

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASPIR YAĞI ETİL ESTERİ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

DOKTORA TEZİ

Ash İŞLER

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Doktora Programı

MART 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASPIR YAĞI ETİL ESTERİ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

DOKTORA TEZİ

**Ash İŞLER
506072002**

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Doktora Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Filiz KARAOSMANOĞLU

MART 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506072002 numaralı Doktora Öğrencisi **Aslı İŞLER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ASPIR YAĞI ETİL ESTERİ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Filiz KARAOSMANOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Melek TÜTER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ülker BEKER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Güldem ÜSTÜN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Bayram KILIÇ
Yalova Üniversitesi

Teslim Tarihi : 21 Aralık 2011
Savunma Tarihi : 2 Mart 2012

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve doktora öğrenimim boyunca bana gösterdiği yol ve hayata bakış açısı ile örnek aldığım, bu uzun maraton süresince benden bilgi ve deneyimlerini hiçbir zaman esirgemeyen, desteğini her an hissettiğim çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Filiz KARAOSMANOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince beni yönlendiren ve candan destekleyen çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Melek TÜTER ve Sayın Prof. Dr. Ülker BEKER'e teşekkürümü borç bilirim.

Deneysel çalışmalarına destek veren, DB Tarımsal Enerji San. ve Tic. A.Ş., Konya Şeker San. ve Tic. A.Ş., Pancar Ekicileri Kooperatifleri Birliği, Total Türkiye, Vitsan Gözetim Mümessillik ve Tic. A.Ş. için teşekkürümü sunarım.

Doktoram süresince bana sağladığı burs nedeni ile TÜBİTAK-BİDEB Yurtiçi Doktora Burs Programı'na teşekkürümü sunarım.

Tezim süresince beni daima motive eden, zorluklarımı paylaşan arkadaşlarıma en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca her zaman yanımda olan çok sevgili teyzelerime, beni bugünlere getiren, sınırsız özverileri ile her türlü olanağı sağlayan ve bana verdikleri destekler ile hayatta her şeyi başarmamı sağlayan canım anneme ve meslektaşım canım babama en derin sevgilerimle teşekkür ederim.

Aralık 2011

Aslı İŞLER
Kimya Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK ÇALIŞMA	3
2.1 Biyorafineriler	3
2.2 Biyoyakıt Teknolojileri	5
2.2.1 Biyoyakıtlar ve genel enerji görünümü	8
2.3 Motor Biyoyakıtları.....	12
2.3.1 Biyoetanol.....	13
2.3.1.1 Dünya’da biyoetanol	14
2.3.1.2 Türkiye’de biyoetanol	16
2.3.2 Biyodizel.....	17
2.3.2.1 Dünya’da biyodizel	20
2.3.2.2 Türkiye’de biyodizel	22
2.3.2.3 Biyodizel standartları	23
2.3.3 Yağ asidi etil esterleri	23
2.4 Aspir Yağı	26
2.4.1 Dünya’da aspir yağı pazarı	29
2.4.2 Türkiye’de aspir yağı pazarı	31
2.5 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.....	33
2.5.1 Yaşam döngüsü değerlendirmesinin tarihçesi	37
2.5.2 Yaşam döngüsü değerlendirmesinin aşamaları.....	40
2.5.2.1 Amaç ve kapsamın belirlenmesi	41
2.5.2.2 Veri toplama	42
2.5.2.3 Etkilerin değerlendirilmesi	42
2.5.2.4 Yorum	47
2.6 Kaynak Tarama Çalışması	47
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	63
3.1 Kullanılan Hammaddeler	63
3.2 Yöntemler.....	63
3.2.1 Aspir yağının karakterizasyonu	63
3.2.2 Laboratuvar ölçeğinde aspir yağı etil esteri üretimi	65
3.2.3 Alternatif motorinlerin yakıt özelliklerinin belirlenmesi.....	66
4. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ	69
4.1 Amaç ve Kapsamın Belirlenmesi.....	69
4.1.1 SimaPro 7.2.4 programı ve Ecoinvent veritabanı	73
4.1.2 Eco-Indicator 99 yöntemi ve incelenen çevresel etkiler	76

4.1.2.1 İnsan sağlığı.....	79
4.1.2.2 Ekosistem kalitesi.....	82
4.1.2.3 Kaynak kullanımı	83
4.2 Veri Toplama.....	84
4.2.1 Şeker pancarı tarımı ve melastan etanol eldesi için veri toplama.....	84
4.2.1.1 Şeker pancarı tarımı	84
4.2.1.2 Şeker pancarı ve melasın hazırlanması	86
4.2.1.3 Fermantasyon ve saflaştırma	88
4.2.2 Aspir tarımı için veri toplama	88
4.2.3 Aspir yağı metil ve etil esterleri için veri toplama.....	91
4.2.3.1 Aspir yağı eldesi ve rafinasyon	91
4.2.3.2 Esterleşme	92
4.2.3.3 Kullanım.....	93
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	95
5.1 Laboratuvar Ölçeğinde Aspir Yağı Etil Esteri Üretimi.....	95
5.2 Alternatif Motorinlerin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi	99
5.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.....	105
5.3.1 Karakterizasyon	105
5.3.2 Normalizasyon	109
5.3.3 Ağırlıklandırma.....	113
5.3.4 Yorum	116
6. VARGILAR VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR.....	123
EKLER.....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	141

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AEE	: Aspir yağı etil esteri
AME	: Aspir yağı metil esteri
Ar-Ge	: Araştırma-Geliştirme
BEST	: Bioethanol for sustainable transport (Sürdürülebilir ulaştırma için biyoetanol)
B5	: %5 biyodizel ve %95 motorin karışımı
B20	: %20 biyodizel ve %80 motorin karışımı
B50	: % 50 biyodizel ve %50 motorin karışımı
B100	: %100 biyodizel
DALY	: Disability Adjusted Life Years (Sağlıksız Yaşam Yılı)
ENERS	: Energy Concept and the Swiss Federal Institute of Technology (Enerji Görüşü ve İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü)
E2m	: Hacmen %2 oranında aspir yağı etil esteri katkılı motorin
E5m	: Hacmen %5 oranında aspir yağı etil esteri katkılı motorin
E7m	: Hacmen %7 oranında aspir yağı etil esteri katkılı motorin
E2km	: Hacmen %2 oranında aspir yağı etil esteri katkılı kırsal motorin
E5km	: Hacmen %5 oranında aspir yağı etil esteri katkılı kırsal motorin
E7km	: Hacmen %7 oranında aspir yağı etil esteri katkılı kırsal motorin
E85	: %85 alkol ve %15 benzin karışımı
ED95	: %96.5 biyoetanol ve %3.5 katkı maddelerinden oluşan karışım
E100	: %100 biyoetanol
FVV	: Research Association for Combustion Engines (Yanmalı motorlar araştırma derneği)
HCl	: Hidroklorik asit
HEBO	: Yüksek erusik asit içeren Brassica Carinata yağı
HOSO	: Yüksek oleik ayçiçeği yağı
H₂SO₄	: Sülfürik asit
IARC	: The International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırma Örgütü)
IFEU	: Institute for Energy and Environmental Research (Enerji ve Çevre Araştırma Enstitüsü)
ISO	: International Organization for Standardisation (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
KM	: Kırsal motorin
KOH	: Potasyumhidroksit
LEBO	: Düşük erusik asit Brassica Carinata yağı
M	: Motorin
NaOH	: Sodyumhidroksit
N₂O	: Diazotmonoksit
NO_x	: Azot oksitler
OECD	: The Organization for Economic Co-operation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)

ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
PAF	: Potentially Affected Fraction (Potansiyel olarak etkilenen kısım)
PDF	: Potentially Disappeared Fraction (Potansiyel olarak tükenen kısım)
SETAC	: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği)
SFTN	: Soğukta Filtre Tıkanma Noktası
SO_x	: Kükürt oksitler
TAPDK	: T. C. Tütün, Tütün Mamülleri ve Alkollü İçecekler Piyasası Düzenleme Kurumu
UNEP	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
YAEE	: Yağ asidi etil esteri
YAME	: Yağ asidi metil esteri
YDD	: Yaşam döngüsü değerlendirmesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: 2010 yılı mevcut yenilenebilir enerji kapasiteleri	9
Çizelge 2.2	: Çeşitli kaynaklardan elde edilen biyoetanol üretim verimi.....	13
Çizelge 2.3	: Biyodizel emisyon değerlerinin motorin ile karşılaştırılması	20
Çizelge 2.4	: AB-27 biyodizel istatistikleri	21
Çizelge 2.5	: Biyodizel türk standartları	24
Çizelge 2.6	: Motorin türk standardı.....	25
Çizelge 2.7	: Dünya'daki bazı aspir isimlendirmeleri	27
Çizelge 2.8	: Aspirin kullanım alanları.....	28
Çizelge 2.9	: 2009 yılı için dünya yağlı tohumlu bitki üretimi.....	30
Çizelge 2.10	: Dünya aspir istatistikleri.....	31
Çizelge 2.11	: 2010 yılı için Türkiye yağlı tohum bitki üretimi.....	32
Çizelge 2.12	: Türkiye aspir yağı istatistikleri.....	32
Çizelge 2.13	: Türkiye tescilli aspir çeşitlerinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması.	33
Çizelge 3.1	: Gaz kromatografi analiz koşulları	64
Çizelge 3.2	: Aspir yağının özellikleri.....	64
Çizelge 3.3	: Gaz kromatografi çalışma koşulları	65
Çizelge 3.4	: Alternatif motorin olarak seçilen yakıtlar ve adlandırmaları	66
Çizelge 3.5	: TS EN 14214 standardındaki yakıt özellikleri için kullanılan metotlar.	67
Çizelge 3.6	: TS 3082 standardındaki yakıt özellikleri için kullanılan metotlar	68
Çizelge 4.1	: YDD çalışmalarında kullanılan yazılım programları	74
Çizelge 4.2	: YDD çalışmalarında kullanılan veritabanları	75
Çizelge 4.3	: İklim değişikliğinin insan sağlığı üzerine etkileri	81
Çizelge 4.4	: Ekotoksiklik zarar kategorisinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması	83
Çizelge 4.5	: Şeker pancarı tarımı için yakıt tüketimi	85
Çizelge 4.6	: Şeker pancarı tarımında kullanılan gübre-ilaç miktarı ve etanol üretimi	86
Çizelge 4.7	: Melas üretiminde ısı ve elektrik tüketimi.....	87
Çizelge 4.8	: Etanol üretiminde ısı ve elektrik tüketimi	88
Çizelge 4.9	: Aspir tarımı için yakıt tüketimi	90
Çizelge 4.10	: Aspir üretimi için gübre-ilaç miktarları ile verim	91
Çizelge 4.11	: Aspir yağı eldesi için veriler	91
Çizelge 4.12	: Aspir yağı eldesi için veriler	92
Çizelge 4.13	: Aspir yağı metil ve etil esterleri için veriler.....	93
Çizelge 4.14	: Elektrik üretimi dağılımı	93
Çizelge 4.15	: Emisyon değerleri.....	94
Çizelge 5.1	: Rafinasyon verimleri	96
Çizelge 5.2	: Aspir yağı etil esterleri yağ asitleri bileşimi.....	99
Çizelge 5.3	: Aspir yağı etil esterinin yakıt özellikleri	100
Çizelge 5.4	: Motorin ve kırsal motorin için yakıt özellikleri	102
Çizelge 5.5	: E2m, E5m, E7m ve M için yakıt özellikleri.....	103

