



Makale

Avrupa'da Biyoyakıtlar için Düşük Dolaylı Arazi Kullanımı Biyokütle Fırsatları

Calliope Panoutsou, Sara Giarola, Dauda Ibrahim, Simone Verzandvoort, Berien Elbersen, Cato Sandford, Chris Malins, Maria Politi, George Vourliotakis, Vigh Enikő Zita vd.

Özel Sayı

Taşımacılık için Alternatif Yakıtlar: Son Gelişmeler ve Gelecekteki Zorluklar

Düzenleyen

Dr. Matteo Prussi ve Dr. Marco Buffi



Makale

Avrupa'da Biyoyakıtlar için Düşük Dolaylı Arazi Kullanımı Biyokütle Fırsatları

Calliope Panoutsou ^{1,*}, Sara Giarola ⁽¹⁾, Dauda Ibrahim ⁽¹⁾, Simone Verzandvoort ⁽²⁾, Berien Elbersen ⁽²⁾, Cato Sandford ³, Chris Malins ³, Maria Politi ⁽⁴⁾, George Vourliotakis ⁽⁴⁾, Vigh Eniko Zita ⁵, Viktória Vászary ⁵, Efthymia Alexopoulou ⁽⁶⁾, Andrea Salimbeni ⁷ ve David Chiaramonti ^{7,8}

¹ Centre for Environmental Policy, Imperial College London, London SW7 1NE, UK; s.giarola10@imperial.ac.uk (S.G.); d.ibrahim@imperial.ac.uk (D.I.)

² Wageningen Çevre Araştırmaları, Wageningen Üniversitesi, 6708 PB Wageningen, Hollanda; simone.verzandvoort@wur.nl (S.V.); berien.elbersen@wur.nl (B.E.)

³ Cerulogy, Londra SE8 4BL, Birleşik Krallık; cato@cerulogy.com (C.S.); chris@cerulogy.com (C.M.)

⁴ EXERGIA Energy and Environment Consultants S.A., GR-106 71 Atina, Yunanistan; m.politi@exergia.gr (M.P.); g.vourliotakis@exergia.gr (G.V.)

⁵ Tarım Ekonomisi Enstitüsü (AKI), H-1093 Budapeşte, Macaristan; vigh.eniko.zita@aki.gov.hu (V.E.Z.); vasary.viktoria@aki.gov.hu (V.V.)

⁶ Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Tasarrufu Merkezi, Marathonos Caddesi, 19009 Pikermi, Yunanistan; ealex@cres.gr

⁷ Ar-Ge için Yenilenebilir Enerji Konsorsiyumu (RE-CORD), Viale J. F. Kennedy, 182, Scarperia e San Piero, 50039 Floransa, İtalya; andrea.salimbeni@re-cord.org (A.S.); david.chiaramonti@polito.it (D.C.)

⁸ Enerji Bölümü "Galileo Ferraris" (DENERG), Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, I-10129 Torino, İtalya

* Yazışmalar: c.panoutsou@imperial.ac.uk



Atıf: Panoutsou, C.; Giarola, S.; Ibrahim, D.; Verzandvoort, S.; Elbersen, B.; Sandford, C.; Malins, C.; Politi, M.; Vourliotakis, G.; Zita, V.E.; vd. Avrupa'da Biyoyakıtlar için Düşük Dolaylı Arazi Kullanımı Biyokütle Fırsatları. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 4623.

https://doi.org/10.3390/app12094623

Akademik Editör: Ramaraj Boopathy

Alındı: 4 Nisan 2022

Kabul Tarihi: 29 Nisan 2022

Yayınlanma tarihi: 4 Mayıs 2022

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



Telif hakkı: © 2022 yazarlar tarafından. Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre. Bu makale Creative Commons Attribution (CC BY) lisansının hüküm ve koşulları altında dağıtılan açık erişimli bir makedir (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Özet: Sürdürülebilir biyoyakıtlar, ulaştırmanın karbonsuzlaştırılması için önemli bir araçtır. Bu durum özellikle kısa vadeli alternatiflerin sınırlı olduğu havacılık, denizcilik ve ağır hizmet sektörleri için geçerlidir. Geleneksel taşımacılık filoları tarafından kullanımları mevcut altyapı ve motorlarda çok az değişiklik gerektirir ve bu nedenle entegrasyonları sorunsuz ve nispeten hızlı olabilir. Hammade tedariki, (i) gıda ve yem piyasalarını bozmadan ek biyokütle üretmek ve (ii) biyoçeşitlilik ve toprak kalitesi de dahil olmak üzere ekosistem hizmetlerine yönelik zorlukları ele almak için sürdürülebilirlik ilkelerine uygun olmalıdır. Bu makale, sürdürülebilir biyoyakıtlar için düşük dolaylı arazi kullanım değişikliği (ILUC) riskine sahip biyokütle ürünlerine yönelik mevcut araştırmaların bir meta analizini gerçekleştirmektedir. Bu ürünler ya iyileştirilmiş tarımsal uygulamalardan ya da kullanılmayan, terk edilmiş veya ciddi şekilde bozulmuş arazilerde ekimden faydalanmaktadır. Burada iki biyokütle ürünü kategorisi ele alınmaktadır: yağ ve lignoselülozik. Bulgular, bu ürünlerin Avrupa'nın agro-ekolojik bölgelerinde hem tarım arazilerinde hem de doğal kısıtlamalara sahip arazilerde (kullanılmayan, terk edilmiş ve bozulmuş araziler) sürdürülebilir tarımsal uygulamalarla yetiştirilmesi için önemli fırsatlar olduğunu doğrulamaktadır. Bunlar biyoyakıtlar için ek düşük çevresel etkili hammaddeler üretebilir ve çiftçilere ekonomik faydalar sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: arazi kullanım değişikliği; düşük ILUC; yağ bitkileri; lignoselülozik bitkiler; gelişmiş biyoyakıtlar; sürdürülebilirlik; marjinal arazi; bozulmuş arazi

1. Giriş

Avrupa'nın sürdürülebilir biyokütle tedarikine yönelik politik gündeminin stratejik bir bileşeni, geleneksel biyoyakıtlar, biyosıvılar ve biyokütle yakıtları için kullanımıyla ilişkili dolaylı arazi kullanım değişikliği (ILUC) etkilerinin azaltılmasıdır. AB'nin Yenilenebilir Enerji Direktifi II (RED II), 2023 yılından sonra "yüksek ILUC riskli" biyoyakıtların (yani, yüksek karbon stokuna sahip arazilerde önemli düzeyde tarımsal genişleme ile ilişkili hammaddelerden üretilen yakıtlar) aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmasını zorunlu kılmaktadır [1-4].

RED II ayrıca sertifikalı "düşük ILUC riskli" biyoyakıtlar, biyo-yakıtlar ve biyokütle yakıtları kavramını getirmektedir. Bunlar, gıda ve yem mahsullerinden kaçınan hammaddelerden üretilmektedir.

İki ek yoldan biriyle yer değiştirmek: (i) gelişmiş tarımsal uygulamalardan elde edilen verim artışları veya (ii) daha önce mahsul üretimi için kullanılmayan alanların ekimi (kullanılmayan, terk edilmiş veya ciddi şekilde derecelendirilmiş gibi doğal kısıtlamalara sahip alanlar dahil) [5,6]. Bunlar, özellikle havacılık, ağır karayolu taşımacılığı ve denizcilik gibi kısa vadeli karbonsuzlaştırma alternatifleri sınırlı olan sektörler için, 2023'ten itibaren Avrupa'da mevcut biyoyakıt paylarını korumak ve sürdürülebilir pazar potansiyellerini daha da geliştirmek için önemli bir seçeneği temsil etmektedir.

Gerçekten de, AB'de [7,8] ve ötesinde, geleceğin sürdürülebilir biyokütle arzındaki boşluklar için önemli riskler barındırdığı konusunda artan bir fikir birliği vardır. RED II hedefleri daha iddialı hale geldikçe, RED II üst sınırları daha sıkı hale geldikçe ve örneğin atık yağlar için rekabet daha yoğun hale geldikçe bu boşluklar genişlemeye devam edecektir. Düşük ILUC riskli biyokütle, yeni bir sürdürülebilir hammadde kaynağı sağlayarak arz açığının bir kısmını kapatmak için bir fırsat olarak görülebilir.

Düşük ILUC-risk kavramına dahil olan konular, arazi ve mahsul üretimi ve tarımsal uygulamalarla ilgilidir; bu nedenle, tarım ve Sera Gazı (GHG) emisyonlarının bir yutağı ve kaynağı olarak rolünün yanı sıra toprak, kirlilik, biyolojik çeşitlilik ve kırsal toplulukları çevreleyen daha geniş sürdürülebilirlik hedefleri mozaığı ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Politika alanında, sürdürülebilir karbon döngüleri [9] ve "Fit for 55" AB politika paketi [10] (RED II'de yapılan değişiklikler dahil) sürdürülebilir biyoyakıt gelişimi için düzenleyici ve destekleyici tedbirleri daha da iyileştirirken [11], Ortak Tarım Politikası (CAP 2023-2028) iklim değişikliğinin azaltılmasını tarım sektörü için temel bir hedef olarak güçlendirmektedir [12].

Düşük-ILUC kavramının mantığı, eklenebilirlik ilkesine dayanmaktadır. Bir hammadde sevkiyatı ancak gelişmiş biyoyakıt sektörü olmasaydı üretilmeyeceğine dair kanıt varsa düşük-ILUC'li olabilir. Böyle bir kanıt yoksa, malzemenin biyoyakıtlar için kullanılmasının toplam talebi artırması ve dolayısıyla istenmeyen tarımsal genişlemeyi teşvik etmesi riski vardır.

Düşük girdili biyokütle kaynakları alanındaki araştırma faaliyetleri son on yılda yoğunlaşmıştır. Temel araştırma konuları arasında doğal kısıtlamalara sahip arazilerin restorasyonunun fizibilitesi, ürünlerin farklı agro-iklim koşulları altında yetiştirme biyofiziksel kapasitesi ve hem tarım arazilerinde hem de doğal kısıtlamalara sahip arazilerde ekonomik karlılıkları yer almaktadır. Bu çalışma, Avrupa Birliği tarafından finanse edilen altı ilgili projeden elde edilen mevcut araştırmalara dayanarak düşük ILUC riskli biyokütle için biyofiziksel ve ekonomik fırsatların bir meta analizini sağlayarak bu bilgi tabanını güçlendirmeyi amaçlamaktadır: Biomass Policies, S2Biom, MAGIC, PANACEA, SoilCare ve BIO4A (bkz. Tablo 1). Analizin odak noktası, gıda ve yem piyasalarıyla rekabet etmeden üretilen, Avrupa agro-ekolojik bölgelerine (AEZ) [13] adapte olan ve hem geleneksel arazilerde hem de doğal kısıtlamalara sahip arazilerde (kullanılmayan, terk edilmiş veya ciddi şekilde bozulmuş) iyileştirilmiş tarım uygulamalarından verim artışı sağlayabilen yenmeyen yağ ve lignoselülozik biyokütle ürünleridir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Bölüm 2'de metodoloji ve temel varsayımlar özetlenmektedir. Bölüm 3 sonuçları iki alt bölümde sunmaktadır. İlk bölümde, (i) sürdürülebilir tarım uygulamaları sayesinde seçilen bir dizi ürünün verim artışına yönelik biyofiziksel fırsatlar ve (ii) bu ürünlerin kullanılmayan, terk edilmiş veya ciddi şekilde bozulmuş arazilerde ekilebilmesine yönelik uyum ve toleransları tartışılmaktadır. İkinci alt bölüm, mevcut piyasa fiyatlarına dayalı olarak Avrupalı çiftçiler için yedek ürünlerden elde edilen ekonomik fırsatları analiz etmektedir. Son olarak, Bölüm 4 biyofiziksel ve ekonomik fırsatlara ilişkin bulguları ve bu analizin politika ile ilgili bağlamını tartışmaktadır.

Tablo 1. Meta-analizin temelini oluşturan Avrupa araştırma projeleri.

