

Biyokütleden Sürdürülebilir Biyoyakıt Üretimi: Biyorafineri Yaklaşımı

Mehmet Ali DAYIOĞLU

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, 06130-Aydınlıkevler-Ankara
dayioglu@agri.ankara.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 04.06.2013

Accepted (Kabul Tarihi): 07.10.2013

Özet: Bu makalede, biyokütleden biyoyakıt, elektrik, ısı enerjisi ve yan ürünlerin elde edilmesi için biyorafineri kavramı irdelenmiştir. Biyorafinerileri sınıflandırma biyokütle ve platformlara dayalı olarak yapılmış; farklı biyorafineri modelleri tanımlanmıştır. Biyokütlenin işlenmesinde kullanılan farklı dönüşüm prosesleri açıklanmıştır. Biyokütleden sürdürülebilir biyoenerji üretilmesini etkileyen ekonomik, sosyal ve çevresel faktörler ele alınmıştır. Örnek olarak, yerel ölçekte tarım işletmelerine lojistik ağlarla bağlantılı biyorafineri modeli oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyorafineri, biyoenerji, sürdürülebilir biyoyakıt üretimi, biyoetanol, biyodizel.

Sustainable Biofuel Production from Biomass: Biorefinery Approach

Abstract: In this paper, the biorefinery concept was analyzed to produce biofuel, electric-heat energy and biomaterials from biomass. The classification of biorefineries based on biomass and platforms was organized; the different biorefinery models were defined. The different conversion processes used in processing of biomass were explained. The economic, environmental and social factors affecting sustainable biofuel production from biomass were handled. As an illustration, a linked biorefinery model with logistic networks to the agricultural enterprises at local scale was generated.

Key Words: Biorefinery, bioenergy, sustainable biofuel production, bioethanol, biodiesel.

GİRİŞ

Son yıllarda küresel ölçekte sanayileşme ve motorlu taşıt sayısının artması, özellikle Çin ve Hindistan'ın fosil kökenli enerji talebi, petrol fiyatlarını tırmandırmakla birlikte küresel ısınmayı da körüklemektedir.

Bugün dünyada tüketilen birincil enerjinin %80'ni fosil yakıtlardan oluşmakta, bunun sadece %58'i ulaşım sektöründe tüketilmektedir. Fosil enerji kaynakları hızla tükenmekte ve kullanımı sonucunda da sera gazı salınımı artmaktadır (Nigam ve Singh 2011).

Son yıllarda, biyokütle enerjisi iklim değişikliğinin önlenmesi, petrol fiyatlarının dengelenmesi ve kırsal kalkınma politikalarının oluşturulmasında etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Küresel ölçekte biyokütle enerjisine yöneliş, ABD ve AB tarafından teşvik ve destek politikalarının açıklanmasıyla 2004-2005 yıllarında başladı (USAID 2009). Burada, özellikle ulaşım sektöründe biyoyakıtların kullanımı sağlanarak, enerji güvenliği, CO₂ gazı salınımındaki artışın önlenmesi ve tarım sektörünü destekleyen yeni piyasaların oluşması amaçlanmıştır.

Modern biyoenerji sektörü tarımsal ve kırsal kalkınma ile birlikte, yeni iş kolları ve istihdam yaratma açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak, biyoenerji sektörünün gelişmesi bölgesel ve ulusal ölçekte etkin bir şekilde yönetilmezse, birçok olumsuz çevresel ve sosyo-ekonomik sorunları tetikleyebilir. Çünkü planlı olmayan biyokütle üretimi gıda güvenliğinin yanı sıra, arazi ve su kaynakları üzerinde baskı yaratmaktadır (Beall ve ark. 2012).

Biyokütleden enerji, biyoyakıt ve biyokimyasal maddelerin üretilmesi konusunda çok sayıda araştırma ve makale mevcuttur (Zinoviev ve ark. 2007; Matsumoto ve ark. 2009; Schnepf, 2010; Demirbaş, 2011).

Hamelinck ve Faaij (2006) gelişmiş biyoyakıtların geleceğine bakış adlı çalışmalarında, ümit vadeden metanol, etanol, hidrojen ve dizel gibi biyoyakıtların kısa ve uzun dönem performanslarının iyileştirilmesini değerlendirmek için sistematik bir araştırma yapmışlardır.

Demirbaş (2008) Türkiye için biyokütle enerji kaynaklarının önemi adlı makalesinde, Türkiye'nin uygun arazi, iklim ve organik kaynakları sayesinde toplam 117 milyon ton biyokütle karşılığı olarak 32 Mtoe biyoenerjiye sahip olduğunu bildirmiştir.

Taylor (2008) biyoyakıtlar ve biyorafineri kavramı adlı çalışmasında, yağ ve şeker bakımından zengin olan biyokütlerden elde edilen biyoyakıt (biyoetanol, biyodizel), enerji (kojenasyon: elektrik+ısı) ve kimyasalların (hidrojen, polimerler) biyorafinerilerde üretilebileceğini tanımlamıştır.

Markevicius ve ark. (2010) sıvı biyoyakıtların üretimi ve kullanımına ilişkin eğilimler ve sürdürülebilirlik ölçütü adlı çalışmalarında, çevresel, sosyal ve ekonomi konularında 35 ölçütü değerlendirmişlerdir.

