planlanan biyokütle ve biyodizel miktarları teoriktir ve biyokütle canlı bir organizma olduğundan teorideki hesaplamalar uygulamada değişkenlik gösterebilmektedir. Ön fizibilitede değiştirilecek herhangi bir parametre yatırım maliyetini ve geri dönüş süresini %90’a varan oranlarda etkileyebilmektedir.

4.1. Sabit Yatırım Tutarı

Yapılan ön fizibilite çalışmasında 4×10^6 m²’lik bir açık havuz algal üretim tasarımı varsayılmaktadır. Kullanılan algal biyokütlenin yağ içeriğinin %30-40 olduğu varsayılmıştır. Tüm hesaplamalar için 0.1 USD/kWh güç maliyeti kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar ortalama ve dolar (Dolar kuru: 8.6₺,

Haziran 2021) bazındadır. Hesaplamalar yapılırken makine/teçhizatın yurt dışı maliyetleri göz önünde bulundurulmuştur. Hesaplamalara arazi maliyeti dahil edilmemiştir. Yatırıma konu tesisin fizibilitesi yatırımcı çeşidine göre değişiklik göstermektedir. Yatırımcı devlet kurum/kuruluşu ise; devlet destekli bir biyorafineri, sanayi ise; entegre OSB sistemli bir biyorafineri veya melek yatırımcı/risk sermayedarı ise yatırım teşviksiz bir biyorafineri olabilmektedir. Dolayısı ile arazi masrafları sanayicinin veya devletin kendine ait arazisi bulunması veya bulunmamasına göre büyük farklılıklar ile ön fizibilite çalışmasını değiştirmektedir. Arazi masrafları haricinde fizibilite çalışmasında yer alan diğer parametreler yatırımcı çeşidine göre değişiklik göstermemektedir.

Tablo 33: Algal Biyodizel Üretim Tesisi Girdi/Üretim Miktarları

Atık Su Girdi (ML/yıl)	Ürün	Havuz Alanı (ha)	Süre (ay/yıl)	Biyokütle (mt/yıl)	Biyogaz (CH ₄) (10 ⁶ m ³ /yıl)	Biyodizel Üretimi (bbl/yıl)
13.600	Biyodizel	400	10	28.900	6,95	49.300

Tablo 33'de belirtilen ML/yıl bir yılda arıtılan megalitre cinsinden atık sudur. Üretim kış aylarında düşük biyokütle verimi sebebiyle 2 ay devam etmeyecektir, üretim süresi yılda 10 aydır. Tablo 34'te algal biyoyakıt üretim tesisinde ihtiyaç duyulan sermaye maliyeti ve işletme maliyeti belirtilmiştir.

Tablo 34: Algal Biyodizel Üretim Tesisi Genel Bilgileri ve Sabit Maliyetleri

Sermaye Maliyeti (\$)	
Arazi	Yatırımcı türüne göre değişiklik göstermektedir.
Algal Üretim Havuzları	15.000.000
Çöktürücüler	10.000.000
Ekstraksiyon Alanı	1.000.000
Kurutma/İşleme Sistemi	10.000.000
Biyogaz Türbini	10.000.000
Elektrik	8.000.000
Atık su/su Boruları/Hatları	7.000.000
Son Kurutucu Sistem	2.000.000
2° Clarifiers	4.000.000
Baca Gazı/CO₂ İletim Hatları	3.000.000
Binalar, yollar ve drenaj	2.000.000
Yoğunlaştırıcılar	1.000.000
Depo	500.000
Makine/Teçhizat/Araçlar	1.000.000
Ara Toplam	74.500.000

Toplam Sermaye Yatırımı (Lisans/rapor/izinler, inşaat sigortası ve yönetimi, mühendislik, hukuk ve beklenmedik maliyetler dahil edilmiştir.)	101.500.000
İşletme Maliyeti (\$)	
Alg Tesis Malzemeleri	3.000.000
Bakım, Onarım (Sermayenin %2'si)	1.500.000
Ekstraksiyon Alanı	500.000
Elektirik Maliyeti	1.500.000
İdari İşler, Personel	500.000
Biyokütle İşleme	300.000
Sigorta	1.000.000
Hizmet Alımları	100.000
Makine/Teçhizat/Araç Bakımları	100.000
Laboratuvar Masrafları	100.000
Personel Eğitim	100.000
Toplam	8.700.000

4.2. Yatırımın Geri Dönüş Süresi

Tablo 35: Algal Biyodizel Üretim Tesisi Gelir Kalemleri

Atık Su Arıtım (0.25\$ m³)	Biyogaz Elektrik Enerjisi (0.10\$ kWh)	Biyodizel (240\$ bbl)
3.000.000	2.000.000	11.830.000

Algal biyoyakıt üretiminde küçük ölçekli üretim tesislerinde birim biyodizel üretim maliyetleri büyük tesislere göre 3 ila 4 kat daha yüksek fiyat farklılığı gösterebilmektedir. Dolayısı ile 400 hektarlık bir arazide biyorafineri kurulumu varsayılarak ön fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Gelir modeline biyodizelin yan ürünü olan gliserin ve karbon kredisi satışları dahil edilmemiştir. Tesis kurulduktan sonra yan ürünün hangi sektöre pazarlanacağı konusuna göre saflaştırma işlemleri ve dolayısıyla ham gliserinin saflaştırıldıktan sonra fiyat artışına bağlı olarak geliri değişmektedir. Ayrıca Türkiye'de henüz karbon kredisi satışı regülasyonlar ile düzenlenmemiştir, fakat yurtdışı pazarında ortalama satış fiyatı 10\$/ton'dur. Bu kapsamda toplam yatırım maliyeti ortalama 110.200.000\$'dır. Biyodizel üretim maliyeti tesiste üretilecek olan biyokütle üretim maliyetine bağlı olarak hesaplanmıştır ve biyokütlenin yağ içeriğine göre değişmektedir. Tablo 35'te gösterildiği üzere yıllık atık su arıtım geliri, biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi geliri ve biyodizel geliri hesaplandığında tesisin yıllık toplam geliri ortalama 16.830.000\$ olmaktadır. 2. yılda biten yatırım sonrasında üretim tesisinin 3. yıldan itibaren Tam Kapasite Kullanım Oranı (KKO) ile çalışmaya başlaması ve EPDK'dan biyodizelin regülasyonlarla satış garantisi altına alındığı varsayılarak, yatırımın tahmini geri dönüş süresi ortalama 8,5 yıl olarak hesaplanmıştır.

