



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ENERJİ VERİMİ YÜKSEK TATLI SORGUM  
(*SORGHUM BİCOLOR SSP. SACCHARATUM*)  
ÇEŞİTLERİNDEN BİYOETANOL ÜRETİM  
İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI

Dilek KANAT

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2025  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ KABUL VE ONAYI

Dilek KANAT tarafından hazırlanan “Enerji Verimi Yüksek Tatlı Sorgum (*Sorghum Bicolor Ssp. Saccharatum*) Çeşitlerinden Biyoetanol Üretim İmkanlarının Araştırılması” adlı tez çalışması 16/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Süleyman SOYLU

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

.....

#### Üye

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

.....

#### Üye

Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

.....

#### Üye

Doç. Dr. Fatih AYDIN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Dilek KANAT

Tarih: 12.02.2025

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

# ENERJİ VERİMİ YÜKSEK TATLI SORGUM (*SORGHUM BICOLOR SSP. SACCHARATUM*) ÇEŞİTLERİNDEN BİYOETANOL ÜRETİM İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI

Dilek KANAT

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

2025, 70 Sayfa

#### Jüri

Prof. Dr. Süleyman SOYLU

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

Doç. Dr. Fatih AYDIN

Biyoeanol, yenilenebilir enerji kaynaklarından fosil yakıtlara alternatif bir yakıt türü olarak öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji yönetmeliklerine uyum sağlamak, dış enerji kaynaklarına bağımlılığı azaltmak ve tarım sektörünü desteklemek amacıyla, tarımsal kaynaklardan yurt içinde üretilen biyoeanolün benzinle karıştırılması zorunluluğu 2013 yılında uygulamaya konmuştur ve halen yürürlüktedir. Bu çerçevede, Türkiye'de biyoeanol üretimi, özellikle yakıt olarak kullanılmak üzere önemli bir seviyeye ulaşmıştır. Artan biyoeanol talebini karşılamak için uygun hammadde seçiminde yalnızca verimlilikle sınırlı kalınmamalı aynı zamanda sürdürülebilirlik, çevresel etkiler ve proseslere uygunluk da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tez çalışmasında; ülkemizde tescilli alınmış tatlı sorgum *Erdurmuş*, *Gülşeker*, *Uzun* çeşitlerinin Selçuk Üniversitesi Sarayönü Meslek Yüksekokulu Araştırma ve Uygulama arazisinde yetiştirilmiş, enerji kaynağı yüksek olan en uygun çeşit belirlenmiş ve Konya Şeker firmasının biyoeanol tesislerine uyumluluğu araştırılmıştır. Uygulamalı olarak yapılan biyoeanol üretiminde %46'lık biyoeanol elde edilerek enerji verimi en fazla çeşit *Uzun* olarak belirlenmiştir. Tesis hesaplama verileri ve yapılan uygulamalı çalışmanın gözlemsel verilerine dayanarak büyük ölçekte çalışıldığında dekara %2.8 biyoeanol verimi ile 35 litre *Erdurmuş* çeşidinden dekara %3.4 biyoeanol verimi ile 29 litre *Gülşeker* çeşidinden, dekara %4 biyoeanol verimi ile 24.5 litre *Uzun* çeşidinden 1'er litre %99.8 saf biyoeanol elde edilebileceği hesaplanmıştır. Çalışmanın diğer safhasında 1 dekarlık alanda yetiştirilen tatlı sorgum ve bu tatlı sorgumdan elde edilen biyoeanol üretim aşamalarının yaşam döngüsü değerlendirmesi analizi yapılmıştır. Biyoeanol üretiminin çevresel etkileri, CML-IA temeline sahip OpenLCA yazılımı ile değerlendirilmiştir. Tüm bu elde edilen verilere ve gözlemlere dayanarak; tatlı sorgumun *Uzun* çeşidi, Türkiye'de artan biyoeanol üretimine alternatif sürdürülebilir bir biyokütle kaynağı olabileceğini desteklemektedir. Bu kapsamlı çalışma sürdürülebilir çevre dostu olarak umut vaat eden tatlı sorgum, biyoeanol üretimindeki potansiyeli artırabilir, biyoeanol tesislerine entegrasyonunda önemli bir adım olabilir ve daha fazla araştırmaya teşvik edebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoeanol, fermantasyon, tatlı sorgum, yaşam döngüsü, yenilenebilir.

## ABSTRACT

### Ph.D THESIS

# INVESTIGATION OF BIOETHANOL PRODUCTION POSSIBILITIES FROM SWEET SORGHUM (SORGHUM BICOLOR SSP.SACCHARATUM) VARIETIES WITH HIGH ENERGY EFFICIENCY

Dilek KANAT

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

2025, 70 Pages

Jury

Prof. Dr. Süleyman SOYLU

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

Doç. Dr. Fatih AYDIN

Bioethanol, as one of the renewable energy sources, draws attention as an alternative fuel type to fossil fuels. In order to comply with renewable energy regulations, reduce dependence on external energy sources and support the agricultural sector, the obligation to blending of bioethanol produced domestically from agricultural sources with petrol was introduced in 2013 and is still in force. In this context, bioethanol production in Türkiye has reached an important level, especially for use as fuel. In order to meet the increasing demand for bioethanol, not only efficiency, but also sustainability, environmental impacts and suitability of process should be taken into consideration in the selection of suitable raw materials. In the study; *Erdurmuş*, *Gülşeker*, *Uzun* sweet sorghum varieties which is registered in Türkiye have been grown in Selçuk University Sarayönü Vocational School Research and Application Land, the variety with the highest energy source has been determined and its compatibility to the bioethanol facilities of Konya Şeker Company has been investigated. *Uzun* has been determined as the variety with the highest energy yield by obtaining %46 bioethanol score in practical bioethanol production. Based on the facility calculation data and the observational data of the study; when worked on a large scale, it is calculated that 1 liter of bioethanol with %99.8 purity can be obtained from *Erdurmuş* with % 2.8 bioethanol yield and 35 liters per decare, from *Gülşeker* with %3.4 bioethanol yield and 29 liters per decare and from *Uzun* with %4.0 bioethanol yield and 24.5 liters per decare. In the next phase of the study, the life cycle assessment of production stages of bioethanol which has been obtained from sweet sorghum cultivated in 1 decare has been analyzed. The environmental impacts of bioethanol production have been assessed with OpenLCA software based on CML-IA. Based on all these data and observations; it supports that *Uzun* could be a alternative sustainable biomass source to the increasing bioethanol production in Turkey. This comprehensive study has showed that sweet sorghum, which promising as a sustainable environmentally friendly, could increase the potential for bioethanol production, the study could be an important step in the integration to bioethanol facilities and it may encourage further research.

**Keywords:** Bioethanol, fermentation, sweet sorghum, life cycle, renewable.

## ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artarken, biyoetanol üretim artışı ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından bu alanda önemli bir alternatif sunmaktadır. Bu çalışma, tatlı sorgumun 3 farklı çeşidinin biyoetanol üretim potansiyelini değerlendirerek en verimli çeşidini belirlemeyi ve proseslere entegrasyonun incelenmesini kapsamaktadır. Elde edilen bulgular, tatlı sorgumun Türkiye'de artan biyoetanol ihtiyacına katkı sağlayabilecek önemli sürdürülebilir biyokütle kaynağı olabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın yürütülmesi sürecinde, sahip olduğu akademik bilgi ve birikimlerini hiçbir zaman esirgemeyen, tükendiğim anlarda hayata dair dipnotlarıyla bana destek olan, çalışma sürecimi anlayışla takip eden kıymetli tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Hidayet OĞUZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında kullanılan tatlı sorgum çeşitlerinin yetiştirilmesi, özsu eldesi ve bu özsuların saklanması büyük emeği geçen Selçuk Üniversitesi Sarayönü Meslek Yüksekokulu yöneticilerinden Öğr. Gör. Dr. Aliye ŞEFLEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez jüri üyelerim, değerli hocalarım Prof. Dr. Ali KAHRAMAN'a, Prof. Dr. Süleyman SOYLU'ya, Doç. Dr. Fatih AYDIN'a bilgi ve deneyimleriyle çalışmama sundukları değerli öneriler ve katkılar için teşekkürlerimi sunarım.

Manevi olarak güç veren canım oğlum Göktuğ KANAT'a ve sevgili eşim Oktay KANAT'a, hayatımın her döneminde yanımda olan babam ve anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Dilek KANAT  
KONYA-2025

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Biyoetanol .....	3
1.1.1. Dünya’da Biyoetanol .....	4
1.1.2. Türkiye’de Biyoetanol .....	8
1.2. Biyoetanol Üretiminde Biyokütle Kaynağı Tatlı Sorgum .....	12
1.3. Biyoetanol Üretimi .....	13
1.3.1. Fermantasyon Prosesi .....	15
1.3.2. Distilasyon Prosesi.....	16
1.3.3. Moleküler Ayrışma Ve Dehidratasyon (Susuzlaştırma) Prosesi .....	16
1.4.1. ISO 14040 ve 14044 Standartları.....	18
1.4.2. Yaşam Döngüsü Analizi Temel Aşamaları .....	19
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>23</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
3.1. Materyal .....	26
3.1.1. Biyokütle kaynağı Tatlı Sorgum.....	26
3.1.2. Proseste Kullanılan Yardımcı Materyaller .....	27
3.1.3. Araştırmada Kullanılan Cihazlar .....	28
3.1.3.8. Otomatik Kalometrik Karl Fischer Titratorü .....	32
3.2. Yöntem.....	33
3.2.1. Ön Hazırlık Aşaması.....	33
3.2.2. Fermantasyon Prosesi .....	34
3.3.3. Distilasyon Prosesi.....	39
3.3.4. Son Ürün (Biyoetanol) Kalite –Kontrol Analiz Metotları .....	41
3.3.4.1. Biyoetanolde Metanol ve Yüksek Alkoller Tayini .....	41
3.3.4.2. Biyoetanolün Kalori (Alt Isıl Değeri ) Değeri .....	41
3.3.4.3. Biyoetanolün 20°C ‘de Yoğunluk Değerinin Analizi.....	42
3.6.5. Biyoetanolde Su Tayini .....	42
3.3.5. Tatlı Sorgum Temelli Biyoetanol’ün Yaşam Döngüsü Analizi.....	43
3.3.5.1 YDA Çalışmasının Amaç ve Kapsamının Belirlenmesi.....	44
3.3.5.3. Çalışmanın Yaşam Döngüsü Etki Analizi .....	47
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>49</b>
4.1. Ön Hazırlık Aşamasında Yapılan Analizlerin Sonuçları ve Prosese Etkisi.....	49

4.2. Fermantasyon Prosesi Değerlendirmesi ve Analiz Sonuçları.....	49
4.2.1. Fermantasyon Bx, pH Değerlerinin Takibi ve Sonuçları .....	50
4.2.2. Fermantasyonun Mikroskopik Gözlem Sonuçları .....	52
4.2.3. Fermantasyonun Köpük Oluşumu Gözlem Sonuçları .....	52
4.2.4. Fermantasyonda Mayşede Kalan Şeker Tayini Sonuçları .....	52
4.3. Distilasyon Prosesi Değerlendirmesi ve Analiz Sonuçları .....	53
4.4. Son rn (%46'lık Uzun türünden elde edilen Biyoetanol) Analiz Sonuçları....	54
4.4.1. Gaz Kromatografisi ile Biyoetanolda Metanol ve Yüksek Alkoller Tayini .	54
4.4.2. Biyoetanolün 20°C 'de Yoğunluk Değeri.....	54
4.4.3. Biyoetanolün Bünyesindeki Su Değeri.....	55
4.4.4. Biyoetanolün Alt Isıl Değeri.....	55
4.5. Tatlı Sorgum Temelli Biyoetanol'n Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi ....	55
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>59</b>
5.1. Sonuçlar .....	59
5.2. neriler .....	61
<b>EKLER .....</b>	<b>68</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

%Pol	: Sakkaroz miktarı
AP	: Asidifikasyon Potansiyeli
Briks	: İçerdiği katı/kuru madde
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	: Biyoetanol
CED	: Toplam Enerji Talebi
ÇYDM	: Çevresel Yaşam Döngüsü Maliyeti
DAP	: Diamonyum fosfat
E10:	: Yakıtın %10'u Biyoetanol
E85	: Yakıtın %85'i Biyoetanol
EIA	: Uluslararası Enerji Ajansı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
g	: Gram
GHG	: Sera Gazı Protokolü
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
ICUMSA	: Uluslararası Şeker Analizi Tekdüze Yöntemleri Komisyonu
kg	: Kilogram
kWh	: Kilowatt saat
l	: Litre
MgSO <sub>4</sub>	: Magnezyum sülfat
mol	: Kimyasal madde miktarı
MSDH	: Moleküler Ayrışma Ve Dehidratasyon (Susuzlaştırma) Ünitesi
POCP	: Fotokimyasal Ozon Oluşum Potansiyeli
Q	: Arılık, Usare Safiyatı
SHF	: Ayrılmış Hidroliz ve Fermantasyon Yöntemi
SOP	: Strasforik Ozon İncelmesi
TEP	: Karasal Ötrofikasyon
WEP	: Sucul Ötrofikasyon
YDA	: Yaşam Döngüsü Analizi
ZnSO <sub>4</sub>	: Çinko sülfat

## 1. GİRİŞ

Enerjinin hızla artan önemi ve değeri dünyada onu küresel ve stratejik bir güç haline getirmiştir. Bunun yanında ekonomik büyüme, güvenlik, çevresel sürdürülebilirlik ve uluslararası ilişkiler açısından ise enerji, ülkeler için vazgeçilmez bir faktör olmuştur. Bu nedenle, enerji politikaları ve stratejileri, ülkelerin ulusal çıkarlarını koruma ve küresel arenada etkin bir rol oynama amacıyla dünden bugüne şekillendirilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar ve enerji verimliliğine yönelik çabalar, sürdürülebilir enerji geleceği için kritik öneme sahiptir. Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan daha sağlıklı ve güvenilir bir enerji sistemi kurulmasına olanak tanır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak ve bu kaynakların kullanımını teşvik etmek, küresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir adımdır.

Son yıllarda iklim değışikliği, dünya çapında önemli bir çevre sorunu olarak görülmekte ve sürdürülebilir kalkınma üzerinde ciddi bir risk oluşturmaktadır. (Afrifa ve ark., 2020; Jiang ve ark., 2021). İklim değışikliği ve küresel ısınmaya ilişkin endişelerin yanı sıra fosil yakıtların kullanımına ilişkin kısıtlamalar, enerjinin sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji sektörüne geçişini teşvik etmektedir (Gallo ve ark., 2016; Gozgor, 2018). Böylece yenilenebilir enerji gelişimi, düşük karbonlu bir ekonomiye doğru dönüşümün önemli bir bileşeni haline gelmiştir (Przychodzen ve Przychodzen, 2020). Yenilenebilir enerjiye olan küresel talep her geçen gün daha da artmaktadır.

Yenilenebilir enerjinin bir alt kolu olan Biyokütle enerjisi; başta tarım ve çevre olmak üzere ulaştırma, sanayi ve ürün ticarileştirme gibi pek çok alanda etkileşime sahiptir. Biyokütle enerjisinin enerji üretimimizdeki payının artırılması amaçlı Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı'nca yürütölen faaliyetlerin odak noktasında kaynaklar ve sektörler arasında uyumu sağlamak bulunmaktadır. Tarım ve çevrenin sürdürülebilirliği; en az enerji arz güvenliği kadar hayati önemde unsurlardır. Bu kapsamda biyokütle enerjisi potansiyelinin etkin kullanımının; farklı boyutların göz önünde bulundurulmasına ve enerji portföyündeki dengenin sürdürülebilirlik odaklı yönetimine bağılı olduğu açıktır (Anonim, 2023).

Sera gazı emisyonları ve etkileri, dünya politikalarını emisyonların azaltılmasını teşvik etmeye yöneltmiştir. Paris Anlaşması, 2050 yılına kadar küresel sıcaklıktaki maksimum artışın sanayi öncesi seviyenin 2°C üzerinde sınırlandırılmasını amaçlayarak, emisyon akışının azaltılması ile sürdürülebilir kalkınmanın teşvik edilmesini hedefleri arasında belirtmiştir (Anonim, 2015).

Küresel ulaştırma sektörü şu anda sera gazı emisyonlarının yaklaşık %25'inden ve enerji tüketiminin yaklaşık %35'inden sorumludur ve esas olarak içten yanmalı motorlarda fosil yakıtların kullanımından kaynaklanmaktadır (Anonim, 2020a).

Biyokütle enerjisi, küresel yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli bir yere sahiptir. Afrika, Amerika, Asya ve Avrupa'da biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki kullanım oranları oldukça yüksektir; bu oranlar sırasıyla %96, %59, %65 ve %59'dur. Ancak, küresel düzeyde bakıldığında, biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki payı zamanla azalmaktadır. 1990 yılında %80.4 olan bu oran, 2000 yılında %78'e ve 2018 yılında %67.5'e düşmüştür. Bu düşüşe rağmen, biyokütle enerjisi, toplam yenilenebilir enerji arzı içinde büyük bir paya sahip olmayı sürdürmektedir. Ayrıca, odun peletleri, biyogaz ve sıvı biyoyakıtlar gibi modern biyokütle çözümlerinin artan kullanımı, modern biyoenerji kaynaklarının gelecekte yenilenebilir enerji dağılımında önemli bir yer edineceğini göstermektedir (Anonim, 2019).

Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası'nın 2024 yılı verilerine göre, Türkiye'de biyokütlenin toplam yıllık miktarı 62 milyon ton olarak hesaplanmıştır. TEİAŞ ve TÜBİTAK MAM iş birliğiyle geliştirilen Yük Tevzi Bilgi Sistemi kayıtlarına göre ise biyokütle enerjisi kurulu güç kapasitesi 2.212 MW olarak belirlenmiştir. Bu veriler, Türkiye'nin biyokütle kaynaklarının enerji üretiminde etkin bir şekilde değerlendirilebileceğini göstermekte olup, yenilenebilir enerji alanındaki mevcut potansiyelin artırılmasına yönelik stratejik planlamalar için önemli bir referans oluşturmaktadır. Ayrıca, biyokütle enerjisinin sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlama potansiyeli, enerji arz güvenliği ve çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi gereken kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır (YTBS,2024).

Biyoyakıtlar başlangıçta tarım sektörünün yakıt ihtiyacını karşılamak amacıyla düşünölmüşken, zamanla deniz taşımacılığı, şehir içi ulaşım ve askeri alanlarda da kullanılmak üzere üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde en yaygın kullanılan biyoyakıt türleri biyoetanol ve biyodizeldir. Benzinle doğrudan karışabilen biyoetanol, benzinin oktan sayısını artırma özelliğine sahiptir. Biyoyakıtların kullanımıyla ilgili ilk uygulamalar ise biyoetanol ile gerçekleşmiştir (Öğüt ve ark.,2005).

Ölkemizde yenilenebilir enerji yönetmeliklerine uyum sağlamak, dış enerji kaynaklarına bağımlılığı azaltmak ve tarım sektörünü desteklemek amacıyla, tarımsal kaynaklardan yurt içinde üretilen etanolün benzinle karıştırılması zorunluluğu 2013 yılında uygulamaya konmuştur ve halen yürürlüktedir. Bu çerçevede biyoetanol üretimi özellikle yakıt olarak kullanılmak üzere önemli bir seviyeye ulaşmıştır. Hali hazırda

biyoetanol üretim kapasitesini artırmak için yeni tesislerin kurulması ve yatırımların sürdürülmesi planlanmaktadır. Bu amaçla bu tez çalışmasında, tescili alınan Tatlı sorgum çeşitlerinin, biyoetanol üretimine alternatif hammadde kaynağı olabileceği ve mevcut üretim süreçlerine entegre olabileceği araştırılmıştır. Bu planlama ile artan biyoetanol talebini karşılamak için uygun hammadde seçiminde yalnızca verimlilikle sınırlı kalınmamalı aynı zamanda çevresel etkiler ve sürdürülebilirlik de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kapsamda ise, biyoetanol üretiminde en verimli çeşit belirlenmiş ve bu çevresel potansiyel etkilerini belirlemek amacıyla Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Analizi (YDA) yapılmıştır.

### 1.1. Biyoetanol

Biyoetanol, kimyasal gösterimi  $C_2H_5OH$  olan, renk içermeyen, uçucu ve yanıcı bir bileşiktir. 46.07 g/mol molekül ağırlığına sahip olan biyoetanol, aynı zamanda yüksek oktan sayısına (108) sahiptir (Busic ve ark., 2018).

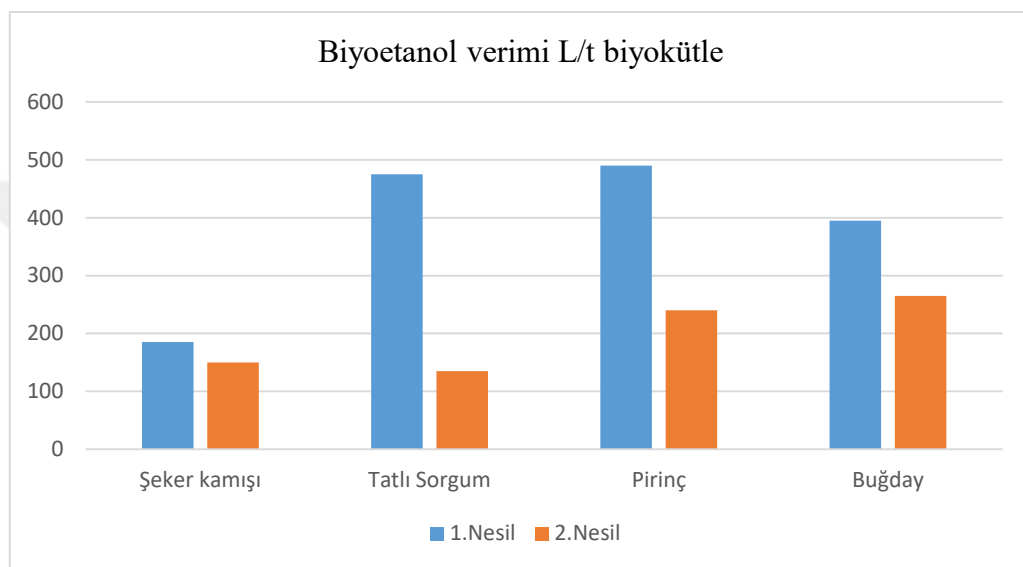
Biyoetanol'ün diğer fiziksel özellikleri incelendiğinde; yoğunluğu; 0.79 kg/dm<sup>3</sup>, kaynama noktası; 78°C, donma noktası; -96.1°C, parlama noktası; 13°C, kendi kendine tutuşma sıcaklığı; 440°C, alt ısı değeri 21.1 kJ/kg, gizli buharlaşma ısı; 854 kJ/kg ve suda çözünebilir gibi fiziksel özelliklere sahiptir (Busic ve ark., 2018).

Biyoetanol, farklı çeşitli hammadde kaynaklarından üretilebilmektedir. Genel olarak, üç kategoride sınıflandırılarak; sükröz içeren hammadde ve türevleri (şeker kamışı, şeker pancarı, tatlı sorgum ve meyveler), nişasta içeren hammaddeler (mısır, buğday, pirinç, patates, manyok, tatlı patates, arpa vb.) ve lignoselülozik biyokütlelerden (küspe, mısır koçanı, farklı saman türleri, zeytin çekirdekleri, selüloz atıkları, evsel katı atıklar, pirinç kabukları ve otlar, ağaçlar vb.) üretilmektedir (Balat, 2011).

Günümüzde, biyoetanolün baskın formu, şeker kamışı gibi şeker bazlı malzemelerden veya mısır, patates, tahıllar ve tahıllar gibi nişasta açısından zengin biyokütleden kaynaklanan 1. nesil olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çeşitli hammaddeler, fermente edilebilir şekerleri ve yan ürünleri çıkarmak için çeşitli teknikler kullanılarak fermantasyona ve ardından biyoetanol geri kazanımına tabi tutulur. Şeker mahsulleri genellikle monomerik ve dimerik şekerlere sahiptir; burada maya, biyoetanol elde etmek üzere fermente edilmelerine yardımcı olur. Şeker kamışı ve melasın fermente edilmesinde kullanılan maya geri dönüştürülebilir, böylece maliyet ve zaman azalır. 2. nesil hammaddeden biyoetanol üretme yöntemi, 1. nesil ile karşılaştırıldığında oldukça

karmaşıktır. Fiziksel ön arıtma, kimyasal ön arıtma, önceden işlenmiş biyokütlenin detoksifikasyonu gibi birkaç aşama gerekli olabilmektedir.