Demirbaş (2011), biyokütleden rekabetçi sıvı biyoyakıtlar adlı makalesinde, biyoetanol ve biyodizelin üretimine ilişkin teknolojileri, bunların birim maliyetini etkileyen faktörleri ayrıntılı olarak ele almıştır.

Nigam ve Singh (2011) yenilenebilir kaynaklardan sıvı biyoyakıtların üretimi adlı çalışmalarında küresel ölçekte yenilenebilir biyokaynaklar içerisinde tarımsal artık ve atıkların sıvı biyoyakıtlara dönüştürülebilmesi konusunu teknoloji, ekonomik ve çevresel boyutlarıyla irdelemişlerdir.

Liu ve ark. (2012) makalesinde, biyorafineri kavramını esas alarak, ham biyokütleden biyodizel, biyoetanol, biyobütanol, laktik asit ve yan ürünün elde edilmesi konusunu işlemiştir.

Bu makalede, biyokütleden biyoyakıt, elektrik, ısı enerjisi ve yan ürünlerin elde edilmesi için biyorafineri kavramı irdelenmiştir. Biyorafinerileri sınıflandırma biyokütle ve platformlara dayalı olarak yapılmış ve farklı biyorafineri modelleri tanımlanmıştır. Biyokütlenin işlenmesinde kullanılan dönüşüm prosesleri açıklanmıştır. Biyokütleden sürdürülebilir biyoenerji üretilmesini etkileyen ekonomik, sosyal ve çevresel faktörler ele alınmıştır. Örnek olarak, yerel ölçekte tarım işletmelerine lojistik ağlarla bağlantılı biyorafineri modeli oluşturulmuştur.

Biyorafineri Kavramı

Uluslararası Enerji Ajansının tanıma göre (IEA Task 42), biyorafineri çok sayıda ticari madde ve enerji üretilmesi için biyokütlenin sürdürülebilir bir şekilde işlenmesidir (Cherubini ve ark., 2009).

Biyolojik kaynağa ve uygulanan teknolojiye göre, farklı tür yakıtları, elektrik ve kimyasal maddeleri

üretmek için gerekli donanım ve biyokütle dönüşüm proseslerini bulunduran tesislere biyorafineri adı verilir. Biyorafineriler petrol kaynaklı yakıtların ve yan ürünlerin elde edildiği petrol rafinerilerine benzeyen tesislerdir. Ulaşım sektörüne uygun biyoyakıtların biyorafinerilerde üretilmesi kullanılacak teknolojiye bağlıdır.

Biyoyakıtlara geçiş sürecinde, sera gazı salınımı ve enerji güvenliği açısından en sürdürülebilir çözüm, fosil yakıtlara biyoyakıtların karıştırılmasıdır. Belirli oranlarda harmanlanmış yakıt karışımı motorlarda herhangi bir düzenleme yapmadan doğrudan kullanılabilen ve sera gazı dengesi açısından nötr CO₂ çevrimi sağlanabilmektedir.

Ulaşım sektörü büyüdükçe; biyokütleden elde edilen yenilenebilir biyoyakıtlara olan talep de sürekli artmaktadır. Biyorafinerilerin gelişmesindeki temel zorluklar biyoyakıtların üretim etkinliğini arttırmak ve maliyetleri düşürmektir.

Küresel ölçekte biyoyakıt kullanımı

Dünya'da 2010 yılındaki biyoyakıt üretimi önceki yıla oranla %14 artışla 59 Mtoe (milyon ton petrol eşdeğeri) olarak gerçekleşmiştir. Bunun 43.5 Mtoe biyoetanol, 15.8 Mtoe biyodizel üretimidir. ABD ve Brezilya sırasıyla %56 ve %32 payla küresel etanol üretimine yön vermeye devam etmektedir (BP, 2011). Biyoyakıt üretiminin artışıyla birçok ülkede yürürlükte olan karıştırma uygulaması, muafiyet ve teşvik politikaları etkili olmuştur. Bazı ülkeler için benzin ve motorin için zorunlu harmanlama oranları çizelge 1'de örnek olarak verilmiştir (Timilsina, G.R. ve A. Shrestha, 2010; OECD/IEA, 2011).

EPDK'nın 27.09.2011 tarihli ve 28067 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan iki tebliği ile 2013'den itibaren çizelge 1'de verilen oranlarda benzin ve motorine zorunlu biyoyakıt harmanlama uygulaması başlatılmıştır.

Türkiye'de 2010 ve 2011 yıllarında benzin tüketimi sırasıyla 2.08 ve 1.97 milyon ton; motorin tüketimi ise 13.95 ve 14.74 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (EPDK 2011). Buna göre, 2013-2014 yılları için harmanlanacak (E2, E3) biyoetanol yaklaşık 40,000-60,000 ton arasındadır. 2014-2015 döneminde harmanlanacak biyodizel (B1, B2) yaklaşık 160,000-360,000 ton arasında olacağı hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Bazı ülkelerin biyodizel ve biyoetanol yüzde karışım oranları

Ülke	Biyoyakıt hedefleri
ABD	E10(Iowa, Hawaii, Missouri ve Montana) E20 (Minnesota) B5 (New Mexico) E2 ve B2 (Louisiana ve Washington)
AB	E5.75 ve B5.75 (2010) E10 ve B10 (2020)
Brezilya	E20 - E25 B3 (2008) B5 (2012)
İngiltere	E2.5, B2.5 (2008) E5, B5 (2010)
Kanada	E5 (2010) ve B2 (2012) E7.5 (Saskatchewan ve Manitoba) E5 (2007 Ontario)
Türkiye	E2 (2013), E3(2014) B1(2014), B2(2015), B3(2016)

Sürdürülebilir ölçekte enerji tarımından elde edilen biyokütlenin, tarım ve orman artıkları ile organik sanayi atıklarının biyorafineri hammaddesi olarak kullanılması daha rasyoneldir. Bu nedenle, kaynak kullanımına ve son ürüne göre biyorafinerilerin sınıflandırılması yüksek kalitede düşük maliyetli biyoyakıt üretimi için gereklidir.