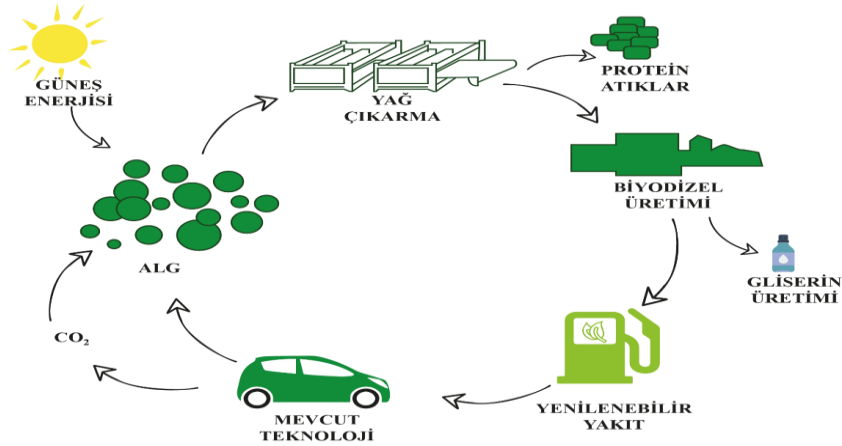
5. ÇEVRESEL VE SOSYAL ETKİ ANALİZİ

• Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Yaşam döngüsü değerlendirme (Life Cycle Assessment, LCA) bir ürün, proses ya da hizmet için kullanılan enerji, ham madde ve bundan dolayı oluşan atık ve emisyonların çevresel etkilerini ve bu süreçte doğal kaynakların tüketimini ve çevresel iyileştirme fırsatlarını değerlendiren bir araçtır. Kurumsal Karbon Ayakizi'nin aksine, yaşam döngüsü analizi, firmanın kendi faaliyetlerinin sınırları dışındaki sera gazı emisyonlarını çevresel etkilerini de göz önüne alır. Buna tedarikçilerin, müşterilerin ve distribütörlerin ürünün imalatı ve kullanımı ile ilgili olanlar dahildir. Aynı zamanda, atıkların atılmasından ve geri dönüşümün etkisiyle oluşan emisyonları da kapsamaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmaları son 20-30 yıldan bugüne giderek önem kazanmış ve bugün dünyada içtiğimiz sudan evlerimizde kullanılan inşaat malzemeleri ve teknoloji ürünlerine kadar oldukça geniş bir yelpazede yürütülen çalışmalardır. Ürün bazında ve üretim hattı bazında analiz yapılan LCA çalışmaları üretici firmalar ve servis sağlayıcı-tedarikçiler tarafından daha büyük kapsama alınarak ürün ve servislerin geniş sınırlarda tüm etkileri içine alacak biçimde hesaplanması beklentilerini doğurmuştur. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- Ürünlerin sürdürülebilirliğinin çeşitli yaşam döngüsü safhaları boyunca ölçülebilmesi ve yönetilmesi.
- Ürünlerin yaşam döngüsünün her aşamasında önemli çevresel etkilerini belirlenmesi.
- Üretim proseslerinin her aşamasında ayrı ayrı çevresel etkilerin ve bunlara katkı sağlayan hot-spotların belirlenmesi.
- Potansiyel iyileştirme ve yatırımlar için karar alma sürecine yardımcı olması.
- Üretimde ürünlerin sürdürülebilirliklerini karşılatırılması ve iyileştirmelerin uygulanması.
- Sürdürülebilirlik planları hazırlanmasında yol gösterici olması; risklerin ve potansiyel yükümlülüklerin yönetilmesi.
- Daha az olumsuz çevresel etkiye sahip ürünler için talebin teşvik edilmesi.
- Tedarik süreçlerinin optimize edilmesi ve rekabet avantajı
- Yatırım getirisinin artırılması.

Şekil 19: Mikroalgal Biyoyakıt Üretimine Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi



Kaynak: Şenal, 2020

Şekil 19'da belirtilen mikroalgal biyoyakıt üretiminden kaynaklanan sera gazı (GHG) emisyonlarına odaklanan çok sayıda yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) çok düşükten çok yüksek sera gazı emisyonlarına kadar farklı sonuçlar veren kavramsal süreçlere dayalı olarak birçok makalede yayınlanmıştır. Bu tür çeşitli sonuçlar, politika yapıcılar, yatırımcılar ve halk için bu gelişen teknolojinin potansiyelini değerlendirmede zorluklar yaratmaktadır. Yayınlanmış LCA çalışmaları arasındaki büyük farklılıkların başlıca nedeni, sistem ölçeklerindeki geniş aralıklar, kullanılan alg yetiştirme, hasat ve işleme teknolojilerindeki büyük çeşitlilik, destekleyici mühendislik ve ekonomik analizlerin eksikliği ve genel olarak uymayan LCA metodolojilerinin kullanılmasıdır. Algal biyoyakıt üretimi için yakın zamanda yayınlanmış birçok LCA çalışması da benzer büyük kanallı açık havuz yetiştirme sistemlerine dayanmaktadır, ancak mühendislik tasarımını veya ekonomik analizleri desteklememektedir. Dolayısı ile bu bölümde verilecek bilgiler, CA-GREET (California-Modified

Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation) modelinden elde edilen yaşam döngüsü envanteri (LCI) verileriyle birlikte CA LCFS22 (California Low Carbon Fuel Standard)'nin potansiyel sera gazı emisyonlarını belirleme metodolojisini izleyen algal biyodizel sera gazı analizidir. Detaylı kütle ve enerji analizlerine dayanarak algal biyodizelin sera gazı emisyonlarını petrol dizeline kıyasla %70 azaltacağı hesaplanmıştır. Ayrıca algal biyodizel Amerika'nın Environmental Protection Agency tarafından RFS (Renewable Fuel Standards)'de belirlenen minimum %50 sera gazı emisyonu regülasyonunu sağlamaktadır. Aynı şekilde Avrupa Birliği'nin belirlemiş olduğu Renewable Energy Directive II'nin minimum %60 sera gazı emisyonu standardını da kapsamaktadır. Bu avantajlar, algal biyodizelin kesinlikle petrol dizelinin yerini alması gerektiğinin göstergesidir (Collet, ve diğerleri, 2011).

Yapılan analizlere göre, açıklanan teknolojik yaklaşım ve varsayımlarla ve yukarıda fizibilite çalışması yapılan 400 hektarlık algal biyodizel üretimi tekno-ekonomik analize dayalı olarak, algal biyodizel gibi gelişmiş biyoyakıtların sera gazı emisyonlarını %70 oranında azaltacağı ve bu şekilde küresel iklim değişikliğini 1.5 derecelik sınırın altında tutabileceği öngörülmüştür. Öngörülen süreç için GHG emisyonlarının algal biyodizel için 28,50 g CO₂e/MJ olduğu tahmin edilirken, Kaliforniya'da rafine edilmiş ULSD için 94,71 g CO₂e/MJ (CA-EPA) ve Avrupa'da rafine edilmiş fosil dizel için 85 g CO₂e/MJ olduğu belirlenmiştir. Soya fasulyesinden üretilen biyodizel için bu değer, üretimde ekilebilir tarım arazisi kullandığı, hasat sürecinden çok fazla CO₂ emisyonu sağladığı ve atık yağ lojistiğinin sağladığı emisyonlardan dolayı 83,25 g CO₂e/MJ'ye yükseldiği görülmektedir (Woertz, ve diğerleri, 2014). Bu da bitkisel biyodizelin üretimden tüketime neredeyse petrol dizeli gibi emisyon sağladığını ve sürdürülebilir olmadığını göstermektedir. Bu sebeple 2018 yılında Birleşmiş Milletler komisyonu bitkisel biyodizelin 2030 yılına kadar yenilenebilir enerjideki payının maksimum %1,7 ile sınırlandırılacağını belirtmiştir. Ekilebilir araziye ihtiyaç duymamasından dolayı algal biyodizel, üretimde bitkisel hammaddelere göre çevresel anlamda emisyon değerlerinde büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Öte yandan endüstriyel atık suların biyolojik arıtımının mikroalgler yardımı ile gerçekleştirilmesi fabrika çöktürmelerinin deniz/nehir/göle basılmasını engelleyerek sudaki biyoçeşitliliği koruyacaktır. Özellikle son dönemde Marmara Denizi'nde meydana gelen atık suların kaynaklı mülaj sorunu İstanbul ve çevresinde, çevre felaketine yol açmıştır. Marmara Denizi'nde son aylarda deniz yüzeyinde sarı-beyaz peltamsi tabaka, denizin iç kısımlarında da yeşil renkli iplikli kümeler oluşturan mikroskobik alglerin ve denizanalarının aşırı çoğalması sonucu yapışkan koyu kıvamlı mülajlaşma oluşmuştur ve bu tarz çevre felaketlerinin önlenemesinin tek yolu atıkların doğal ortamlar ile buluşmasına engel olmaktır. Dolayısı ile endüstriyel atık suların biyoyakıt üretimi sadece egzoz emisyonlarını veya baca gazı emisyonlarını engellemek ile kalmayıp, aynı zamanda mülaj gibi sorunlara da çözüm olabilecektir.

Yenilenebilir ulaşım yakıtlarının sürdürülebilir üretimine yönelik bu bütünsel yaklaşımı benimsemek, tüm dünya toplumlarına fayda sağlamaktadır. Özellikle Türkiye açısından bölgesel olarak incelersek bu faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Türkiye'nin fosil yakıt ithalatına bağımlılığının azaltılması; Türkiye, ulaşım ihtiyaçları için büyük ölçüde fosil yakıtlara bağımlıdır ve net bir ham petrol ithalatçısıdır. Ayrıca, Orta Doğu'daki ve daha yakın zamanda Avrupa'nın doğu sınırlarındaki çatışmalar nedeniyle enerji arzı ve akaryakıt fiyat istikrarına yönelik jeopolitik bir tehdit bulunmaktadır. Fosil yakıt ithalatına bağımlılığı azaltmak, ulaşımında yenilenebilir enerji kaynakları için 2020 hedeflerini karşılamak ve sera gazı emisyonlarını radikal bir şekilde azaltmak için Türkiye, sürdürülebilir biyoyakıtların üretimini ve kullanımını teşvik edecek önlemleri benimsemiştir. Biyoyakıt üretimi Türkiye'nin enerji güvenliği için şu anda ve gelecekte en büyük itici gücü olma potansiyeline sahiptir. Üstelik biyoyakıtlar topluma sera gazı azaltımı ve hava kalitesinin iyileştirilmesinden istihdam ve refah yaratılmasına, kırsal kalkınma ve yakıt fiyat istikrarına kadar birçok başka fayda sunmaktadır.