Çizelge 5.6	: E2km, E5km, E7km ve KM için yakıt özellikleri	104
Çizelge 5.7	: Orta nokta ve zarar etkilerinin karakterizasyonu.....	106
Çizelge 5.8	: Normalizasyon faktörleri.....	109
Çizelge 5.9	: Normalizasyon sonuçları	113
Çizelge 5.10	: Ağırlıklandırma faktörleri	113
Çizelge 5.11	: Ağırlıklandırma sonuçları.....	116
Çizelge A.1	: Katalizör miktarı değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi.....	134
Çizelge A.2	: Katalizör miktarı değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi.....	134
Çizelge A.3	: Sıcaklık değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi.....	134
Çizelge B.1	: Aspir tarımı	135
Çizelge B.2	: Aspirin kurutulması	135
Çizelge B.3	: Aspir yağı eldesi	136
Çizelge B.4	: Aspir yağı rafinasyonu.....	136
Çizelge B.5	: Aspir yağı metil ester üretimi	137
Çizelge B.6	: Aspir yağı metil esterinin kullanımı	137
Çizelge B.7	: Aspir yağı etil ester üretimi	138
Çizelge B.8	: Aspir yağı etil esterinin kullanımı	138
Çizelge B.9	: Şeker pancarı tarımı	139
Çizelge B.10	: Melas üretimi	139
Çizelge B.11	: Etanol eldesi.....	140

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Biyorafineri teknolojisi.....	4
Şekil 2.2 : Biyokütle dönüşüm teknolojileri	6
Şekil 2.3 : Dünya biyoetanol üretimi	15
Şekil 2.4 : Trigliseritlerin metanol ile transesterifikasyonu.....	18
Şekil 2.5 : Dünya biyodizel üretimi.....	21
Şekil 2.6 : Yaşam döngüsü kademeleri.....	34
Şekil 2.7 : Biyoyakıtlar için yaşam döngüsü	36
Şekil 2.8 : Yaşam döngüsü değerlendirmesi aşamaları	40
Şekil 2.9 : YDD etki değerlendirmesi aşamaları	44
Şekil 4.1 : Sistem sınırları.....	72
Şekil 4.2 : Ekodeğerin belirlenmesi.....	77
Şekil 4.3 : Eco-indicator 99 yönteminde orta nokta ve zarar kategorileri	78
Şekil 4.4 : Şeker pancarı melasından etanol eldesi	89
Şekil 5.1 : Katalizör miktarı değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi	96
Şekil 5.2 : Katalizör miktarı değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi	97
Şekil 5.3 : Sıcaklık değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi.....	98
Şekil 5.4 : Orta nokta etkileri için karakterizasyon sonuçları.....	107
Şekil 5.5 : Zarar etkileri için karakterizasyon sonuçları	109
Şekil 5.6 : Orta nokta etkiler için normalizasyon sonuçları	110
Şekil 5.7 : Zarar etkileri için normalizasyon sonuçları.....	110
Şekil 5.8 : Aspir yağı metil/etil esterleri için orta nokta etkileri normalizasyon sonuçları	112
Şekil 5.9 : Aspir yağı metil/etil esterleri için zarar etkileri normalizasyon sonuçları	112
Şekil 5.10: Orta nokta etkiler için ağırlıklandırma sonuçları	114
Şekil 5.11: Zarar etkileri için ağırlıklandırma sonuçları.....	114
Şekil 5.12: Aspir metil/etil esterleri için orta nokta etkileri ağırlıklandırma sonuçları	115
Şekil 5.13: Aspir metil/etil esterleri için zarar etkileri ağırlıklandırma sonuçları ...	115

ASPIR YAĞI ETİL ESTERİ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Biyoyakıtlar, endüstriye yeşil alternatifler sunan biyorafineri teknolojileri ürünlerinden biri olarak giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. Biyoyakıtların gelişim sürecinde, yağ asidi etil esterlerinin giderek önem kazanacağı, esnek yakıtlı taşıt uygulamaları paralelinde ikinci kuşak motor biyoyakıtı olarak yer bulacağı öngörülmektedir. Motor biyoyakıtlarının çevresel etkileri yoğun olarak incelenmekte ve kaynaktan son kullanıma dek temiz teknolojiler ile üretim ve kullanımları konusundaki yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarına yoğunlaşılmaktadır.

Türkiye biyoetanol üretim potansiyelinin yüksek ve aspirin Türkiye biyodizel üretimi için en uygun hammadde seçeneklerinden biri olması, aspir yağı etil esteri üretiminin ülkemiz için önemini göstermekte, ulusal kaynakların değerlendirilmesi, ekonomik katkı, stratejik önem, çevresel faktörler, enerji arz güvenliğinde artış gibi pek çok avantaj söz konusu olmaktadır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde Türkiye kökenli aspir yağı ve şeker pancarı biyoetanolü transesterifikasyon reaksiyonu için üretim koşulları belirlenerek, elde edilen ester ürünün yakıt özellikleri TS EN 14214 standardına göre saptanmıştır. Alternatif motorin eldesi amaçlı olarak, motorin ve kırsal motorine hacmen %2, %5 ve %7 oranlarında aspir yağı etil esteri katılarak TS 3082 standardına göre aspir yağı etil esteri katkılı motorinlerin yakıt özellikleri belirlenmiştir. Aspir yağı etil esteri üretimi için yapılan deneysel çalışmalarda, katalizör değişiminin ester içeriğine etkisini incelemek için, yağın ağırlıkça %0.5, %0.75, %1, %1.5, %2 ve %2.5 oranlarında NaOH, yağ/alkol mol oranının ester içeriğine etkisini incelemek için 1/6 ve 1/7 yağ/alkol mol oranları, sıcaklık değişiminin ester içeriğine etkisini incelemek için ise 70°C, 60°C ve 50°C denenmiş ve transesterifikasyon reaksiyonu için uygun koşullar yağ/alkol mol oranı: 1/7; reaksiyon süresi: 10 dakika; katalizör miktarı: yağın ağırlıkça %1'i oranında NaOH ve sıcaklık: 70°C olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda üretilen aspir yağı etil esteri ve aspir yağı etil esteri katkılı motorin ve kırsal motorinlerin yakıt testleri sonucunda, incelenen motor biyoyakıtları alternatif motorin adayları olarak sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde, aspir yağı metil ve etil esterleri için SimaPro 7.2.4 programı ve Eco-indicator 99 yöntemi kullanılarak yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmış ve aspir yağı metil esteri, aspir yağı etil esteri ve motorinin çevresel etkileri karşılaştırılmıştır. Motorinin çevre üzerindeki toplam etkisi 15.4 Pt, aspir yağı metil esterinin 0.042 Pt ve aspir yağı etil esterinin de 0.029 Pt olarak belirlenerek en düşük çevresel etkinin aspir yağı etil esterine ait olduğu saptanmıştır.

SAFFLOWER OIL ETHYL ESTER AND LIFE CYCLE ASSESSMENT

SUMMARY

Biofuels are used at an increasing rate as one of the biorefinery technology products, which offer green alternatives to the industry and they are considered to be most promising alternative fuel candidates. Biorefineries, which are used to produce biofuels look like oil refineries, but they use biomass as feedstock instead of oil. Biomass can be produced with minimal requirements, and it refers to wood (energy forests and woody residues), oilseed plants (sunflower, rapeseed, etc.), carbohydrate plants (potato, wheat, corn, etc.), fiber plants (linseed, hemp plant, sorghum, etc.), vegetal wastes (branch, stalk, straw, root, etc.), animal wastes, municipal wastes, industrial wastes and algae.

Based on the production type and feedstock choice, biofuels are classified as first-, second-, third-, or fourth generation biofuels. First generation biofuels can be used in engines without any modification and the most common first generation engine biofuels are bioethanol from starchy and sugary feedstocks and biodiesel (fatty acid methyl esters). Second generation biofuels are biofuels which will be used in flexi-fuel vehicles and/or for heat, cold and electricity production. These biofuels (bioethanol from lignocellulosic sources, biodiesel (fatty acid ethyl esters), biomethanol, biobuthanol, biomass to liquid products, etc.) will be produced from cellulosic materials like agricultural and forest residues, and non-food crops. These biofuels may be considered more sustainable and do not compete directly with food. Third generation biofuels are fuels obtained from algae or genetically modified vegetables that contain less lignin and more cellulose; fourth generation biofuels are carbon negative biofuels which will be produced from feedstocks with consummated genetics. It is unknown, how soon third and fourth generation biofuels will be used commercially.