Proje	Kapsam	Düşük ILUC ile İlgisi
Biyokütle Politikaları (www.biomasspolices.eu erişim tarihi 4 Nisan 2022)	adresinde coğrafi ayrıştırma ile yağ, nişasta ve lignoselülozik biyokütle için derlenmiş maliyet tedarik bilgileri NUTS2-Eyalet düzeyi	Yağ ve lignoselülozik biyokütle bitkileri Ulusal ve bölgesel düzeyde verim ve maliyet bilgileri
S2Biom (www.s2biom.eu erişim tarihi 4 Nisan 2022)	AB 27, Birleşik Krallık, Batı Balkanlar, Moldova, Ukrayna ve Türkiye (NUTS3 düzeyi) için elli lignoselülozik biyokütle türüne ilişkin maliyet tedarik bilgileri toplanmıştır	
MAGIC (www.magic-h2020.eu erişim tarihi 4 Nisan 2022)	Marjinal arazilerde yetiştirilen, kaynakları verimli kullanan ve ekonomik açıdan kârlı endüstriyel ürünlerin sürdürülebilir gelişimini araştırmayı amaçlamaktadır	Doğal kısıtlamaların olduğu arazilerde verim ve maliyetler
PANACEA (www.panacea-project.eu erişim tarihi 4 Nisan 2022)	Biyoenenerji ve biyoekonomi için hammadde olarak Avrupa tarımına gıda dışı ürünler için tematik bir ağ Biyokömür ve biyokömürün kullanımını araştırıyor	Verim ve TRL seviyesi
BIO4A (www.bio4a.eu erişim tarihi 4 Nisan 2022)	İspanya'daki çok kurak topraklarda organik maddeyi birlikte kompostlaştırırken aynı zamanda gıda/yem ve enerji bitkileri, yani arpa ve camelina arasında sürdürülebilir rotasyonlar uygulamak	Doğal kısıtlamalara sahip arazide yetiştirme ve biyokömür uygulaması
SoilCare (www.soilcare-project.eu erişim tarihi 4 Nisan 2022)	Avrupa'daki ölçekler arasında karlılığı ve sürdürülebilirliği artıran umut verici toprak iyileştirici ekim sistemlerinin ve tarımsal tekniklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi	Sürdürülebilir tarım uygulamaları

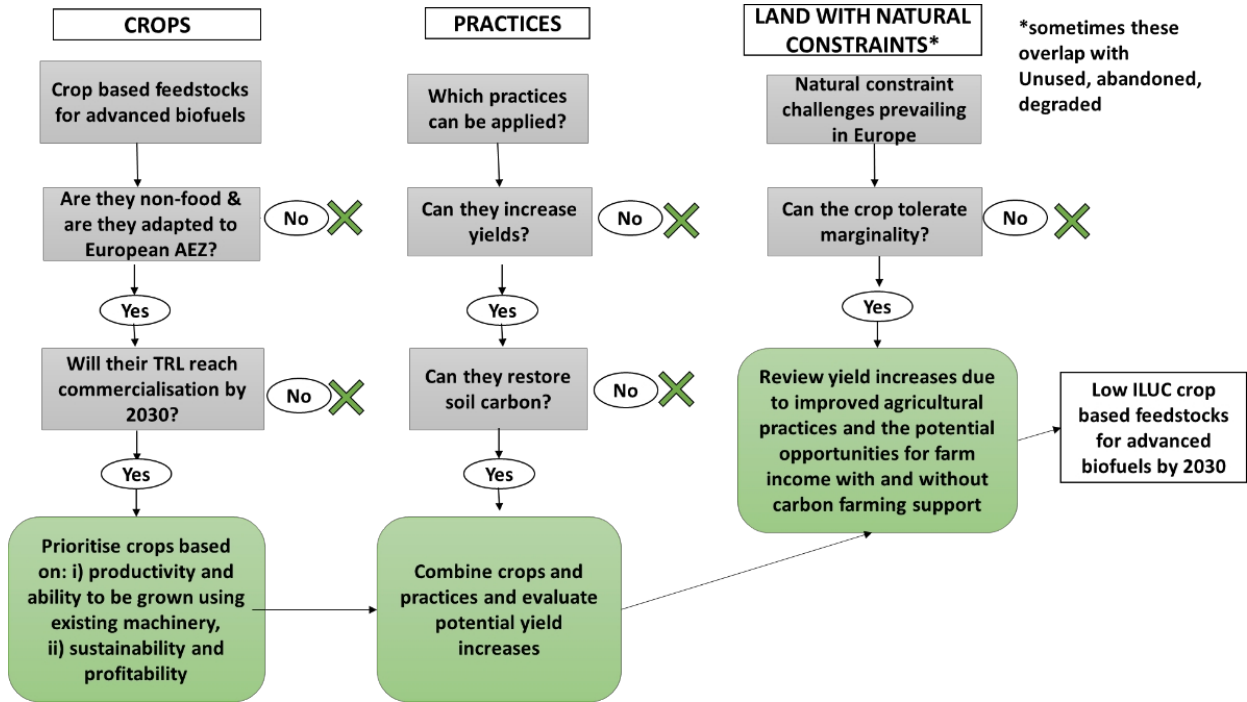
2. Materyaller ve Yöntemler

Bu makalenin kapsamı, Avrupa'da biyoyakıtlar için hammadde olarak düşük ILUC riskli biyokütle mahsulleri için seçenekleri analiz etmektir. Şimdiye kadar bu tür ürünler, biyofiziksel özellikleri ve potansiyel ekonomik uygulanabilirlikleri için modelleme üzerine çok sayıda agronomik araştırma (tarla ve demonstrasyon, ticari öncesi ve bazen ticari ölçeklerde) yapılmıştır. Bulgular önemlidir, ancak bilgi dağınıktır ve çoğu zaman karşılaştırılabilir bir şekilde birkaç olası seçeneği dikkate almadan duruma özgü sonuçlar sunar. Bu çalışma, bu boşluğu kapatmayı ve 2030 yılına kadar teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir düşük ILUC çözümleri sağlayabilecek biyoyakıtlar, mahsuller ve tarımsal ekim uygulamaları için biyokütle hammaddeleri üzerine son Avrupa araştırma projelerinde üretilen bilgilerin bir meta-analizini yapmayı amaçlamaktadır.

Avrupa Komisyonu'nun Yenilenebilir Enerji Direktifi'nin (REDII) düşük ILUC biyokütle tanımını uyguluyoruz: (i) geliştirilmiş tarımsal uygulamalar yoluyla ürün verimliliğinin artırılması ve (ii) biyofiziksel marjinalliğe sahip arazilerde ekim (ki bu genellikle mevcut REDII'de kullanılmayan, terk edilmiş veya ciddi şekilde bozulmuş olarak tanımlanan kategorilerle örtüşmektedir). Her iki durum için de Avrupa'nın agro-ekolojik bölgelerinde yalnızca agronomik açıdan uygulanabilir ve karlı, sosyal ve kültürel açıdan kabul edilebilir ve çevresel açıdan sürdürülebilir olan uygulamaları dikkate alıyoruz. Bu makalenin amaçları şunlardır

- Düşük ILUC-risk kriterlerine uyma konusunda umut vaat eden ve 2030 için yüksek teknolojik hazırlık seviyesine (TRL) sahip olan, aynı zamanda Avrupa'nın tarımsal iklim bölgelerine adapte olan, gelişmiş biyoyakıtlar için hammadde olarak uygun olan ve uygulanabilir olduğunda, doğal kısıtlamalara sahip arazilerde yetiştirildiğinde iyi adaptasyon gösteren biyokütle mahsulleri belirlenmiştir;
- Geleneksel tarım arazilerinde ve doğal kısıtlamalara sahip arazilerde gözlemlenen elde edilebilir ürün verimi ve sürdürülebilir tarım uygulamaları uygulandığında beklenebilecek potansiyel verim artışları;
- Mevcut piyasa fiyat aralıkları altında Avrupalı çiftçiler için tahmini üretim maliyeti ve karlılık beklentileri.

Bu bilgiler, Tablo 1'de gösterilen altı Avrupa projesinden elde edilen son bulgulara dayanmaktadır. Şekil 1, bu projelerdeki mahsulleri özelliklerine, teknolojik olgunluklarına ve uygulanabilir yönetim uygulamalarına göre filtreleyen mahsul seçim sürecini özetlemektedir. Bu değerlendirmeler, Avrupa'da endüstriyel ve gıda dışı mahsuller için modelleme, saha denemeleri yapan ve bilgileri birleştiren Biomass Policies, S2Biom, MAGIC ve PANACEA projelerinden alınmıştır [14-17]. Daha önce de belirtildiği gibi, ek tarımsal hasada giden yollardan biri, kullanılmayan tarım arazilerinin yeniden üretime kazandırılması olacaktır. Doğal koşullar (örneğin yüksek yerel sıcaklıklar, su stresi veya kayalık toprak) nedeniyle terk edilmiş araziler söz konusu olduğunda, bu belirli ideal olmayan yetiştirme koşullarına karşı iyi tolerans gösteren mahsulleri değerlendirmeye ve seçmeye çalışıyoruz.



Şekil 1. Ürün seçim süreci için metodolojik yaklaşım.

PANACEA projesi, biyoyakıt ve biyoenerji için hammadde olarak farklı Avrupa bölgelerinde yetiştirilmeye uygun, uygulamaya yakın yirmi dokuz gıda dışı ürünün hazır olup olmadığını değerlendirmek için bir yöntem olarak TRL'yi [14] kullanmıştır. Sıralama (Tablo 2), ürün verimliliği ve mevcut makineler kullanılarak yetiştirilme ve hasat edilme kabiliyetine göre yapılmıştır. Bu makalede seçimi sadece yağ ve lignoselülozik bitkileri içerecek şekilde daralttık.

Tablo 2, ürünlerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler için TRL ölçeklerini göstermektedir. Sadece 2030 yılı için beklenen TRL değeri 7'nin üzerinde olan ürünler, Bölüm 3'ün ikinci kısmındaki ekonomik fırsatlar için analiz edilmiştir.

Sürdürülebilir tarım uygulamaları ve potansiyel verim artışlarına ilişkin bilgiler ve ilgili ölçütler MAGIC, SoilCare ve BIO4A projeleri kapsamında yürütülen araştırmalara dayanmaktadır.

Bu makalede, gelişmiş biyoyakıtlar için hammadde olarak uygun iki biyokütle ürün kategorisi incelenmektedir. Bunlar yedi yağ ve dokuz lignoselülozik bitkiyi içermekte olup, Avrupa AEZ'sine uyumluluklarına ve 2020-2030 dönemi içindeki teknolojik hazırlık seviyelerine göre seçilmiştir (bkz. Şekil 1). Bunlar, iklim değişikliği ile ilgili riskler (örneğin kuraklık, yüksek sıcaklık vb.) için geliştirilmiş özelliklere sahip geleneksel ve yeni türlerin bir kombinasyonudur [16,17].

Tablo 2. Gıda dışı biyokütle ürünlerinin güçlü yönlerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler için teknoloji hazırlık seviyesi (TRL).

TRL		Teknolojik Hazırlık Düzeyi Ölçeği
TRL > 7	+++	(a) sanayi üretiminde ticari ölçek için ticari ölçekte kullanılır çoklu son kullanımlar (b) yüksek (c)
TRL5-7	++	(a) demo ölçeğinde üretim mevcut (b) çoklu son kullanımları ile tanınır (c) orta
TRL3-5	+	(a) araştırmadan üretime GELİŞİM (b) tanınmış son kullanım ama hala araştırma seviyesi (c) düşük
TRL < 3	-	(a) temel araştırma verileri mevcut (b) tanınmış bir son kullanım yok (c) çok düşük

3. Sonuçlar

3.1. Düşük ILUC Riskli Mahsuller için Biyofiziksel Fırsatlar

Düşük ILUC riskli biyokütle üretimi bölgeye ve iklime özgüdür ve öngörülen iklim değişikliği veya insan faaliyetlerinin neden olduğu koşullardan kaynaklanan riskler için önlemler alınmalıdır [16].

Geleneksel tarım arazilerinde mahsul veriminin artırılması, iklim değişikliği risklerine (örn. aşırı toprak nemi, uzun süreli yüksek sıcaklık ve kuraklık, vb.) karşı daha dayanıklı yeni mahsul çeşitleri gibi teknik faktörlerin yanı sıra insan sermayesi (örn. çiftçilerin yeni yetiştirme yöntemleri hakkında bilgi sahibi olması, vb.) ve altyapı (örn. yeni makinelere erişim, çoğaltma malzemesi, gübre, vb. satın almak için sermayeye erişim) ile ilgili sosyo-ekonomik zorluklara da tabidir.

Doğal kısıtlamalara sahip arazilerin ekim için restorasyonu, hem yerel agroekolojiye adapte olmuş hem de mevcut biyofiziksel kısıtlamalara yüksek düzeyde tolerans gösteren türlerin dikkatli bir şekilde seçilmesini ve tarımsal uygulamaların değerlendirilmesini gerektirir [17,18].

Hem geleneksel arazilerde hem de doğal kısıtlamaların olduğu arazilerde, verimi artıran gelişmiş tarımsal uygulamalar yoluyla biyokütle mahsulü üretimi, dikkatli bir planlama, tesis ve yönetim gerektirir. Bu tür uygulamalar aynı zamanda AB'nin "Tarladan Sofraya" ve düşük girdili yetiştirme sistemlerini çevreleyen CAP hedeflerine uyum sağlama fırsatı sunar ve biyoçeşitliliğin artırılması [17-19].

3.1.1. Yağ Bitkileri

Günümüzde, ağır hizmet, denizcilik ve havacılık gibi aşılması zor taşımacılık sektörlerinde biyobazlı ikameler, yani dizel yerine biyobazlı hidrokarbon yakıt olan hidroişlenmiş bitkisel yağ (HVO) ve biyobazlı jet yakıtı olan hidroişlenmiş esterler ve yağ asidi (HEFA) üretmek için lipidlere ihtiyaç duyulmaktadır. HEFA'nın 2030-2035 yıllarına kadar baskın yenilenebilir jet yakıtı türü olacağı, lignoselülozik biyoyakıtlar ve eYakıtların ise ancak bu tarihten sonra büyük ölçekte ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir [20,21].

Kolza tohumu (*Brassica napus*) halihazırda biyodizel üretmek için kullanılmaktadır ve kimya endüstrisinden de 'yeşil' kimyasallar üretmek için kolza tohumu HEAR [16,17,22] kullanımına ilgi vardır. Kolza aynı zamanda tahıl rotasyonunda etkili bir ara ürün olarak kabul edilir çünkü daha yüksek verimli tahıl mahsulleri ve yabancı ot kontrolü sağlar.

Etiyopya hardalı kolza tohumu (*Brassica carinata* L.) ile yakından ilişkilidir. Bitki Akdeniz iklimine iyi adapte olmuştur ve kışlık ya da ilkbaharlık yıllık bir ürün olarak yetiştirilebilir. Dona karşı düşük direnci nedeniyle kışları soğuk geçen bölgelerde ilkbahar mahsulü olarak yetiştirilmesi önerilmektedir. Kışları ılıman geçen bölgelerde kış mahsulü olarak da yetiştirilebilir. Hem kolza hem de Etiyopya hardalı su stresine karşı toleranslıdır ve bu nedenle kuru alanlarda başarıyla yetiştirilebilir. Ayrıca fitoremediasyon için iyi ürünler olarak kabul edilirler [17], kirlenmiş araziden ek biyokütle üretmek ve aynı zamanda söz konusu araziyi rehabilite etmek için bir yol sunarlar.