Türkiye'de istihdam, refah yaratma ve kırsal kalkınma; Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde biyoyakıt hammadde üretiminin artırılması, üretici ülke hükümetleri tarafından enerji güvenliğini sağlamanın, istihdam ve küçük ölçekli pazar entegrasyonu yoluyla kırsal ekonomik kalkınmayı teşvik etmenin bir yolu olarak geniş çapta faydalıdır. Biyoyakıt hammaddesi üretimine yönelik yabancı ve yerli yatırımların, bilgi aktarımından ve sosyal-fiziksel altyapıya yatırımcı katkılarında olumlu ekonomik yayımlara yol açması da beklenmektedir. Biyokütle hammaddelerinin üretimi ve bunların ısı ve güce, ulaşım yakıtlarına ve biyo-ürünlere dönüştürülmesi, gelişmiş biyoyakıt

biyofinerileri inşa eden ve işleten mühendisler ve inşaat işçilerine; biyoyakıt pazarlayan ve dağıtan şirketlere; yenilik süreci teknolojilerini geliştiren ve lisanslayan araştırma şirketlerine; kırsal topluluklarda biyokütle, biyoenerji ve biyoyakıt üretiminin yarattığı zenginlikten yararlanan destek endüstrilerindeki binlerce insana iş, teknoloji geliştirme ve istihdam sağlayacaktır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, 'yenilenebilir yakıt endüstrisinin' ekonomik çıktısının 184 milyar \$ olduğu tahmin ediliyor. 852.000'den fazla işi ve 56 milyar \$ maaşı destekliyor ve her yıl yerel ve eyalet vergi gelirlerinde yaklaşık 14,5 milyar \$ üretiyor. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler de biyoenerji hammaddelerinin ve biyoyakıtların sürdürülebilir gelişiminden potansiyel olarak yararlanabilir.

Araç taşımacılığından kaynaklanan egzoz kirliliğinin azaltılması; çeşitli araştırmalar, algal biyokütleden üretilen dizelin, fosil dizele göre egzoz gazlarında %70 daha az kirlenici ürettiğini göstermiştir. Amerika'da B100 ve B50 oranlarında kullanılan biyodizelin, kurşun ve diğer kanserojenlerin etkisinin yok olmasını sağlamış ve hava kalitesini artırarak halk sağlığında önemli pozitif avantajlar sağlamıştır. Aynı şekilde algal biyoyakıt üretiminde baca gazı kullanılması, atmosfere doğrudan salınan sera gazlarını önleyerek hava kirliliğini ve sera etkisini azaltacak, bu şekilde küresel iklim değişikliğine ve toplum sağlığına direk etki edecektir.

• Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve Algal Biyoteknoloji

25 Eylül 2015'te dünya liderleri, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini kabul ettikleri New York'taki Birleşmiş Milletler'de bir araya gelmiştir. Bu 17 hedef ve 169 alt hedef, ekonomik büyümeyi, sosyal gelişmeyi ve çevre korumayı kucaklayan tüm uluslar ve sürdürülebilir kalkınma için bir gündem ortaya koymaktadır. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SKH'ler; 2015–2030), yoksulluğun ortadan kaldırılması, küresel refah ve dünyanın korunması için evrensel bir eylem çağrısı olarak tüm Birleşmiş Milletler Üye Devletleri tarafından yürürlüğe konulmuştur. Karbon nötr bir kaynak olarak mikroalgler, sekiz Millenium Developments Goals'den üçüne doğrudan katkıda bulunmuştur (yoksulluğu ve açlığı azaltmak, çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek ve küresel ortaklıklar geliştirmek). Buna ek olarak, mikroalglerin biyoteknolojik platformlarda uygulanması, Tablo 36'da ayrıntıları verilen on yedi SKH'den on altısına katkıda bulunabilmektedir (Foo, ve diğerleri, 2020).

Tablo 36: Mikroalgal Yatırımların Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine Etkileri

SKH	Temel Amaçlar	Mikroalg Uygulamaları
Yoksulluğa Son	Servet oluşturmak	Karasal biyokütle kullanımının yanı sıra, enerji ve gelir yaratmak için <i>Chlorella vulgaris</i> ' gibi alternatif sucul biyokütle tercih edilebilir.
Açlığa Son	Açlığı sonlandırmak Gıda güvenliğini ve gelişmiş beslenmeyi sağlamak Sürdürülebilir tarımı teşvik etmek	Mikroalgler, insan sağlığını desteklemek için gerekli besinler için bir hücre fabrikasıdır. Mikroalglerden elde edilen besinler geçmişte yetersiz beslenen çocuklar için bir diyet takviyesi olarak kullanılmıştır. Mikroalg yan ürünleri, kümes hayvanları ve su ürünleri yetiştiriciliğinde yem katkı maddesi olarak kullanılabilir.
Sağlık ve Kaliteli Yaşam	Her yaşta herkes için esenliği teşvik etmek	Mikroalg özlerinin hem bulaşıcı hem de bulaşıcı olmayan hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde etkili olduğu bulunmuştur.
Nitelikli Eğitim	Herkes için kapsayıcı ve eşit kalitede eğitim sağlamak Yaşam boyu öğrenme fırsatlarını teşvik etmek	Mikroalgal kültürlerin mevcudiyeti, farklı öğretim, araştırma veya endüstriyel eğitim biçimlerinde dünya çapında erişilebilirlik sağlar. Bu da herkes için kapsayıcı ve eşitlikçi bir eğitimi teşvik eder.

