



sustainability

IMPACT
FACTOR
3.3

CITESCORE
6.8

İnceleme

İleri Biyoyakıt Üretmek için AB İkincil Biyokütle Mevcudiyetinin ve Dönüşüm Süreçlerinin Analizi: Mevcut Veri Tabanlarının 2025 Perspektifine Yönelik Metrik Bir Değerlendirme İçin Kullanılması

Francesca Di Gruttola ve Domenico Borello

Özel Sayı

Endüstriyel IoT Çağında Sürdürülebilir Endüstri ve İnovasyon

Düzenleyen

Dr. Bernardino Quattrociochi ve Dr. Alessandro Corsini



<https://doi.org/10.3390/su13147882>



İnceleme

İleri Biyoyakıt Üretmek için AB İkincil Biyokütle Mevcudiyetinin ve Dönüşüm Süreçlerinin Analizi: Mevcut Veri Tabanlarının 2025 Perspektifine Yönelik Metrik Bir Değerlendirme İçin Kullanılması

Francesca Di Gruttola ^{1,*} ve Domenico Borello ²

¹ Havacılık, Elektrik ve Enerji Mühendisliği Bölümü (DIAEE), Roma Sapienza Üniversitesi, 00185 Roma, İtalya

² Makine ve Havacılık Mühendisliği Bölümü (DIMA), Roma Sapienza Üniversitesi, 00185 Roma, İtalya; domenico.borello@uniroma1.it

* Yazışmalar: francesca.digruttola@uniroma1.it

Özet: Günümüzde Avrupa'da gelişmiş biyoyakıtların üretimi, ulaşım sektöründe sürdürülebilirliğin artırılmasına yönelik güçlü ilgi göz önüne alındığında çok önemli bir hedefi temsil etmektedir. Gelişmiş biyoyakıtların üretimi ve bulunabilirliği, BM Gündem 2030'daki Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, AB RED II ve AB Misyon İnovasyon 4 gibi en önemli uluslararası eylemlerde ilgili bir konu olarak belirtilmektedir. Bununla birlikte, dikkate alınması gereken önemli bir husus, gelişmiş biyoyakıt üretmek için hammadde mevcudiyetinin tahmin edilmesidir. Bu makalenin ilk amacı, 2025 yılında Avrupa'daki tarımsal kalıntıların, ormancılık kalıntıların ve biyojenik atıkların mevcudiyetini değerlendirmektir. Veriler, açık FAOSTAT ve EUROSTAT veri tabanlarında derinlemesine bir inceleme yoluyla toplanmış ve daha sonra yazarlar tarafından detaylandırılmıştır. Analiz, toprak kalitesini korumak için sürdürülebilir yönetim uygulamaları, rekabetçi kullanımlar ve çevresel riskler hakkında özel bilgileri de içerecek şekilde, ileri biyoyakıt üretimi için kullanılabilecek hammaddelerin oranına odaklanmaktadır. Gelecekteki kullanılabilirliği tahmin etmek için otoregresif bir model geliştirilirken, mevcut pandemiden kaynaklanan düzeltmeler de dikkate alınmıştır. Sonuçlar, birkaç Avrupa ülkesinin Avrupa bağlayıcı hedefini karşılamak için yeterli sürdürülebilir gelişmiş hammadde üretebileceğini göstermektedir. Özellikle Fransa, Almanya ve Romanya yüksek tarımsal hammadde üretimine sahip olacak; Avusturya, Finlandiya ve İsveç ormancılık kalıntıları açısından zengin olacak; son olarak İtalya, Fransa ve Birleşik Krallık en yüksek atık mevcudiyetine sahip olacak. Resmi tamamlamak için, incelenen alternatif yakıtların biyokütle mevcudiyeti, Teknoloji Hazırlık Seviyesi (TRL), biyoyakıtın kalitesi ve maliyetler gibi çeşitli ilgili parametreler açısından bir teknoloji sıralaması oluşturmayı amaçlayan uygun bir metrik tanıtılmıştır. Bu analiz, kullanımı gıda piyasasını etkileyebilen ve aynı zamanda dolaylı arazi kullanım değişikliğindeki (ILUC) artışa katkıda bulunan gelişmiş biyoyakıtlar ile birinci nesil biyoyakıtları karşılaştırmamızı sağlamaktadır. Birinci nesil biyoyakıtlar en yaygın seçenek olmaya devam etse de, yenilenebilir (veya yeşil) dizel, piroliz biyoyağı, yeşil jet yakıtı ve ikinci nesil biyoetanol ulaşım sektöründeki farklı uygulamalar için umut vaat etmektedir. Hidroişlenmiş Bitkisel Yağlar (HVO), Hidroişlenmiş Esterler ve Yağ Asitleri (HEFA), Anaerobik Sindirim (AD) ve bitkisel yağdan transesterifikasyon en yaygın ve olgun teknolojileri temsil etmektedir. Dolayısıyla, ulaşım sektörünün gelecekte bu tür yakıtlara giderek daha fazla güvenmesi zorunlu görünmektedir. Bu nedenle, ileri biyokütle toplama için özel bir desteğin yanı sıra dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesi için özel programlar şiddetle önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: ileri biyoyakıtlar; öngörü; sürdürülebilir hammadde bulunabilirliği



Atıf: Di Gruttola, F.; Borello, D. İleri Biyoyakıt Üretmek için AB İkincil Biyokütle Mevcudiyetinin ve Dönüşüm Süreçlerinin Analizi: Mevcut Veri Tabanlarının 2025 Perspektifine Yönelik Bir Metrik Değerlendirme İçin Kullanılması. *Sürdürülebilirlik* **2021**, *13*, 7882. <https://doi.org/10.3390/su13147882>

Akademik Editör: Adam Smolin'ski

Alındı: 23 Nisan 2021

Kabul edildi: 8 Temmuz 2021

Yayınlanma tarihi: 14 Temmuz 2021

Yayının Notu: MDPI, yayınlanan haritalardaki yetki iddiaları ve kurumsal ilişkiler konusunda tarafsız kalmaktadır.



Telif hakkı: © 2021 yazarlar tarafından. Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre. Bu makale Creative Commons Attribution (CC BY) lisansının hüküm ve koşulları altında dağıtılan açık erişimli bir makaledir (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Son yıllarda, çeşitli AB politikaları 2030 yılına kadar ulaşılması gereken bağlayıcı hedefler getirerek, ulaşım sektörü de dahil olmak üzere birçok pazar segmentinde Avrupa ekonomisini karbonsuzlaştırmayı amaçlamıştır.

2009 yılında, Yenilenebilir Enerjinin Teşvik Edilmesine İlişkin Avrupa Direktifi (2009/28/EC) (RES) [1] 2020 yılına kadar biyoenerji gelişimi için hedefleri tanımlamıştır. "20-20-20" olarak adlandırılan hedefler, sera gazı (GHG) emisyonlarının 1990 yılına kıyasla %20 oranında azaltılmasını; temel enerji tüketiminin %20 oranında azaltılmasını ve son olarak yenilenebilir enerjinin (biyoenerji dahil) toplam enerji tüketimindeki payının %20 olmasını öngörmektedir. Ayrıca Direktif, 2020 yılına kadar ulaştırma enerjisi tüketiminde yenilenebilir enerjinin (özellikle biyoyakıtlar) payı için %10'luk zorunlu bir asgari hedef kabul etmiştir. Ulaştırma sektörü açısından bakıldığında, doğrudan yenilebilir biyokütle ile rekabetle ilgili olan birinci nesil biyoyakıtlar, gıda mahsulü fiyatları, arazi kullanımı değişiklikleri ve ekolojik zararlar üzerindeki etkileri açısından ciddi dezavantajlar gösterdiğinden, pratik ve ekonomik sorunlar ortaya çıkmıştır. Daha sonra, BM Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi 2030 tarafından gündeme getirilen gıda güvenliği, sağlık, enerji, ekonomik büyüme ve kırsal kalkınmanın teşvik edilmesini garanti altına almak için yeni çabalar gösterilmiştir [2].

Revize edilen Yenilenebilir Enerji Direktifi'nde (RED II) [3] birinci nesil biyoyakıtların sınırlandırılması ve kamu sübvansiyonlarının ürün bazlı biyoyakıtlardan, atıklar, artıklar veya yenmeyen sebzeler gibi ikincil biyokütlelerin ve orman ürünlerinin işlenmesiyle üretilen gelişmiş biyoyakıtlara yönlendirilmesi için bağlayıcı hedefler öneren özel reçeteler de getirilmiştir. RED II'ye göre, gelişmiş biyoyakıtların ve biyogazın katkısı, ulaştırma sektöründeki nihai enerji tüketiminin payı olarak 2022'de %0,2, 2025'te %1 ve 2030'da %3,5'e eşit bir minimum eşiğe ulaşmalıdır.

Son yıllarda, Uluslararası Enerji ve Çevre Araştırmaları Konferansı (ICEER) gibi enerji ve çevre ile ilgili en önemli konuları tartışmak ve desteklemek için birçok uluslararası etkinlik düzenlenmiştir. Ana konular arasında sadece ileri enerji teknolojileri, biyokütle ve biyo-bazlı ürünlerin yanı sıra kaynakların verimli kullanımı, ekoloji ve biyoçeşitliliğin korunması yer almaktadır [4,5].

Bu hedeflere ulaşılmasını sağlamak için Avrupa ülkeleri, gelişmiş biyoyakıtların geniş ölçekte benimsenmesi büyük ölçüde belirsizliğini korusa da, hedeflere ulaşılmasını desteklemeyi amaçlayan bu tür düzenlemelerin uygulamaya konmasından kaynaklanan ekonomik etkileri değerlendirmektedir.

Gelişmiş biyoyakıtların potansiyel büyümesi ve rekabet gücü, ham petrol fiyatlarındaki artış ve biyoyakıt üretimindeki teknolojik ilerleme ile desteklenebilir [6]. Biyoekonomi yoluna geçişi teşvik etmek için Avrupa Direktifleri, hammadde karakterizasyonu, deneyler ve biyoenerji endüstrisinin sanayileşmesi de dahil olmak üzere tüm sürecin gelişimini desteklemek için hala sübvansiyonlar sağlamaktadır (örneğin, Horizon 2020 Programı [7] ve Horizon Europe bunlardan biridir). Yatırım riskinin yanı sıra üretim maliyetlerinin de azalması ve böylece fosil yakıtlar yerine gelişmiş biyoyakıtların kullanımının desteklenmesi beklenmektedir.

Söz konusu kritik sorunlara rağmen, günümüzde gelişmiş biyoyakıtlar dizel, benzin veya fuel oil gibi petrol türevi yakıtlara benzer özellikleri nedeniyle fosil yakıtlara sürdürülebilir bir alternatif teşkil etmektedir [8]. Bu da karayolu taşıtları, endüstriyel kazanlar, ticari gemiler, trenler vb. için doğrudan yakıt olarak kullanılmaları anlamına gelmektedir. Öte yandan, havacılık sektörü için uygun kalitede [9] gelişmiş biyo-jet yakıtı üretmek çok zordur.

İleri biyoyakıtlar alanında, araştırma faaliyetleri iki ana hedefi değerlendirmeye odaklanmıştır: hedeflere ulaşmak için yararlı olan sürdürülebilir biyokütle hammaddelerinin gelecekteki mevcudiyeti ve ref'de bildirildiği gibi farklı teknolojilerin değişen olgunluk dereceleri ve maliyetleri. [3].

Burada, AB'de bol miktarda bulunan üç hammadde kategorisi analiz edilmektedir: atıklar, mahsuller ve ormancılık kalıntıları. Mevcut miktarlar, toprak kalitesinin ve diğer tarımsal kullanımların korunmasını garanti altına almak için çıkarılması gereken miktar dikkate alınarak değerlendirilir. Hammaddelerin 2025 yılına kadar gelecekteki mevcudiyetini değerlendirmek için, otomatik regresyona dayalı bir model

metodolojisi, mevcut pandemi durumunun ulaştırma sektörü için gelişmiş biyoyakıtların geliştirilmesi üzerindeki etkisini hesaba katan geçici bir düzeltme de dikkate alınarak sunulmuş ve uygulanmıştır. Analizin sonucu, kalıntıların ileri biyoyakıt üretimi için kullanılabilirliğindeki mevcut eğilimlerin anlaşılmasına ve ekonomik ve teknolojik gelişmeler açısından olası etkilerin ölçülmesine yardımcı olabilir. Hammadde bileşimleri ve üretim süreçleri [8] gibi biyoyakıt özellikleri raporlanmış ve analiz edilmiştir. Ardından, mevcut teknolojiler, farklı çözümlerin olgunluğunu sıralamak için yaygın olarak kabul edilen bir standardı temsil eden Teknoloji Hazırlık Seviyelerine (TRL) göre değerlendirilir [10]. Sonuç olarak, ileri biyoyakıt üretimi için en uygun teknolojileri tespit etmek amacıyla farklı çözümleri sıralamak için bir metrik önerilmiştir.

2. Metodoloji

2.1. Veritabanları

Çalışma, 2025 yılında Avrupa Ülkelerinde gelişmiş biyoyakıt üretmek için sürdürülebilir hammaddelerin mevcudiyetini değerlendirmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, hammaddeler üç ana kategoriye ayrılmıştır: Verileri EUROSTAT ve FAOSTAT veri tabanlarından toplanan Atıklar, Bitkisel ve Ormancılık kalıntıları. Tablo 1'de her bir kategori, referans yılları, veri formatı, konumu ve 2025 tahmini ile birlikte veri setinin kaynağını gösterecek şekilde özetlenmiştir.

Tablo 1. Kategorilerin, Veri Setlerinin, Zaman Serilerinin ve Konumların Özeti, Model tarafından uygulanan geçici ufuk.

