



Şeker pancarı ve yan ürünlerinden biyoyakıt (etanol) üretimi ve biyoetanolün endüstriyel kullanımının değerlendirilmesi

Zeynep Saliha Güneş^{a1}, Hatice Ebrar Kırtıl^{a2}, Yasemin Şefika Küçükata^{a3*}, Biset Toprak^{b4}

^a İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

^b İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (2020) 2 (2): 16-24

DOI: xxxxxx/xxxxxxx

ORCID Numaraları:

1 0000-0002-4219-2368

2 0000-0003-0784-4452

3 0000-0002-2316-1507

4 0000-0003-1009-789X

YAYIN BİLGİSİ	ÖZET
<p>Yayın geçmişi:</p> <p>Gönderilen tarih: 26 Haziran 2020</p> <p>Kabul tarihi: 17 Ağustos 2020</p> <p>Yayımlanma tarihi: 27 Ağustos 2020</p>	<p>Dünyada kullanılan enerjinin %80'inden fazlası kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Günümüzde artan enerji ihtiyacına bağlı olarak artan fosil yakıt kullanımı sera gazı emisyonu, asit yağmurları gibi olumsuz çevresel etkilere ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütleli çeşitli termokimyasal proseslerinden elde edilen biyoyakıtlar, fosil yakıtlara alternatif olarak kabul edilmektedir. Biyoyakıt üretiminin fosil yakıtlara göre daha pahalı olması nedeniyle günümüzde uygun maliyetli teknolojilerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Önemli biyoyakıtlardan biri olan biyoetanol şeker, nişasta ve selüloz içeren biyokütleli fermente edilmesiyle elde edilir. Biyoetanol yüksek oktan sayısına sahip olup mısır, patates, şeker kamışı, şeker pancarından fermentasyon (mayalanma) yoluyla üretilmektedir. Mısır, kolza tohumu vb. alternatifleri göz önünde bulundurulduğunda şeker pancarının (Beta vulgaris var. saccharifera) biyoyakıt için en verimli hammadde olması ile birlikte daha ekonomik olduğu bildirilmektedir. Ayrıca şeker pancarı, tahıl ve diğer selülozik bitkilere kıyasla direkt olarak fermente edilebilme avantajına da sahiptir. Şeker pancarı posası (SPP), şeker pancarından sükrözün ekstrakte edilmesiyle geriye kalan bitkisel materyaldir. Melas ise şekerin daha fazla ekstrakte edilemediği şeker pancarı şurubudur. SPP'nin ve melasın biyoetanol elde edilmesinde kullanımı çevresel atığın değerlendirilmesi açısından önemlidir. SPP ve melasın mikrobiyolojik biyoreaktör tanklarında <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ve çeşitli mikroorganizmalar ile fermentasyonu sonucunda etanol elde edilir. Gerçekleşen fermentasyon sonrasında oluşan etanolü saflaştırmak ve konsantrasyonunu artırmak için distilasyon ve susuzlaştırma işlemi uygulanmaktadır. Saflaştırma işlemiyle CO₂, yan ürünler ve daha sonra çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere biyoetanol elde edilmektedir. Bu derleme çalışmasında şeker pancarı ve SPP'den biyoyakıt olarak birçok avantajı bulunan biyoetanol üretim prosesi, fermentasyon işlemi ve endüstrideki önemi konularına değinilmiştir.</p>
<p>Anahtar kelimeler:</p> <p>biyoyakıt etanol fermentasyon melas posa şeker pancarı</p> <p>Key words:</p> <p>biofuel ethanol fermentation molasses pulp sugar beet</p>	<p>ABSTRACT</p> <p>More than 80% of the energy used in the world is supplied from fossil fuels such as coal, natural gas, and oil. The increasing use of fossil fuels related to increasing energy requirements sparks off adverse environmental effects such as greenhouse gas emissions, acid rains, and climate changes. Biofuels, such as bioethanol and biodiesel, obtained by various thermochemical processes of biomass are accepted as an alternative to fossil fuels. Biofuel production is of great importance to develop cost-effective technologies. Bioethanol is obtained by fermenting sugar, starch and cellulose-containing biomass and produced by fermentation of corn, potatoes, sugar cane, sugar beet, and grains. Sugar beet (Beta vulgaris var. saccharifera) is reported to be the most efficient raw material for biofuel, and more economical as compared to the alternative sources such as corn, rapeseed. Also, it has the advantage that it can be directly fermented compared to sugar beet, grain, and other cellulosic plants. Sugar beet pulp (SBP) is a remaining herbal material by extracting sucrose from sugar beet. Molasses is sugar beet syrup. The use of SBP and molasses in obtaining bioethanol is important in terms of evaluation of environmental waste. Ethanol is obtained with fermentation of SPP and molasses by <i>Saccharomyces cerevisiae</i> and various microorganisms in stirred-tank bioreactors. Purification step is applied to purify and to increase its concentration. CO₂, by-products, and bioethanol to be used for various purposes are obtained through distillation and dewatering. In this review, bioethanol production, fermentation process, and importance of bioethanol in industry are addressed.</p>

1. Giriş

21. yüzyılda dünyamız ve insanlar birbirine bağlı önemli 3

zorlukla karşı karşıyadır: gıda güvenliği, iklim değişikliği ve enerji güvenliği. Günden güne artmakta olan enerji tüketimi, enerji güvenliği konusunu gıda güvenliği ve iklim problemleri

*Sorumlu yazar: Yasemin Şefika KÜÇÜKATA yasemin.kucukata@izu.edu.tr - 0 (212) 692 9647

kadar önemli hale getirmektedir. Endüstri ve ulaşım sektörü tarafından enerji kullanımının büyük bir çoğunluğunu fosil yakıtlar oluşturmaktadır (Karp ve Richter, 2011). Sahip olunan petrol ve gaz rezervleri yeterli gibi görünse de tüm fosil yakıtların 100-200 yıl içerisinde tükeneceği ön görülmektedir (Anonim, 2020b).

Fosil yakıtlar organik maddelerin uzun yıllar boyu ısı ve basınca maruz kalmaları sonucu oluşmaktadır. Yakıldığında yüksek oranda karbon dioksit ve metan gazı üreten kömür ve petrol gibi fosil yakıtlar dünyanın büyük bir kısmının enerji ihtiyacını karşılamakta olan yenilenemeyen kaynaklardır. Nüfus artışı ve sanayileşmeden dolayı sera gazı salınımı artmaktadır. Giderek artan enerji talebinden dolayı, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları geliştirmek zorunlu hale gelmiştir (Bowen vd., 2010; Panella, 2010; Rodríguez vd., 2010; Razmovski & Vučurović, 2012b).

Artan çevre kirliliklerinden dolayı çevre dostu teknolojiler giderek yaygınlaşmaktadır. Enerji kaynaklarının tükenmesi, artan petrol fiyatları ve iklim değişikliği alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyacı arttırmıştır (Popov vd., 2010; Duraisam vd., 2017).

Enerji güvenliği ve iklim değişikliği sorunları nedeniyle bitkisel hammaddeden enerji üretimi genişlemektedir. Bu üretim için gerekli ihtiyaçlar, biyoenerji (elektrik ve ısı üretimi); biyoyakıtlar (biyodizel ve biyoetanol) ve biyomateryaller (doğal yem maddeleri ve kimyasallar) şeklinde sıralanmaktadır (Karp ve Richter, 2011).

Bu derleme çalışmasında, şeker pancarından biyoetanol üretim proseslerine, yararlarına ve endüstrideki önemine değinilmiştir.

1.1. Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynağı İhtiyacı

Tüm yakıtların ve karbon içeren kimyasalların büyük çoğunluğu fosil kaynaklardan üretilmektedir (Rass-Hansen vd., 2007). Fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel faaliyetler toplam sera gazı emisyonunun yaklaşık %76'sını oluşturmaktadır (Moustafa, 2017). Günümüzde sayıları her geçen gün artan motorlu araçlar küresel karbon dioksit (CO₂) emisyonlarının %19'undan fazlasına ve küresel karbon monoksit (CO) emisyonlarının %70'inden fazlasına neden olmaktadır (Zabochnicka-Świątek ve Slawik, 2010). 2006 yılında 5,9 milyar metrik ton olan toplam CO₂ emisyonunun endüstriyel gelişmeler, nüfus artışı gibi faktörlere bağlı olarak 2030 yılında 7,4 milyar metrik tona yükseleceği tahmin edilmektedir (Singh ve Dwevedi, 2019).