Toplumsal Cinsiyet Eşitliği	Cinsiyet eşitliği ve kadın ve kız çocuklarının güçlendirilmesi	Bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik sektörlerindeki kadınlara, özellikle mikroalg içeren tarım ve biyoteknoloji alanlarında çalışanlar için güçlendirme ve burs fırsatı
Temiz Su ve Sanitasyon	Herkes için su ve sanitasyonun mevcudiyetini ve sürdürülebilir yönetimini sağlamak	Mikroalg-bakteri simbiyozu, organik maddeleri, aşırı besinleri, tehlikeli kirleticileri ve ağır metalleri ortadan kaldırarak su kalitesini iyileştirir. Atık su arıtımında kullanılmaktadır.
Erişilebilir ve Temiz Enerji	Herkes için uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimin sağlanması	Mikroalgler en hızlı büyüyen su bitkileridir ve karasal bitkiler ve bitkilerle karşılaştırıldığında hektar başına daha fazla yağ veya biyokütle üretme potansiyeline sahiptirler. Biyodizel, bioetanol, biyojet-roket yakıtı, biyogaz üretiminde kullanılmaktadırlar.
İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme	Herkes için sürdürülebilir, kapsayıcı ve sürdürülebilir ekonomik büyümeyi, tam ve üretken istihdamı ve insana yakışır işi teşvik etmek	Mikroalgler, atık su arıtma ve ilaç, kozmetik, yem, gıda ve biyoyakıt üretimi de dahil olmak üzere mevcut endüstriyel faaliyetlerin sürdürülebilirlik uygulamalarını iyileştirmektedir.
Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı	Dayanıklı altyapı oluşturmak, kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşmeyi teşvik etmek	Mikroalgler, gelecekteki binalarda yenilikçi bir yeşillendirme bileşeni olarak kullanılmaktadır. Örneğin, mikroalgler, elektrik dönüşümü için güneş enerjisi hasat etmek üzere binaların biyo-cepheleri olarak yeniden donatılan veya mimari olarak planlanan fotobiyoreaktörlerde kültürlenebilmektedirler.
Eşitsizliklerin Azaltılması	Ülkeler içinde ve ülkeler arasında eşitsizliği azaltmak	Alg biyokütlesini ülke için bir gıda, yem ve biyoyakıt kaynağı olarak kullanma hedefiyle ülkeler dışı bağımlılıklarını sonlandırabilir.
Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar	Şehirleri ve insan yerleşimlerini kapsayıcı, güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir kılmak	Sürdürülebilir mimari, artan insan nüfusu göz önüne alındığında enerji tasarrufuna yönelik yaklaşımlardan biridir. Çevresel açıdan bir maliyet-fayda analizi, tüp borulu mikroalg fotobiyoreaktör sisteminin güneş paneli sistemine kıyasla daha fazla faydası olduğunu göstermiştir.
Sorumlu Üretim ve Tüketim	Sürdürülebilir tüketim ve üretim kalıplarını sağlamak	Mikroalg bazlı biyorafineri, tekno-ekonomik ve yaşam döngüsü analizlerine dayalı döngüsel ekonomiyi teşvik etmektedir.
İklim Eylemi	İklim değişikliği ve etkileriyle mücadele için acil önlem alınması	Mikroalgler, iklim değişikliğine sebep olan karbondioksiti, karbon yakalama teknolojisi ile artılabilmektedir.
Sudaki Yaşam	Sürdürülebilir kalkınma için okyanusları, denizleri ve deniz kaynaklarını korumak	Mikroalgler, iklim değişikliğinin yanı sıra deniz sağlığı ve mercan resiflerinin ekolojisi üzerindeki karasal etkileri değerlendirmek için bir biyoindikatör olabilmektedir. Müsilaj

	ve sürdürülebilir şekilde kullanmak	gibi çevre felaketlerini önlemek için atık su bertarafında kullanılabilir.
Karasal Yaşam	Karasal ekosistemlerin sürdürülebilir kullanımını korumak, restore etmek ve teşvik etmek, çölleşmeyle mücadele etmek ve arazi bozulmasını durdurmak ve biyolojik çeşitlilik kaybını durdurmak	Mikroalgler, toprağın restorasyonunda ve çölleşmede etkili bir öncü mikroorganizmadır.
Amaçlar için Ortaklıklar	Sürdürülebilir kalkınma için uygulama araçlarını güçlendirmek ve küresel ortaklığı yeniden canlandırmak	CyanoFactory, güneş enerjisiyle biyoyakıt üretimi için yeni fotosentetik hücre fabrikalarının tasarımı ve inşasına odaklanan bir AR-GE projesidir. Bilimsel hedefler ve yeni teknolojilerin yaratılması ihtiyacı tarafından desteklenen bu tür "amaca yönelik" araştırma örnekleri, mikroalglerin daha yüksek bir seviyeye uygulanmasını teşvik etmek için daha fazla disiplinler arası ortaklıklar gerektirir.

Ek-1: Fizibilite Çalışması için Gerekli Olabilecek Analizler

Yatırımcı tarafından hazırlanacak detaylı fizibilitede, aşağıda yer alan analizlerin asgari düzeyde yapılması ve makine-teçhizat listesinin hazırlanması önerilmektedir.