Kategori	Veri Seti	Veri Formatı	Geçmiş Aralık	Konum	Geçici Aralık
Biyojenik atıklar	EUROSTAT [11]	Excel	2008, 2010, 2012, 2014, 2016	Avrupa/Avrupa Listesi	2025 yılına kadar
Tarımsal kalıntılar	(FAOSTAT) (D) (12)	Excel	2014-2018	Avrupa/Avrupa Listesi	2025 yılına kadar
Ormancılık artıkları	FAOSTAT [13]	Excel	2014-2018	Avrupa/Avrupa Listesi	2025 yılına kadar

Mahsul verileri FAOSTAT veritabanından [12] alınmış ve on iki farklı mahsul analiz edilmiştir: arpa, yulaf, zeytin, mısır, buğday, soya fasulyesi, kolza tohumu, ayçiçeği, şeker pancarı, pirinç, çavdar ve tritikale. Bu ürünler, çoğunlukla biyoenerjetik sektöründe kullanılan ve Avrupa'da en çok üretilen ürünler arasından seçilmiştir. İleri biyoyakıt üretimi için kullanılabilirliklerini belirlemek amacıyla veriler, biyokütlenin ana kullanımı (örneğin gıda) [14], yani artıkların üretime oranı (RPR) ve güç, ısı veya diğer (örneğin bahçecilik, yem veya hayvan yatağı) gibi rekabetçi kullanımlara yönelik artık kısım çıkarılarak manipüle edilmiştir.

Toprak kalitesini korumak için kalıntıların bir kısmının tarlada bırakılması tavsiye edilmektedir. Bu yüzde, ref'de gösterildiği gibi ülkeden ülkeye değişmektedir. [15]. Ormancılık üretimi FAOSTAT veri tabanından tahmin edilmiştir [13]. Bu ürünler arasında odun yakıtları, testere tomrukları ve kaplama tomrukları, kağıtlık odun (yuvarlak ve yarma) ve hem iğne yapraklı hem de iğne yapraklı olmayan yuvarlak odunlardan elde edilen diğer endüstriyel yuvarlak odunlar bulunmaktadır. Bu son kategoriler, değerleri [16]'da gösterilen yoğunlukları açısından farklılık göstermektedir. Kalıntı kısmını değerlendirmek için, yuvarlak odun türüne ve konumuna (Kuzey Avrupa ve diğer tüm Avrupa Ülkeleri) göre farklı kalıntı/üretim oranları (RPR) dikkate alınmaktadır [15]. Ormancılık artıklarının sürdürülebilir kısmını hesaplamak için, zemin erozyonunu önlemek için toprakta bırakılan artık kısım ve sanayi sektörü için ısı ve güç kullanımı gibi tüm rekabetçi kullanımlar ve çevresel etkiler dikkate alınmalıdır.

Son olarak, atık mevcudiyeti verileri EUROSTAT'tan [11] alınmıştır ve ref'de D1 ile D7, D10 ve D12 ile etiketlenen bertaraf işlemlerinde bildirildiği üzere düzenli depolama sahasına gönderilen veya bertaraf edilen tüm tehlikeli ve tehlikesiz atıkları içermektedir. [17] ve Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Atık türleri ve bertaraf işlemleri [17]'den seçilen atık türleri ve bertaraf işlemleri.

Kategori	Spesifik Bertaraf İşlemleri [17]
Kağıt ve karton atıkları Evsel ve benzeri atıklar Hayvansal ve karışık gıda atıkları Bitkisel atıklar Hayvan dışkıları, idrar ve gübre Odun atıkları Kalıntıların ayrıştırılması Yaygın çamurlar	D 1 Arazi içine veya üzerine bırakma (örn. düzenli depolama sahası, vb.)
	D 2 Arazi arıtımı (örneğin, topraktaki sıvı veya çamurlu atıkların biyolojik olarak parçalanması, vb.)
	D 3 Derin enjeksiyon (örneğin, pompalanabilir atıkların kuyulara, tuz kubbelerine veya doğal olarak oluşan depolara vb. enjekte edilmesi)
	D 4 Yüzeyde biriktirme (örn. sıvı veya çamurlu atıkların çukurlara, göletlere veya lagünlere vb. yerleştirilmesi)
	D 5 Özel olarak tasarlanmış düzenli depolama sahası (örneğin, kapaklı ve birbirinden ve çevreden izole edilmiş ayrı hücreler halinde yerleştirme, vb.)
	D 6 Denizler/okyanuslar dışında bir su kütlelerine bırakma
	D 7 Deniz yatağına yerleştirme dahil
	denizlere/okyanuslara bırakma D 10 Karada yakma
	D 12 Kalıcı depolama (örn. konteynerlerin bir madene yerleştirilmesi, vb.)

2.2. Otoregresif Model

Otoregresif modelde, hammadde mevcudiyetinin gelecekteki değerleri, gerçek geçmiş değerler ve bunların zaman içindeki evrimi ile ilişkilidir [18]. Bu, Avrupa'nın bağlayıcı hedeflerini yerine getirmek için gereken gelişmiş biyoyakıt üretimini karşılamayı amaçlayan hammaddelerin mevcudiyetini tahmin etmemizi sağlar. Hammadde miktarı $Q(t)$, eklemeli model [19] ile, yani aşağıda gösterildiği gibi üç bileşenin toplamı ile tanımlanır: trend $T(t)$, mevsimsellik $S(t)$ ve rastgelelik $A(t)$:

$$Q(t) = T(t) + S(t) + A(t) \quad (1)$$

T eğilimi, orta-uzun vadede artan veya azalan hammaddeleri tanımlar. Gözlem dönemi boyunca meydana gelen sistematik olaylarla ilgilidir. Eğilimler sabit, doğrusal, polinom, hiperbolik, üstel veya asimptotik olabilir [20]. Bu çalışmada, trend bileşeninin Denklem (2) ve Şekil 1a'da gösterildiği gibi doğrusal olduğu varsayılmıştır, çünkü ilk etapta hammadde mevcudiyetine ilişkin son verilerin davranışını temsil etmenin en basit yolu budur (Tablo 1):

$$T(t) = a + bt \quad (2)$$

Katsayı a ve b , Denklem (3) ve (4)'te bildirildiği gibi en küçük kareler yöntemiyle hesaplanır [21], yani eğilim çizgisi, gerçek değerler ile çizginin kendisi tarafından temsil edilenler arasındaki sapmayı en aza indirmelidir.

$$a = \frac{\sum_i^{(Np)} Q(t_i)}{Np} = \bar{Q} \quad (3)$$

$$b = \frac{\sum_i^{(Np)} Q(t_i) - t_i}{\sum_i^{Np} (t_i)^2} \quad (4)$$

a ve b katsayıları, zaman ekseninin Np . aralıklarla (burada i , i 'inci aralıktır) ayrıştırılması ve zaman eksenini orijininin verilerin merkezine yerleştirilmesiyle uygun şekilde elde edilir. Bütünlük açısından, model aracılığıyla hesaplanan eğilim çizgisi, sadece ayçiçeği kalıntıları için Şekil 1a'da gösterilmiştir.

Mevsimsellik, her bir zaman aralığında periyodik olarak ortaya çıkan koşullar nedeniyle trend çizgisi etrafındaki veri dalgalanmalarını temsil eder. Bu durumda, zaman serisi aynı süreye sahip dönemlere ayrılır. Her bir dönem de aynı davranışa sahip eşit sayıda j aralığına bölünür. j 'inci aralık için, ilgili mevsimsellik endeksi S_j aşağıdaki gibi hesaplanır Denklem (5):

$$S_j = \frac{\sum_i^N \Delta}{N} \left(\sum S_j = 0 \right) \quad (5)$$

Burada $\Delta = Q_{t_j} - T_{t_j}$ ve N mevsimselliğin olduğu dönem sayısıdır. S_j , j 'inci aralıktaki ilgili ofsetin ortalamasını temsil eder. Bu işlem zaman serisinin mevsimsel düzeltilmesi olarak adlandırılabilir [22]. Trend ve mevsimsellik değerlerini toplayarak, örneğin ayçiçeği kalıntıları için Şekil 1b'de gösterilen bir davranış elde ederiz.

Genel olarak, tahmin edilen hammadde miktarı $Q(t)$, trend ve mevsimsellik açısından $(T(t) + S(t))$, gerçek hammadde miktarıyla uyuşmamaktadır. Her N_p (gözlem dönemi) için aşağıdaki Denklem (6)'da hesaplanan bir artık vardır:

$$R(t_i) = Q(t_i) - \tilde{Q}(t_i) \quad (6)$$

Bu nedenle, istatistiklerden türetilen yanlışlık Denklem (7) ve kök ortalama kare hatası Denklem (8) gibi performans endeksleri tahmin modelinin rastgele bileşenine dahil edilmiştir:

$$\text{önyargı} = \sum_{i=1}^{N_p} R(t_i) \quad (7)$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} R(t_i)^2}{N_p}} \quad (8)$$

Yanlışlık, telafi etkilerini filtrelemeden tüm kalıntıları işaretleriyle birlikte toplar. Yanlışlığın işaretinin pozitif veya negatif olmasına bağlı olarak, miktar sırasıyla eksik veya fazla tahmin edilecektir. Yanlışlık sıfır değerine sahipse, miktar doğru tahmin edilir. Kök ortalama kare hatası σ_A , hammadde miktarının ortalama değerine göre verilerin yayılımını ölçer.

Gauss olasılık dağılımı varsayıldığında, rastgele bileşen Denklem (9)'daki gibi tahmin edilecek ve daha sonra tahmin edilen $Q(t)$ miktarına eklenecektir. Örnek olarak, k 'nin farklı değerlerine göre ayçiçeği kalıntıları için tahmin edilen miktar Şekil 1c,d'de raporlanmıştır.

$$A(t) = \text{önyargı} \pm k\sigma_A \quad (9)$$

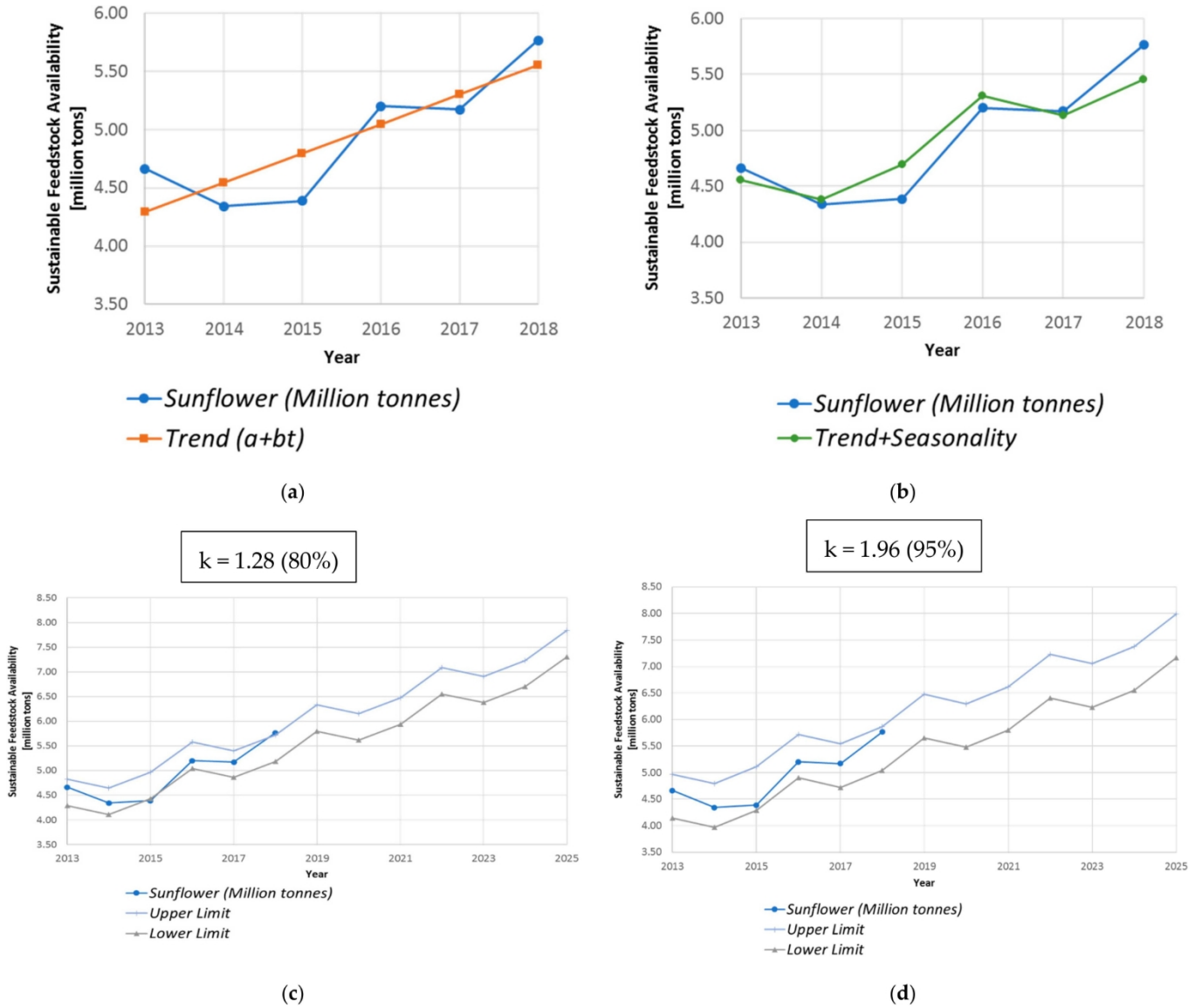
Burada k , değerleri Tablo 3'te rapor edilen dağılımın güven düzeyidir.