Biyorafinerilerde Sınıflandırma

Biyorafineri sisteminin sınıflandırılmasında aşağıdaki dört özellik kullanılır:

1. Biyokütle,
2. Proses,
3. Platform,
4. Son ürün.

Biyorafineri esas olarak, platformları ve prosesleri kullanarak biyokütleden son ürünün elde edilmesine kadar olan tüm süreci kapsayan bir dönüşüm sistemidir.

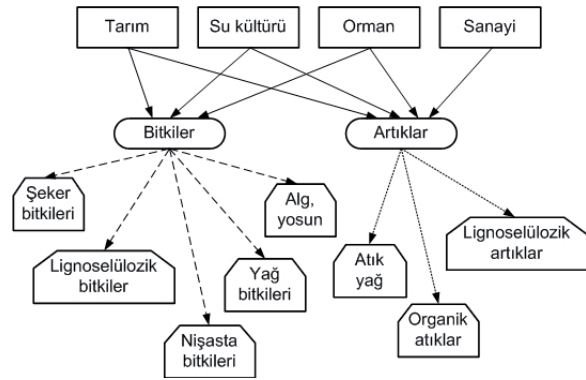
Biyorafineriler için biyokütle kaynakları

Biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen organik madde kaynakları olarak tanımlanmaktadır.

Biyorafineri sistemindeki en önemli aşama sürdürülebilir şekilde ve düşük maliyetle biyokütlenin elde edilmesidir. Biyokütlenin üretimden hasada, hasattan rafineriye kadar olan nakliye, işleme ve depolama maliyetlerinin azaltılması gerekir (Cherubini ve ark., 2010).

Biyokütle biyorafineride ticari olarak satılabilir ürünlere dönüştürülen yenilenebilir organik materyallerdir. Yenilenebilir karbon kaynakları dört farklı sektörden temin edilir (şekil 1):

1. Tarım (Özel üretim bitkileri ve artıkları)
2. Orman (Odun, ağaçlar, tomruk işleme artıkları)
3. Sanayi (Proses sonu artık ve atıkları)
4. Su kültürü (Alg, deniz yosunu)

**Şekil 1. Biyokütle kaynakları**

Biyokütle ham maddesi çizelge 2'de gösterildiği gibi tüm organik materyalleri kapsayan dört ana gruba ayrılır: 1) Nişasta, 2) Şeker, 3) Yağ ve 4) Lignoselüloz.

Ayrıca, kullanılan biyokütleye göre biyoyakıtlar da birinci, ikinci ve üçüncü kuşak biyoyakıtlar olarak sınıflandırılır. Birinci kuşak biyoyakıtlar gıda ve yem sanayinde kullanılan hammaddelerden üretilir.

İkinci kuşak biyoyakıtlar, gıda güvenliği riskinin ortadan kaldırılmasında gıda dışı lignoselülozik enerji tarımından elde edilen materyaller ile tarımsal artık ve atık hammaddelerden üretilmektedir.

Çizelge 2. Biyokütlenin ana kaynakları

1. Kuşak biyokütle			2. Kuşak biyokütle	
Nişasta	Şeker	Yağ	Lignoselüloz	
Mısır	Pancar	Ayçiçeği	Dallı darı	Saman
Buğday	Şeker	Kolza	Keten	Sap
Arpa	kamışı	Soya	Kenevir	Koçan
Çavdar	Tatlı	Aspir	Sorgum	Tabla
Yulaf	sorgum	Pamuk	Kavak	Kabuk
Patates	Manyok	Palmiye	Söğüt	Kavuz
	Kökü	Yerfıstığı	Okalıptus	Çekirdek
		Jojoba	Miscanthus	Dal
		Mısır	Odunsu bitkiler	Küspe
				Odun talaşı
Karbonhidrat		Trigliserid	Selüloz	Artık
			Hemiselüloz	Atık
			Lignin	
Enerji Bitkileri				

Üçüncü kuşak biyoyakıtlar tarımsal üretimde kullanılmayan verimsiz arazilere kurulan havuzlarda gıdayla rekabeti olmayan alglerden elde edilmektedir.

Yukarıda ifade edildiği gibi, farklı kaynaklardan gelen biyokütleyi biyorafineri yaklaşımı içinde ticari olarak satılabilir ürünlere dönüştürmek için bazı teknolojik işlemlerin uygulanması gerekir.

Biyorafineride dönüşüm prosesleri

Kuru biyokütle (15-19 GJ/t) diğer fosil yakıtlarla (örneğin: kömür: 20-30 GJ/t) karşılaştırıldığında daha düşük ısı değerine sahiptir. Buna karşın, biyokütlenin uçucu madde içeriği (%80) fosil yakıtlardan (%20) daha yüksektir (Zhang ve ark. 2010).