Aşağıda Şekil 1.1’de aynı mahsullerin farklı nesil biyoetanol verimleri karşılaştırılması verilmiştir. Bu verilere göre karmaşık üretim proseslerine ek olarak, 1. nesil hammadde ve 2. nesil hammaddeden elde edilen biyoetanol verimlerini gösteren grafiğe göre 2. nesil 1. nesile kıyasla önemli ölçüde verimleri daha düşüktür (Sanyam ve Shushil, 2024).



**Şekil 1.1.** Aynı mahsulden farklı nesil biyoetanolün verimi. Şeker kamışı (1. nesil: özsuğu; 2. nesil: saman) , tatlı sorgum (1. nesil: tahıllar; 2. nesil: küspe) , pirinç (1. nesil: tahıllar; 2. nesil: kabuk) ve buğday (1. nesil: tahıllar; 2. nesil: saman)

Yüksek oktan sayısı, hem sıkıştırma oranının yükselmesini sağlarken hem de düşük emisyon vermektedir. Oktan sayısının önemi; silindirin vuruntu yapmasına neden olan erken tutuşmayı önlemek için benzin kalitesinin derecesini 8 göstermesinden kaynaklanmaktadır. Kıvılcım ateşlemeli, içten patlamalı motorlarda yüksek oktan sayısına sahip yakıtlar tercih edildiği için biyoetanol bu özelliği karşılamaktadır. Biyoetanol, oksijen içeren bir yakıt olduğu için kabul edilebilir bir vuruntu önleme değeri sağlamaktadır (Balat, 2011).

### 1.1.1. Dünya’da Biyoetanol

1992 yılında Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nin eki olarak kabul edilmiş ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. 2015 yılında

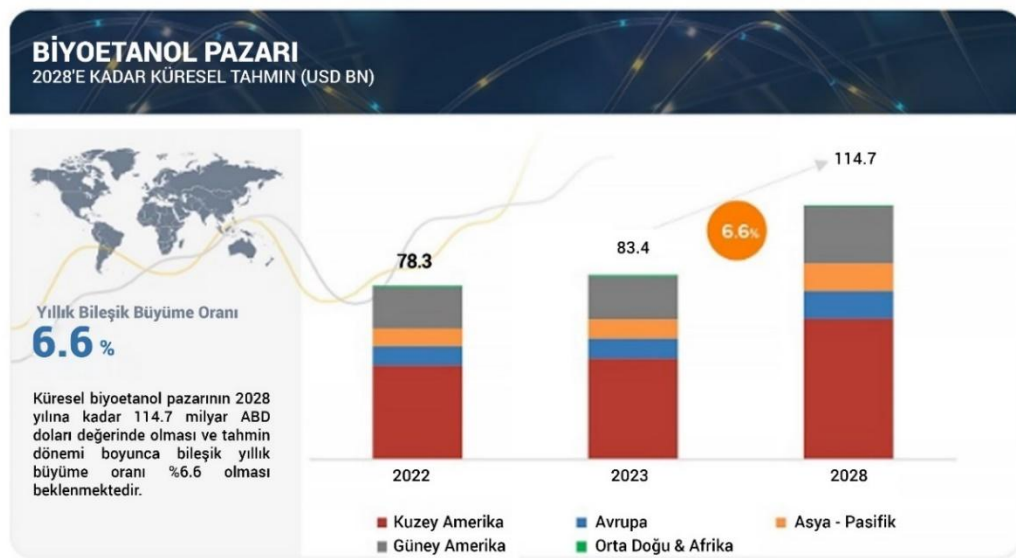
Paris İklim Anlaşması ve 2021 yılı başında Glasgow Anlaşması da kabul edilmiştir. Yapılan bu anlaşmalar fosil yakıt kullanımını sırasıyla 2030 ve 2050'ye kadar sıfıra indirmeyi amaçlamaktadır. Daha temiz ve konforlu bir dünya için yenilenebilir enerji üretimi konusunda duyarlılık ve farkındalık artmıştır, yaklaşık 195 ülke bu alanda çaba sarf etmeye başlamıştır. Kyoto Protokolü ile başlayan, Paris İklim Anlaşması ile devam eden ve Glasgow Anlaşması ile güçlendirilen uluslararası anlaşmalar, fosil yakıtların kullanımını azaltmayı ve çevre kirliliğini en aza indirmeyi hedeflemektedir. Bu anlaşmalar, doğanın korunmasını, insan sağlığının iyileştirilmesini ve gelecek nesillerin refahının güvence altına alınmasını esas alır. Bu hedeflerin gerçekleşmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin hem çevre hem de insanlık açısından bir gereklilik olduğu sonucuna varılmış ve yenilenebilir enerjiye geçiş önemli bir adım olarak değerlendirilmiştir. (Özkan, 2021).

EIA (Uluslararası Enerji Ajansı) tahminlerine göre, önümüzdeki 30 yıl içinde küresel enerji talebinin %47 oranında artması beklenirken, aynı zaman diliminde sıvı yakıt tüketiminin 2020 seviyelerine kıyasla %64 oranında artacağı varsayılmaktadır (Sun ve ark., 2019). Bu büyüme, dünya nüfusunun hızla artması ve kişi başına düşen enerji tüketiminin gelişen teknoloji, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesinden kaynaklanmaktadır. Bu talep artışı, fosil yakıtların mevcut arzını zorlamakta ve fosil yakıtların ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir olmadığını ortaya koymaktadır. Fosil yakıt rezervleri sınırlıdır ve sürekli artan talepleri karşılayamaz. Ayrıca, fosil yakıtların yanması sonucu oluşan karbon emisyonları, iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu durum, enerji sistemlerinde yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişin önemini vurgulamaktadır. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları, hem çevresel etkileri azaltmak hem de enerji arz güvenliğini sağlamak açısından büyük potansiyele sahiptir.

Küresel biyoetanol pazarında, 2022 yılında en önemli payı nişasta ve şeker bazlı ürünler kategorisi oluşturmuştur. Bunun temel nedeni hükümetin biyoetanol üretiminde yaygın olarak kullanılan mahsul ekimini artırmaya odaklanmasıdır (Anonim, 2020b).

Mısır, şeker kamışı veya selülozik materyaller gibi biyokütle kaynaklarından elde edilen biyoetanol, nişasta bazlı, şeker bazlı, selüloz bazlı ve diğerleri gibi hammaddelere göre bölümlere ayrılmış olup ulaşım, ilaç, kozmetik, alkollü içkiler gibi son kullanım endüstrisine göre dünya çapında geniş uygulamalara sahiptir. Temel amacı yenilenebilir bir yakıt kaynağı olarak hizmet vermektir. Biyoetanol, ulaşım için alternatif yakıt görevi gören etanol-benzin karışımlarını oluşturmak için sıklıkla benzinle birleştirilir.

E10 (yakıtın %10'u biyoetanol içerir) veya E85 (yakıtın %85'i biyoetanol içerir) olarak bilinen bu karışımlar, geleneksel benzine çevre dostu bir alternatif sağlayarak sera gazı emisyonlarını etkili bir şekilde azaltır ve yenilenemeyen fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır. Küresel biyoetanol pazarı son yıllarda istikrarlı bir şekilde büyüyor ve önümüzdeki yıllarda da büyümeye devam etmesi bekleniyor. Biyoetanol pazarının değeri 2023 yılında 83.4 milyar ABD doları olarak gerçekleşmiş ve Şekil 1.2'de yer alan 2022-2028 Bölge Bazında Biyoetanol Küresel Tahmin verilerine göre biyoetanol pazarının, 2028 yılına kadar %6.6 artışla 114.7 milyar ABD dolarına ulaşması beklenmektedir (Anonim, 2024a).



Şekil 1. 2. 2022-2028 Bölge bazında biyoetanol küresel tahmini (Anonim, 2024a)

Kuzey Amerika, 2022'de önemli bir pazar payına sahiptir ve tahmin dönemi boyunca önemli bir büyüme sergilemesi de beklenmektedir. Etanol karışımının kullanımına ilişkin hükümet düzenlemeleri aynı zamanda biyoetanolün pazar büyüklüğünü de artıracaktır. Buna ek olarak biyoetanol üretimi için fazla hammaddenin bulunması da bölgedeki pazarı yönlendiriyor. Kuzey Amerika, dünyadaki en büyük araç yakıtı tüketicilerinden biridir ve farklı etanol yakıt karışımları kullanmaktadır. ABD, Kanada ve Meksika gibi ülkeler, tarımsal atık ve yan ürünleri kullandığı için biyoetanol talebini artıracak araçlarda daha yüksek etanol karışımlarının kullanılmasını zorunlu kılmıştır (Anonim, 2020b).

ABD ve AB biyoyakıt politikalarının hedefleri sera gazı emisyonlarını azaltmak, biyoyakıtların yaşam döngüsü enerji verimliliğini artırmak ve biyoetanol, biyobütanol ve

biyodizel üretimini içeren yerli biyoyakıt üretimini desteklemektir. Biyoyakıtların geliştirilmesi ve tüketimi Asya'da da büyük ölçüde teşvik edilmektedir. Örneğin, Çin hükümeti 2017 yılında 2020 yılına kadar tüm benzine %10 etanol karıştırılması gerektiğini ilan etmiştir (Anonim, 2020c).

Asya-Pasifik bölgesi, son birkaç yıldır artan ticaret ve yatırım, gelişmiş altyapı ve teknolojik ilerlemeler gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanan önemli ekonomik büyüme yaşamaktadır. Çin, Hindistan ve Japonya, Asya-Pasifik bölgesindeki en büyük ekonomiler arasındadır ve bölgedeki büyümenin başlıca itici gücü olmuşlardır. Son yıllarda Endonezya, Malezya ve Vietnam gibi diğer ülkeler de bölge ekonomisinde önemli oyuncular olarak ortaya çıkmışlardır. Asya Pasifik bölgesindeki biyoetanol endüstrisinin büyümesi çeşitli faktörlere bağlanabilir. Birincisi, bölgede hızlı bir ekonomik büyüme ve kentleşme yaşanmış ve bu da enerji talebinin artmasına neden olmuştur. Bu talebi karşılamak için bölge ülkelerinin fosil yakıtlara yenilenebilir ve daha temiz alternatifler araması biyoetanolu cazip bir seçenek haline getiriyor. Asya Pasifik bölgesindeki hükümet organları ve politika yapıcılar, biyoetanölün potansiyelini fark etmiş ve enerji çeşitlendirme stratejilerinin bir parçası olarak biyoetanölün kullanımını aktif olarak teşvik etmektedir (Anonim, 2024a).

Dünya genelinde biyoetanol karışım oranları, ülkelerin enerji politikalarına, çevre hedeflerine ve yerel ekonomik koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. E10 ve E85 gibi karışımlar, farklı bölgelerde çeşitli kullanım oranlarına sahiptir.

1970 yılından bu yana üretilen araçlar, yakıt olarak E10 karışımına tamamen uyumludur. Tüm üreticiler, araçlarının E10 karışımlı yakıt ile uyumlu olduğunu onaylamakta ve bu yakıtın kullanımını garanti kapsamında kabul etmektedir. Düşük seviyede etanol içeren karışımların kullanımı, motor performansında kayda değer bir değişiklik yaratmamaktadır. E85 araçlar ise otomobil üreticilerinin bu yakıt türünü test etmeleri nedeniyle sınırlı sayıda üretilmektedir. Bu araçlar, %100 benzinle veya %85'e kadar etanol-benzin karışımıyla sorunsuz bir şekilde çalışabilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, bu tür araçlar "esnek yakıtlı taşıtlar" olarak adlandırılır. Ancak, E85 yakıtının yaygın kullanımını engelleyen en önemli faktörlerden biri, özel dağıtım ekipmanlarına duyulan ihtiyaçtır (Acaroğlu ve ark.,2004).

E10 ve E85 gibi biyoetanol karışımları tüm araçlara uyumlu olmayabilir. Bazı eski veya esnek yakıtlı olmayan araçlar, daha yüksek etanol karışımlarıyla çalışacak şekilde tasarlanmayabilir. Elektrikli araçların sayısı arttıkça üreticiler biyoetanol karışımlarını kullanabilen araçların geliştirilmesine ve desteklenmesine daha az odaklanabilir, buda bu

tür yakıtlara yönelik pazarı sınırlayabilir. Hükümet politikaları ve teşvikleri piyasa dinamiklerinin şekillenmesinde önemli rol oynuyor. Politika yapıcılar elektrikli araçlara öncelik verir ve bunların benimsenmesi için daha güçlü teşvikler sağlarsa, bu durum biyoetanol talebinin olumsuz yönde etkileyebilir. Sıvı biyoyakıtlar yerine elektrikli mobiliteyi destekleyen politika değişiklikleri, biyoetanol endüstrisinin büyüme potansiyelini kısıtlayabilir (Anonim, 2024a).

Dünyanın ikinci büyük etanol üreticisi olan Brezilya, ülkenin Merkez-Batı bölgesindeki etanol işleme tesislerinin büyümesinde çarpıcı bir artış yaşamıştır. Dünyanın en büyük etanol üreticisi olan Amerika Birleşik Devletleri'nin aksine, Brezilya'daki etanolün çoğu şeker kamışından üretilmekte iken mısırdan üretiminde de gelişmeler yaşanmaktadır. Eğilimler, mısır bazlı etanol endüstrisinin gelecekte Brezilya'daki toplam etanol üretiminin %20'sine yaklaşarak genişlemeye devam edeceğini gösteriyor (Colussi ve ark., 2023).

### **1.1.2. Türkiye’de Biyoetanol**

Yakıt Biyoetanolü, Türkiye’de Resmi Gazete’de yayımlanan tarımsal ürünlerin biyolojik olarak parçalanabilen kısımları ile bunların yan ürün, atık ve artıkları ile orman, sanayi ve evsel atıklardan elde edilen etil alkol olarak tanımlanmaktadır. Benzin türleri ile harmanlanarak taşımacılıkta kullanılmakta ve denatüre olarak piyasaya arz edilmektedir.

Benzin türlerine harmanlanmak üzere denatüre edilmiş Yakıt Biyoetanolü, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumundan dağıtım uygunluk belgesi almış firmalar tarafından, rafinerici veya akaryakıt dağıtıcı lisansına sahip firmaların ana depolarına teslim edilerek piyasaya arz edilir.

Türkiye’de, EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) tarafından 27/09/2011 tarih ve 28067 sayılı Resmî Gazete yayımlanan Tebliğ ile piyasaya akaryakıt olarak arz edilen benzin türlerinin yerli tarım ürünlerinden üretilmiş etanol içeriğinin; 01/01/2013 tarihi itibarıyla en az %2, 01/01/2014 tarihi itibarıyla ise en az %3 olması zorunlu hale getirilmiştir (Resmî Gazete, 2011).

Dünya genelinde uygulanan zorunlu harmanlama miktarına göre bu oranlar hafif kalabilir ama ülkemizde uygulanmaya başlaması önemli bir aşama olarak değerlendirilebilir.

Türkiye’de, yenilenebilir enerji politikalarına uyum sağlanması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve tarım sektörünün desteklenmesi amacıyla 2013’ten itibaren

yerli tarım ürünlerinden üretilen etanolün benzinle harmanlanmasına ilişkin zorunluluk uygulanmaya başlandı. 2013'te %2 oranında başlatılan uygulama 2014'te %3 seviyesine çıkarıldı. 2018 yılında, yerli tarım ürünlerinden üretilen 95 bin metreküp etanol, yükümlülüğü bulunan rafineri ve dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından benzinle harmanlanarak piyasaya sunulmuş ve bu miktar %3.17'lik harmanlama oranına karşılık gelmiştir. Bu sayede, yıllık yaklaşık 250 milyon lira değerinde akaryakıt ikamesi ürün üretilmiştir. Öte yandan, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, dünya genelinde etkili olan Covid-19 (Koronavirüs) salgınına yönelik alınacak önlemler çerçevesinde, artan dezenfektan ve kolonya ihtiyacının yerli üretimle karşılanması amacıyla Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na (EPDK) başvuruda bulunmuştur. Enerji Piyasası Denetleme Kurulu, talebin petrol piyasasına etkilerini değerlendirerek 13 Mart'tan itibaren geçerli olmak üzere rafineri ve dağıtıcı lisansı sahiplerinin benzin türlerine %3 biyoetanol harmanlama zorunluluğunu 3 ay süreyle askıya almıştır (Anonim, 2020d). Bunun nedeni, Covid-19 salgını sırasında kolonya ve dezenfektan gibi hijyen maddelerine yönelik artan ihtiyacı karşılamak için farklı sektörlerde biyoetanolün özel kullanımını yönlendirmesidir. Bu kararın amacı, hijyen sektöründe artan talebi karşılamak için yakıtta biyoetanol kullanımını azaltmaktır. Ayrıca politika, ithal etanole güvenmek yerine tarımsal kaynaklardan yerli biyoetanol üretimini teşvik etmektedir. (Anonim, 2022).

Bu uygulamadan sonra Türkiye'de Enerji Piyasası Denetleme Kurulu, benzin türlerine yerli etanol harmanlama yükümlülüğünü, 2023 yılında da %2 olarak uygulanması için Resmi Gazetede tebliğ yayımlamıştır. Mevzuatta %3 olarak belirlenen harmanlama yükümlülüğü 2022'de de %2 olarak uygulanmıştır ve 2023 yılında da bu şekilde devam etmiştir (Resmi Gazete, 2022).

Benzin Türlerine Etanol Harmanlanması Hakkında Tebliğinde yapılan değişikliklerle; "Benzin türlerine etanol harmanlama oranı, 01/01/2024 tarihinden itibaren %3'ten %2'ye düşürüldü; rafinerici ve dağıtıcı lisansı sahiplerinin etanol harmanlama yükümlülüğünün hesaplanmasında, 2023 ve 2024 yılları birleşik bir yıl olarak kabul edilecek" maddesi ilave edilerek aynı oranda 2024 yılında da devam etmektedir.

Aşağıdaki Tablo 1.1'de, Türkiye'de biyoetanol üretme ve dağıtma lisansı olan şirketler ve üretim detayları hakkında ayrıntı sunmaktadır. Bu şirketler özellikle yakıt amaçlı biyoetanol üretimine odaklanmışlardır.

**Tablo 1.1.**Yakıt biyoetanolü üreticileri (Anonim, 2017)

<b>Firma Adı</b>	<b>Bulunduğu İl</b>	<b>Kapasiteleri (Milyon/litre)</b>
Konya Şeker	Konya	84
Tarkim A.Ş.	Bursa	44
Tezkim A.Ş.	Adana	22
Türkşeker A.Ş.	Eskişehir	15

Ulaştırma Sektörü Nihai Enerji Tüketim Araştırması sonuçlarına göre; kara yolu taşımacılığında 2022 yılında nihai enerji tüketimi 1 milyon 145 bin 54 terajul olmuştur. Kullanılan yakıt türleri açısından değerlendirildiğinde; toplam enerji tüketiminin %74.6'sı motorin; %14.2'si LPG, %11.0'ı benzin ve %0.2'si diğer yakıtlar olarak gerçekleşmiştir. 2024 Aralık ayında trafiğe kaydı yapılan taşıt sayısı bir önceki yılın aynı ayına göre %19.9 artmıştır (TÜİK, 2024).

Tablo 1.1'de yer alan Yakıt Biyoetanolü üreticilerinin 2024 Yılı I. Çeyrek Yakıt Biyoetanolü İstatistiklerine (Ocak-Şubat-Mart) göre Yakıt Biyoetanolü istatistikleri ise Tablo 1.2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.** 2024 Yılı I. çeyrek yakıt biyoetanolü istatistikleri (TÜİK,2024)

	<b>GTİP</b>	<b>Ürün adı</b>	<b>Miktar(litre)</b>
Toplam Üretim	2207.10.00.10.11	Denatüre Edilmemiş Etil Alkol (Dökme)	13.319.434
	2207.20.00.10.13	Yakıt Biyoetanolü (Dökme)	10.568.609
Toplam Satış	2207.20.00.10.13	Sanayi Tipi Etil Alkol (Dökme)	2.183.603
	2207.20.00.10.14	Sanayi Tipi Etil Alkol (Ambalajlı)	-
Toplam İhracat	2207.10.00.10.11	Yakıt Biyoetanolü (Dökme)	-

Bu veriler doğrultusunda, benzin tüketimindeki artışa bağlı olarak biyoetanol kullanımının da yükselmesi öngörülmektedir.

Ülkemizdeki biyoetanol üretim tesislerinin büyük çoğunluğu yakıt olarak biyoetanol üretirken, geri kalanı gıda sektörüne yöneliktir. Yakıt üretimi için kullanılan tesislerde hammadde olarak şeker pancarı, mısır ve buğday kullanılmaktadır. Ancak bu ürünler öncelikli olarak gıda üretimine yönelik olduğundan, kalıntıları dışında biyoetanol üretimi için ilk tercih değildir. 2023 yılı için yapılan bir projeksiyon, bu hammaddelerin yan ürünlerinden yılda yaklaşık 555 milyon litre biyoetanol üretilbileceğini göstermektedir (Anonim, 2020e).

Çumra Şeker Kampüsü'nde yer alan ve yıllık 84 milyon litre üretim kapasitesine sahip Biyoetanol Tesisi incelenmiştir. Tesis, şeker pancarı melası, doğrudan şeker pancarı veya şeker kullanılarak biyoetanol üretimi yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Üretilen biyoetanol, yakıt harmanlama ürünü olarak araçlarda kullanılırken, aynı zamanda matbaacılık sektöründe de değerlendirilmektedir. Konya Şeker'in şeker üretimi sonrası ortaya çıkan yan ürün melasını değerlendirmek ve bunu ekonomik değeri yüksek bir ürüne dönüştürmek amacıyla gerçekleştirdiği bu yatırım, Türkiye'nin yenilenebilir enerji alanındaki en büyük yatırımlarından biri olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, bu tesis Türkiye'nin biyoetanol kurulu kapasitesinin yüzde 56'sına sahiptir ve büyük akaryakıt dağıtım şirketlerine ürün tedarik etmektedir. Aynı zamanda, Türkiye'nin enerji sektöründe yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler geliştirmeye yönelik adımlarını da atılabildiğini göstermektedir (Anonim, 2024b).

2004 yılında faaliyete geçen TARKİM'e ait biyoetanol tesisinde, üretilen biyoetanol benzinle harmanlanarak akaryakıt dağıtım şirketlerine satılmaktadır. Bu tesiste, biyoetanol üretiminde ham madde olarak mısır ve buğday kullanılmaktadır (Anonim, 2024c).

TEZKİM firması, günlük 100 bin litre biyoetanol üretimi gerçekleştirmektedir ve bu üretimde ham madde olarak mısır kullanılmaktadır (Anonim, 2024d).

TÜRKŞEKER (Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş.) bünyesinde yer alan Eskişehir Alkol Fabrikasında, 2008 yılında yıllık 15 milyon litre kapasiteli bir biyoetanol üretim tesisi kurulmuştur. Ancak, pazar alanı bulunmadığından üretim durdurulmuştur. Tesis, 2018 yılında tekrar faaliyete geçmiştir. Faaliyete geçtiği yıl 2.11 milyon litre üretim yapan tesis, 2019 yılında 96 bin litre üretim gerçekleştirmiştir (Anonim, 2021).

Ülkemizde “Tıbbi Amaçlı Etil Alkol” ve “Yakıt Biyoetanolü” yatırımları yıldan yıla artmaya başlanmış ve devamının geleceği düşünülmektedir.

Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulacak olan Alagöz Kimya, Tıbbi Amaçlı Etil Alkol Üretim Tesisi, yıllık 5 milyon litre tıbbi amaçlı etil alkol üretim kapasitesine sahip olacaktır. 2021 yılı Mayıs ayı sonunda inşaat ve imalat çalışmalarına başlanan tesis, toplam 20 bin metrekarelik bir alan üzerine inşa edilmekte olup, 6.500 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir. Türkiye'de, şeker pancarı, şeker pancarı melası, buğday ve patatesten etil alkol üretme özelliğine sahip ilk tesis olma özelliğini taşıyan bu üretim merkezi, tam otomasyonlu dijital sistemlerle kontrol edilecektir. Afyonkarahisar'ın Türkiye'nin önde gelen patates üretim bölgelerinden biri olması ve aynı zamanda yüksek

şeker pancarı ile buğday üretim kapasitesine sahip olması, tesisin hammaddesinin temini açısından önemli bir avantaj sağlayacaktır. (Anonim, 2024e).

Alagöz Kimya'nın Afyonkarahisar'da kurduğu bu tesis stratejik bir öneme sahip olup, tesiste kullanılan hammaddelerin bölgesel üretimi, lojistik avantajlar sağlayarak tesisin operasyonel verimliliğini artıracaktır.

