Tarımsal Biyoenerji Üretimi

H. Hüseyin Öztürk*

1. Giriş

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları, küresel birincil enerji talebinin önemli bir bölümünü karşılamaktadır. Bu enerjinin yaklaşık olarak yarısı, pişirme ve ısıtma amacıyla kullanılan geleneksel biyokütle kaynaklardan karşılanır. Birçok senaryoda, 2050 yılına kadar modern yenilenebilir enerji payının %70'in üzerine çıkması için yeterli potansiyelin var olduğunu belirtilmektedir (IPCC, 2011). Birçok farklı yenilenebilir enerji teknolojisi için, yararlanma ömürleri boyunca hesaplanan enerji maliyetleri, tipik olarak elektrik, ısı ve ulaşım yakıtları için mevcut ortalama fiyatlardan daha yüksektir. Bununla birlikte, daha fazla bilgi ve deneyim kazanıldıkça, yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyetleri azalmaya devam edecektir. Birçok özel durumda, yenilenebilir enerji ekonomik olarak rekabetçi olabilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik, ısı enerjisi ve sıvı biyoyakıtların maliyetleri, geleneksel fosil yakıtlardan üretilenden daha yüksek olabilir. Bununla birlikte, belirli koşullar altında bazı yenilenebilir teknolojiler rekabet edebilir özelliklerdedir. Örneğin, elektrik şebekesine erişimi olmayan uzak kırsal alanlarda, yenilenebilir enerji sistemleri rekabetçidir. Çünkü, yenilenebilir enerji sistemleri kullanıcıların şebekeye bağlanma masraflarından kaçınmalarına neden olurlar. Bu çalışmada; tarımsal üretim ve gıda tedarik zincirinin diğer aşamalarından açığa çıkan organik kökenli atıklardan biyoyakıt üretimi ve kullanımı tartışılmıştır.

2. Tarımsal Biyoenerji Üretimi

Gıda tedarik zincirinin farklı aşamalarından açığa çıkan başlıca biyokütle atıklar şunlardır:

- Hayvansal atıklar
- Bitkisel ürün ve orman artıkları
- Ürün işleme tesislerinden açığa çıkan yan ürünler
- Perakendeciler, konutlar ve restoranlardan açığa çıkan atıklar

Bu tür biyokütle kaynaklar, esnek enerji kaynaklarıdır. Gıda tedarik zincirinin farklı aşamalarından açığa çıkan biyokütle atıklardan aşağıdaki uygulamalarda yararlanılabilir:

- Doğrudan enerji üretmek amacıyla gerektiğinde yerinde kullanılabilirler.
- Başka bir yere satmak için yerinde enerji taşıyıcılarına dönüştürülebilirler.
- Merkezi iklimlendirme veya anaerobik fermentasyon için (Şekil 1 ve 2) birleşik ısı ve güç (CHP) tesislerinde kullanılmak üzere, toplanabilir ve kullanım için tesis dışında satılabilirler.
- Daha büyük ölçekli ticari sıvı biyoyakıt üretim tesislerinde kullanılmak üzere; saha dışına satılabilir ve daha geniş ölçekte ve daha büyük miktarlarda toplanabilirler.

(*) Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü. hhozturk@cu.edu.tr; hhozturk1@gmail.com, ORCID NO: 0000-0001-6904-5539



Şekil 1. *Tarımsal biyogaz tesisleri*

Biyokütle için enerji sektörü dışındaki kullanımlarda da bir rekabet olduğu bilinmelidir. Biyokütle kaynaklar, biyo-malzemeler ve biyokimyasallar üretmek için kullanılabilirler. Biyoenerji sistemlerinin, sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeli çok tartışmalıdır. Bu konuda yanıt bekleyen bazı sorular bulunmaktadır:

• Biyoenerji ve özellikle sıvı biyoyakıtlar, ekonomik kalkınma, toprak ve su kaynaklarının kullanımı için gıdalar ile rekabet edecek mi?

• Arazinin kullanım şeklini değiştirecek mi?

• Arazi kullanım değişiklikleri sera gazı emisyonlarını etkiler mi?

Bu soruları cevaplamak, her durum için çok kolay değildir. Biyoenerji sistemlerinin (Şekil 2), sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeli konusunda duyulan başlıca endişeler şunlardır (Azar, 2011):

• Artan karbon fiyatları, biyokütle üretimini çok çekici hale getirecektir.

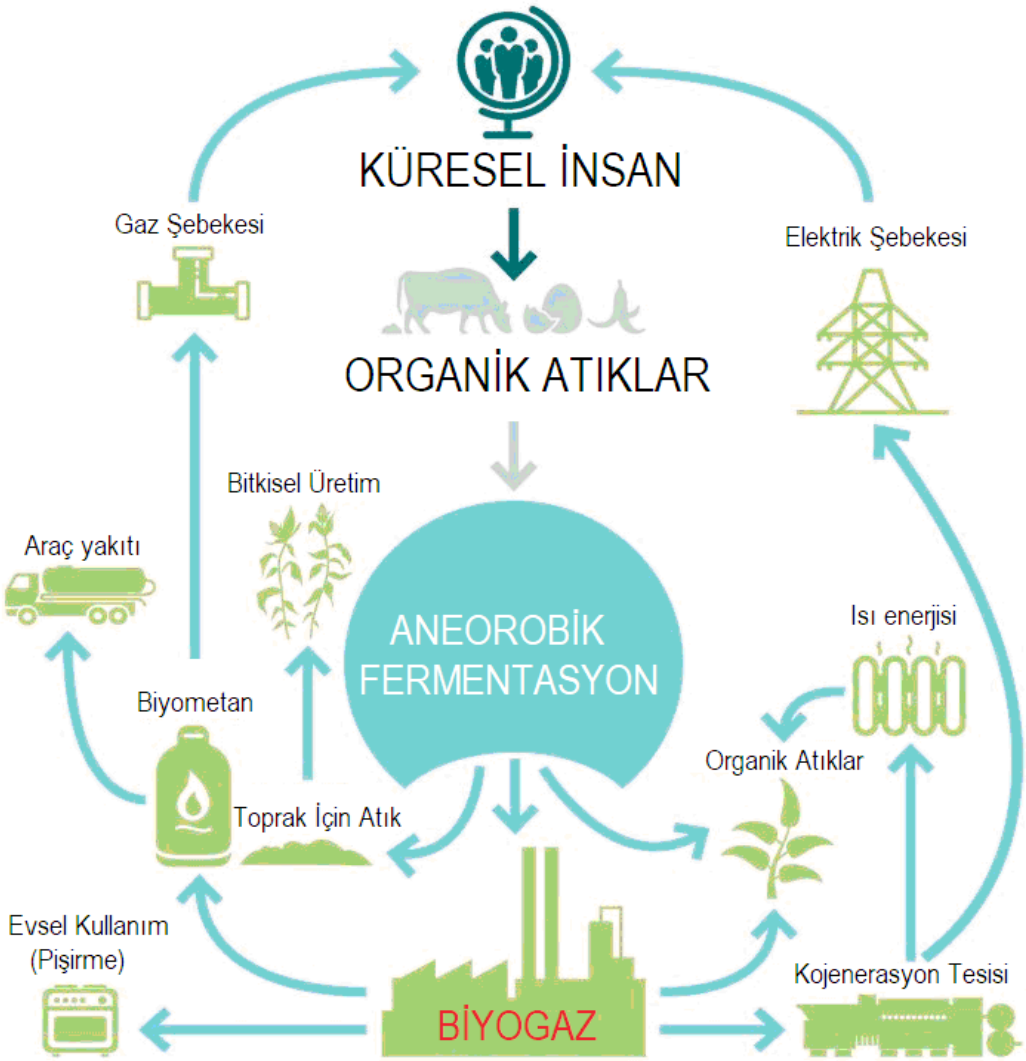
• Tarımla uğraşan kişiler topraklarından tahliye edilecektir.