Biyorafinerilerde farklı dönüşüm prosesleri kullanılarak, amaca göre biyoyakıt, biyokimyasal, biyomateriyal, gıda, yem gibi son ürünler elde edilir. Biyoyakıt üretim proseslerinin amacı biyokütle bileşenlerinin kimyasal/biyokimyasal parçalanması ve oksijensiz ortamda işlenmesidir. Özellikle motorlu taşıt biyoyakıtlarında, biyokütlenin oksijensiz ortamda işlenmesi yakıtın ısı içeriği, yakıtın polaritesi ve fosil yakıtlarla karıştırılması açısından önemlidir.

Biyokütlenin ısı verimliliğini arttırmak için genellikle dört dönüşüm prosesi uygulanır (Şekil 2):

1. Termokimyasal,
2. Biyokimyasal,
3. Mekanik,
4. Kimyasal.

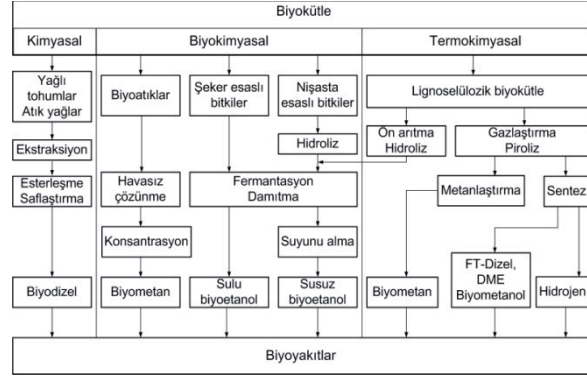
Termokimyasal prosesler

Biyokütleyi enerji ve kimyasal ürüne dönüştürmek için iki temel termokimyasal yöntem kullanılır:

1. Gazlaştırma, 2. Piroliz.

Gazlaştırma yönteminde biyokütle az oksijenli ortamda yüksek sıcaklık seviyesinde (>700°C) tutularak H₂, CO, CO₂ ve CH₄ karışımından oluşan sentez gazı (syngas) üretilir. Sentez gazı ya doğrudan biyoyakıt olarak kullanılabilir ya da farklı yakıtların (Fischer-Tropsch-FT- sentezi ile etanol, metanol, dimetil eter, izobütan) ve kimyasalların (alkol, organik asit, amonyak, metanol) üretilmesinde platform olarak kullanılabilir (Zinoviev ve ark., 2007).

Piroliz yönteminde ise biyokütle daha düşük sıcaklıklarda (300-600°C) ve oksijensiz ortamda tutularak enerji değeri artırılır. Piroliz işlemi sonucunda sıvı yakıt (biyoyağ), katı yakıt (odun kömürü) ve gaz yakıt (sentez gazı) elde edilir.



Şekil 2. Biyokütleye uygulanan dönüşüm prosesleri

Biyokimyasal prosesler

Termokimyasal işlemlerin aksine, biyokimyasal işlemler daha az miktarlarda ve düşük sıcaklıklarda uygulanır. Biyokimyasal işlemleri için fermentasyon ve havasız ortamda çözünme yöntemleri kullanılır.

Fermentasyonda mayalanabilir maddelerin ve ürünlerin elde edilmesinde mikroorganizmalar ve/veya enzimler kullanılır. Şeker, nişasta ve selüloz esaslı biyokütlenin mikroorganizmalarla fermentasyonu sonucunda etanol üretilir.

Havasız ortamda çözünme (anaerobic digestion) 30-65°C sıcaklık aralığında oksijensiz ortamda farklı organik maddelerin bakteriyel bozunmasıyla sağlanır. Bu işlem sonucunda en az %97 metan ve CO₂ gazından oluşan biyogaz üretilir (Rosillo-Calle ve ark., 2007).

Mekanik prosesler

Biyokütlenin içeriğini değiştirmeden, sadece boyutunu, hacmini azaltmak ve parçalara ayırmak için yapılan mekanik işlemleri kapsar. Biyokütlenin kolay taşınması, işlenmesi ve depolanması için gereklidir. Biyokütlenin partikül boyutu, şekli ve hacimsel yoğunluğu azaltılır. Ayrıca, biyokütle kurutma, öğütme ve sıkıştırma işlemlerinden sonra, enerji yoğun pelet ve briket haline getirilir.

Kimyasal prosesler

Biyokütleye en yaygın uygulanan kimyasal işlemler hidroliz ve transesterifikasyondur. Hidrolizde biyokütledeki polisakaritleri ve proteinleri, selülozdaki glikozu parçalamak, yeni kimyasal maddeler üretmek için asit, baz yada enzimler kullanılır.

Transesterifikasyon işlemi günümüzde biyodizel yakıt üretiminde kullanılan en yaygın yöntemdir. Yağ bitkilerine uygulanan ekstraksiyon işleminden sonra,

yağın bazık bir katalizörle birlikte genellikle metanol ile esterleşme kimyasal tepkimesi (transesterifikasyon) vermesi sonucunda biyodizel (yağ asidi metil esteri-FAME-) ve gliserin elde edilir (Zinoviev ve ark., 2007).

Biyorafineri Platformları

Platformlar sonlu ürünlerin türetildiği ortamlar olup; biyorafinerinin tanımlanmasında kullanılır.