Tablo 3. Gauss olasılık dağılımı için k güven düzeyleri [23].

Güven Seviyesi	80.0%	90.0%	95.0%	99.0%	99.9%
K	1.28	1.64	1.96	2.58	3.29

Mevcut analizde, k 1,96'ya eşit olarak seçilmiştir, yani gerçek hammadde kullanılabilirliğinin, noktaları model tarafından tahmin edilen hammadde kullanılabilirliğini temsil eden eğrinin içine düşme olasılığı %95'tir (Şekil 1d).

Bu teorik değerlendirmelere dayanarak model geliştirilmiş ve toplanan tüm veriler 2025 yılında gelişmiş hammaddelerin mevcudiyetini değerlendirmek için uygulanmıştır.



Şekil 1. (a) Ayçiçeği tohumu kalıntıları ve model tarafından hesaplanan eğilim çizgisi; (b) Ayçiçeği tohumu kalıntıları ve model tarafından hesaplanan mevsimsellik ile eğilimin toplamı; (c) Ayçiçeği tohumu kalıntıları ve model tarafından hesaplanan $k = 1,28$ için eğilim, mevsimsellik ve rastgelelik toplamı; (d) Ayçiçeği tohumu kalıntıları ve model tarafından hesaplanan $k = 1,96$ için eğilim, mevsimsellik ve rastgelelik toplamı.

2.3. COVID-19 Otoregresif Modelin İlgili Düzeltmesi

COVID-19 salgınının yayılmasıyla ilgili sokağa çıkma yasakları, temel ihtiyaçlardan kişisel ve profesyonel etkileşime kadar hayatımızın tüm yönlerini değiştirdi. Bir yıldan kısa bir süre içinde, akıllı çalışmanın yoğunlaşması günlük işe gidiş gelişlerin altüst olmasına yol açtı. Bu nedenle, COVID-19'un etkileri tüm dünyada diğer enerji sektörlerine kıyasla ulaştırma sektöründe daha belirgin olmuştur. Bu, ulaşım için biyoyakıt üretimini de kapsamaktadır. Nitekim küresel ulaştırma biyoyakıtları üretimi 2019 yılında 162 milyar litreye ulaşmış olsa da (Avrupa'da 17,5 milyar litre), bugüne kadar üretimin önümüzdeki iki yıl boyunca %5 oranında daralması beklenmektedir [24].

Avrupa'da IEA, kıta genelinde talebin önemli ölçüde azalması nedeniyle 2020 yılı için biyodizel ve Hidrolize Bitkisel Yağ (HVO) üretiminde %13, etanolde ise %12'lik bir azalma öngörmektedir [24]. Ayrıca, ham petrol fiyatlarının düşmesi biyoyakıtları fosil ulaşım yakıtlarıyla daha az rekabet edebilir hale getirmiştir. Biyoyakıt fiyatları daha az düşse bile, biyoyakıt üretimi bazı tesisler için ekonomik bir zorluk olacaktır [25].

Gelir kayıplarının üstesinden gelmek ve sera gazı emisyonları, yerel hava kirliliği, gürültü, güvenlik ve tıkanıklık sorunlarını sınırlamaya devam etmek için yeni stratejik planların ekonomik ve siyasi çözümler açısından yeniden tasarlanması gerekmektedir. Asıl zorluk, güvenli mobiliteye adil ve uygun fiyatlı erişim sağlamak ve sosyal kapsayıcılığı ve yerel ekonomik kalkınmayı yeniden tesis etmek olacaktır. Covid-19 krizi nedeniyle ulaştırma biyoyakıtları tüketim sonuçları düşük olduğu sürece, bu durumdan en az etkilenen sektör mal taşımacılığıdır. Biyo-yeniden işleme, artık biyokütleri işleyen mevcut Avrupa tesislerinde belirtildiği gibi, istihdam yaratmak veya korumak için gerekli olan döngüsel ekonomideki kilit stratejilerden biri olmaya devam etmektedir.

Bu çalışma, kullanımı sürdürülemez ve ticari yağ üretimiyle rekabet halinde olabilecek bitkisel yağlar yerine sürdürülebilir lignoselülozik maddelerin kullanılabilirliğini analiz ettiğinden, tahminde bir düzeltme yapılarak yalnızca biyoetanoldaki yüzde azalma hesaba katılmıştır. Yüksek teknolojik olgunluk nedeniyle fermantasyon, lignoselülozdan biyoetanol üretmek için en çok kullanılan dönüşüm sürecidir. Şeker fermantasyonu yoluyla belirli bir biyokütle kütlelerinden üretilebilecek yakıt miktarını belirlemek için, [kg/kg] olarak ifade edilen kütle oranı veya biyokütle-yakıt verimliliği Denklem (10)'da verilmiştir:

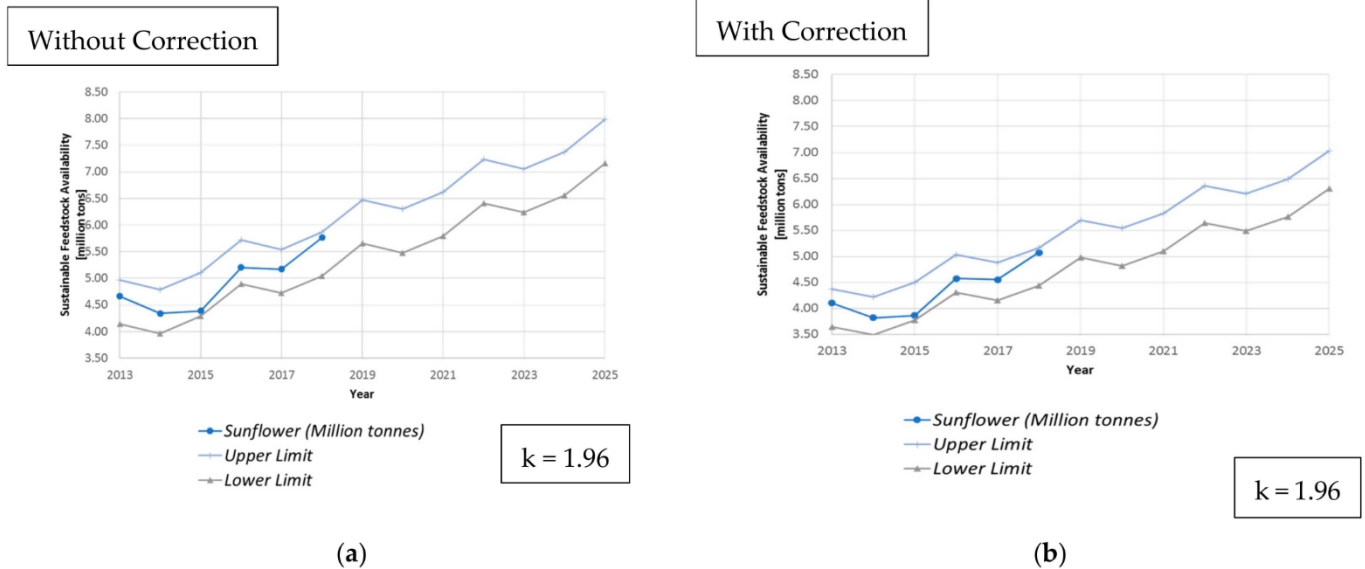
$$\eta_{(m)} = \frac{\bar{m}_{bioethanol}}{L_{mlignoselulöz}} \quad (10)$$

Bu değer hammadenin türüne ve teknolojik sürece bağlıdır [26]. 27]'de bildirildiği üzere, lignoselülozik maddelerden teorik maksimum şeker fermantasyon verimi 325-530 L/kuru ton (0,282-0,461 kg/kuru kg [28])'dur.

Bu nedenle, düzeltilmiş lignoselülozik hammadde miktarı eşit olarak tahmin edilebilir için:

$$m_{feedstock, düzeltilmiş} = \frac{m_{bioethanol, old} (1 - 0.12)}{\eta_m} \quad (11)$$

Burada $m_{(biyoetanol)} (.)$ (eski), COVID-19 etkileri dikkate alınmadan üretilen biyoetanol miktarını ifade eder. Düzeltmeli ve düzeltilmesiz tahmin modelinin bir uygulama örneği Şekil 2'de ayçiçeği için rapor edilmiştir.



Şekil 2. Model düzeltmesi yapılmamış ayçiçeği kalıntıları. Model düzeltmesi olmadan ayçiçeği kalıntıları kullanılabilişliği: (a) model düzeltmesi olmadan ayçiçeği kalıntıları, $k = 1.96$; (b) model düzeltmesi ile ayçiçeği kalıntıları, $k = 1.96$.

3. Uygulanan Modelin Sonuçları

3.1. Kimyasal Bileşimler ve Genel Özellikler

Tablo 4 ve 5, biyokimyasal ve termokimyasal dönüşüm süreçleri göz önünde bulundurulduğunda biyoyakıt üretimi ile ilgili tarımsal kalıntı özelliklerini göstermektedir. Tarımsal kültürel kalıntılar yüksek karbon ve hidrojen içeriğine sahiptir. Bu durum, kojenerasyon için doğrudan yakılabilen veya biyoyakıtlara veya değerli kimyasallara (örneğin Fischer-Tropsch sentetik parafinik kerosen SPK) dönüştürülebilen sentetik gaz (örneğin sentez gazı) elde etmek için gazlaştırma işlemi için uygun hammaddeler oluşturur [27].

Tablo 4. Bazı mahsul kalıntılarının kimyasal bileşiminin nihai sonu (% kütle).

Mahsul Kalıntıları	Karbon (%)	Hidrojen (%)	Oksijen (%)	Azot (%)	Kükürt (%)	Klor (%)
Buğday [29,30]	45.5-46.7	5.1-6.3	34.1-41.2	0.4	0.1	-
Pirinç (kabukları) [30]	37.9-44.6	4.82-5.6	33.7-49.3	0.43	0.17	-
Arpa [31,32]	45	6.0	-	4.6	1.4	1.1
Mısır [33]	45.5	6.2	47.0	1.3	-	-
Yulaf [31,32]	48	6.3	-	5.9	1.1	0.06
Çavdar (kabuk) [34]	75.6	-	18.9	-	1.3	-
Soya fasulyesi [35]	61.2	9.0	13.1	10.8	<0.1	-

Biyokimyasal süreçlerle ilgili olarak, tarımsal artıklar nişasta, şeker ve selüloz açısından zengin oldukları için en ilginç yeniden kaynaktır. Selüloz, enzimatik veya asit hidrolizi yoluyla şekere dönüştürülerek ikinci nesil etanol üretilebilir [27]. Selüloz oranı en yüksek olan ürünler buğday, arpa, mısır ve pirinçtir (Tablo 5). Bununla birlikte, birçok hammadde lignin açısından zengindir ve kağıt bağlama, tıbbi bant, cerrahi tutkal ve tasarlanmış ahşap paneller gibi uygulamalar için yan ürün olarak ad- hesifler elde etmek üzere daha ileri işlemlere dahil edilebilirler [27]. Son olarak, otsu bitkilerin hemiselülozu esas olarak hidrotermal sıvılaştırma ile çözünürleştirilmiş monosakkaritlere (ksiloz) dönüştürülebilen ve sıvı yakıtlara, platform bileşiklerine ve furfural, D-ksilüloz, gliseraldehit, laktik asit vb. gibi değerli kimyasallara yükseltilebilen ksilan içerir. [36].

Tablo 5. Mahsul Kalıntılarındaki Selüloz, Hemiselüloz ve Lignin.

Mahsul Kalıntıları	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)
Buğday (Saman) [30]	30-39.2	26.1-50.0	15-21.1
Şeker pancarı [37]	20	25	1-8
Arpa (saman) [38]	31-45	27-38	14-19
Mısır (saman) [39]	42.6	21.3	8.2
Yulaf (saman) [40,41]	26.6	21.3	24.8
Pirinç, çeltik [42]	40.5	29	18.5
Çavdar [34]	26	16	13
Soya fasulyesi (kabuklu) [43]	33.49	17.15	9.88
Buğday (kepek) [41]	32.2	28.0	5.2

Ahşabın %49'u karbondan oluşmaktadır [44], bu da onu hem termal hem de termokimyasal süreçlerle ısı ve güç, ayrıca sıvı ve gaz yakıtlar üretmek için kullanılabilir kılmaktadır. Bununla birlikte, ahşabın türü ne olursa olsun, polisakkarit ak- sinebilirliğini ve ardından ticari açıdan önemli ürünlere dönüşümünü engelleyen inatçı bir molekül olan yüksek lignin değerleri vardır (Tablo 6). Bir biyoyakıt üretim sürecinde, ön işlem aşamasında ligninin uzaklaştırılması zorunludur [45].

Tablo 6. Orman Kalıntılarındaki Selüloz, Hemiselüloz ve Lignin [46].

Ormancılık Kalıntıları	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)
Parke	40-44	15-35	18-25
Yumuşak Ağaç	40-44	30-32	25-32

Atıklar için mevcut teknolojiler, Tablo 7 ve 8'de hatırlatılan atık özelliklerine göre biyokimyasal ve termokimyasal dönüşüm süreçleri sınıfına aittir. Yüksek karbonlu madde, ana ürünleri sırasıyla piroliz biyo-yağı, sentez gazı ve etanol olan piroliz ve gazlaştırma gibi termokimyasal süreçler için uygundur. Aksine, anaerobik sindirim gibi biyolojik dönüşüm süreçleri ana yakıt olarak biyogaz ve biyometan üretmektedir. Bununla birlikte, biyorafineri platformları çoğunlukla biyoyakıtlara ve kimyasallara da dayandığından, yüksek değerli kimyasallar atık kaynaklardan değerli ürünlerin geri kazanılması için ekonomik olarak uygulanabilir ve çevresel olarak sürdürülebilir bir çözümdür.