• Yağmur ormanları ve diğer hassas ekosistemler, biyokütle plantasyonlarına dönüştürülecek şekilde imha edileceklerdir.

• Gıda fiyatları önemli ölçüde artacaktır.

Diğer taraftan, biyoenerji üretiminin tarım pazarlarını çeşitlendireceği de savunulmaktadır. Örneğin, mısır ve buğday ürünleri, öğütme, hayvan yemi veya biyoyakıt hammaddesi için satılabilir. Bu çeşitlendirme, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, sermaye ve beceri alanında tarım için çok ihtiyaç duyulan yatırımlara yönelik ekonomik teşvikler sağlayabilir. Avustralya'daki tuzlu toprakların ıslah edilmesi, gıda üretimi ile bağlantılı tarımsal ormancılık uygulamaları ile biyokütle üretimi, biyoenerji gelişiminin potansiyel faydalarına bir örnektir. Bununla birlikte, enerji bitkileri tarımı, gelecekteki gıda üretimi için toprak verimliliğini korumaya ve bazı durumlarda iyileştirmeye yardımcı olabilir.

Biyokütle üretimi dikkatli bir yönetim ile toprak veya su için gıda üretimi ile rekabet



Şekil 2. *Biyogaz üretim ve tüketiminde işlem akışı*

etmeyen ve sera gazı emisyonlarına katkıda bulunmayan yöntemler ile sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilebilir. Örneğin, entegre gıda enerji sistemleri ile hem gıda hem de yakıt üretimine yardımcı olabilecek biyoenerji üretim sistemleri geliştirme olanakları vardır (Şekil 2). Latin Amerika, Afrika ve Asya'da (FAO, 2009c) 12 ülkede 15 durum çalışmasında yapılan pazar analizleri, küçük ölçekli, tarımsal işletmelerdeki biyokütle kaynakların yerel kullanım için ısı enerjisi, güç ve biyoyakıt üretmek için kullanılabileceğini doğrulamıştır. Biyokütle kaynaklar, kırsal kesimde yaşayan küçük ölçekli aile işletmeleri için, yerel geçim kaynakları, ithal fosil yakıt bağımlılığını azaltma ve yerel gıda güvenliği üzerinde olumsuz etkisi olmayan yeni fırsatlar sunmaktadır. Dünya Çevre Örgütü tarafından finanse edilen *"Afrika için Kojenerasyon"* projesi, Afrika ülkelerinde biyokütleye dayalı verimli CHP *(Combined Heat and Power)* sistemlerinin uygulanmasını desteklemiştir. Bu tür uygulamalarda, yenilenebilir enerji sağlama ve sera gazı emisyonlarının azaltılma-

sına katkıda bulunma konusunda büyük bir potansiyel vardır. Mauritius, toplam elektrik arzının yaklaşık %40'ını şeker kamışı küspesi kullanan CHP sistemlerinden karşılamaktadır (Karekezi ve Kithyoma, 2006).

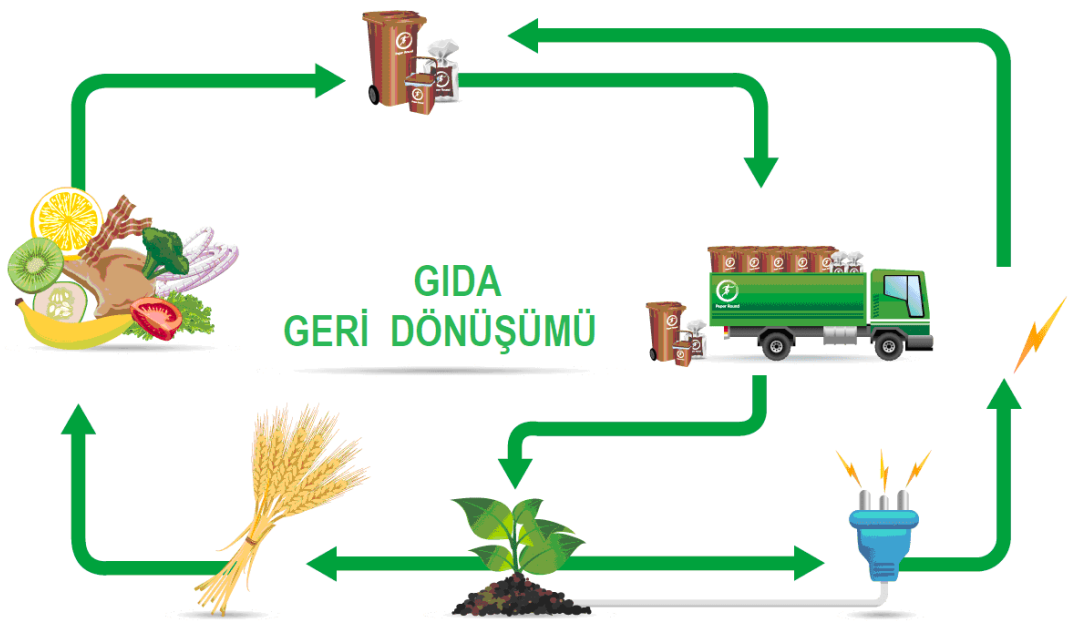
Mısır, şeker kamışı ve kolza gibi enerji bitkileri, ulaştırma araçları ve birlikte ısı ve güç üretimi için sıvı biyoyakıt üretimi amacıyla, biyokütle tedarik edebilmek için bazı ülkelerde yetiştirilmektedirler. Gıda ve biyoyakıt üretimi arasındaki toprak ve su kaynakları için rekabet konusundaki endişeler, yeni ve gelişmiş ticari ürün çeşitlerinin geliştirilmesi konusunda yapılan araştırmaların itici güçleridir. Bu tür iyileştirmeler, ürünlerin su ihtiyacını azaltarak ve verimi artırarak, gelecekte biyoyakıt üretimi için ürün üretiminin daha enerji verimli hale getirilmesine yardımcı olacaktır.

3. Gıda Tedarik Zincirinde Oluşan Atıklar/Kalıntılar

Gıda tedarik zincirinde açığa çıkan/oluşan atıklar/kalıntılar (Şekil 3), enerji üretmek için bir başka potansiyel seçenektir. Bu biyokütle materyallerin bir enerji dönüşüm tesisine gönderilmek üzere toplanması ve tesise teslim edilmesi süreçlerinde gerçekleşen maliyetler, bölgeler bağlı olarak değişmektedir. Bu maliyetler genellikle, teslim edilen GJ (GigaJoule) enerji başına para birimi (GJ/para) olarak belirlenir. Biyokütle materyallerinin bir enerji dönüşüm tesisine gönderilmek üzere toplanması ve tesise teslim edilmesi süreçlerinde gerçekleşen maliyetler aşağıdaki etmenlere bağlı olarak değişir:

- Üretim ölçeği
- Nakliye için gerekli ortalama uzaklık
- Üretilen biyokütle materyalin özellikleri

Hurma yağı üretiminden arta kalan çekirdek ve hevenk gibi biyokütle materyalin, işleme faaliyetlerinin bir parçası olarak yerinde toplandığı gıda işleme tesislerindeki maliyetler kısmen düşük yaklaşık (0-2 USD/GJ) olabilir (IPCC, 2011d). Bu tür atık biyokütle materyali enerji kaynağı olarak kullanmak, atık bertaraf maliyetlerini ortadan kaldırdığı için, maliyet tasarrufu sağlayabilir. Çiftlikler-



Şekil 3. *Gıda geri dönüşümü*

de, hayvansal atıkların ve balyalanmış tahıl samanı gibi ürün kalıntılarının toplanması ve depolanması, biyokütle tedarik maliyetlerini (yaklaşık 2-4 USD/GJ) artırır. Biyoenerji üretmek için özel olarak ürünlerin yetiştirilmesi süreçlerindeki; üretim, hasat, nakliye ve depolama maliyetlerinin hepsinin dahil edilmesi gerektiğinden, tedarik maliyetleri daha yüksektir (5-10 USD/GJ veya daha yüksek) (IPCC, 2011d).