Biyorafinerilerde hem enerjistik hem de enerjistik olmayan ürünler elde edilir. Bu nedenle iki önemli ürün sınıfı ortaya çıkmıştır (Cherubini ve ark., 2009):

1. Enerji güdümlü biyorafineri sistemleri: Motorlu taşıt yakıtları, ısı ve/veya elektrik enerjisi üretilir.
2. Materyal güdümlü biyorafineri sistemleri: Biyolojik kökenli (biyomateryal, yağlayıcılar, kimyasallar, gıda ve yem vb) maddeler üretilir.

Enerji güdümlü biyorafineriler genellikle aşağıda sıralanan platformları kullanır:

- Biyogaz
- Sentez gazı (gazlaştırma)
- Hidrojen
- C6 şekerleri
- C5 şekerleri
- Lignin
- Piroliz sıvısı
- Yağ (yağlı tohum bitkileri, alg, atık yağ)
- Elektrik ve ısı (iç kullanım)

Biyorafineri Ürünleri

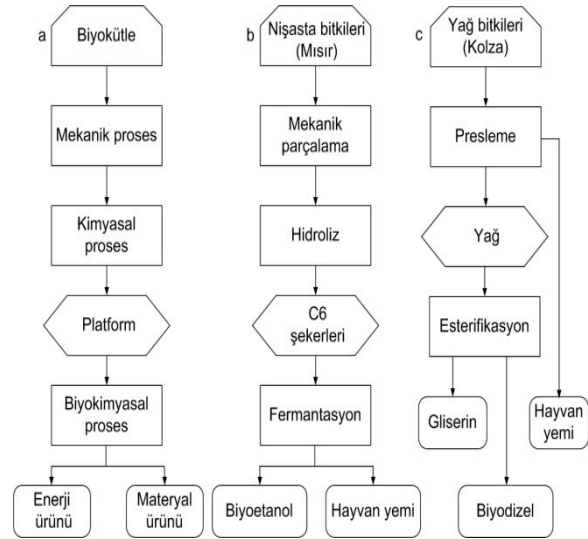
Biyorafinerilerde üretilen en önemli enerji ürünleri aşağıda sıralanmıştır:

- Motorlu taşıtlar için sıvı biyoyakıtlar: Biyoetanol, biyodizel, FT-yakıtları, biyoyağ.
- Katı biyoyakıtlar: Peletler, lignin, odun kömürü
- Gaz biyoyakıtlar: Biyogaz, sentez gazı, hidrojen, biyometan.

Biyorafinerilerde üretilen en önemli kimyasal ürünler ve materyaller aşağıda sıralanmıştır:

- Kimyasal maddeler,
- Organik asitler,
- Polimerler, reçineler,
- Kâğıt, selüloz, tahta panel,
- Gıda ve hayvan yemi,
- Gübreler.

Şekil 3(a)'da biyokütle – proses – platform – son üründen oluşan biyorafineri modeli jenerik olarak gösterilmiştir (Cherubini ve ark. 2009). Bu modele göre, biyokütleden enerji ve/veya materyal ürününe dönüşüm tasarlanabilir. Şekil 3(b)'de mısırdan C6 şeker platformunu kullanarak biyoetanol ve hayvan yemi üreten örnek biyorafineri modeli gösterilmiştir. Benzer yöntemle, şekil 3(c)'deki tek platformlu (yağ) biyorafineri modelinde kolzadan gliserin, biyodizel ve hayvan yemi üretilir. Biyorafineri üretim zincirinde amaca uygun 2-6 ve çoklu platformlu çözümler tasarlanabilir. Şekil 4'de lignoselülozik bitkiler ile beş platformlu (C5, C6, Lignin, Sentez gazı, Elektrik-Isı) biyorafineri modeli verilmiş olup, burada hayvan yemi, biyoetanol, FT biyoyakıtları ve elektrik-ısı üretilir. Şekil 4'deki modelde dallı darı yerine, nişasta bitkileri ve saman ikili biyokütle girişi olarak kullanılabilir.

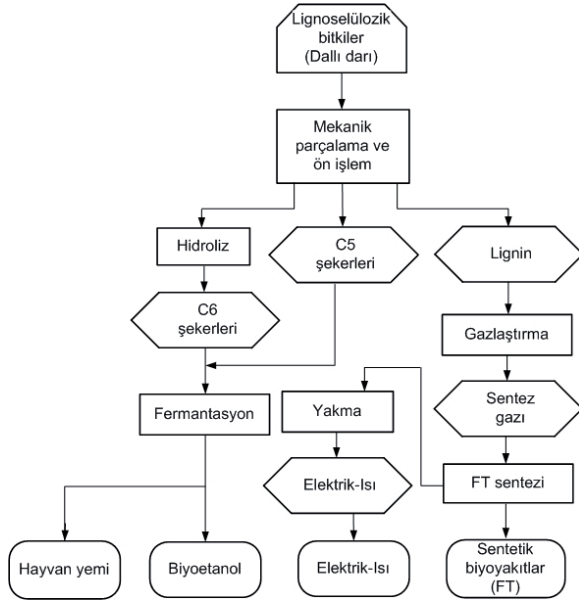


Şekil 3. a) Tek platformlu jenerik biyorafineri modeli, b) C6 şeker platformu, c) Yağ platformu

Sürdürülebilir Bioenerji üretimi

Biyoyakıtların enerji güvenliği, ekonomi ve çevre konularına katkı sağlama potansiyeli yüksektir. Aynı zamanda, bu katkıları gerçekleştirebilmek için bazı zorlukların da aşılması gerekmektedir. Biyoyakıtların üretimi ve tüketimi ile sağlanan faydalar ve karşılaşılan zorluklar çizelgede 3'de vurgulanmıştır.