Crambe (*Crambe abyssinica*), orta ve kuzey Avrupa'da ilkbahar mahsulü olarak ve Güney Avrupa'da ılıman kışları tolere edebilen bir kış mahsulü olarak yetiştirilebilir. Bu bitki soğuk ve kuru havaya karşı toleranslıdır, çeşitli iklim koşullarına kolayca adapte olabilir ve yüksek verimlilik sergiler [16,17,23]. *Crambe* kısa dönemli bir kış mahsulüne sahiptir ve ürün rotasyon sistemi olarak iyi bir alternatif olabilir. Yağ, soya fasulyesi yağı biyodizeline kıyasla daha yüksek kalorifik değeri ve oksidatif stabilitesi nedeniyle biyodizel üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir [24].

Camelina, orta ve kuzey Avrupa'da ilkbahar mahsulü olarak ve güney Avrupa'da hem kış hem de ilkbahar mahsulü olarak yetiştirilebilen hızlı büyüyen bir üründür. Ürün, çift ekime (yakalama ürünü) izin veren kısa bir büyüme döngüsüne sahiptir ve çok çeşitli iklim (Avrupa genelinde) ve toprak koşullarında (İspanya'daki kuru arazilerde bile) yetiştirilebilir [16,17].

Kakule bir devedikeni, kuraklığa toleranslı bir üründür ve tohumlarından elde edilen yağ biyodizel üretmek için kullanılabilir. Ürün tuzlu koşullara ve kuraklık stresine karşı orta derecede toleranslıdır. Ayrıca arsenik ve kadmiyum ile kirlenmiş toprakların fitoremediasyonu için de yetiştirilmiştir [16,17,25].

Aspir, Akdeniz bölgesine en iyi uyan dallanan devedikeni benzeri otsu (ilkbahar veya kış) yıllık bir bitkidir. Ürün, uzun süreli kuru dönemlere ve yüksek sıcaklıklara karşı toleranslıdır. Ağır metallerle kirlenmiş araziler de dahil olmak üzere doğal kısıtlamalara sahip arazilerde yetiştirilebilir [16,17].

Hint keneviri Güney Avrupa'ya iyi adapte olmuş dayanıklı bir üründür. Kuraklık, sıcaklık ve tuzlu toprak koşullarına karşı yüksek toleransı nedeniyle doğal kısıtlamalara sahip arazilerde yetişebilir. Kuru tarım için uygun olduğu düşünülmektedir [16,17].

3.1.2. Lignoselülozik Bitkiler

Lignoselülozik ürünler Avrupa'da yirmi yılı aşkın bir süredir yetiştirilmektedir. Yüksek verim sergilerler, biyoenerji ve biyoyakıt kullanımları için belirli özelliklere sahiptirler ve gıda/yem bitkileri için rekabet etmeyen doğal kısıtlamalara sahip arazilerde yetişebilirler. Bu nedenle biyoyakıtlar için hammadde olarak uygun kabul edilirler.

Söğüt çok çeşitli toprakları tolere edebilir (örneğin, ıslak alanlar, alkali, tuzlu, killi topraklar, vb.) ve arazi koruma uygulamaları, barınak kemerleri ve rüzgar perdeleri için toprağı iyileştirebilir. Toprak erozyonunu önleyebilir [16,26] ve biyofiltrasyon, inşa edilmiş sulak alan ve atık su arıtma sistemleri için de kullanılabilir.

Kavak, kısa rotasyonlu odunsu bir ürün olarak yetiştirilebilir ve her iki ila beş yılda bir hasat edilebilir. Araştırmacılar, biyoenerji, karbon tutma, fitoremediasyon ve su havzası koruması için geliştirilmiş kavak çeşitlerini, daha iyi verim, daha yüksek hasere direnci, artan saha adaptasyonu ve kolay vejetatif çoğaltma ile kavak genotiplerinin geliştirilmesi yoluyla yetiştirmek için çalışıyorlar.

Biyokütle sorgumu, Avrupa'nın büyük bölümünde yetiştirilebilen yıllık otsu bir C4 bahar bitkisidir. Ancak sıcaklık sınırlayıcı bir faktördür, bu nedenle Akdeniz bölgesine daha uygundur.

Uzun buğday çimi uzun boylu, kaba, geç olgunlaşan bir salkım çimenidir. Tuzlu çayırılara ve deniz kıyılarına özgüdür, kuraklığa karşı yüksek toleransa sahiptir ve yağmurla beslenen koşullarda yetiştirilmiştir. Yüksek yeniden büyüme kapasitesine sahip çok yıllık bir üründür. İlkbahar yağmuru (Nisan-Haziran) gerektirir, ancak ilkbaharda düşük yağış varsa düşük biyokütle verimi ile sonuçlanacaktır.

Miscanthus tüm Avrupa'da yetiştirilebilir ve halihazırda birçok ülkede ticari ölçekte ekilmektedir. Ürünün toprak erozyonunun azaltılması için faydalı olduğu düşünülmektedir ve toprağın üstünden ve altından yüksek seviyelerde bitki kalıntısı nedeniyle toprakta yüksek düzeyde karbon depolanmasına izin vermektedir.

Switchgrass, geniş kök sistemi sayesinde Avrupa'da doğal kısıtlamalara sahip araziler de dahil olmak üzere farklı toprak tiplerinde ve ekolojik koşullarda başarıyla yetiştirilebilir [16,17]. Kuraklığa karşı toleranslıdır ve kuraklık koşulları altında yüksek verimliliğini koruyabilir.

Dev kamış Akdeniz'de yaygın bir yabancı ottur ve istilacı olduğu ve diğer ürünlerle rekabet ettiği bilinmektedir. Kuraklığa toleranslıdır ve dik yamaçlı tuzlu, zayıf dokulu topraklarda ve fitoremediasyon için kirlenmiş arazilerde de yetişebilir [16,17,27].

Saz kanarya otu, genellikle göl ve akarsu kenarlarında ve ıslak açık alanlarda geniş tek tür standları oluşturan ve Avrupa'da geniş bir dağılıma sahip uzun, çok yıllık bir salkım otudur.

3.1.3. Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları

Hammaddeler için düşük ILUC riski statüsü, ek koşulları karşılayan ve akıllı, sürdürülebilir ve düşük girdili tarımsal kültürel uygulamalarla üretilebilen ve karşılığında iklim değişikliğinin azaltılmasına ve toprak kalitesine katkıda bulunması beklenen ürünlerin yetiştirilmesini içerir [28]. Bunlar arasında karbon tarımı yoluyla karbon tutulması da yer almaktadır. 'Karbon tarımı' terimi, atmosferdeki karbonun biyokütle, organik madde, toprak ve bitki örtüsünde depolanmasına yol açan tarım ve ormancılıktaki arazi uygulamalarını ifade eder. Karbon tarımı, Sürdürülebilir Karbon Döngülerine ilişkin AB Bildiriminde önerilen karbonun atmosferden uzaklaştırılmasına yönelik mekanizmalardan biridir [29]. Bu tür uygulamalar arasında, diğerlerinin yanı sıra, toprak karbon stoklarını iyileştiren ara ekim, örtü bitkileri, dönüşümlü ekim ve biyokömür ile toprak zenginleştirme [30,31], organik gübreleme, karbonu bitki örtüsünde depolayan tarımsal ormancılık [32-34] ve bozulmuş arazilerin çok yıllık ürünlerle restorasyonu yer almaktadır. Bu derlemede biyokütle üretimini, karbon depolamayı ve toprak kalitesini destekleyen beş tür uygulama, Avrupa Birliği'nin politika araçlarında yer almalarına dayanarak ele alınmaktadır.

AB. Şimdi bunların her biri sırayla ele alınacaktır.

Ara ekim, bir ana ürünün ortasında veya bu ana ürünün ekim sıraları arasında yetiştirilen ve hasat edilmesi veya ana ürünün hasadına destek olması amaçlanan bir ürünü ifade eder [35].

Örtü bitkileri, iki ana ürün sezonu arasında yetiştirilen bir ürün anlamına gelir [36]. Toprağı iyileştiren ekim sistemleri üzerine yapılan meta çalışmaların bir incelemesi, ara ekimlerin, karışık ekinlerin ve örtü bitkilerinin verimi artırabileceğini bildirmiştir [37-39]. Besin döngüsü ve strese karşı dayanıklılık üzerindeki etkiler daha az nettir. Baklagil örtü bitkileri N-gübrelerin yerine geçebilirken, diğer örtü bitkileri sızıntı yoluyla N kaybını azaltabilir. Örtü bitkilerinden topraklara karbon girişi, tür, ekim zamanı, kışa dayanıklılık ve su mevcudiyeti tarafından belirlenen ürünün biyokütle verimine bağlıdır [40]. Örtü bitkilerinin nadasa bırakılan topraklara kıyasla toprak organik madde içeriğini artırdığı bildirilmiştir [39].

Veriler, örtü bitkilerinin toprak penetrasyon direncini %0 ila 29 oranında azalttığını göstermektedir. Örtü bitkileri ayrıca ıslak agregat stabilitesini %0 ila 95 ve kümülatif infiltrasyonu %0 ila 190 oranında iyileştirir, ancak yağın yoğunluğu, kuru agregat stabilitesi, doymuş hidrolik iletkenlik, doymamış hidrolik iletkenlik ve bitki kullanılabilir suyu üzerinde önemsiz etkileri vardır. Bu

Örtü bitkisinin altındaki topraklar kışın daha sıcak, ilkbahar, yaz ve sonbaharda ise daha soğuk olabilir.

sonbahar. Gündüz toprak sıcaklığı ortalama %2 azaldı °C iken, gece vakti toprak sıcaklık 1 °C arttığında, bu da toprak organik karbonunda değişikliklere neden olabilir konsantrasyonu [39,40].

Örtü bitkilerinin kullanıldığı on yıllık tarla denemeleri, toprak hidrolik fonksiyonunda gözlenen iyileşmenin makro ve mikro gözenekler arasında daha dengeli bir dağılıma dayandığını, toprak sıkışmasını azalttığını ve toprak suyunun tutulmasını ve mahsulün kullanılabilir suyunu artırdığını göstermiştir. Sonuç, su rekabetini telafi ederek yüzey akışına ve drenaj kayıplarına daha az eğilimli olabilir [39-41].

Dönüşümlü ekim, bir tarım arazisi üzerinde farklı ürün türlerinin (biçilmiş ve kaldırılmış, tek çenekli ve iki çenekli, tek yıllık ve çok yıllık) zamansal değişimini ifade eder.

Ekim nöbeti, aynı alanda birbirini takip eden mevsimlerde bir dizi farklı türde ürün yetiştirme uygulamasıdır. Ürün rotasyonu toprağa çeşitli besin maddeleri verir ve örneğin yeşil gübre, baklagiller veya örtü bitkilerinin tahıllar ve diğer ürünlerle sırayla kullanılması yoluyla azotu yeniler. Ürün rotasyonu erozyonla mücadeleye de yardımcı olur. Ürün rotasyonu, derin kökleri olan ve sık kökleri olan ürünler arasında dönüşümlü olarak toprak stabilitesini artırmaya yardımcı olur. Ürün rotasyonları, ürüne özgü zararlıların birikmesini önlemeye ve zararlıların ürün koruma için kullanılan bileşenlere karşı direnç geliştirme riskini azaltmaya yardımcı olabilir [40,41]. Çeşitli ürün rotasyonları, hasat artıkları, kök artıkları ve kök eksüdalarından elde edilen organik karbonu toprağa verme potansiyeline sahiptir. Bu etki esas olarak hasat kalıntılarının miktarı ve bileşimi tarafından belirlenir [40].

Ürün rotasyonu Polonya'da ilkbahar buğdayında [42] ve ilkbahar arpasında [43] daha yüksek verim, daha az yabancı ot baskısı ve daha yüksek toprak C ve N içeriği sağlamıştır.

Avrupa'daki 13 örnek çalışma sahasından toplanan 30 uzun vadeli deneyden elde edilen veriler, ürün rotasyonunun toprak organik madde (SOM) içeriği ve verimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve solucan sayısını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Genel olarak, ürün rotasyonunun toprak pH'ı ve agregat stabilitesi üzerinde çok az etkisi olmuştur [44].

Finlandiya'daki çiftçiler, ürün verimini, besin sızıntısını ve erozyonu etkileyen kışın yağışlı koşullar, daha sık şiddetli yağmurlar ve hasat dönemlerindeki ıslak koşullardan endişe duymaktadır. Buna karşılık olarak, yerel bilim insanları tarafından derin köklü ürünlerin (yani yonca ve yağlı tohum) kullanımı da dahil olmak üzere belirli ürün rotasyonları önerilmiştir [45].

İtalya'da, gelecekteki koşullar altında 2 veya 3 yıllık ürün rotasyonlarının (kışlık buğday ve domatese dayalı) benimsenmesi, toprak organik karbonunda (SOC) sürekli buğdaya dayalı mevcut sistemin SOC içeriğinin yaklaşık %10'u kadar bir artışa yol açmıştır [46].

Tarımsal ormancılık, kalıcı bir orman standı kurma niyeti olmaksızın, aynı arazi yönetimine sahip parsellerde odunsu uzun ömürlü bitkilerin kasıtlı olarak ekinler ve/veya hayvanlarla entegre edildiği arazi kullanım sistemlerini ve uygulamalarını içerir. Ağaçlar tek gövdeli, sıralı veya gruplar halinde düzenlenebilir ve otlatma parsellerin içinde (silvoarable agroforestry, Silvo pastoralism, otlatılan veya ekilen meyve bahçeleri) veya parseller arasındaki sınırlarda (çitler, ağaç hatları) da gerçekleştirilebilir. Yer üstündeki karbon stoku genellikle ağaçsız eşdeğer arazi kullanımından daha fazladır ve ağaç dikmek toprakta karbon birikimini de artırabilir [47-50]. Araya ekilen ağaçların kök sistemleri, ekinlere kıyasla daha derin toprak katmanlarına karbon girişini sağlar [39,40].