Bütün enerji girdisi hesaplamaları, birincil enerji girdilerine bağlı olarak yapılır. Bütün enerji akışları, dönüştürülememiş ve taşınmamış doğal kaynaklar olarak hesaplanır. Böylece, hesaplamalarda bu ürünlerin bünyelerinde bulunan enerji kadar, enerji taşıyıcıları, taşıt tekerlekleri ve kimyasal gübre üretimi için gerekli enerji miktarları da dikkate alınır. Dizel yakıtının üretimi ve dağıtılması için tüketilen enerji, yakıtın enerji içeriğinin %10'u olarak kabul edilir. Bu durumda, 1 litre dizel yakıtının enerji içeri 42,6 MJ olarak dikkate alınır.

Performans ve dönüşüm verimliliklerinde sürekli iyileştirmeler aranmasına rağmen, yanma, gazlaştırma ve piroliz gibi modern termokimyasal dönüşüm teknolojileri giderek büyük ölçüde olgunlaşmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler, anaerobik ferementasyon gibi bazı biyokimyasal dönüştürme işlemleri için de geçerlidir. Bu konularda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları ve ticari tesisler için yapılan önemli analizler, maliyetlerin büyük ölçüde değiştiğini ve sahaya özgü olduğunu belirtmektedir.

Son zamanlarda, bazı organizmaların karbon tutma potansiyeli nedeniyle, su bitkileri ve mikro alglerin sıvı biyoyakıt üretimi için hammadde olarak kullanılmasına olan ilgi artmıştır. Göllerde ve kıyı sularında, su bitkilerinin hasat edilmesi, şehir merkezlerinden veya tarım alanlarından gelen besinlerin neden olduğu aşırı azot ve fosfor seviyelerini azaltmaya yardımcı olabilir. Hektar başına yağ verimi, yağ bitkilerine göre birkaç kat daha fazla olabilir. Bununla birlikte, çok sayıdaki tanıtım amaçlı uygulama projesi, hücre kütlesi ve kullanılabilir substratın ayrıştırılmasının hala maliyetli olduğunu ve sistemlerin kısmen yüksek enerji girdileri gerektirdiğini teyit etmiştir. Gelecekte, entegre çoklu-trofik su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde, yoğun balık veya karides yetiştiriciliği ile birlikte, çözünmüş besinleri asimile etmek için yosun bazlı biyorafineri sistemleri ve deniz yosunu üretimi uygun bir seçenek olabilir.

Biyokütle üretimi ve gıda fiyatları arasındaki etkileşim tartışmalı bir konudur. Enerji piyasalarındaki oynaklığın, gıda fiyatları üzerinde potansiyel olarak önemli bir etkisi olabilir. Bu durumun gıda güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma üzerinde ciddi etkileri olacaktır. Karbonun biyoenerji üretimine bağlanmasında bazı endişeler duyulmaktadır:

- Karbon tekrar toprağa geri verilemeyecektir.
- Biyokütlenin topraktan çıkarılarak uzaklaştırılması, topraktaki bitki besin elementlerinin tükenmesine daha fazla katkıda bulunacaktır.

Bu tür endişeler, belirli bir alandan enerji üretimi için mevcut olan biyokütlenin kullanımını sınırlayabilir. Bu durum, inorganik gübrelerin kullanılmasını önleyen korumalı tarımı ve organik tarım sistemleri için özellikle önemlidir. Biyokütle ürünlerinden enerji ve gıda üretiminin entegrasyonu, teknik olarak birçok durumda mümkündür. Bununla birlikte, gıda ürünleri ve enerji üretimi entegrasyonunun çok dikkatli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gerekir. Biyokütle üretimi ve kullanımının sürdürülebilirliği konularında, FAO, IEA Biyoenerji, Sürdürülebilir Biyoyakıtlar Masası ve Küresel Biyoenerji Ortaklığı gibi çeşitli kuruluşlar tarafından kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

4. Tarımsal Biyokütleden Enerji Üretimi

Tarımsal biyokütle, mısır nişastası bazlı etanolü takiben, biyoenerji için "ikinci nesil" bir tarım kaynağı olarak hedeflenmektedir. Hedeflenen biyokütlenin çoğu tarımsal ürün kalıntılarıdır. Bununla birlikte, ürün kalıntılarının kullanımı konusunda bazı endişeler de duyulmaktadır. Bu tür uygulamalara, çok temkinli yaklaşılmaktadır. Çünkü, ürün kalıntısı bir atık değildir. Değerli bir metadır ve toprak kalitesini korumak için gereklidir. Tarımsal üretim alanlarında, tarımsal ürün kalıntılarının sağladığı başlıca çevresel ve tarımsal yararlar şunlardır:

- Bitki kök bölgedeki erozyonu kontrol edilmesini sağlar.
- Toprak suyunun korunmanı sağlar.
- Besin öğelerinin geri dönüştürülmesini sağlar.
- Toprak mikro ve makro faunalarını etkin duruma getirir.
- Tür çeşitliliğinin iyileştirilmesini sağlar.
- Toprak yapısının ve eğimin korunmasını sağlar.
- Nokta dışı kaynak kirliliğinin azaltılmasını sağlar.
- Toprak yapısının korunması için ürün kalıntılarının korunmasını sağlar.
- Kıyı bölgelerinde hipoksi riskinin azaltılmasını sağlar.
- Gübre ve diğer girdilerin kullanım verimliliğinin arttırılmasını sağlar.
- Biyokütle tarımsal verimin sürdürülmesini sağlar.
- Toprak organik madde içeriğinin iyileştirilmesi/sürdürülmesinin sağlar.

Belirtilen bu yararlar, toprakların gelecek kuşaklar için sürdürülebilir kullanımına ilişkin gerekli tüm ekosistem hizmetlerini ve işlevlerini sağlayabilecek düzeyde tutmak için gereklidir. Biyoyakıt kullanımı, özellikle toprak ve çevre kalitesinin bozulmadan uygun hammadde kaynaklarının tanımlanması koşuluyla gaz emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir.