Fosil yakıtların sınırlı rezervleri, yüksek fiyatları ve neden oldukları sera gazı emisyonu, asit yağmurları ve hava kirliliği gibi çevreyi olumsuz etkilemekte, bu nedenle temiz, ucuz ve kolay erişilebilir alternatif enerji kaynaklarına acil ihtiyaç vardır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu enerjinin uygun maliyetle elde edilebileceği en uygun seçimdir (Demirbaş, 2008; Balat ve Balat, 2009; Vohra vd., 2014, Zabochnicka-Świątek ve Slawik, 2010; Raharja vd., 2019, Singh ve Dwevedi, 2019).

Günümüzde dünya çapındaki enerji ihtiyaçlarının sadece %7'si çoğunlukla hidroelektrik ve biyokütle enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır fakat bu oranın önümüzdeki 20 yılda %60'ın üzerinde artacağı tahmin edilmektedir (Singh ve Dwevedi, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynağı olan ve ağırlıklı olarak biyokütleden üretilen etanol, metanol ve biyodizel gibi biyoyakıtlar son yıllarda artan petrol fiyatları ve çevresel

kayıplar nedeniyle fosil yakıtlara alternatif olarak çevre dostu, kolay erişilebilir, sürdürülebilir ve güvenilir bir seçenektir (Demirbaş, 2008, Šantek vd., 2010; Raharja vd., 2019). Biyoyakıtlar, sera gazı emisyonlarının azaltılması, bölgesel kalkınma ve arz güvenliği sağlanması, sosyoekonomik yapının ve tarımın korunması gibi birçok konuda öncelikler sunmaktadır. Bunun yanı sıra biyokütle kaynaklarının kolayca temin edilebilmesi, çevre, ekonomi ve tüketicilere ortak fayda sunma ve biyolojik olarak parçalanabilir olma ve sürdürülebilirliğe katkıda bulunma gibi avantajlara sahiptir (Demirbaş, 2008). Mevcut biyoyakıtlar arasında etanol ve biyodizel, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen araç yakıtlarında en büyük paya sahiptir (Araújo, 2016).

Büyük ölçekli biyoyakıt üretimi, bazı gelişmekte olan ülkeler için petrol ithalatına olan bağımlılığını azaltma fırsatı sunmaktadır; bu nedenle gelişmiş ülkelerde, fosil yakıtlarla maliyet açısından rekabetçi hale gelen bir dizi biyoyakıt kullanarak modern teknolojiler ve verimli biyo-enerji dönüşümü kullanma yönünde girişimlerde bulunmaktadır (Demirbaş, 2008; Balat ve Balat, 2009).

Biyoeetanol dünyada en yaygın kullanılan biyoyakıtlardan biridir ve ulaştırma sektörü için gerçek bir alternatif sunar. Dünya çapında, biyoetanolün ana kaynağı şeker pancarı, mısır ve şeker kamışıdır. (Yaramış vd., 2014).

En büyük biyoetanol üreticileri Brezilya ve ABD, Avrupa genelinde ise Almanya ve Fransa olarak bilinmektedir (Gao vd., 2011). 2017 verilerine göre dünya genelinde biyoetanol, biyodizel ve hidrojenlenmiş bitkisel yağlar dâhil 138 milyar litre biyoyakıt üretilmiştir. Şeker mahsullerinden üretilen biyoetanol küresel biyoyakıt üretiminin %62'sini oluşturmaktadır ve dünya çapında 2017 yılında biyoetanol üretiminin 85,1 milyar litre olduğu belirtilmiştir (WBA, 2019).

Biyoeetanol hammaddesi bölgeden bölgeye değişmekle beraber ABD'de genelde mısırdan, Brezilya'da şeker pancarından ve Avrupa'da ise bunların yanında şeker kamışı ve buğdaydan elde edilmektedir. Dünya genelinde biyoetanol şeker pancarı ve mısırdan, biyodizel ise soya fasulyesi ve palm yağından üretilmektedir (Gao vd., 2011).

Biyoeetanol veya biyodizel gibi ürünlerinin kullanımı gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılamak için sürdürülebilir bir alternatif sunabileceği bir seçenektir.

1.2. Biyoyakıt olarak Etanol

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak tanımlanmaktadır. Biyokütle, aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul edilmektedir (ETKB, 2020). Biyokütleden elde edilen elektrik, sıvı, katı veya gaz yakıtları gibi her türlü enerjiye "biyoenerji" denmektedir. Biyoenerjiden elde edilen yakıtların fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir (Khan ve Akhtar, 2011).

Biyolojik materyallerden elde edilen, genellikle ulaşım için kullanılan yakıtlar biyoyakıt olarak adlandırılmaktadır. Etanol ve biyodizel bilinen önemli biyoyakıtlardandır. Şekerlerden, bitkilerden, nişastadan, bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biyoyakıtlar birinci jenerasyon, lignoselülozik lifli materyallerden ve tarım atıklarından üretilen biyoyakıtlar ikinci jenerasyon, alglerden elde edilen biyoyakıtlar üçüncü jenerasyon olmak üzere kaynağına göre üç farklı şekilde adlandırılmaktadır (Gao vd., 2011).

Etanol yakıldığında sera gazı olan karbondioksit üretmesine rağmen, biyoyakıtlar karbon nötr kaynak olarak kabul edilmektedir ve bunun nedeni ise yanma sonucu ortaya çıkan karbon dioksitin bitkiler tarafından kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Yağlar dizel yakıtlar gibi uyumlu motorlarda yakılırken yakıt etanol ise çoğunlukla zararlı emisyonları en aza indirme amacıyla katkı maddesi olarak benzine eklenerek kullanılmaktadır (Bowen vd., 2010; Zabed vd., 2014; Moraes vd., 2015; Akbas & Stark, 2016; Hinková & Bubník, 2001). Belirli oranlarda benzin ile karıştırıldığında etanolde bulunan oksijenin karbon atomlarının kombinasyonu ile CO ve egzoz gazlarının azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca etanolün sahip olduğu yüksek oktan sayısı sayesinde yakıt olarak kullanımında performansı artırdığı, %10 oranında etanolün benzine eklendiğinde oktan sayısının 92'den 95'e yükseldiği bilinmektedir (Maryana ve Mahono, 2009).

Dünyada ulaştırma sektöründe kullanılmak üzere üretilen etanol miktarı 2000-2007 döneminde üç katına çıkarak 17×109 litreden 52×109 litreye yükselmiştir. Küresel etanol üretiminin sırasıyla %25 ve %62,22'sini oluşturan ABD ve Brezilya, en iyi etanol üreticileridir (Singh ve Dwevedi, 2019). Çoğunlukla ABD'de mısır bazlı, Brezilya'da şeker pancarı ve kamışı bazlı üretimi ile biyoetanol, küresel çapta ulaştırma sektöründe hacim olarak en fazla kullanılan biyoyakıttır (Wang vd., 2012).

Sınırlı rezervler, artan talep ve üretim bölgelerindeki istikrarsızlıkla dünya piyasa fiyatlarının artışı biyoetanol veya biyogaz gibi yenilenebilir yakıtları ekonomik olarak daha cazip hale getirmektedir (Yaramış vd., 2014).