Yakıt amaçlı biyokütle üretimine ayrılan alan ve kaynak kullanımı sınırlıdır. Biyoyakıt üretiminin artması gıda ve yem üretiminde rekabet yaratmaktadır. Ayrıca, yağmur ormanlarının ve kalıcı meraların yok edilmesi geri dönüşmez sonuçlara neden olabilir.



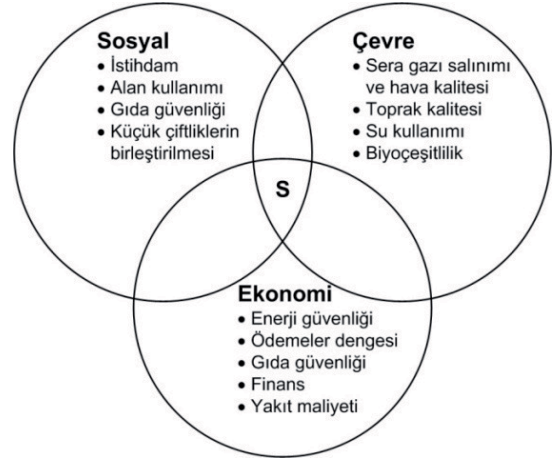
Şekil 4. Beş platformlu biyorafineri modeli

Çizelge 3. Biyoyakıtın potansiyel faydaları ve zorlukları (Nigam ve Sing 2011)

Faydalar	Zorluklar
Enerji Güvenliği <ul style="list-style-type: none"> Evsel enerji kaynağı Lokal dağıtımına uygun Arz-talep zinciri Daha güvenli kaynak 	Hammadde <ul style="list-style-type: none"> Toplama ağı Depolama tesisleri Gıda-yakıt rekabeti
Ekonomik stabilite <ul style="list-style-type: none"> Fiyat karallığı İstihdam yaratma Kırsal gelişme İç yakıt tüketimini azaltma Arz talep boşluğunu azaltma Yeni sanayi kolları Fosil tekeline kontrol etme 	Teknoloji <ul style="list-style-type: none"> Ön işlemde geçirme Enzim üretimi Etkinliğin iyileştirilmesi Teknoloji maliyeti Katma değerli ürün eldesi
Çevresel kazanımlar <ul style="list-style-type: none"> Daha iyi atık kullanımı Düşük yerel kirlenme Sera gazı salınımı azaltma Çöp alanlarının azalması 	Politika <ul style="list-style-type: none"> Alan kullanımı ARGE fonu Pilot ölçek uyg. Ticari ölçeğe geçiş Devlet desteği Vergi muafiyeti

Biyoyakıt üretiminin sürdürülebilir olması sosyal, çevre ve ekonomi ayaklarının sağlam kurgulanmasına bağlıdır (şekil 5). Çünkü biyokütle tarım ve orman alanlarını kapsayan geniş kırsal alana yayılmıştır. Kırsal alanda atıl alanların değerlendirilmesi, istihdam, yeni sanayi alanlarının kurulum potansiyeli vardır.

Biyoyakıtlar, hem üretilirken hem de tüketilirken, sera gazı salınımı, su kullanımı, arazi kullanımı, biyo-çeşitlilik, biyogüvenlik, ekonomik ve sosyal etkileri olan olumlu/olumsuz birçok konuları kapsar (OECD/IEA, 2011).



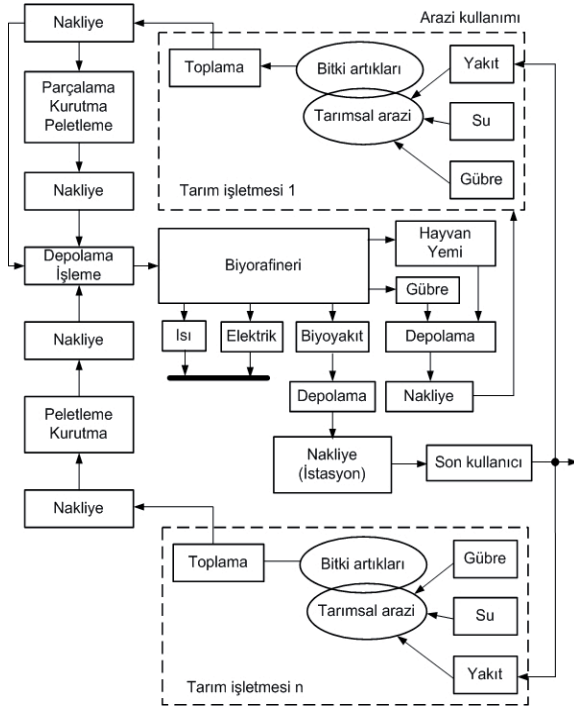
Şekil 5. Sürdürülebilir (S) biyoyakıt üretiminde sosyal, çevresel ve ekonomik faktörler