Bu bağlamda, ana kimyasallar yağlayıcılar, boyalar, mürekkepler, farmasötikler ve kişisel bakım ürünleri üretmektedir [27].

Bazı yeni nesil biyolojik dönüşüm süreçleri biyohidrojen üretmek için atıklara uygulanabilir. Bunlar karanlık ve foto-fermentasyon, doğrudan ve dolaylı biyo-fotoliz, mikrobiyal elektroliz hücreleri ve ayrıca ref'de bildirildiği gibi mikrobiyal elektro-hidrojenizasyon hücreleridir. [47].

Tablo 7. Çeşitli atıklarda Selüloz, Hemiselüloz ve Lignin içeriği [30].

Atık	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)
Kağıt	85-99	0	0-15
Gazete	40-55	25-40	18-30
Katı sığır gübresi	1.6-4.7	1.4-3.3	2.7-5.7
Kimyasal hamurlardan elde edilen atık kağıtlar	60-70	10-20	5-10

Tablo 8. Atıkların kimyasal bileşimi (% kütle).

Atık	Karbon (%)	Hidrojen (%)	Oksijen (%)	Azot (%)	Kükürt (%)	Klor (%)
Arıtma Çamuru (%) [48]	31	8.2	19.2	3.9	1.1	-
Kağıt (%) [49]	35.9	4.6	33.1	-	-	-
Bahçe Atıkları (%) [50]	26.8	3.3	22.5	0.56	0.06	0.10
Ahşap (%) [50]	46.0	5.9	41.3	0.20	0.03	0.04
Gübre (%) [51]	35.4	4.7	57.5	2.4	-	-

3.2. 2025'te Avrupa'da Kullanılabilirlik

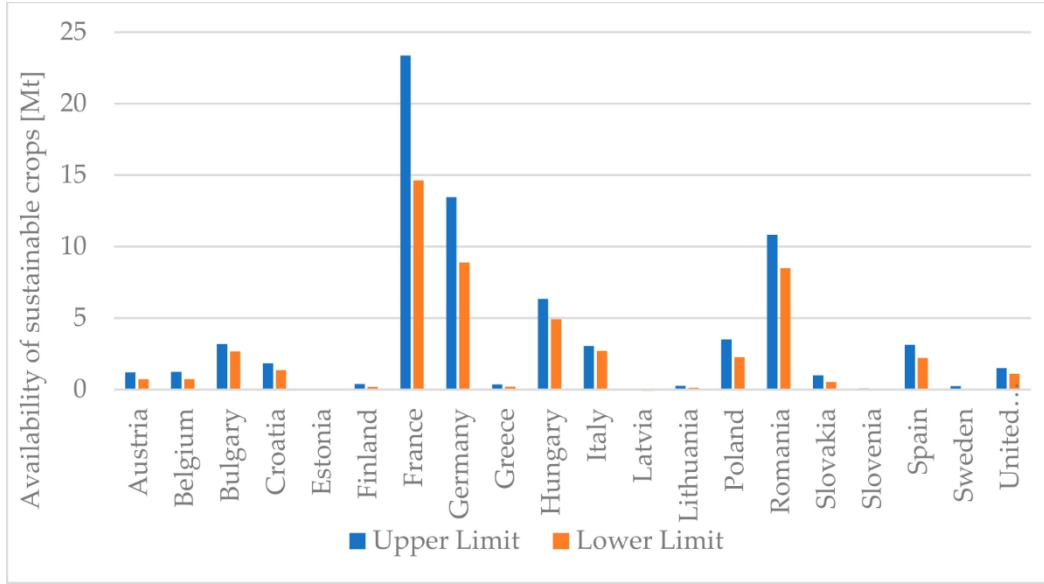
Her bir Avrupa ülkesi için tarımsal kalıntıların gelecekteki değerleri Şekil 3'te gösterilmektedir. Burada benimsenen eklemeli model, 2025 yılındaki tarımsal atık mevcudiyetinin üst ve alt sınırını belirlememizi sağlamıştır.

Fransa, Almanya ve Romanya, en büyük tarım sektörüne sahip oldukları için en yüksek tarımsal kalıntı üretimini göstermiştir. Genel olarak, gelişmiş biyoyakıt üretimi için mevcut kalıntıların oranı 10 ila yaklaşık 25 Mt (2025 tahmini) arasında değişmektedir. Pandemi göz önüne alındığında, düzeltilmiş değerler aynı yıl 8,8 ila yaklaşık 22 Mt arasında olabilir. Son yıllarda Romanya tarımsal üretim değerlerinde artış kaydetmiştir ve bu değerlerin 2038 yılına kadar Almanya'nın seviyesine ulaşana kadar artmaya devam edeceği varsayılmaktadır. [52]. Bu analizden, gelişmiş biyoyakıt sektörünün büyümesine yönelik olarak yerel veya dış ülkelerden finansal kaynakları harekete geçirmek için iyi fırsatlar olduğu sonucunu çıkarabiliriz.

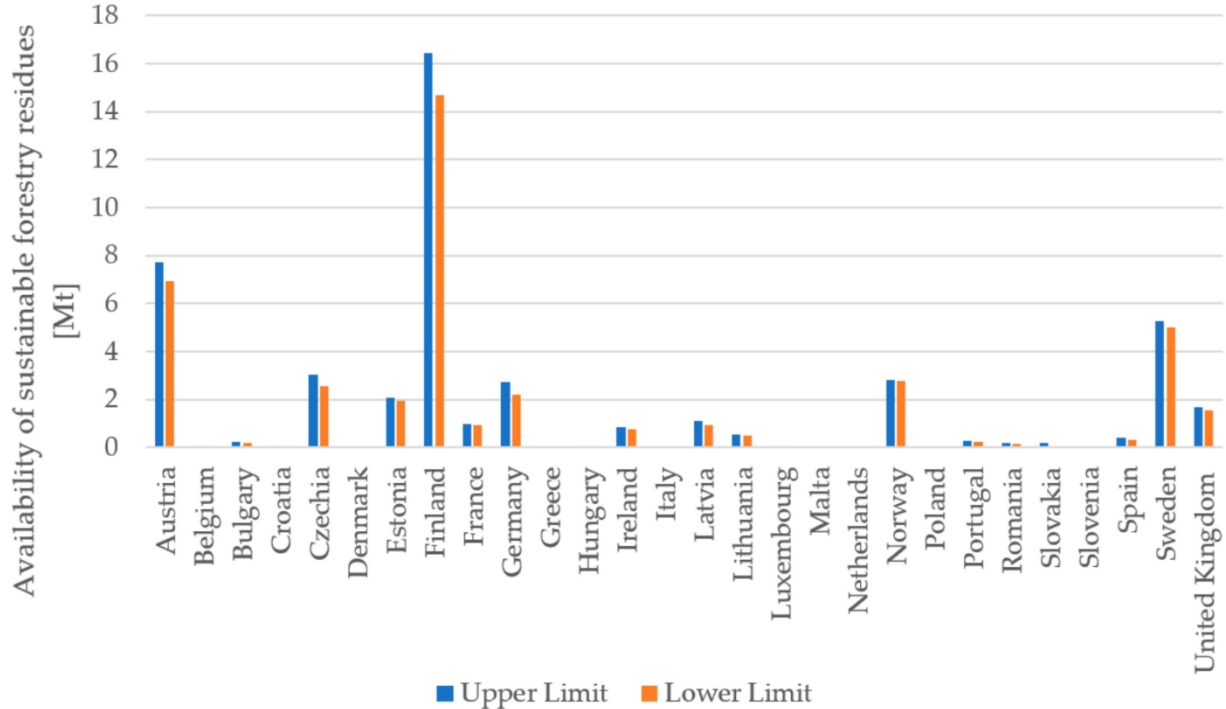
Sürdürülebilir mahsul üretiminin daha az olduğu diğer ülkeler, toplanabilir kalıntıları halihazırda kullanmaktadır veya önümüzdeki dönemde ilgili bir büyümeye tanık olma potansiyeline sahiptir.

Yenilenebilir Enerji Direktifi (RED II) hedeflerine [3] ulaşılmasına katkıda bulunmuştur (Macaristan, Polonya, İspanya ve İtalya gibi).

Finlandiya, Avusturya ve İsveç'te mevcut ormancılık artıkları çok yüksektir. Şekil 4'te bildirildiği üzere, beklenen üretim 2025 yılında 4 ila 16 Mt arasında değişmektedir. COVID-19 düzeltmesini uygularsak, tahmini kullanılabilirlik 3,5 ve 14 Mt.



Şekil 3. Tarımsal Kalıntıların 2025 yılında Avrupa'da yıllık milyon ton olarak bulunabilirliği.



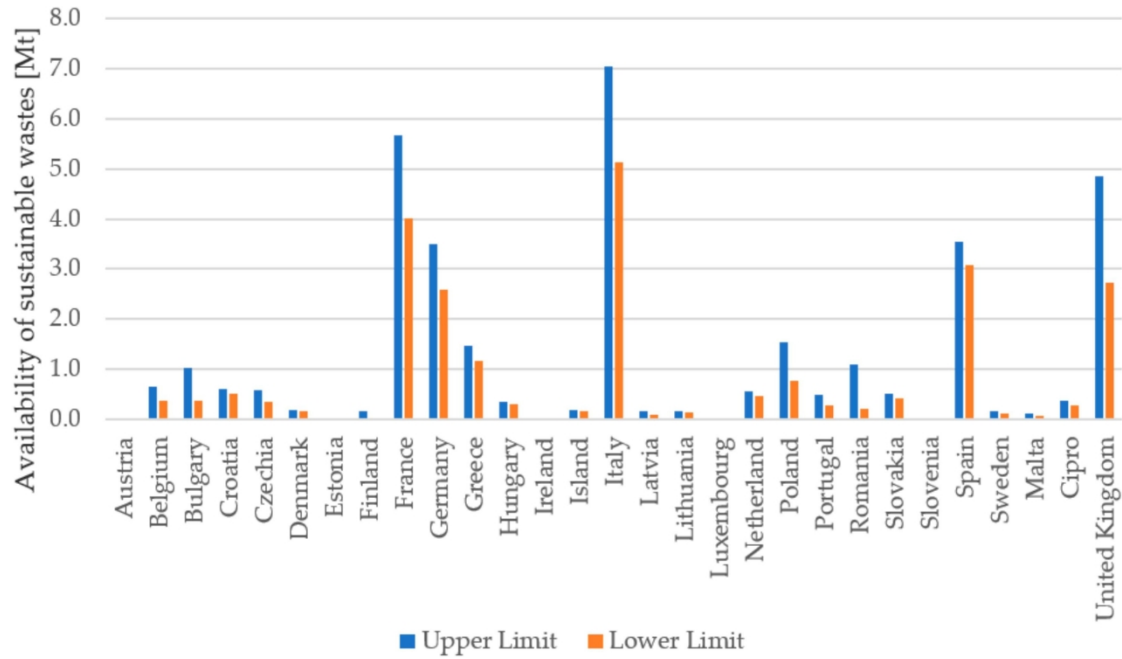
Şekil 4. Yıllık milyon ton olarak 2025 yılında Avrupa'daki Ormancılık Kalıntıları mevcudiyeti.

Avusturya ormancılık artıklarının kullanımında da uzun bir geleneğe sahiptir. Ülkenin %46'sı ormanlarla kaplı olup [53], toplam yüzölçümünün %55'i verimli orman arazisi olan İsveç [54] ve %70'i orman arazisi olan Finlandiya'dan [55] sonra Avrupa'nın en yoğun ormanlık ülkelerinden biridir.

Finlandiya ve İsveç, endüstriyel kullanım, enerji tedariki, ısı ve güç için büyük odun üretimini destekleyen geniş orman kaynaklarına sahiptir. Bu durum ekonomik büyümeye ve sosyal refaha yol açmaktadır [54,55]. Ancak, bu odunsu kalıntıların bir kısmı gelişmiş biyoyakıt üretimi için kullanılmaktadır. AB'nin 2030 iklim hedefleri üzerine yapılan son çalışmalar, Kuzey Avrupa'da emisyonları azaltmanın en uygun maliyetli yolunun, araç filosunda veya yakıt dağıtım sisteminde değişiklik gerektirmedikleri için gelişmiş biyoyakıtların üretimine ve alımına yatırım yapmak olduğu sonucuna varmıştır [56].

Şekil 5'te gösterildiği gibi, 2025 yılında 2 ila 7 Mt arasında değişen değerlerle İtalya, Fransa ve Birleşik Krallık gibi sürdürülebilir atıkların yüksek kullanılabilirliğine sahip olacak birçok Avrupa ülkesi vardır.

Kağıt ve karton, bitkisel ve odun atıkları gibi lignoselülozik malzemelerle karakterize edilen atıkların bu kısmı için, düzeltilmiş model 2025 yılında toplam kullanılabilirliklerinin yaklaşık 1-1.7 Mt olacağını göstermektedir. Ancak, herhangi bir düzeltme yapılmazsa bile, atıkların kullanılabilirliği bitkisel kalıntılardan önemli ölçüde daha düşüktür. Avrupa politikalarına göre, 2030 yılına kadar Avrupa'da atık üretiminin ve düzenli depolamanın azalması beklenmektedir. Bunlar arasında AB Atık Çerçeve Direktifi (2008/98/EC) [57], Düzenli Depolama Direktifi (1999/31/EC) [58] ve Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi (94/62/EC) [59] bulunmaktadır.



Şekil 5. Avrupa'da 2025 yılında yıllık milyon ton cinsinden atık mevcudiyeti.