Tarımsal ormancılık sistemlerine ilişkin inceleme çalışmaları, yüzey akışını ve toprak, SOC ve besin maddesi kayıplarını sırasıyla ortalama %58, %65, %9 ve %50 değerlerinde azaltmıştır. Ayrıca herbisit, pestisit ve diğer kirletici kayıplarını da ortalama %49 oranında azaltmıştır. Bununla birlikte, Mupepele ve diğerleri (2021) [51] bir uyarıda bulunmuştur: sadece birkaç çalışma güçlü kanıtlara dayalı sonuçlar sunmaktadır ve tarımsal ormancılığın toprak kalitesi unsurları üzerindeki etkileri hakkında daha ayrıntılı raporlamaya ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, mevcut çalışmalardan elde edilen sonuçlar, tarımsal ormancılığın biyolojik çeşitlilik üzerinde faydalar sağlayabileceğini göstermektedir [51-54].

Biyokömür ile toprağın zenginleştirilmesi sağlanabilir. Biyolojik atıklardan üretilen biyokömürün topraklara uygulanması, gübre talebini azaltmak (bağımlılığı, maliyetleri ve kirliliği azaltmak), karbonu tutmak ve bozulmuş arazilerin nispeten ucuz ve kalıcı bir şekilde iyileştirilmesini ve sürdürülebilir ve gelişmiş tarımı sağlamak için çok iyi bir yol olabilir [30]. Piroliz işlemi, biyokömürün yanı sıra enerji kaynağı olarak ticari değeri olabilecek iki ek malzeme, sentez gazı ve biyo-yag üretir. Biyokömürler hammaddeye, sıcaklığa ve kalma süresine bağlı olarak farklılık gösterir ve atık yönetimi, toprak iyileştirme için etkili araçlar olmuştur ve ayrıca karbon tutma yoluyla sera gazı emisyonlarının azaltılmasını da sağlayabilir [31]. Biyokömürün büyük değişkenliği nedeniyle, tek bir biyokömür türü tüm yetiştirme koşulları ve ürünler için uygun olmayabilir.

3.1.4. Marjinal Arazilerdeki Ürünler ve Verim Potansiyelleri

Marjinal arazilerde biyokütle bitkilerinin, özellikle de şalter otu ve miscanthus gibi çok yıllık otların yetiştirilmesinin, karbon tutulumunu artırarak [15-17,19] ve geleneksel ekim alanlarından elde edilenlere kıyasla noktasal olmayan kaynak kirliliğini azaltarak çevreye fayda sağlaması beklenmektedir.

Araştırmacılar, marjinal Akdeniz topraklarında çok yıllık ot üretiminin uygulanabilir olduğu ve uygun şekilde yönetildiği takdirde, arzu edilmeyen çevresel yan etkilerin nispeten az olacağı sonucuna varmışlardır. Akdeniz bölgelerinde, çok yıllık bitkilerin yetiştirilmesi, buğday tarımından daha düşük olumsuz çevresel etkiye sahip olabilir ve ayrıca toprak özellikleri ve aşınabilirlik açısından da faydalar sağlar [16,19]. Bunun başlıca nedenleri, daha düşük düzeyde mekanizasyon (ve dolayısıyla toprağın bozulması) ve çok yıllık ürünlerin yıl boyunca toprağı kapsamı ve daha derin ve iyi dallanmış köklerdir [19]. Chimento ve arkadaşlarına (2016) [55] göre, miscanthus'un toprakta karbon biriktirme kabiliyetinin bir diğer nedeni de asimile edilen karbonun yüksek bir kısmını ilkbaharda büyüme için bir karbon rezervuarı olarak toprak altına tahsis etmesidir. Bu durum Chimento ve arkadaşları (2016) [55] tarafından ve miscanthus, switchgrass, dev kamış ve tahıl mısıra kıyasla kök bölgesinde ortalama %45 daha fazla SOC oluşturan üç odunsu ürün (söğüt, kavak ve kara keçiboynuzu) için yapılan tarla denemelerinde doğrulanmıştır. Bir meta-analiz çalışması (Agostini ve ark. 2015) otsu uzun ömürlü bitkiler (miscanthus ve switchgrass) için 1,14 ila 1,88 mg C ha/yıl ve odunsu uzun ömürlü bitkiler (söğüt ve kavak) için 0,63 ila 0,72 mg C ha/yıl arasında SOC depolandığını göstermiştir. Bununla birlikte, bu yazarlar uzun vadeli saha denemesi verilerinin (>25 yıl) eksik olduğunu ve uzun vadeli sürdürülebilir toprak karbon zenginleşmesini doğrulamak için gerekli olduğunu vurgulamışlardır (çünkü yakın zamanda oluşan SOC depolarının istikrarı belirsizdir).

Söğütlerin yanı sıra dev kamış veya miscanthus gibi otsu bitkiler Ukrayna'nın yanı sıra Almanya ve İtalya'da da iklim koşulları altında yetiştirilmeye uygun ürünlerdir, ayrıca söğüt geçici veya kalıcı olarak suya doymuş toprak koşullarında da yetiştirilebilir [16,17,19].

Çok yıllık bitkilerin SOC oluşturma etkisi özellikle düşük SOC seviyelerine sahip marjinal arazilerde büyüktür [56]. Tersine, biyokütle bitkileri, yoğun çalı ve/veya orman bitki örtüsüne sahip uzun süredir terk edilmiş araziler veya sulak alanlar gibi zaten yüksek SOC seviyelerine sahip arazilerde kurulursa, bu durum karbondaki (hem toprak üstünde hem de toprak altında) ciddi bir düşüşe yol açabilir; bununla birlikte, düşük ILUC riskli üretim bağlamında, bu tür arazi dönüşümlerini önlemek için halihazırda düzenleyici önlemler mevcuttur.

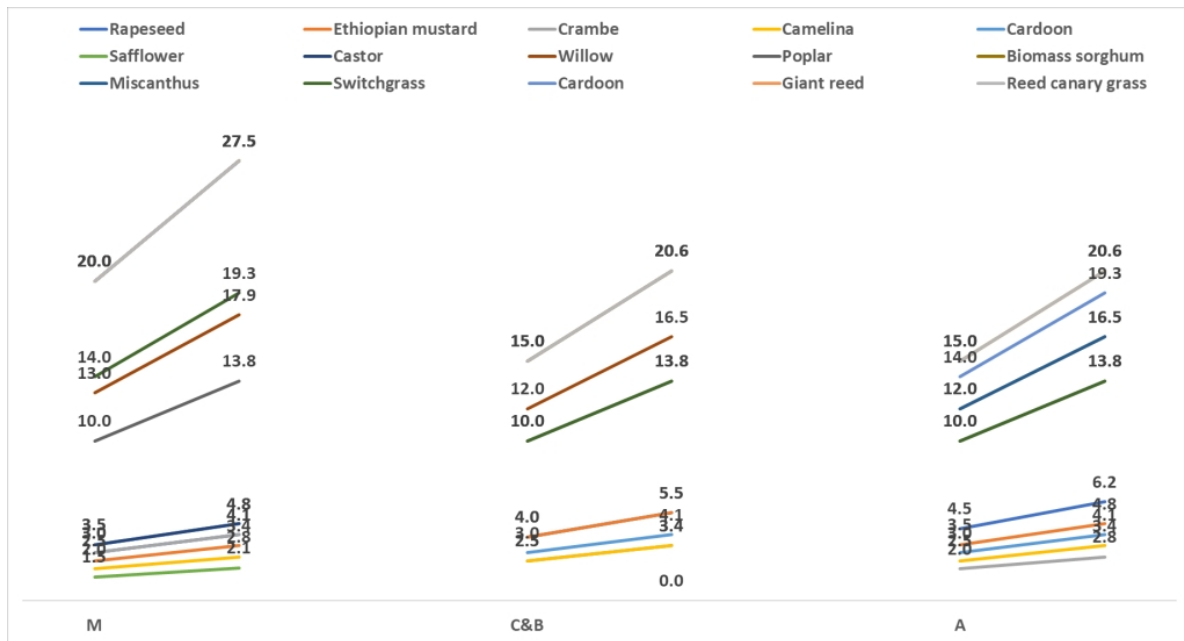
Kirlenmiş topraklarda lignoselülozik ürünlerin üretilmesinin, ürünlerde ağır metallerin ve diğer kirlleticilerin birikmesine neden olabileceğini ve dolayısıyla biyokütlenin kalitesini tehlikeye atabileceğini belirtmek gerekir [17].

3.1.5. 2030'a Kadar Potansiyel Verim Artışları

Yedek ürünler için verim artışı potansiyeli, meta veri analizine ve Tablo 1'de belirtilen projelerden yayınlanan bilgilere dayanarak tahmin edilmiştir.

Şekil 2 ve 3, aşağıdaki varsayımlara dayalı olarak ürünler için potansiyel verim artışlarını göstermektedir:

- Temel verimler Tablo 3'te rapor edilenlerdir.
- Kullanılan çeşitlerde halihazırda öngörülen genetik ürün iyileştirmeleri nedeniyle mahsul verimindeki artış 2020 ve 2030 yılları arasında %10'dur. Bu, yıllık %1'lik bir artış anlamına gelmektedir ve Avrupa'daki tahıllar için ilgili verim artışlarını sunan AB Tarımsal Görünüm ile uyumludur (agricultural-outlook-2020-report_en.pdf (europa.eu)).
- BIO4A ve SoilCare projelerinden elde edilen bulgulara dayanarak, bir veya birden fazla sürdürülebilir tarım uygulamasının (örneğin, ara ekim ve biyokömür vb.) uygulanması nedeniyle düşük ve yüksek artış oranı 2020 ve 2030 yılları arasında sırasıyla ortalama %15 ve %25 olarak hesaplanmıştır.

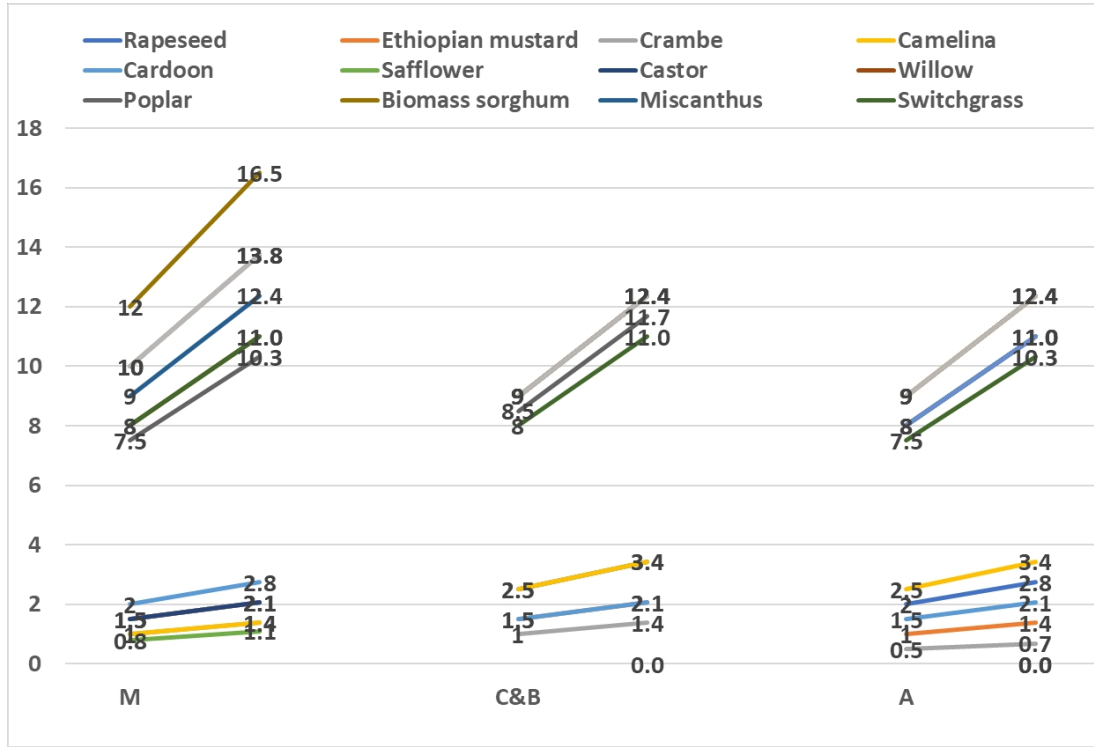


Şekil 2. Üç AEZ'deki tarım arazilerinde sürdürülebilir tarım uygulamalarından elde edilen tahmini verim artışları. Ayrıntılar Ek I'de (Tablo A1 ve A2).

Tablo 3. Teknoloji biyokütle bitkileri. Teknoloji biyokütle bitkileri, ilgili gelişmiş biyoyakıt türleri, Avrupa Agro-Ekolojik Bölgeleri-AEZ (A: Atlantik, C&B: Kıta ve Boreal, M: Akdeniz) için agronomik uygunluk ve sürdürülebilir tarım uygulamaları [intercropping (I), cover cropping (CC), rotation (R), agroforestry (AF), biochar (B)] yoluyla düşük ILUC riski için fırsatlar ve verimlilik ve mevcut makinelerle yetiştirme ve hasat etme yeteneği için TRL seviyeleri [16,17]. Son iki sütundaki (Verimlilik/Mevcut Makineleri Kullanabilme ve 2030'a kadar Beklenen TRL) sıralamayla ilgili ayrıntılar Tablo 2'de bulunabilir.