1.3. Gıdaların Biyoyakıt Olarak Kullanımı

Birinci jenerasyon biyoyakıtlar ucuz, yenilebilir ve kolay ulaşılabilir tarım ürünlerinden çeşitli dönüştürme prosesleri ile elde edilen biyodizel ve biyoetanol vb. yakıtlardır. Biyodizel, lipitlerin transesterifikasyonlarıyla veya tohumların yağlarından ve gıda endüstrisinde bitkisel yağlardan da elde edilmektedir. Etanol temel alternatif enerji kaynağı olup biyokütle ve tarımsal ürünler kullanılarak elde edilebilmektedir. Biyoetanol ise tahıllardan (mısır, buğday) veya şeker ekinlerinden (şeker pancarı, şeker kamışı) fermentasyon ve distilasyon yoluyla elde edilmektedir. Bunun yanında biyoyakıtlar daha ileri teknik olan, lignoselülozun biyolojik veya termokimyasal dönüşümünden de elde edilmekte ve alternatif sürdürülebilir yakıt kaynağı olarak bilinmektedir. Yağlı tohumlardan üretilen biyodizel ve şeker pancarından üretilen biyoetanolün sera gazlarını azalttığı ve pozitif bir enerji dengesi kurduğu belirtilmektedir (Karp ve Richter, 2011; Moraes vd., 2015; Akbas & Stark, 2016; Duraisam vd., 2017).

Biyoetanol yüksek oktan değerine sahip bir biyoyakıt olup kaynağı mısır, patates, şeker pancarı, şeker kamışı, sebze atıkları, buğday, arpa ve çavdar gibi tanelerdir. Dünyada, biyoetanol üretimi için kullanılan başlıca bitkisel kaynaklar ise şeker kamışı, mısır, şeker pancarı ve nişastadır. Şeker pancarı diğer bitkilere kıyasla hektar başına düşen en yüksek karbonhidrat miktarını vermektedir. Bundan dolayı biyoetanol üretimi için yeşil enerji kaynağı olarak kullanılacak en ideal hammaddedir. (Haankuku vd., 2015; Duraisam vd., 2017; İçöz vd., 2009).

Bununla beraber etanol üretiminde kullanılacak hammaddenin gıda sektörü ile rekabete sebep olmaması da önemli bir konudur. Bunun için yenilebilir gıda maddelerine alternatif olarak gıda atıkları veya lignoselülozik materyaller kullanılabilir (Conde-Mejía vd., 2016).

1.4. Biyoetanol Üretim Kaynağı Olarak Şeker Pancarı

Şeker pancarı (*Beta vulgaris*) ve şeker kamışı (*Saccharum officinarum*) dünya genelinde şeker üretimi için kullanılan tarım ürünleridir. Şeker pancarında bulunan temel şeker sakkaroz olmakla birlikte belirli miktarda farklı karbonhidratlar ve pektin içermektedir (Zhou vd., 2011). Şeker pancarı endüstriyel olarak şeker üretimi sağlayan bir hammadde olmasının yanında etanol üretiminde de kullanılmaktadır. Biyoetanol şeker pancarından elde edilen kristal şeker ve şerbet kıvamlı solüsyonundan elde edilebildiği gibi parçalanmış kalıntılardan da üretilmektedir (Bušić vd., 2018).

Tarım ürünlerinden elde edilen organik atıklardan enerji üretimi çevre için yarar ve koruma sağlamayı mümkün kılmaktadır. Dünya'da 2018 verilerine göre, 4,894 milyon hektar alanda 301 milyon ton şeker pancarı üretimi yapılmıştır (SBG, 2020). Üretilen 120 milyar litre biyoetanolün %17'si şeker pancarından karşılanmıştır. AB ülkelerinin 7,9 milyon ton şeker pancarından, yakıt olarak kullanılacak 5,8 milyar litre biyoetanol elde ettiği bilinmektedir (NNFCC, 2019; USDA, 2019). Ülkemizde ise, 2018 verilerine göre 2,9 milyon dekar alanda 17,4 milyon ton şeker pancarı üretimi yapılmıştır (SBG, 2020). Bu oran içerisinde, şeker pancarı melası ve posasından 6,4 milyon litre biyoetanol üretilmiştir (Anonim, 2019a).

Şeker pancarı, mayalar tarafından kolaylıkla fermente edilen yüksek oranda sükröz içermekte olup verimli etanol üretimini sağlayan önemli kaynaklardan biridir. Şeker pancarından elde edilen biyoetanol mısır ve şeker kamışından elde edilen biyoetanolle kıyasla sera gazı etkisini daha fazla düşürmektedir. Şeker pancarının yaprakları ve gövdesi gibi kökün ekstraksiyonu sonrasında geriye kalan yan ürünler, biyoyakıt üretimi için büyük miktarda biyokütle sağlamaktadır. Şeker pancarı, şeker üretimi yanında yan ürünleri (kabuk, melas, yaprak vb.) ile biyoyakıt üretimi için ekonomik olarak avantaj sağlayan yüksek verimli bir tarım ürünüdür (Bukvic vd., 2008; Duraisam vd., 2017). Nişastalı ürünler fermente edilebilir şekere dönüştürülmeden önce enzim ile muamele gibi ön işlemlere ihtiyaç duyarken şeker pancarında bulunan şeker direkt olarak geleneksel ve endüstriyel ölçekli metotlarla fermente edilerek etanol elde edilebilmektedir. Genel olarak ortalama bir şeker pancarı %16-20 civarında şeker, %75 su, %5 kabuk ve %2 mineral ve diğer besin öğelerini içermektedir. Kristalize olmayan melas ağırlıkça %50 şeker içermekte ve genellikle alkol üretimi için fermente edilmektedir. Nitrojence zengin arta kalan melas ise hayvan yemi veya gübre olarak değerlendirilmektedir. Şeker pancarı küspesi yüksek oranda pektin ve diyet lifi içermekte olup ve suyu uzaklaştırılarak hayvan yemi olarak kullanılmaktadır (Vučurović & Razmovski, 2012a; Duraisam vd., 2017).

Şeker pancarı küspesi, şeker pancarından sükrözün ekstrakte edilmesiyle geriye kalan bitkisel materyaldir ve yan ürün olarak daha çok düşük değerli hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. (Cardenaz-Fernandez vd., 2017). Yeşil enerji kaynağı olarak kabul edilen biyoetanol üretimi şeker pancarının yan ürünü olan şeker pancarı küspesinin fermente edilmesi ile de üretilmektedir. Biyoetanol üretimi için şeker üretiminin ara ürünleri olan ham şekerli şerbet (%14-18 şeker), konsantre şeker şurubu (%65-67şeker) ve yan ürün olan melas (yaklaşık %50 şeker) kullanılabilir. Ham

şeker pancarı şerbeti ve konsantresi, kristalizasyonla şeker eldesi ve fermentasyonla etanol eldesi için kullanılmaktadır (Pavlečić vd., 2010; Şantek vd., 2010).

Şeker pancarı küspesi şeker arıtma endüstrisinin en temel yan ürünü olup biyoyakıt üretimi için potansiyele sahiptir. Şeker pancarı küspesi kuru madde bazında %20-25 selüloz, %25-36 hemiselüloz, %20-25 pektin, %10-15 protein ve %1-2 lignin içermektedir (Duraisam vd., 2017).

Biyoeanolün diğer fosil yakıtlarla karıştırılarak kullanımı birçok önemli avantaja sahiptir. Yerel ekonominin gelişmesi ve şeker pancarı üretimindeki yan ürünlerin değerlendirilerek diğer sektörlerin fayda sağlaması şeker pancarından etanol üretiminin önemli avantajları olarak sıralanabilmektedir (Içöz vd., 2009; Rodríguez vd., 2010; Duraisam vd., 2017).