Açıklık getirmek adına, 2025 yılında Avrupa menşeli hammaddelerin maksimum ve minimum bulunabilirliğine ilişkin sonuçlar, mevcut otoregresif modele göre Tablo 9'da özetlenmiştir:

Tablo 9. Covid-19 etkileri olmaksızın 2025 yılında Avrupa'daki hammadde mevcudiyetinin özeti.

Kategori	COVID-19 Düzeltmesi Olmadan		COVID-19 Düzeltmesi ile	
	Maksimum Kullanılabilirlik [Mt]	Min Kullanılabilirlik [Mt]	Maksimum Kullanılabilirlik [Mt]	Min Kullanılabilirlik [Mt]
Tarımsal kalıntılar	74	51	65	49
Ormancılık artıkları	46	41	41	36
Atıklar	35	24	31	21

3.3. Başlıca Avrupa Tesisleri

3.3.1. Tarımsal Kalıntılar

Ulaşım sektörü için tarımsal artıklardan gelişmiş sıvı ve gaz biyoyakıtlar üretebilen en ilgili teknolojiler, [60] adresinde bulunan ve tarımsal artıkları işleyen başlıca Avrupa sanayi tesislerini tanımlamanın mümkün olduğu açık bir veri tabanında açıklanmaktadır (Tablo 10).

Şekil 3'te gösterildiği gibi, Fransa, Almanya ve Romanya'da büyük miktarda ürün artığı bulunmaktadır. Sonuç olarak, bu ülkelerde iyi geliştirilmiş teknolojilere sahip birkaç tesis bulunmaktadır. Fransa'da faaliyette olan IFP tesisi (Futurol projesi), 11 proje ortağının (ARD, IFP Energies nouvelles, INRA, Lesaffre, Office national des forêts, Tereos, Total, Vivescia, Crédit Agricole Nord Est, CGB, Unigrains) desteğiyle bitki kaynağından yakıt tankına kadar tüm süreci kapsayan ikinci nesil etanol (veya selülozik etanol) üretmektedir [61]. 29,9 milyonu devlet finansmanı olmak üzere 76,4 milyon avroluk bir bütçe ile (Bpifrance), IFP gelişmiş biyoyakıt üretimine yatırım yaptı, çünkü tarımsal faaliyetlerin sürdürülmesi için makul fiyatlarla geniş çapta kullanılabilir kalıntılarından yararlanan bir çözüm oluşturuyor.

Almanya'da halihazırda iki operasyonel tesis bulunmaktadır: Global Bioenergies ve Clariant. Global Bioenergies tesisinde, saman hidrolizatlarının fermantasyonu biyo-izobüten üretimine yol açmaktadır [62]. İzobüten, diğer kimyasal işlemlerle izooktan yakıtın yanı sıra oligomerlere ve polimerlere dönüştürülebilir [62]. Clariant tesisinde (Sunliquid projesi), tarımsal kalıntıları biyoyakıtla dönüştürmek için yenilikçi bir süreç kullanılmaktadır. Tesis, selüloz ve hemiselülozu etanole dönüştürmek için optimize edilmiş enzimler kullanmaktadır. Clariant 2012'den bu yana her yıl 1000 metrik tona kadar selülozik etanol üretmektedir [63] ve 2018'de aynı şirket Romanya'da yıllık 50.000 ton selülozik etanol üretim kapasitesine sahip türünün ilk örneği olan ticari ölçekli selülozik etanol üretim tesisinin temelini atmıştır. Clariant, Avrupa Birliği'nden 40 milyon Euro'dan fazla fon alarak ilk tesisine 100 milyon Euro'dan fazla yatırım yapıyor [64].

Tablo 10. Tarımsal artıklardan Tarımsal artıklardan ileri biyoyakıt üretimi için Avrupa'da faaliyet gösteren tesisler [43,60].

Sahibi	İsim	Konum
IFP	Futurol	Fransa
Clariant	Sunliquid	Almanya
Küresel Biyoenerjiler	İzobüten demosu	
Clariant	Clariant Romanya	Romanya

3.3.2. Ormancılık Kalıntıları

Tesislere ilişkin veri tabanına göre [60], yukarıda belirtilen Avrupa Ülkelerinde ormancılık kalıntıları ve lignoselülozik malzemeleri gelişmiş biyoyakıtlara dönüştürebilen birçok operasyonel tesis bulunmaktadır. Bunlar Tablo 11'de özetlenmiştir.

Kalıntıların en fazla bulunduğu ülke olan Finlandiya'da, faaliyette olan birkaç tesis bulunmaktadır. Chempolis Ltd. biyoetanol üretimi için ileri bir teknoloji (formico 3G biyorafineri [65]) geliştirmiştir. Fortum, 2012 yılında ilk endüstriyel ölçekli entegre biyo-yağ tesisini kurmak için € 20 M yatırım yapmıştır [66]. Talaş ve orman artıklarından 100 tondan fazla biyo-yağ üretilmiş ve Fortum'un 1,5 MW'lık bölgesel ısıtma tesisinde 40 tondan fazla biyo-yağ yakılmıştır [67]. Green Fuel Nordic, gelişmiş bir biyo-yağ üretiminde yenilikçi piroliz teknolojisini temel almıştır. Rafinerinin yıllık üretim kapasitesi 24.000 ton biyo-yağdır [68]. St1, yumuşak ağaç için optimize edilmiş St1 Cellunolix süreci ile € 40 M yatırım maliyeti ile yaklaşık 10 milyon litre gelişmiş biyoetanol üretmektedir [69]. VTT Teknik Araştırma Merkezi

artık biyokütleleri gazlaştırma yoluyla nakliye yakıtları, kimyasallar ve ısının birleşik üretimi için kullanmaktadır [70].

Tablo 11. Ormancılık artıklarından ileri biyoyakıt üretimi için Avrupa'da faaliyet gösteren tesisler.

Sahibi	İsim	Konum
Chempolis Ltd.	Chempolis Biyoyakıt Tesisi	Finlandiya
Fortum	Joensuu demosu	
Yeşil Yakıt Nordic	Yeşil Yakıt Nordic	
St1	Cellunolix Kajaani	
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.	Çift akışkan yataklı buhar gazlaştırma pilot tesisi	
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.	Sentez gazı üretimi için basınçlı FB	
AustroCel Hallein	Biyorafineri	İsveç
	Avusturya RenFuel	
	RenFuel Backhammer	
SEKAB	Biyorafineri Demo Tesisi	
Sodra	Sodra biyometanol	
SunPine	SunPine HVO 100 milyon litre	

2019 yılında Avusturyalı AustroCel Hallein, yılda 30 milyon litre biyoetanol üretebilecek yeni bir tesisin inşaatına başladı. Şirket ayrıca entegre petrol ve gaz devi OMV AG ile benzinle harmanlanmak üzere gelişmiş etanol tedariki için çok yıllık bir anlaşma imzaladı [71].

İsveç'te RenFuel şirketi, İsveçli kağıt hamuru üreticisi Rottneros ve yakıt şirketi Preem ile basınçsız bir reaktörde ve kaynama noktasının altındaki bir sıcaklıkta biyolojik katalizörlerle lignin bakımından zengin hammaddelerden gelişmiş biyoyakıt (Lignol) üretmek için bir anlaşma imzalamıştır. Katalitik süreç RenFuel tarafından patentlenmiş ve korunmaktadır [72]. Sekab E-Technology tarafından geliştirilen süreç temel olarak dört adımdan oluşmaktadır: 200 derecede asit ve buhar ile ön işlem; selülozu şekere parçalamak için enzimatik hidroliz; fermantasyon ve yeniden işleme. Nihai ürünler biyoetanol, biyogaz ve kimyasallardır (lignin) [73]. Sodra, odun hammaddesinden yılda 5250 ton biyoetanol üretmektedir. Üretim, fabrikasında sülfat hamuru işlemiyle başlamaktadır. Odun yongaları, odunu bileşenlerine, yani selüloz, hemiselüloz (kağıt hamuru) ve lignine ayırmak için kimyasallarla pişirilir. Odun ve kimyasallar reaksiyona girdiğinde metanol oluşur. Pişirmeden sonra kimyasallar, lignin ve diğer kalıntılar kağıt hamurundan yıkanır. Bunlar siyah likör oluşturur ve daha sonra buharlaştırma yoluyla su içeriği azaltılır. Geriye metanol, terebentin ve sülfür bileşiklerinden oluşan bir kondensat kalır. Tüm süreç patentlidir ve şirket her ton kağıt hamuru için 10 kg biyometanol üretebilmektedir [74]. Son olarak, 2019 yılında SunPine 95 milyon litre uzun dizel üretti ve 150 milyon litre üretim hacmine ulaşmak için yeni yatırımlar yapıyor. Üretilen dizel daha sonra Preem'e satılarak dünyanın tek Nordic Swan eko-etikelli dizeline dönüştürülüyor [75].

3.3.3. Atıklar

[60]'a göre, İtalya ve Fransa en yüksek atık mevcudiyetine sahip Avrupa ülkeleri olmalarına rağmen, tesisleri henüz gelişmemiş veya faaliyete geçmemiştir. Bu nedenle, Tablo 12'de Avrupa'da faaliyette olan tesisler özetlenmiştir. Finlandiya'daki St1, mevcut dağıtım ağlarında en çok kullanılan biyoyakıt olan etanol üretimine odaklanmıştır. Ayrıca St1, hammaddenin kalitesine bağlı olarak yan ürün olarak yem, enerji veya ısı üretmektedir [76]. St1, 2019 yılında İsveç'te yeni bir biyorafineriye yaklaşık 200 milyon€ yatırım yapmıştır

2022'ye kadar çok çeşitli hammaddelerin [77] işlenmesini hedeflemektedir. Ana yakıtlar HVO dizel, jet yakıtı ve nafta olacaktır.

Tablo 12. Atıklardan ileri biyoyakıt üretimi için Atıklardan ileri biyoyakıt üretimi için Avrupa'da faaliyet gösteren tesisler [43,60].

Sahibi	İsim	Konum
Stl	Bionolix Hameenlinna	Finlandiya
Stl	Etanolix Jokioinen	
Stl	Etanolix Vantaa	
Stl	Etanolix Lahti	
Stl	Etanolix Hamina	
Domsjo Fabriker	Domsjo Fabriker Stl	İsveç
	Etanolix Göteborg	
Gelişmiş Biyoyakıt Çözümleri Ltd. (ABSL)	Swindon Gelişmiş Biyoyakıt Tesisi	BİRLEŞİK KRALLIK
Advanced Plasma Power Ltd.	BioSNG pilot tesisi	
Solena Yakıtları	Solena İngiltere	

Domsjö Fabriker, ormancılık atıklarından biyoetanol, biyoDME ve biyometanol [78,79] gibi yenilenebilir yakıtlar üreten bir biyorafineridir. Artık ürünlerin geri kalanı ısı üretmek için kullanılmakta ve böylece daha fazla enerji geri kazanımı sağlanmaktadır [78]. İkinci nesil biyoetanol üretimi SEKAB'a teslim edilmekte ve SEKAB da bunu rafine ederek araba yakıtına dönüştürmektedir.

Advanced Biofuels Solutions Ltd. (ABSL), atık ve biyokütle kalıntılarının güvenilir, yüksek verimli bir şekilde temiz bir sentez gazına dönüştürülmesini sağlayan RadGas teknolojisinin lisans sahibidir. Özellikle sentez gazı hidrojen, biyoSNG, propan, metan, dimetil eter, kerosen veya dizel gibi yakıtlara dönüştürülmeye uygundur [80].

Advanced Plasma Power (APP), on bir yıldır faaliyet gösteren İngiltere merkezli bir sürdürülebilir enerji şirkettir. Bu süre zarfında, belediye ve ticari atıkları gelişmiş biyoyakıtlara ve elektriğe dönüştürmek için Gasplasma çözümünü geliştirmiş ve teknolojisine dayalı birkaç tesisin proje geliştirmesine öncülük etmiştir [81].

Solena Fuels Corporation, British Airways tarafından piyasada rekabetçi fiyatlarla satın alınan sürdürülebilir %100 jet yakıtı üretmeye bir adım daha yaklaştı. Projenin amacı, atıkları sentez gazına ve ardından sıvı biyoyakıtı dönüştüren gazlaştırma sürecini sağlamaktır (Sıvılara Entegre Biyokütle Gazlaştırma (IBGTL)) [82].

4. İleri Biyoyakıt Üretimi için Teknolojik Olgunluk Seviyesi

Gelişmiş biyoyakıtlar, [83]'te açıkça belirtildiği gibi, onlarca yıldır fosil yakıtlara yeşil bir alternatif olarak kabul edilmektedir. Ancak, endüstriyel teknolojiler biyoekonomik değer zincirinde kritik bir noktadır. Aslında, bu biyoyakıtların ticari bir gerçeklik haline gelmesine yardımcı olacak tezgah ölçeği ile daha yüksek üretim oranları arasında hala bir boşluk vardır.