Biodiesel, synthesised by transesterification of triglycerides, is defined as fatty acid methyl esters according to the standards as one of the first generation biofuels, but in parallel with the development process of biofuels and application of vehicles with flexible fuels, it is expected that ethyl esters will take part as second generation engine biofuels and will gain increasing importance. Using bioethanol as feedstock has many advantages. Bioethanol is an environmentally friendly renewable source on the contrary to methanol which is produced from fossil sources. Bioethanol is safer to handle because of its low toxicity. It is possible to get alternative fuels with superior fuel properties (higher heat content and cetane number, lower cold filter plugging point) by choosing ethyl ester instead of methyl ester. Many of the countries are not methanol producer; nevertheless bioethanol can be produced in many countries. Using bioethanol as a feedstock has a big importance for Turkey, too. Turkey has a wide potential for bioethanol production. Sugar beet, wheat and maize are the leading raw materials.

Safflower oil is one of the most appropriate oil feedstocks for biodiesel production in Turkey. The most important property of safflower oil is that it is not preferred as an

edible oil. Besides, it does not select climatic and geological conditions, it can be cultivated even in the drought prone regions, it prevents erosion, it supplies higher yields in prone, infertile and drought areas as of other plants, harvest losses are lesser because of the lesser risk of the seed spilling and it is one of the cheapest plants which does not bring any extra cost to the farmers.

Higher potential of bioethanol production and the possible use of safflower oil as one of the most suitable raw materials for biodiesel production in Turkey show the importance of safflower oil ethyl ester production in Turkey. In addition, there are many other advantages like utilizing national resources, economical contribution, the strategic importance, environmental factors and increased security of energy supply.

In the first part of this study, the reaction conditions for Turkey originated safflower oil-sugar beet bioethanol transesterification reaction are defined and fuel properties for the ester product are determined according to the standard TS EN 14214. Furthermore, 2%, 5% and 7% v/v safflower oil ethyl ester are blended with diesel and rural diesel fuels in order to obtain alternative diesel fuels and fuel properties of these fuels are determined according to the standard TS 3082 (EN 590). In the laboratory studies for the production of safflower oil ethyl ester, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.5%, 2% and 2.5% weight of oil NaOH amounts are investigated in order to determine the effect of the change in the catalyst amount on the ester content, 1/6 and 1/7 oil/alcohol molar ratios are investigated in order to determine the effect of the change in the oil/alcohol molar ratio and 70°C, 60°C ve 50°C are investigated in order to determine the effect of the temperature change on the ester content and the appropriate reaction conditions are determined as oil/alcohol molar ratio: 1/7; reaction time: 10 minutes; catalyst amount: 1% NaOH of weight of oil and reaction temperature: 70°C. The fuel properties of the safflower oil ethyl ester, which is produced under these reaction conditions, and the fuel properties of diesel and rural diesel with safflower oil ethyl ester blends are determined and these examined engine biofuels are presented as alternative diesel fuels.

All the fuel properties of safflower oil ethyl ester are in accordance within the standard TS EN 14214. Sulphur content is the most important advantage of biodiesel over No.2 diesel fuel, because environmental concerns put certain limitations to sulfur content and EN 14214 sulfur content requirement is 10 ppm. High values of flash point are another advantage of safflower oil ethyl ester. Cold filter plugging point was determined to be -1°C, which is suitable for the use in the sommer. In order to use safflower oil ethyl ester in the winter, cold flow property has to be improved with cold flow improvers or appropriate additives.

All the fuel properties of 2%, 5% and 7% v/v safflower oil ethyl ester blended diesel and rural diesel fuels are within the limits of the standard TS 3082 (EN 590). Comparing these alternative diesel fuel candidates with diesel fuel and rural diesel fuel, it is concluded that addition of safflower oil ethyl ester increase the flash point and decrease the sulphur content as advantages. Cold filter plugging point is suitable for the use in the sommer. Cold flow property has to be improved with cold flow improvers or appropriate additives for the winter use.

In the second part of the study, life cycle assessment is examined in detail. The environmental effects of engine biofuels are often analysed and the life cycle assessment for the production and use of biofuels from cradle to grave with environmentally friendly green technologies are intensively studied.

The main aim of this life cycle assessment study is to determine the environmental effects of safflower oil ethyl ester and to compare the environmental effects of safflower oil ethyl ester with the environmental effects of safflower oil methyl ester and diesel fuel.

Life cycle assessment studies are carried out by using SimaPro 7.2.4 and Eco-indicator 99 method. It is conducted through four steps as goal and scope definition, life cycle inventory, life cycle impact assessment and interpretation. The functional unit to which all emissions and consumptions in this assessment is determined as 100 km covered with a middle-size and recent car. Most of the data is taken from industry, and some of them are taken from the literature review and Eco-invent database. System boundaries include the agriculture of safflower, drying of safflower, extraction and refining of safflower oil, esterification of safflower oil and methanol/ethanol, and final use as exhaust emissions. The production of bioethanol from sugar beet molasses is also taken into account within the the agriculture of sugar beets, production of molasses, fermentation and purification of bioethanol.

The relevant environmental midpoint impact categories are carcinogenic effects, organic respiratory effects, inorganic respiratory effects, global warming, radiation, ozone layer, ecotoxicity, acidification and eutrophication, land use, mineral use and fossil fuel use; the damage impact categories are human health, ecosystem quality and resources.

Life cycle impact assessment is made through characterization, normalization and weighting steps. According to the characterization results, safflower oil methyl and ethyl esters give better environmental results for all the midpoint impact categories except mineral use, land use and exotoxicity. Similarly, safflower oil methyl/ethyl esters give better environmental results for all the damage categories (human health, ecosystem quality, resources). Safflower oil ethyl ester has environmental advantages in comparison with the safflower oil methyl ester for the midpoint categories as carcinogenic effects, fossil fuel use and global warming.

Results after normalization show which impact categories are the most important and comparison of these three fuels will be easier. According to the normalization results, the most important impact categories are defined as inorganic respiratory effects, acidification and eutrophication, fossil fuel use and global warming. It has been determined that inorganic respiratory effects and acidification and eutrophication largely dominate other categories and the effects of diesel fuel are more then the effects of safflower oil methyl/ethyl esters for these categories.

The most critical and controversial step is the weighting step. Weighting of the damage categories makes possible to calculate the overall environmental effect of a system as one value, which is named as eco-value. After weighting step, the environmental effect of diesel fuel, safflower oil methyl ester and safflower oil ethyl ester are determined as 15.4 Pt, 0.042 Pt, and 0.029 Pt, respectively and safflower oil ethyl ester is found to be the fuel with the lowest environmental impact between these three fuels.

1. GİRİŞ

Günlük yaşamın ve endüstri dünyasının en temel girdilerinden biri olan enerji insanoğlunun varoluşundan itibaren çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Enerji kaynakları madde hali, depo edilebilirlik, dönüştürülebilme, yenilenebilirlik, kullanılabilirlik gibi çok değişik biçimlerde sınıflandırılabilir. Bu kaynaklar yenilenebilirliğine göre sınıflandırıldığında fosil-yenilenemeyen enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer) ve yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar, güneş, su gücü (hidrolik enerji, jeotermal enerji, deniz enerjisi (dalga enerjisi, akıntı enerjisi, gel-git enerjisi) ve biyokütle) olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

Biyoteknoloji Yüzyılı olarak tanımlanan günümüzde fosil kaynaklar yoğun olarak kullanılmakla beraber bu kaynakların rezervlerinin kısıtlı olması ve çevre üzerindeki iklim değişikliği, sera etkisi, asit yağmurları gibi olumsuz etkileri, ülkelerin ulusal kaynaklarını değerlendirerek enerji arz güvenliğini sağlama hedefleri yenilenebilir enerjiye olan ilgiyi arttırmıştır. Pek çok ülkede yenilenebilir enerjinin toplam enerji tüketimi içindeki payı giderek artmakta, yenilenebilir enerji kullanımı için yeni hedefler belirlenmekte ve yoğun olarak çalışmalar sürdürülmektedir [1]. Yenilenebilir enerji ısı-güç üretimi ve ulaşım sektörlerindeki büyümesine devam ederek 2010 yılında dünya toplam birincil enerji tüketiminde %7.8 oranında bir değere sahip olmuştur [2,3]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının güvenilir ve sürdürülebilir enerji dünyasına giden yolda önemli rollerden birini üstlenmesi ile biyorafineri teknolojileri kapsamında yeşil teknolojilerin kullanılmaya başlanması, yeşil ürünlerin üretim ve kullanımı giderek önem kazanmaktadır.

Biyorafineriler çeşitli kimyasal ve fiziksel dönüşüm süreçleri ile biyokimyasallar, biyomalzemeler ve biyoyakıtlar gibi farklı endüstriyel ürünlerin eldesini mümkün kılmaktadır [4]. Günümüzde biyoyakıt endüstrisi en önemli iş alanlarından biri haline gelmeye başlamıştır. Üretim türü ve hammadde seçimine göre dört kuşak olarak sınıflandırılan biyoyakıtlar arasında birinci kuşak biyoyakıtlardan biyoetanol ve biyodizel yoğun olarak uygulamada olup biyoetanol dünyadaki lider biyoyakıt olarak birinci sırada yer almaktadır. Hammadde çeşitliliğinin sağlanması ve gıda dışı

kaynaklar kullanılarak gıdaya olan bağımlılığın en aza indirilmesi gibi temel hedeflerin belirlendiği biyoyakıt dünyasında ikinci ve üçüncü kuşak biyoyakıtlar için Ar-Ge çalışmaları yoğun olarak sürdürülmektedir. Bunun yanı sıra, biyoyakıtların kaynaktan tüketime dek temiz yaşam döngüsü ile kullanımda olması dikkat edilmesi gereken ve önem kazanan bir diğer nokta olarak karşımıza çıkmaktadır [5].