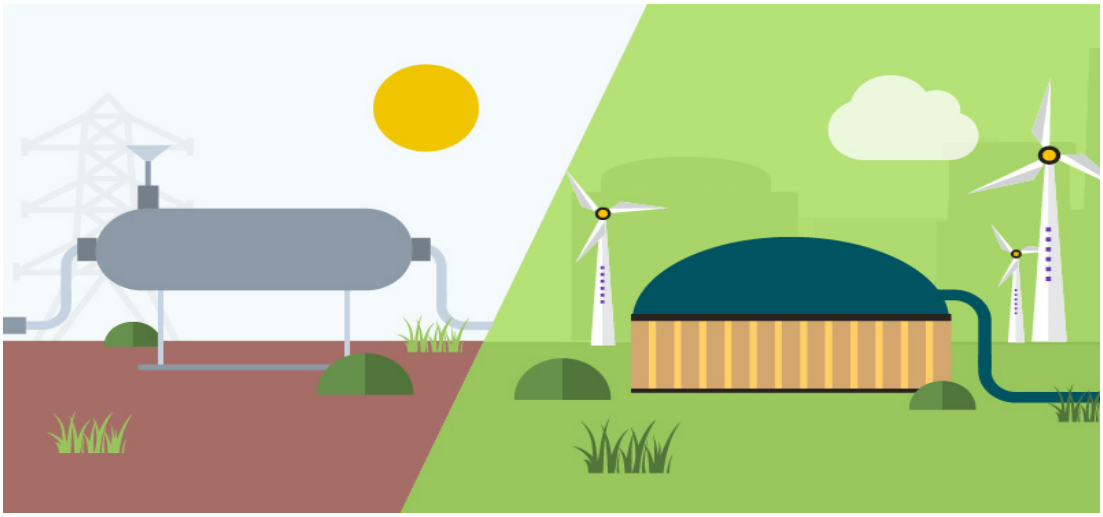
Toprak organik maddesini yenilemek için mısır anızına duyulan gereksinimin, su ve rüzgar erozyonunu kontrol etmek için duyulan gereksinimden daha fazla olduğu belirtilmektedir. Bir başka çalışmada, 4 yıllık bir süre boyunca, topraktaki mısır köklerinin çıkarılmasının etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, mısır anızındaki köklerin %25'den fazlasının çıkarılmasının toprak kalitesi üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, mısır köklerinin topraktan çıkarılmasının, eğimli veya erozyona meyilli topraklar üzerinde en olumsuz etkilere sahip olacağı bildirilmektedir. Mısır anızı konusunda, kütlesel olarak mısır köklerinin %40'nın kaldırılmasının (tarlada %60'nın kalması) toprağı korumak ve erozyonu önlemek için bir üst sınır olarak belirtilmektedir. Bu beş yıllık çalışmada, topraktan %40 düzeyinde bile mısır köklerinin çıkarılmasının, toprak sağlığına zararlı olmadığından emin olmak için, uzun vadeli çalışmalara ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır (Obrycki ve Ark., 2018). Bu araştırma, biyokütleden enerji üretimi için yıllık tedarik çalışmalarında mevcut biyokütle tahminlerinin sorgulamasını gerektirmektedir. Mısır köklerinin çıkarılması, toprak erozyonunu ve toprak sağlığını etkilediğinden, daha az geleneksel çok yıllık ürünler, toprak organik maddesini azaltmadan ve toprağın üretim kapasitesine zarar vermeden, potansiyel olarak daha sürdürülebilir bir selülozik hammadde kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Bir dizi birincil üretim faaliyeti için gerekli olan doğrudan enerji girdilerinin ve oransal enerji talebinin ve bu faaliyetlerin

her birinden elde edilebilen olası yenilenebilir enerji kaynaklarının bir göstergesi Çizelge 1'de verilmektedir. Her bölge, yenilenebilir enerji üretmek için kullanılabilecek, belirli doğal kaynaklara sahip olduğundan, burada verilen tipik örneklerin pek çok istisnası vardır. Ormanlardan elde edilen odunsu biyokütle kalıntıları dahil edilmez, insan emeği, hayvan gücü veya GSYİH değeri düşük ülkelerde kullanılan geleneksel biyokütle dahil değildir.

Çizelge 1. *Başlıca Bir Birincil Üretim İşletmesi İçin Enerji Girdileri, Talep Yoğunlukları, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji İhracat Potansiyelleri*

İşletme Tipi	*Doğrudan Enerji Girdileri*	*Enerji Talebi Yoğunluğu*	*Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli*	*Enerji Satma Potansiyeli*
Gıda (Buğday, mısır, manyok, hurma, çeltik, şekerkamışı	Traktör yakıtı (Dizel), Sulama, depolama tesisleri konveyörler için elektrik, kurutma için ısı (LPG, gaz)	Mekanizasyon için Dizel yakıt tüketimi yüksek, Sulama için gerekli enerji fazla, enerji tüketimi, korumalı tarı için düşük-orta arasındadır. Isı talebi düşüktür ve mevsimliktir.	Ürün atıklarından ısı, güç ve biyoyakıt üretimi olanağı vardır. Enerji bitkilerinden biyoyakıtlar üretilebilir. Uygun bir bölge ise güneş enerjisi potansiyeli vardır.	Biyoyakıtlar veya biyoyakıt hammaddeleri. Güneş enerjisi. Rüzgar ve hidroelektrik üretimi olasılığı düşüktür.
Sebzeler-Büyük ölçekli işleme (patates, soğan, havuç)	Traktör yakıtı (Dizel). Sulama, ayırma, taşıma, soğutma, havalandırma ve depolama için elektrik.	Mekanizasyon için Dizel yakıt talebi yüksektir. Sulama ve hasat sonrası soğutma yapılırsa güç tüketimi yüksektir.	Yakmak için kuru atıklar. Anaerobik fermentasyon için yaş atıklar. Güneş ve rüzgar enerjisi mümkün.	Yerinde kullanılan ısı ve biyogaz. Güneş enerjisi mümkündür.
Yerel pazar için bahçe sebzeleri (küçük çiftlikler)	2 veya 4 tekerlekli traktörler için traktör yakıtı olarak Dizel. Yıkama için elektrik	Traktör yakıt tüketimi orta düzeydedir. Elektrik tüketimi, soğuk depolama için yüksek, hasat sonu işlemler için düşüktür.	Atık ve artıklar küçük ölçekli biyogaz tesisleri için. yerinde kullanılabilir. Fakat, ölçek küçük ve süreç mevsimliktir.	Düşük
Örtü altında üretim-seracılık	Aydınlatma, sulama için ısı ve güç tüketimi	Mekanizasyon girdileri düşüktür. Kışın ısı ihtiyacı fazladır.	Bazı atıklar yakma için kullanılabilir.	Düşük
Meyve bahçeleri	Traktör için yakıt. Damla sulama, ayırma ve soğuk depolama için elektrik	Orta düzeyde yakıt Sulama ve hasat sonrası depolama yerinde yapılırsa elektrik tüketimi orta düzeydedir	Budama atıkları yakılabilir. Meyve atıkları biyogaz için kullanılabilir.	Düşük
Süt sığırcılığı (50 inekten daha olan büyük ölçekli)	Traktörler için Dizel yakıtı. Sağım, pompalama, soğutma, sulama ve aydınlatma için elektrik. Su ısıtma ve pastörizasyon için ısı	Özellikle sulama yapılırsa, elektrik tüketimi yüksektir. Mekanizasyon için yakıt tüketimi orta düzeydedir. Isı tüketimi düşüktür.	Biyogaz üretimi için gübre. Süt soğutmadan atık ısı. Güneş ısı enerjisi. Uygun yerlerde güneş ve rüzgar	Biyogazdan ısı ve güç üretimi. Güneş veya rüzgar gücü
Kırsal hayvancılık (koyun, sığır, geyik, keçi).	Mekanizasyon için yakıt tüketimi. Kırpma ve soğutma için elektrik tüketimi	Bazı meralar korunmuşsa orta düzeydedir. Çok az güç talebi.	Rüzgar ve hafif eğimli ise hidrolik. Orman artıkları. Uygun yerlerde güneş ve rüzgar	Rü.zgar ve hidrolik güç
Yoğun hayvancılık (domuz, kümes hayvanları, buzağı).	Aydınlatma, havalandırma ve su pompalama için elektrik Traktörler için Dizel yakıtı	Esas olarak iç mekanlarda barındırılıyorsa yüksektir. Kısmen dışarıda ise orta ila düşük. Yem yetiştirilirse yüksek, satın alınırsa düşüktür.	Biyogaz için gübre. Tavuk altlıklarının yakılması. Su pompalama için güneş ve rüzgar.	İşletme ölçeğinde biyogazdan ısı ve güç üretimi
Avlanma balıkçılığı-çekici	Dizel veya fuel oil Soğutma yapmak ve buz üretimi için elektrik	Yakıt tüketimi yüksektir. Elektrik tüketimi düşüktür.	Balık atıklarından biyogaz ve yağ üretimi	Düşük
Avlanma balıkçılığı-küçük botlar ile	Dizel, benzin, 2 zamanlı motor yakıtı. Soğutma yapmak ve buz üretimi için elektrik.	Yakıt tüketim düşük/orta düzeydedir. Güç talebi düşüktür.	İşlem atıklarından biyogaz üretimi.	Hiç yok
Su ürünleri üretimi-Karada veya denizde balık çiftlikleri	Dizel, benzin, botlar için 2 zamanlı motor yakıtı. Isı enerjisi. Soğutma, buz üretme, su pompalama ve havalandırma için elektrik.	Yakıt tüketimi kıyıda düşük; açık denizde ise orta düzeydedir. Sıcak su için ısı düşüktür. Elektrik, işletme türüne bağlı olarak düşük ile orta düzeylerdedir.	Biyogaz için işlem atıkları. Jeotermal veya güneş ısısı. Okyanus enerjisi - örneğin dalga, gelgit ve okyanus akım sistemleri.	Düşük. Gelecekte okyanus enerjisinden elektrik üretilmesi olasıdır.