Resmi tamamlamak için termal, termokimyasal, biyokimyasal ve kimyasal dönüşüm süreçlerinin gelişimini incelemek üzere teknoloji hazırlık seviyesi (TRL) kullanılmıştır. Son üçü ulaşım biyoyakıtları üretmek için en yaygın ve en sıkı kullanılanlardır. Açıklık getirmek amacıyla, TRL'nin tanımı aşağıdaki Tablo 13'te özetlenmiştir. Kimyasal dönüşüm süreçleri

arasında, Hidro-İşlem Görmüş Bitkisel

Yağlar (HVO) veya Hidroproseslenmiş Esterler ve Yağ Asitleri (HEFA), Transesterifikasyon ve Biyo-Türevli sentetik parafinik kerosen (Bio-SPK). Tüm bunlar tamamen gelişmiş teknolojiler olmakla övünebilir veya neredeyse öyledir ve sırasıyla ulaşım ve havacılık sektörü için kullanılan biyodizel yakıt aralığı veya sentetik gazyağı elde etmek için bitkisel veya alg yağlarını ve hayvansal yağları işleyebilir. Ref'de açıklandığı gibi, [84]'te açıklandığı üzere, HVO olgun bir teknolojidir ve petrol mahsullerini fosil akışlarla birlikte işlemek için mevcut bazı petrol rafinerilerine zaten entegre edilmiştir. Aynı nedenlerle, ref. [85] hem HVO hem de HEFA için TRL değerini 9 olarak belirlemiştir.

teknolojileri. Transesterifikasyon da rekabetçi ve şu anda faaliyette olan bir teknolojidir. Ancak, algal yağlar hammadde olarak kullanıldığında, ref. [86] transesterifikasyon yoluyla dönüşümlerinin TRL 2 ila 4-5 arasında bir aralıkta yer aldığını göstermektedir. Aslına bakılırsa, henüz gelişmiş endüstriyel tesisler yoktur, sadece ileri test laboratuvarları vardır. Bio-SPK küresel havacılık endüstrisi için umut verici yeni bir çözümdür, çünkü yeşil jet yakıtı olarak adlandırılan ana ürünü jet yakıtı ile aynı özelliklere sahiptir [87]. Ref'den de görüldüğü gibi [27]'de görüldüğü üzere, Bio-SPK ticari üretim için değerlendirme aşamasındadır (TRL 8).

Tablo 13. Teknolojik Hazırlık Teknolojik Hazırlık Seviyesi (TRL) ölçeği [83].

TRL	Tanım	Açıklama
0	Fikir	Kanıtlanmamış konsept, test yapılmamıştır
1	(Temel) (araştırma)	Varsayılan ve gözlemlenen ancak deneysel kanıtı bulunmayan ilkeler
2	Teknoloji formülasyonu	Kavram ve uygulama formüle edilmiştir
3	Uygulamalı Araştırma	İlk laboratuvar testleri tamamlandı; kavram kanıtı
4	Küçük ölçekli prototip	Laboratuvar ortamında üretilmiştir
5	Büyük ölçekli prototip	Amaçlanan ortamda test edilmiştir
6	(Prototip) (sistem)	Beklenen performansa yakın olarak amaçlanan ortamda test edilmiştir
7	(Gösteri) (sistem)	Operasyonel ortamda faaliyet gösteren ticari öncesi ölçek
8	Türünün ilk örneği ticari sistem	Üretim sorunları çözüldü
9	Ticarileştirmeye hazır	Tüketiciler için mevcut teknoloji

Biyokimyasal dönüşüm süreçleri sınıfında en olgun teknolojiler alkol fermantasyonu, anaerobik sindirim ve sentez gazı fermantasyonudur. Alkol fermantasyonu, tarımsal ürünlerden elde edilen şeker ve nişastaları dönüştürerek benzinli motorlarda kullanılan geleneksel veya birinci nesil etanol üretir. Lignoselülozik kalıntılar da gelişmiş (veya ikinci nesil veya selülozik) etanol üretmek için kullanılabilir. Farklı hammaddelere göre TRL değerlendirmesinde bir değişiklik söz konusudur. Aslında, ref. [85] iki biyoyakıtı, geleneksel ve selülozik (veya gelişmiş) etanolü, sırasıyla TRL 9 ve 7 olarak nitelendirerek birbirinden ayırmaktadır. Genel olarak, TRL 7 teknolojileri, gelişmiş etanol üretimi için olduğu gibi, gösteri girişimleri içindir ve tamamen ticari değildir. Anaerobik çürütme, TRL 9 ile esas olarak biyometan elde etmek için yaygın olarak kullanılan bir süreçtir. Yüksek teknolojik olgunluğu, organik atık fraksiyonu, endüstriyel atıklar, kanalizasyon ve gübre çamuru, enerji bitkileri ve mahsul kalıntıları gibi çok çeşitli mevcut hammaddeler üzerinde kanıtlanmış bir kullanımdan kaynaklanmaktadır [84]. Sentez Gazı Fermantasyonu, etanol üretmek için yenilikçi bir süreçtir. Bu nedenle, olgunluk seviyesini artırmak için daha fazla teknolojik iyileştirmeye ihtiyaç vardır. Bu, ref'de belirtildiği gibi TRL değerinin 6-7 ile sınırlı olmasını haklı çıkarmaktadır. [88]. Fischer-Tropsch sentezi (FTS) ve Fischer-Tropsch sentetik parafinik kerosen (FT-SPK) de tanıtılmaya değerdir. Bu biyokimyasal teknolojilerin her ikisi de termokimyasal yola entegre edilerek sırasıyla sentez gazının damla yakıt ve yeşil jet yakıtına dönüştürülmesi amaçlanabilir. Son yıllarda, Fischer-Tropsch süreçleri daha yüksek bir olgunluğa ulaşmıştır. FTS TRL 5-9 arasında değişirken [27], FT-SPK'ya 6-8 TRL atfedilmektedir [89].

Son olarak, termokimyasal dönüşüm açısından, yaygın olarak kullanılan iki süreç vardır: termal gazlaştırma ve piroliz. Gazlaştırma sırasında, vurgulanan tüm kategorilerdeki atıklardan, ormancılık ve tarımsal artıklardan hem gaz hem de sıvı yakıtlar üretilebilir. Gaz haline getirilmiş biyometan ve sentetik doğal gaz (SNG), teknolojisi TRL 6'ya eşit olan lignoselülozlardan elde edilen sıvı yakıttan daha yüksek olan TRL 7 ile gazlaştırma yoluyla elde edilir. Benzer şekilde piroliz de TRL 6 ile endüstriyel olarak ilgili bir ortamda gösterilmiş bir teknolojidir. Söz konusu TRL analizine genel bir bakış Tablo 14'te raporlanmıştır.

Tablo 14. Bahsedilen her bir teknoloji için teknolojik hazırlık seviyesinin (TRL) değerlendirilmesi.

Mevcut Teknoloji	TRL	Durum
HVO veya HEFA [85]	9	Ticari
Anaerobik Çürütme [85]	9	Ticari
Geleneksel etanol için fermantasyon [85]	9	Ticari
Selülozik etanol için fermantasyon [85]	7	Gösteri
Sentez Gazı Fermantasyonu [88]	6-7	Gösteri
Biyometan için termal gazlaştırma [85]	7	Gösteri
Biyokütlenin sıvıya dönüştürülmesi için termal gazlaştırma (BTL) [85]	6	Gösteri
Piroliz [85]	6	Gösteri
Bitkisel yağdan transesterifikasyon [90]	9	Algal yağdan
ticari transesterifikasyon [86]	2'den 4-5'e kadar	Araştırma-Pilot
FTS [91]	5-9	Pilot-Ticari
(FT-SPK I) (89) (I)	6-8	Demonstrasyon - Türünün ilk örneği ticari
Bio-SPK [27]	8	Türünün ilk örneği reklam

5. Teknoloji Sıralaması için Bir Öneri

Gelişmiş biyoyakıtlar üretmek için yukarıda bahsedilen teknolojilerin durumu ve güvenilirliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Burada, en umut verici gelişmiş biyoyakıtları seçmeyi amaçlayan kapsamlı bir sıralama elde etmek ve bunları değerlendirmek için bunlardan bazıları ele alınmaktadır. Bu çalışmada beş öge dikkate alınmıştır: süreç olgunluğu, drop-in yakıt kalitesi, hammaddeler ve biyoyakıt üretim maliyeti ve son olarak mevcut analize göre 2025 yılında hammaddelerin bulunabilirliği. Tüm bu parametreler, gelişmiş biyoyakıtların pazar gelişiminde satın alınabilirliğini belirlemekten sorumlu oldukları için sıralama sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Sıralama, Tablo 15'te gösterildiği gibi, 1'in zayıf, 2'nin orta-iyi ve 3'ün çok iyi niteliksel düzey olduğu varsayılarak, bu öğelerin her biri için 1 ile 3 arasında değişmektedir.

Tablo 15. Sıvı biyoyakıtlar için biyoyakıt kalite seviyesi.

Sıvı Biyoyakıt	Süreç Olgunluk	Drop-in Yakıt	Hammadde Maliyet	Biyoyakıtlar Üretim Maliyeti	2025 Hammaddeler Kullanılabilirlik	Sum
Birinci nesil biyoetanol	3	1	3	3	1	11
Birinci nesil biyodizel	3	2	2	2	2	11
Piroliz biyo-yakıt	2	1	3	1	3	10
İkinci nesil biyodizel	2	2	2	1	2	9
Yenilenebilir dizel (veya yeşil dizel)	3	3	2	1	2	11
Yeşil jet yakıtı	2	3	1	1	2	9
İkinci nesil biyoetanol	2	1	3	1	3	10
Üçüncü nesil biyodizel	1	2	2	1	1	7
Damla biyoyakıt	1	3	2	1	1	8

Süreç olgunluğu TRL tarafından iyi bir şekilde temsil edilmektedir. Daha düşük bir süreç olgunluğu daha fazla sayıda geliştirme adımı gerektirmekte, dolayısıyla teknolojik tedarik zincirini karmaşık ve pahalı hale getirmektedir. Bu nedenle, ilgili teknolojilerin TRL'si 8 veya 9 ise, 3 değeri atanır, TRL 6 ile 7 arasındaysa, sıralama 2 olur ve son olarak, 4-5'ten düşük tüm TRL'ler için sıralama 1 olur.

Sıvı bir biyoyakıt damla damla kullanıldığında, ref'de bildirildiği gibi, mevcut petrol altyapılarıyla tamamen uyumlu olduğu için bir katma değer olarak kabul edilir. [92]. Bu sıralamada, eğer yakıt drop-in ise, sıralama maksimum olacaktır (yani, 3). Yarı damacana yakıt ise sıralama 2, aksi takdirde 1 olacaktır.

Hammadde ve üretim maliyetleri, mevcut ve gelecekteki pazarda gelişmiş biyoyakıtların artan talebini karşılamaları gerektiğinden nihai biyoyakıt sıralamasını güçlü bir şekilde etkilemektedir. Hammadde maliyeti 34 EUR/MWh'den düşük olduğunda sıralama 3, yüksek olduğunda ise

34 ile 60 EUR/MWh arasında ise değer 2'dir ve 60 EUR/MWh'den büyük tüm hammadde maliyetleri için sıra 1'dir. Benzer şekilde, üretim maliyeti 85 EUR/MWh'den düşükse sıra 3, 85 ile 94 EUR/MWh arasında ise sıra 2 ve 94 EUR/MWh'den büyükse sıra 1'dir. Bu ayrım ref. [84].

Son olarak, hammadde mevcudiyeti de atıklardan, tarım ve ormancılık kalıntılarından biyoekonominin ekolojik sınırlarını anlamaya ve ölçmeye yardımcı olabilir. Yakıtın tamamı lignoselülozik kaynaklar olan mahsul veya ormancılık kalıntılarından geliyorsa, sıralama 3, atıklardan gelen yağ ile elde ediliyorsa, sıralama 2 olacaktır, aksi takdirde bitkisel veya alg yağlarından elde edilen tüm yakıtlar (kullanılabilirlik analizi bu makalede rapor edilmemiştir) minimum sıralama, yani 1 ile değerlendirilecektir.

Tablo 15, en yüksek puanlara sahip ikinci nesil biyoyakıtların biyodizel yakıtlar olduğunu göstermektedir.

Daha önce Tablo 14'te gösterildiği gibi, en yüksek TRL'ye sahip teknolojiler geleneksel etanol için fermantasyon, HVO/HEFA, biyogaz için anaerobik sindirim ve biyodizel için bitkisel yağlardan transesterifikasyondur. Ancak, tüm teknolojiler olgunlaşmış olsa da, sadece son dördü ileri biyoyakıt üretimi için önemlidir. Bu teknolojilere referansla, hammadde ve üretim maliyetleri (ref. [84]'te bildirildiği üzere), biyogaz üretimi için en düşük maliyetleri ve biyoyakıt olarak kabul edilen alternatifler için karşılaştırılabilir değerleri gösteren aşağıdaki Tablo 16'da ortalama olarak özetlenmiştir.

Tablo 16. Ref. göre en yüksek TRL'ye sahip teknolojiler için hammaddeler ve üretim maliyetleri. [84].

TRL 9 Teknolojileri (Maliyet)	(Hammadde) [EUR/MWh]	Üretim Maliyeti [EUR/MWh]	Toplam [EUR/MWh]
HVO veya HEFA	50	78	128
Anaerobik Çürütme	18.5	80	98.5
Bitkisel yağdan transesterifikasyon	60	95	155

6. Sonuçlar

Bu çalışma, 2025 yılına kadar çevresel etki ve diğer mevcut rekabetçi kullanımlarla ilgili hususları ihmal etmeden gelişmiş biyoyakıt üretmek için sürdürülebilir bir şekilde kullanılacak atık, tarımsal ve ormancılık kalıntılarının miktarını tahmin etmektedir.

Tarım ve ormancılık sektöründen elde edilen kalıntılar 2025 yılında Avrupa'da en bol bulunanlar olacaktır, çünkü atıklar daha önce gösterildiği gibi Avrupa politikaları tarafından sınırlandırılmalıdır ve Avrupa ulaşım sektöründe enerji kaynağı olarak kullanılan çeşitli gelişmiş biyoyakıt türleri için en umut verici hammaddeler olarak kabul edilmektedir. Ref. tarafından önerildiği gibi [93] tarafından önerildiği üzere, tarım sektöründen elde edilen biyokütle potansiyeli, mevcut tarım arazisi miktarı veya ekili ürünlerin yapısı gibi bazı değişiklikler nedeniyle zaman içinde sabit bir değer olarak kabul edilemez. Bununla birlikte, 2025 yılına kadar, hem tahmini zaman aralığının küçüklüğü hem de biyoçeşitlilik ve çevre ile ilgili tüm hususların dikkate alınması nedeniyle mevcut sonuçlara göre büyük farklılıklar olmayacağı akla yatkındır.