Birinci kuşak biyoyakıtlardan olan biyodizel mevcut standartlara göre yağ asidi metil esterleri olarak tanımlanmaktadır. Biyoyakıt dünyasındaki gelişmeler ve belirlenen hedeflere paralel olarak yağ asidi etil esterlerinin de giderek önem kazanacağı ve esnek yakıtlı taşıt uygulamaları ile ikinci kuşak motor biyoyakıtı olarak uygulamada yer bulacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada Türkiye kökenli aspir yağı ve şeker pancarı etanolünün transesterifikasyon reaksiyonu koşullarının belirlenmesi, aspir yağı etil esterinin ve aspir yağı etil esteri katkılı motorin ve kırsal motorinlerin yakıt özelliklerinin saptanarak alternatif motorin adayları olarak değerlendirilmesi ile yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında aspir yağı etil esterinin çevresel özelliklerinin aspir yağı metil esteri ve motorinin çevresel özellikleri ile karşılaştırmalı olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. TEORİK ÇALIŞMA

Bu bölümde, aşağıda sıralanan başlıklar altında teorik çalışma sonuçları genel hatlarıyla sunulmaktadır:

- Biyorafineriler
- Biyoyakıt teknolojileri
- Motor biyoyakıtları
- Aspir yağı
- Yaşam döngüsü değerlendirmesi
- Kaynak tarama çalışması

2.1 Biyorafineriler

Biyokökenli endüstriyel ürünler hammaddeleri bitkisel veya hayvansal kökenli, gıda ve yem dışı, yenilenebilir alanlarda kullanım ürünlerine sahip ve bazı istisnalar dışında sentetik, toksik ya da çevreye zarar verecek herhangi bir madde içermeyen fotosentez kaynaklı biyorafineri ürünleridir [6,7].

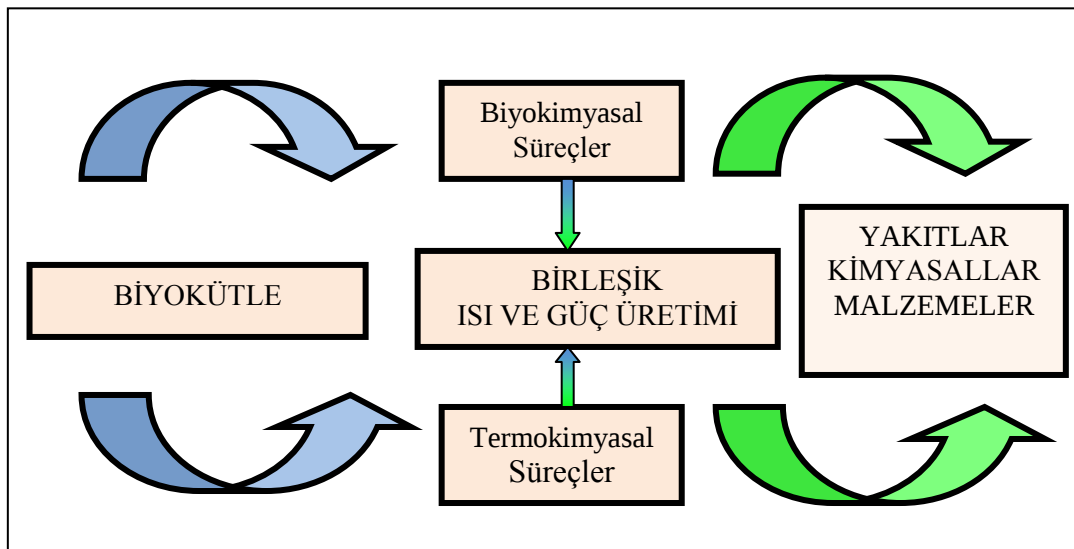
Biyokökenli ürünler, içerdikleri biyokökenli madde oranına göre biyokökenli ürün (%90'dan daha yüksek oranlarda biyokökenli madde içeren ürün), yüksek biyokökenli ürün içeriğine sahip ürün (%51-90 arasında biyokökenli madde içeren ürün), orta derecede biyokökenli ürün içeriğine sahip ürün (%21-50 arasında biyokökenli madde içeren ürün) ve düşük derecede biyokökenli ürün içeriğine sahip ürün (%20'den daha düşük oranlarda biyokökenli madde içeren ürün) olmak üzere sınıflandırılabilir. Biyokökenli ürünler kullanım alanlarına göre ise biyomalzemeler (mürekkepler, boya ve kaplamalar, çözücü ve temizleyiciler, yapıştırıcılar, polimerler, yapı malzemeleri, kompozit malzemeler, lifler, kağıt ve ambajlar, v.b.), biyokimyasallar (yüzey tutucular, ara kimyasallar, yağlama yağları, v.b.) ve biyoyakıtlar (katı, sıvı ve gaz biyoyakıtlar) olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir [7-10].

Bilinen en eski biyokökenli ürün hint tohumu yağı olup, Mısırlılar tarafından lambalarda aydınlatma yakıtı olarak kullanılmıştır. 60'lı yıllarda "Yeşil Devrim"

tanımlaması ile etkisini göstermeye başlayan biyokökenli endüstriyel ürün teknolojisi günümüzde biyorafineri uygulamaları ile endüstride artan oranlarda yer almaya başlamaktadır. Biyorafineriler temelde petrol rafinerilerine benzemekle beraber, bazı farklılıklar göstermektedirler:

- Petrol rafinerilerinde hammadde petrol iken biyorafinerilerde hammadde olarak biyokütle kaynakları kullanılmaktadır.
- Petrol rafinerilerinde yeni bir ürünün üretilmesi için genellikle sert reaksiyon koşulları gerekirken, biyorafinerilerde daha ılımlı reaksiyon koşulları ile yeni ürünler elde etmek mümkündür.
- Biyokimyasal proseslerde bertaraf edilmesi gereken katı atık bulunmamakta ve %66 oranında daha az atık su oluşmaktadır. Buna bağlı olarak maliyet de azalmaktadır [10-12].

Biyorafinerilerin ekonomik açıdan uygulanabilir olması petrol rafinerilerinde olduğu gibi hammadde esnekliğine sahip olmasıyla sağlanabilecektir. Hammadde kaynağı biyokütle, dönüşüm süreçleri ve elde edilen ürünler Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi biyorafineri teknolojileri kapsamında biyokütle fiziksel ve kimyasal dönüşüm süreçlerine tabi tutularak biyokimyasal, biyomalzeme ve biyoyakıtlar gibi farklı endüstriyel ürünlerin eldesi mümkün olabileceği gibi aynı zamanda ısı ve elektrik üretimi ile kojenerasyon ve trijenerasyon uygulamaları da mümkün olmaktadır [5,13]. Biyoyakıt dönüşüm süreçleri hakkında ayrıntılı bilgi Bölüm 2.2’de verilecektir.



Şekil 2.1: Biyorafineri teknolojisi.

2.2 Biyoyakıt Teknolojileri

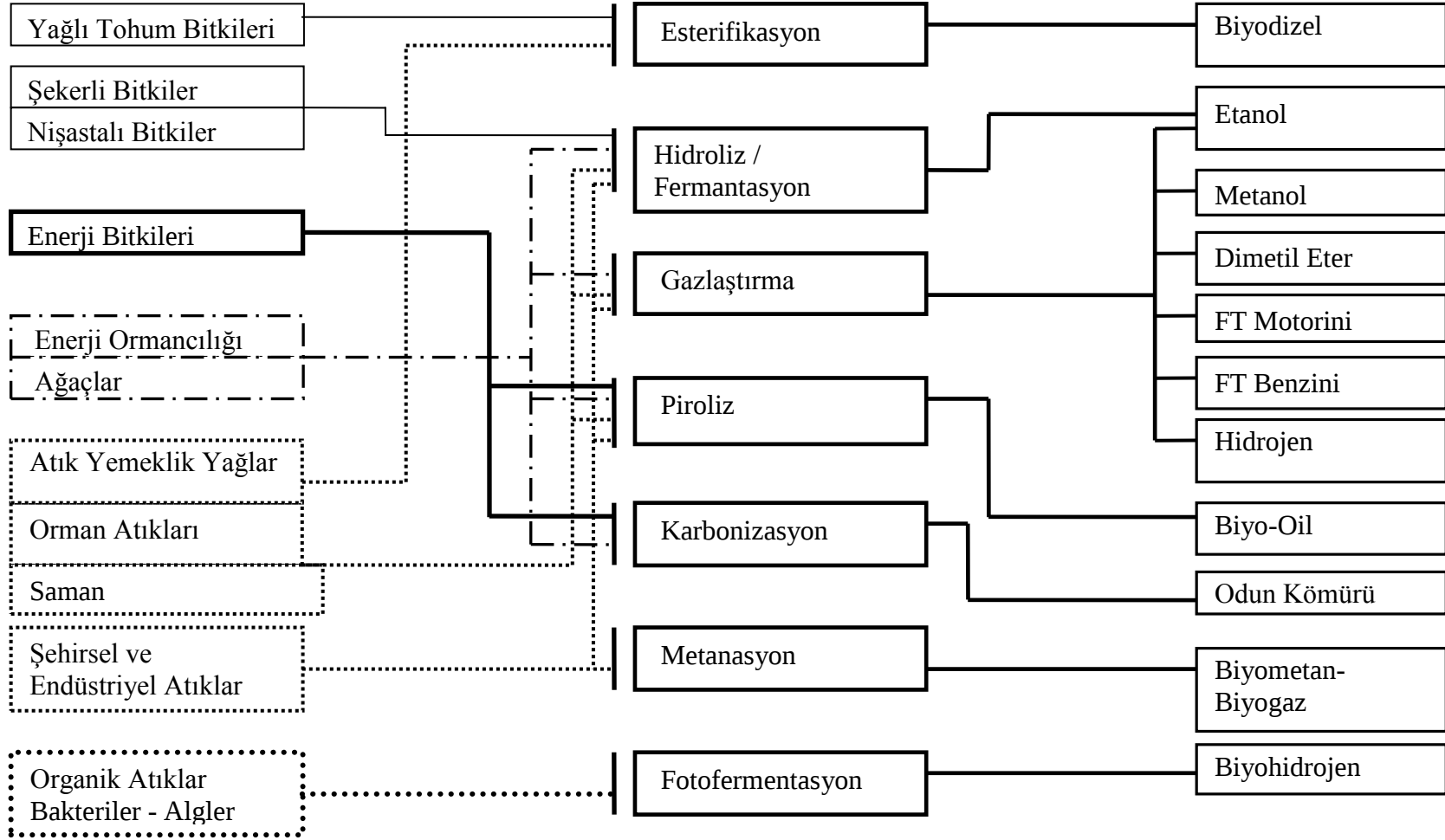
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında sahip olduğu teknik potansiyel ile öne çıkan biyokütle, ana bileşenleri karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli maddeler olarak tanımlanmaktadır. Biyokütle kaynakları arasında:

- Odun (Enerji ormanları, ağaç artıkları)
- Yağlı tohum bitkileri (Ayçiçeği, kolza, soya, aspir, pamuk, v.b.)
- Karbo-hidrat bitkileri (Patates, buğday, mısır, pancar, v.b.)
- Elyaf bitkileri (Keten, kenaf, kenevir, sorgum, v.b.)
- Bitkisel artıklar (Dal, sap, saman, kök, kabuk v.b.)
- Hayvansal atıklar
- Şehirsel ve endüstriyel atıklar
- Algler bulunmaktadır [14].

Biyokütle kaynaklarından boyut küçültme, kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon, briketleme gibi fiziksel süreçler ile biyokimyasal ve/veya termokimyasal dönüşüm süreçleri uygulanarak:

- Gaz biyoyakıtlar (Biyogaz, biyohidrojen, biyosentez gazı)
- Sıvı biyoyakıtlar (Biyodizel, biyoetanol, biyometanol, biyodimetileter, biyoetil tersiyer butil eter, bitkisel yağlar)
- Katı biyoyakıtlar (Biyobriket, biyopelet, biyokömür, odun kömürü) gibi pek çok biyoyakıt elde edilebilmektedir.

Biyokütle kaynakları, biyokütle dönüşüm süreçleri ve elde edilen biyoyakıtlar Şekil 2.2’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Biyoyakıt teknolojileri ile elde edilen bu yakıtlar arasında en yaygın ve ticari biyoyakıtlar motor biyoyakıtlarından olan biyodizel ve biyoetanol ile biyogaz ve odun kömürüdür. Şekilde de görüldüğü gibi yağlı tohum bitkileri ve atık yemeklik yağlardan esterifikasyon ile biyodizel; şekerli ve nişastalı bitkiler, şehirsel ve endüstriyel atıklar, orman atıkları, saman, ağaçlar ve enerji ormancılığı gibi kaynaklardan hidroliz veya fermentasyon ile biyoetanol; şehirsel ve endüstriyel atıklardan metanasyon ile biyometan/biyogaz; enerji bitkilerinden karbonizasyon ile odun kömürü; organik atıklar, algler ve bakterilerin fotofermentasyonu ile biyohidrojen gibi biyoyakıtlar elde edilebilmektedir [5, 12].



Şekil 2.2: Biyokütle dönüşüm teknolojileri [12].

Biyoyakıtlar üretim türü ve hammadde seçimine göre dört sınıfta incelenmektedir:

- Birinci Kuşak Biyoyakıtlar (2000-2010): İçten yanmalı motorlarda tasarımda değişikliğe gerek duyulmadan kullanılabilecek yağ asidi metil esterleri olarak tanımlanan biyodizel ile şekerli ve nişastalı kaynaklardan üretilen biyoetanol bu gruptadır. Benzin katkısı olarak kullanılan ve etanol türevidir olan biyoetil tersiyer butil eter ile biyogaz diğer birinci kuşak biyoyakıtlardır. Biyodizel ve biyoetanol üretiminde hammadde olarak gıda sektörünün de girdileri olan tarım ürünleri, biyogaz üretiminde ise atıklar kullanılmaktadır.
- İkinci Kuşak Biyoyakıtlar (2010-2030): Esnek yakıtlı taşıtlarda ve/veya ısı-elektrik üretiminde kullanılabilecek bitkisel yağ, biyodizel (yağ asidi etil esterleri), biyoetanol (lignoselülozik kaynaklardan), biyokütleden dönüşüm teknolojileri ile elde edilen biyometanol, biyobutanol, biyoetil tersiyer butil eter, biyometil tersiyer butil eter, biyodimetileter, biyometan, biyohidrojen ve biyokütleden sıvı yakıt teknolojisi ürünleri (BTL Ürünleri: Fischer-Tropsch Motorini ve Fischer-Tropsch Benzini) bu gruptadır. Bu gruptaki yakıtların eldesi lignoselülozik hammaddelerle yapılacak ve üretim gıda dışı kaynakları temel alacaktır. Hammadde çeşitliliğinin sağlanması, hasat ve üretimde daha az kimyasal ve daha düşük miktarda enerji kullanımı, verimin artırılması, tarımsal atıklar ile orman atıklarının değerlendirilmesi ikinci kuşak biyoyakıtların temel hedefleri arasında yer almaktadır. Bu temel hedefler doğrultusunda biyorafineri teknolojileri geliştirilerek sürdürülebilir kaynakların değerlendirilebileceği ve gıda ile doğrudan etkileşimin azalacağı öngörülmekte, bu konuda Ar-Ge çalışmaları sürdürülmekte ve örnek uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Uygulamanın başarısında yeni teknoloji geliştirme hızı ve maliyet itici etkenlerdir.
- Üçüncü Kuşak Biyoyakıtlar (2030 Sonrası): “İleri Biyoyakıtlar” olarak da isimlendirilen üçüncü kuşak biyoyakıtların temel hedefleri arasında lignoselülozik kaynaklardan selülozik kaynaklara geçilmesi ve entegre biyorafineri teknolojileri kapsamında daha yüksek oranda yağ ve selüloz içeren genetiği değiştirilmiş bitkiler ve alglerin kullanımı ile biyoyakıt üretimi yer almaktadır. Çimen, ot, düşük ligninli enerji ormancılığı ürünleri ve atıkları, yeni tip yağlı tohumlar ve algler katı, sıvı ve gaz biyoyakıtların üretiminde kullanılacak ve böylece biyoyakıt üretiminde tarımsal ürünler

yerine gıda dışı yeni hammaddelerin kullanımı mümkün olacaktır. Biyokütlenin daha çok karbondioksit depolaması (karbondioksit yoğun fotosentez), üretim alanı başına daha yüksek verim, üretim girdi-çıkı dengesinde başarı bu grubun diğer hedefleri arasında yer almaktadır.

- Dördüncü Kuşak Biyoyakıtlar (2030 Sonrası): Dördüncü Kuşak Biyoyakıtlar genetiği mükemmelleştirilmiş hammaddelerden üretilecek ve biyoyakıtın baca veya egzoz gazındaki karbondioksit, karbon tutma ve depolama teknolojileri ile atmosfere verilmeyecektir. “Karbon Negatif Biyoyakıtlar” olarak da bilinen bu tip biyoyakıtlarda karbon tutma ve depolama, temiz kömür teknolojisi kapsamında yoğun olarak geliştirilmeye çalışılacaktır. Bunun yanı sıra karbondioksitin mikroorganizmalarla şeker gibi maddelere ve sonrasında da etanol ve hidrojen gibi yakıtlara dönüştürülerek giderilmesi hedeflenmektedir. Dördüncü kuşak biyoyakıtların 2030 sonrasında ne zaman ticari uygulamaya başlayabileceği henüz öngörülememektedir [5,12].

Günümüzde tüm dünyada sürdürülebilir kalkınmanın temel öğelerinden biri olarak tanımlanan biyoyakıtların avantajları:

- İklim değişikliği üzerinde olumlu etkiler ve sera gazı salımlarının azalması gibi olumlu çevresel etkiler
- Ulusal kaynakların kullanımını arttırarak enerji arz ve talep güvenliğinde artış
- Tarımsal ve kırsal bölgelerde istihdam ve kazançta artış
- Katı atıkların azalması (biyokütle, hayvansal yağlar, v.b.) ve atık yönetimine destek sağlanması
- Yerinde enerji üretiminin mümkün olması şeklinde sıralanabilmektedir [12,15].

2.2.1 Biyoyakıtlar ve genel enerji görünümü

2010 yılı dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre olan dağılımı değerlendirildiğinde sırasıyla petrol, kömür ve doğalgaz olmak üzere ağırlıklı olarak fosil kaynakların kullanıldığı, hidrolik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %7.8 olduğu görülmektedir [2]. Yenilenebilir enerji güç üretimi, ısınma ve soğutma, ulaştırma yakıtları gibi pek çok alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. 2010 yılında eklenen ve 2010 yılı sonunda yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmekte olan toplam güç, ısı ve biyoyakıt üretim miktarları Çizelge 2.1’de ayrıntılı

olarak sunulmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojileri arasında, 2005 yılından günümüze kadar olan süreçte en hızlı gelişen teknoloji güneş teknolojisi olup bunu biyoyakıt ve rüzgar enerjisi teknolojileri takip etmektedir [16]. Çizelge 2.1’de de görüldüğü gibi biyoetanol dünyadaki lider biyoyakıt olup bunu biyodizel takip etmektedir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (The Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) ülkelerinde petrol tüketiminin yaklaşık olarak %60’ının ulaştırma sektörüne ait olduğu belirlenmiştir [17,18]. Biyoyakıtlar 2010 yılında dünyadaki karayolu ulaştırma yakıtlarının %2.7’sini sağlamıştır. Bu değer Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde %4, Avrupa Birliği (AB)’nde %3’tür. Biyoetanolü hafif araç taşımacılığında %41.5 oranında kullanan Brezilya örneğinde olduğu gibi biyoyakıt kullanım oranları bazı ülkelerde daha da fazla olabilmektedir [16].