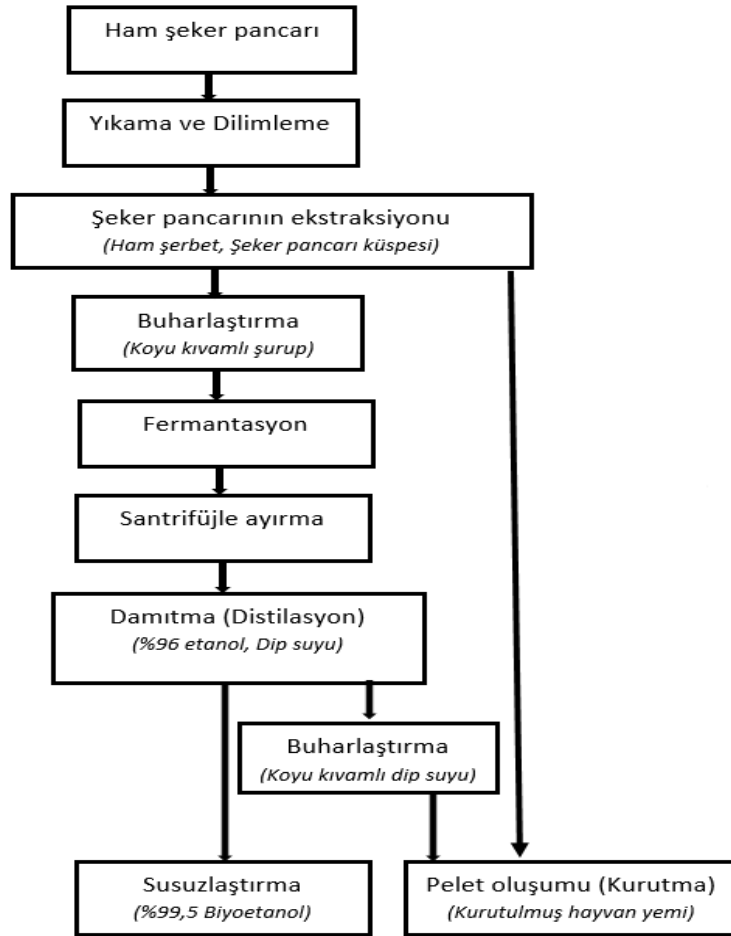
2. Şeker Pancarından Biyoeanol Üretimi

Biyoeanol, dünyada kullanılan en yaygın biyoyakıtlardan biridir ve ulaştırma sektörü için alternatif bir yakıttır (Yaramış vd., 2014).

Şeker pancarından etanol üretimi hammaddenin ön işlemlerden geçmesi, fermentasyon ve distilasyon aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamalar kısaca açıklanacak olursa; ilk aşamada biyokütleden selülozik materyalin elde edilmesi ve etanol üretiminin kolaylaştırılması için biyokütle ayarlanır. Hammaddeye yapılacak ön işlemler, koşulların ve parametrelerin optimizasyonu şeker ve etanol verimliliğini artırmaktadır. Ön işlemlerin ardından selüloz ve hemiselüloz

fraksiyonları enzimler için daha ulaşılabilir olmaktadır. Bunun sonucunda lignin parçalanır, hemiselüloz kısmi olarak ayrılır ve spesifik yüzey alanı genişlemektedir. Hidroliz işlemi sonucu büyük moleküler zincirler kırılarak monomere ayrılır. Selülozun çözünebilir şekerlere hidrolize edilmesinde hücreler tarafından metabolize edilen enzimlerin aktivitesi önemlidir. Fermentasyon ile su, etanol ve bazı kalıntılar elde edilir. Oluşan CO₂ fermentasyon sırasında gaz formda uzaklaşmaktadır. Sonuç olarak etanol distilasyon kolonunda saflaştırılırken diğer kalıntılar yakılarak veya yardımcı maddelere dönüştürülmek üzere uzaklaştırılır (Khan ve Akhtar, 2011).

Biyoeanolün şeker içerikli hammaddeden üretilmesinde en yaygın kullanılan mikroorganizma *Saccharomyces cerevisiae*'dir. Bunun yanında ozmotik basınca dayanıklı olan *Schizosaccharomyces pombe* de kullanılabilir. Şeker içerikli brotun fermentasyonunda kesikli (batch) fermentasyon, kesikli beslemeli (fed-batch), tekrarlı kesikli fermentasyon, sürekli fermentasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Endüstriyel olarak pratik ve avantajlı olduğu için Brezilya'da kesikli beslemeli fermentasyon modelinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Bušić vd., 2018). Distilasyona ek olarak kullanılan saflaştırma yöntemleri adsorpsiyon, ozonlama, gaz sıyırma yöntemleri olarak sayılabilmektedir (Onuki vd., 2008). Şekil 1'de şeker pancarından biyoeanol üretim temel aşamaları şematize edilmektedir.



Şekil 1. Şeker pancarından biyoeanol üretim temel aşamaları (Şantek vd., 2010).

2.1. Şeker Pancarının Geçtiği Ön İşlemler

Etanol üretimi için kullanılan hammadde bölgesel ve ekonomik duruma uygun olarak seçilmelidir (Onuki vd., 2008).

Sükroz içerikli hammaddeler etanol üretimi için kolay ve uygundur. Bunlar, şeker pancarı, şeker kamışı, tatlı sorgumdur. Etanol üretiminde kullanılan nişasta bazlı ürünler için fermentasyon ile birlikte nişastanın şekere dönüştürülme işlemi olan sakkarifikasyon da uygulanmaktadır. Nişasta içerikli hammaddelere mısır, tatlı patates, buğday ve manyok örnek olarak verilebilmektedir. Son zamanlarda lignoselülozik materyaller de etanol üretimi için uygun ve elverişli bulunmaktadır. Lignoselülozik materyaller yüksek kristal özelliklere ve düşük poroziteye sahip olmaları ve yüksek lignin içeriği sebebiyle çeşitli ön işlemleri gerektirmektedir (Onuki vd., 2008). Bunlara örnek olarak saman, tarımsal atıklar, ekinler ve ağaç/odun atıkları sayılabilmektedir (Bušić vd., 2018).

Mahsulden etanol üretimi genellikle 5 temel aşamadan oluşmaktadır; mahsullerin temizlenme ve parçalanma gibi ön işlemi, şekerin geri kazanımı, etanol üretimi için şekerin fermente edilmesi, yüksek oranda etanol üretimi için damıtılması ve kurutulmasıdır. Öncelikle, mahsul yetiştirildikten sonra hasat edilir. Hasat edilen ürünler temizlenme ve daha küçük parçalara ayırma gibi fiziksel işlemlere tabi tutulur (Bowen vd., 2010). Nişasta içerikli hammaddeler kuru veya ıslak öğütme proseslerinden geçirildikten sonra etanol üretimi için uygun hale getirilirler. Kuru öğütme yaygın olarak kullanılan daha etkili bir tekniktir (Onuki vd., 2008).

Şeker pancarı yaklaşık iki kilogram (kg) olan beyaz renkli ampul şekline benzer kök sebzesidir. Sükrozu pancardan ekstrakte etmek amacıyla öncelikle küçük parçalara dilimlenmektedir. Şeker ekstraksiyonu için zıt akış suyu yıkanma uygulanıp ham şekerli su ve şeker pancarı küspesi elde edilir. Sükrozdaki safsızlıklar, ekstraksiyondan elde edilen sükrozlu ham çözeltinin kireç ile muamelesi sonucu giderilmektedir. Filtrasyon aşamasında çözeltiye kalsiyum hidroksit eklenir ve bu karışımda kalsiyum karbonat oluşur. Kalsiyum karbonatın bir artıcıda çökmesine izin verilir ve sükrozlu ham çözeltideki safsızlıkların büyük çoğunluğu giderilmiş olur. Kireçle muamele ve arıtma genellikle iki defa yapılmaktadır. Endüstriyel işletmelerde şeker pancarında kirecin kullanımına ancak %2 oranında izin verilmektedir. Arındırma işlemi klasik olarak kireçleme, karbonlama, çamur ayırımı ve sülfitleme aşamalarından oluşmaktadır. Ancak bu arındırma işlemi sırasında sadece şeker olmayan pektin, protein, inorganik tuzlar ve renk maddelerinin uzaklaştırılmaktadır (Bowen vd., 2010; Duraisam vd., 2017).

Şeker üretimi için ham şekerli suyun posadan ayrılarak saflaştırma işlemi; büyük moleküllü partikülleri, renklendiricileri, proteinleri ve mikroorganizmaları gidermek amacıyla mikrofiltrasyon işlemi de uygulanabilmektedir. Saflaştırılmış şerbetten şeker eldesi için buharlaştırma işlemi uygulanmaktadır. Mikrofiltrasyon işleminden sonra ayrılmayan kısım olan nitrojen bileşenleri ve pancar dokuları ham şeker pancarı suyuyla karıştırılarak etanol üretimi için fermente edilmektedir (Pavlečić vd., 2010).