Pandemi acil durumuna rağmen, gelişmiş biyoyakıt talebinin önümüzdeki on yıllar boyunca artmaya devam etmesi ve büyük ölçüde mevcut ve gelecekteki teknolojilere dayanması beklenmektedir. Farklı teknolojilerin mevcut sıralamasına göre, olgunluk seviyeleri (TRL 9'a eşit) ve optimize edilmiş maliyetleri sayesinde HVO veya HEFA en çok kullanılanlardır. Bununla birlikte, teknolojik gelişmelerin daha da yüksek verimliliğe sahip biyoyakıtlar üretmesi beklenmektedir. Bu bağlamda, daha düşük TRL'ye sahip umut verici teknolojiler, mevcut makalede ortaya çıktığı gibi, tarımsal ve ormancılık kalıntılarının yüksek değerleri nedeniyle selülozik etanol ve sentez gazı fermantasyonu için fermantasyondur. Birinci nesil biyoyakıtlar Tablo 15'teki metrikler arasında en yaygın tercih olmaya devam etse de, yenilenebilir (veya yeşil) dizel ulaştırma sektöründeki farklı uygulamalar için umut vaat etmektedir. Bu yakıtı, aşağıdaki alanlarda uygulanan yeşil jet yakıtı takip etmektedir

havacılık sektörü ve teknolojik çabaları hala zorlu olan ikinci nesil biyoetanol (veya selülozik etanol).

Yeni biyorafineriler inşa ederek, ikincil biyokütlelere dayalı biyo-bazlı değer zinciri Avrupa'da kurulacak ve başarılı bir döngüsel ekonomi yaklaşımı için somut bir örnek oluşturacaktır. Bu tesisler, dünya çapında gelişmiş biyoyakıt üretiminin geniş ölçekte uygulanması ve Avrupa ulaşım sektöründe daha sürdürülebilir bir enerji arzı için temel oluşturmaktadır.

Bu kritik mali durumda, biyorafinerilerin desteklenmesi, istihdamın korunması ve yaratılması ve hizmetlerin bozulmasının önlenmesi için elzemdir. Bu, döngüsel ekonominin gerçek potansiyelini gerçekleştirmek ve kalıntı ve atık yönetimi ile alternatif enerji üretimi konularındaki endişeleri gidermek için vazgeçilmezdir.

Yazar Katkıları: Kavramsallaştırma, F.D.G. ve D.B.; metodoloji, F.D.G. ve D.B.; yazılım, F.D.G. ve D.B.; doğrulama, F.D.G. ve D.B.; resmi analiz, F.D.G. ve D.B.; araştırma, F.D.G. ve D.B.; kaynaklar, F.D.G. ve D.B.; veri küratörlüğü, F.D.G. ve D.B.; yazı-orijinal taslak hazırlama, F.D.G. ve D.B.; yazım-inceleme ve düzenleme, F.D.G. ve D.B.; görselleştirme, F.D.G. ve D.B.; denetim, F.D.G. ve D.B.; proje yönetimi, F.D.G. ve D.B.; fon temini, F.D.G. ve D.B. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman: APC, Roma Sapienza Üniversitesi tarafından finanse edilmiştir.

Kurumsal İnceleme Kurulu Beyanı: Geçerli değil.

Bilgilendirilmiş Onam Beyanı: Geçerli değil.

Veri Kullanılabilirlik Beyanı: FAOSTAT veritabanları, EUROSTAT veritabanları.

Çıkar Çatışmaları: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Referanslar

1. Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Kullanımının Teşvik Edilmesi ve 2001/77/EC ve 2003/30/EC sayılı Direktiflerin Değiştirilmesi ve Sonradan Yürürlükten Kaldırılmasına ilişkin 23 Nisan 2009 tarihli ve 2009/28/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN> (10 Ocak 2020 tarihinde erişilmiştir).
2. Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (10 Ocak 2020 tarihinde erişilmiştir).
3. Yenilenebilir Enerji Direktifi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2018:328:TOC> (11 Mart 2020 tarihinde erişilmiştir).
4. Caetano, N.S.; Borrego, C.; Nunes, M.I.; Felgueiras, C. ICEER2019@Aveiro: Enerji ve çevre - döngüsel ekonomiye yönelik zorluklar. *Energy Rep.* **2020**, *6*, 1-14. [CrossRef]
5. Caetano, N.S.; Felgueiras, C.; Salvini, C.; Giovannelli, A. ICEER2020-Driving Energy and Environment in 2020 towards A Sustainable Future. *Energy Rep.* **2020**, *6*, 1-10.
6. Doumax-Tagliavini, V.; Sarasa, C. Biyoyakıtları ve teknolojik değişimi destekleyen politikalara bakış: Fransa'dan kanıtlar. *Yenileyin. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **2018**, *94*, 430-439. [CrossRef]
7. Horizon 2020. Available online: https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/horizon2020/files/H2020_inBrief_EN_FinalBAT.pdf (15 Nisan 2020 tarihinde erişilmiştir).
8. Lin, C.Y.; Lu, C. İleri nesil biyoyakıtların üretimi için umut verici lignoselüloz hammaddelerinin gelişim perspektifleri: Bir inceleme. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **2021**, *136*, 110445. [CrossRef]
9. Irena, Havacılık için Biyoyakıtlar Teknoloji Özeti. 2017. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_Biofuels_for_Aviation_2017.pdf (19 Mayıs 2020 tarihinde erişilmiştir).
10. Horizon 2020-Çalışma Programı 2014-2015, Genel Ekler. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf (31 Mayıs 2021 tarihinde erişilmiştir).
11. EUROSTAT. Çevre ve Enerji, Çevre, Atık, Atıkların İşlenmesi-Bertarafı Düzenli Depolama ve Diğer (2016 Veri Güncellemesi). Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wastrt&lang=en (15 Ekim 2020 tarihinde erişilmiştir).
12. FAOSTAT. CROPS, Üretim Miktarı (2014 ve 2018 Yılları Arasında Ortalama Olarak Hesaplanan Veriler). Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (6 Nisan 2020 tarihinde erişilmiştir).
13. FAOSTAT. Ormancılık Üretimi ve Ticareti, Üretim Miktarı, iğne yapraklı, iğne yapraklı olmayan (Veriler 2014 ve 2018 Arasında Ortalama Olarak Hesaplanmıştır). Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (6 Nisan 2021 tarihinde erişilmiştir).
14. Searle, S.; Malins, C. *AB'de Selülozik Kalıntı ve Atıkların Kullanılabilirliği*; ICCT: Washington, DC, ABD, 2013.

15. Searle, S.; Malins, C. AB Üye Devletlerinde gelişmiş biyoyakıt üretimi için atık ve kalıntı kullanılabilirliği. *Biyokütle Biyoenerji* **2016**, *89*, 2-10. [CrossRef]
16. BM Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE). *UNECE Bölgesi için Orman Üretim Dönüşüm Faktörleri*; Gebeva Timber and Forest Discussion Paper 49; UNECE: Cenevre, İsviçre, 2009; s. 38. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/DP-49.pdf> (17 Kasım 2020 tarihinde erişilmiştir).
17. Atık ve Bazı Direktiflerin Yürürlükten Kaldırılmasına ilişkin 19 Kasım 2008 tarihli ve 2008/98/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN> (10 Temmuz 2020 tarihinde erişilmiştir).
18. Otoregresif Model. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://it.mathworks.com/help/econ/autoregressive-model.html#References> (1 Nisan 2021 tarihinde adresinden erişilmiştir).
19. Zaman Serisi Ayırıştırması. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.mathworks.com/help/econ/detrending.html> (1 Nisan 2021 tarihinde erişilmiştir).
20. Trend, Mevsimsellik, Hareketli Ortalama, Otomatik Regresif Model: İnteraktif Kod ile Zaman Serisi Verilerine Yolculuğum. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://towardsdatascience.com/trend-seasonality-moving-average-auto-regressive-model-my-journey-to-time-series-data-with-edc4c0c8284b> (1 Nisan 2021 tarihinde erişilmiştir).
21. En Küçük Kareler Uydurma. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.mathworks.com/help/curvefit/least-squares-fitting.html> (1 Nisan 2021 tarihinde erişilmiştir).
22. Mevsimsel Ayarlama. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.mathworks.com/help/econ/seasonal-adjustment-1.html?searchHighlight=seasonality%20component&s_tid=srchtitle (1 Nisan 2021 tarihinde erişilmiştir).
23. Hogan, R. Ölçümde Güven Aralıkları ve Risk. *Isobudgets*. 12 Şubat 2013. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.isobudgets.com/confidence-intervals-and-risk-in-measurement/> (1 Nisan 2021 tarihinde erişilmiştir).
24. Rapor Özeti Teknoloji Özetleri. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update/technology-summaries#transport-biofuels> (15 Eylül 2020 tarihinde erişilmiştir).
25. Taşımacılık Biyoyakıtları. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/transport-biofuels> (erişim tarihi 15 Eylül- ber 2020).
26. McGill Üniversitesi & IATA. 2. Nesil Biyokütle Dönüşüm Verimliliği. 2009. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.yumpu.com/tr/document/read/322445/2nd-generation-biomass-conversion-efficiency> (15 Haziran 2021 tarihinde erişilmiştir).
27. Guo, M.; Song, W. Büyüyen ABD biyoekonomisi: Etkenler, gelişim ve kısıtlamalar. *Yeni Biyoteknoloji*. **2019**, *49*, 48-57. [CrossRef] [PubMed]
28. Badger, P.C. Selülozdan etanol: Genel bir inceleme. *Trends in New Crops and New Uses içinde*; Janick, J., Whipkey, A., Eds.; ASHS Press: Alexandria, VA, ABD, 2002; s. 17-21. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5-017.html> (1 Haziran 2020 tarihinde erişilmiştir).
29. Shah, M.A.; Khan, M.N.S.; Kumar, V. Biyoyakıt olarak potansiyel uygulamaları için biyokütle kalıntı karakterizasyonu. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2018**, *134*, 2137-2145. [CrossRef]
30. Chandra, R.; Takeuchi, H.; Hasegawa, T. Lignoselülozik tarımsal ürün atıklarından metan üretimi: Bağlamda bir inceleme ikinci nesil biyoyakıt üretimine. *Yenileme. Sürdürülebilir. Energy Rev.* **2012**, *16*, 1462-1476. [CrossRef]
31. Várhegyi, G.; Chen, H.; Godoy, S. Buğday, Yulaf, Arpa ve Brassica carinata Samanlarının Termal Ayırışması. *Kinetik Bir Çalışma. Enerji Yakıtları* **2009**, *23*, 646-652. [CrossRef]
32. Kumar, K.; Goh, K.M. Mahsul kalıntıları ve yönetim uygulamaları: Toprak kalitesi, toprak, azot dinamikleri, ürün verimi ve azot geri kazanımı üzerindeki etkisi. *Adv. Agron.* **2000**, *68*, 197-319.
33. Worasuwannarak, N.; Sonobe, T.; Tanthapanichakoon, W. TG-MS tekniği ile pirinç samanı, pirinç kabuğu ve mısır koçanının piroliz davranışları. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2007**, *78*, 265-271. [CrossRef]
34. Bledzki, A.K.; Mamun, A.A.; Volk, J. Buğday kabuğu, çavdar kabuğu ve yumuşak odun ile bunların polipropilen kompozitlerinin fiziksel, kimyasal ve yüzey özellikleri. *Compos. Bölüm A* **2010**, *41*, 480-488. [CrossRef]
35. Bilgen, S.; Sarıkaya, I.; Ayyıldız, L.M. Tarımsal artıklarından elde edilen biyo-y yağların kimyasal ekserjisinin hesaplanmasında temel analiz verilerini kullanan yeni bir korelasyon, Enerji Kaynakları. *Bölüm A Geri Kazanım Kullanımı. Environ. Eff.* **2016**, *38*, 3055-3064. [CrossRef]
36. Song, C.; Zhang, C.; Zhang, S.; Lin, H.; Kim, Y.; Ramakrishnan, M.; Du, Y.; Zhang, Y.; Zheng, H.; Barceló, D. Termokimyasal döngüsel ekonomi perspektifinden tarımsal ve ormancılık atıklarının sıvılaştırılarak biyoyakıt ve kimyasallara dönüştürülmesi. *Sci. Total Environ.* **2020**, *749*, 141972. [CrossRef] [PubMed]
37. Bertin, C.; Rouau, X.; Thibault, J.F. Şeker Pancarı Liflerinin Yapısı ve Özellikleri. *Sci. Food Agric.* **1988**, *44*, 15-29. [CrossRef]
38. Reddy, N.; Yang, Y. Endüstriyel uygulamalar için tarımsal yan ürünlerden biyo-lifler. *Trends Biotechnol.* **2005**, *23*, 22-27. [CrossRef]
39. Sarkar, N.; Ghosh, S.K.; Bannerjee, S.; Aikat, K. Tarımsal atıklardan biyoetanol üretimi: Genel bir bakış. *Yenileme Enerji* **2012**, *37*, 19-27. [CrossRef]
40. Dererie, D.Y.; Trobro, S.; Momeni, M.H.; Hansson, H.; Blomqvist, J.; Passoth, V.; Schnürer, A.; Sandgren, M.; Ståhlberg, J. Buharla patlatılmış yulaf samanının ardışık etanol fermantasyonu ve biyogaz sindirimi yoluyla iyileştirilmiş biyo-enerji verimi. *Bioresour. Technol.* **2011**, *102*, 4449-4455. [CrossRef]
41. Claye, S.S.; Idouraine, A.; Weber, C.W. Beş lif kaynağından çözünmeyen lifin ekstraksiyonu ve fraksiyonlanması. *Gıda Kimyası.* **1996**, *57*, 305-310. [CrossRef]