Çizelge 2.1: 2010 yılı mevcut yenilenebilir enerji kapasiteleri [16].

	2010’da eklenen miktar	2010 sonunda mevcut miktar
Güç Üretimi, GW		
Rüzgar	39	198
Biyokütle	2-4	62
Güneş	17	40
Jeotermal	0.2	11
Konsantre güneş/termal	0.5	1.1
Hidro	30	1010
Okyanus	>0	0.3
Isı, GWth		
Biyokütle	Bilinmiyor	280
Güneş	30	185
Jeotermal	Bilinmiyor	51
Yakıt, milyar litre/yıl		
Etanol	12	86
Biyodizel	1.5	19

Uluslararası Enerji Ajansı’nın 2010 yılı raporuna göre büyük bir potansiyele sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya enerji arzındaki payı ve bu payın artış hızı büyük oranda yenilenebilir enerji kaynaklarını fosil kaynaklarla ve teknolojilerle

ekonomik olarak rekabet edebilir düzeye getirebilecek hükümet destekleri tarafından belirlenecektir. Artan hükümet destekleri ve yükselen petrol fiyatlarının biyoyakıt kullanımını arttıracakı öngörülmektedir. 2009 yılında yenilenebilir enerji alanında yapılmış dünyadaki toplam hükümet desteği 20 Milyar \$ olup büyük bir bölümü AB ve ABD'ye aittir. Senaryoya göre 2010-2020 yılları arasında yapılacak hükümet desteği 45 Milyar \$/yıl ve 2021-2035 yılları arasında ise 65 Milyar \$/yıl oranında artacaktır. Lignoselülozik kaynaklardan üretilecek biyoyakıtları da kapsayan ikinci kuşak biyoyakıtların başta OECD ülkelerinde olmak üzere 2020 yılından sonra enerji pazarındaki yerini alacakı öngörülmektedir. Sürdürülebilir biyoyakıt kullanımı ve biyoyakıt teknolojilerinde az miktarda fosil enerji kullanımı ile ithal edilen petrol oranında ve CO₂ emisyonunda azalma gibi faydaların getirisinin de azımsanamayacak kadar çok olacağı belirtilmektedir. ABD, Brezilya ve AB'nin en büyük biyoyakıt üretici ve tüketicileri olması beklenmektedir [3].

Avrupa Birliği'nin biyoyakıtlar ile ilgili çalışmaları 1990'lı yıllara kadar dayanmaktadır. Geliştirilen politikalar çerçevesinde çeşitli hedefler belirlenerek stratejiler ve teşvik sistemleri oluşturulmuş, Beyaz ve Yeşil Kitaplar, yönergeler ve yol haritaları yayımlanmıştır. 1997 yılında yayımlanan Beyaz Belge Bildirgesi ile %6 oranında kullanım payına sahip yenilenebilir enerjinin payının 2010 yılında %12 olması hedeflenmiş, 2003 yılında yayımlanan Biyoyakıt Yönergesi (2003/30/EC) ile ulaştırma sektöründe 2005 yılında %2, 2010 yılında %5.75 oranında biyoyakıt kullanımı öngörülmüştür [19]. 2005 yılında ulaşılan biyoyakıt kullanım payının %1.4 oranında kalması ile 2005 yılında Biyokütle Eylem Raporu (COM(2005)628) ve 2006 yılında Biyoyakıt AB Stratejisi (COM(2006)34) yayımlanarak biyoyakıtların daha fazla teşvik edilmesi istenmiştir [20,21]. Kyoto Protokolü ile sera gazı salımlarının 1990 yılına göre 2012'de %8, 2020'de %20 ve 2050'de %50 oranında azaltılma hedefi biyoyakıtların teşvik edilmesini daha da güçlendirmiştir. AB biyoyakıt pazarını etkileyen diğer temel düzenlemeler ise Yakıt Kalitesi Yönergesi (2009/30/EC) ile Avrupa Birliği Enerji ve İklim Değişikliği Paketidir [22,23]. Yakıt Kalitesi Yönergesi, tüm yakıt tedarikçilerinin 2020 yılında sera gazı emisyonlarını %6 oranında azaltmalarını hedefleyerek biyoyakıt kullanımını ön plana çıkartmıştır. 2009 yılında Avrupa Konseyi tarafından kabul edilen Avrupa Birliği Enerji ve İklim Değişikliği Paketi ise "20/20/20" hedefini içermektedir.

“20/20/20” hedefi doğrultusunda 2020 yılında:

- 1990 yılına göre sera gazı emisyonlarında %20 azalma
- Enerji verimliliğinde %20 artış
- Enerji tüketiminin %20’sinin yenilenebilir enerjiden karşılanması ve ulaştırma sektöründe %10 oranında biyoyakıt kullanımı beklenmektedir.

Avrupa Komisyonu, Avrupa Birliği Enerji ve İklim Değişikliği Paketinin bir parçası olan Yenilenebilir Enerji Yönergesi ile ülkelerin mevcut durum ve potansiyellerini göz önünde bulundurarak üye ülkeler için farklı hedefler belirlemiştir [24]. Ancak ulaştırma sektöründe %10 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması hedefi tüm üye ülkeler için zorunlu kılınmıştır. AB biyoyakıt kullanım miktarı hakkında son resmi veri 2008 yılına ait olup %3.5 değerindedir. Bu değer 2010 yılında %5 oranına ulaşmış olduğu tahmin edilmektedir [23,24].

Biyoyakıtların %10 oranında kullanılması hedefine ulaşılabilmesi için sağlanması gereken sürdürülebilirlik kriterleri ise 2010 yılında AB üye ülkelerinin ulusal mevzuatlarına da aktarılan Yenilenebilir Enerji Yönergesi’nde şu şekilde belirtilmiştir:

- Fosil yakıtlara göre sera gazı emisyonlarını en az %35 oranında azaltan biyoyakıtlar sertifikalandırılacaktır. 2017 yılından sonra bu değer %50 ve üretime 2017’den sonra başlayan yeni tesisler için %60 olacaktır. Sera gazı salımları yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemleri ile belirlenecektir. Toprak, su ve hava kalitesi gibi çevresel faktörlerin yanı sıra gıda güvenliğinin sağlanması ile biyoçeşitliliğin korunması da sürdürülebilirlik kriterleri arasında yer almaktadır.
- İkinci kuşak biyoyakıtlar (özellikle lignoselülozik, gıda dışı, selülozik, atık ve artıklar) biyoyakıt kullanım miktarı hesaplamalarında enerji bazında iki kat değerinde sayılacaktır.
- Arabalar tarafından kullanılan biyoelektrik biyoyakıt kullanım miktarı hesaplamalarında 2.5 kat değerinde sayılacaktır [23,24].

ABD’de biyoyakıt pazarı ise biyoetanol öncülüğünde 1990’lı yıllarda başlamıştır. 2006 yılındaki Yeni Enerji Yasasında 2012 yılında 28 Milyar litre yenilenebilir yakıt tüketimi hedeflenmiş ve 2008 yılında bu hedefe ulaşılmıştır. 2017 yılı için konulan yeni hedef 130 Milyar litre/yıl olarak belirlenmiştir. 2011 yılında görüşmelere açılan

“Biyoyakıt Pazarının Genişletilmesi Yasa Tasarısı” ile esnek yakıtlı taşıtların sayılarının arttırılması hedeflenmektedir. 2025 yılında ise toplam enerji tüketiminin %25’inin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması hedeflenmekte ve biyoyakıt konusunda eylem planları oluşturulmaktadır [12,25].

AB ve ABD’nin yanısıra Brezilya, Hindistan, Çin, Kanada, Kolombiya, Malezya, Filipinler ve daha pek çok ÷lkede biyoyakıtlarla ilgili harmanlama zorunlulukları bulunmaktadır [16].

Türkiye’de biyoyakıtlarla ilgili çalışmalar ise 2000 yılından itibaren başlamıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın hazırladığı 2010-2014 yıllarını kapsayan Stratejik Plana göre 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının %30’a çıkartılması hedeflenmektedir. Bunun yanı sıra yapımına başlanan 5000 MW’lık hidroelektrik santrallerinin 2013 yılı sonuna kadar tamamlanması, 2009 yılında 802.8 MW olan rüzgar enerjisi kurulu gücünün 2015 yılı sonuna kadar 10000 MW değerine, 2009 yılında 77.2 MW olan jeotermal enerji gücünün 2015 yılı sonuna kadar 200 MW değerine çıkarılması hedeflenmektedir. Stratejik Planda biyoyakıtlar için bir hedef belirtilmemiş olup henüz bir strateji raporu, eylem planı veya yol haritası bulunmamaktadır [26]. Bununla birlikte Eylül 2011’de yapılan son düzenlemeler ile biyoetanol ve biyodizel için belirli oranlarda kullanım zorunlulukları getirilmiştir [27]. Biyoyakıt üretiminde çok önemli bir yere sahip olan yerli tarımın geliştirilmesi için Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından 2008 yılında duyurulan 2008-2012 Tarım Vizyonunda enerji tarımına değinilmiş ve Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsünün enerji tarımı konusunda uzmanlaşmasına karar verilmiştir [28].

Biyoetanol ve biyodizelin dünyadaki ve Türkiye’deki konumları hakkında ayrıntılı bilgi Bölüm 2.3’te verilecektir.