Amasya Şeker Fabrikası A.Ş. 1996 yılında Türkiye'nin en modern tarımsal kökenli Etil Alkol Üretim Tesisini faaliyete geçirmiş ancak, Tekel'in özelleştirilmesini müteakip Etil Alkol üretimine 2003 yılında son vermiştir. Tesis, yönetim değişikliği sonrası 15 yıl aradan sonra hızlı ve gerekli bakım onarım faaliyetlerinin ardından 2018 yılında tekrar devreye alınarak ülkemiz, yöre ve şirket menfaatlerine hizmet eder duruma getirmiştir (Anonim, 2024f).

Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş.'ne (TÜRKŞEKER) ait Afyon Şeker Fabrikası'nın özelleşme sonrası şeker fabrikasına entegre olarak yıllık 1.8 milyon litre kapasiteli Yakıt Biyoetanolü yatırımı başladığı kamuoyu ile duyurulmuştur (Anonim, 2024g).

## 1.2. Biyoetanol Üretiminde Biyokütle Kaynağı Tatlı Sorgum

Tatlı sorgum (*Sorghum bicolor L.*), C4 metabolizmasına sahip, tek yıllık, hızlı büyüyen orijini Kuzey ne Doğu Afrika olan bir enerji bitkisidir. Aynı zamanda çok etkili bir kök sistemine sahiptir. Bu kök sistemi sayesinde kuraklığa dayanıklıdır ve su gereksinimi düşüktür (Köppen ve ark., 2009). C4'e sahip olmasından ötürü kökte, hava biyokütlesinde ve tohumda büyük miktarlarda karbonlu madde ve fermente edilebilir şeker biriktirir (Thivierge ve ark., 2015). Bu nedenle, kurak alanlarda tatlı sorgum üretimi, yüzeyin yeşillendirilmesi ve yenilenebilir enerji üretiminin karbondan arındırılması için kritik öneme sahiptir. Tatlı sorgum yetiştiriciliği, yüksek biyokütle verimi ve karbon içeriği nedeniyle daha iyi bir çevresel denge sunar (Hossain ve ark., 2022). Tatlı sorgum da yarı kurak tropik bölgelerde sürdürülebilir ekim yöntemleri uygulandığında iklim değişikliğine karşı hassasiyeti düşük bir ürün olarak rapor edilmiştir (MacCarthy ve ark., 2021). Tatlı sorgum, kuraklık sırasında bitkinin stresini azaltarak büyümesini durdurarak dormant (uyku) hale geçebilme yeteneği sayesinde kuraklığa en dayanıklı zirai ürünlerden biridir. Bu özelliği, bitkinin su eksikliği durumunda hayatta kalmasına ve uygun koşullar tekrar sağlandığında büyümeye devam etmesine olanak tanır (Balat ve ark., 2008). Son yıllarda silaj üretimine yönelik geliştirilen sorgum çeşitlerinin, daha fazla boy uzaması, birim alandan daha yüksek biyokütle verimi sağlaması ve kalite

açısından mısır ile benzer ya da eşdeğer özelliklere sahip olduğu rapor edilmektedir (Rezende ve ark., 2020).

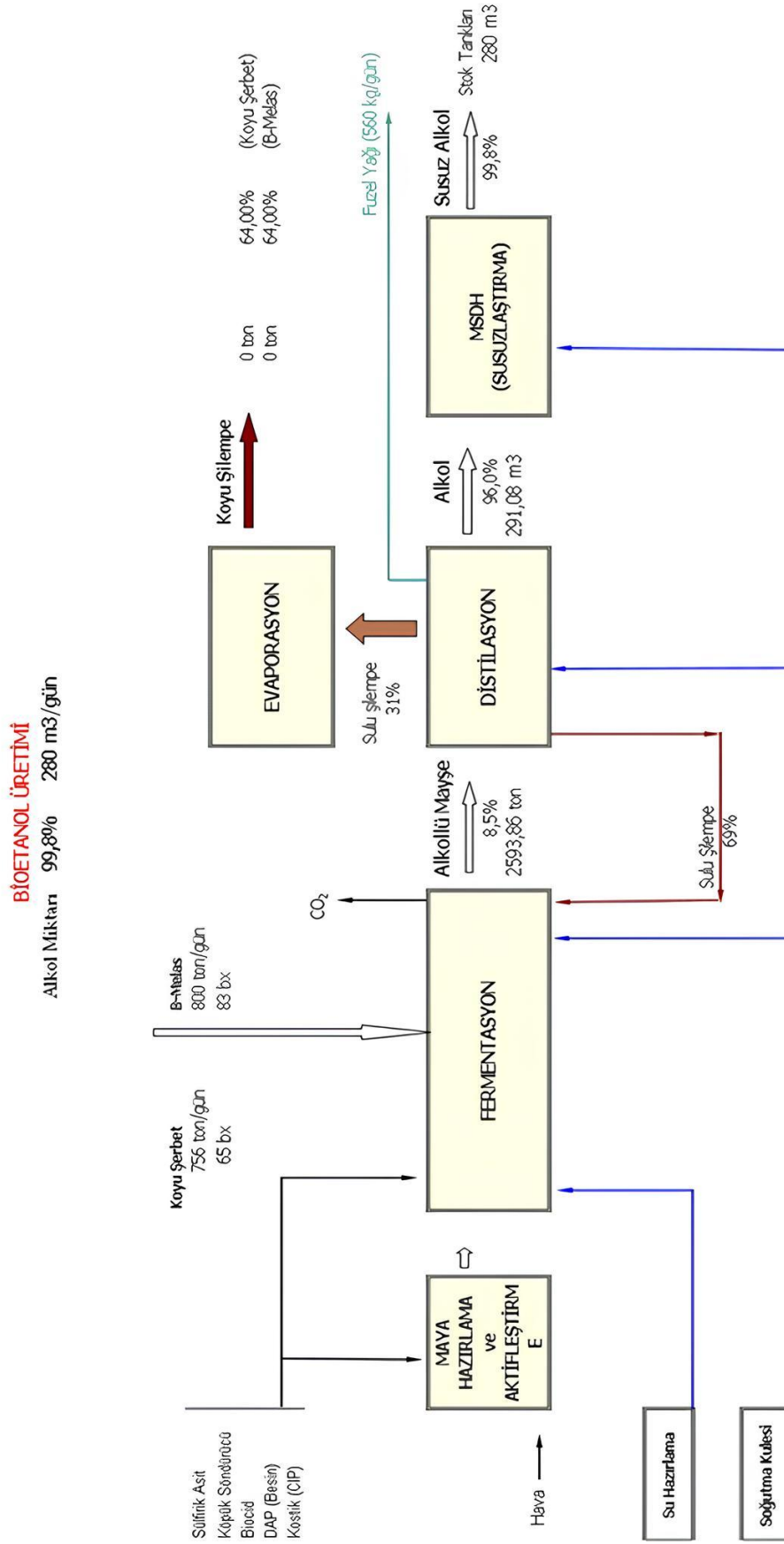
### 1.3. Biyoetanol Üretimi

Dünya genelinde biyoetanol üretimi, bölgesel koşullara bağlı olarak kullanılan hammaddeye göre değişkenlik göstermektedir. Üretim aşamalarının her biri, biyoetanol üretiminin verimliliğini, maliyetini etkileyen kritik adımlardır. Teknolojik gelişmeler ve süreç optimizasyonları ile bu aşamalar da hammaddenin türü, biyokimyasal bileşimi ve yapısına bağlı olarak ön işlem gerektirebilir.

Nişasta bazlı hammaddeler (mısır, buğday) enzimler aracılığıyla glikoza parçalanabilirken, şeker pancarı ve şeker kamışı mekanik olarak ezilerek direk glikoz içeren suyu çıkarılabilmektedir. Diğer hammaddeler ise mekanik parçalama, kimyasal veya fiziksel işlemlerden geçebilmektedir. Ön hazırlık aşamasını takip eden fermantasyon aşamasında, basit şekerler (genellikle glikoz), mikroorganizmalar (genellikle maya olarak *Saccharomyces cerevisiae*) tarafından etanole ve karbondioksit'e dönüştürülür. Distilasyon süreci, fermantasyon sonucunda oluşan etanolü su ve diğer yan ürünlerden uzaklaştırmayı amaçlar. Özetle, fermantasyon ve distilasyon süreçleri her hammadde için temel olarak aynı olsa da, spesifik hammadde türüne göre bazı farklılıklar ve optimizasyonlar yapılması gerekebilir.

Tez çalışmasını yaptığımız tesis hammadde olarak melas kullanmaktadır. Melas, şeker endüstrisinin yan ürünü olarak elde edilir. İçeriğindeki yüksek şeker konsantrasyonu (özellikle sakkaroz, glukoz ve fruktoz) biyoetanol üretimi için uygundur. Çumra Şeker Fabrikası bünyesinde kurulmuş olan bu tesiste (Biyoetanol Fabrikası), günlük 280 bin litre üretim yapılmaktadır. Şeker pancarından üretilmiş olan koyu şerbet ve/veya melas hammadde olarak kullanılmaktadır. Her biri 14800 m<sup>3</sup>'lük 6 adet hammadde depolama tankı sayesinde bütün bir yıl çalışma yapılmaktadır.

Tesisin proses melastan biyoetanol üretim prosesi Şekil 1.3'te gösterilmektedir. Proseslerinin çalışma prensipleriyle beraber detaylarına aşağıda verilmiştir (Anonim, 2024h).



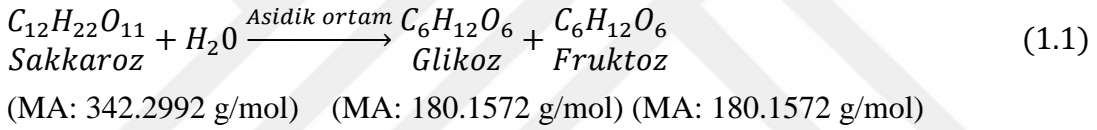
Şekil 1.3. Melastan biyoetanól üretimi proses şeması (Anonim, 2024h)

### 1.3.1. Fermantasyon Prosesi

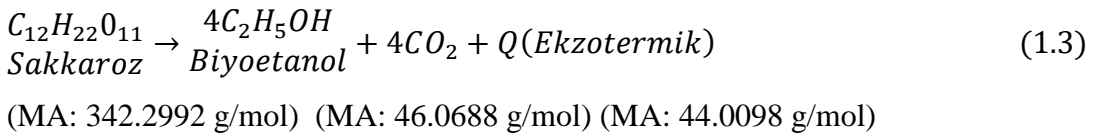
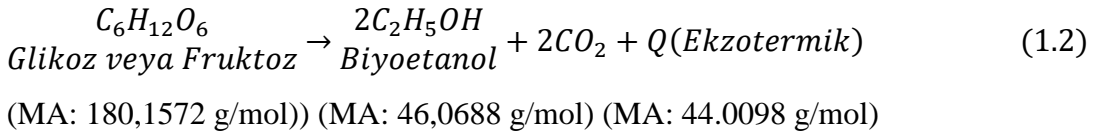
Fermantasyon tesisinde kesikli ve sürekli olarak çalışabilen 4 adet fermantasyon reaktörü mevcuttur. Her bir fermantör, güvenli ve verimli çalışmayı sağlayacak şekilde, bağımsız olarak kazan karıştırma, hammadde harmanlama ve emniyet sistemleri ile donatılmıştır.

Fermantasyon sürecinde, *Saccharomyces cerevisiae* türü özel kültür mayası kullanılmaktadır. Bu mayanın üretimi ve çoğaltılması, ilk olarak laboratuvar ortamında başlar ve ardından Maya Çoğaltma Ünitesinde devam eder. Fermantasyon tanklarından alınan alkollü mayşe içerisindeki mayalar geri kazanılarak aktif hale getirilir ve çoğaltılır. Geri kazanılan bu maya, yeniden fermantasyon tanklarına verilerek alkol üretim verimliliği artırılır. Bu işlem, mayanın verimli bir şekilde yeniden kullanılarak üretim sürecinin optimize edilmesini sağlayarak alkol verimliliğinin artmasına yardımcı olur.

Fermantörlerde meydana gelen ana reaksiyonlar sırasıyla aşağıda yer alan denklemler sırasıyla aşağıdaki gibidir.



Glikoz ve Fruktoz mayalanma ile parçalanarak Ethanol ve CO<sub>2</sub> oluşur.



Fermantasyon işlemi, fermantasyon tankının tabanına belirli miktarda su ve maya eklenerek başlatılır. İşlem başladıktan sonra, 12-15 saatlik bir süre boyunca koyu şerbet beslemesi yapılır. Proses, sürekli sirkülasyonla birlikte sıcaklık, pH ve briks değerlerinin kontrol edilmesiyle sürdürülür. Toplamda 24-26 saat sonunda fermantasyon tamamlanır ve hacimce %8.5-11 arasında alkol içeren mayşe elde edilir. Alkollü mayşe içerisindeki maya geri alınarak aktifleştirme tankına gönderilirken, alkollü mayşe distilasyon

ünitesine gönderilir. Distilasyon ünitesinin birinci kolonundan elde edilen sulu şilempe, fermantasyon ünitesine geri gönderilir. Bu sayede, sulu şilempe içerisindeki mineraller ve su geri kazanılmış olur.

Reaksiyon sonucunda oluşan CO<sub>2</sub>, bünyesinde bulunan alkolün geri kazanılması amacıyla bir yıkayıcı kolondan geçirilir. Bu işlem, CO<sub>2</sub> gazındaki alkolü geri kazanarak verimliliği artırır. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra, arındırılmış CO<sub>2</sub> atmosfere salınır. Bu CO<sub>2</sub> gazı geçtiğimiz yıllar içerisinde kurulan depolama ünitesi ile değerlendirilerek kuru buz ve sıvı CO<sub>2</sub> olarak sanayiye kazandırılmıştır (Anonim, 2024h).

### 1.3.2. Distilasyon Prosesi

Distilasyon ünitesi, enerji verimliliğini artırarak ve farklı saflık seviyelerinde ürün elde edebilecek şekilde çoklu basınç distilasyon teknolojisi yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Bu sayede kademeli basınç konsepti ve gerekli olan ısıtma ve soğutma işlemleri birbirleri ile entegrasyonu sağlanarak önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmıştır. Distilasyon prosesinde, 1 litre biyoetanol üretimi için 2.45 kg buhar harcanmaktadır.

Alkollü mayşeden elde edilen alkol, distilasyon ünitesinin 1. ve 2. kolonlarında, hacimce en az %96 alkol konsantrasyonu sağlanacak şekilde işlenir. Ardından, bu alkol MSDH (susuzlaştırma ünitesi) kolonlarına iletilir ve burada hacimce %99.7-99.8 arasında bir konsantrasyona sahip yakıt biyoetanolü üretilir. Elde edilen ürün kalite kontrolünden geçirilir ve ardından stok tanklarına aktarılır.

Kolonun orta bölümlerinden, yüksek moleküllü alkoller içeren fuzel yağı çekilir. Deklantör kullanılarak ayrıştırılan fuzel yağı, ayrı bir depolama alanına aktarılır. Bu madde, başta kozmetik sektörü olmak üzere farklı endüstrilerde kullanım potansiyeline sahiptir (Anonim, 2024h).

### 1.3.3. Moleküler Ayrışma Ve Dehidratasyon (Susuzlaştırma) Prosesi

Biyoetanol üretiminde hedeflenen saflık oranı %99,8 olduğundan, ekstra susuzlaştırma işlemi için moleküler susuzlaştırma tesisi tasarlanmıştır. Bu süreçte, etanol-su karışımından susuz etanol elde etmek amacıyla sentetik zeolitlerin moleküler eleme özelliklerinden faydalanılır. Etanol molekülleri, su moleküllerinden daha büyük oldukları için, yüksek sıcaklık (120°C) ve basınç altında, %95 etanol-su karışımının zeolit yatağından geçirilmesi sırasında, su molekülleri zeolit gözeneklerinden geçerek hapsolür. Bu sırada etanol molekülleri, zeolit gözeneklerine girmeden geçiş yapar.

Sonuç olarak, sulu alkol buharındaki su molekülleri zeolit yatağında tutulur ve susuz etanol elde edilir (Anonim, 2024h).

#### 1.4. Yaşam Döngüsü Analizi

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, bir ürün veya hizmetin yaşam döngüsünün tüm aşamalarındaki çevresel etkilerini tanımak, belgelemek ve ele almak için kullanılan bir yöntemdir; hammadde ediniminden başlayarak üretim, nakliye, kullanım ve kullanım ömrü sonunda bertaraf edilmesine kadar devam eder (Anonim, 2024ı).

Sürdürülebilirliğin sayısal olarak ölçülmesi ancak yaşam döngü analizi ile mümkün olmaktadır (Muthu, 2017).

Yaşam döngüsü analizi (YDA), karmaşık karar verme senaryolarında kullanılan analitik ve kapsamlı bir yaklaşımdır. Bir ürün, süreç, yatırım, proje veya stratejinin geliştirilmesi sırasında maliyet ve performans gibi çeşitli faktörlerin yanı sıra doğal kaynakların kullanımı ve potansiyel çevresel etkileri de göz önünde bulundurulur (Demirer, 2011).

Gelişmekte olan teknolojilere ilişkin karar verme süreçlerinde yeni teknolojilerin seçimi ve uygulanması, bu teknolojilerin çevresel etkileri; doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde verimli kullanılması, yenilenebilir kaynaklara geçiş ve israf etmeyen uygulamaların tercih edilmesi; yapılacak olan yatırımların, faaliyetlerin veya projelerin iklim değişikliği potansiyeli üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ve iklim değişikliği ile mücadelede etkili adımların atılmasında YDA sıklıkla kullanılan bir metodolojidir.

Temiz Üretim, süreçlerin, ürünlerin ve hizmetlerin çevre ile insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirerek üretim verimliliğini artırmayı amaçlayan önleyici bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, enerji, su ve kaynak verimliliği artırılır, atıklar ve emisyonlar azaltılır, ayrıca üretilen ürünlerin rekabet gücü güçlendirilerek ekonomik faydalar sağlanır. Temiz üretim uygulamaları, teknoloji, ekipman, süreç girdileri ve çıktıları, tesis yönetimi ve bakımı, atık yönetimi ve ürün tasarımı gibi çeşitli alanlarda yapılan değişiklikleri içerir. Üretim ve ürün geliştirme aşamalarındaki bu değişiklikler, tüm ürün değer zincirini etkileyerek, temiz üretim çabalarının bütünsel bir yaklaşım olan YDA yöntemiyle değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Bu YDA çalışması, toplam çevresel etkiyi değerlendirirken, çevresel yükün bir aşamadan diğerine devredilmesini önlemek amacıyla çapraz-medya etkilerini de göz önünde bulundurulur. Böylece, her aşamada alınan iyileştirme önlemleri, genel çevresel

etkiyi azaltırken, bir aşamadaki kazanımların diğer bir aşamada olumsuz etkilere yol açmamasını sağlar.

Bu tür kapsamlı bir yaklaşım, sürdürülebilir üretim ve çevre yönetimi stratejilerinin bir parçası olarak çevresel sorumluluğun tüm ürün yaşam döngüsü boyunca ele alınmasını hedefler.

Üretimde sürdürülebilir hammaddelerin kullanılmasıyla "hammadde eldesi" işlemiyle değiştirilebilen, Ar-Ge işlemleriyle kullanılabilen elektronik ürünlerin enerjinin uzaklaştırılması yoluyla "kullanım" aşamasındaki karbon ayak izinin azaltılması, ambalaj tasarımında yapılan değişimlerle "ürün sevkiyatı" işlemi daha verimli hale getirilmesi ve buna bağlı olarak hava emisyonlarının azaltılması, ayrıca geri kullanımı kolay ürünler tasarlayarak "nihai bölümü" aşamasının etkilerinin en az indirilmesi gibi adımlar, ürün değer zincirinin tüm aşamalarını içeren bir YDA çalışmasının temel unsurlarını oluşturur (Yılmaz ve ark., 2015).

#### **1.4.1. ISO 14040 ve 14044 Standartları**

YDA metodolojisinin nasıl yapılması gerektiğinin temel taşları ISO 14040 ve 14044 ile belirlenmiştir. Yaygın olarak kullanılan ve kabul edilen önemli standartlar ISO 14040 ve 14044'tür. Yaşam döngüsü değerlendirmelerinin ilkeleri ve çerçevesi ISO 14040'ta açıklanmıştır; gereksinimlerin kendisi ise ISO 14044'te belirtilmiştir. ISO 14040, yaşam döngüsü analizinin amaç ve kapsamının tanımlanması, yaşam döngüsü envanter analizi, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi, yorumlama, raporlama ve eleştirel inceleme, YDA'nın sınırlamaları dahil olmak üzere yaşam döngüsü analizinin ilkelerini ve çerçevesini açıklar.

TSE EN ISO14040: "Çevre yönetimi - Hayat boyu değerlendirme - Gereklere ve kılavuz" başlıklı standart yaşam boyu değerlendirme (YDA) için gerekleri belirtir ve kılavuzluk sağlar.

TSE EN ISO14040: "Çevre yönetimi - Hayat boyu değerlendirme - İlkeler ve çerçeve" başlıklı standart YDA'nın ilkeleri ve çerçevesini kapsamaktadır.

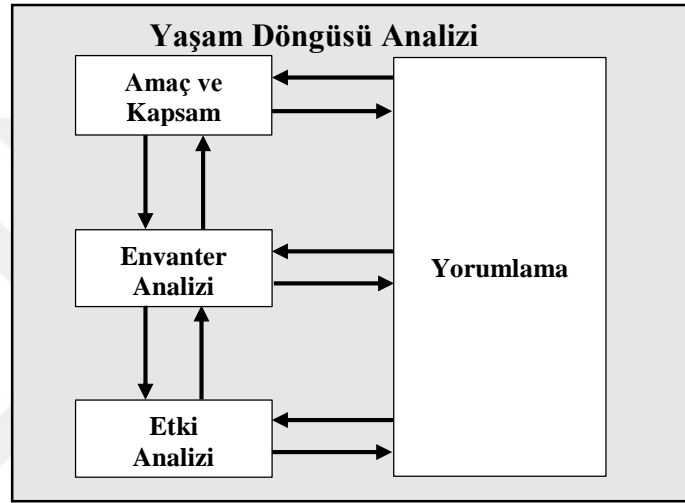
ISO 14044 standardı, ISO 14040 standardına benzer bir kapsamda metodolojik unsurları ele alır. 2017 ve 2020 düzeltmeleri mevcuttur (ISO 14040, 2006).

### 1.4.2. Yaşam Döngüsü Analizi Temel Aşamaları

YDA, bir ürün veya sürecin tüm yaşam döngüsü boyunca oluşabilecek çevresel etkileri kapsadığından, değerlendirilen bu çevresel etkileri tüm boyutlarıyla ve kapsamlı bir şekilde yansıtır.

YDA kullanımı, bir ürün veya süreçteki potansiyel değişikliklerin çevresel etkilerini karşılaştırabilen ve çeşitli senaryolar için karar verme süreçlerinde dikkate alınabilen kapsamlı ve eksiksiz bir değerlendirmeye olanak tanır.

Bir YDA çalışmasında tipik olarak yer alan yaşam döngüleri Şekil 5'te görülebilir.



Şekil 1.4. YDA metodolojisi

#### 1.4.2.1. Amaç ve Kapsam Belirlenmesi

Bu aşamada çalışmanın amacı, kapsamı, sınırları ve detaylandırma düzeyi tanımlanır.

YDA'nın amacı, hedeflenen uygulamanın belirlenmesi, çalışmanın yürütülme sebeplerinin açıklanması, çalışma sonuçlarının ulaştırılması gereken hedef kitlenin belirlenmesi ve sonuçların kamuoyuna açıklanacak karşılaştırmalı beyanlarda kullanılmasının amaçlanıp amaçlanmadığı gibi hususları içermektedir.

Sistem sınırı, hangi birim süreçlerin YDA'ya dahil edileceğini belirler. Modellenecek fiziksel sistemin unsurlarının seçimi, çalışmanın amaç ve kapsam tanımına, amaçlanan uygulama ve hedef kitlesine, yapılan varsayımlara, veri ve maliyet kısıtlarına ve kesim kriterlerine bağlıdır.

Sistem sınırını belirlenirken şu birim süreçleri ve akışları dikkate alınmalıdır:

- Hammaddelerin elde edilmesi,

- Ana üretim/işleme sırasındaki girdiler ve çıktılar;
- Dağıtım/taşıma;
- Yakıt, elektrik ve ısı üretimi ve kullanımı
- Ürünlerin kullanımını ve bakımı;
- Proses atıkları ve ürünlerin çevreye zarar vermeyecek şekilde elden çıkarılması;
- Kullanılmış ürünlerin geri dönüşümü;
- Yardımcı malzemelerin üretimi;
- Sermaye ekipmanlarının üretimi, bakımı ve hizmetten çıkarılması;
- Aydınlatma ve ısıtma gibi ek işlemler (ISO14040, 2006).