42. Sharma, R.K.; Arora, D.S. Çeltik samanının besleyici durumunu iyileştirmek için farklı takviyelerin varlığında *Phlebia floridensis* tarafından katı halde bozunması. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* **2011**, *65*, 990-996. [CrossRef]
43. Brijwani, K.; Oberoi, H.S.; Vadlani, P.V. Buğday kepeği ile desteklenmiş soya fasulyesi kabuklarının karışık kültür katı hal fermentasyonunda bir selüloolitik enzim sisteminin üretimi. *Süreç Biyokimyası.* **2010**, *45*, 120-128. [CrossRef]
44. Friedl, A.; Padouvas, E.; Rotter, H.; Varmuza, K. Elementel bileşimden biyokütle yakıtının ısıtma değerlerinin tahmini. *Anal. Chim. Acta* **2005**, *544*, 191-198. [CrossRef]
45. Machineni, L. Lignoselülozik biyoyakıt üretimi: Alternatiflerin gözden geçirilmesi, Biomass Conversion and Biorefinery. *Biomass Convers. Biorefinery* **2020**, *10*, 779-791. [CrossRef]
46. Doelle, K.; Bajrami, B. Sodyum Hidroksit ve Kalsiyum Hidroksit Hibrit Oksijen Ağartma Sistemi. *IOP Konf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2018**, *301*, 012136. [CrossRef]
47. Nanda, S.; Berruti, F. Kentsel katı atıklardan biyoenerji ve kaynak geri kazanımı üzerine teknik bir inceleme. *J. Hazard. Mater.* **2021**, *403*, 123970. [CrossRef] [PubMed]
48. Sommers, L.E. Arıtma Çamurlarının Kimyasal Bileşimi ve Gübre Olarak Kullanım Potansiyellerinin Analizi. *J. Environ. Nitelik.* **1977**, *6*, 225-232. [CrossRef]
49. Assari, M.R.; Basirat Tabrizi, H.; Najafpour, E.; Ahmadi, A.; Jafari, I. Küspeden kağıt hamuru ve kağıt üretim sürecinin ekserji modellenmesi ve performans değerlendirmesi, bir vaka çalışması. *Therm. Sci.* **2014**, *18*, 1399-1412. [CrossRef]
50. Boldrin, A.; Christensen, T.H. Aarhus'ta (Danimarka) bahçe atıklarının mevsimsel üretimi ve bileşimi. *Atık Yönetimi.* **2010**, *30*, 551-557. [CrossRef]
51. Yin, S.; Dolan, R.; Harris, M.; Tan, Z. Sığır gübresinin biyo-yağa subkritik hidrotermal sıvılaştırılması: Dönüşüm parametrelerinin biyo-yağ verimi ve biyo-yağın karakterizasyonu üzerindeki etkileri. *Bioresour. Technol.* **2010**, *101*, 3657-3664. [CrossRef]
52. Fehera, A.; Gos(,)a, V.; Raicov, M.; Harangus, D.; Condea, B.V. Romanya ve Avrupa Birliği tarımının yakınsaması-Evrin ve ileriye dönük değerlendirme. *Arazi Kullanım Politikası* **2017**, *67*, 670-678. [CrossRef]
53. Loibnegger, T. Avusturya'da Hikayeyi Anlatmak: Sürdürülebilir Ahşap Enerji Temini. WoodHeatSolutions. 2010. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/whs_austria_sustainable_wood_energy_supply_en.pdf (17 Kasım 2020 tarihinde erişilmiştir).
54. Björkman, M.; Börjesson, P. İsveç'te Orman Kalıntılarının Geri Kazanılmasının Farklı Çevresel Etkilerinin Dengelenmesi: Aşamalı Bir İşleme Prosedürü. *IEA Biyoenerji.* 2016. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/01/IEA-Bioenergy-Task-43-TR2016-03-ii.pdf> (9 Temmuz 2021 tarihinde erişilmiştir).
55. IRENA. Finlandiya Ormanlarından Biyoenerji: Sürdürülebilir, Verimli, Modern Ahşap Kullanımı; Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı: Abu Dhabi, BAE, 2018.
56. Biyoyakıtlar in Finlandiya. Available online: https://www.etipbioenergy.eu/images/EBTP_Factsheet_Finland_250416_582afad9527a8.pdf (17 Kasım 2020 tarihinde erişilmiştir).
57. 2008/98/EC sayılı Atık Direktifini Değiştiren 30 Mayıs 2018 tarihli ve 2018/851 sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi (AB). Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN> (9 Temmuz 2021 tarihinde adresinden erişilmiştir).
58. Düzenli Depolama Direktifi (1999/31/EC). Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0031&from=EN> (9 Temmuz 2021 tarihinde erişilmiştir).
59. Ambalaj ve Ambalaj Atıklarına ilişkin 20 Aralık 1994 tarihli ve 94/62/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31994L0062&from=en> (9 Temmuz 2021 tarihinde erişilmiştir).
60. Taşımacılık için Gelişmiş Sıvı ve Gaz Biyoyakıt Üretimi Tesisleri Veritabanı. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://demoplants.bioenergy2020.eu/> (21 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
61. Futurol Bilgileri. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/advanced-bioethanol-futuroltm-technology-set-market-launch> (25 Şubat 2021 tarihinde erişilmiştir).
62. Demo Ölçeğinde Buğday Samanından İlk İzobüten Üretimi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.global-bioenergies.com/first-production-of-isobutene-from-wheat-straw-at-demo-scale/?lang=en> (25 Şubat 2021 tarihinde erişilmiştir).
63. Sunliquid Projesi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.clariant.com/en/Business-Units/New-Businesses/Biotech-and-Biobased-Chemicals/Sunliquid> (25 Şubat 2021 tarihinde erişilmiştir).
64. Romanya'da Sunliquid Projesi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.clariant.com/en/Company/Contacts-and-Locations/Key-Sites/Romanya> (25 Şubat 2021 tarihinde erişilmiştir).
65. Chempolis Pure Future. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://chempolis.com/technologies-solutions/> (25 Şubat 2021 tarihinde erişilmiştir).
66. Fortum. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.fortum.com/media/2012/03/fortum-invests-eur-20-million-build-worlds-first-industrial-scale-integrated-bio-oil-plant> (25 Şubat 2021 tarihinde erişilmiştir).
67. Välimäki, E.; Autio, J.; Oasmaa, A. Odun artıklarından elde edilen lignoselülozik yakıt-Endüstriyel demonstrasyon. Proceedings of the 22. Avrupa Biyokütle Konferansı ve Sergisi, Hamburg, Almanya, 23-26 Haziran 2014.
68. Green Fuel Nordic Oy. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.greenfuelnordic.fi/en/company> (25 Şubat 2021 tarihinde erişilmiştir).
69. St1 Cellunolix Süreci-Lignoselülozik Biyoetanol Üretimi ve Değer Zincirinin Yükseltilmesi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.nmbu.no/download/file/fid/34440> (12 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).

70. VTT, Orman Atıklarını Taşıma Yakıtlarına ve Kimyasallara Dönüştürmek İçin Yeni Sürdürülebilir Bir Yol Geliştiriyor. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/vtt-develops-new-sustainable-way-turn-forestry-waste-transport-fuels-and-chemicals> (ac- cessed on 12 January 2021).
71. AustroCel Hallein Avusturya'nın İlk Selülozik Etanol Tesisinin İnşaatına Başladı ve OMV ile Off-Take Anlaşması İmzaladı. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/austrocel-hallein-begins-construction-of-austrias-first-cellulosic-ethanol-plant-and-signs-off-take-deal-with-omv> (12 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
72. Biyoyakıtlar için Dünyanın İlk Lignin Tesisi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.paperadvance.com/blogs/soeren-back/the-world-s-first-lignin-plant-for-biofuels.html> (12 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
73. Selülozdan Şeker ve Etanolü Bu Şekilde Üretiyoruz. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.sekab.com/en/this-is-how-it-works/biorefinery-demo-plant/our-process/> (12 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
74. Refuelling the Future. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.sodra.com/en/global/Bioproducts/biomethanol/> (erişim tarihi 12 Ocak 2021).
75. Faaliyet Raporu ve Sürdürülebilirlik Raporu 2019. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://cdn.timelab.se/sunpine/20200831133309/20200824_SunPine_%C3%85rsredovisning_2019_eng.pdf (erişim tarihi 12 Ocak 2021).
76. Atıktan Elde Edilen Gelişmiş Yakıtlar. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.st1.com/about-st1/company-information/areas-operations/advanced-fuels-waste> (12 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
77. St1, Yenilenebilir Dizel ve Jet Yakıtı için Yeni Biyofineriye 200 milyon Avro Yatırım Yapıyor. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/st1-to-invest-eur-200-million-in-new-biorefinery-to-produce-renewable-diesel-and-jet-fuel> (12 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
78. Biyoyakıtların Değer Zinciri Analizi: İsveç'te Örnköldsvik. Çevrimiçi olarak mevcuttur: http://www.topnest.no/attachments/article/12/Value%20Chain%20Analysis_Ornskoldsvik.pdf (20 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
79. İsveç, Västernorrland'da Biyoenerji Gelişimi. Çevrimiçi olarak erişilebilir: https://www.nibio.no/en/projects/triborn-triple-bottom-line-outcomes-for-bioenergy-development-and-innovation-in-rural-norway/triborn-background/_/attachment/inline/873a8b7d-f822-45d6-8327-336aa232279e:d2465c0b240bb6cad10ae6eced5af6d29b20ad70/Anna%20Berlina%20-2017-%20Bioenergy%20development%20in%20V%C3%A4sternorrland%20%20Sweden%20-%20NORDREGIO%20Working%20paper.pdf (23 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
80. ABSL-Advanced Biofuel Solution Ltd. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://absl.tech/about-us> (22 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
81. Bioenergy Review 2018-Call for Evidence - Advanced Plasma Power Ltd. tarafından verilen yanıt. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2018/12/Biomass-response-to-Call-for-Evidence-Advanced-Plasma-Power.pdf> (25 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
82. Sürdürülebilir Jet Yakıtı BA ile Londra'da Kalkışa Geçiyor. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.supplychaindigital.com/logistics-1/sustainable-jet-fuel-taking-london-ba> (25 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
83. IRENA 2019. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Innovation_Outlook_Advanced_Liquid_Biofuels_2016.pdf (3 Haziran 2020 tarihinde erişilmiştir).
84. Brown, A.; Waldheim, L.; Landälv, I.; Saddler, J.; Ebadian, M.; McMillan, J.D.; Bonomi, A.; Klein, B. Advanced Biofuels-Potential for Cost Reduction. *IEA Bioenergy* **2020**, *88*, 1-3.
85. Müller-Langer, F.; Majer, S.; O'Keeffe, S. Benchmarking biofuels-A comparison of technical, economic and environmental indicators, *Energy. Sürdürülebilirlik. Soc.* **2014**, *4*, 1-14.
86. Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinin Geliştirilmesini Destekleyen AB Eylemlerinin Etkileri Üzerine Çalışma. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/impacts_studies/study_solar_pv.pdf (18 Haziran 2020 tarihinde erişilmiştir).
87. Jansen, R.S. *İkinci Nesil Biyoyakıtlar ve Biyokütle: Yatırımcılar, Bilim İnsanları ve Karar Vericiler için Temel Kılavuz*; Bölüm 16; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Almanya, 2013.
88. Alberts, G.; Ayuso, M.; Bauen, A.; Boshell, F.; Chudziak, C.; Gebauer, J.P.; German, L.; Kaltschmitt, M.; Nattrass, L.; Ripken, R.; vd. *Innovation Outlook Advanced Liquid Biofuels*; IRENA, 2016. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Innovation_Outlook_Advanced_Liquid_Biofuels_2016.pdf (25 Ocak 2021 tarihinde erişilmiştir).
89. Prussi, M.; O'Connell, A.; Lonzab, L. *AB28'de Mevcut Havacılık Biyoyakıt Teknik Üretim Potansiyelinin Analizi*; Elsevier: Amsterdam, Hollanda, 2019.
90. Biyoekonomi Çözümleri Kataloğu: Gelecek Vaat Eden Biyoekonomi Çözümlerine İlişkin Temel Bilgilerin Bulunması. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://power4bio.draxis.gr/#/> (25 Temmuz 2020 tarihinde erişilmiştir).
91. Jarvis, S.M.; Samsatli, S. *Geleceğin CO2 Değer Zincirlerini Destekleyen Teknolojiler ve Altyapılar: Kapsamlı Bir İnceleme ve Karşılaştırmalı Analiz*; Elsevier: Amsterdam, Hollanda, 2018.
92. Van Dyk, S.; Su, J.; McMillan, J.D.; Saddler, J.N. 'Drop-In' Biyoyakıtlar: Üretiminde birlikte işlemenin oynayacağı kilit rol. *IEA Biyoenerji*. 2019. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/09/Task-39-Drop-in-Biofuels-Full-Report-January-2019.pdf> (9 Temmuz 2021 tarihinde erişilmiştir).
93. Knápek, J.; Králík, T.; Vávrová, K.; Weger, J. Tarım arazilerinden dinamik biyokütle potansiyeli. *Yenileme. Sürdürmek. Energy Rev.* **2020**, *134*, 110319. [CrossRef]