2.3 Motor Biyoyakıtları

Günümüzde taşıtlarda yeşil ürün olarak kullanılan ve ticari olarak pek çok ÷lkede uygulamada olan en önemli biyoyakıtlar biyodizel ve biyoetanoldür. Biyodizel ve biyoetanolün yanı sıra, mevcut standartlara göre yağ asidi metil esterleri olarak tanımlanan biyodizel gibi, yağ asidi etil esterlerinin de yakın gelecekte ikinci kuşak

biyoyakıt olarak uygulamada yer alacağı öngörülmektedir. Bu bölümde, biyoetanol, biyodizel ve yağ asidi etil esterleri genel hatları ile tanıtılacaktır.

2.3.1 Biyoetanol

Biyoetanol şekerli ve nişastalı bitkilerin fermentasyonu veya selülozik kaynakların asidik hidrolizi ile üretilen bir biyoyakıttır. Hammadde olarak şeker pancarı, şeker kamışı, mısır, buğday, patates gibi bitkiler; sap, saman, kabuk gibi odunsu bitkiler; tarımsal atık ve artıklar ile şeker üretimi yan ürünü olan melas kullanılabilir [29,30]. Biyoetanol üretiminde günümüz teknolojileri kapsamında şekerli ve nişastalı bitkiler değerlendirilmektedir. Selülozik kaynaklardan üretilen biyoetanol henüz ticarileştirilememekle beraber ABD’de birkaç pilot tesis bulunmaktadır. Çizelge 2.2, bazı tarımsal kaynaklardan fermentasyon ile elde edilen ortalama biyoetanol üretim verimlerini göstermektedir [12]. Çizelgede de görüldüğü gibi şeker pancarı verimli bir hammadde olarak öne çıkmaktadır.

Çizelge 2.2: Çeşitli kaynaklardan elde edilen biyoetanol üretim verimi [12].

Kaynaklar	Üretim verimi, ton/hektar	Üretim verimi, litre/hektar
Şeker pancarı	5.5	6600
Buğday	2.5	3100
Mısır	2.7	3400
Patates	3.2	4000

Biyoetanol yakıt teknolojilerinde:

- Alternatif motor yakıtı
- Yakıt katkısı
- Yakıt hücresi yakıtı
- Biyodizel üretiminde hammadde olarak değerlendirilmektedir [31].

Biyoetanölün yakıt olarak yaygın kullanımı ise şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Alkol katkılı benzin (En fazla %5 oranında alkol içeren benzin)
- Gasohol (%10 alkol ve %90 benzin karışımı)
- E85 (%85 alkol ve %15 benzin karışımı)
- E-Dizel (En fazla %15 oranında alkol içeren motorin) [5,31].

Bunların yanı sıra Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı kapsamında yürütülen Sürdürülebilir Ulaştırma İçin Biyoetanol Projesi (Bioethanol for Sustainable Transport, BEST) kapsamında ED95 (%96.5 oranında biyoetanol ve %3.5 oranında katkı maddeleri) ile E100 (%100 biyoetanol) kullanımında motorda yapılması gereken modifikasyonlar hakkında çalışmalar yürütülmekte, proje dahilindeki Avrupa Birliği ülkelerinde E85 ve E95 istasyonları açılmakta ve proje sonuna kadar biyoetanol ile çalışan 10000 otomobil ve 160 adet otobüsün trafiğe çıkması hedeflenmektedir [32].

Biyoetanolün önemli özellikleri arasında şunlar sayılabilmektedir:

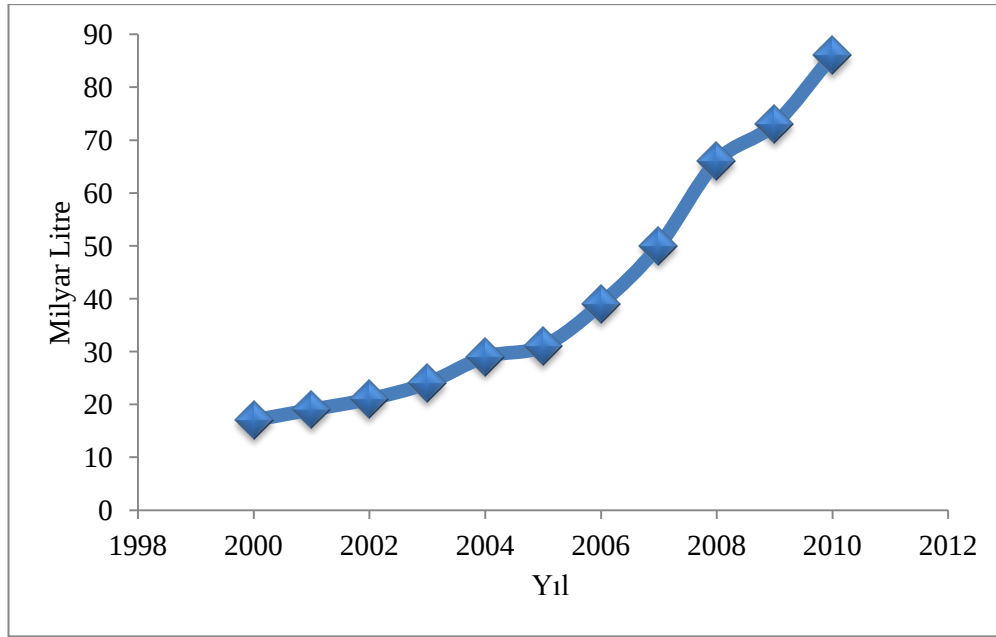
- Yenilenebilir hammadde kaynaklarından elde edilmesi
- Petrol kökenli ürünlere olan bağımlılığı azaltması
- Emisyonları büyük ölçüde azaltması
- Oktan sayısını arttırması
- Yapısında bulunan oksijen ile benzinin daha verimli ve temiz yanmasına yardımcı olması
- Biyobozunabilir olması ve antitoksik özelliğe sahip olması [30].

2.3.1.1 Dünya’da biyoetanol

Günümüzde dünyanın lider biyoyakıtı olan biyoetanolün motor yakıtı olarak tarihçesi içten yanmalı motorların tarihine dayanmaktadır. N.A. Otto 1897’de motor çalışmalarında alkol kullanmış, Henry Ford ise 1900’lerin başlarında tasarım çalışmalarında alkollerin yanmasını da ele almış ve benzin-alkol karışımını geleceğin yakıtı olarak nitelendirmiştir. Biyoetanole olan ilgi 1970’den sonra özellikle petrol fiyatlarındaki artışa bağlı olarak artmış olup günümüzde çevresel etkilerin de önemli bir hale gelmesiyle giderek büyümektedir [5,30].

Şekil 2.3 2000-2010 yılları arasındaki dünya biyoetanol üretim miktarlarını göstermektedir. 2010 yılında biyoetanol endüstrisinde 2009 yılına göre %17 oranında bir büyüme görülmüş ve biyoetanol üretim miktarı 86 Milyar litre/yıl değerine ulaşmıştır. Üretimin büyük bir kısmı Amerika ve Brezilya tarafından sağlanmış olup diğer öncü ülkeler arasında Çin, Kanada ve Fransa bulunmaktadır [16].

ABD son yılların en büyük biyoetanol üretici ve tüketicisi konumundadır. Dünyadaki otomobillerin sayıca üçte birinin bulunduğu ve dünya yakıt üretiminin %25’inin tüketildiği ABD’de petrol ürünlerine bağımlı kalınması durumunda 2030 yılında dış



Şekil 2.3: Dünya biyoetanol üretimi [16].

kaynaklara olan bağımlılığın %30 ve sera gazı salımının da %40 oranlarında artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle biyoyakıt sektörü ABD enerji politikalarında önemli bir rol üstlenmektedir. Biyoyakıt Pazarının Genişletilmesi Yasa Tasarısı'na göre 2015 yılında üretilecek araçların %50'sinin, 2016 yılında üretilecek araçların %90'ının E85 yakıtlı araç olması hedeflenmektedir. ABD'de 2011 yılı Ocak ayı itibarı ile 204 adet biyoetanol tesisi, 2600 adet E85 yakıt istasyonu ve yaklaşık olarak 9 milyon adet E85 kullanan otomobil bulunmaktadır. E15 (%15 oranında alkol ve %85 oranında benzin karışımı) ve E20 (%20 oranında alkol ve %80 oranında benzin karışımı) kullanımlarının zorunlu hale getirilmesi için bu yakıtların emisyon salımları ve performans etkileri incelenerek pazarda rekabet edebilirlik oranının araştırma çalışmalarına devam edilmektedir. ABD biyoetanol üretimi, tüketimi karşılayamadığından 2007 yılından itibaren Brezilya'dan biyoetanol ithalatı yapılmaktadır.

Biyoetanol kullanımının öncüsü olan Brezilya'da ise biyoetanol ilk kez 1931 yılında benzine %5 oranında harmanlanarak kullanılmış olup 1938 yılında ilgili yasal düzenlemeler uygulanmaya başlanmıştır. Brezilya'da 2010 yılı itibarı ile 335 adet biyoetanol fabrikası bulunmaktadır. Dünya biyoetanol pazarının yaklaşık olarak %30'una sahip olan Brezilya'da esnek yakıtlı taşıtlarda E85 kullanımının yanı sıra %20-26 oranlarında değişen biyoetanol karışım oranları uygulanmaktadır [12,25,33,34].

Biyodizel kullanımında öncü olan AB’de ise 2010 yılı biyoetanol üretimi 4180 Milyon litre olarak belirlenmiştir. Üretimde öncü ülkeler Fransa, Almanya, Polonya ve İspanya’dır. Hammadde fiyatlarının yüksek olması ve 2006-2009 yılları arasında Brezilya’dan, 2010 yılında ise ABD’den biyoetanol ithalatı kapasitenin %60 oranında kullanılmasına neden olmuştur [23]. Dünyanın ilk %95 oranında etanol karışımı ile çalışan dizel aracı BEST projesi kapsamında İsveç’te üretilmiştir [32]. AB’de biyoetanol üretimi için hammadde olarak şeker pancarı, buğday, mısır, çavdar ve arpa kullanılmaktadır. Özellikle biyoetanol üretimine yönelik şeker pancarı tarımı Avrupa Komisyonu tarafından desteklenmektedir [12,34].