#### **1.4.2.2.Envanter Analizi**

Bu aşamada çalışılan sistemin kapsamı dâhilinde gerçekleşecek enerji, su, ham madde kullanımı ve bunlara bağlı çevresel emisyonlar belirlenir.

Envanter analizi, bir ürün sisteminin ilgili girdilerini ve çıktılarını hesaplamak amacıyla veri toplama ve hesaplama süreçlerini kapsar.

Envanter analizi süreci yinelemeyi içerir. Bilgi toplandıkça ve sistem daha iyi anlaşıldıkça, çalışmanın hedeflerinin yeni veriler gerektirebileceği veya veri toplama yöntemlerinde ayarlamalar yapılmasını gerektiren sınırlamalarla karşılaşılacağı ortaya çıkar. Çalışmanın amacı ve kapsamı doğrultusunda zaman zaman değişiklik yapılması gerekebilir.

Sistem sınırı içerisindeki her bir birim süreç için gerekli veriler, aşağıdaki ana başlıklar altında toplanmalıdır:

- Enerji kaynakları, ham madde girdileri, yardımcı girdiler ve diğer fiziksel girdiler,
- Ürünler, yan ürünler ve atıklar,
- Havaya salınan emisyonlar, suya ve toprağa yapılan deşarjlar,
- Diğer çevresel etkiler.
- Veri toplama süreci, kaynaklar yoğun bir işlem olabilir. Bu süreçteki zorluklar, kapsam dahilinde dikkate alınmalı ve raporda açıkça belirtilmelidir (ISO14040, 2006).

### 1.4.2.3.Etki Analizi

Envanter analizi aşamasında belirlenen enerji, su, ham madde kullanımı ile çevresel emisyonların insan sağlığı ve çevresel değerler üzerindeki olası etkileri değerlendirilir.

Etki değerlendirme aşaması, potansiyel çevresel etkilerin önemini değerlendirmek için YDA bulgularını kullanmayı amaçlar. Tipik olarak bu prosedür, envanter verilerinin belirli çevresel etki kategorilerinin kategori göstergeleri ile entegre edilmesini gerektirir. Bu, söz konusu çevresel etkilerin anlaşılmasına yardımcı olur. Ayrıca, etki değerlendirme aşaması yaşam döngüsü incelemesi aşaması için bilgi sağlar. Etki değerlendirmesi, çalışmanın hedeflerine ulaşıp ulaşılmadığını belirlemek veya değerlendirmenin amaç ve kapsama ulaşamayacağını göstermesi durumunda bunları değiştirmek için YDA araştırmasının amacını ve kapsamını inceleyen tekrarlayan bir süreci içerebilir. Etki kategorilerinin seçimi, modellenmesi ve değerlendirilmesi gibi zorluklar etki değerlendirme aşamasının tarafsızlığını tehlikeye atabilir. Bu nedenle, varsayımların açıkça belirtilmesini ve belgelenmesini sağlamak için etki değerlendirmesinde şeffaflık önemlidir (ISO14040, 2006).

#### 1.4.2.4.Yorumlama

Envanter ve etki analizi aşamalarının sonuçları değerlendirildikten sonra, karşılaştırılan ürün, süreç veya hizmetlerden birisi tercih edilir. Bu seçim yapılırken, tahminler ve mevcut belirsizlikler YDA (Yaşam Döngüsü Analizi) kapsamında açıkça belirtilmeli ve göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece, seçim süreci şeffaf hale getirilir ve değerlendirmelerdeki belirsizlikler doğru bir şekilde yönetilir.

YDA çalışmalarında yorumlama, hem envanter analizinin hem de etki değerlendirmesinin sonuçlarının dikkate alınmasını içerir. Yorumlama aşamasında, tanımlanan amaç ve kapsam doğrultusunda kararlar alınır. Bu aşama, sınırlamaları açıklamak ve tavsiyelerde bulunmak için kullanılan sonuçları ana hatlarıyla belirtmelidir. YDA'nın sonuçlarının karşılaştırmalı bir yaklaşıma dayandığını ve gerçek etkileri tahmin etmekten ziyade olası çevresel etkileri tasvir ettiğini belirtmek önemlidir. Bunun nedeni, kategori uç noktalarının eşikleri veya güvenlik aralıklarını veya riskleri aşmasıdır. Bu analizden çıkarılan sonuçlar, çalışmanın amacı ve kapsamına göre karar vericilere yol gösterecek tavsiye ve yargılarda bulunmayı içerebilir. Ürünün yaşam süresinin yorumlanması da YDA çalışmasının sonuçlarını çalışmanın amacı ve kapsamıyla uyumlu, açık, kapsamlı ve tutarlı bir şekilde sunmayı amaçlamaktadır. YDA'nın yorumlama aşaması da çalışmanın bulgularını, çalışmanın amacı ve kapsamı ile uyumlu olacak şekilde açık ve kapsamlı bir şekilde iletmeyi amaçlar. Bu aşama, YDA'nın kapsamı ve tanımlanmış hedefleriyle uyumluluğu sağlamak için toplanan verilerin gözden geçirilmesini ve olası ayarlamaların yapılmasını gerektirebilir. YDA bulguları değerlendirme sonuçlarını doğru bir şekilde temsil etmelidir (ISO14040, 2006).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Grassi (2000), Tatlı sorgumun mısır, şeker kamışı ve şeker pancarına göre yarından üçte bir oranına kadar daha az gübre ve sulama gibi girdilere ihtiyaç duyduğunu ve bu bitkiler ile olan rekabet şansını artırdığını bildirmiştir. Ayrıca, bir m<sup>3</sup> etanol üretim maliyetinin; tatlı sorgumda 200-300 \$ civarında iken; bu rakam şeker kamışında 260 \$, mısırdaki 300-420 \$, patatesteki 990 \$, buğdayda 770 \$ ve manyokta 790 \$'dır. Grassi, bu düşük maliyetin yenilenebilir enerji kaynağı olarak tatlı sorgumun önemini daha da artırdığını çalışmasında vurgulamıştır.

Sutter ve Jungbluth (2007), Çin'de tatlı sorgum yetiştiriciliğinde çevresel etki değerlendirmesi yapmak amacıyla YDD yönteminden faydalanmışlardır. İlk önce hem tane hem de sap için envanter çıkarmışlardır. Daha sonra CED (Cumulative Energy Demand) metoduna göre yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yapmışlardır. Çin'de tatlı sorgum yetiştiriciliği için yaşam döngüsü envanteri çıkarılmasında, makine ve gübre kullanımının çok belirleyici olduğunu vurgulamışlardır.

Köppen ve ark. (2009), FAO adına hazırladıkları raporda, birinci ve ikinci nesil biyoyakıt olarak yetiştirilen tatlı sorgum bitkisinin enerji ve sera gazı envanterlerini değerlendirmişlerdir. Tatlı sorgumdan biyoyakıt elde etmede kullanılan tüm yöntemleri incelemişlerdir. Her bir üretim ve kullanım safhası için yaşam döngüsü sistemi belirlemişlerdir. Daha sonra, elde ettikleri sonuçları fosil yakıtların çevresel etkileriyle karşılaştırmışlar ve aşağıdaki saptamalarda bulunmuşlardır;

- Tatlı sorgum, etanol (tane veya şeker) ve yeşil elektrik (küspe) üretimi için kullanıldığında, birim yetiştirme alanından (hektar başına) 3500 litre ham petrol eşdeğeri yakıt elde edilebilir. Taneler gıda üretiminde, meyve suyu ise etanol üretiminde kullanıldığında ise birim yetiştirme alanından (hektar başına) 2500 litre ham petrol eşdeğeri yakıt üretilebileceğini,

- Sera gazı değerinin, verim, üretim metotları ve tatlı sorgum üretimi yapılan toprağın durumuna bağlı olarak 1.4 ile 22 kg CO<sub>2</sub>-eş/ha arasında değiştiğini,

- Normal yetiştirilmesi sırasında az su ve gübre ihtiyacı nedeniyle fazla bir çevresel etki yaratmadığını, ancak geleneksel tarımsal uygulamalarla yetiştirildiğinde, diğer geleneksel bitkilerde olduğu gibi toprak kaybına veya bozunmasına yol açabileceğini, ayrıca daha fazla gübre ve ilaç kullanımı nedeniyle su kaynaklarını kirletebileceğini,

- Diğer biyoyakıtlarda olduğu gibi, tatlı sorguma dayalı biyoetanolün de bazı emisyonlara bağlı dezavantajlarının olabileceğini, özellikle asitleşme ve ötrofikasyon potansiyeli ile fotokimyasal oksidasyon ve stratosferdeki ozon azalmasına neden olabileceğini bildirmişlerdir.

Dweikat (2014), sorgum bitkisinin şartların uygun gitmesi durumunda 4-5 ay gibi kısa bir yetiştirme döneminde 4.5 m ye kadar boylandığını ve mısır bitkisine göre daha az gübre ve su kullanılarak 4.5-11 t/da arasında yaş biyomas verimi elde edildiğini bildirmiştir.

Daylan ve ark. (2017) çalışmasında E10, E85 ve benzinin çevresel ve ekonomik performanslarını değerlendirmek için hem biyoetanolün (buğday ve mısır samanı gibi lignoselülozik hammadde kaynaklı) hem benzinin üretim ve yakma proseslerinin karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Analizi ve Çevresel Yaşam Döngüsü Maliyet (ÇYDM) çalışmaları yürütülmüştür. Kapsam ise hammadde eldesi, hammadde/yakıt nakliyesi, yakıt karışımları üretimi ve yakma dâhil olmak üzere benzin ve biyoetanolün bütün yaşam döngüsünü beşikten mezara yaklaşımıyla içermektir. E10 veya E85 yakıtlı araç tarafından gidilen km başına GHG emisyonu, benzine göre 12,8 g ve 130,5 g CO<sub>2</sub>-eşdeğer miktarda indirgenerek, %4,7 ve %47,1 azaltılabilir. GWP, AP, POCP, SOP ve ham petrol tüketimi açısından E85, E10'dan daha çevreci bir performans sunmaktadır. Bu durum seyahat mesafesine göre normalize edildiğinde geçerlidir. Ayrıca, E10, WEP ve TEP bakımından daha iyi çevresel performans göstermektedir. Fakat, benzin biyoetanol ile değiştirmek biyoetanol yakıtlı araçların üretim ve yanma işlemleri de dahil olmak üzere AP, EP ve POCP'ye katkıda bulunan emisyonların artmasına neden olmaktadır. ÇYDM'ye göre, biyoetanol üretim maliyeti benzinden %56 daha düşük olsa da E10 kullanımı yüksek miktarda yakıt tüketimi içerdiği için benzin üretim maliyetini dengeler. Sonuç olarak, E10 ve benzinin çalıştırma maliyetleri eşit ve 0,047 €/km'dir. Fakat E85 kullanılması benzine göre çalıştırma maliyetini %23 düşürecek ve ekonomik olarak daha uygulanabilir olacaktır. Bununla birlikte sonuçlar varsayılan petrol değerleri üzerinden hesaplanmıştır. Petrol fiyatlarındaki yüksek artışlar düşünüldüğünde, gelecekte biyoetanolün daha ekonomik olabileceği daha söylenebilir. Ayrıca, hem tarımsal sistemler hem de biyoetanol üretimi için geliştirilen çalışmalar gelecekte biyoetanol yakıtların çevresel etkilerinin de maliyetlerinin de azaltılmasına destek olabileceği çalışmanın çıktıları arasındadır.

Nazli (2020), yarı kurak Akdeniz koşullarında farklı tatlı sorgum çeşitlerinin biyoetanol verim potansiyeli ve bagas yanma özelliklerini değerlendirmek amacıyla yürüttüğü çalışmada tatlı sorgumun yarı kurak Akdeniz koşullarında biyoetanol üretimi için yüksek potansiyele sahip olduğunu, ancak uygun çeşit seçiminin sürdürülebilirliği sağlamanın ilk ve en önemli adımı olduğunu bildirmiştir.

Nguyen ve ark. (2020), longan meyve atıklarını biyoetanol üretimi için yeni bir substrat olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, önce hidrotermal ön işlem, ardından enzimatik hidroliz uygulanarak hem selülozik hem de düşük dereceli longan meyve atıklarının hemiselülozik biyokütlesi, maya tarafından etanol üretimi için fermente edilebilir şekerlere dönüştürülmüştür. En yüksek etanol verimi olan 16,74 g/L, 24 saatlik fermantasyon sürecinde elde edilmiştir. Bu sonuçlar, longan meyve atıklarının etanol üretimi için mükemmel bir hammadde olduğunu göstermektedir.

Jin ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, nişasta içeriği yüksek olması nedeniyle literatürde de tercih edilen pirinç samanının biyoetanol verimini incelemişlerdir. Çalışmalarında, NaOH ile ön işleme tabi tutulmuş pirinç samanını ayrılmış hidroliz ve fermantasyon yöntemi (SHF) kullanılarak *S. tanninophilus* mayası ile 9.45 g/L etanol üretildiği gösterilmiş ve %83.5'lik etanol verimi elde edilmiştir.

Şeflek (2021), enerji bitkisi olarak mısır ve tatlı sorgumun yetiştirme tekniklerinin biyokütle ve biyoyakıt özellikleri üzerindeki etkisini incelediği çalışmasında, tatlı sorgum bitkilerinin araştırmada gösterdikleri performansın oldukça ümit verici olduğunu belirtmiştir. Biyoetanol üretimi amacıyla yetiştiricilikte, yüksek şeker oranına sahip çeşitlerin doğru zamanda hasat edilmesi durumunda, yüksek özsu verimleri ve dolayısıyla yüksek biyoetanol performansına ulaşabileceğini bildirmiştir.

Rekha ve Saravanathamizhan (2023), çalışmasında lignoselülozik hammadde olarak kullanılan palmira kabuğu ve mısır koçanı ve katalizör olarak 30 mg nanopartikül kullanılarak enzimatik hidrolizin aktifliği incelenmiştir. Hammadde kullanım sırasıyla biyoetanol üretimleri 22.35g/L, 16 g/L olarak elde edilmiştir. Ayrıca nanopartikül ile enzimatik hidroliz yapılan gruplarda, nanopartikül kullanılmayan gruplara göre biyoetanol üretiminin attığı gözlemlenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Biyokütle kaynağı Tatlı Sorgum

Bu çalışmadaki Biyoetanol üretiminde, Selçuk Üniversitesi Öğr. Gör. Dr. Aliye ŞEFLEK ve Prof. Dr. Süleyman SOYLU tarafından yetiştiriciliği yapılmış ve ülkemizde tescil edilmiş 3 farklı Tatlı Sorgum çeşidi (Erdurmuş, Gülşeker ve Uzun) hammadde kaynağı olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Tatlı sorguma ait türlerin tarla görüntüleri

Selçuk Üniversitesi Sarayönü Meslek Yüksekokulu Araştırma ve Uygulama arazisinde Tatlı Sorgumun Erdurmuş, Gülşeker, Uzun çeşitlerinin 25 Mayıs 2022 tarihinde ekimleri gerçekleştirilmiş ve bitkiler topluca hasat edilmiştir. Bitkilerin yaprakları soyulmuş, çiçek salkımları kesilmiş ve elde edilen bitki saplarından yaklaşık 5 kg örnek alınmıştır. Alınan örnekler, sap parçalayıcı-doğrayıcı ile parçalanmış ve ardından preslenerek şırası (özsuyu) çıkarılmıştır (Şeflek,2021).



Şekil 3.2. Tatlı sorgumun özsularının çıkarıldığı pres makinası ve sapların sıkılmasından görüntüler

Bu çıkarılan özular çalışmanın proses sürecinde kullanılmak üzere, Selçuk Üniversitesi Sarayönü Meslek Yüksekokulu laboratuvarında bulunan  $-20^{\circ}\text{C}$  dondurucuda muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.3. Tatlı sorgum özularının  $-20^{\circ}\text{C}$  dondurucuda saklanmasından görüntüler

### 3.1.2. Proseste Kullanılan Yardımcı Materyaller

Çalışmanın mayalanma aşamasında; özel kültür mayası olan ticari adı *Saccharomyces cerevisiae* olan ekmek mayası ve maya besini olarak en başta DAP (Diamonyum fosfat),  $\text{ZnSO}_4$  (Çinko sülfat) ve  $\text{MgSO}_4$  (Magnezyum sülfat) kullanılmıştır. Bu elementler mayanın hücre sayısının artmasında ve metabolizmasının güçlenmesinde önemlidir.



Şekil 3.4. Fermantasyon için hazırlanan maya ve maya besinleri karışımlarından görüntüler

Biyetanolün fermantasyon aşamasında en çok kullanılan mikroorganizmalar *Saccharomyces cerevisiae*, *Zymomonas mobilis* ve *Rekombinant Escherichia coli*'dir. Maya sadece 6 karbonlu şekerleri fermente edebilir. *Z. mobilis* ise fermantasyon ortamlarında çok dayanıklı bir mikroorganizma değildir. *Rekombinant E. Coli KO11* hem

ortam dayanıklılığı hem de 5 ve 6 karbonlu şekerleri aynı anda metabolize edebilme özellikleri ile biyoetanol üretiminde tercih edebilecek bir şuştur (Jarboe ve ark., 2007; Nigam J., 2001).

Maya Besini, mayanın ihtiyacı olan farklı maddelerin birleşiminden meydana gelen bu sayede mayanın performansının artmasına yardımcı olan bir gıda takviyesidir. Maya Besini maya bölünüp çoğalırken yeni maya hücrelerinin yapı taşları için gereken maddeleri sağlar. Maya hücreleri oluşurken amino asitler, azot, yağ asitleri ve vitaminler gerekir (Demir ve ark., 2006).

### 3.1.3. Araştırmada Kullanılan Cihazlar

Çalışmamızın proses aşaması, analiz takibi ile eş zamanlı olarak yürütülmüştür. Bu süreçte, procese yön veren analizlerde kullanılan cihazların adı ve modeli Tablo3.1’de belirtilmiştir. Kullanılan cihazlar, çalışmanın gerçekleştirildiği tesis ve laboratuvarların denetiminde olup, düzenli olarak kalibrasyon ve doğrulama işlemleri yapılmıştır.

**Tablo 3.1.** Araştırmada kullanılan cihazların listesi

Cihaz Adı	Cihaz Modeli
Sakkarimetre Cihazı	Sucromat
Ph Metre Cihazı	Hanna pH211
Abbe Refraktometre Cihazı	Anton Paar Abbemat 3000
Densitometre Cihazı	Anton Paar DMA 35 N
GC Analiz Cihazı	Agilent 6890N GC Sistemi
Kalorimetre Cihazı	IKA C200 serisi
Portatif Yoğunluk Ölçer	Kyoto KEM DA-130N
Otomatik Kalorimetrik Karl Fisher Titratörü	Moisture Titrator MKC-501

#### 3.1.3.1. Sakkarimetre

Uluslararası Şeker Skalasına göre uygun olan Sakarimetre cihazı mikroişlemci kontrollü, otomatik sıcaklık (20°C) düzeltmeli olarak tasarlanmış olup marka ve modele göre hassasiyetleri değişebilen fakat mantık olarak polarimetrelerde aynıdır. Numunenin içerisinden polarize ışık geçirilerek, polarize ışığın çevirmesi hesaplanır. Kullanılan bu modelde kendi hesaplamasını otomatik olarak yaparak % polar şeker değerini vermektedir. Manuel modellerde ise bu hesaplama ayrıca yapılmaktadır.



Şekil 3.5.Çalışmada kullanılan sakkarimetre cihazı

### 3.1.3.2. pH Metre Cihazı (Hanna pH211)

pH ve sıcaklığı ölçebilen problu, masa tipi, kalibrasyonlu, hafızalı olan bu pH metre ile aynı anda pH ve sıcaklık ölçümleri yapılabilmektedir.

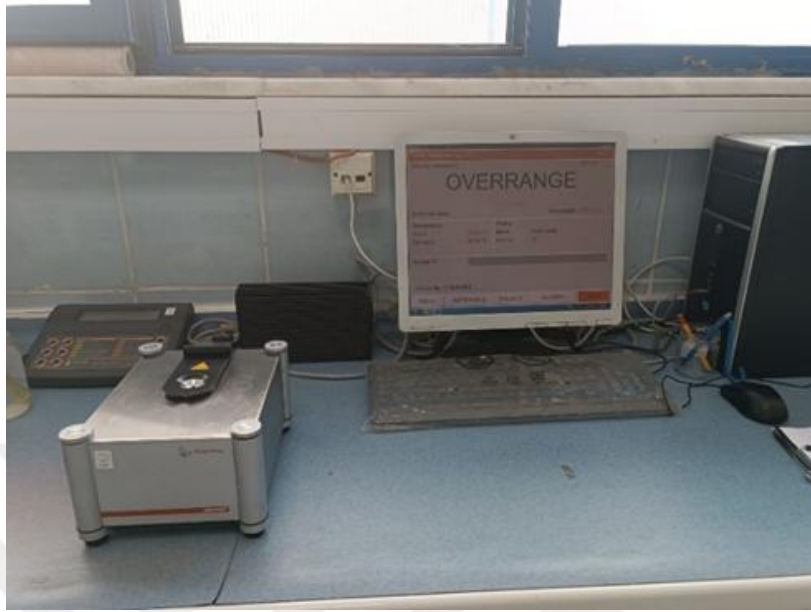


Şekil 3.6.Çalışmada kullanılan pH metre cihazı

### 3.1.3.3. Abbe Refraktometre Cihazı

Refraktometri, her ortamın kırılma indisinin farklı olması prensibini kullanarak, konsantrasyon ve madde miktarı gibi tayinleri yapmaya yarayan bir yöntemdir. Katı

(Abbe tipteki modeller) veya sıvılarda, refraktif index (RI), katı madde miktarı, kırılma indisi, fleker miktarını ve Brix aralıklarını ölçme amacıyla kullanılırlar.



Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan refraktometre cihazı

#### 3.1.3.4. Densitometre cihazı (Anton Paar DMA 35 N)

Densitometre mikro kabarcıkları algılayabilen tezgâh üzeri alkol yoğunluğunu ölçen hızlı okuma yapabilen portatif bir cihazdır. Densitometre ile direk olarak alkol % v/v ölçülmektedir.



Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan densitometre cihazı

### 3.1.3.5. GC Analiz Cihazı (Agilent 6890N GC Sistemi)

Cihaz, ISO 9001'e kayıtlı bir kalite sistemi altında tasarlanmış ve üretilmiştir. Cihaz uluslararası mevzuat, güvenlik ve elektromanyetik uyumluluk gerekliliklerine uygundur.

Sıvı örnekler, bir enjektör yardımıyla cihazın giriş kısmına verilir. Kolon çıkışına yerleştirilen uygun bir dedektörle izlenen sinyal, gerektiğinde uygun bir dedektör yardımıyla interge edilir.

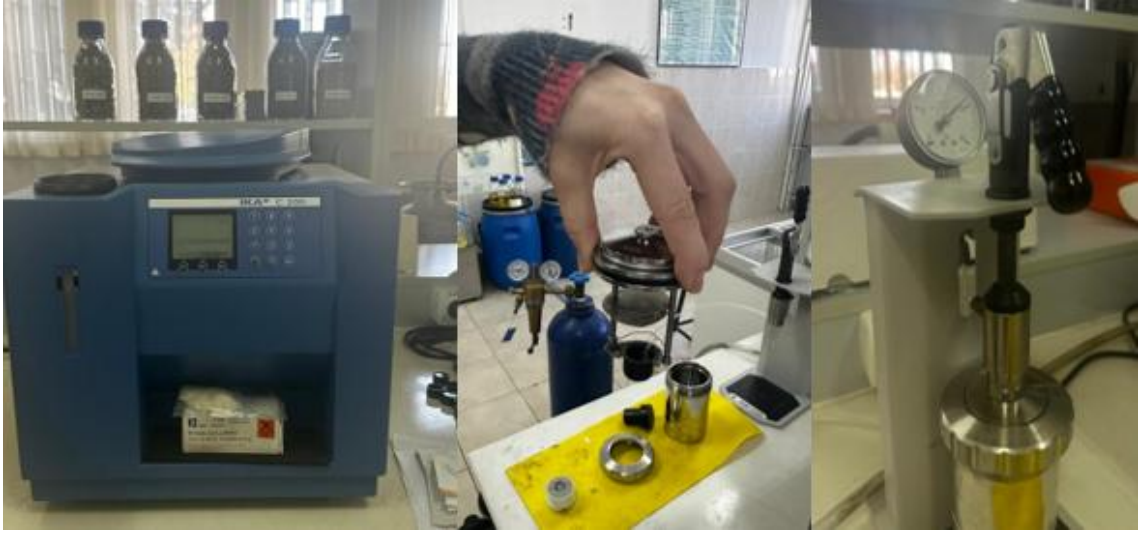
En küçük ve en büyük piklerin tek bir çalışmada ölçülmesini sağlayan cihaz piklerin alanlarına karşılık gelen alan değerlerinin hesaplandığı data işlemci sistemi, integratöre sahiptir. Bir bileşen kolondan ne kadar erken çıkarsa, o bileşene ait pik de o kadar keskin elde edilirlen, kolondan geç çıkan bileşenlere ait pikler ise geniş ve yayvan olarak elde edilmektedir. Atmosferik basınç ve sıcaklık kompanzasyonu standarttır, bu nedenle laboratuvar ortamı değişse bile sonuçlar değişmez. Otomatik sıvı örnekleme, ana bilgisayar kontrolüne tamamen entegre edilmiştir.