- **Ekonomik Kapasite Kullanım Oranı (KKO)**

Sektörün mevcut durumu ile önümüzdeki dönem için sektörde beklenen gelişmeler, firmanın rekabet gücü, sektördeki deneyimi, faaliyete geçtikten sonra hedeflediği üretim-satış rakamları dikkate alınarak hesaplanan ekonomik kapasite kullanım oranları tahmini tesis işletmeye geçtikten sonraki beş yıl için yapılabilir.

Ekonomik KKO= Öngörülen Yıllık Üretim Miktarı /Teknik Kapasite

- **Üretim Akım Şeması**

Fizibilite konusu ürünün bir birim üretilmesi için gereken hammadde, yardımcı madde miktarları ile üretimle ilgili diğer prosesleri içeren akım şeması hazırlanacaktır.

- **İş Akış Şeması**

Fizibilite kapsamında kurulacak tesisin birimlerinde gerçekleştirilecek faaliyetleri tanımlayan iş akış şeması hazırlanabilir.

- **Toplam Yatırım Tutarı**

Yatırım tutarını oluşturan harcama kalemleri yıllara sari olarak tablo formatında hazırlanabilir.

- **Tesis İşletme Gelir-Gider Hesabı**

Tesis işletmeye geçtikten sonra tam kapasitede oluşturması öngörülen yıllık gelir gider hesabına yönelik tablolar hazırlanabilir.

- **İşletme Sermayesi**

İşletmelerin günlük işletme faaliyetlerini yürütebilmeleri bakımından gerekli olan nakit ve benzeri varlıklar ile bir yıl içinde nakde dönüşebilecek varlıklara dair tahmini tutarlar tablo formunda gösterilebilir.

- **Finansman Kaynakları**

Yatırım için gerekli olan finansal kaynaklar; kısa vadeli yabancı kaynaklar, uzun vadeli yabancı kaynaklar ve öz kaynakların toplamından oluşmaktadır. Söz konusu finansal kaynaklara ilişkin koşullar ve maliyetler belirtilebilir.

- **Yatırımın Kârlılığı**

Yatırımı değerlendirmede en önemli yöntemlerden olan yatırımın kârlılığının ölçümü aşağıdaki formül ile gerçekleştirilebilir.

Yatırımın Kârlılığı= Net Kâr / Toplam Yatırım Tutarı

- Nakit Akım Tablosu

Yıllar itibariyle yatırımda oluşması öngörülen nakit akışını gözlemek amacıyla tablo hazırlanabilir.

- Geri Ödeme Dönemi Yöntemi

Geri Ödeme Dönemi Yöntemi kullanılarak hangi dönem yatırımın amorti edildiği hesaplanabilir.

- Net Bugünkü Değer Analizi

Projenin uygulanabilir olması için, yıllar itibariyle nakit akışlarının belirli bir indirgeme oranı ile bugünkü değerinin bulunarak, bulunan tutardan yatırım giderinin çıkarılmasıyla oluşan rakamın sıfıra eşit veya büyük olması gerekmektedir. Analiz yapılırken kullanılacak formül aşağıda yer almaktadır.

$$NBD = \sum_{t=0}^n (NA_t / (1-k)^t)$$

NA_t : t. Dönemdeki Nakit Akışı

k: Faiz Oranı

n: Yatırımın Kapsadığı Dönem Sayısı

- Cari Oran

Cari Oran, yatırımın kısa vadeli borç ödeyebilme gücünü ölçer. Cari oranın 1,5-2 civarında olması yeterli kabul edilmektedir. Formülü aşağıda yer almaktadır.

$$\text{Cari Oran} = \frac{\text{Dönen Varlıklar}}{\text{Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar}}$$

Likidite Oranı, yatırımın bir yıl içinde stoklarını satamaması durumunda bir yıl içinde nakde dönüşebilecek diğer varlıklarıyla kısa vadeli borçlarını karşılayabilme gücünü gösterir. Likidite Oranının 1 olması yeterli kabul edilmektedir. Formülü aşağıda yer almaktadır.

$$\text{Likidite Oranı} = \frac{\text{Dönen Varlıklar} - \text{Stoklar}}{\text{Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar}}$$

Söz konusu iki oran, yukarıdaki formüller kullanılmak suretiyle bu bölümde hesaplanabilir.

- Başabaş Noktası

Başabaş noktası, bir firmanın hiçbir kar elde etmeden, zararlarını karşılayabildiği noktayı/seviyeyi belirtir. Diğer bir açıdan ise bir firmanın, giderlerini karşılayabildiği nokta da denilebilir. Başabaş noktası birim fiyat, birim değişken gider ve sabit giderler ile hesaplanır. Ayrıca sadece sabit giderler ve katkı payı ile de hesaplanabilir.

$$\text{Başabaş Noktası} = \frac{\text{Sabit Giderler}}{\text{Birim Fiyat} - \text{Birim Değişken Gider}}$$

Ek-2: Yerli/İthal Makine-Teçhizat Listesi

İthal Makine / Teçhizat Adı	Miktarı	Birimi (Adet, kg, m ³ vb.)	F.O.B. Birim Fiyatı (\$)	Birim Maliyeti (KDV Hariç, TL)	Toplam Maliyet (KDV Hariç, TL)	İlgili Olduğu Faaliyet Adı

Yerli Makine / Teçhizat Adı	Miktarı	Birimi (Adet, kg, m ³ vb.)	Birim Maliyeti (KDV Hariç, TL)	Toplam Maliyeti (KDV Hariç, TL)	İlgili Olduğu Faaliyet Adı