Şeker pancarının fermentasyon öncesi pulp ayırımı makine ve ekipman kullanım performansını artırmakta, fermentasyon ve distilasyon etkinliğini yükseltmekte ve enerji korunumunu sağlamaktadır. Ayrıca fermentasyon öncesi hazırlanan solüsyonun başlangıç şeker

konsantrasyonu, mayaların optimum aktivitesini sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Başlangıç konsantrasyonunun iyi ayarlanması (%18-24) fermentasyonun etkinliğini artırmakta ve üretim prosesinin kontrol altında gerçekleşmesini sağlamaktadır (Zhou vd., 2011).

2.2. Fermentasyon

Fermentasyon, glikoz, fruktoz ve sükroz gibi şekerleri hücrel enerjiye dönüştüren ve yan ürün olarak etanol ve karbon dioksit üreten biyolojik bir süreçtir (Castro vd., 2019; Zabed vd., 2014). Şeker içerikli hammaddedeki monomerler doğal mayalar veya genetik olarak geliştirilmiş bakteriler tarafından fermente edilmektedir (Khan ve Akhtar, 2011). Biyoetanol fermentasyonunun karakteristiği kullanılan substrata göre değişmektedir (Maryana ve Mahono, 2009).

S. cerevisiae etanole dönüştüren tek organizma değildir. *S. cerevisiae*'nin yanı sıra mayalardan *Schizosaccharomyces pombe*, *Scheffersomyces stipitis*, *Candida shehatae*, *Pachysolan tannophilus* türleri ve gram negatif bir bakteri olan *Zymomonas mobilis* biyokütle olarak kullanılabilir. Ayrıca, *Mucor indicus*, *Neurospora intermedia*, *Peniophora cinereal* ve *Trametes suaveolens* türü küflerin de etanol üretebildiği bildirilmiştir (Branco vd., 2019). Fakat *S. cerevisiae*, endüstride etanol üretimi için yaygın kullanımını sağlayan çeşitli avantajlara sahiptir. Anaerobik koşullarda *S. cerevisiae* uygun fermentör hacminde sükrozun %95'ni 20 saatte etanole dönüştürdüğü belirtilmiştir (Bowen vd., 2010).

Biyoetanol üretimi için optimum şeker konsantrasyonu %20 olup, pH 5.0 ve 30°C de 200 rpm karıştırma hızıyla hacimce maksimum etanol konsantrasyonu (%12) elde edilmiştir (Popov vd., 2010).

Ham şeker pancarı şerbeti ve şeker pancarı küspesinden etanol üretiminin incelendiği çalışmada, şeker pancarı şerbetinden etanol üretimi için kesikli ve yarı kesikli beslemeli karıştırıcı biyoreaktör kullanılırken, şeker pancarı küspesinden etanol üretimi için yatay dönen tübüler biyoreaktör kullanılmıştır. Her iki üretim için de *Saccharomyces cerevisiae* kullanılmıştır. Şeker pancarı şerbetinden etanol eldesi için kesikli sistemin kullanıldığı reaktörde etanol verimi 59,9 g/L ve üretim verimi ise %78,8 olarak hesaplanmış iken, yarı kesikli beslemeli reaktörde ise etanol verimi 92,8 g/L ve üretim verimi %93,4 olarak hesaplanmıştır. Şeker pancarı küspesinin kullanıldığı tübüler biyoreaktörde ise %16,7 V/m inokulumu ile en yüksek etanol verimi (54,5 g/L) ve %79,5 üretim verimliliği ile etanol üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre şeker pancarı ara ürünlerinden başarılı olarak etanol üretiminin sağlandığı belirtilmiştir (Pavlečić vd., 2010).

Ham şeker pancarı suyu ve yoğunlaştırılmış koyu şeker pancarı şurubu karbon kaynağı olarak kullanıldığı bir çalışmada fermentasyon aşamasında *S. cerevisiae* suşu immobilize edilerek kullanılmış ve etanol üretimi iyileştirilmiştir. Etanol üretim verimi ham şeker pancarı suyu için 83,2 g/L ve yoğunlaştırılmış şeker pancarı şurubu için ise 132,4 g/L olarak hesaplanmıştır (Razmovski ve Vučurović, 2012b).

Endüstriyel kimyasalların üretiminde petrol yerine biyokütle mikroorganizmalar tarafından fermente edilmesine dayanan yenilenebilir teknolojiler kullanılabilir. Son yıllarda mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerine yönelik çalışmalar ile çeşitli suşların etkin bir şekilde kullanımı mümkün olmaktadır. Metabolik mühendislik olarak da adlandırılan bu

disiplinin suşların geliştirilmesi, fermentasyon ve saflaştırma proseslerinin güçlendirilmesi ile mikrobiyel yakıt üretiminde karbon kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımını önemli ölçüde artıracığı düşünülmektedir. Etanolün mikrobiyel olarak üretiminde önemli hususlardan biri mikroorganizmanın ürettiği etanole karşı dayanıklı olmasıdır. Yapılan genomik çalışmalar sonucu *Saccharomyces cerevisiae*'nin SM-3 suşunun etanol üretme kapasitesinin artırılarak sıcaklığa ve etanole toleransı başarılı bir şekilde yükseltilmiştir (Lee vd., 2019).

2.3. Distilasyon

Biyometanol fermentasyon sonucu sulu bir çözelti şeklinde elde edilmektedir. Etanolün yakıt olarak kullanılabilmesi için içinde bulunan suyun ve etanolde bulunan diğer safsızlıkların giderilmesi gerekmektedir (Mendoza-Pedroza ve Segovia-Hernandez, 2018).

Etanolün üretilme prosesinde gerçekleşen maya fermentasyonu sonucu etanolün yanında bazı yan ürünler de oluşmaktadır. Nişasta bazlı ürünlerden etanol üretiminde esterler, organik asitler ve yüksek değerlikli alkoller oluşurken lignin içerikli ürünlerden ise siklik ve heterosiklik içerikli yan ürünler meydana getirmektedir (Onuki vd., 2008). Bu nedenle etanolün son ürün olarak etkin kullanımı için bu ürünlerden arındırılarak saflaştırılması gerekmektedir.

Saflaştırma işlemi için basınçlı ekstraksiyon, ekstraktif distilasyon, azeotropik distilasyon, sıvı-sıvı ekstraksiyonu, buharlaştırma, adsorpsiyon, membran teknolojileri, gaz sıyırma gibi çeşitli teknikler mevcuttur. Standart olarak etanolün saflaştırılması iki adımda gerçekleştirilmektedir; birincisi etanolün %92-94 oranına kadar konsantr edildiği distilasyon işlemidir. İkincisi ise etanolün susuzlaştırılma işlemidir. Standart distilasyona ek olarak farklı tekniklerin aranması veya mevcut tekniklerin birleştirilmesi enerjiden tasarruf etmek için iyi bir alternatif olmaktadır (Bušić vd., 2018).

Etanol kompozisyonunun verimli olabilmesi için tek bir ayırıştırma metodu yerine hibrit proseslerinin entegre edildiği metotlar tavsiye edilmektedir. Distilasyon ve ekstraktif distilasyon metotlarının birlikte kullanıldığı sistemlerde %5-10 olan etanol konsantrasyonunun %81-82'ye kadar yükseldiği görülmektedir. Etanol saflığının %99,8'e kadar yükseltilebildiği sistemlerde suyun uzaklaştırılmasının maksimum, etanol kaybının ise minimum olduğu modeller kullanılmaktadır (Conde-Mejía vd., 2016).

Fermentasyon sonucu oluşan yan ürünler distilasyon işlemi ile giderilmektedir. Distilasyon endüstriyel etanol üretiminde kullanılan en yaygın tekniktir. Ana prensibi etanol-su karışımının ısıtılması ile düşük kaynama noktasına sahip uçucu bileşenin buharının kondense edilerek uçucu bileşenin sıvı ve daha konsantr formunun elde edilmesi şeklindedir. Etanol üretiminde su ve etanolün ayrımını etkin bir şekilde ayırmak için bir distilasyon kolonu bulunmaktadır. Kolonun alt kısmında su birikirken etanol de üst tarafında toplanmaktadır (Onuki vd., 2008). Yakıt için kullanılacak etanolün saflık oranı önemli olduğundan dolayı birden fazla kolon içeren distilasyon üniteleri kullanılmaktadır (Zhou vd., 2011).