Şekil 3.9.Çalışmada kullanılan GC cihazı

### 3.1.3.6. Kalorimetre Cihazı (IKA C200 serisi)

Cihaz, kalorimetre yöntemi ile sıvı ve katı yakıtların brüt kalorifik değerini hesaplamak için kullanılmaktadır.



Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan kalorimetre cihazı

### 3.1.3.7. Portatif Yoğunluk Ölçer (Kyoto KEM DA-130N)

Kyoto KEM DA-130N Portatif el tipi yoğunluk ölçüm cihazıdır. Tek elle kolay kullanım sağlayan cihazda viskoz sıvılar (gıdalar, petrol, kimyasal ürünler, ilaç, alkollü içecekler vb. örneklenebilir.



Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan portatif yoğunluk ölçer cihazı

### 3.1.3.8. Otomatik Kalometrik Karl Fischer Titratörü

Otomatik Karl Fischer (KF) titratörü, numune işlemeyi kolaylaştırarak ve insan hatalarını ortadan kaldırarak yalnızca birkaç dakika içinde yüksek doğrulukta ve tekrarlanabilir sonuçların elde edilmesini sağlar. Biyoetanol türü sıvı numunelerdeki su içeriğini belirlemek amacıyla kullanılır.



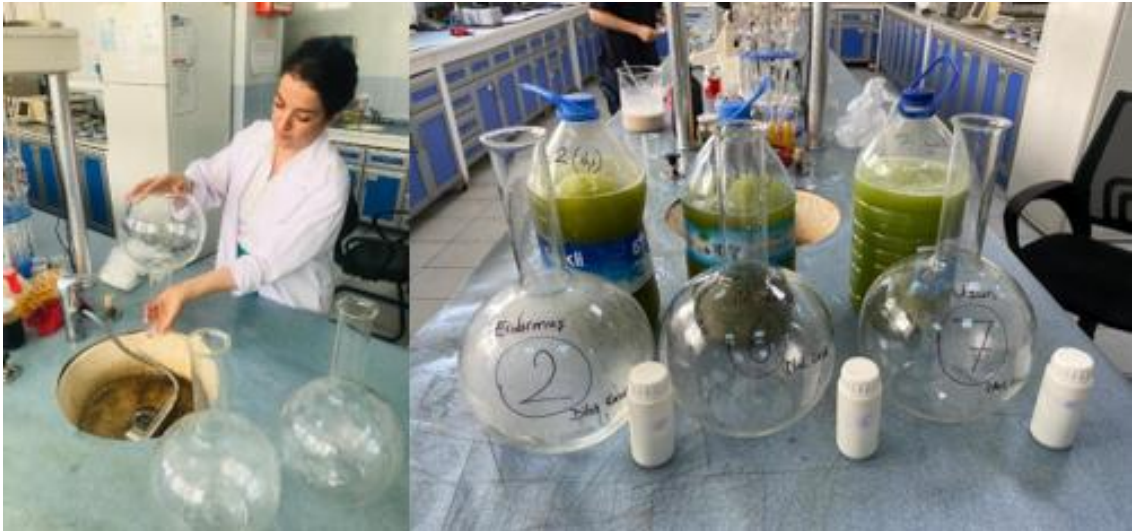
Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan otomatik kalorimetrik karl fischer titratörü

### 3.2. Yöntem

Tez çalışmasının proses çalışması Konya Şeker A.Ş.'nin Çumra yerleşkesinde bulunan Biyoetanol Fabrikasında gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.1. Ön Hazırlık Aşaması

Ön hazırlık aşamasında dondurucudan alınan özsuların tamamen çözünmesi beklenmiştir. Tatlı sorgum özsularının tam çözümleri gerçekleştirildikten sonra sakkarimetre cihazında briks, %pol (içerdiği sakkaroz miktarı) ve pH değerlerinin okuması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13. Tatlı Sorgum çeşitlerinin ön hazırlık aşamasından görüntüleri

### 3.2.1.1. Polar Şeker Tayini

Pancardan, tatlı Sorgumdan ve direk sakkaroz içeren biyokütle kaynaklarından elde edilen şeker, sakkaroz olmasına karşın, halk arasında sakkaroz yerine şeker ifadesi kullanılmaktadır. Numunelerde sakkarozdan başka optikçe aktif maddelerin değişen miktarlarda bulunması, sakarimetrede okunan değerlerin % şeker olarak değil % polar şeker olarak isimlendirilmesine neden olmuştur. Burada özellikle belirtilmesi gereken sakkarimetrede okunan değer, fermantasyona giren sakkaroz miktarıdır. Şeker çözeltisinin çevirmesi, çözelti ile analizör arasına yerleştirilen ve üzerinde şeker skalası bulunan hareketli kuvars kamalı kompansatör yardımı ile karşılanır ve çevirme değeri skaladan okunur. Bugün bütün dünyada kullanılan "Uluslararası Şeker Skalası" (ISS-International Sugar Scale) ve "Normal Şeker Çözeltisi"nin tental ICUMSA'nın metotları kullanılmaktadır.

Aynı zamanda biyoetanol üretiminde hammadde olarak kullanılan melas numunelerinde polar şeker ve kuru madde analizleri ile safiyet hesabı yapmak için kullanılan bu cihaz, Tatlı Sorgum özsuyu içinde uygulanabilmektedir. Bire bir sulandırılan özsu numunelerinin her birinden 26 g tartılıp, üzerine 7 ml kurşun asetat ilave edilerek 100 ml'e saf su ile tamamlanır. Çözünmüş numune perlit konulmuş süzgeç kâğıdından süzülür. Sakkarimetre cihazında direk okunabilen sabitlenmiş Tatlı Sorgum özsularının içerdiği % Polar şeker, Briks değeri (İçerdiği katı/kuru madde), pH değeri ana ekrandan okunarak kaydedilmiştir.

### 3.2.2. Fermantasyon Prosesi

Fermantasyon, mayaların Sakkarozu havasız ortamda Etil Alkole (Biyoeetanol) ve CO<sub>2</sub> gazına dönüştürme reaksiyonudur.

Fermantasyon kimyasal bir reaksiyondur ve reaksiyon sırası Denklem 1.1, 1.2, 1.3'e göre ilerlemektedir. Denklem 1.2 ve 1.3'te Sakkaroz, Etil alkole (Biyoeetanol) dönüşürken CO<sub>2</sub> ve ısı açığa çıkmaktadır. Bu sebeple gaz çıkışının sağlanması ve sıcaklık sirkülasyonunun kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Bir fermantörü beslemeden önce fermantörün hacmini ve fermantörün içermesini istediğimiz hedef alkol derecesini belirlememiz gerekmektedir. Distilasyonun yüksek alkollü mayşe debisi ile çalıştığı durumlarda fermantör hacimleri büyük olurken, proseste yaşanan bazı aksaklıklardan dolayı alkollü mayşe beslemesinin düşük olduğu durumlarda fermantör hacimleri küçük tutulur. Bu oluşabilecek aksaklıkları da düşünerek ve elimizde

ki numunelerin de miktarını göz önünde bulundurarak hedef fermantör hacmimiz için 2.5 litre özsu kullanmış olup; diğer 2.5 litreleri şahit numune olarak saklanmıştır. Hazırlanacak hacmi belirlenmiş fermantör için hedef Alkol Yüzdesi denklem 3.1’de yer alan formül kullanılarak belirlenir.

$$\text{Kullanılması Gereken Özsu Miktarı(litre)} = \frac{(Fermantasyon\ Hacmi, m^3)(Etil\ Alkol\ Yoğunluk, ton/m^3)(Alkol\ Yüzdesi, \%)}{(DK)(F.\text{Ş.})(Özsu\ yoğunluk, \frac{ton}{m^3})} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de;

Etil Alkol Yoğunluk =0.789 ton/m<sup>3</sup>

DK=Fermantasyon dönüşüm katsayısı=0.51(sabit)

F. Ş=Ferment Olabilen Şeker (Laboratuvar analizleri ile belirlenir.)

Özsu Yoğunluk= (Laboratuvar analizleri ile belirlenir.)

\*DK değeri ve Fermantasyon verimi değerleri çalışmayı yaptığımız tesisin hali hazırda kullanmış oldukları değerlerdir.

Mayanın fermantasyon reaksiyonunu gerçekleştirebilmesi için fermantöre proses suyu, maya ve melas beslemesi yapılır, ayrıca ortamın bazı şartlarda olması gerekmektedir. Beslemeler ve ortam şartlarının reçetesi Tablo 3.2’deki gibi hazırlanmıştır.

**Tablo 3.2.** Fermantasyon besleme ve ortam reçetesi (Anonim,2024h)

<b>Proses Suyu</b>	1 Litre (Kademeli artırarak 1 litreye tamamlanmıştır.)
<b>Maya</b>	33.3 g
<b>Özsu</b>	2.5 Litre (Kademeli artırarak 1 litreye tamamlanmıştır.)
<b>Gıda</b>	10 gram DAP, 15 gram Üre, 1.5 gram ZnSO <sub>4</sub> , 1.5 gram MgSO <sub>4</sub>
<b>Sıcaklık</b>	30 – 32°C
<b>pH</b>	4.2 – 4.5
<b>Köpük Durumu</b>	Gaz çıkışının sağlanması için köpük oluşumu önlenmeli

Proses suyunun hepsi en başta alınabileceği gibi bir miktarı önce, geriye kalanı ise sabit debi ile birkaç saat sürecek şekilde de alınabilir. Fermantasyon prosesinin minimum 24 saatte tamamlanacağı düşünülerek her 4 saatte 1 kez Bx ve Ph ve Kalan

Şeker miktarına bakılarak son özsu ilavesi ile fermantör hacmi 3.5 litreye tamamlanmıştır.

Fermantasyon prosesinde hammadde kaynağı özsu ile birlikte maya ve maya besinlerinden oluşan karışım “Mayşe” olarak adlandırılmaktadır. Prosesin düzenli ve verimli olabilmesi için çalışma parametreleriyle ilişkili olarak çeşitli analitik prosedürler ile takibi yapılmalıdır. Fermantasyon prosesinin takibi için gereken çeşitli parametreler aşağıdadır. Bu parametreler analiz prosedürlerine uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 3.14. Fermantasyon prosesinden görüntüler

### 3.2.2.1. Mikroskopik Gözlem

Fermantasyon sürecinde çıplak gözle oldukça rahat gözlemlenebilen maya hücreleri incelenir. Uçucu asitlik veya kirlilik artışına bağlı olarak maya hücreleri şekil değiştirir. Şeker konsantrasyonunun yüksek olması halinde, maya hücreleri serbest formda gözlenir. Ancak şekerin tamamen tükenmesi halinde, maya hücrelerinde topaklanma olur ya da granül halinde gözlemlenir. Bu hususlara dikkat edilerek mikroskopik gözlem fermantasyon süresince yapılmıştır.

### 3.2.2.2. Köpük Oluşumu

Yeterli önlem alınmadığında zaman zaman köpük oluşumu gerçekleşir. Reaksiyon süresince fermantörün köpük durumu rutin olarak kontrol edilerek köpük oluşumunu önlemek amacıyla çalışma yaptığımız tesiste, fermantöre antifoam (prina yağı) verilmektedir. Prina yağı dozajlaması yapılırken gereğinden fazla verilmemesine dikkat edilir.

### 3.2.2.3. Fermantasyonda Mayşenin pH Tayini

Öncelikle kullanılacak pH metre cihazı pH 7.0 ve Ph 4.0 a göre kalibre edilmiş olmalıdır. 250 ml'lik temiz bir behere iyice karıştırılmış özsu veya taze mayşeden 200 ml alınıp ve saf sudan geçirilmiş kurulanmıştır. Temiz iletkenlik ölçer pH metre elektrotu numuneye daldırılmış ve pH metre cihazında sabitlenen değer kaydedilmiştir. Proses süresince pH okumaları bu yöntemle gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.2.4. Fermantasyonda Mayşenin Bx Tayini

Briks (Bx), saf bir şeker çözeltisindeki sakkaroz ağırlığının yüzdesidir. Briks derecesinin, bir çözelti içerisinde çözülmüş olan katı maddelerinin yüzdesi veya toplam katı madde yüzdesi olarak kabul edilmesi pratikte mümkündür. Ancak, bu kabul şeker çözeltileri için geçerlidir (Anonim,2024h).

Dolaylı olarak, spesifik gravite bize mayşede toplam katı madde (fermante edilebilir ve edilemez madde) varlığını gösterir. Fermantasyon tamamlandığı zaman, geriye sadece fermante edilemeyen katı madde kalır. Bu da bize kendine özgü spesifik gravitesini gösterir. Burada fermantörlerin spesifik gravitesi hammadde beslemesinin artışına bağlı olarak artış gösterir. Mayşenin gravitesi, hammadde gravitesi ve F/N oranından (fermante edilebilen katının fermate edilemeyen katıya oranı) farklıdır. Spesifik gravitenin normal yüksek olması reaksiyonun tamamlanmadığını gösterir. Bu yüzden aşağıdaki sebepler irdelenir:

- a) Fermantöre giren proses suyunun akışı yetersiz olabilir.
- b) Normal debiden fazla hammadde girişi olabilir.
- c) Yaşayan maya miktarı azalabilir.
- d) Uçucu asitlik oluşumu ve bakteri kirliliği artabilir.
- e) Fermantör sıcaklığı 30°C'nin altına düşebilir.
- f) Reaksiyon süresi yetersiz olabilir.
- g) Fermantasyonu durdurucu seviyede hammadde girişi olabilir.
- h) Yüksek reaksiyon süresi içerisinde yaşayan maya oranı düşük olabilir.

Homojen olarak karışmış numuneden plastik çubuk yardımı ile birkaç damla refraktometrenin üzerine alınıp ve START'a basılıp ekrandaki değer sabitleninceye kadar beklenilmiş ve okunan değer kaydedilmiştir. Proses süresince Bx okumaları bu yöntemle gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.2.5. Fermantasyonda Mayşede Kalan Şeker Tayini

Fermantasyon prosesinde kalan şeker sadece fermante olmayan şekerdir. Kalan şekerin artışı mayanın aktiflik durumuna bağlıdır. Bu metot şeker pancarı kökenli tüm şuruplardan ve melastan, sakkaroz içeren biyokütle kaynaklı mayşeler için uygulanabilir. Bu test fermantasyon esnasında veya fermantasyon sonunda mayşedeki şeker miktarı tayini için kullanılır. Bu metodun hassasiyeti zordur, çünkü maya metabolizması ve şeker değişimi önemlidir. Bu kullanılan metotla beraber prosteki son noktasındaki şeker düşmesi kolayca tespit edilebilir ve doğrulanabilir.

Bu metotla tayin edilen kalan şeker hammaddedeki fermente olmayan şekere eşit olduğu zaman (hammadde fermantasyon prosesindeki ile aynı oranda seyreltildiğinde) fermantasyonun bittiği ve alkollü mayşenin distilasyona gönderilmeye hazır olduğu söylenebilir. Bu metot proses açısından çok önemli ve faydalıdır.

Kalan şeker artışının sebepleri:

- a) Fermantörlere giren suyun azlığı,
- b) Fermantörlere gereğinden fazla hammaddenin girmesi,
- c) Yüksek derecede bakteri kirliliğinin olması ya da yüksek derecede uçucu asitliğin olması,
- d) Reaksiyon süresinin düşük olması,
- e) Spesifik gravitenin yüksek olması.

Mayşedeki kalan şeker (glikoz ve fruktoz) fehling çözültisi ile düşürülür ve titrimetrik metotla tayin edilebilir. Kalan şekerde sakkaroz yoktur. Sakkaroz maya ile enzimatik hidroliz ve inversiyona uğrar ve fermantasyon esnasında kalan şekere dönüşür.

Kimyasal reaktifler için C-8 (özsuda toplam kalan şeker) analizi referanstır. Eğer fermantasyon eksiksiz olarak tamamlanırsa, kalan şeker özsuda fermante olmayan şeker değerine eşdeğer orandadır. Özsuyun sulandırılma oranında mayşedeki minimum seviyede kalan şekerin hesaplaması dikkate alınır.

100 ml'lik bir balona 10 ml kadar mayşe alınır. Saf su ile balon hacmi tamamlanır ve iyice karıştırılır. Bu sulandırılmış mayşeden 50 ml'lik bürete alınır. 500 ml'lik erlene Fehling A ve Fehling B çözültülerinden 5'er ml alınır üzerine 30 ml saf su eklenir ve büretten 15 ml sulandırılmış mayşe alınır. Erlen tablalı ısıtıcıya konur ve kiremit kırmızı renk oluşuncaya kadar yavaşça kaynatılır. Üzerine 4-5 damla metilen mavisi ilave edilir. Hafif kaynama olurken küçük miktarlarda (her defada 2-3 ml) büretten sulandırılmış mayşe ilavesiyle titrasyona devam edilir. Dönüm noktasına yaklaşıldığında, hatasız sonuç

elde etmek için büretten damla damla mayşe eklenir. Dönüm noktasına gelindiğinde titre miktarı kaydedilir. Dönüm noktasında, renk dönüşümü maviden kiremit kırmızısına olur.

Kaynamadan sonra 3 dakika içerisinde fehling Ave B çözeltileriyle titrasyon tamamlanmalıdır. Titrasyon sadece kaynama esnasında olur. Daha fazla detay için hammaddedeki toplam kalan şeker referanstır. Mayşenin miktarı ve sulandırılması, mayşedeki mevcut şekere bağlı değişebilir. Mayşe birkaç kez sulandırılabilir ve bu titre yaklaşık 20–25 ml'dir. Kalan şeker hesaplamasında aşağıdaki denklem 3.2 kullanılmış ve mayşenin %w/v cinsinden değeri bulunmuştur.

$$5.127$$

$$\text{Kalan şeker \% w/v} = \text{-----} \quad (3.2)$$

$$\text{B.R.} \times \text{F.F.} \times \text{D.F.}$$

Burada;

5.127 = Sabit (Standart invert şeker faktörü, Hindistan standart metodundan bulunur: IS: 1116–1962)

B.R.= Bürette okunan değer

F.F.= Fehling faktörü (Referans, Fehling çözeltisi standardizasyonu)

D.F.= Sulandırma faktörü (Bu durumda faktör: 0,1)



Şekil 3.15. Kalan şeker tayini titrasyonundan görüntüler

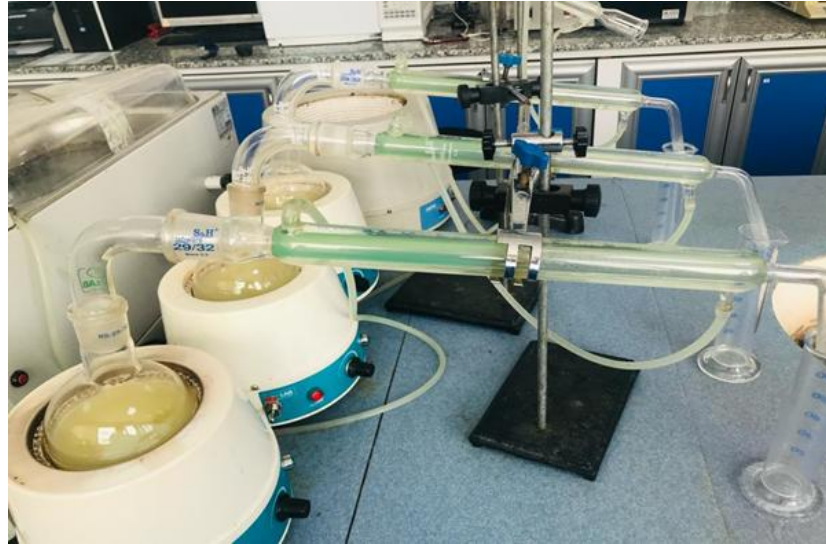
### 3.3.3. Distilasyon Prosesi

Biyometanol, kullanılan biyokütle kaynağına göre fermentasyon sonucu farklı sulu çözeltiler şeklinde elde edilebilmektedir. Etanolün yakıt olarak etkin kullanılabilmesi için, içinde bulunan suyun ve etanolde bulunan diğer safsızlıkların giderilmesi

gerekmektedir. Biyoetanol üretiminde hedeflenen değere göre ayrıca ekstra susuzlaştırma yöntemleri geliştirilebilir. Biyoetanolin saflaştırılması çeşitli enerji türleri gerektiren bir prosestir. Bu nedenle doğru saflaştırma yöntemlerinin seçilmesi enerji tasarrufu ve maliyet gibi konularda oluşabilecek zorluklardan kaçınmak için önemlidir.

Laboratuvar ölçeğinde etanolün saflaştırılması için kullandığımız alternatif yöntem buharlaştırma yöntemidir. Buharlaştırma tekniğinde sıvı karışımların içerisindeki uçucu bileşenlerin kaynama sıcaklığı farkından faydalanarak, geri soğutucu altında kademeli olarak distile edilmesidir. Fermantasyon ünitesinde üretilen alkollü mayşe, içerdiği şekerin tüketilmesiyle ulaştığı etanol konsantrasyonuyla distilasyon ünitesine girer. Geri soğutucu kademeli olarak 80°C'ye ayarlanırken soğutma suyu 20°C'ye ayarlanmıştır. İki karşımdan kaynama noktası düşük olan distilasyon ünitesinin toplama kısmında toplanıp, diğerinin karışımın kabında kalması ile gerçekleşir. Etanol molekülleri su moleküllerinden daha büyük olduğu için, yüksek sıcaklıkta geri kazanım sürecinde suyun buharlaşması sağlanırken, etanol yoğunlaşarak ayrıştırılır. Destilatın alkol konsantrasyonu analiz yöntemi ile alkol konsantrasyonu belirlenmiş ve distilasyon prosesi tamamlanmıştır.

Kurulu düzeneğin gerekli olan soğutma suyunun kontrolü sürekli olarak yapılarak kesikli sistemin düzenli çalışması sağlanmıştır.



Şekil 3.16. Laboratuvar ölçeğinde kurulu distilasyon prosesi

### 3.3.3.1. Destilatın Alkol Konsantrasyonu Tayini

Sakkaroz kaynaklı tüm şurup ve mayşe karışımları için uygulanabilen bu tayin mayşedeki etanollü destilatın yoğunluk tespiti için kullanılır. Destilatın yoğunluğu etanol

konsantrasyonuna bağlıdır. Destilattan 50 ml alınır ve densitometre ile direk olarak alkol %v/v ölçülür. Bu işlem distilasyon süresince tekrarlayarak son ürün biyoetanolün alkol yoğunluğu belirlenmiştir.

### **3.3.4. Son Ürün (Biyoetanol) Kalite –Kontrol Analiz Metotları**

#### **3.3.4.1. Biyoetanolda Metanol ve Yüksek Alkoller Tayini**

Gaz halinde bulunan veya kolayca buharlaştırılabilen bileşenlerin bir karışımdan ayrılması amacıyla gaz kromatografisi yöntemi kullanılır. Bu yöntemde ayrılma, bileşenlerin farklı katı yüzeylerdeki adsorpsiyon eğilimlerine göre gerçekleşir. Numunede bulunan bileşenler, bir cihaz tarafından spektrum haline getirilir ve bu spektrumda görülen her pik, ayrı bir bileşeni temsil eder.

Avrupa standartları, son kaynama noktası 220°C'yi geçmeyen kurşunsuz bir petrol örneğinin içeriğindeki %0.17 -15 (m/m) oranında organik oksijenat bileşiklerinin niceliksel ölçümünün kolon bağlanmış bir gaz kromatografi ile yapılmasını belirtmektedir. Bu standartta kullanılan % m/m ve % v/v sırasıyla kütlece yüzde ve hacimce yüzde oranlarını göstermektedir.

Oksijen içerikli organik bileşikler ilk kapiler kolonda numuneden izole edilir. İkinci kapiler kolonda ise oksijen içerikli organik bileşikler ve alev iyonizasyon detektörüyle saptanır. Tedarik eden firmanın verdiği talimatlara uygun şekilde cihaz hazırlanarak analiz yapma durumuna getirilir.