KAYNAKÇA

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). 21. https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/sektorel_hesaplama_ornekler--20191127114542.pdf adresinden alındı
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2021). <https://webdosya.csb.gov.tr/db/tay/webmenu/webmenu13378.pdf> adresinden alındı
- AFDC. (2021). https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_benefits.html adresinden alındı
- Ajjawi, I., Verruto, J., Aqui, M., Soriaga, L. B., Coppersmith, J., Kwok, K., & Moellering, E. R. (2017). Lipid production in *Nannochloropsis gaditana* is doubled by decreasing expression of a single transcriptional regulator. *Nature biotechnology*, 35(7), 647-652.
- Ananthi, V., Brindhadevi, K., Pugazhendhi, A., & Arun, A. (2021). Impact of abiotic factors on biodiesel production by microalgae. *Fuel*, 284, 118962.
- Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology advances*, 25(2), 207-210.
- Biyodizel Sanayi Derneği. (2019). *Biyodizel Sektör Raporu*.
- Bohutskyi, P., & Bouwer, E. (2013). Biogas production from algae and cyanobacteria through anaerobic digestion: a review, analysis, and research needs. *Advanced biofuels and bioproducts*, 813-975.
- Bonachela, J. A., Raghil, M., & Levin, S. A. (2011). Dynamic model of flexible phytoplankton nutrient uptake. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(51), 20633-20638.
- Bošnjaković, M., & Sinaga, N. (2020). The Perspective of Large-Scale Production of Algae Biodiesel. *Applied Sciences*, 10(22), 8181.
- BP. (2020). *Statistical Review of World Energy*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> adresinden alındı
- Bracmort, K. (2018). The renewable fuel standard (RFS): an overview. *Washington, DC: Congressional Research Service*.
- Buswell, A. M., & Mueller, H. F. (1952). Mechanism of methane fermentation. *Industrial & Engineering Chemistry*, 44(3), 550-52.
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresour. Technol.*, 99(10), 4044-4064.
- Chiaramonti, D., & Goumas, T. (2019). Impacts on industrial-scale market deployment of advanced biofuels and recycled carbon fuels from the EU Renewable Energy Directive II. *Applied Energy*, 251, 113351.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from Microalgae. *Biotechnology Advances*.
- Collet, P., Helias, A., Lardon, L., Ras, M., Goy, R. A., & Steyer, J. P. (2011). Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production. *Bioresour. Technol.*, 102(1), 207-214.
- Dahman, Y., Syed, K., Begum, S., Roy, P., & Mohtasebi, B. (2019). Biofuels: Their characteristics and analysis. *In Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy*, 277-325.

- Environmental Protection Agency. (2020). Renewable Fuel Standard Program: Standards for 2020 and Biomass- Based Diesel Volume for 2021 and Other Changes: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2020-02-06/pdf/2020-00431.pdf> adresinden alındı
- EPDK. (2017). *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ*. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=23661&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5> adresinden alındı
- EPDK. (2020). *Yıllık Sektör Raporu*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu> adresinden alındı
- European Parliament. (2018). *15. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (Text with EEA relevance.)*, PE/48/2018/REV/1. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj> adresinden alındı
- FB., M. (1996). Biodiversity and application of microalgae. *J Ind Microbiol*, 17, 477-89.
- FİDAN, M. S., & ALKAN, E. (2014). Bitkisel Hammaddelerden elde edilen biyodizelin alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 144-160.
- Foo, S. C., Khoo, K. S., Ooi, C. W., Show, P. L., Khong, N. M., & Yusoff, F. M. (2020). Meeting Sustainable Development Goals: Alternative extraction processes for fucoxanthin in algae. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8.
- Ganesan, R., Manigandan, S., Samuel, M. S., S. R., Brindhadevi, K., Chi, N. T., & Pugazhendhi, A. (2020). A review on prospective production of biofuel from microalgae. *Biotechnology Reports*, e00509.
- Guruvaiah, M., & Lee, K. (2014). Effect of flue gas on microalgae population and study the heavy metals accumulation in biomass from power plant system. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 2(2), 114-120.
- HORIZON. (2020). <https://h2020.org.tr/tr/tematik-alanlar/enerji> adresinden alındı
- Hu, J., Nagarajan, D., Zhang, Q., Chang, J. S., & Lee, D. J. (2018). Heterotrophic cultivation of microalgae for pigment production: A review. 36(1), 54-67.
- İBB. (2019). <https://cevrekorumu.ibb.istanbul/istanbul-2019-yili-sera-gazi-envanteri-hazirlandi/> adresinden alındı
- IEA. (2021). *Renewable Energy Market Update*. <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021/transport-biofuels> adresinden alındı
- İÜ. (2019). <https://cdn.istanbul.edu.tr/FileHandler2.ashx?f=iller-arasi-rekabet-endeksi-2018-2019-raporu-aciklandi.pdf> adresinden alındı
- İSKİ. (2021). <https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/iski-hakkinda1/aritma-tesisleri11/atik-su-aritma-tesisleri3> adresinden alındı
- İSTKA. (2021). <http://www.istka.org.tr/haberler/istanbul-un-en-rekabetci-ilceleri-sisli-ve-kadikoy/> adresinden alındı
- Khan, S., Siddique, R., Sajjad, W., N. G., Hayat, K. M., Duan, P., & Yao, L. (2017). Biodiesel production from algae to overcome the energy crisis. *HAYATI Journal of Biosciences*, 24(4), 163-167.