Entegre Biyorafineri Modeli

Biyokütle üretim zinciri esas olarak tarımsal üretimle başlar; biyorafineriden elde edilen ürünlerin son kullanıcıya ulaşmasıyla son bulur. Biyorafineri sisteminin yapısı baştan sona aşağıda sıralanmıştır:

- Tarımsal üretim
- Lojistik
 - Hasat
 - Bitki artıklarını toplama
 - Hacim küçültme, yoğunlaştırma
 - Nakliye
 - Ayıklama+Parçalama+Kurutma +Peletleme
 - Depolama
 - Nakliye
- Biyorafineride işleme
- Biyorafineride enerji/yakıt/materyal üretimi
- Biyoyakıt depolama + dağıtım
- Hayvan yemi/gübre depolama + dağıtım

Yerel ölçekte tarım işletmelerine lojistik ağlarla bağlantılı şekilde gösterilen örnek biyorafineri modeli oluşturulmuştur. Modelde ekonomik olarak uygulanabilir farklı hasat ve taşıma senaryolarının oluşturulması gereklidir. Biyokütleden düşük maliyetle enerji elde etmek için optimum lojistik (hasat, toplama, depolama ve taşıma) ağının oluşturulması gerekir.



Şekil 6. Tarım işletmeleriyle entegre biyorafineri modeli

Enerji tarımına uygun ekim, bakım ve hasat, toplama, iletim, yükleme, depolama makine alt yapısının zamana duyarlı lojistik ağı içerisinde değerlendirilmesi önemli olmaktadır. Kısaca, enerji tarımına uygun mekanizasyon alt yapısı oluşturulmalıdır.

Örnek bir biyoetanol üretim tesisinde biyorafineriye kadar olan üretim ve lojistiğin payı toplam biyoetanol üretim maliyetinin %35-50'ni oluşturmaktadır. Burada maliyetlere biyokütle tipi, ürün miktarı, lokasyon, iklim, yerel ekonomi gibi jeoğrafik faktörler ve agro-teknolojik alt yapı etkili olmaktadır (Hess ve ark. 2007).

Değerlendirme

Türkiye 2009 yılında, 97.66 Mtoe toplam birincil enerji arzı sağlamış ve bunun %72'sini ithalatla karşılamıştır. Birincil enerji tüketimi içinde ithal edilen petrol, doğalgaz ve taşkömürü ithalatı için fiyatlardaki dalgalanmalara göre 2012 yılında 45 ile 50 milyar dolar ödenmesi beklenmektedir. Bugünkü ekonomik büyümeye göre, gelecek 10 yılda Türkiye'nin enerji gereksiniminin yaklaşık iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir (OECD-IEA 2011). Bu kadar yüksek enerji ithalatının ülkemiz ekonomisi ve enerji arz güvenliği açısından riskli olduğu enerji uzmanları tarafından ifade edilmektedir.

İlk aşamada, modern biyokütle kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır.

Enerji tarımında biyokütle kaynaklarının geniş alanlara dağılmış olması, kullanılan arazi ve su kaynaklarının sınırlı olması biyoyakıt maliyetlerini yükseltmektedir.

Tarladaki biyokütlenin üretiminden lojistiğine kadar tüm üretim zinciri boyunca düşük maliyetle üretilmesi için tarımsal üretimle entegre biyorafineri tesisleri önem kazanmaktadır.

TARTIŞMA ve SONUÇ

Enerjide dışa bağımlı olan Türkiye, biyokütle enerjisini fosil yakıtların alternatifi olarak kullanabilecek arazi, iklim ve organik kaynaklara sahiptir. Ancak, biyoyakıt üretimi çevre, tarım ve kırsal kalkınma politikalarını da içerdiği için bu alanda yapılacak detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kapsamlı biyokütle haritaları hem ürün bazında hem de uydu ve coğrafi bilgi teknolojileri esas alınarak oluşturulmalıdır. Yerel, bölgesel ve ulusal ölçeklerde biyokütle yoğunluğuna göre kurulacak biyorafineri tesisleri için optimum lojistik ağı modeli geliştirilmelidir.

Yerel, bölgesel, ulusal organizasyon şemalarının hazırlanması, destek ve teşvik programlarının oluşturulması gerekmektedir.

Biyokütle kaynaklarının bölgesel ve ulusal ölçekte geniş alanlara dağılmış olması, ham madde maliyetlerinin artmasına ve geri kazanım işlemlerinin karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, biyokütlenin üretiminden hasadına, lojistik ve teknolojik tüm alt yapının entegre olması gereklidir.

Son yıllarda gelişmiş ülkelerde, biyoenerji üretiminde maliyetlerin düşürülmesi için tarım işletmeleriyle entegre biyorafineriler kurulmuştur.

Yerel, bölgesel ve ulusal ölçeklerde çevresel ve sosyo-ekonomik alt yapılarıyla iyi kurgulanmış entegre biyorafineri teknolojisi aşağıda sıralanan katkıları sağlayabilir:

- Küresel ölçekte birincil enerji arzını destekler.
- Sera gazı salınımlarında önemli azalma ve çevresel faydalar sağlar.
- Yurtiçi biyokütle ithal edilen fosil yakıtların yerine geçerek enerji güvenliği ve ekonomik dengelerde iyileşme sağlar.