Şekil 4. *Tarımsal biyoenerji sistemi*

5. Tarımsal Biyoenerji Bitkileri

5.1. Sera Gazı Emisyonu İçin Yaşam Döngüsü Analizi

Kamu politikalarının, tarımsal kaynakları kullanarak biyoyakıt üretimini desteklemesinin temel amacı, küresel sera gazı emisyonlarını azaltmak olmalıdır. Bu durumun nedeni, biyoyakıtların fotosentez sırasında atmosferik CO_2'den salınan bitki bazlı karbondan türetilmesidir. Biyoyakıt yakıldığında, atmosfere geri salınan CO_2, başlangıçta bitki tarafından sabitlenmiş olan CO_2'tir.

Bununla birlikte, biyoenerjinin özellikle yağlı tohumlardan (biyodizel), yemlik mısır nişastasından (etanol) veya hatta bazı selülozik kaynaklardan türetilmesi durumunda, iddia edilen "karbon nötrlüğü" ile ilgili önemli tartışmalar vardır. Anlaşmazlık, dolaylı arazi dönüşümü konusuna büyük önem verilerek, biyoenerji için yaşam döngüsü analizine (LCA) hangi faktörlerin dahil edilmesi gerektiğinden kaynaklanmaktadır. Biyoenerji üretimi için büyük miktarlarda tarım arazisi kullanılırsa, çayırlarda veya ormanlardaki diğer arazileri tarımsal gıda üretimine dönüştürme baskısı artar. Toprak, ekim işlemi için işlendiğinde, büyük miktarda toprak ve bitkisel biyokütle karbonu salınır. Açığa çıkan CO_2, biyoenerji hammaddesi üretimi için sistemden fosil yakıt üretimi ve kullanımına göre, net sera gazı emisyonu azaltma miktarını aşabilir.

Arazi dönüşümünden kaynaklanan sera gazı artışları, hızlı iklim değişikliği küresel bir durum olduğundan, yerel bir değerlendirme ile sınırlandırılamaz. Biyoenerji sera gazı emisyonlarının belirlenmesi, küresel arazi kullanımı değişikliği ve özel biyoyakıt hammaddesinin oluşturulmasının sonuçları da dahil olmak üzere, dikkate alınan biyoyakıt için dikkatli bir LCA çalışması gerektirir. Yaşam döngüsü sera gazı emisyonu (GHG) analizi, sentetik gübre ve tarım ilaçlarından ve biyoenerji hammaddeleri üretmek için kullanılan diğer girdilerden kaynaklanan GHG emisyonlarını da içermelidir. Bu tür LCA çalışmalarında, toprakta organik C depolaması, biyoyakıt hammaddesi bitkilerinde gübre kaynaklı N_2O akışının dengelenmesi ve ürün rotasyonlarında C depolama meydana gelip/gelmediği araştırılmalıdır. Biyoyakıt kaynaklarının en kapsamlı LCA-GHG analizinde, toplam yaşam döngüsü GHG emisyonlarının ($gCO_{2eş}$/MJ, 100 cm) mısır etanolü için 59 ile 66 $gCO_{2eş}$/MJ, mısır kökü etanolü için

14 $gCO_{2eş}$/MJ, dallı darı etanolü için 18 ile 26 $gCO_{2eş}$/MJ ve miskantus etanolü için −7 ile − 0,6 $gCO_{2eş}$/MJ olduğu tahmin edilmektedir. Kavak ve söğüt türevi etanol ile ilişkili sera gazı emisyonları, daha düşük biyokütle verimi nedeniyle, dallı darıdan üretilen etanol için belirtilen değerlerden daha yüksek olabilir (Qin ve Ark., 2016). Kısacası, bu araştırma, sadece miskantus biyokütlesinden gelen etanolün toprakta üretiminden daha fazla karbon tuttuğunu göstermektedir. Bununla birlikte, miskanthus tarafından yüksek düzeyde su kullanımı, su kıtlığına neden olabilir.

Bazı tarımsal biyoenerji üretimlerinin yararları da olabilir. Şalgam veya miskantus gibi çok yıllık bir ürünlerin yetiştirilmesi ve bakımı, mısır üretiminden çok daha az sermaye yoğun bir üretim olabilir. Mısır üretiminden daha az sentetik gübre ve tarım ilacı gerektirir. Yıllık biyoyakıt ürünü, yıllık ürün üretim sisteminin koruma performansını artırabilir. Buna en iyi örnek, soya fasulyesine göre iki kat daha fazla yağ veren ve soğuğa ve kuraklığa toleranslı bir yağ bitkisi olan ketencik gibi, Akdeniz ve Orta Asya'ya özgü tek veya iki yıllık bitkilerdir. Bu tür bitkiler üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu tür bitkiler, buğday nadas rotasyonlarına dahil edilebilir. Böylece, zararlı döngülerinin parçalanmasına ve buğday verimliliğinin artırılmasına katkı sağlanabilir. Böylece, tahıl rotasyon sisteminde pestisit kullanımında genel bir azalma sağlanabilir. Ketencik-buğday rotasyonu, buğday nadas sisteminden çok daha yüksek biyokütle üretimi ve ürün kalıntılarının toprağa geri dönüşümünü sağlar (Chen ve Ark., 2015). Düşük yağış miktarının rotasyonda birçok ürünün kullanılmasını engellediği Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü birçok ülkede ketencik, kış veya yaz ürünü olarak rotasyonlarda kullanıldığında, yabancı ot istilasını azaltmaktadır (Royo-Esnal ve Valencia-Gredilla, 2018).