Gaz kromatografisinde, öncelikle örneğin buharlaştırılması için ısıtılan bir bölme bulunur. Ardından, sıcaklığı programlanabilen bir fırın içerisine yerleştirilmiş olan kolon gelir. Sıvı örnekler, bir şırınga yardımıyla septumdan giriş kısmına enjekte edilir. Kolon çıkışına yerleştirilen bir dedektör, sinyali izler ve bu sinyal bir integratör aracılığıyla kaydedilir. Çift numune hazırlanarak, doğrulaması da yapılmış ve aynı sonuç elde edilmiştir.

#### **3.3.4.2. Biyoetanolün Kalori (Alt Isıl Değeri ) Değeri**

Bir yakıtın ısı değeri, 1 birim yakıtın belirli koşullarda yanması ile oluşan ısının değeridir. Isı değeri çeşitli metotlarla hesaplanabilir. Kesin sonuç veren yöntem, kalorimetre bombası ile yapılan fiziksel tayindir.

Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından petrol bazlı yakıtlara benzeyen biyoetanol, benzinli motorlarda direk olarak kullanılabilirdiği gibi benzinle istenilen

oranda harmanlanarak da kullanılabilir. Karışımlar yapılırken, biyoetanol benzine eklenir ve gözle görülür homojenlik sağlanana kadar mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılır. Harmanlanacak etanolün kalorifik değeri de bu noktada önemlidir.

Cihaz açıldığı zaman göstergesinde ekran bilgileri kısa bir süre digital olarak görünür. Bütün elemanların eksiksiz görünüp görünmediği kontrol edilir. Oksijen tüpü açılır ve 28 bar'a ayarlanır. Kalorimetre cihazının su haznesinin sıcaklığının 20°C'ye gelmesi beklenir. Kroze içerisine 0.3736 g numune tartılır. Kroze bomba haznesine yerleştirilir ve ateşlemesi için hazne ile numune arasındaki iletişimi sağlamak amacıyla fitil (kalorisi belirli) olarak ip bağlanır. Ve dikkatli şekilde ipin numuneye değmesi sağlanır. Bombanın kapağı kapatılarak cihaza yerleştirilir. Kalorimetre cihazı üzerinde bulunan ekrandan sample tuşuna basılır. Karşımıza gelen yeni ekrana tartılan numunenin gramajı ve bomba numarası yazılır ve Ok tuşuyla analiz başlatma sayfasına geçilir. Çalışmaya hazır olan numune ekranda start düğmesine basılarak numunenin kalori ölçümü yapması için çalışma sağlanmıştır. İlgili aşamalar kalorimetre üzerinden takip edilmiş ve analiz başarıyla gerçekleştirilmiştir.

### 3.3.4.3. Biyoetanolün 20°C 'de Yoğunluk Değerinin Analizi

Bir çözeltinin belirli bir sıcaklıkta ağırlığının 4°C sıcaklıktaki suyun ağırlığına oranıdır.

Sıcaklığın yoğunluk üzerine büyük etkisi vardır. Bu nedenle yoğunluk verilirken tayinin kaç derecede yapıldığının bildirilmesi ve +4°C ki suya indirgenip indirgenmediğinin bildirilmesi gerekir. Uluslararası anlaşmalarda özgül ağırlık tayinleri laboratuvar ısısına yakın olduğundan 20°C'de yapılmaktadır.

Cihazın, başlangıç değerleri olarak sıcaklık birimini (Celcius), ölçü birimini ( $g/cm^3$ ) ayarlayıp saf suyu şırıngaya numune olarak alınıp bırakılarak temizliğinden emin olunur. Ölçüm hücresine numune sıvısıyla doldurduktan sonra, hücrenin içinde hava kabarcığı kalmadığına bakılır. Küçük bir kabarcık bile sonuçların sapmasına neden olacaktır. Kabarcık olursa ölçüm tekrarlanıp, sonuç kaydedilir.

### 3.6.5. Biyoetanolde Su Tayini

Bu Avrupa standardı etanol içindeki su miktarının doğrudan tayinini tanımlamaktadır. Etanol için su değerleri %0.02-0.5 (m/m) arasında uygun değerlerdir. Etanol içerisindeki su içeriği, Karl Fischer cihazı ile tayin edilecek su miktarı anlamına gelmektedir.

Cihaz kullanımını ve titrasyonu için imalatçının talimatlarına göre hareket edilir. Titrator ve karıştırıcı çalıştırılır. Kuru, temiz bir şırıngayı alarak numuneye en az 3 kere yıkanır. Sonra şırınga içine 1-2 ml kadar numune çekilerek, 0.1 mg hassasiyetle tartılır. Şırınga cihazın hücre girişinden batırılır, bu sırada titrasyon başlatılır ve şırınga tamamen hücreye aktarılır. Daha sonra boş şırınga yine aynı 0.1 mg hassasiyetle tartılır. Cihaz içinde bulunan suyu otomatik olarak titre eder. Titrasyon dönüm noktasına ulaşıldığında titratör üzerindeki titre edilmiş su kaydedilir.

Etanol içindeki kütlece yüzde su miktarı aşağıda yer alan formül kullanılarak hesaplanır:

$$C_s = \frac{m_2}{m_1 \times 10^4}$$

M<sub>1</sub>: gram cinsinden test numunesinin ağırlığı

M<sub>2</sub>: titratörden görülen suyun mikrogram ağırlığı

Numune içindeki su miktarını %0.001 (m/m) hassasiyetle raporlanır.

Yakıt biyoetanolü için hedeflenen değer %99.8 olduğundan bu tayin önemlidir, içerdiği miktara göre gerekli susuzlaştırma sistemleri tasarlanmasında yol gösterici olacaktır.

### 3.3.5. Tatlı Sorgum Temelli Biyoetanol'ün Yaşam Döngüsü Analizi

Enerji ve kaynak verimliliğini artırmaya yönelik yeşil ürünler ve süreçlere dönüşüm, endüstrinin çeşitli sektörlerinde değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu bağlamda, endüstrinin çeşitli sektörlerinde yeşil ürünlerin üretilmesi ve yeşil proseslerin kullanılması ön plana çıkmıştır. Ürün ve süreçlerin çevresel performanslarının çok önemli bir konu haline gelmesi, şirketleri bunların çevresel etkilerini minimize etme yollarını araştırmaya yöneltmiştir. Birçok firma, çevresel performanslarını geliştirmek için kirlilik önleme stratejilerinin ve çevre yönetim sistemlerinin kullanımını avantajlı bulmaktadır.

Kirlilik önleme stratejileri, şirketlerin üretim süreçlerinde kirlilik kaynağını tespit edip, onu azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak için aldıkları önlemleri kapsar. Bu stratejiler, çevresel performansı artırmakla kalmaz, aynı zamanda yasal düzenlemelere uyumu kolaylaştırır ve şirketlerin itibarını artırır. Çevre yönetim sistemleri ise, şirketlerin çevresel etkilerini sistematik bir şekilde yönetmelerine yardımcı olan yapılar sağlar. ISO gibi uluslararası standartlar, şirketlerin çevresel performanslarını sürekli olarak iyileştirmelerine rehberlik eder.

YDA, TSE 14040 ve TSE14044 standartına göre amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki değerlendirme ve yorumlama olmak üzere dört ana adımda gerçekleştirilmiştir.

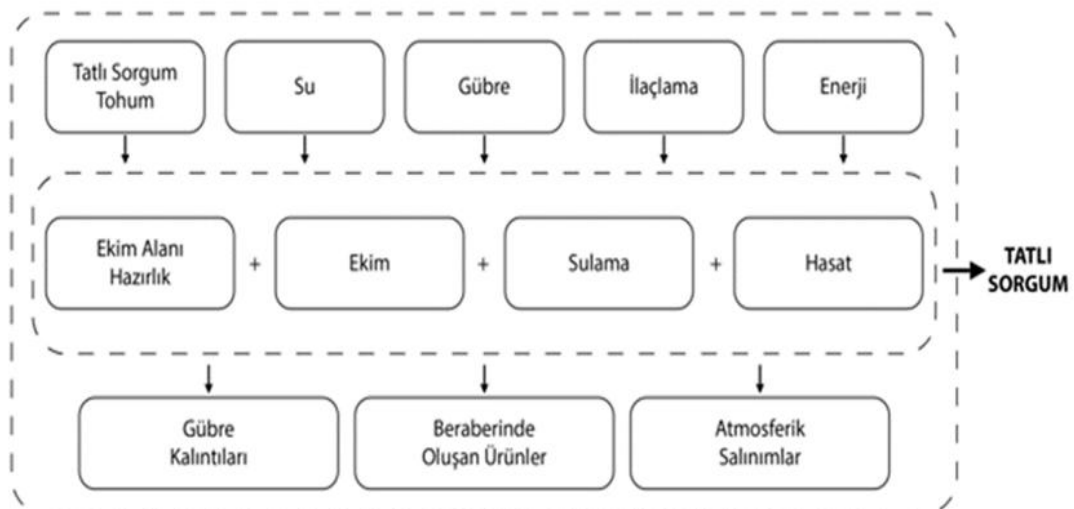
### 3.3.5.1 YDA Çalışmasının Amaç ve Kapsamının Belirlenmesi

Bu YDA çalışmamızın amacı, alternatif hammadde kaynağı olabilecek tatlı sorgumun üretiminde ve biyoetanol hammaddesi kullanımından kaynaklanan çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla beşikten mezara değil de “beşikten kapıya” kadar ki süreç için bu çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları ile çiftçiler, akademisyenler, yerel politikacılar, ziraat odaları biyokütle üretimi ve biyoetanolda kullanılabilirliği ile ilgili olumlu, olumsuz çevresel etkileri ve optimize edilebilecek kısımları hakkında bilgilendirilmiş olacaktır.

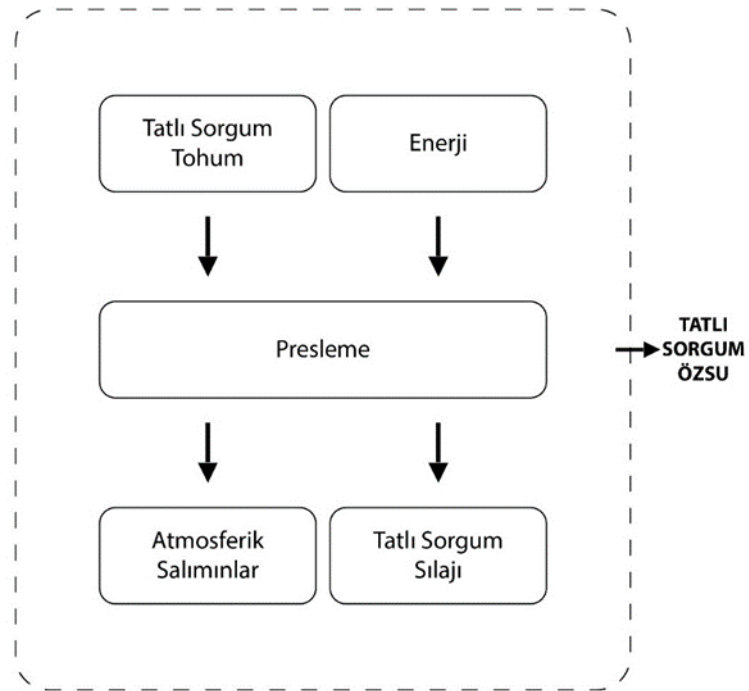
İlk olarak değerlendirilmekte olan tatlı sorgum üretim aşaması, tatlı sorgum özsu elde aşaması ve biyoetanol üretim aşaması olmak üzere akış diyagramı ile 3 ayrı sistem sınırı oluşturulmuştur.

Fonksiyonel birim (işlevsel birim) olarak 1 dekar alan alanda gerçekleştirilmiş tatlı sorgum miktarı kabul edilmiştir. Çalışmanın bütün hesaplamaları 1 de alanda yetiştirilmiş tatlı sorguma göre düzenlenmiştir.

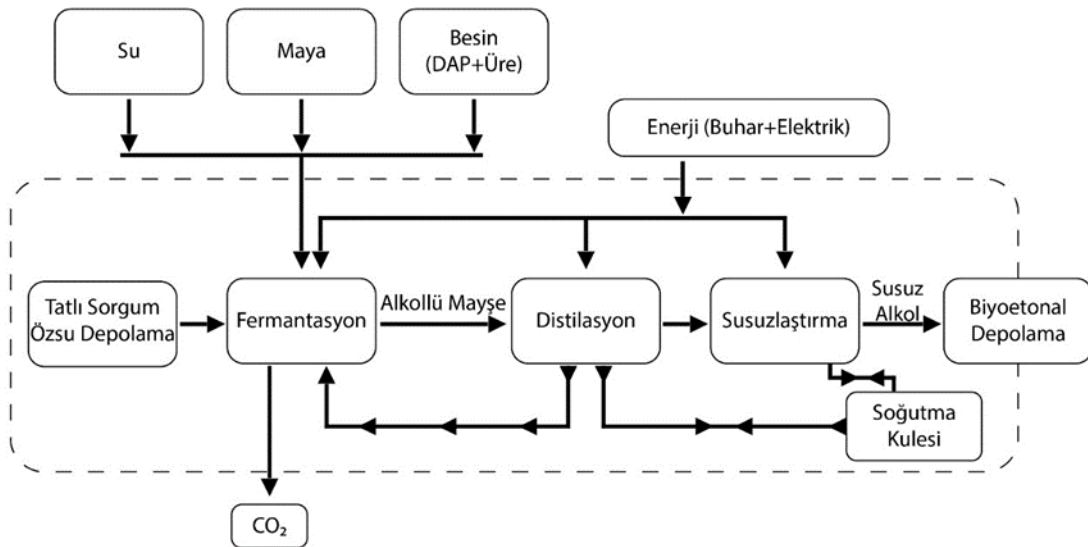
Değerlendirilmekte olan sürecin akış diyagramı ile sistem sınırları şekil 3.17, 3.18 ve 3.19’teki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.17. Sistem sınırı (1), Tatlı sorgum üretimi aşaması



Şekil 3.18. Sistem sınırı (2), Tatlı sorgum özsu elde aşaması



Şekil 3.19. Sistem sınırı (3), Biyoetanol üretimi aşaması

### 3.3.5.2. YDA Çalışmasının Envanter Analizi

Bu aşamada hangi verilerin toplanması gerektiği netleştirilmelidir. Bu, ham madde tüketimi, enerji kullanımı, emisyonlar, atık üretimi ve su kullanımı gibi çevresel girdiler ve çıktılarla ilgili spesifik veri türlerini içerir.

Tanımlanan sistem sınırlarına göre, her bir sistem sınırının girdileri ve çıktıları belirlenmiş tohum, gübre kullanımı, ilaçlama, su tüketimi, kullanılan tarımsal aletler, enerji kaynakları, biyoetanol üretiminde kullanılan kimyasallar, emisyonlar (toğrağa, suya, havaya) referans gösterilerek gerekli veriler toparlanmıştır. Oluşturulan her bir sistem sınırlarına göre sırasıyla Tablo 3.3, 3.4 ve 3.5'te envanterleri oluşturulmuştur.

**Tablo 3.3.** Tatlı sorgum üretimi envanteri

<i>Girdiler</i>	<i>Miktar (da başına)</i>	<i>Birim</i>	<i>Referans</i>
Tatlı sorgum tohum	2	kg	Deneysel veri
Fosfor	9	kg	(Şeflek, 2021)
Azot	5	kg	(Şeflek, 2021)
Potasyum	4.5	kg	(Şeflek, 2021)
Sulama	577	m <sup>3</sup>	(Anonim, 2024i)
İlaçlama (Böceklenme)	5	cm <sup>3</sup>	OpenLCA
Hasat makinesi	OpenLCA Programından alınmıştır.		
<b>Çıktılar</b>			
Tatlı sorgum yeşil ot	5307	kg	Deneysel veri
Atmosferik salınımlar			OpenLCA
Gübre kalıntıları	OpenLCA Programından alınmıştır.		
Beraberinde oluşan ürünler	-	-	-

**Tablo 3.4.** Tatlı sorgumdan özsu eldesi envanteri

<i>Girdiler</i>	<i>Miktar</i>	<i>Birim (da başına)</i>	<i>Referans</i>
Tatlı sorgum yeşil ot	5307	Kg	Deneysel veri
Presleme makinesi	1419.2	kWh	Deneysel veri
<b>Çıktılar</b>			
Tatlı sorgum özsu	747	kg	Deneysel veri
Tatlı sorgum silaj	4560	kg	Deneysel veri
Atmosferik salınımlar	OpenLCA Programından alınmıştır.		

**Tablo 3.5.** Tatlı sorgum özsuından biyoetanol üretimi envanteri

<i>Girdiler</i>	<i>Miktar</i>	<i>Birim (da başına)</i>	<i>Referans</i>
Tatlı sorgum özsu	747	kg	Deneysel veri
DAP	186.75	kg	Deneysel veri
Üre	124.5	kg	Deneysel veri
ZnSO <sub>4</sub>	1245	kg	Deneysel veri
MgSO <sub>4</sub>	1245	kg	Deneysel veri
Maya	56.08	kg	Deneysel veri
Su	298.8	l	Deneysel veri
Enerji(Buhar)	240	kg	Tesis verileri
Enerji(Elektrik)	30	kWh	Tesis verileri
<b>Çıktılar</b>			
Biyoetanol	30	l	Deneysel veri
CO <sub>2</sub>	30	l	Deneysel veri
Isı	118	kJoule/mol	Deneysel veri
Atmosferik salınımlar	OpenLCA Programından alınmıştır		

### 3.3.5.3. Çalışmanın Yaşam Döngüsü Etki Analizi

Bu aşamada bir önceki aşamada belirlenen verilere dayalı olarak çevresel etki kategorileri hesaplanmıştır. Potansiyel çevresel etki kategorilerini ölçmek için etki değerlendirme yöntemi olarak CML-IA temeline sahip OpenLCA yazılımı kullanılmıştır. Küresel Isınma Potansiyeli, Asidifikasyon, Ötrofikasyon, Abiyotik Azalma olmak üzere 4 adet Çevresel Etki Kategorisi belirlenmiştir.

**Küresel Isınma Potansiyeli**, fosil yakıtların yakılması ve farklı tarımsal/endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan sera gazlarının atmosfere salınmasıyla tetiklenen dünyanın iklim sistemindeki büyük değişiklikleri ifade eder. Küresel ısınmanın ölçümü, ısı radyasyonunun emilimi sırasında CO<sub>2</sub> etkisine sahip olan ürünler için küresel ısınma olasılığı (global warming potential (GWP)) ile nicelendirilmektedir. Sera gazları, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan sera gazlarının atmosfere salınması nedeniyle Dünya'nın iklim sisteminde meydana gelen önemli değişiklikleri ifade eden küresel ısınmaya katkıda bulunur. Sera gazları için küresel ısınma olasılığı CO<sub>2</sub>-denkliği ile ifade edilmekte olup, etkileri CO<sub>2</sub>'in etkisine göre göreceli olarak tanımlanmaktadır (Gültekin, 2006; Jensen ve ark., 1997).

**Asidifikasyon**, daha çok fosil yakıtların yanmasıyla oluşan asit gazlarının havaya, suya ve toprağa salınımıyla oluşmaktadır. Asitleşme, protonların yeryüzü ya da su

ekosistemine serbest kalmasından kaynaklanmaktadır. Protonların serbest kalmasından sorumlu olan maddeler  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NH_3$  ve  $HCl$  ve bunun dışında sülfür bileşikleri ve diğer asitler olabilir. Asidifikasyon potansiyeli (AP)  $SO_4^{2-}$  denkliği veya hidrojen ( $H^+$ ) ile hesap edilmektedir (Gültekin, 2006; Jensen ve ark., 1997).

**Ötrofikasyon**, su kütlelerinde ekosistemin doğal dengesini bozacak miktarlarda besin birikmesi ve bunun sonucunda canlı organizmaların hayatta kalması için gereken oksijen seviyesinin azalmasıdır. Ekosistemdeki besin birikimi azot, fosfor ve biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin fazlalığından kaynaklanmaktadır. Sularda fazla miktarda azot ve fosfor bulunmasının başlıca etkisi yosunların büyümesidir. Daha sonraki etkiler organik maddelerin parçalanmasını içerir. Organik maddelerin ayrışması oksijen tüketen ve oksijen seviyelerinin düşmesine katkıda bulunan bir süreçtir. Ötrofikasyon potansiyeli (Eutrophication Potential-EP)  $PO_4$  denklileri ile ifade edilmektedir (Gültekin, 2006; Jensen ve ark., 1997).

**Abiyotik Tükenme Potansiyeli Fosil**, (ATP fosil): Abiyotik doğal mineral ve enerji kaynaklarının tükenmesi, ham petrol, kömür, doğal gaz ve metal cevherleri gibi unsurları içermektedir. Bu etki kategorisi fosil yakıtların tükenmesi potansiyelini ölçer ve MJ eşdeğeri olarak ifade edilmektedir (Baumann ve Tillman, 2004).

**Abiyotik Tükenme Potansiyeli Element** (ATP element): Bu çevresel etki kategorisi metal ve mineral cevherleri gibi cansız yani abiyotik kaynakların tükenmesi anlamına gelmektedir. Abiyotik kaynakların tükenmesi element şeklinde de isimlendirilen bu etki kategorisi küresel boyutta incelenmektedir. Abiyotik kaynakların tükenmesi potansiyeli, antimon (Sb) eşdeğeri cinsinden ölçülmektedir (Baumann ve Tillman, 2004).

Bilimsel karakterizasyon faktörleri kullanılarak LCA sonuçları insan sağlığı ve çevresel etkileri temsil eden indikatörlere dönüştürülür (örneğin; kg  $CO_2$  eşdeğeri, kg  $SO_2$  eşdeğeri vb.).

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Ön Hazırlık Aşamasında Yapılan Analizlerin Sonuçları ve Proses Etkisi

Çalışmanın fermantasyon prosesine geçmeden önce ön hazırlık sürecinde 3 Tatlı Sorgum çeşidinin erimesi gözlemlenmiştir. Bu süreçte herhangi bir istenmeyen değişim gözlemlenmemiştir. Fakat gözlem amaçlı çalışma süresince oda koşullarında bekletilen numunelerin renginin kahverengiye döndüğü gözlemlenmiştir. Buradan, hammadde depolama tanklarının Tatlı Sorgum özsuyunun içeriğini bozmadan muhafaza edecek şekilde dizayn edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Aksi takdirde fermantasyonun verimini olumsuz yönde etkiler.

Çalışmada, tatlı sorgum özsularındaki şekerin fermantasyon yoluyla biyoetanole dönüştürüleceğinden, içerdikleri şeker yani fermente edilebilir şeker miktarı önemlidir. Çalışma için yetiştirilen 3 çeşit Tatlı Sorgum özsularının sakkarimetre cihazında %Polar şeker, Briks değeri (İçerdiği katı/kuru madde) ve ayrıca pH değerlerine bakılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 4.1.** Sakkarimetrede Uzun, Erdurmuş, Gülşeker çeşitlerinin Bx, Pol, Arılık, pH değeri

Numune	Briks (Bx)	%Şeker (Pol)	Arılık (Q)	pH
Erdurmuş	16.10	6.24	38.76	5.07
Gülşeker	16.92	7.52	44.44	5.08
Uzun	17.53	9.01	51.40	5.09

Şeker sanayiinde refraktometrik kuru maddeye Briks denmektedir ve Bx olarak gösterilmektedir. Briks derecesi saf sakaroz çözeltilerindeki sakaroz miktarının bir ölçüsüdür. Ancak pratikte saf olmayan şekerli ürünlerdeki çözünmüş toplam katı maddelerin yüzdesi olarak düşünülmektedir. Tablo 6'ya göre en fazla şeker miktarı Uzun çeşidinde belirlenmiştir.

Özsu numunelerinde Arılık(Q) ;tayin edilen briks ve polar şeker değerlerinden  $Q=(Pol/Bx) \times 100$  formülü kullanılarak hesaplanmış ve ayrıca safiyat olarak da adlandırılır.

### 4.2. Fermantasyon Prosesi Değerlendirmesi ve Analiz Sonuçları

Yarı-sürekli fermantasyonda 3 ayrı fermantör Tablo 2'de bulunan reçeteye göre hacminin 3.5 litre olacak şekilde 1'er litreden az su ilavesi yapılmıştır. Fermantasyonun

iyi gözlemlenebilmesi için ve proseste aksaklıklar oluşabilme ihtimalide göz önüne alınarak, ilk durumda hesaplamalar sonrasında 1 litre özsu ve 0.5 litre su karışımı yapılmış, ortamın Bx ve Ph ve kalan şeker dengesi takip edilerek fermantasyon süresince ara ara özsu beslemesi yapılmıştır. Fermantasyon 15 saatte tamamlanmış, her 4 saatte 1 kez Bx ve Ph ve Kalan Şeker miktarına bakılarak son özsu ve su ilavesi ile fermantör hacmi 3.5 litreye tamamlanmıştır.