	İlgili Biyoyakıtlar (Sektörler)	Tarımsal Uygulamalar	AEZ başına Ortalama Temel Verimler (Yağ Bitkileri için t/ha Tohum ve Lignoselülozik Bitkiler için t/ha Kuru Madde Biyokütlesi) (Parantez içinde Doğal Kısıtlamaların Olduğu Arazilerdeki Verimler)			Üretkenlik/Mevcut Makineleri Kullanabilme	2030'a kadar beklenen TRL *
			A	C ve B	M		
Yağ	Kolza tohumu	I, CC, R, B	4.5 (2)	4 (2.5)	3 (1.5)	+++	+++
	Etiyopya hardalı	B	3.5 (1)	4 (1.5)	2.5 (1.5)	++	+++
	Crambe	B	2 (0.5)	2.5 (1)	3 (1)	++	+++
	Camelina	I, CC, R, B	2.5	2.5	3 (1)	++	+++
	Cardoon	B	3 (1.5)	3 (1.5)	3.5 (2)	+++	+++
	Aspir	I, B	na	2 (1.5)	1.5 (0.8)	+	++
	Castor	I, B	na	na	3.5 (1.5)	+	++
	Söğüt	AF, B	12 (9)	12 (9)	13 (8)	++	+++
Lign	Kavak	AF, B	10 (8)	10 (8.5)	10 (7.5)	++	+++
	Biyokütle sorgum	I, R, B	15 (9)	15 (9)	20 (12)	++	+++
	Uzun buğday otu	B	na	na	10 (7)	+	++
	Miscanthus	B	12 (8)	15 (9)	20 (9)	+++	+++
	Switchgrass	B	18 (10)	18 (10)	20 (12)	++	+++
	Cardoon	B	14 (8)		20 (10)	++	+++
	Dev kamış	B	15 (9)	15 (9)	20 (10)	++	+++
	Kamış kanarya otu	B	15 (9)	15 (9)	20 (10)	++	+++

* Bu bölümde yalnızca 2030 yılına kadar beklenen TRL değeri 7'nin üzerinde olan ürünler analiz edilmiştir.



Şekil 3. Üç AEZ'de doğal kısıtlamalara sahip arazilerde sürdürülebilir tarım uygulamalarından elde edilen tahmini verim artışları [16,17]. Ayrıntılar Ek I'de (Tablo A1 ve A2).

Bu noktada, Şekil 2 ve 3'teki tüm ürünler için en yüksek verim girişlerinin halihazırda demonstrasyon ve ticari öncesi ölçekte elde edildiği belirtilmelidir.

3.2. Ekonomik

Düşük ILUC riskine sahip biyokütle ürünlerinin yetiştirilmesi, Avrupalı çiftçilere ürün üretimlerini çeşitlendirmek [57], tarımsal uygulamaları iyileştirmek ve düşük karbonlu yakıtlar için hammadde üretirken toprağı restore etmek için bir çıkış yolu sunabilir.

3.3. Yaşanabilir Bir Çiftlik Geliri Sağlamak

Düşük ILUC riskli hammaddeler, yeni pazarlar ve iş modelleri aracılığıyla ürün ve gelir çeşitlendirmesi için fırsatlar sunabilir. Biyorafineriler için yıl boyunca hammadde tedarikinin güvence altına alınması, mahsullerin ve mahsul yetiştirme sistemlerinin mevcut faaliyetlerine tamamlayıcı bir şekilde entegre edilmesi halinde çiftçiler için ek gelire katkıda bulunabilir. Bu, halihazırda yetiştirilen hammaddeler için sınırlı pazar bozulmaları olmasını sağlarken, aynı çiftlik yapılarından ek hammaddeler için umutlar yaratacaktır.

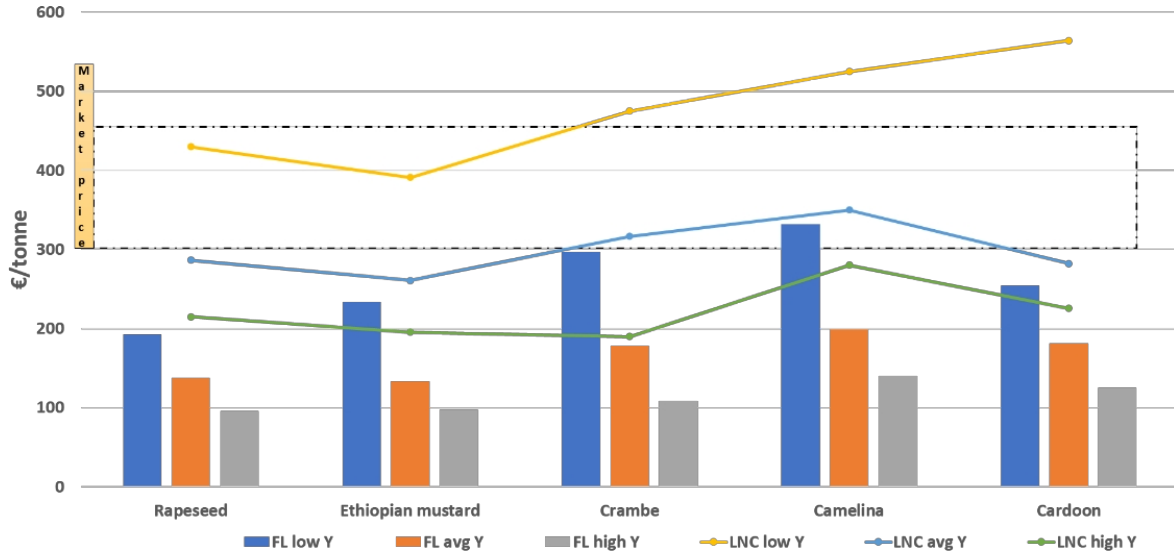
Bu çalışma, 2030 yılına kadar TRL 7 ve daha fazlasına ulaşması beklenen ürünlerin üretim maliyetleri için bir meta veri analizi sunmaktadır (Tablo 3). Kullanılan piyasa fiyatları aralıkları şunlardır:

- Yağ bitkileri için 300-450€/ton yağlı tohum.
- Lignoselülozik ürünler için 50-100€/ton kuru madde.

Bunlar son beş yılın piyasa fiyat aralıklarına dayanmaktadır. Ukrayna'daki savaş nedeniyle şu anda yağlı tohum piyasalarında gözlemlenen yüksek rakamları hesaba katmamaktadırlar.

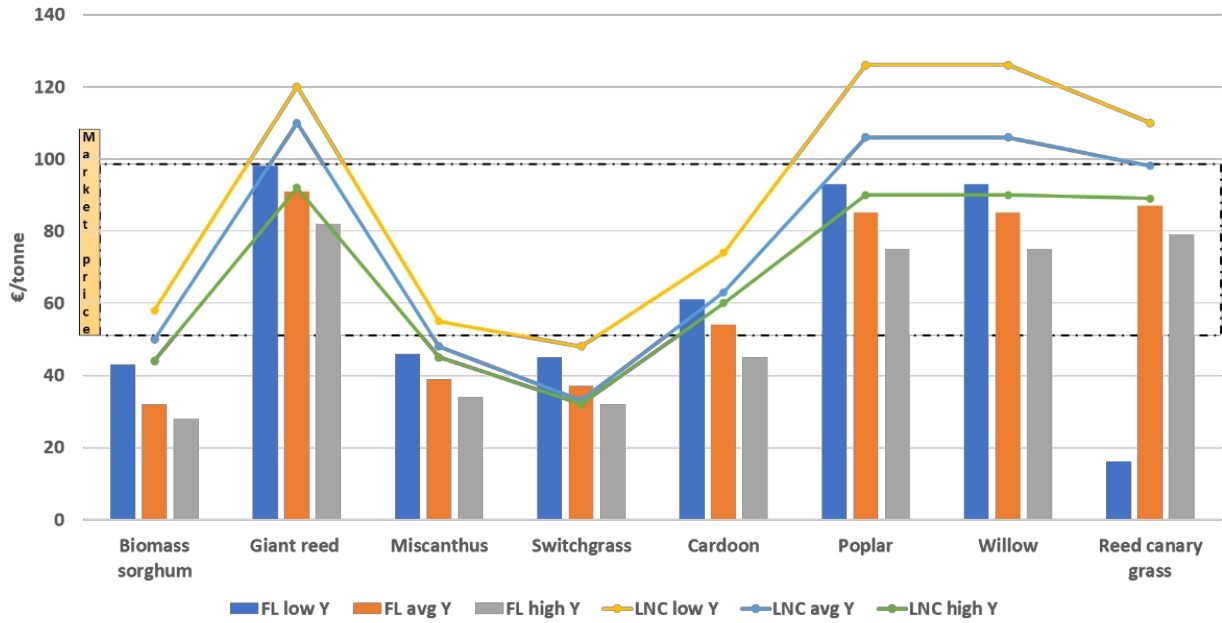
Şekil 4 ve 5, farklı verim kapasiteleri altında yedek ürünlerin üretim maliyetlerine (sırasıyla€/ton yağlı tohumlar ve€/ton lignoselülozik biyokütle olarak) genel bir bakış sunmaktadır (bkz. Tablo 3). Bu iki şekil aynı zamanda geleneksel tarım arazilerinde ve doğal kısıtlamaların olduğu arazilerde yedek ürünler için ekonomik fırsatları anlamak için mevcut piyasa fiyat aralıklarını da sunmaktadır.

Tablo 4, geleneksel arazide ve doğal kısıtlamalara sahip arazide yedek ürünlerin karlılığını (yani ortalama piyasa fiyatı eksi ortalama üretim maliyeti) göstermektedir. Yağlı tohumlar söz konusu olduğunda, camelina en düşük verim aralığında ve 300€/ton yağlı tohum piyasa fiyatında bile negatif karlılık göstermektedir. Diğer tüm yağlı tohum bitkileri, geleneksel tarım arazilerinde hem 300 hem de 450€/ton yağlı tohum piyasa fiyatları için kârlıdır.



Şekil 4. Yağ bitkileri üretim maliyetleri Tarım arazilerinde (FL) ve doğal kısıtlı arazilerde (LNC) yağ bitkileri üretim maliyeti aralıkları€/ton tohum (verim artışlarıyla birlikte). Ayrıntılar Tablo 4'te.

Tablo 4. Geleneksel arazide ve doğal kısıtlamaların olduğu arazide yedek ürünlerin karlılığı (kırmızı renkte karlı olmayan girdiler).



Şekil 5. Tarım arazilerinde (FL) ve doğal kısıtlı arazilerde (LNC) lignoselülozik ürünlerin üretim maliyet aralıkları€/ton (verim artışlarıyla birlikte). Ayrıntılar Tablo 4'te.

Yağlı tohum ürünlerinin hiçbiri, 300€ /ton yağlı tohum piyasa fiyatı altında doğal kısıtlamaların olduğu arazilerde düşük verim seçeneğinde karlı değildir. Benzer negatif karlılık, 450€ /ton yağlı tohum piyasa fiyatında crambe, camelina ve cardoon için ve orta verim kategorisindeki crambe ve camelina için de sergilenmektedir. Diğer tüm durumlarda, yağlı tohum bitkileri kârlıdır.

Switchgrass, cardoon ve dev kamış, 50€ /ton piyasa fiyatıyla tüm verimlerde benzer performansa sahiptir. Bu durumlarda, miscanthus benzer performansa sahiptir veya arazi birimi başına biraz daha yüksek verim nedeniyle sınırda karlıdır. Tüm lignoselülozik ürünler geleneksel tarım arazilerinde 100€ /ton piyasa fiyatında kârlıdır. Biyokütle sorgumu, doğal kısıtlamaların olduğu arazilerdeki düşük verim ve 50€ /ton piyasa fiyatı dışında tüm durumlarda kârlıdır.

Tüm yedek lignoselülozik ürünler, 100€ /tonluk bir piyasa fiyatında, hem geleneksel tarım arazilerinde hem de doğal kısıtlamalara sahip arazilerde verim kategorileri arasında kârlıdır.

4. Tartışma

4.1. Biyofiziksel Fırsatlar

Bu çalışma, sürdürülebilir biyoyakıtlar için uygun düşük ILUC riskli fırsatlar olarak bir dizi yağ ve lignoselülozik ürünü değerlendirmiştir. Meta-analiz, halihazırda veya 2030 yılına kadar ticari seviyeye ulaşabilecek, Avrupa'nın agro-ekolojik bölgelerine iyi adapte olmuş ve sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla yetiştirildiğinde, iklim değişikliği risklerine uyum sağlamalarına ve doğal kısıtlamalara sahip arazileri restore etmelerine olanak tanıyan özelliklere sahip biyoyakıtlar için hammadde sağlayabilecek birçok ürün olduğunu göstermektedir.

Ürünlerin verim kapasitesi hem geleneksel tarım arazileri hem de doğal kısıtlamalara sahip araziler için sunulmuştur (her ikisinde de ara ekim, ürün rotasyonu, tarımsal ormancılık ve/veya örtü bitkilerinin bir parçası olarak yetiştirilebilirler). Burada 'örtü bitkileri' teriminin genellikle hasat edilmeyen ancak toprak verimliliğinin yapısal yönlerini korumayı, erozyonu azaltmayı ve hastalık oluşumunu önlemeyi amaçlayan bitkileri ifade ettiğini belirtmek gerekir. Bu hizmetleri sağlayan ve aynı zamanda biyokütle hammaddesi için hasat edilebilen ürünler seçilebilirse, bu eklenebilirlik sağlayabilir. Örtü bitkileri de ürün rotasyonunun bir parçası olabilir. Biyokömür de bu makalede ele alınmaktadır ve toprak özelliklerini iyileştirmek, toprak kalitesini zenginleştirmek ve BIO4A projesinde gösterildiği gibi mahsul verimini artırmak için yukarıdakilerin tümü ile etkili bir şekilde birleştirilebilen tek uygulamadır.