- Kırsal kesimin ekonomik ve sosyal olarak gelişmesinde katkıda bulunur.
- Tarım ve orman üretim artıkları ile tarım ve gıda sanayi üretim atıklarının değerlendirilmesini sağlar.

Enerji tarımında kullanılan arazi, toprak ve su kaynaklarının gıda amaçlı tarımsal üretimle rekabet yaratmayacak şekilde planlanması, programlanması gereklidir.

Lignoselülozik kaynaklardan etkin biyoenerji ve biyomateriyal üretimi için agro-teknoloji ve biyorafineri dönüşüm teknolojisi konularında ARGE çalışmaları yapılmalıdır.

Biyokütlenin düşük yoğunlukta olması nedeniyle hasattan biyorafineriye kadar tüm lojistik ağı optimize edilmesi gereklidir. Hasat öncesi ve hasat sonrası tüm lojistik (toplama, yoğunlaştırma, kurutma, depolama, nakliye) işlemlerin iyileştirilmesi maliyetlerin azalmasına katkı sağlar.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Beall, E., P. Cadoni, A. Rossi, 2012. *A Compilation of Tools and Methodologies to Assess the Sustainability of Modern Bioenergy*, FAO, Environment and Natural Resources Management, Working Paper 51, Rome.
- BP 2011. BP Statistical Review of World Energy, BP's printed publications, p:46, London.
- Cherubini F, G. Jungmeier, M. Wellisch, T. I. Skiadas Willke, R. Van Ree, E. de Jong, 2009. Toward a common classification approach for biorefinery systems, *Biofuels Bioprod. Bioref.* 5:534–546. John Wiley & Sons.
- Demirbaş, A., 2008. Importance of biomass energy sources for Turkey, *Energy Policy*, 36 (2):834-842.
- Demirbaş, A., 2011. Competitive liquid biofuels from biomass, *Applied Energy* 88(1):17-28.
- EPDK 2011. EPDK Petrol piyasası sektör raporları [http://www.epdk.org.tr/documents\(2011\)](http://www.epdk.org.tr/documents(2011)), Erişim Mart 2012
- Hamelinck, C. N. ve A.P.C.Faaij, 2006. Outlook for advanced biofuels, *Energy Policy*, 34: 3268-3283.
- Hess J. R., T. C. Wright and K. L. Kenney, 2007. Cellulosic biomass feedstocks and logistics for ethanol production, *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 1:181–190.
- Liu, S., L. Abrahamson, G. M. Scott, 2012. Biorefinery: Ensuring biomass as a sustainable renewable source of chemicals, materials, and energy *Biomass and Bioenergy*, 39: 1-4.
- Markevicius, A., V. Katinas, E. Perednis, M. Tamasauskiene, 2010. Trends and sustainability criteria of the production and use of liquid biofuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, (9): 3226–3231.

Biyorafineri aşamasında son ürün kalitesini artırmak için gelişmiş termokimyasal, biyokimyasal, kimyasal ve mekanik proseslerin uygulanması yakıt harmanlamasında avantaj sağlamaktadır.

Orta ve uzun vadede yerel, bölgesel, ulusal ölçeklerde sürdürülebilir çözüm sağlayan tesislerin kurulması, akılcı programlar ve politikalar geliştirilmesine bağlıdır.

Enerji tarımına uygun az su kullanan, hastalığa dayanıklı yüksek verimli biyokütle profili ve gen kaynakları tespit edilmelidir.

Enerji tarımına uygun üretim ve lojistik maliyetlerinin düşürülmesi için yeterli sayıda ve uygun alet-makine (mekanizasyon) alt-yapısı hazırlanmalıdır.

Biyorafineri içinde gelişmiş entegre dönüşüm ve geri kazanım teknolojileri uygulanmalıdır. Bu teknolojiler için ARGE projelerine, pilot tesislerin kurulmasına destek verilmelidir. Aşamalı olarak küçük, orta ve büyük ölçekli ticari biyorafineri tesislerinin kurulması konusunda hedef politikalar, stratejiler saptanmalıdır.

- Matsumoto, N, D. Sano, M. Elder, 2009. Biofuel initiatives in Japan: strategies, policies, and future potential. *Applied Energy*, 86(1):69-76.
- Nigam, P. S. ve A. Singh, 2011. Production of liquid biofuels from renewable resources *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(1):52-68.
- OECD/IEA, 2011. *Roadmap Biofuels for Transport*, International Energy Agency, Paris.
- Rosillo-Calle, F., P. de Groot, S. L. Hemstock, J. Woods.2007, *The Biomass Assessment Handbook Earthscan*, s: 267, London.
- Schnepf, R., 2010. Cellulosic Ethanol: Feedstocks, Conversion Technologies, Economics, and Policy Options, Congressional Research Service s:73.
- Taylor, G., 2008. Biofuels and the biorefinery concept, *Energy Policy*, 36: 4406-4409.
- Timilsina, G. R. ve A. Shrestha, 2010. Biofuels: markets, targets and impacts, Policy Research Working Paper Series 5364, The World Bank.
- USAID, 2009. *Biofuels in Asia: An Analysis of Sustainability Options* - United States Agency of International Development, Bangkok.
- Zhang, L., C. Xu, P. Champagne. 2010. Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass, *Energy Conversion and Management*, 51: 969–982.
- Zinoviev, S., S. Arumugam, S. Miertus, 2007. Biofuel Production Technologies, Working document. S:106.