Fermantasyon döngüsü 15 saat sonunda tamamlanmıştır.

**Tablo 4.2.** Fermantasyon döngüsü

Maya transferi	0-1 saatleri arasında
Proses suyu beslemesi	0-6 saatleri arasında
Hammadde beslemesi	1-11 saatleri arasında
Reaksiyonun tamamlanması	11-15saatleri arasında

Tablo 4.2’de yer alan Fermantasyon döngüsüne göre 4 saatte 1 yapılan gözlem değerleri Tablo 4.3’de yer almaktadır.

#### 4.2.1. Fermantasyon Bx, pH Değerlerinin Takibi ve Sonuçları

**Tablo 4.3.** Fermantasyon prosesi süresince Bx-pH değerleri

4.saat sonunda			
	Erdurmuş	Gülşeker	Uzun
<b>pH</b>	5.6	5.5	5.6
<b>Bx</b>	6.5	6.6	8.1
8.saat sonunda			
<b>pH</b>	4.4	4.3	4.1
<b>Bx</b>	3.5	3.5	3.8
12.saat sonunda			
<b>pH</b>	4.4	4.37	4.2
<b>Bx</b>	3.3	3.10	3.92
15.saat sonunda			
<b>pH</b>	4.4	4.4	4.2
<b>Bx</b>	3.29	3.05	3.89

Çalışmayı yaptığımız tesistede fermantasyon aynı şekilde tank tabanına belli bir miktarda maya ve su verilerek başlatılmaktadır.Reaktörlerin kesikli veya sürekli çalışması durumuna göre ara ara hammadde beslemeleri yapılmaktadır. Proses, sürekli

sirkilasyon ile sıcaklık, pH ve briks kontrolü yapılarak sürdürülür. Toplam 24-26 saatin sonunda fermantasyon sona erdirilmektedir. Reaksiyon sonucunda çıkan CO<sub>2</sub> daha önce atmosfere salınırken hali hazırda kurulan saflaştırma tesisine gönderilmektedir.

CO<sub>2</sub> çıkışı rahat olması açısından fermantör olarak kullandığımız balon jocuları pamukla kapattık. Fermantasyon süresini çalışılan tesisteki süreyi referans olarak analiz sıklıklarını düzenlik fakat fermantasyon süremiz 15 saatte tamamlanmıştır. Melasa kıyasla Tatlı Sorgum çeşitlerinin fermantasyon sürecinde enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir. Çünkü Tatlı Sorgumun içerisinde melasa kıyasla kirlilik yok denecek kadar azdır.

Melas, pancarın bünyesinden gelen organik kirlilikleri de barındırdığı için ve katı madde miktarı da yüksek olması sebebiyle fermantasyon süresince daha çok enerjiye ve zamana ihtiyacı olmaktadır. Katı madde çoğunlukla organik ve inorganik yapıdır. Organik katı madde olarak; fermante edilebilir şeker, fermante edilemez şeker, uçucu asitlik, azotlu maddeler, karamel, sakızlaşma gibi diğer kompozit karışımları ile birlikte şeker prosesi esnasında eklenmiş olan polyelectrolytes, biocides vb. sınıflandırılabilir.

Mevcutta var olan özsu miktarları ile belirlediğimiz fermantör hacimlerine göre teorik olarak şu veriler elde edilmiştir:

Denklem (3.1)'e göre Gülşeker çeşidinde:

$$2.5m^3 = \frac{(3.5m^3)(0.789 \text{ ton}/m^3)(\text{Alkol Yüzdesi, \%})}{(0.51)(1)(0.0752 \text{ ton}/m^3)}$$

*Alkol Yüzdesi* = % 3,5 olarak bulunur. (Teorik olarak Fermantasyon sonu )

%3.5 alkol yüzdesine sahip özsuda 0.086 ml biyoetanol vardır. Buna göre 1 Litre biyoetanol (%99.8'lik) için 40 Litre özsuya ihtiyaç olacaktır.

Denklem (3.1)'e göre Erdurmuş çeşidinde:

$$2.5m^3 = \frac{(3.5m^3)(0.789 \text{ ton}/m^3)(\text{Alkol Yüzdesi, \%})}{(0.51)(1)(0.0624 \text{ ton}/m^3)}$$

*Alkol Yüzdesi* % = 2.8 olarak bulunur. (Teorik olarak Fermantasyon sonu )

%2.8 alkol yüzdesine sahip özsuda 0.07 ml biyoetanol vardır. Buna göre 1 Litre biyoetanol (%99.8'lik) için 35 Litre özsuya ihtiyaç olacaktır.

Denklem (3.1)'e göre Uzun çeşidinde:

$$2.5m^3 = \frac{(3.5m^3)(0.789 \text{ ton}/m^3)(\text{Alkol Yüzdesi, \%})}{(0.51)(1)(0.0901 \text{ ton}/m^3)}$$

*Alkol Yüzdesi* % = 4.1 olarak bulunur. (Teorik olarak Fermantasyon sonu )

%4.1 alkol yüzdesine sahip özsuda 0,1 ml biyoetanol vardır. Buna göre 1 Litre biyoetanol (%99,8'lik) için 24,5 Litre özsuya ihtiyaç olacaktır.

Uygulamalı olarak deardan elde edilen tatlı sorgum özsü miktarları belirlendiğine göre teorik olarak Biyoetanol miktarları ise şöyledir;

- ✓ 1 dekar alandan 2279 litre tatlı sorgum özsuyu (Erdurmuş) elde edilmiştir. Bu özsuya karşılık teorik olarak 56 litre %99.8'lik Biyoetanol elde edilecektir.
- ✓ 1 dekar alandan 3286 litre tatlı sorgum özsuyu (Gülşeker) elde edilmiştir. Bu özsuya karşılık teorik olarak 93 litre %99.8'lik Biyoetanol elde edilecektir.
- ✓ 1 dekar alandan 747 litre tatlı sorgum özsuyu (Uzun) elde edilmiştir. Bu özsuya karşılık teorik olarak 30 litre %99.8'lik Biyoetanol elde edilecektir.

#### 4.2.2. Fermantasyonun Mikroskopik Gözlem Sonuçları

Mayşede sıcaklık artışı, toplam bakteri miktarının artışı ve hammaddenin yüksek miktarda uçucu asit içermesi uçucu asitliğin yüksek olmasının kaynakları olabilir. Mikroskopik gözlem sonucunda herhangi bir olumsuzluk olmaması hazırlanan fermantasyon reçetesinin ve hammadde kaynağını uygun olduğunu gösterir.

Fermantasyon sürecinde çıplak gözle partikül, asılı kalan tanecik vs. gözlemlenmemiştir.

#### 4.2.3. Fermantasyonun Köpük Oluşumu Gözlem Sonuçları

Tatlı Sorgum ile yaptığımız bu çalışma süresince köpük oluşumu çok az gözlemlenmiş fermantörlere 1-2 damla prina yağı ilave edilmiştir.

#### 4.2.4. Fermantasyonda Mayşede Kalan Şeker Tayini Sonuçları

Çalışmamızın 15.saatinin sonunda Kalan Şeker Tayininde 3 fermantörde de kalan şeker "0" olarak bulunmuştur. Bu da demektir ki; fermantörlerde fermente edilebilen şeker tükenmiştir ve distilasyona gönderilmeye hazırdır.

### 4.3. Distilasyon Prosesi Değerlendirmesi ve Analiz Sonuçları

Çalışmanın uygulama aşamasında fermantasyon tamamlandıktan sonra biyoetanolün içerdiği su, laboratuvar ölçeğinde kurulan geri soğutmalı distilasyon ünitesinde uzaklaştırılmıştır. Fermantasyonu tamamlanan her bir karışım için, kurulan geri soğutucu düzeneğinde; biyoetanol-su karışımlarının kaynama noktası farkından yararlanılarak 80°C'de buharlaşması ve daha sonra 20°C'de soğutma suyu kullanılarak biyoetanolün yoğuşturularak toplama kabında toplanması amaçlanmıştır.1'e 1 sulandırma işlemi yapılarak başlanılan proseste, toplama kabında 100 ml toplandıktan sonra tekrar sulandırma işlemi yapılarak 2. kez distile edilerek biyoetanolün safsızlığının artabileceği gözlemlenmiştir.

Ardından tezgâh üzeri alkol yoğunluğunu ölçen Densitometre cihazında 3 ayrı karışımın alkol yoğunluklarına bakılmış ve Tablo 4.4'de yer alan sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 4.4.** Distilasyon sonu tatlı sorgum çeşitlerinde destilatta toplanan biyoetanolün % alkol değerleri

Tatlı Sorgum türleri	Erdurmuş	Gülşeker	Uzun
%Alkol (v/v)	32	35	46

Uygulamalı olarak gerçekleştirilen fermantasyon ve proses çalışması sonucunda en iyi alkol verimi %46'lık biyoetanol elde edilen Uzun türünde görölmüştür.

Çalışmayı yaptığımız tesiste, Distilasyon ünitesi, çoklu basınç distilasyon teknolojisi ile çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede kademeli basınç konsepti ve gerekli olan ısıtma ve soğutma işlemleri birbirleri ile entegrasyonu sağlanarak önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Susuz etanol için, etanol su karışımından direk olarak sentetik zeolitin moleküler eleme özelliği ile suyun adsorplanması sağlanır. Etanol molekülleri su moleküllerinden daha büyük olduğu için yüksek sıcaklık (120°C) ve basınç altında beslenen %95'lik etanol - su buharı moleküler eleklerden (zeolit) geçiş esnasında su molekülleri zeolit gözeneklerinden geçerek moleküler eleğin içine hapsedilirken, alkol molekülleri gözeneklere girmeden geçer. Böylece sulu alkol buharı suyunu zeolitlerden müteşekkil yatağın içinde bırakmış olur.

Buradan yola çıkarak, çalışmamızın büyük ölçekli üretimi tesisin distilasyon prosesine uyarlanabileceği ve ekonomik yönden avantajlı olacağı da anlaşılmıştır. Bu süre içerisinde belirli aralıklarla destilatın alkol yoğunluğuna bakılarak distilasyon süreci de tamamlanmıştır.

Melas kullanılarak yapılan biyoetanol üretiminde distilasyon sürecinde ortaya çıkan yan ürünler, depolama ve saklamaya uygun hale getirilme ihtiyacı doğurur. Melastan biyoetanol üretiminde proses sonucu oluşan sulu şilempe (% 6-11 kuru madde içerir), çok yüksek bir organik kirlilik potansiyeline sahip olan ve bu kirlilik içermektedir. Çevreye doğrudan zararlı olabilmektedir. Bu yan ürünler hassas bir şekilde yönetilmezse, çevre kirliliğine yol açabilir ve işletme maliyetlerini artırabilir. Tatlı sorgumda bu tür bir yan ürün oluşmadığı için distilasyon prosesinde ekstra enerji ve dönüşüm prosesi gerektirmemiştir.

#### **4.4. Son Ürün (%46'lık Uzun türünden elde edilen Biyoetanol) Analiz Sonuçları**

##### **4.4.1. Gaz Kromatografisi ile Biyoetanolde Metanol ve Yüksek Alkoller Tayini**

Distilasyon sonucu elde edilen %46'lık Uzun türünden elde edilen Biyoetanol'ün GC analiz raporu Ek1'de gösterilmiştir.

Gaz kromatografisi yönteminde incelenebilen maddeler için belirli sıcaklıktaki alıkonma sürelerinin farklı olmasından yararlanarak nitel analiz yapılmıştır. Bir bileşen kolondan ne kadar erken çıkarsa, o bileşene ait pik de o kadar keskin elde edilirken, kolondan geç çıkan bileşenlere ait pikler ise geniş ve yayvan olarak elde edilmektedir.

GC analiz raporuna göre; hammadde kaynaklı biyoetanol içerisinde % 99.19'u Ethanol; %0.26'sı Pentan-3-ol; %0.16'sı İsobutanol; %0.17'si 3-Metilbütan-1-ol; % 0.12'si Propan-1-ol oranında yüksek moleküllü alkoller (asetik asit, metanol vb.) safsızlık olarak bulunmaktadır. Bu safsızlıklar analiz raporunda da görüldüğü gibi eser miktarda olup, etil alkolün kullanım alanına göre (örneğin yakıt etanolü) kabul edilebilir durumdadır. Ancak kullanım alanı gıda, sağlık vb. olduğunda uygun ayırıştırma yöntemleri kullanılarak farklı proseslerle saflaştırılarak kullanılabilir.

##### **4.4.2. Biyoetanolün 20°C'de Yoğunluk Değeri**

Biyoetanol'ün diğer fiziksel özellikleri incelendiğinde ilgili standartlarda ve literatürlerde yoğunluğu  $794.8 \text{ kg/m}^3$  olarak geçmektedir (Busic ve ark., 2018). Çalışmada sonunda Uzun çeşitlerinden elde edilen %46'lık biyoetanolün hemen hemen 20°C'deki yoğunluğu  $953.0 \text{ kg/m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bu değer yüksek çıkması içerisindeki suyun tamamen uzaklaştırılmamasıdır. Bünyesindeki su uzaklaştırıldıkça literatürdeki değere yaklaşacağı bilinmektedir.

#### 4.4.3. Biyoetanolün Bünyesindeki Su Değeri

Benzinli motorlu araçlarda kullanılan ve özellikleri EN 228'e uygun otomotiv yakıtına (benzin), harmanlama bileşeni olarak ilâve edilmek amacıyla piyasaya arz edilen etanol ile ilgili gerekleri ve deney yöntemlerini kapsayan TS EN 15376 standardına göre Biyoetanol'ün diğer fiziksel özellikleri incelendiğinde ağırlıkça %0.300'ten az olmasını belirtmiştir.

Titratörde görülen değer, bölüm 3.6.5'te yer alan formülde yerine konularak Uzun çeşidinden elde edilen %46'lık biyoetanol içerisinde su miktarı kütlece %2.48 olarak bulunmuştur.

#### 4.4.4. Biyoetanolün Alt Isıl Değeri

Biyoetanolün enerji verimi, benzinden yaklaşık üçte bir oranında daha düşüktür. Bir litre etanol, sadece yaklaşık 0.65 litre benzin ile ikame edilir. Bu, benzin ve etanolün farklı kalori değerlerinden kaynaklanmaktadır (Anonim, 2023).

Buna karşın, oktan seviyesi benzine kıyasla daha yüksek olan biyoetanolün benzinle harmanlanarak kullanılması motor performansını da artırmaktadır. (Hatunoğlu, 2010)

Çalışma sonunda Uzun çeşidinden elde ettiğimiz %46'lık biyoetanolün alt ısıl değeri 2.180 cal/g olarak ölçülmüştür. Biyoetanolün en önemli dezavantajlarından biri de içerisindeki suyun yakıt ekipmanları üzerindeki korozyon etkisidir. Bu nedenle yakıtın biyoetanol olabilmesi için suyun tamamen uzaklaştırılması gerekmektedir

Biyoetanol için hedeflenen değer %98-99'dur. Ancak %98 saflıkta olduğunda petrol ile harmanlanabilmektedir. Aksi takdirde içerdiği su miktarı nedeniyle korozyona neden olmaktadır.

Literatürde %98-99 saflıktaki Biyoetanolün kalorifik değeri 6.40 cal/g, benzinin ise 10.4 cal/g olarak geçmektedir (Anonim, 2023).

#### 4.5. Tatlı Sorgum Temelli Biyoetanol'ün Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

Potansiyel çevresel etki kategorilerini ölçmek için etki değerlendirme yöntemi olarak CML-IA temeline sahip OpenLCA yazılımı kullanılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında yaşam döngüsü envanter analizi için malzeme ve enerji ile ilgili tüm verilerin sayısal olarak elde edilmesi gerektiğinden sisteme giren tüm hammadde ve enerji bileşenleri ile sistemden çıkan kirlenici bileşenler ve yan salınımlar fonksiyonel birim ile ilişkilendirilerek bu program üzerinden hesaplanmıştır.

Tablo 4.5’de gerçekleştirilen analiz yöntemine göre; CO<sub>2</sub>-denkliği ile ifade edilen küresel ısınma potansiyeli etki değerleri verilmiştir. Gerçekleştirilen analiz yöntemine göre, 1 dekar alanda yetiştirilmiş tatlı sorgumdan üretilen biyoetanolün tüm aşamaları için toplam CO<sub>2</sub> eşdeğer miktarı 3365.31 kg olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 4.5.** GWP etki kategorisi için kg CO<sub>2</sub>-eq sonuçları

<i>Sistem sınırları</i>	<i>kg CO<sub>2</sub> eq</i>
Tatlı Sorgum Yetiştirme ve Hasat	454.92 kg
Tatlı Sorgumdan Özsü Eldesi	0 kg
Tatlı Sorgum Özsuyundan Biyoetanol Üretimi	2910.39 kg
<b>Toplam</b>	<b>3365.31 kg</b>

Tablo 4.6’da gerçekleştirilen analiz yöntemine göre, 1 dekar alanda yetiştirilmiş tatlı sorgumdan üretilen biyoetanolün tüm aşamaları için toplam SO<sub>2</sub><sup>-</sup> eşdeğer miktarı 15.54 kg olarak hesaplanmıştır. Bu toplam miktarın %85’i proseslerde kullanılan elektrik tüketiminden kaynaklıdır. Geri kalan kısmını da hasat süresince hasat makinesinin kullandığı fosil yakıtlar etki etmektedir. Özsü elde aşamasında etki değeri görülmemiştir.

**Tablo 4.6.** ACP etki kategorisi için kg SO<sub>2</sub>-eq sonuçları

<i>Sistem sınırları</i>	<i>kg SO<sub>2</sub> eq</i>
Tatlı Sorgum Yetiştirme ve Hasat	2.23 kg
Tatlı Sorgumdan Özsü Eldesi	0 kg
Tatlı Sorgum Özsuyundan Biyoetanol Üretimi	13.31 kg
<b>Toplam</b>	<b>15.54 kg</b>

Tablo 4.7’de gerçekleştirilen analiz yöntemine göre, 1 dekar alanda yetiştirilmiş tatlı sorgumdan üretilen biyoetanolün tüm aşamaları için toplam PO<sub>4</sub><sup>-</sup> eşdeğer miktarı 13.69 kg olarak hesaplanmıştır. Bu miktara, fermantasyonda mayalanma süresince mayanın kullandığı fosfor ve potasyum etki etmiştir. Ötrofikasyon değerinin ekosistemi etkileyecek seviyede olmaması da fermantasyon ortam ve koşullarının uygun olduğunu göstermektedir.

**Tablo 4.7.** EP etki kategorisi için kg PO<sub>4</sub>-eq sonuçları

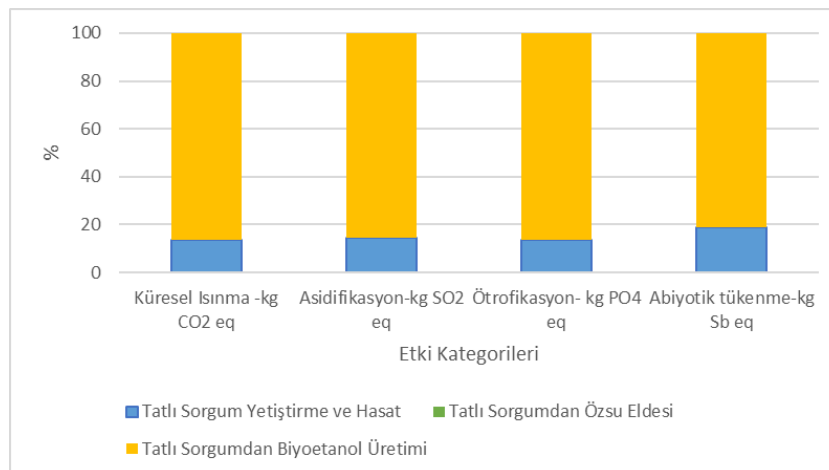
<i>Sistem sınırları</i>	<i>kg PO<sub>4</sub>-eq</i>
Tatlı Sorgum Yetiştirme ve Hasat	1.83 kg
Tatlı Sorgumdan Özsü Eldesi	0 kg
Tatlı Sorgum Özsuyundan Biyoetanol Üretimi	11.86 kg
<b>Toplam</b>	<b>13.69 kg</b>

Tablo 4.8’de yer alan gerçekleştirilen analiz yöntemine göre, 1 dekar alanda yetiştirilmiş tatlı sorgumdan üretilen biyoetanolün tüm aşamaları için toplam Sb eşdeğer miktarı 0.00576 kg olarak hesaplanmıştır. Eser miktarda olması proseslerde mineral tüketiminin minimum seviyede olduğunun göstergesidir.

**Tablo 4.8.** ADP etki kategorisi için kg Sb eq sonuçları

<i>Sistem sınırları</i>	<i>kg Sb eq</i>
Tatlı Sorgum Yetiştirme ve Hasat	0.00109 kg
Tatlı Sorgumdan Özsü Eldesi	0 kg
Tatlı Sorgum Özsuyundan Biyoetanol Üretimi	0.00467 kg
<b>Toplam</b>	<b>0.00576 kg</b>

Oluşturulan sistem sınırları için belirlenen 4 kategoride Open LCA programının verdiği etki değerlendirme sonuçları toplu değerlendirme olarak şekil 26’da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere kategorilerin tamamında yüzdelik dilimi kapalı sistemde üretimi gerçekleştirilen Tatlı Sorgumdan Biyoetanol Üretimi ve geri kalanını Tatlı Sorgum Yetiştirme ve Hasat aşamaları oluşturmaktadır. 2.aşama olan Tatlı Sorgumdan özsü eldesi aşamasında kategorilerde hiçbir etki değerleri tanımlanmamıştır.

**Şekil 4.1.** 1 dekar alanda yetiştirilen Tatlı Sorgumdan biyoetanol üretim aşamalarının etki kategorilerinin değerlendirilmesi

Gerçekleştirilen yöntemlere göre biyoetanol üretiminin tüm aşamaları için işlevsel birim 1 dekar alanda yetiştirilen tatlı sorguma göre;

- ✓ Küresel Isınma Potansiyeli toplam eşdeğer CO<sub>2</sub> miktarı 3365.31 kg,
- ✓ Asidifikasyon toplam eşdeğer SO<sub>2</sub> miktarı 15.54 kg,
- ✓ Ötrofikasyon toplam eşdeğer PO<sub>4</sub> miktarı 13.69 kg ve
- ✓ Abiyotik tükenme element tüketimi 0.00576 kg Sb-eş olarak bulunmuştur.