Çalışma aynı zamanda doğal engellerin bulunduğu arazilerde aynı ürün grubu için verimi de incelemiştir. REDII'deki eklenebilirlik, bu tür arazileri kullanılmayan, terk edilmiş ve bozulmuş olarak tanımlamaktadır. Bu noktada, ilgili istatistiksel zaman serilerinin eksikliği nedeniyle son üç kategorinin henüz ayrıştırılmış bir şekilde haritalanmadığını belirtmek gerekir. Beklendiği gibi, bu tür arazi türlerinde mahsul verimi önemli ölçüde daha düşüktür ve bu durum mahsul ve agro-ekolojik koşullarla ilgilidir.

4.2. Ekonomik Fırsatlar

Ekonomik verilerin ve tahminlerin analizi, hem yağlı tohumlar hem de lignoselülozik ürünler için mevcut piyasa fiyatları altında geleneksel tarım arazilerinde yedek ürünlerin çoğunun karlı olabileceğini doğrulamaktadır. Ürünlerin kârlı olmadığı durumlar çoğunlukla düşük verim ile düşük piyasa fiyatı aralıklarının birleşimine işaret etmektedir ve her iki arazi kategorisinde de mevcuttur. Üretim maliyetlerinin FL ve LNC arasında sadece 'düşük verim' cezası nedeniyle değil, aynı zamanda LNC'yi restore etmek için hesaba katılması gereken ekstra maliyetler (daha fazla gübre, daha fazla işçilik, arazi rehabilitasyonu, tesviye vb. gibi) nedeniyle de farklılık gösterdiğini açıklığa kavuşturmak önemlidir.

Bu çalışmada, yedek ürünlerin karlılığı için herhangi bir mali destek analiz edilmemiştir. Bununla birlikte, tarımsal sübvansiyonların birçok ülkede geleneksel ekim sistemleri için tarımsal gelirin oldukça yüksek bir payını oluşturduğu düşünüldüğünde, hükümetlerin bu tür bir destek sağlaması için önemli fırsatlar bulunmaktadır. Mali müdahaleler, Ortak Tarım Politikası, Emisyon Ticareti Programı, Sürdürülebilir Karbon Döngüleri Girişimi vb. kapsamındaki yeşillendirme tedbirlerine entegre edilebilir. Bu makalede sunulan bulgulara göre, uygun ülke, mahsul ve tarımsal uygulama(lar) kombinasyonuna göre uyarlanmış mali teşviklerle, yedek mahsullerin neredeyse tüm durumlarda ve arazi kategorilerinde Avrupalı çiftçiler için karlı fırsatlar sağlayabileceği açıktır.

4.3. Politika Bağlamı

RED II tarafından düşük ILUC-risk konseptinin teşvik edilmesi, biyoenerjinin ötesine geçen iklimsel, ekolojik ve ekonomik avantajlara sahip yeni ürün türlerinin ve tarım yöntemlerinin AB tarım ortamına entegrasyonu için fırsatlar sağlayabilir. Ancak bu konsept nispeten yenidir ve uygulanması ve pazardaki rolü hala belirsizliğini korumaktadır. RED II, düşük ILUC riskli sertifikalı palm yağı için iyi tanımlanmış bir pazar fırsatı sunmakta olup, bu yağ yüksek ILUC riskli materyal üzerindeki kısıtlamalardan muaftır. Diğer mahsullerin düşük ILUC-risk sertifikasyonu için değer önerisi henüz net değildir ve düşük ILUC-risk projeleri için değer yaratılması Üye Devlet politika eylemine bağlı olabilir.

4.3.1. REDII'deki Durum

Yağ bitkileri ve lignoselülozik bitkiler RED II kapsamında farklı statülere sahiptir ve bu da potansiyel değer önerisini etkilemektedir. Eğer "tarım arazisinde ana ürün olarak üretiliyorsa", yağ bitkileri RED II gıda ve yem bitkileri tanımı kapsamına girmektedir. Adına rağmen, RED II'nin gıda ve yem bitkisi tanımı yenilebilirlikle bağlantılı değildir ve bu nedenle biyoenerji amacıyla ana ürün olarak yetiştirilen yenmeyen bir yağ bitkisi, bu tanım kapsamında yine de gıda ve yem bitkisi olarak sayılacaktır. Gıda ve yem bitkisi bazlı biyoyakıtlar RED II hedefleri doğrultusunda bir kez sayılır ve bunların toplam kullanımı için Üye Devlete göre değişebilen bir üst sınır vardır. Ancak ara ürün olarak yetiştirilen yağ bitkileri, üretimlerinin "ek arazi talebini tetiklememesi" koşuluyla gıda ve yem bitkisi olarak tanımlanmaz. Bu nedenle, örtü ekimi veya ara ekim sistemlerinde yetiştirilen düşük ILUC sertifikalı yağ bitkileri, gıda ve yem bitkilerine uygulanan kullanım sınırlamalarına tabi olmayacaktır.

Lignoselülozik malzeme RED II kapsamında daha olumlu muamele görmektedir. Lignoselülozik malzemelerden üretilen biyoyakıtlar gelişmiş olarak değerlendirilir ve RED II hedeflerine iki kez sayılmaya uygundur ve lignoselülozik malzemeden elde edilen yakıtların katkısı üzerinde herhangi bir sınırlama yoktur.

RED II, farklı hammadde türleri için Komisyon ve Üye Devletlerin karar alma süreçlerini bilgilendiren 'geçici tahmini' ILUC emisyon değerlerini içermektedir. Yağ bitkilerine ortalama 55 gCO₂e/MJ ILUC değeri atanmıştır, ancak lignoselülozik ürünler

Direktif kapsamında ilişkili ILUC emisyonlarının olmadığı kabul edilmektedir. RED II bağlamında, düşük ILUC riski sertifikasyonu bu nedenle yağ bitkileri için lignoselülozik bitkilerden daha önemlidir.

RED II, düşük ILUC riskine sahip sertifikalı biyoyakıtlara ek destek sağlanması için iki fırsat sunmaktadır. Birincisi, ek hammadde üretim sistemlerinin Ek IX'daki listeye eklenerek hedeflere yönelik iki kez sayılmaya uygun hale getirilmesine izin vermektedir. Şu anda, Ek IX'daki girişlerin hiçbiri düşük ILUC-risk sertifikasyonuna bağlı değildir, ancak prensipte bu tür bir koşula bağlı yeni girişlerin eklenmesi mümkün olacaktır. İkinci olarak, Madde 26 (1) Üye Devletlere ulusal destek sistemlerini oluştururken ILUC emisyonlarına ilişkin en iyi kanıtlara dayalı olarak biyoyakıtlar arasında ayırım yapma imkanı vermektedir. Bu, bir Üye Devletin düşük ILUC risk sertifikası olarak ILUC etkilerini azaltan biyoyakıtlara ulusal mevzuat kapsamında daha elverişli bir muamele sağlamasına olanak tanıyacaktır. Direktif bu hammadde için ILUC tahminlerini içerdiğinden, bu fırsat yağ, nişasta ve şeker bitkileri için açıktır. Ancak lignoselülozik ürünler için, bir Üye Devletin en iyi kanıtların sertifikalandırılmamış malzemenin sıfır olmayan ILUC emisyonlarıyla ilişkili olabileceğini gösterdiğini iddia etmesi gerekecektir (Ek VIII'de yer alan varsayımın aksine), çünkü bir ürünün zaten sıfır ILUC emisyonuna sahip olması bekleniyorsa, düşük ILUC risk sertifikasyonu herhangi bir prima facie emisyon faydası sağlamayacaktır.

4.3.2. Daha Geniş Politika Kesişimleri

Enerji odaklı RED II'nin ötesinde, biyoenerji hammaddelerinin üretimi, dekarbonizasyon hedefleri, tarım politikası, kirlilik kontrolü, biyoçeşitlilik, kırsal kalkınma ve daha fazlası dahil olmak üzere AB politikasının diğer alanlarıyla kesişmektedir.

Gerçekten de, düşük karbon ekonomisi için biyokütle üretimi, Avrupa'nın enerji ve tarıma yönelik siyasi hedeflerinin temel taşı olmaya devam etmektedir. Avrupa Yeşil Anlaşması ve Ortak Tarım Politikası (CAP), Avrupa bölgelerinde üretim yollarını çeşitlendirerek (ve dolayısıyla çiftlik gelirlerinin uygulanabilirliğini artırarak) çiftlik düzeyinde rekabet gücünü ve ekonomik dayanıklılığı artırmayı amaçlayan önemli araçlardır.

Düşük ILUC-risk konsepti ile OTP'de yer alan bazı pan-AB agro-ekolojik hedefler arasında da güçlü bir örtüşme vardır (örneğin, tarımsal kaynakların onarılması ve geliştirilmesine ilişkin Öncelik 4 ve verimli ve düşük karbonlu üretime ilişkin Öncelik 5). Kullanılmayan, terk edilmiş veya ciddi şekilde bozulmuş arazilerde ürün yetiştirilmesinin teşvik edilmesi, düşük kaliteli arazilerin restore edilmesi için bir fırsat sunmaktadır; bu sadece mevcut çiftlik gelir desteği ve yeşillendirme ödemesi önlemlerine değil, aynı zamanda daha genel kırsal kalkınma finansmanı düzenlemesine de dayanmaktadır. Bu ortak hedefler göz önünde bulundurularak CAP, farklı AB Üye Devletlerinin ihtiyaç ve koşullarına göre esnek olacak şekilde yapılandırılmıştır: ulusal hükümetler Stratejik Planlarını, kendi çevresel hedefleri ile düşük ILUC-risk sistemi (diğer atık bazlı biyoyakıt yollarının yanı sıra) arasındaki uyumdan yararlanacak şekilde tasarlayabilir ve muhtemelen ürün bazlı biyoyakıtlara ek sürdürülebilirlik gereklilikleri getirebilir. Ayrıca, ürün rotasyonları ve örtü altı ekim gibi iyileştirilmiş yönetim uygulamaları yoluyla tarımsal verimi artırmanın toprak sağlığı, karbon birikimi ve toprak örtüsünü iyileştirerek yüzey akışını kontrol etme gibi diğer hedeflerle nasıl kesiştiğini daha önce görmüştük. Bu nedenle düşük ILUC riskli üretim sistemleri, AB'nin Tarladan Sofraya Stratejisi, Nitrat Direktifi ve Pestisitler Yönetmeliğindeki hükümlerden doğrudan veya dolaylı olarak faydalanabilir, Habitat Direktifi ve Biyoçeşitlilik Stratejisi, diğerlerinin yanı sıra.

5. Sonuçlar

Sürdürülebilir biyoyakıtlar ulaştırmanın karbonsuzlaştırılması için önemli bir araçtır. Bu durum özellikle kısa vadeli alternatiflerin sınırlı olduğu havacılık, denizcilik ve ağır hizmet sektörleri için geçerlidir. Geleneksel nakliye filoları tarafından kullanımları mevcut altyapı ve motorlarda çok az değişiklik gerektirmektedir ve bu nedenle entegrasyonları sorunsuz ve nispeten hızlı olabilir. Bununla birlikte, hammadde tedariki tarımla bağlantılıdır ve (i) biyokütleli bozmadan ek biyokütle üretmek için sürdürülebilirlik ilkelerine uymalıdır.

gıda ve yem piyasaları ve (ii) biyoçeşitlilik ve toprak kalitesi de dahil olmak üzere ekosistem hizmetlerine yönelik zorlukların ele alınması.

Bu çalışma, ya iyileştirilmiş tarımsal uygulamalardan ya da kullanılmayan, terk edilmiş veya ciddi şekilde bozulmuş arazilerde ekimden faydalanan sürdürülebilir biyoyakıtlar için düşük dolaylı arazi kullanım değişikliği (ILUC) riskli biyokütle ürünlerine yönelik biyofiziksel ve ekonomik fırsatlar üzerine yakın zamanda tamamlanmış ve devam etmekte olan altı Avrupa araştırma projesinden elde edilen bilgileri bir araya getirmektedir.

Elde edilen bulgular, Avrupa'nın tarımsal çevre bölgelerinde hassas tarımsal uygulamalara sahip çeşitli biyofiziksel ürün kombinasyonlarının bulunduğunu ve bu ürünlerin hem münavebenin bir parçası olarak tarım arazilerinde, hem de doğal kısıtlamalara sahip arazilerde (yani kullanılmayan, terk edilmiş ve bozulmuş) yetiştirilmesi ve genel olarak önemli ekonomik ve sosyo-ekonomik faydalar sağlanması için önemli fırsatlar olduğunu göstermektedir. Bu makalede sunulan çalışmadan elde edilen ana sonuçlar ve politika çıkarımları şunlardır:

- Hafif veya ciddi biyofiziksel kısıtlamalara sahip arazilerin restorasyonu çok zor olabilir, çünkü çoğu durumda araziye üretken hale getirmek için önemli çaba ve malzeme girdisi gerekir. Bu durum özellikle yüksek kirlilik içeren arazilerde zorlayıcı olabilir ve çevresel faydalardan ziyade çevresel risklere yol açabilir. Gelecekteki politika müdahaleleri, girdi/çıktı oranını düzenlemek ve sürdürülebilir düşük girdi uygulamalarının korunmasını sağlamak için yerinde olmalıdır.
- Doğal kısıtlama koşullarına sahip alanlarda arazi hazırlığı çok maliyetli olabilir. Çiftçilere ve arazi sahiplerine mali destek sağlanması gerekmektedir. Şu anda karbon tarımı girişiminde tartışılan fırsatlar ve bu tür faaliyetlerin toprak karbonu için faydalı olarak eko-sistemlere dahil edilmesi seçenekleri çok uygundur.