Bu sistemlerin LCA GHG analizleri, üretim işlemlerinin bozulmuş veya terk edilmiş tarım arazilerinde yapılması, toprak karbon tutumunda önemli bir artışa neden olabileceği takdirde daha da geliştirilebilir (Tilman ve Ark. 2006). Çok yıllık hububat üretimi de yüksek düzeyde karbon tutulması ve yüksek LCA GHG performansı seviyeleri bakımından önemli bir potansiyel göstermektedir. Bu konularda, kamu kurumlarındaki araştırmaların desteklenmesi gerekir. Çin'de serbest bırakılan çok yıllık bir çeltik çeşidinin binlerce hektara ekildiği ve verimleri yerel çeşitlerden çok yüksek düzeylerde olmasa da, karşılaştırılabilir düzeylerde olduğu bildirilmektedir (Haspel, 2019). Yıllık çeşitlerle karşılaştırıldığında, göreceli LCA GHG emisyonları, özellikle CH_4 salımı devam etmektedir.

5.2. Diğer Çevresel Konular

Biyoyakıt hammaddesi, fosil yakıtların kullanımına göre, sera gazı emisyonlarının net olarak azalmasına neden olsa bile, biyoyakıt üretim tesislerinin çevre üzerindeki etkilerine ilişkin başka önemli sorunlar da vardır. Bir biyoyakıt LCA çalışmasında, hem mısırdan etanol üretiminin hem de soya fasulyesinden biyodizel üretiminin net GHG emisyonu artışlarına neden olduğu belirlenmiştir. Bu biyoyakıt üretim sistemlerinin çoğu, benzin ve dizel yakıt ile karşılaştırıldığında, daha düşük net GHG emisyonlarına sahiptir. Bununla birlikte, mısır üretimi için monokültür sistemlerinin daha da genişlemesi veya basit mısır-soya fasulyesi rotasyonlarına ilişkin önemli çevresel ve sosyal sorunlar da vardır. Uzun vadede, çok yıllık yerli çayır bitkileri ve diğer çiçekli bitkilerin karışımları, birim alan başına daha fazla kullanılabilir enerji sağlayabilirler. Bu tür bitkiler, mısır ve soya fasulyesi gibi sıraya ekilen diğer ürünlerden çok daha iyi çevresel özelliklere sahiptirler. Buna ek olarak, mısır ve soya fasulyesi üretiminin yerini, bazı çok yıllık doğal bitkilerle değiştirmek, mevcut aşırı üretim sorunlarını ve emtiaların fiyat değişmelerini azaltma olanağı sağlayabilir.

Biyoenerji projelerinin ekolojik etkilerinin analizleri, alan seviyesi ile sınırlı kalmamalı, aynı zamanda ürün deseni çeşitliliğinde değişiklikler ve birincil ve ikincil yaşam alanları üzerindeki potansiyel etkileri de içermelidir. Bu analizin bir örneği, mısırdan etanol üretiminin neden olduğu, Orta Batı bölgelerinin üst kısmında yer alan ülkelerdeki, mısır üretim alanlarının genişlemesi üzerine yapılan araştırmadır. Douglas Landis ve Ark. (2008), Orta Batı'nın yukarısındaki bölgelerde, mısır üretiminin etkilerini inceleyerek, düşük ürün deseni çeşitliliğinin, soya fasulyesi yaprak bitinin doğal düşmanlarının varlığını azalttığını belirlemişlerdir. Yaprak bitini kontrol etmek için entegre zararlı yönetimi stratejileri uygulayan çiftçiler, dört eyaletli bir bölgede ekosistem hizmetleri için yılda yaklaşık 239 milyon dolar harcamışlardır (Landis ve Ark., 2008). Sonuç olarak, pestisit kullanımı; pestisit üretimi, dağıtımı ve uygulamasıyla ilişkili GHG emisyonlarını da artırmıştır. Bu durumun, ürün deseni değişikliklerinin neden olduğu toplam GHG emisyonları, çevre ekosistemleri ve tarımsal üreticilerin gelirleri üzerinde önemli etkileri olabilir.

Diğer bir konu, biyoenerji bitkilerinin istilacı olma potansiyelidir. Biyoenerji kaynakları olarak yararlanılması düşünülen yeni bitkiler ve ağaç türlerinin başlıca olumsuz (istilacı) özellikleri şunlardır:

- Hızlı büyüme
- Vejetatif olarak çoğalma yeteneği
- Tohum üretim verimliliği
- Az sayıda zararlı ve hastalıkları tolere edebilme yeteneği
- Su stresini ve düşük döllenme seviyelerini tolere edebilme yeteneği

Bu güçlü ürünler çok fazla karbon tutabilseler de, genellikle toprak profili boyunca nem rezervlerini aşırı sömürerek, doğal bitki örtüsünün yer değiştirmesine neden olurlar. Yerli orman veya çayır bitki türlerinin veya her ikisinin mikorizal ortak yaşam belirtilerini içeren yerli toprak florasını olumsuz etkilerler (Wolfe ve Klironomos, 2005).

Bunla birlikte, bu olumsuz özelliklerine rağmen, günümüzde biyoenerji üretimi için aday türlerin çoğunun genetik mühendisliği konusundaki çalışmalar devam etmektedir. Genetiği değiştirilmiş ürünler, piyasaya sürülmeden önce, sınırlı çevresel değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Ancak, halihazırda ürün zararlı bitkiler listesine eklenmedikçe, genetik olarak değiştirilmemiş geniş ölçekli biyoenerji tesislerinin çevresel risklerini değerlendirmek için herhangi bir gereklilik yoktur (Tomasino ve Ark., 2007). Sonuç olarak, genetiği değiştirilmiş tarımsal ürünler için uygulanan yeni teknikler, şimdiye kadar herhangi bir düzenlemeye tabi tutulmamıştır. Bu durumun başlıca nedenleri; bu tekniklerin klasik üretim yöntemlerine çok benzediği ve diğer özellikleri etkilemeden, kuraklığa dayanıklılık gibi, belirli özellikleri geliştirmek konusunda "kesin" görüş ve yaklaşımların olmasıdır. Bu varsayım, son zamanlarda kanıtlanamamıştır ve gen düzenlemesinden kaynaklanan insan sağlığına olan etkileri ve ekolojik zarar potansiyeli doğru bir şekilde değerlendirilmemiştir (Kosicki ve Ark., 2018).

5.3. Sosyal Değerlendirmeler

Tarım arazileri üzerinde üretilen ürünler ve hayvansal üretimin, tarımsal uygulamaların ölçeği ve tarımsal üretim için yeni yatırım fırsatları ile kırsal alanlarda istihdam çeşitliliği ve kalitesi de dahil olmak üzere, sosyal yapı üzerinde önemli etkileri olabilir. Bu tür sosyal etmenler, hangi ürünlerin ve sistemlerin kamu iktisabı veya biyoyakıt üretim teşvikleri de dahil olmak üzere, diğer kamu teşviklerinin belirlenmesi konusunda hiçbir politika seçiminde göz ardı edilmemesi gereken önemli konulardır. Azalan tarım arazileri, gıda üretimi veya kırsal arazinin diğer değerli işlevleri yerine biyoenerji üretimi için

hammadde yetiştirilmesi amacıyla kullanıldığında, yerel insan ve biyolojik topluluklar üzerindeki etkileri zararlı durumlara gelebilir.