Etanol saflaştırmasında kullanılan sıcaklığın son ürün olan etanolün saflık oranını doğrudan etkilediği belirtilmektedir. 50°C'de saflığı %84 olduğu görülürken sıcaklığı 80°C'ye yükselmesiyle etanolün saflık oranının %16'ya kadar gerilediği tespit edilmiştir. Sıcaklığın artması etanolün saflığını düşürmekte ancak verimini artırmaktadır, bu nedenle optimum koşulların

sağlanması, etanol üretiminde en iyi verimi almak için önemlidir (Maryana ve Mahono, 2009).

Etanol saflaştırılmasında kullanılan bir diğer alternatif ayırıştırma yöntemi de buharlaştırmadır. Buharlaştırma tekniğinde sıvı karışımlar içerisindeki uçucu bileşenlerin bir membrandan geçerek ayrışması sağlanır. Bir itici güç ve vakum yardımıyla permealın buhar basıncını sıvı karışımın kısmi buhar basıncından düşük tutarak kütle transferi gerçekleştirilir. Suyun kısmi buhar basıncı kompozisyon ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak karışıma çıkmaktadır (Mendoza-Pedroza ve Segovia-Hernandez, 2018).

Distilasyon sisteminde sıcaklık, basınç ve kolon uzunluğu distilasyonun verimini etkileyen önemli parametrelerdir. Basınç arttıkça elde edilen etanolün saflığının da arttığı görülmektedir. Kolon uzunluğunun artırılması ile daha saf ve verimli etanol üretimi gözlenmiş olsa da basınçlı kolonlardan elde edilen etanolün daha iyi özellikte olduğu yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir (Maryana ve Mahono, 2009).

Biyometanolün saflaştırılması çeşitli enerji türleri gerektiren bir süreçtir. Bu nedenle doğru saflaştırma yöntemlerinin seçilmesi enerji tasarrufu ve maliyet gibi konularda oluşabilecek zorluklardan kaçınmak için önemlidir. Biyolojik reaksiyonların yanı sıra kimyasal reaksiyonların da kontrol altında tutulması ile yüksek yararda istenilen ürünün üretilmesi sağlanabilmektedir (Lee vd., 2019).

3. Biyometanolün Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi ve Endüstriyel Kullanımı

Biyokütlenin yakıt üretimi için kullanılması fosil yakıtların tüketimini ve çevre üzerindeki negatif etkilerin azalmasını sağlayacağı bilinmektedir (Bušić vd., 2018).

Son yıllarda fosil yakıtların tükenmesi, iklim değişikliği ve diğer çevresel sorunlar yakıt üretiminde hammadde olarak petrol veya doğal gazın kullanıldığı petrokimyasal rafineri ürünleri yerine yenilenebilir gıda ve gıda olmayan biyokütleden enerji eldesi dikkat çekmektedir (Lee vd., 2019).

Etanol, yenilenebilir enerji olarak kullanılan alkol formda bir biyolojik yakıttır. Biyometanol üretimi yerel ekonomiyi desteklediği gibi, yakıt güvenliği ve çevreye katkısı da önemli yararlarından (Maryana ve Mahono, 2009).

Biyometanolün sahip olduğu avantajları biyodegradasyona uğrayabilme, fosil yakıtlara göre daha az sera gazı emisyonu üretmesi, zararlı yakıt katkılarına alternatif olarak kullanılabilmesi, çiftçiler için yeni iş alanı oluşturması şeklinde sayılabilmektedir (NPG, 2006).

Biyometanol üretiminde kullanılan şeker pancarının, ekildiği alan büyüklüğündeki çam ormanından üç kat daha fazla oksijen ürettiği bildirilmektedir. Ayrıca 1 litre biyometanol üretimi, şeker pancarının yetişmesinden enerji olarak kullanımına kadar geçen süreç düşünüldüğünde, 2,9 kg CO₂ salınımını engellemektedir (Anonim, 2019b; 2020). Şeker kamışından üretilen etanol ise benzine kıyasla sera gazı emisyonlarının %40 ile %62 arasında azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Lopes vd., 2016).

Biyometanol gibi biyoyakıtların petrol gibi fosil yakıtlarla rekabet edebilmesi için daha ucuz üretimi, sürdürülebilirlik ve ekonomik olarak uygulanabilirlik konuları oldukça önem arz etmektedir (Zabed vd., 2014). Hammadde maliyeti biyoyakıt üretiminde önemli bir maliyet unsuru olup toplam biyometanol üretim

maliyetinin %60-75'ini oluşturmaktadır (Balat ve Balat, 2009a; Schwaiger vd., 2011).

Biyoeanol üretiminde önemli unsurlardan bir diğeri ise hammaddenin temini ve fiyatının değişken olmasıdır. Hammaddelerin uygunluğu mevsime ve coğrafi konumlara bağlı olarak değişmektedir (Balat ve Balat, 2009a; Schwaiger vd., 2011). Türkiye yıllık 30 milyon ton şeker pancarı üretme potansiyeline sahipken, mısır nişastası temelli şeker üretiminin yaygın olması nedeniyle, ancak potansiyelinin yarısını üretebilmektedir (İçöz vd., 2018). Ülkemizde şeker pancarının ekimi artırılarak, bu potansiyel kullanılabilir. Böylece hammaddesi şeker pancarı olan biyoeanol üretimi artırılarak, kullanılan enerjinin güvenilir olması sağlanacak ve enerji konusunda dışa bağımlılık azaltılacaktır. Biyoyakıt kaynaklı yerli enerji üretimi, diğer yakıtların fiyat belirsizliklerini ortadan kaldıracaktır. Ülkemizde hammadde olarak buğday, mısır ve şeker pancarının kullanılmasıyla 76 milyonu yakıt biyoeanolü olmak üzere yıllık ortalama 162 milyon litre biyoeanol üretilmektedir. Yakıt amaçlı üretilen biyoeanolün %92'si ülke içinde benzin ile karıştırılarak kullanılırken %8'i ihraç edilmektedir (Canan vd., 2016)

Ayrıca, şeker pancarının kullanımı, tarımsal kalkınmayı geliştirecek ve tarım ürünü fazlalığı riskini "enerji tarımı" konseptiyle bertaraf ederek sürdürülebilir tarımı destekleyecektir (Anonim, 2019a; 2020a).

Biyoeanol, ulaşım sektöründe yakıt olarak, ilaç sektörü ve kimya endüstrisi olmak üzere çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Dünya çapında en yaygın kullanılan biyoyakıt olan biyoeanol, modern araçlarda herhangi bir modifikasyon gerektirmeden ve aracın performansını etkilemeden benzinle birlikte karışım olarak kullanım alanına sahiptir. Etanol ve benzin karışımı Brezilya, ABD ve Avrupa'da yakıt olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Gumienna, 2014; Demirbaş, 2008; Anonim, 2019a; Zabochnicka-Świątek ve Slawik, 2010; Singh ve Dwevedi, 2019).

Biyoeanol yakıt olarak kullanımda %5,10 ve 85 oranlarında benzin ile karıştırılabilmektedir. %10 oranında etanol ve %90 oranında benzin içeren ve en sık bilinen karışım olan E10'un 2000 yılı ve sonrasında üretilmiş olan tüm araçlarda kullanımı tavsiye edilmektedir. Brezilya'da, etanol E100 ile çalışan esnek yakıtlı araçlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek oranda etanol kullanımı esnek yakıtlı araçlara uygunluk sağlarken %5-10 oranında etanol motorlarda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç oluşturmamaktadır Ayrıca, 2016'dan bu yana birçok otomobil üreticisi araç içinde hidrojen üretmek amacıyla etanolün yakıt olarak kullanıldığı esnek yakıt hücreli araçlar geliştirmektedir (Bušić vd, 2018; Singh ve Dwevedi, 2019).