Tarımsal uygulamaların sürdürülebilirlik ve sertifikasyona uygunluğu, düşük ILUC riskli biyokütle ürünlerinin yetiştirilmesinin gezegensel sınırlar içinde gerçekleştirilmesini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Sertifikasyonun güçlendirilmesini ve sürdürülebilirliğe uyumun tutarlı bir şekilde izlenmesini sağlamak önemlidir.

Yazar Katkıları: Kavramsallaştırma, C.P., S.V., B.E., C.S., C.M., A.S. ve D.C.; metodoloji, C.P., S.V. ve B.E.; yazılım, C.P.; doğrulama, C.P., S.G., D.I., S.V., B.E., C.S., C.M., M.P. ve G.V.; resmi analiz, C.P., S.V., B.E., C.S., C.M., V.E.Z., V.V., A.S. ve D.C.; soruşturma, C.P., S.V., B.E., C.S., C.M., A.S. ve D.C.; kaynaklar, C.P., S.V., B.E., C.S., C.M., E.A., A.S. ve D.C.; veri düzenleme, C.P., S.V., B.E., C.S., C.M., A.S. ve E.A.; yazım-rijinal taslak hazırlama, C.P., S.V., B.E., C.S., C.M., V.E.Z., V.V., A.S. ve D.C.; yazım-inceleme ve düzenleme, C.P., S.V., B.E., C.S., C.M., V.E.Z., V.V., A.S. ve D.C.; görselleştirme, C.P.; denetim, C.P. ve D.C.; proje yönetimi, A.S.; fon temini, C.P., A.S. ve D.C. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman: Bu araştırma Avrupa Komisyonu hibe numaraları tarafından finanse edilmiştir: (i) Hibe Anlaşması numarası: 952872-BIKE. Avrupa sürdürülebilir bioekonomisi için düşük riskli biyoyakıt üretimi (2020-2023), (ii) Hibe Anlaşması numarası: 727698-MAGIC-Endüstriyel Ürün Yetiştirmek için Marjinal Araziler ve (iii) Hibe Anlaşması numarası: 773501-PANACEA-Gıda dışı ürünler için tematik bir ağ.

Bilgilendirilmiş Onam Beyanı: Çalışmaya katılan tüm deneklerden bilgilendirilmiş onam alınmıştır.

Çıkar Çatışmaları: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Ek A**Tablo A1.** Geleneksel tarım arazisi koşullarında yedek ürünlerin gözlemlenen elde edilebilir verimleri ve potansiyel verim artışları.

		Kolza tohumu	Etiyopya Hardalı	Crambe	Camelina	Cardoon	Aspir	Castor	Söğüt	Kavak	Biyokütle Sorgum	Miscanthus	Switchgrass	Cardoon	Dev Kamış	Reed Kanarya Çimi
Akdeniz	Temel 2020	3.0	2.5	3.0	3.0	3.5	1.5	3.5	13.0	10.0	20.0	25.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	Verim artışı geliştirilmiş çeşitler	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.4	1.3	1.0	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0
	Sürdürülebilirlik nedeniyle düşük artış uygulamalar	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.2	0.6	2.1	1.7	3.3	4.1	3.3	3.3	3.3	3.3
	Yüksek artış nedeniyle sürdürülebilirliğe uygulamalar	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.4	1.4	1.1	2.2	2.8	2.2	2.2	2.2	2.2
	Öngörülen verim 2030 için	4.1	3.4	4.1	4.1	4.8	2.1	4.8	7.9	13.8	27.5	34.4	27.5	27.5	27.5	27.5
Continental ve Boreal	Temel 2020	4.0	4.0	2.5	2.5	3.0	2.0	0.1	12	10.0	15.0	18.0	18.0		15.0	15.0
	Verim artışı geliştirilmiş çeşitler	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	1.2	1.0	1.5	1.8	1.8	0.0	1.5	1.5
	Sürdürülebilirlik nedeniyle düşük artış uygulamalar	0.7	0.7	0.4	0.4	0.5	0.3	0.0	2.0	1.7	2.5	3.0	3.0	0.0	2.5	2.5
	Yüksek artış nedeniyle sürdürülebilirliğe uygulamalar	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	1.3	1.1	1.7	2.0	2.0	0.0	1.7	1.7
	2030 için öngörülen verim	5.5	5.5	3.4	3.4	4.1	2.8	0.3	16.5	13.8	20.6	24.8	24.8	0.0	20.6	20.6
Atlantik	Temel 2020	4.5	3.5	2.0	2.5	3.0	0.0	0.0	12.0	10.0	15.0	18.0	18.0	14.0	15.0	15.0
	Verim artışı geliştirilmiş çeşitler	0.5	0.4	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0	1.2	1.0	1.5	1.8	1.8	1.4	1.5	1.5
	Sürdürülebilirlik nedeniyle düşük artış uygulamalar	0.7	0.6	0.3	0.4	0.5	0.0	0.0	2.0	1.7	2.5	3.0	3.0	2.3	2.5	2.5
	Yüksek oranda nedeniyle artış sürdürülebilir uygulamalar	0.5	0.4	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0	1.3	1.1	1.7	2.0	2.0	1.5	1.7	1.7
	Öngörülen verim 2030 için	6.2	4.8	2.8	3.4	4.1	0.0	0.0	16.5	13.8	20.6	24.8	24.8	19.3	20.6	20.6

Tablo A2. Doğal kısıtlamaların olduğu arazilerde gözlemlenen elde edilebilir verim ve yedek ürünlerin potansiyel verim artışları.

		Kolza tohumu	Etiyopyalı Hardal	Crambe	Camelina	Cardoon	Aspir	Castor	Söğüt	Kavak	Biyokütle Sorgum	Miscanthus	Switchgrass	Cardoon	Dev Reed	Reed Kanarya Çimen
Akdeniz	Temel 2020	1.5	1.5	1	1	2	0.8	1.5	8	7.5	12	9	8	10	10	10
	Verim artışı genleştirilmiş çeşitler	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.8	0.8	1.2	0.9	0.8	1.0	1.0	1.0
	Sürdürülebilirlik nedeniyle düşük artış uygulamalar	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	1.3	1.2	2.0	1.5	1.3	1.7	1.7	1.7
	Yüksek artış nedeniyle sürdürülebilirliğe uygulamalar	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.9	0.8	1.3	1.0	0.9	1.1	1.1	1.1
	Öngörülen verim 2030 için	2.1	2.1	1.4	1.4	2.8	1.1	2.1	11.0	10.3	16.5	12.4	11.0	13.8	13.8	13.8
Continental ve Boreal	Temel 2020	2.5	1.5	1	2.5	1.5			9	8.5	9	9	8		9	9
	Verim artışı genleştirilmiş çeşitler	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2			0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.0	0.9	0.9
	Sürdürülebilirlik nedeniyle düşük artış uygulamalar	0.4	0.2	0.2	0.4	0.2			1.5	1.4	1.5	1.5	1.3	0.0	1.5	1.5
	Yüksek artış nedeniyle sürdürülebilirliğe uygulamalar	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2			1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	0.0	1.0	1.0
	2030 için öngörülen verim	3.4	2.1	1.4	3.4	2.1			12.4	11.7	12.4	12.4	11.0	0.0	12.4	12.4
Atlantik	Temel 2020	2	1	0.5	2.5	1.5	NA	NA	9	8	9	8	7.5	8	9	9
	Verim artışı genleştirilmiş çeşitler	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2			0.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
	Sürdürülebilirlik nedeniyle düşük artış uygulamalar	0.3	0.2	0.1	0.4	0.2			1.5	1.3	1.5	1.3	1.2	1.3	1.5	1.5
	Yüksek artış nedeniyle sürdürülebilirliğe uygulamalar	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2			1.0	0.9	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	1.0
	Öngörülen verim 2030 için	2.8	1.4	0.7	3.4	2.1	0.0	0.0	12.4	11.0	12.4	11.0	10.3	11.0	12.4	12.4

Referanslar

1. Yenilenebilir Enerji Direktifi II'nin yeniden düzenlenmesi. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/renewable-energy-recast-2030-red-ii> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
2. Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Kullanımının Teşvikine ilişkin 11 Aralık 2018 tarihli ve 2018/2001 sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi (AB). Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0807> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
3. C (2019) 2055 Final. Üretim Alanında Yüksek Karbon Stokuna Sahip Araziye Önemli Bir Genişlemenin Gözlemlendiği Yüksek Dolaylı Arazi Kullanım Değişikliği Riskli Hammaddelerin Belirlenmesi ve Düşük Dolaylı Arazi Kullanım Değişikliği Riskli Biyoyakıtlar, Biyosiviller ve Biyokütle Yakıtlarının Belgelendirilmesine İlişkin (AB) 2018/2001 sayılı Direktifi Tamamlayan Komisyon Yetkilendirilmiş Yönetmeliği. 2019. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2_en_act_part1_v3.pdf (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
4. COM (2019) 142. Komisyon'dan Avrupa Parlamentosu, Konsey, Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesi ve Bölgeler Komitesi'ne Dünya Çapında İlgili Gıda ve Yem Bitkilerinin Üretim Genişlemesinin Durumu Hakkında Rapor. 2019. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2019/EN/COM-2019-142-F1-EN-MAIN-PART-1-PDF> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
5. Malins. Risk Yönetimi-Yenilenebilir Enerji Direktifi Kapsamında Yüksek ve Düşük ILUC-Riskli Biyoyakıtların Belirlenmesi. 2019. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/2019_01_Cerology_Risk_management_study.pdf (2 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
6. ICCT. Avrupa Birliği Yenilenebilir Yakıt Politikasında Yüksek ve Düşük Dolaylı Arazi Kullanım Değişikliği Tanımlarının Analizi. 2018. Çevrimiçi olarak adresinde mevcuttur: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/High_low_ILUC_risk_EU_20181115.pdf (1 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
7. EWABA. Greene Raporu AB'de Eysel UCO Toplama Sistemlerinin Mevcut Gelişiminin Analizi. 2016. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://theicct.org/sites/default/files/publications/Greenea%20Report%20Household%20UCO%20Collection%20in%20the%20EU_ICCT_20160629.pdf (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
8. Goh, B.H.H.; Chong, C.T.; Ge, Y.; Ong, H.C.; Ng, J.-H.; Tian, B.; Ashokkumar, V.; Lim, S.; Seljak, T.; Józsa, V. Kullanımda ilerleme Sürdürülebilir biyodizel ve biyojet yakıt üretimi için atık yemeklik yağ. *Enerji Dönüşümleri. Manag.* **2020**, *223*, 113296. [CrossRef]
9. Sürdürülebilir Karbon Döngüleri. 2021. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/sustainable-carbon-cycles_en (1 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
10. Fit for 55: AB, 2030'a kadar Emisyonları Net %55 Azaltmaya Yönelik İddialı Bir Plan Başlatıyor. 2021. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://energytransition.org/2021/11/fit-for-55-the-eu-launches-ambitious-plan-to-cut-emissions-by-net-55-by-2030/> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
11. Stratas Advisors. Çarşamba günü AB Fit for 55 Paketinden Biyoyakıtlar için Beklentiler. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://admin.stratasadvisors.com/Insights/2021/07122021-EUFitFor55> (4 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
12. Avrupa Sayıştay. Özel Rapor No. 16/2021 Ortak Tarım Politikası ve İklim: AB İklim Harcamalarının Yarıları Ancak Çiftlik Emisyonları Azalmıyor 2021/C 266/04. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d34009cd-ddf4-11eb-895a-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
13. Marc, J.M. *Avrupa'nın Çevresel Tabakalaşması, [Veri Seti]*; Edinburgh Üniversitesi: Edinburgh, Birleşik Krallık, 2018. [CrossRef]
14. PANACEA Çıktı 1.2. Avrupa'daki uygulamaya yakın NFC'lerin envanteri. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://www.panacea-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/D1.2-Inventory-of-near-to-practice-NFC.pdf> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
15. Panoutsou, C.; Singh, A.; Christensen, T.; Alexopoulou, E.; Zanetti, F. *Deliverable D1.3 Strength and Opportunities of Near-to-Practice Non-Food Crops (NFCs)*; PANACEA Reports, AB'nin Horizon 2020 Programı tarafından GA No. 773501 kapsamında desteklenmektedir; Imperial College London: Londra, Birleşik Krallık, 2021. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://www.panacea-h2020.eu/wp-content/uploads/2021/04/D1.3-Strengths-opportunities-of-NFCs-FINAL-.pdf> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
16. Alexopoulou, E.; Christou, M.; Eleftheriadis, I. *Mevcut Kaynak Verimli Endüstriyel Bitkilerin Bilgi Formlarını içeren El Kitabı (Teslim Edilebilir D1.5)*; MAGIC Proje Raporları, AB'nin Horizon 2020 Programı tarafından GA No. 727698 kapsamında desteklenmektedir; CRES: Atina, Yunanistan, 2018. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://magic-h2020.eu/reports-deliverables/> (2 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
17. Panoutsou, C.; Singh, A.; Christensen, T.; Alexopoulou, E.; Zanetti, F. *Deliverable D4.1 Training Materials for Agronomists and Students*; PANACEA Reports, AB Horizon 2020 Programı tarafından GA No. 773501 kapsamında desteklenmektedir; Imperial College London: Londra, Birleşik Krallık, 2021. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://www.panacea-h2020.eu/wp-content/uploads/2021/04/D4.1-Training-manual-for-agronomists-and-students-update-.pdf> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
18. Rettenmaier, N. *D6.1- Tanımlar ve Ayarlara İlişkin Ara Rapor*; MAGIC Proje Raporları, AB'nin Horizon 2020 Programı tarafından GA No. 727698 kapsamında desteklenmektedir; IFEU: Heidelberg, Almanya, 2018. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://magic-h2020.eu/documents-reports/> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
19. von Cossel, M.; Iqbal, Y.; Scordia, D.; Cosentino, S.L.; Elbersen, B.; Staritsky, I.; van Eupen, M.; Mantel, S.; Prysiashniuk, O.; Maliarenko, O.; vd. *Marjinal Arazilerde Endüstriyel Bitkiler için Düşük Girdili Tarım Uygulamaları (Deliverable D4.1)*; MAGIC Proje Raporları, AB Horizon 2020 Programı tarafından GA No. 727698 kapsamında desteklenmektedir; Hohenheim Üniversitesi: Stuttgart (Hohenheim), Almanya, 2018. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://magic-h2020.eu/documents-reports/> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
20. Prussi, M.; Panoutsou, C.; Chiaramonti, D. AB Alternatif Yakıt Talebinin Karşıllanması için Hammadde Mevcudiyetinin Değerlendirilmesi. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 740. [CrossRef]
21. Prussi, M.; Scarlet, N.; Acciaro, M.; Kosmas, V. Avrupa denizcilik sektöründe alternatif yakıtların kullanımındaki potansiyel ve sınırlayıcı faktörler. *J. Clean. Ürün.* **2021**, *291*, 125849. [CrossRef] [PubMed]