- Kim, B., Heo, H. Y., Son, J., Yang, J., Chang, Y. K., Lee, J. H., & Lee, J. W. (2019). Simplifying biodiesel production from microalgae via wet in situ transesterification: A review in current research and future prospects. *Algal Research*, 41, 101557.
- KOSGEB. (2021). *AR-GE, Teknolojik Üretim ve Yerleştirme Destekleri*. <https://www.kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/destekler/6313/arge-teknolojik-uretim-ve-yerlestirme-destekleri> adresinden alındı
- Lage, S., Gojkovic, Z., Funk, C., & Gentili, F. G. (2018). Algal biomass from wastewater and flue gases as a source of bioenergy. *Energies*, 11(3), 664.
- LMC. (2019). https://www.lmc.co.uk/wp-content/uploads/2019/02/LMC_Global-Biodiesel-Insight_May-2019.pdf adresinden alındı
- Lundquist, T. J., Woertz, I. C., T., N. W., & Benemann, J. R. (2010). A realistic technology and engineering assessment of algae biofuel production. *Energy Biosciences Institute*.
- Makareviciene, V., & Skorupskaite, V. (2019). Transesterification of microalgae for biodiesel production. *In Second and Third Generation of Feedstocks*, 469-510.
- Metting, F. B. (1996). Biodiversity and application of microalgae. *Journal of industrial microbiology*, 17(5), 477-489.
- Molazadeh, M., Ahmadzadeh, H., Pourianfar, H. R., Lyon, S., & Rampelotto, P. H. (2019). The use of microalgae for coupling wastewater treatment with CO₂ biofixation. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 7, 42.
- Murad, M. E., & Al-Dawody, M. (2020). Biodiesel Production form Spirulina Microalgae and its impact on Diesel Engine Characteristics-Review. *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*, 13(2), 158-167.
- OSBUK. (2019). <https://osbuk.org/wp-content/uploads/2019/11/MARMARA-BÖLGESİ-OSBLERİ-2-2.pdf> adresinden alındı
- Piloto-Rodríguez, R., Sánchez-Borroto, Y., Melo-Espinosa, E. A., & Verhelst, S. (2017). Assessment of diesel engine performance when fueled with biodiesel from algae and microalgae: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 833-842.
- Priyadarshani, I., & Rath, B. (2012). Algal Biofuel: an alternative green energy. *Bio Technology*, 8454-8457.
- Ramaraj, S., Hemaiswarya, S., Raja, R., Ganesan, V., Anbazhagan, C., Carvalho, I. S., & Juntawong, N. (2015). Microalgae as an attractive source for biofuel production. *Environmental Sustainability*, 129-157.
- Resmi Gazete. (2009). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/07/20090703-20..htm> adresinden alındı
- Sanayi Portalı. (2021). <http://portal.sanayigazetesi.com.tr/osbtgbler/%C4%B0istanbul-ilindeki-sanayi-kurum-kurulu%C5%9Flar%C4%B1.htm> adresinden alındı
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2021). *Yatırım ve Teşvik Uygulamaları*. <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/destek-tesvikler/YatirimTevsikSistemiSunumu.pdf> adresinden alındı
- Sathasivam, R., Kermanee, P., Roytrakul, S., & Juntawong, N. (2012). Isolation and molecular identification of β -carotene producing strains of *Dunaliella salina* and *Dunaliella bardawil* from salt soil samples by using species-specific primers and internal transcribed spacer (ITS) primers. *African Journal of Biotechnology*, 11(102), 16677-16687.

- Sharma, P. K., Saharia, M., Srivstava, R., Kumar, S., & Sahoo, L. (2018). Tailoring microalgae for efficient biofuel production. *Frontiers in Marine Science*, 5, 382.
- Sutton, R. T. (2018). ESD Ideas: a simple proposal to improve the contribution of IPCC WGI to the assessment and communication of climate change risks. *Earth System Dynamics*, 9(4), 1155-1158.
- T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı. (2013). *Özel Tüketim Vergisi Genel Tebliği*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/12/20131231-13.htm> adresinden alındı
- Teknoloji Odaklı Sanayi Hamlesi Programı*. (2021). https://www.yatirimadestek.gov.tr/pdf/assets/upload/dosyalar/ozet_teknoloji_odakli_sanayi_hamlesi_programi.pdf adresinden alındı
- TÜİK. (2018). 19. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Organize-Sanayi-Bolgeleri-Su,-Atiksu-ve-Atik-Istatistikleri-2018-30671> adresinden alındı
- TÜİK. (2019). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2019-37196> adresinden alındı
- TÜİK. (2020). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=120&locale=tr> adresinden alındı
- TTGV. (2021). <https://www.ttg.gov.tr> adresinden alındı
- Ulusal Destek Programları*. (2021). <https://www.tubitak.gov.tr/tr/destekler/sanayi/ulusal-destek-programlari> adresinden alındı
- Woertz, I. C., Benemann, J. R., Du, N., Unnasch, S., Mendola, D., Mitchell, B. G., & Lundquist, T. J. (2014). Life cycle GHG emissions from microalgal biodiesel—a CA-GREET model. *Environmental science & technology*, 48(11), 6060-6068.
- Zhu, L., Nugroho, Y. K., Shakeel, S. R., Li, Z., Martinkauppi, B., & Hiltunen, E. (2017). Using microalgae to produce liquid transportation biodiesel: what is next? 78, 391-400.



Asmalı Mescit Mah. İstiklal Caddesi No:142, Odakule Kat:6-7-8 34430
Beyoğlu/İSTANBUL
Tel: 0 (212) 468 34 00 – Faks: 0 (212) 468 34 44
E-posta: iletisim@istka.org.tr | www.istka.org.tr

Kalkınma Ajansı Yayınları Bedelsizdir, Satılmaz.