Yıllık biyoeanol kullanımının ilerleyen yıllarda artacağı, 2016 yılında 100,2 milyar litreye olan tüketimin 2024 yılında 134,5 milyar litreye ulaşacağı tahmin edilmektedir (Bušić vd., 2018).

Biyorafineri, farklı ara ürünlerin ve ürünlerin sürdürülebilir üretimi için büyüköle kullanan ve ayrıca tüm hammadde bileşenlerinin tam olarak kullanılabilmesi için bütünleştirici ve çok işlevli bir sistemdir. Biyorafinerilerin geliştirilmesiyle biyoyakıt üretimi için sürdürülebilirlik kriterlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir (Bušić vd., 2018). Uzun vadede, biyoeanol üretiminin sürdürülebilirlik açısından daha iyi hale getirmek ve verimli enerji üretmek için biyoteknolojik inovasyonlar geliştirilmesinin katkıda bulunacağı düşünülmektedir

(NPG, 2006).

Biyoyakıt üretimi başlangıç seviyede ve teşvike ihtiyacı olan bir konudur. Özellikle Biyoeanol ve biyogaz üretimi biyorafinerilerin geliştirilmesi, çeşitli mikrobiyel stratejilerin kullanılması ve mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerinin biyoeanol üretiminde güçlendirilmesi için rekombinant teknolojilerin denenmesi ile başarılı hale getirilebilir (Khan ve Akhtar, 2011).

4. Sonuç

Günümüzde enerji ve kimyasal üretimi için birinci kaynak olarak kullanılan fosil kaynaklar tükenme riskiyle karşı karşıyadır. Ayrıca sera gazı emisyonunu artırması ve küresel ısınmayı hızlandırması nedeniyle, yeni alternatiflerin fosil yakıtların yerini alması kaçınılmazdır. Etanol, fermentasyon sonucu üretilmekte ve benzin gibi fosil yakıtlara karıştırılarak kullanılabilir. Etanolün düşük toksisite, uçuculuk, kolay buharlaşma gibi özelliklere sahip olması ve bazı fitokimyasal aktivitelere dayanarak yakıt olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Biyorafineri konsepti ile yenilenebilir hammaddeleri kapsamlı kullanmak ve biyoeanol üretim maliyetini azaltacak katma değeri yüksek yardımcı ürünler (örneğin ligninden elde edilen biyolojik bazlı malzemeler) üretilmesi mümkündür.

Etanolün petrol ve benzin gibi diğer yakıt türleri ile rekabet edebilmesi için etanol üretim planının iyi yapılması, ucuz ve işlenebilir hammaddelerin seçilmesi gereklidir. Gelişen teknolojinin de yardımıyla biyoeanolün düşük maliyetle üretilerek fosil yakıtlarla rekabetçi hale getirecek yöntemlerin araştırılması öncelikli olmalıdır. Biyoeanolün diğer yakıt türleri ile karıştırılarak kullanılması gelecekte yüksek kalitede ve daha temiz enerjiye sahip olmayı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Akbas, M. Y., & Stark, B. C. (2016). Recent trends in bioethanol production from food processing byproducts. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 43(11), 1593–1609. <https://doi.org/10.1007/s10295-016-1821-z>
- Altunbay, Ş.G., Kangal, A., Gürel, S., (2016). Şeker Pancarından Biyoeanol Üretimi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25: 334-339.
- Anonim, (2019a). Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Sektör Raporu 2018, Mayıs-2019. https://www.turkseker.gov.tr/data/dokumanlar/2018_Sektor_Raporu.pdf Son Erişim Tarihi: 29.05.2020
- Anonim,(2019b). <https://www.nordzucker.com/en/business/bioethanol/wide-range-of-applications.html> Son Erişim Tarihi: 29.05.2020
- Anonim, (2020a). Konya Şeker Biyoeanol Üretim Tesisi Bilgileri, <http://konyaseker.com.tr/tr/icerik/detay/2085/bioeanol-uretim-tesisi> Son Erişim Tarihi: 29.05.2020
- Anonim (2020b). When will fossil fuels run out? <https://www.WIricity.co.uk/> Son Erişim Tarihi: 29.05.2020
- Araújo, W. A. (2016). Ethanol Industry: Surpassing Uncertainties and Looking Forward. Sergio L. M. S., Luís A. B. C., José M. F. J., Sergio C. T., & Maria da Graça D. F. (Eds.), *Global Bioethanol: içinde* (pp. 1-33). Academic Press.

- Balat, M. & Balat, M. (2009). Political, economic and environmental impacts of biomass-based hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34:3589-3603. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.02.067.
- Balat, M. & Balat, H. (2009a). Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Applied Energy*, 86, 2273–2282. doi:10.1016/j.apenergy.2009.03.015
- Barta, K. (2018). Bio-enriching gasoline. *Nature Energy*, 3(11), 917-918. doi:10.1038/s41560-018-0264-3
- Bowen, E., Kennedy, S. C., & Miranda, K. (2010). Ethanol from Sugar Beets. Retrieved May 29, 2020, from https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project042810165653/unrestricted/Ethanol_from_Sugar_Beets__A_Process_and_Economic_Analysis.pdf
- Branco, R.H.R., Serafim, L.S. & Xavier, A.M.R.B. (2019). Second Generation Bioethanol Production: On the Use of Pulp and Paper Industry Wastes as Feedstock. *Fermentation*, 5 (1), 4, <https://doi.org/10.3390/fermentation5010004>
- Bukvič, Ž., Kralik, D., Milaković, Z., Bogut, I., Miloš, S., (2008). Cereal Research Communications , Vol. 36, Supplement: Proceedings of the VII. Alps-Adria Scientific Workshop, Stara Lesna, Slovakia, 575-578.
- Bušić, A., Marđetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Šantek, M. I., Šantek, B. (2018). Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and its Separation and Purification: A Review. *Food Technology and Biotechnology*, 56(3). doi:10.17113/ftb.56.03.18.5546
- Canan, S. & Ceyhan, V., Ağırnaslıgil, T. (2016). Türkiye’de Biyokütle Fiyatındaki Değişimin Biyoetanol Maliyeti Üzerine Etkileri. XII Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresinde sunulan bildiri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta. <http://www.tarinarsiv.com/wp-content/uploads/2017/03/63-1.pdf>
- Cárdenas-Fernández, M., Bawn, M., Hamley-Bennett, C., Bharat, P. K. V., Subrizi, F., Suhaili, N., Lye, G. J. (2017). An integrated biorefinery concept for conversion of sugar beet pulp into value-added chemicals and pharmaceutical intermediates. *Faraday Discussions*, 202, 415–431. doi: 10.1039/c7fd00094d
- Conde-Mejía, C., Jiménez-Gutiérrez, A., & Gómez-Castro, F. I. (2016). Purification of Bioethanol from a Fermentation Process: Alternatives for Dehydration. *Computer Aided Chemical Engineering 26th European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, 373-378. doi:10.1016/b978-0-444-63428-3.50067-9
- Demirbaş, A. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, 49:2106–2116. doi:10.1016/j.enconman.2008.02.020.
- Duraisam, R., Salelgn, K., Berekete, A.K. (2017). Production of beet sugar and bio-ethanol from sugar beet and its bagasse: A review. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 43(4): 222-233. Doi: 10.14445/22315381/IJETT-V43P237
- ETKB, (2020). Dünya Enerji Görünümü. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji işleri müdürlüğü. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Anasayfa> Son Erişim Tarihi: 29.05.2020
- Gao, Y., Skutsch, M., Masera, O., Pacheco, P. (2011). Report part title: General characteristics and use of biofuels. Report title: A global analysis of deforestation due to biofuel development. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Gumienna, M., Szambelan, K., Jeleń, H., Czarnecki, Z. (2014). Evaluation of ethanol fermentation parameters for bioethanol production from sugar beet pulp and juice. *Journal of the Institute of Brewing*, 120: 543–549. doi: 10.1002/jib.181.
- Haankuku, C., Epplin, F. M., & Kakani, V. G. (2015). Industrial sugar beets to biofuel: Field to fuel production system and cost estimates. *Biomass and Bioenergy*, 80, 267-277. doi:10.1016/j.biombioe.2015.05.027
- Hinková, A., Bubník, Z. (2001). Sugar beet as a raw material for bioethanol production. *Czech J. Food Sci.*, 19: 224-234.
- Içöz, E., Tuğrul, K. M., Saral, A., & İçöz, E. (2009). Research on ethanol production and use from sugar beet in Turkey. *Biomass and Bioenergy*, 33(1), 1–7. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.05.005
- Karp, A., Richter, G. M. (2011). Meeting the challenge of food and energy security. *Journal of Experimental Botany*, 62(10), 3263-3271. doi:10.1093/jxb/err099
- Khan, I., Akhtar, M. W. (2011). Bioenergy Production From Plant Biomass: Bioethanol From Concept To Reality. *Nature Precedings*. doi:10.1038/npre.2011.6286.1
- Lee, S. Y., Kim, H. U., Chae, T. U., Cho, J. S., Kim, J. W., Shin, J. H., Jang, Y. (2019). Author Correction: A comprehensive metabolic map for production of bio-based chemicals. *Nature Catalysis*, 2(10), 942-944. doi:10.1038/s41929-019-0358-8
- Lopes, M.C., Paulillo, S. C. L., Godoy, A., Cherubin, R. A., Lorenzi, M. S., Giometti, F. H. C. ... Amorim, H. V. (2016). Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. *Brazilian Journal of Microbiology*, 166: 1-13. doi: 10.1016/j.bjm.2016.10.003
- Maryana, R., Wahono, S. K., Handoko, L. T., & Siregar, M. R. (2009). Production and Purification of Bioethanol from Molasses and Cassava. AIP Conference Proceedings. doi:10.1063/1.3243248
- Mendoza-Pedroza, J.J., Segovia-Hernandez, J. G. (2018). Alternative Schemes for the Purification of Bioethanol: A Comparative Study. *Recent Advances in Petrochemical Science*, 4(2). doi:10.19080/rapsci.2018.04.555631
- Moraes, B. S., Triolo, J. M., Lecona, V. P., Zaiat, M., & Sommer, S. G. (2015). Biogas production within the bioethanol production chain: Use of co-substrates for anaerobic digestion of sugar beet vinasse. *Bioresource Technology*, 190, 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.089>
- Moustafa, K. (2017). A clean environmental week: Let the nature breathe. *Science of the Total Environment*, 598, 639–646. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.068>
- Nicodème, T., Berchem, T., Jacquet, N., Richel, A. (2018). Thermochemical conversion of sugar industry