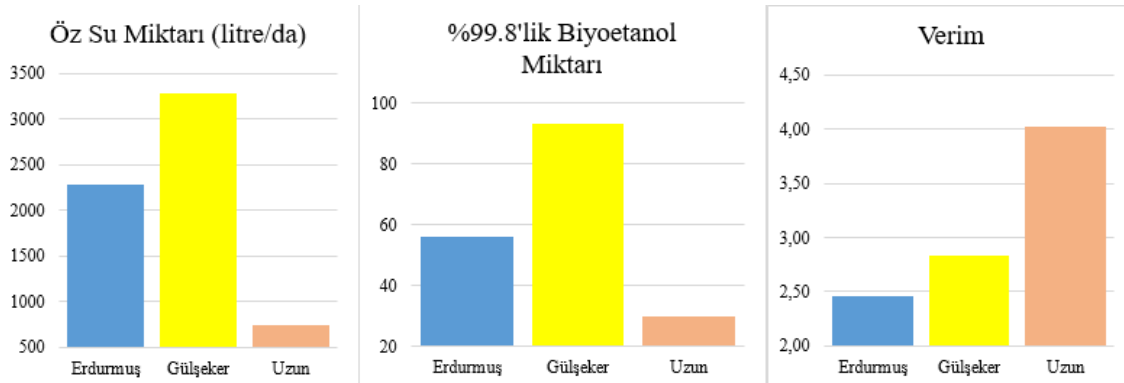
## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, ülkemizde tescilli alınmış tatlı sorgum çeşitlerinin Selçuk Üniversitesi Sarayönü Meslek Yüksekokulu Araştırma ve Uygulama arazisinde ekimi gerçekleştirilmiş ve topluca hasat edilmiş, enerji kaynağı yüksek olan en uygun çeşit belirlenmiş ve mevcut biyoetanol tesislerine uyumluluğu araştırılmıştır. *Erdurmuş*, *Gülşeker*, *Uzun* çeşitleri hasat edildikten hemen sonra preslenerek özuları biyoetanol üretiminde kullanılmak üzere -20°C dondurucuda muhafaza edilmiştir. Araştırmanın proses aşaması Konya Şeker A.Ş.'nin Çumra kampüsünde yer alan Biyoetanol fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Proses çalışması için dondurucudan çıkarılan özuların oda koşullarında çözünmesi tamamlandıktan hemen sonra %Pol değerlerine bakılmıştır. *Erdurmuş*, *Gülşeker*, *Uzun* çeşitlerinin %Pol değerleri sırasıyla 6.24; 7.52; 9.01 olarak bulunmuştur. Aynı koşullarda yetiştirilen tatlı sorgumlardan enerji verimine en yüksek çeşit *Uzun* olarak belirlenmiştir. Aynı fermantör hacminde *Saccharomyces cerevisia* ile mayalanma yoluyla fermantasyonları tamamlanmıştır. Fermantasyon ve mayalanma süreçlerinde kirlilikten kaynaklı bakteri oluşumu gözlemlenmemiş ve içerdiği sakkarozun tamamı alkole dönüşmüştür. Melasın kullanıldığı proseslerde fermantasyon süreleri 24 saati bulurken, tatlı sorgum çeşitleri fermantasyon süresini 15.saat sonunda tamamlamıştır. Ayrıca tatlı sorgumların yetiştirme döneminde gübre kullanımının minimum seviyede olduğu da anlaşılmaktadır. Çünkü melas, pancar yetiştirilme sürecinde verilen gübrelerden ve şeker üretimi esnasında kullanılan kimyasallardan ötürü kirlilikleri bünyesinde barındırdığından bakteri oluşumuna sebebiyet verebilmektedir. Bu da, fermantasyon sürecinde daha çok enerji harcanmasına ve fermantasyon süresinin uzamasına neden olmaktadır. Laboratuvar ölçeğinde fermantasyonu tamamlanan mayşenin geri soğutucu altında kaynama sıcaklığı farkından yararlanarak distilasyon prosesleri de tamamlanmıştır. Uygulamalı olarak yapılan bu biyoetanol üretiminde her biri 2.5 litre olan *Erdurmuş*, *Gülşeker*, *Uzun* çeşitlerinden sırasıyla %32 , %35 , %46 'lık biyoetanol elde edilmiştir. Çalışmayı yaptığımız tesiste biyoetanol üretiminde hedeflenen değer %99.8 olduğundan ekstra susuzlaştırma için moleküler susuzlaştırma tesisi tasarlanmıştır. Yapılan araştırma ve gözlemlerden; mevcut işleyen tesiste Tatlı Sorgumun bünyesindeki suyu uzaklaştırmanın mümkün olabileceği, daha az enerji harcayarak bünyesindeki suyun uzaklaşarak Yakıt biyoetanolu elde edilebileceği görülmüştür.%46'lık biyoetanol içerisinde kütlece %2.48 su olmasına rağmen alt ısı

değeri 2.180 cal/gr olarak hesaplanmıştır. Biyoetanol içerisinde ki suyun varlığı yanma sırasında enerjiyi düşüreceğinden alt ısı değeri direk etkiler. Elde edilen biyoetanol içerisinde suyun uzaklaştırılması yeterli olacaktır. Çünkü GC analiz sonucunda safsızlıkların eser seviyede olması, yakıt biyoetanolü kullanımını kabul edilebilir görüşünü de ayrıca desteklemektedir.

Şekil 5.1’de gösterildiği üzere tesis verileri ve yapılan uygulamalı çalışmadan çıkarılan sonuca göre büyük ölçekte çalışıldığında dekara %2.8 biyoetanol verim ile 35 litre *Erdurmuş* çeşidinden dekara %3.4 biyoetanol verimi ile 29 litre *Gülşeker* çeşidinden, dekara %4 biyoetanol verimi ile 24.5 litre *Uzun* çeşidinden 1’er litre %99.8 saf biyoetanol elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.1. Tatlı Sorgum türlerinin özsu eldesi ve biyoetanol miktarına karşılık verim kıyaslaması

Çalışmanın diğer safhasında, tanımlanan sistem sınırı 1 dekarlık alana göre yetiştirilen tatlı sorgum ve bu tatlı sorgum öz suyundan elde edilen biyoetanol aşamalarının "beşikten kapıya" yöntemiyle yaşam döngüsü analizi etki değerlendirmesi yapılmıştır. Yenilenebilir bir yakıt olan biyoetanolün, üretiminin var olan potansiyel çevresel etkileri CML-IA temeline sahip OpenLCA yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Etki kategorileri politika yapıcılara genel bir bakış açısı kazandırması amacıyla sık kullanılanlar arasından seçilmiştir. Çalışılmış deneysel verilere göre; CO<sub>2</sub>-denkliği ile ifade edilen küresel ısınma potansiyeli etki değeri en fazla biyoetanol üretimi prosesinde olup %86’lık paya sahiptir. Bunun nedeni ise, fermantasyon sonu oluşan CO<sub>2</sub> miktarıdır. Çalışmayı yaptığımız tesiste atmosfere salınan CO<sub>2</sub> depolanarak alternatif sektörlerde değerlendirilmektedir. Aynı şekilde hammadde tatlı sorgum olduğunda yine fermantasyon sonu oluşan CO<sub>2</sub> miktarı entegre bir dönüşüm ile değerlendirilerek etki değeri azaltılabilir. Fosil yakıtların yanması sonucu havayı, suyu, toprağı doğrudan etlikeyen SO<sub>2</sub> miktarı asidifikasyon etki değerini vermektedir. %85’lik bu kısım

proseslerde harcanan elektrik miktarından kaynaklanmaktadır. Geri kalan kısmını da hasat süresince hasat makinesinin kullandığı fosil yakıtlar etki etmektedir. Ötrofikasyon etki değeri 1 dekarlık tanımlanan sistem sınırına göre 13.64 kg PO<sub>4</sub>'e eşdeğer olup bu miktara, fermantasyonda mayalanma süresince mayanın kullandığı fosfor ve potasyum etki etmiştir. Ötrofikasyon değerinin ekosistemi bozacak seviyede olmaması da fermantasyon ortam ve koşullarının uygun olduğunu göstermektedir. Seçilen son etki değerlendirme kategorisi abiyotik kaynakların tükenme potansiyelidir. Doğada sınırlı bulunan abiyotik kaynakların, özellikle enerji, mineral ve su gibi temel unsurların hızla tükenmesiyle gerçekleşen bu etki değeri çalışmamızda eşdeğer element tüketimi 0.00576 kg Sb-eş olarak hesaplanmıştır. Eser miktarda olması proseslerde mineral tüketiminin minimum seviyede olduğunu göstergesidir.

Tatlı sorgumun *Uzun* çeşidinin biyoetanol üretiminde biyokütle kaynağına alternatif olabileceğine dair kısıtlayıcı bir unsurun bulunmaması, bu bitkinin Türkiye koşullarında hem enerji hem de yem bitkisi olarak bir potansiyele sahip olabileceğini, YDA sonuçlarına göre de çevresel performansının iyi olması, tatlı sorgumun sürdürülebilir bir hammadde kaynağı olabileceğini desteklemektedir.

## 5.2. Öneriler

Gelişen dünyada petrole olan talep azalmadan devam ederken, özellikle ulaşım sektöründeki artan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim zorunlu hale dönüşmeye başlamaktadır. Günümüzde çevre sorunlarına olan ilgi ve küresel ısınma ile mücadelede atılan adımlar, ekosistemi koruma gerekliliği uluslararası anlaşmalarla da desteklenmektedir. Ülkemizde mevcut tesislerde, sürdürülebilir ve çevre dostu tatlı sorgum bitkisi, biyoetanol üretim potansiyelini artırmak için değerlendirilebilir. Tatlı sorgum, düşük maliyetli bir hammadde olması ve çevresel açıdan avantajlı olması nedeniyle mevcut üretim süreçlerine entegre edilerek biyoetanol üretiminin hem ekonomik hem de çevresel verimliliğini artırabilir.

Tatlı sorgum bitkisinin az gübre kullanımı ve su tüketiminin düşük olması sürdürülebilir tarım uygulamaları için uygun bitki olmasını desteklemektedir. Fakat içerdiği şeker miktarını artırmak için uygulamalar geliştirilebilirse ciddi anlamda biyoetanol üretiminde diğer hammadde kaynaklarına kıyasla daha güçlü alternatif bir biyokütle kaynağı olabilecektir.

Çalışmayı yaptığımız tesiste büyük ölçekli Tatlı Sorgumdan biyoetanol elde edilebileceği çalışma ile görülmüştür. Fakat Tatlı Sorgum yapısı gereği hemen

bozunmaya uğrayabileceği için hammadde depolama tankları buna uygun hale getirilmelidir. Burada da tesiste, fermantasyon sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub>, entegre tesiste kuru buz üretiminde kullanılmaktadır. Bu kuru buz üretimi ile hammadde stok tankları arasında iyileştirme yapılarak, hammaddenin stok ömrü uzatılabilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., Oğuz, H. ve Ünalđı, M. (2004), Türkiye için alternatif bir yakıt: Biyoetanol, yakıt olarak kullanımı ve emisyon değerleri, *Biyoenerji Sempozyumu*, İzmir.
- Afrifa, G.A., Tingbani, I., Yamoah, F., Appiah, G., 2020, Innovation input, governance and climate change: evidence from emerging countries, *Technol. Forecast. Soc. Chang.*, 161, Article 120256.
- Anonim, 2015, UNFCCC, Paris Agreement. United Nations Climate Change, [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf).
- Anonim, 2017, Biyoenerji Derneği, <https://biyoder.org.tr/biyoenerji/biyodizel-biyoetanol/>, Erişim tarihi:10 Haziran 2024.
- Anonim, 2019, WEO (World Bioenergy Association), Global Bioenergy Statistics
- Anonim, 2020a, IEA, World Energy Balances. International Energy Agency, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>.
- Anonim, 2020b, Bioethanol Market: Current Analysis and Forecast <https://univdatos.com/tr/report/bioethanol-market-2/>.
- Anonim, 2020c, Biofuel China, <http://www.reuters.com/article/us-china-biofuels/china-sets-2020-target-for-nationwide-ethanol-use-to-cut-corn-stocks-idUSKCN1BO03>.
- Anonim, 2020d, Petrol Sanayi Derneği, Sektör Raporu, Erişim adresi: <https://www.petder.org.tr/tr-TR>.
- Anonim, 2020e, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Türkiye'de Biyokütle Enerjisi Erişim adresi: [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-202013\\_%20Biyokütle%20Enerjisi%20Bülent%20İllez.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-202013_%20Biyokütle%20Enerjisi%20Bülent%20İllez.pdf).
- Anonim, 2021, Türkşeker, 2021 Sektör Raporu, Erişim tarihi:14 Haziran 2024 [https://www.turkseker.gov.tr/data/dokumanlar/2021\\_Sektor\\_Raporu.pdf](https://www.turkseker.gov.tr/data/dokumanlar/2021_Sektor_Raporu.pdf).
- Anonim, 2022, Doğu Anadolu Kalkına Ajansı, Van İli Biyoetanol Tesisi Ön fizibilite Raporu Erişim adresi: <https://www.yatirimadestek.gov.tr/pdf/assets/upload/fizibilite/van-ili-biyoetanol-uretim-tesisi-on-fizibilite-raporu-2022.pdf>.
- Anonim, 2023, TÜBA, Biyokütle Enerjisi Raporu.
- Anonim, 2024a, Biofuel Market, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/bioethanol-market> erişim tarihi:14.06.2024.
- Anonim, 2024b, Konya Şeker, Erişim adresi: <https://konyaseker.com.tr/tr/icerik/detay/2085/biyoetanol-uretim-tesisi>, Erişim tarihi:14 Haziran 2024.

- Anonim, 2024c, Tarımsal Kimya Teknolojileri A.Ş., Erişim adresi: <https://www.tarimsalkimya.com.tr/#tesis>, Erişim tarihi: 14 Haziran 2024.
- Anonim, 2024d, Tarımsal Kimya, Erişim adresi: <https://tezkim.com/>, Erişim tarihi: 14 Haziran 2024.
- Anonim, 2024e, Alagöz Kimya, <https://www.alagozkimya.com/>, Erişim tarihi: 14 Haziran 2024.
- Anonim, 2024f, Amasya Şeker, <https://amasyaseker.com.tr/>, Erişim tarihi: 14 Haziran 2024.
- Anonim, 2024g, Türk Şeker, <https://www.turkseker.gov.tr/>, Erişim tarihi: 14 Haziran 2024.
- Anonim, 2024h, Konya Şeker, Kalite-Kontrol El Kitabı.
- Anonim, 2024ı, <https://kalkinmasozlugu.izka.org.tr/yasam-dongusu-analizi/>, Erişim tarihi: 20 Eylül 2024.
- Anonim, 2024i, [www.tarimorman.gov.tr](http://www.tarimorman.gov.tr), Türkiyede Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri, Erişim tarihi: 20.09.2024.
- Balat, M., 2011, Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review, *Energy conversion and management*, 52, 858-875.
- Balat, M., Balat, H. ve Öz, C., 2008, Progress in bioethanol processing, *Progress in energy and combustion science*, 34 (5), 551-573.
- Baumann, H., Tillman, A.-M., 2004, Introduction to LCA. In *The Hitch Hiker's Guide to LCA: An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application* (pp. 19-69). Lund: Studentlitteratur.
- Busic, A., Mardetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Santek, M.I., Komes, D., Novak, S., Santek, B., 2018, Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: A review, *Food technology and biotechnology*, 56, (3).
- Colussi, J., N. Paulson, G. Schnitkey ve J. Baltz., 30 Haziran 2023, " Brezilya, İkinci Mahsul Mısırın Yaygınlaşmasıyla Mısır-Etanol Üreticisi Olarak Ortaya Çıkıyor ." *farmdoc daily* ( 13 ): 120, Tarım ve Tüketici Ekonomisi Bölümü, Illinois Üniversitesi, Urbana-Champaign.
- Daylan B., Korkmaz A.P., Cılız N., 2017, Alternatif Ulaşım Yakıtı Olarak Lignoselülozik Biyoetanolin Yaşam Döngüsü Analizi ve Çevresel Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi, *Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Anahtar Dergisi*, Sayı 345, Sayfa: 37-44.
- Demir, M. K., Elgün, A. ve Bilgiçli, N., 2006, Sıvı Ferment Yöntem ile Ekmek Üretiminde Kullanılan Maya (*Saccharomyces cerevisiae*) Performansına Katkı Maddeleri ve Ortam Şartlarının Etkisi. *Gıda Teknolojisi Derneği (GTD) Yayın Organı* 31 (6): 303-310.

- Demirer, G. N., 2011, Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) ve Uygulama Örnekleri, Çevre Alanında Kapasite Geliştirme Projesi Entegre Ürün Politikaları ve Sürdürülebilir Kaynak Yönetim, Bölgesel Çevre Merkezi, REC TürkiyeREW İstanbul 2011 İnternet erişimi <http://users.metu.edu.tr/goksel/resource-efficiency/pdf/279.pdf>.
- Dweikat, I., 2014, "Sorghum Diversity Paper, Sweet Energy Crop Article". <Http://Agronomy.Unl.Edu/Sweetsorghum>, Erişim tarihi:7 Temmuz 2019.
- Gallo, A.B., Simões-Moreira, J.R., Costa, H.K.M., Santos, M.M., Dos Santos E.M., 2016, Energy storage in the energy transition context: a technology review *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 65, pp. 800-822.
- Gozgor G., 2018, A new approach to the renewable energy-growth nexus: ,evidence from the USA,*Environ. Sci. Pollut. Res.*, 25 (17) , pp. 16590-16600.
- Grassı, G., 2000, Bioethanol – Industrial World Perspectives. *Renewable Energy World*.
- Gültekin A., B., 2006, Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hatunoğlu E., 2010, Biyoyakıt politikalarının tarım sektörüne etkileri. DPT Uzmanlık Tezleri İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müd. Ankara.
- Hossain, M.S., Islam, M.N., Rahman, M.M., Mostofa, M.G., Khan, M.A.R., 2022, Sorghum: a prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *J. Agric. Food Res*, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>.
- ISO, I., 2006, ISO 14040 international standard. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework. International Organisation for Standardization.
- Jarboe L., Grabar T., Yomano L., Shanmugan K., Ingram L.,2007, Development of ethanologenic bacteria, in: In: *Biofuels*, Olsson, L. (Series Editor), Scheper, T. (Volume Editor), Springer, New York, pp. 237-261.
- Jensen, A. A., Hoffman, L., Moller, B., Schmit, A., Christiansen, K., Elkington, J.,Dijk, F.V.,1997, Life cycle assessment, a guide to approaches, experiences and information sources, European Environment Agency, 13- 14, 51-71.
- Jin, X., Song, J., And Liu, G. Q., 2020, Bioethanol Production From Rice Straw Through An Enzymatic Route Mediated By Enzymes Developed İn-House From *Aspergillus Fumigatus*. *Energy*, 190, 116395.
- Jiang S., Deng X., Liu G., Zhang F., 2021, Climate change-induced economic impact assessment by parameterizing spatially heterogeneous CO2 distribution,*Technol. Forecast. Soc. Chang.*, 167, Article 120668.

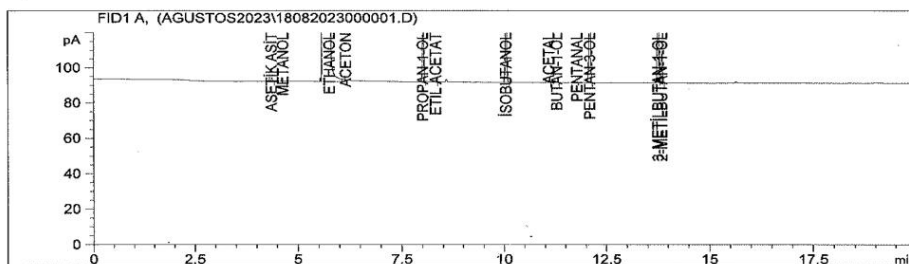
- Köppen, S., Reinhardt, G. & Gartner, S., 2009, Assessment of energy and greenhouse gas inventories of sweet sorghum for first and second generation bioethanol. Environment and Natural Resources Management Series, 30, FAO, Rome.
- MacCarthy, D.S., Adam, M., Freduah, B.S., Fosu-Mensah, B.Y., Ampim, P.A., Ly, M., Traore, P.S., Adiku, S.G., 2021, Climate change impact and variability on cereal productivity among smallholder farmers under future production systems in West Africa. Sustainability 13 (9), 5191. <https://doi.org/10.3390/su13095191>.
- Muthu S.S., 2017, Environmental sustainability in the textile industry. Sustainability in the textile industry (Editor: Muthu S.S.). Springer, Singapore, ISSN 2197-9871, ISBN 978-981-10-2639-3, s. 9-15.
- Nazli, R.I., 2020, Evaluation of different sweet sorghum cultivars for bioethanol yield potential and bagasse combustion characteristics in a semiarid Mediterranean environment. Biomass and Bioenergy 139:105624.
- Nguyen, T., Unpaprom, Y., Ramaraj, R., 2020, Enhanced fermentable sugar production from low grade and damaged longan fruits using cellulase with algal enzymes for bioethanol production, Emergent life sciences research, 6 (2), 26-31.
- Nigam J., 2001, Ethanol production from wheat straw hemicellulose hydrolysate by *Pichia stipitis*. Journal of biotechnology; 87(1): 17-27.
- Öğüt, H., Eryılmaz, T., Akınerdem, F., Oğuz, H., 2005, Tarımsal kaynaklı biyoyakıtlar (biyoetanol ve biyodizel). *Konya Ticaret Borsası Dergisi*, 8(19), 26-29.
- Özkan, S., 2021, “Paris Ve Glasgow Anlaşmaları Çerçevesinde Fosil Yakıt Alternatifi Elektrikli Araçların Ekonomik Ve Finansal Açından İrdelenmesi”, International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal, (Issn:2630-631X) 7(53): 3300-3311.
- Rekha, B., Saravanathamizhan, R., 2023, Preparation and characterization of biomass-based nanocatalyst for hydrolysis and fermentation of catalytic hydrolysate to bioethanol. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(3), 1601-1612.
- Resmi Gazete, 30 Kasım 2011, sayı:28100, Etil Alkol Ve Metanolün Üretimi İle İç Ve Dış Ticaretine İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik, Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=15462&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>.
- Resmî Gazete, 29 Aralık 2022, sayı:32058, Benzin Türlerine Etanol Harmanlanması Hakkında Tebliğde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ, Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/12/20221229-17.htm>.
- Rezende R. P., Golin, H. O., Abreu, V. L. S., Theodore, G.F., Franco, G. L., Brumatti R. C., Fernandes, P. B., Bento, A. L. L., Rocha, R. F. A. T., 2020. Does intercropping maize with forage sorghum effect biomass yield, silage bromatological quality and economic viability? *Res Soc Dev* 9(4):1-25.
- Przychodzen W., Przychodzen J., 2020, Determinants of renewable energy production in transition economies: a panel data approach *Energy*, 191, Article 116583, 10.1016.

- Sanyam Jain, Shushil Kumar, 2024“A comprehensive review of bioethanol production from diverse feedstocks: Current advancements and economic perspectives” *Journal of Energy*” 131130.
- Sutter, J., Jungbluth, N., 2007. Sweet Sorghum, Production in China. Life Cycle Inventories of Bioenergy, Ecoinvent Report No: 17, 162-173.
- Şeflek, A.,2021, “Enerji Bitkisi Olarak Mısır ve Tatlı Sorgumun Yetiştirme Tekniklerinin Biyokütle ve Biyoyakıt Özellikleri Üzerine Etkisi,Selçuk Üniversitesi (Doktora Tezi).
- Thivierge, M.N., Chantigny, M.H., B’elanger, G., Seguin, P., Bertrand, A., Vanasse, A., 2015. Response to nitrogen of sweet pearl millet and sweet sorghum grown for ethanol in eastern Canada. *Bioenerg. Res* 8, 807–820. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9558-x>.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK),2024, Ulaştırma Sektörü Nihai Enerji Tüketim İstatistikleri ,<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Ulastirma-Sektoru-Nihai-Enerji-Tuketim-Istatistikleri-2022-53808>
- Yılmaz, O., Anctil, A., Karanfil, T., 2015. LCA as a decision support tool for evaluation of best available techniques (BATs) for cleaner production of iron casting. *J. Clean Prod.*, 105, 337-347.
- Yük Tevzi Bilgi Sistemi (YTBS) 2025,TEİAŞ, Kuruluş ve Kaynaklar Göre Güç Kapasiteleri, [https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm\\_istatistikler.jsf](https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf)

## EKLER

## EK-1 %46'lık Biyoetanol Uzun tip GC Analiz Raporu

Acq. Operator :  
 Acq. Instrument : Instrument 1 Location : Vial 101  
 Injection Date : 8/18/2023 4:02:23 PM Inj Volume : 1 µl  
 Acq. Method : C:\CHEM32\1\METHODS\ETOH-B.M  
 Last changed : 4/14/2023 10:51:58 AM  
 Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\ETOH-B.M  
 Last changed : 8/18/2023 4:24:36 PM  
 Sample Info : DILEK KANAT NUMUNESI



## Normalized Percent Report

Sorted By : Signal  
 Calib. Data Modified : 4/14/2023 10:51:05 AM  
 Multiplier: : 1.0000  
 Dilution: : 1.0000  
 Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Norm %	Grp	Name
4.362	BBA	4.68882	2.29137e-3	0.014151		ASETİK ASİT
4.644	BB	1.22071	2.39838e-3	0.003856		METANOL
5.769	BBA	4.86311e4	1.54858e-3	99.189984		ETHANOL
6.157	BBA	2.90931e-1	1.87794e-3	0.000720		ACETON
6.282		-	-	-		İSOPROPANOL
6.804		-	-	-		TERT-BÜTANOL
7.257		-	-	-		İSOBÜTİİK ALDEHİDİ
8.013	BBA	81.74123	1.18034e-3	0.127077		PROPAN-1-OL
8.322	BBA	2.35651	1.84529e-3	0.005727		ETİL ACETAT
8.946		-	-	-		BUTAN-2-OL
10.051	BBA	129.82903	9.71132e-4	0.166062		İSOBÜTANOL
10.265		-	-	-		İSOVALETİK ALDEHİDİ
11.095	BBA	2.28341	1.30100e-3	0.003913		ACETAL
11.290	BBA	8.58572e-1	1.02846e-3	0.001163		BUTAN-1-OL
11.793	BBA	1.83885	1.10162e-3	0.002668		PENTANAL
12.099	VBA	201.79863	1.01053e-3	0.268589		PENTAN-3-OL
13.760	BB	129.88370	9.73487e-4	0.166535		3-METİL BUTAN-1-OL
13.851	BBA	37.83236	9.94484e-4	0.049554		2-METİL BUTAN-1-OL
14.392		-	-	-		ETİL BUTİRAT

Totals : 100.000000

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)  
 Warning : Calibrated compound(s) not found

## Summed Peaks Report

Signal 1: FID1 A,

## Final Summed Peaks Report

Signal 1: FID1 A,

\*\*\* End of Report \*\*\*