Minesota'da yapılan kapsamlı bir çalışma, azaltılmış toprak işlemenin benimsenmesinden, çok yıllık bitkilerin ve sulak alanların yeniden kullanılmaya başlanmasına kadar, tarım sistemlerindeki değişikliklerden kaynaklanabilecek çeşitli faktörlerin Minesota'daki iki havzasın üzerindeki olası etkileri değerlendirmiştir (Boody ve Ark., 2005). Öngörülen sonuçlar, hem sera gazı emisyonları hem de karbon tutumu dahil olumlu çevresel etkiler, üretime yeni başlayanlar için sermaye artışları ve havzalardaki topluluklar arasındaki bağlantılar da dahil olmak üzere, işletme gelirinde net artışları içermektedir. Genel olarak, çalışma, uzun ömürlü kullanım ve daha geniş bir ürün tabanı ve sürdürülebilir hayvancılık sistemleri ile daha çeşitli tarım sistemlerinin kırsal topluluklar için artan sosyal faydalarla sonuçlanabileceğini göstermektedir. Bu durum, daha fazla tarımsal üretim yapma fırsatı, daha çeşitli bir gelir tabanı ve topluluklar içindeki sosyal ağlarda bir artışı içermektedir. Bu tür çok işlevli tarım sistemlerine Avrupa Birliği'nin Ortak Tarım Politikası'nda (OTP) öncelik verilmiştir. OTP'daki çok işlevlilik; tarım üretimi, arazilerin korunması ve sosyal hizmetler arasındaki ilişkilerin geliştirilmesini vurgulamaktadır. Bu tür sosyal düşünceler, özellikle biyoenerji üretimini teşvik etmeyi amaçlayan politikalara karşı, savunmasız bir durumda kalabilirler.

6. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji politikaları, esas olarak çiftlik içi proje gelişmelerini ve gıda işleme tesislerini dikkate alarak gıda sistemlerini desteklemek için enerjinin arz tarafıyla ilgilidir. Örneğin, AB Biyokütle Eylem Planı, politikaların veya kötü politikaların eksikliğinin yenilenebilir enerji gelişiminin üstesinden gelmenin önündeki en önemli engel olduğunu savunmaktadır. Çünkü, uygun politikalar uygulandığında, pazarın olumlu tepki verdiği ve gerekli yapıları ve uygulamaları geliştirdiği inandırıcı bir şekilde kanıtlanmıştır. Yenilenebilir enerji projelerinin geliştirilmesini destekleyen çok fazla politika bulunmaktadır ve bu politikalar tüm dünya ülkelerinde benimsenmiştir (REN 21, 2011). Bu politikalarda, aşağıdaki etmenler dikkate alınmaktadır:

- Yenilenebilir enerji piyasalarının tanıtımı
- Finansal teşvikler
- Standartlar
- İzinler
- Bina kodları
- Kapasite geliştirme
- Araştırma, eğitim ve iletişim
- Paydaş katılımı

Tayland'da 2002 yılında 1 MW'a kadar olan küçük elektrik jeneratörleri için şebeke bağlantı gereksinimlerini basitleştiren düzenlemeler kabul edilmiştir. Bu ve diğer politikalar, gıda, etanol, ısı ve elektrik üreten entegre şeker kamışı ve pirinç biyorafinerilerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Ayrıca, organik artıklar toprağa geri verilerek verimliliğini arttırmıştır. 2008 yılı itibariyle, küspe ve pirinç kabukları da dahil olmak üzere, çeşitli artıkların kullanıldığı 73 biyokütle projesi, 1689 MW kurulu güce sahip olarak geliştirilmiştir (IPCC, 2011e).

6.1. Biyoyakıt ve Yenilenebilir Enerji Politikaları

- İngiliz Enerji ve İklim Değişikliği Dairesi (DECC), gıda üretimini sürdürme veya artırma ihtiyacının, tarımsal sera gazı emisyonlarını azaltma hedefi ile kısıtlandığını kabul etmiştir. Arazi bazlı kaynaklardan yenilenebilir enerji üretimi, Nisan 2010 yılında getirilen tarife garantisi ile önemli bir çözüm

sağlamıştır. Birçok çiftçi, emtia fiyatları keskin bir şekilde düştüğü için, potansiyel olarak %10'luk bir yatırım getirisine sahip yenilenebilir enerji programlarını benimsemektedir (SER, 2011).

• Biyoyakıt stratejileri için, toplam sera gazı emisyonlarında net bir artışı önlemek için bunların dikkatle tasarlanması gereklidir (DECC, 2010). Gıda üretimi için arazi kullanımına ilişkin olarak artan rekabetten kaçınmak için aşağıdaki önlemler alınabilir:

- Tüketim vergisi muafiyetleri

- Üretim ve işleme için finansal destek

- Benzin veya dizel yakıt ile harmanlama seviyelerini zorunlu kılma veya İngiltere'de olduğu gibi bir "Yenilenebilir Taşıma Yakıtları Yükümlülüğü" getirme gibi sıvı biyoyakıtları destekleyen politikalar geliştirmek

Ayrıca, benzin veya Dizel yakıt ikamelerinin enerji üretimi ile bağlantılı arazi kullanım değişikliklerinden dolayı, sera gazı emisyonlarını artırabildiği durumlarda, sürdürülebilir olmayan kaynaklardan üretilen biyoyakıtların kullanımından kaçınılmalıdır. Biyoyakıt politikaları, küresel gıda güvensizliğini tetiklediği için de eleştirilmektedir (Pimentel ve Ark., 2009). Toprak üstü ve toprak altı biyokütle kaynaklarının korunması ve toprak bozulması, İngiltere'nin biyoyakıt mevzuatına dahil edilmiştir (GoS, 2011).

7. Sonuç ve Öneriler

Kırsal nüfusun daha yoksul kesimleri tarafından kullanılmak üzere, şebekeden bağımsız sistemler de dahil olmak üzere, yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyetini azaltmak için tutarlı ve istikrarlı ulusal politikalarla birlikte, koordineli bir küresel enerji stratejisinin kabul edilmesi gerekmektedir. GSYİH değeri yüksek ve düşük ülkelerde birçok yenilenebilir enerji politikası örneği sunmaktadır. Bu incelemelerden bazı önemli dersler çıkarılabilir:

• *Esnek bir yaklaşım gereklidir ve bu yaklaşım belirli durumlara uyacak şekilde uyarlanmalıdır*. Bazı politika unsurlarının, yenilenebilir enerji projesi dağıtımını daha hızlı bir şekilde artırmak konusunda diğerlerinden daha etkili ve verimli olduğu belirlenmiştir. Bu duruma örnek olarak, güneş enerjisinden PV elektrik için birçok ülkede uygulanan tarife garantileri verilebilir. Bununla birlikte, her duruma uygulanabilecek özelliklerde üniversal bir politika önerileri bulunmamaktadır. Gelişen teknoloji, piyasa koşulları ve diğer faktörlere uygum sağlayabilecek özelliklerdeki politika tasarımı ve uygulama yaklaşımlarının bir bütün olarak dikkate alınması, yenilenebilir enerji dağıtımının önündeki engelleri aşmaya yardımcı olabilir.

• *Politika sıralaması önemlidir*. Yasal ve düzenleyici çerçeveler toprak ve diğer kaynakların kullanımı, elektrik şebekeleri ile bağlantı ve entegrasyon ile izin ve hakların tahsisi ile ilgili olarak, yenilenebilir enerji politikaları uygulanmadan önce, yeni proje gelişmeleri için izin verme sürecinin hızlı bir şekilde işlemesi gerekir.

• *Enerji sektörünü, önümüzdeki birkaç on yıl içinde, düşük karbonlu yakıtlar ve teknolojilere dayalı bir sektör haline getirmek, yalnızca yakın vadede değil, tüm bu dönem boyunca maliyeti en aza indirilmesini gerektirecektir.* Karmaşık olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kullanımının faydalarını açıkça göstermek ve en üst düzeye çıkarmak için, tüm sosyal ve çevresel maliyetler ve faydalar hesaplanmalıdır.