- by-products to biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88: 151. doi: 10.1016/j.rser.2018.02.037.
- NNFCC, (2019). An Assessment of the Opportunities for Re-establishing Sugar Beet Production and Processing in Scotland, Prepared for Scottish Enterprise, Heslington, York, https://www.nnfcc.co.uk/files/mydocs/Scottish%20Enterprise%20Sugar%20Beet%20Report_FINAL.pdf Son Erişim Tarihi: 29.05.2020
- NPG (Nature Publishing Group), (2006). Bioethanol needs biotech now. *Nature Biotechnology*, 24 (7).
- Onuki, M., S., Koziel, J.A., Leeuwen, J., Jenks, W.S., Grewell, D., Cai, L., (2008). Ethanol production, purification, and analysis techniques: a review. Agricultural and biosystems engineering conference proceedings and presentations. Iowa State University, USA. https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_conf/68/
- Panella, L. (2010). Sugar Beet as an Energy Crop. *Sugar Tech*, 12(3-4), 288-293. <https://doi.org/10.1007/s12355-010-0041-5>
- Pavlevčić, M., Vrana, I., Vıbovec, K., Šantek, M.I., Horvat, P., Šantek, B., (2010). Ethanol production from different intermediates of sugar beet processing. *Food Technol. Biotechnol.* 48(3): 362-367. ISSN 1330-9862.
- Popov, S., Ranković, J., Dodić, J., Dodić, S., & Jokić, A. (2010). Bioethanol production from raw juice as intermediate of sugar beet processing: A response surface methodology approach. *Food Technology and Biotechnology*, 48(3), 376-383.
- Raharja, R., Murdiyato, U., Sutrisno, A., & Wardani, A.K. (2019). Bioethanol production from sugarcane molasses by instant dry yeast. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 230, 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012076>
- Rass-Hansen, J., Falsig, H., Jørgensen B., & Christensen C. H. (2007). Bioethanol: fuel or feedstock?. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82, 329-333. <https://doi.org/10.1002/jctb.1665>
- Razmovski, R., & Vučurović, V. (2012b). Bioethanol production from sugar beet molasses and thick juice using *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on maize stem ground tissue. *Fuel*, 92(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.07.046>
- Rodríguez, L. A., Toro, M. E., Vazquez, F., Correa-Daneri, M. L., Gouiric, S. C., & Vallejo, M. D. (2010). Bioethanol production from grape and sugar beet pomaces by solid-state fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(11), 5914-5917. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.12.112>
- SBG, (2020). Şeker Pancarı Tarım Üretim Raporu, Tarım Ürünleri Piyasaları-Şeker Pancarı, Ocak, 2020. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2020Ocak%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/%C5%9Eeker%20Pancar%C4%B1%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu%202020%20ocak.pdf> Son Erişim Tarihi: 29.05.2020
- Schwaiger, H., Pena, N., Mayer, A., & Bird, D. (2011). Technologies to produce liquid biofuels for transportation: An overview (pp. 16-17, Rep.). Center for International Forestry Research. www.jstor.org/stable/resrep02307.8
- Singh, D. P., & Dwevedi A. (2019). Production of clean energy by green ways. A. Dwevedi (Ed.), *Solutions to Environmental Problems Involving Nanotechnology and Enzyme Technology* içinde (pp. 49-90). Academic Press.
- Šantek, B., Gwehenberger, G., Šantek, M. I., Narodoslowsky, M., & Horvat, P. (2010). Evaluation of energy demand and the sustainability of different bioethanol production processes from sugar beet. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 872-877. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.006>
- USDA, (2019). EU-28 Biofuels Annual 2019, Global Agricultural Information Network, https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_7-15-2019.pdf
- Vohra, M., Manwar, J. Manmode, R. Padgilwar, S. & Patil, S. (2014). Bioethanol production: Feedstock and current technologies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 573-584. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2013.10.013>
- Vučurović, V. M., & Razmovski, R. N. (2012a). Sugar beet pulp as support for *S. cerevisiae* immobilization in bioethanol production. *Industrial Crops and Products*, 39(1), 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.002>
- Wang, M., Han, J. Dunn, J. B., Cai H., & Elgowainy, A. (2012). Well-to-wheels energy use and greenhouse gas emissions of ethanol from corn, sugarcane and cellulosic biomass for US use. *Environmental Research Letters*, 7: 1-13. doi:10.1088/1748-9326/7/4/045905
- WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2008). *Future bioenergy and sustainable land use*. Earthscan, London.
- World Bioenergy Association. (2019). *GLOBAL BIOENERGY STATISTICS 2019*. Retrieved May 29, 2020, from https://worldbioenergy.org/uploads/191129%20WBA%20GBS%202019_HQ.pdf
- Yaramış, V., Çaynak, S., Şimşek, F., İltter, B., İzgi, M., Bayraktarkatal, B., Gülmez, A., Sağlam, A. (2014). Dünya Enerji Görünümü. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji işleri genel müdürlüğü. 22-29 Eylül 2014.
- Zabed, H., Faruq, G., Sahu, J. N., Azirun, M. S., Hashim, R., & Nasrulhaq Boyce, A. (2014). Bioethanol production from fermentable sugar juice. *The Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2014/957102>
- Zabochnicka-Świątek, M. & Ślawik L. (2010). Bioethanol-Production and Utilization. *Archivum Combustionis*, 30(3), 237-246.
- Zhou, G., Zhang, G., & Qi, D. (2011). A New Method of Producing Bio-Energy by Using Sugar-Beets. *Energy Procedia*, 12, 873-877. doi:10.1016/j.egypro.2011.10.115.