22. Yüksek Erüşik Asitli Kolza Tohumu (HEAR). Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.perdueagribusiness.com/specialty-crops/hear/> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
23. Costa, E.; Almeida, M.F.; Alvim-Ferraz, C.; Dias, J. Portekiz'de Crambe abyssinica'dan biyodizel üretim döngüsü. *Ind. Crop. Prod.* **2019**, *129*, 51-58. [CrossRef]
24. Souza, M.C.G.; de Oliveira, M.F.; Vieira, A.T.; de Faria, A.M.; Batista, A.C.F. crambe yağından (Crambe abyssinica) metilik ve etilik biyodizel üretimi: Verim ve oksidatif stabilite için yeni yönler. *Yenilenen Enerji* **2021**, *163*, 368-374. [CrossRef]
25. Llugany, M.; Miralles, R.; Corrales, I.; Barceló, J.; Poschenrieder, C. Cynara cardunculus iyileştirme için potansiyel olarak yararlı bir bitki kadmiyum veya arsenik ile kirlenmiş topraklarda. *J. Geochem. Explor.* **2012**, *123*, 122-127. [CrossRef]
26. Seigné-Itoiz, E.; Mwabonje, O.; Panoutsou, C.; Woods, J. Yaşam döngüsü 1039 değerlendirmesi (LCA): sürdürülebilir döngüsel 1040 biyoekonominin geliştirilmesi için bilgilendirme? *Phil. Trans. R. Soc. A* **2021**, *379*, 20200352. [CrossRef]
27. Fernando, A.L.; Barbosa, B.; Costa, J.; Papazoglou, E.G. Dev Kamış (*Arundo donax* L.): Fitoremediasyon ile Sürdürülebilir Biyoekonomi Arasında Köprü Kuran Çok Amaçlı Bir Ürün. *Biyoremediasyon ve Biyoekonomi* içinde; Elsevier: Amsterdam, Hollanda, 2016; s. 77-95.
28. Bradford, M.; Wieder, W.; Bonan, W.R.W.G.B.; Fierer, N.; Raymond, P.A.; Crowther, M.A.B.P.A.R.T.W. İklim değişikliğine karşı toprak karbonu geri bildirimlerindeki belirsizliği yönetmek. *Nat. Clim. Chang.* **2016**, *6*, 751-758. [CrossRef]
29. AB Karbon Tarımı ve Endüstriyel Karbon Giderimlerini Nasıl Hızlandırıyor? Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.ecomatters.nl/nl/news/how-the-eu-is-accelerating-carbon-farming-industrial-carbon-removals/> (1 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
30. Barrow, C.J. Biochar: Arazi bozulmasına karşı koyma ve tarımı geliştirme potansiyeli. *Appl. Geogr.* **2012**, *34*, 21-28. [CrossRef]
31. Lehmann, J.; Joseph, S. (Eds.) *Çevre Yönetimi için Biyokömür: Bilim, Teknoloji ve Uygulama*; Routledge: Londra, UK, 2015.
32. Panoutsou, C. Katı biyoyakıtların tedariki: AB27'de potansiyel hammaddeler, maliyet ve sürdürülebilirlik sorunları. *Enerji için Katı Biyoyakıtlar* içinde: *A Lower Greenhouse Gas Alternative*; Springer: Berlin/Heidelberg, Almanya, 2010; s. 258, ISBN 978-1-84996-392-3.
33. Boehm, M.; Junkins, B.; Desjardins, R.; Kulshreshtha, S.; Lindwall, W. Kanada Tarım Topraklarının Yutak Potansiyeli. *İklim. Chang.* **2004**, *65*, 297-314. [CrossRef]
34. Capriel, P. 1986 ve 2007 yılları arasında Bavyera'daki (güney Almanya) tarımsal topraklarda organik karbon ve azot içeriğindeki eğilimler. *Eur. J. Soil Sci.* **2013**, *64*, 445-454. [CrossRef]
35. Soilcare Proje Sözlüğü. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.soilcare-project.eu/resources/glossary> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
36. Blanco-Canqui, H.; Shaver, T.M.; Lindquist, J.L.; Shapiro, C.A.; Elmore, R.W.; Francis, C.A.; Hergert, G.W. Örtü Bitkileri ve Ekosistem Hizmetleri: İliman Topraklarda Yapılan Çalışmalardan Elde Edilen Bilgiler. *Agron. J.* **2015**, *107*, 2449-2474. [CrossRef]
37. McNeill, A.; Muro, M.; Tugran, T.; Lukacova, Z. AB ve Çalışma Sahası Düzeyinde İyi Politika Alternatiflerinin Seçilmesine İlişkin Rapor. 2021. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.soilcare-project.eu/downloads/public-documents/soilcare-reports-and-deliverables/18_6-report-13-d7-2-milieu-full-v2/file (2 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
38. COWI, Ecologic Institute, & IEEP. *Bir AB Karbon Tarımı Girişiminin Operasyonel Hale Getirilmesi-Yürütme Özeti*; Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi : Lüksemburg, 2021. [CrossRef]
39. SoilCare Projesi. *A Review of Soil-Improving Cropping Systems*; Oenema, O., Heinen, M., Rietra, R., Hessel, R., Eds.; Deliverable 2.1 (Vol. Report Number); Wageningen University & Research: Wageningen, Hollanda, 2017.
40. Van Delden, H.; Fleskens, L.; Muro, M.; Tugran, T.; Vanhout, R.; Baartman, J.; Nunes, J.P.; Vanermen, I.; Salputra, G.; Verzaandvoort, S.; ve diğerleri. *Avrupa genelinde Toprak İyileştirici CS Uygulama Potansiyeli Raporu*; AB SoilCare Projesi, Hibe Anlaşması 677407'den Teslim Edilebilir 6.2; Avrupa Komisyonu: Brüksel, Belçika, 2021; s. 224. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.soilcare-project.eu/downloads/public-documents/soilcare-reports-and-deliverables/433-report-43-d6-2-report-on-the-potential-for-applying-sics-across-europe-riks-full/file> (3 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir).
41. Aronsson, H.; Hansen, E.M.; Thomsen, I.K.; Liu, J.; Øgaard, A.F.; Kankanen, H.; Ulen, B. Örtü bitkilerinin güney İskandinavya ve Finlandiya'daki ekilebilir arazilerden kaynaklanan azot ve fosfor kayıplarını azaltma yeteneği. *J. Soil Water Conserv.* **2016**, *71*, 41-55. [CrossRef]
42. Woz'niak, A.; Soroka, M. Ekim nöbeti ve toprak işleme sisteminin yabancı ot istilası, ilkbahar buğdayının verimi ve toprağın özellikleri üzerindeki etkisi. *Appl. Ecol. Environ. Res.* **2018**, *16*, 3087-3096. [CrossRef]
43. Woz'niak, A.; Nowak, A.; Haliniarz, M.; Gawe,da, D. Ürün Rotasyonunda ve Monokültürde Yetiştirilen Baharlık Arpanın Verim ve Ekonomik Sonuçları. *Pol. J. Environ. Stud.* **2019**, *28*, 2441-2448. [CrossRef]
44. Bai, Z.; Caspari, T.; Gonzalez, M.R.; Batjes, N.H.; Mäder, P.; Bünemann, E.K.; de Goede, R.; Brussaard, L.; Xu, M.; Ferreira, C.S.S.; et al. Tarımsal yönetim uygulamalarının toprak kalitesi üzerindeki etkileri: Avrupa ve Çin için uzun vadeli deneylerin gözden geçirilmesi. *Tarım. Ekosistem. Environ.* **2018**, *265*, 1-7. [CrossRef]
45. Huttunen, I.; Lehtonen, H.; Huttunen, M.; Piirainen, V.; Korppoo, M.; Veijalainen, N.; Viitasalo, M.; Vehviläinen, B. İklim değişikliği ve tarımsal adaptasyonun Finlandiya havzalarından Baltık Denizi'ne besin yüklemesi üzerindeki etkileri. *Sci. Total Environ.* **2015**, *529*, 168-181. [CrossRef]
46. Ventrella, D.; Giglio, L.; Charfeddine, M.; Lopez, R.; Castellini, M.; Sollitto, D.; Castrignanò, A.; Fornaro, F. İklim değişikliğinin etkisi Güney İtalya'da kışlık durum buğdayı ve domates ekim rotasyonları üzerine: Verim analizi ve toprak verimliliği. *Ital. J. Agron.* **2012**, *7*, e15. [CrossRef]

47. Brahma, B.; Pathak, K.; Lal, R.; Kurmi, B.; Das, M.; Nath, P.C.; Nath, A.J.; Das, A.K. Kuzeydoğu Hindistan'da bozulmuş arazilerin restorasyonu yoluyla ekosistem karbon tutumu. *Arazi Bozunumu. Dev.* **2018**, *29*, 15-25. [[CrossRef](#)]
48. Feliciano, D.; Ledo, A.; Hillier, J.; Nayak, D.R. Dünyanın farklı bölgelerinde hangi tarımsal ormancılık seçenekleri en büyük toprak ve yer üstü karbon faydalarını sağlar? *Tarım. Ekosistem. Environ.* **2018**, *254*, 117-129. [[CrossRef](#)]
49. Shi, L.; Feng, W.; Xu, J.; Kuzyakov, Y. Agroforestry systems: Toprak karbon stoklarının, tutma süreçlerinin ve gelecek potansiyellerinin meta-analizi. *Land Degrad. Dev.* **2018**, *29*, 3886-3897. [[CrossRef](#)]
50. Smith, P.; Clark, H.; Dong, H.; Elsiddig, E.A.; Haberl, H.; Harper, R.; House, J.; Jafari, M.; Masera, M.; Mbow, C.; vd. Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı (AFOLU). *İklim Değişikliği 2014 içinde: İklim Değişikliğinin Azaltılması. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Beşinci Değerlendirme Raporuna Çalışma Grubu III'ün Katkısı*; Edenhofer, O., PichsMadruga, R., Sokona, Y., Minx, J.C., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, Brunner, S., ve diğerleri, Eds: Cambridge, Birleşik Krallık, 2014.
51. Mupepele, A.-C.; Keller, M.; Dormann, C.F. Avrupa tarımsal ormancılığının biyoçeşitlilik üzerinde kesin bir etkisi yoktur: Zaman kümülatif bir meta-analiz. *BMC Ecol. Evol.* **2021**, *21*, 193. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
52. Burgess, P.J.; Rosati, A. Avrupa tarımsal ormancılığındaki gelişmeler: AGFORWARD projesinden elde edilen sonuçlar. *Agrofor. Syst.* **2018**, *92*, 801-810. [[CrossRef](#)]
53. Pereira, P.; Godinho, C.; Gomes, M.; Rabaça, J.E. Çevrenin önemi: Nehir kıyısı galerilerindeki kuş toplulukları Güneybatı İber Yarımadası'ndaki tarımsal ormancılık matrislerinden etkileniyor mu? *Ann. For. Sci.* **2014**, *71*, 33-41. [[CrossRef](#)]
54. Quinkenstein, A.; Wöllecke, J.; Böhm, C.; Grünewald, H.; Freese, D.; Schneider, B.U.; Hüttl, R.F. Avrupa'nın hassas bölgelerinde ara sokak tarımsal ormancılık sisteminin ekolojik faydaları. *Environ. Bilim Politikası* **2009**, *12*, 1112-1121. [[CrossRef](#)]
55. Chimento, C.; Almagro, M.; Amaducci, S. Çok yıllık biyoenerji bitkilerinde karbon tutma potansiyeli: Organik madde girdilerinin ve fiziksel korumanın önemi. *Glob. Chang. Biol. Biyoenerji* **2016**, *8*, 111-121. [[CrossRef](#)]
56. Amaducci, S.; Facciotto, G.; Bergante, S.; Perego, A.; Serra, P.; Ferrarini, A.; Chimento, C. Po Vadisi'ndeki marjinal topraklarda otsu ve odunsu bitkilerin biyokütle üretimi ve enerji dengesi. *Glob. Chang. Biol. Biyoenerji* **2017**, *9*, 31-45. [[CrossRef](#)]
57. Panoutsou, C.; Singh, A.; Christensen, T.; Pelkmans, L. Biyokütle değer zincirlerinde optimizasyonu ele almak için rekabet öncelikleri: Biyokütle CHP örneği. *Global Trans.* **2020**, *2*, 60-75. [[CrossRef](#)]