• *Yenilenebilir enerjinin başarılı bir şekilde büyümesini sağlayan politikalar, ekonomik açıdan verimli olmayabilir*. Bazı politikaların, biyoyakıtlar için sübvansiyonlar ve tarife garantisinin üstünde bir fiyatlandırma gerektirebilir. Tarife garantisi, proje sahiplerine ulusal şebekeye sattıklarında ürettikleri toplam yenilenebilir elektrik miktarı için bir ödeme garantisidir.

Yenilenebilir enerji projelerine yapılan kamu ve özel sektör yatırımlarının önemli bir kısmı kırsal alanlarda uygulanmaktadır. Bu nedenle, etkili yenilenebilir enerji politikaları, sürdürülebilir kırsal kalkınmayı destekleyebilir. Yenilenebilir bir enerji projesinin inşaatı ve işletilmesi, öncelikle toprak sahibine veya gıda işleme şirketine yarar sağlar. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji projeleri, özellikle de büyük projeler, ekonomiye daha fazla gelir sağlayarak ve istihdam olanakları yaratarak, yerel topluma fayda sağlayabilir. Yeni gelirlerden bazıları kamu hizmetlerinin iyileştirilmesi ve yeni işletmelerin toplum hizmetine sunulması için yönlendirilebilir. İlk proje yeni işler yaratabilir. Ancak yenilenebilir enerji teknolojilerinin daha da geliştirilmesi, bileşenlerin üretimi ve ilgili enerji hizmetlerinin sağlanması ile ilgilenen yerel şirketlerin oluşturulmasıyla, uzun vadeli istihdam olanakları da mümkündür. Bu tür yüksek ücretli iş olanakları, yerel becerilerin geliştirilmesini desteklemekte ve kırsal toplulukların kalifiye işçileri çekmesine yardımcı olmaktadır. Daha uzak kırsal topluluklar için politikalar, altyapı geliştirilirken ve alanın dışından enerji ithal edilirken, yerel olarak üretilen yenilenebilir enerjiye olan erişim olanaklarını destekleyebilir.

Bazı durumlarda, yeni enerji kaynaklarına erişimin iyileştirilmesi ve yerel koşullara dayalı olarak mevcut enerji verimliliğinin artırılması seçenekleri arasındaki ekonomik dengesizlik arasında bir denge kurulması gerekebilir. Hükümetler, aşağıdaki uygulamaları ile tarım toplulukları için enerjiye erişimin geliştirilmesine yardımcı olabilirler:

1) İthal fosil yakıtlar için ödenen perakende satış fiyatını sübvanse etmek

2) Kırsal alanlarda yenilenebilir enerji teknolojilerinin dağıtımını destekleyen önlemler almak

İkinci seçenek doğrudan yerel gıda sistemine enerji sağlayabilir. Biyoyakıtların küçük ölçekli üretimi, gıda ürünlerini yerel pazara taşımak için tarım makinelerine ve araçlarına güç sağlayabilir. Örneğin, saf bitkisel yağ, elektrik üretmek veya tarım ekipmanlarını çalıştırmak için doğrudan Dizel motorlarda kullanılabilir. Saf bitkisel yağ, bitki materyalinden ekstrakte edilen ve daha fazla işlem yapmadan yakıt olarak kullanılan yağdır. Biyoenerji kullanılan yeni teknolojilerin ideal olarak, aşağıdaki özelliklere sahip olmaları gerekir:

- Ürün verimlerini artırmalıdır.
- Depolama ve işleme faaliyetlerini iyileştirmelidir.
- Gelecekteki yatırım ve işletme maliyetlerini en aza indirmelidir.
- İnsan iş gücünü daha etkili kullanımını sağlamalıdır.

Kaynaklar

Azar, C. 2011. Biomass for energy – a dream come true or a nightmare? WIREs Climate Change, DOI 10.1002/wcc.109, John Wiley and Sons Ltd.

Boody, G., B. Vondracek, D.A. Andow, M. Krinke, J. Westra, J. Zimmerman & P. Welle. 2005. Multifunctional Agriculture in the United States. Bioscience, 55: 27-38.

Chen, G., C. R. Hooks, M. Lekveishvili, K. H. Wang, K. H., N. Pradhan, S. Tubene, S., R. R. Weil, and R. Ogutu. 2015. Cover Crop and Tillage Impact on Soil Quality, Greenhouse Gas Emission, Pests, and Economics of Fields Transitioning to Organic Farming. Final report for project ORG 2011-04944.

DECC, 2010. 2050 pathways analysis, Department of Energy and Climate Change, UK. 245 pages.

FAO, 2009c. Small scale bioenergy initiatives – brief description and preliminary lessons on livelihood impacts from case studies in Asia, Latin America and Africa. Policy Innovation Systems for Clean Energy Security (PISCES), Practical Action, and FAO, Environment and Natural Resources Management working paper 31, 149 pages. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

GoS, 2011. Foresight project on global food and farming futures, Synthesis Report C12: Meeting

the challenges of a low-emissions world, UK Government Offi ce for Science, London.

IPCC, 2011a. Special report on renewable energy and climate change mitigation, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, 2011b. Special report on renewable energy and climate change mitigation, Chapter 9, Sustainable Development, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, 2011c. Special report on renewable energy and climate change mitigation, Chapter 8, Integration of Renewable Energy into Present and Future Energy Systems, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, 2011d. Special report on renewable energy and climate change mitigation, Chapter 2 Bioenergy, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, 2011e. Special report on renewable energy and climate change mitigation, Chapter 11, Policy, Financing and Implementation, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change.

Haspel, T. 2019. "Can perennial grains solve the carbon-storage problem?" The Washington Post, February 5, 2019.

Kosicki, M. K. Tomberg and A. Bradley, 2018. Repair of CRISPR-Cas9–induced double-stranded breaks leads to large deletions and complex rearrangements. Nature Biotechnology, 36:675-771. DOI: 10.1038/Nbt.4192.

Landis, D., M.M. Gardiner, W. van der Werf & S.M. Swinton. 2008. Increasing Corn for Biofuel Production Reduces Biocontrol Services in Agricultural Landscapes. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105: 20552-20557.

Obrycki et al., 2018. Corn stover harvest, tillage and cover crop effects on soil health indicators. Soil and Water Management and Conservation. 82, 910-918.

Qin et al., 2016. Influence of spatially dependent, modeled soil carbon emission factors on life-cycle greenhouse gas emissions of corn and cellulosic ethanol. Global Change Biology and Bioenergy, 8,1136-1149.

Pimentel D, Marklein A, Toth M A, Karpoff M N, Oaul G S, McCormick R, Kyriazis J and Krueger T, 2009. Food versus fuels –environmental and economic costs, Human Ecology, Springer, DOI 10.1007/s10745-009-9215-8

REN21, 2011. Renewables 2011 Global Status Report, Renewable Energy for the 21st Century, Paris.

Royo-Esnal, A., and F. Valencia-Gredilla, 2018. Camelina as a rotation crop for weed control in organic farming in semiarid Mediterranean climate. Agriculture, 8, 156.

SER, 2011. Farmers flock to invest in renewable energy schemes, Sustainable Energy Review, 5 September.

Tilman D., J. Hill and C. Lehman. 2006. Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. Science 314: 1598-1600; Fargione, J., J. Hill, D. Tilman, S. Polasky & P. Hawthorne. 2008. Land Clearing and the Biofuel Debt. Science, 319, 1235- 1237

Wolfe, B. E., and J. N. Klironomos. 2005. Breaking new ground: soil communities and exotic plant invasion. BioScience, 55(6), 477-487.