2.3.1.2 Türkiye’de biyoetanol

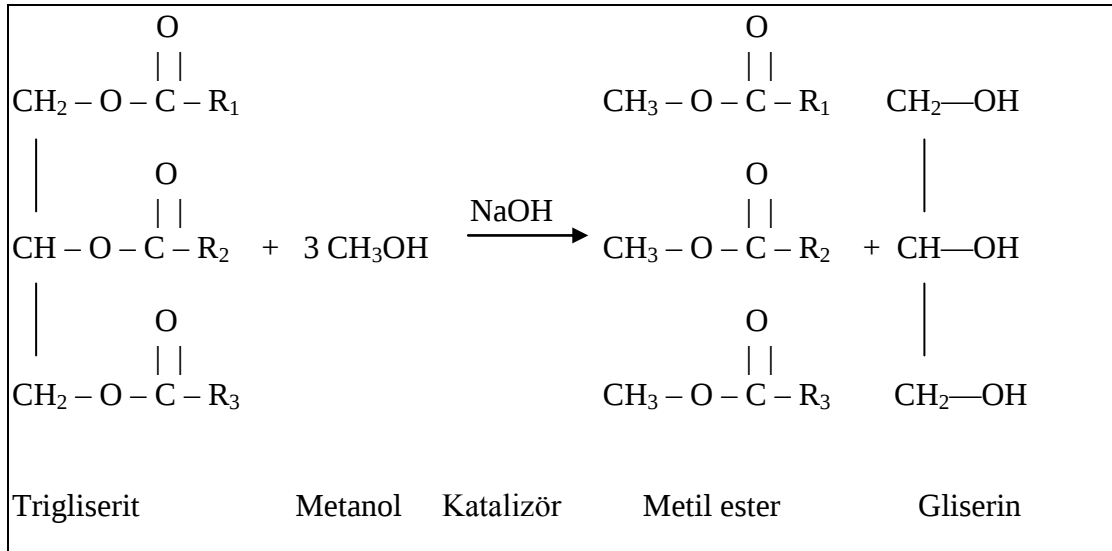
Türkiye’de biyoetanol ilk kez 1931 yılında Ziraat Kongresi’nde gündeme gelmiştir. 1936 yılında Mustafa Kemal Atatürk’ün hazırlattığı 2. Beş Yıllık Kalkınma Planında sentetik benzin endüstrisinde yer alan yakıtların ithalat ile sağlanmaması ve ülke kaynaklarından yakıt üretimi gerekliliği ortaya konulmuş, ancak planın uygulanması mümkün olamamıştır. 1942 yılında orduda kullanılan benzine %20 oranında biyoetanol katılmıştır. Petrol krizleri ardından dünyada yoğunlaşan Ar-Ge çalışmalarına paralel olarak Türkiye Şeker Fabrikaları yakıt amaçlı alkol üretimi projesini yatırım planına almış ve bu konuda fabrikalarının kurulması, mevcut fabrikalarda da kapasite artırım çalışmaları başlatılmıştır. Ancak bu konu sadece bilimsel çalışmalarla sınırlı kalarak 2000’li yıllara kadar gelmiştir.

Türkiye’de biyoetanol 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu kapsamında “Akaryakıtlı Harmanlama Bileşeni” olarak tanımlanmış olup TS EN 228 otomotiv benzini standardına göre benzin katkısı olarak kullanılabilir. Biyoetanolün yerli kaynaklardan üretimi ve akaryakıt ile eşdeğer vergiye tabi olmaksızın tanımlanması kanunda belirtilen “Akaryakıtlı Harmanlanan Ürünler: Metil tersiyer bütıl eter (MTBE), Etanol v.b. (yerli tarım ürünlerinden denatüre üretilenler ile biyodizel hariç) akaryakıt ile eşdeğer vergiye tabi olan ve olacak ürünleri” şeklinde ifade edilmektedir. İlgili yasal düzenlemeler ile benzine hacmen en çok %2 oranında katılacak yerli kaynaklardan üretilen biyoetanol için özel tüketim vergisi (ÖTV) değeri sıfırdır. Eylül 2011’de yapılan son düzenlemelere göre ise “Piyasaya akaryakıt olarak arz edilen benzin türlerinin, yerli ürünlerden üretilmiş etanol içeriğinin 2013’den itibaren en az %2, 2014’den itibaren en az %3 olması zorunludur” [27].

Türkiye’de alkol üretim, kullanım ve satışı T. C. Tütün, Tütün Mamülleri ve Alkollü İçecekler Piyasası Düzenleme Kurumu (TAPDK) tarafından düzenlenmekte ve denetlenmektedir. Türkiye’nin ilk biyoetanol tesisi 2004 yılında Bursa’da kurulmuş, 40 Milyon litre/yıl kapasiteye sahip mısırdan biyoetanol üretimi yapan TARKİM (Tarımsal Kimya Teknolojileri San.ve Tic. A.Ş.)’dir. TARKİM yakıt alkolü, 2005 yılında POAŞ ürünü kurşunsuz benzine %2 oranında katılarak “BioBenzin” markası ile piyasaya arz edilmiş ve bundan sonra %2 oranında etanol katkılı benzin akaryakıt sektöründe yerini alarak çeşitli üreticiler tarafından piyasaya sunulmaya devam etmiştir. 2007 yılında faaliyete geçen Konya Şeker A.Ş.’ye ait Çumra Şeker Fabrikasında kurulan biyoetanol tesisi 84 Milyon litre/yıl kapasite ile şeker pancarından biyoetanol üretmektedir. 2007 yılında faaliyete geçen bir diğer tesis ise 40 Milyon litre/yıl kapasiteye sahip, mısır ve buğdaydan üretim yapan Tezkim’dir. Eskişehir Şeker Fabrikası’ndaki alkol üretim tesisine eklenen susuzlaştırma ünitesi ile bu tesis de 20 Milyon litre/yıl kapasite ile işletmeye girmiştir. Böylece Türkiye’nin kurulu biyoetanol üretim kapasitesi 184 Milyon litre/yıl değerine ulaşmıştır. Üretilen biyoetanolün TSE standartlarına ve ASTM D 4806 standardına uygun olması gerekmektedir. Biyoetanol üreticileri, 2006 yılında kurulan Biyoetanol Üreticileri Derneği çatısı altında faaliyetlerini sürdürmektedir [5,12,27]. Türkiye’nin tarımsal potansiyeli biyoetanol üretimi için uygun olup, şeker pancarı, melas, buğday ve mısır öne çıkan hammaddeler arasında yer almaktadır. Sadece şeker pancarı ekimine dayalı 2-2.5 Milyon ton biyoetanol üretim potansiyeli bulunmakta olup, buna ek olarak mevcut şeker üretim tesislerinde yapılacak rehabilitasyon ile 78.5 Milyon litre biyoetanol üretimi de mümkündür [12,27].

2.3.2 Biyodizel

Biyodizel bitkisel ve hayvansal yağlardan, yağ atık ve artıklarından üretilen TS EN 14213 ve/veya TS EN 14214 standartlarına uygun yağ asidi metil ester karışımıdır [5,30]. Biyodizel üretiminde esterleşme teknolojisi kullanılmaktadır. Biyodizel trigliseritlerin herhangi bir katalizör varlığında monohidrik bir alkol ile gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda elde edilmektedir. Şekil 2.4’de yağın metanol ile gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonu gösterilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin, yan ürün olarak mono- ve digliseritler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri elde edilmektedir [35,36].



Şekil 2.4: Trigliseritlerin metanol ile transesterifikasyonu.

Biyodizel üretiminde yağ kaynağı olarak:

- Bitkisel Yağlar: Ayçiçek, Soya, Kolza, Aspir, Pamuk, Palm Yağları
- Geri Kazanım Yağları: Bitkisel Yağ Endüstrisi Yan Ürünleri (Soapstock, Hurda Yağı)
- Şehirselle ve Endüstriyel Atık Kökenli Geri Kazanım Yağları: Kahverengi Gres, Siyah Gres
- Hayvansal Yağlar: Don Yağları, Balık Yağları ve Kanatlı Yağları
- Atık Bitkisel Yağlar: Sarı Gres ve
- Algler kullanılabilmektedir [36].

Transesterifikasyon reaksiyonunda alkol ve katalizör olarak çeşitli seçenekler mevcuttur. Metanol ve etanol daha çok tercih edilen alkoller arasında bulunmaktadır. Katalizör olarak asidik, bazik ve enzimatik katalizörler kullanılabilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonu için genellikle bazik katalizörler tercih edilmektedir. Bunun nedenleri:

- Bazik katalizörlerle gerçekleştirilen reaksiyonlarda verimin daha yüksek olması
- Daha az korozyon olması
- Reaksiyon süresinin çok daha kısa olması
- Asidik katalizör kullanımında aside dayanıklı tank gereksiniminin maliyeti arttırması şeklinde sıralanabilir [36].

Serbest yağ asidi oranının %10-15 civarında olduğu yağlarda ise, bazik katalizörlerin serbest yağ asitleri ile reaksiyona girerek sabun oluşumuna neden olması asidik katalizör kullanımını gerektirmektedir. Bazik katalizör olarak genelde KOH (potasyum hidroksit) ve NaOH (sodyum hidroksit), asidik katalizör olarak H₂SO₄ (sülfürik asit) ve HCl (hidroklorik asit) tercih edilmektedir [37-39].

Biyodizel yakıt olarak kullanımında doğrudan motor biyoyakıtı (B100) veya katkı maddesi (B1, B2, B5) olarak kullanılabilceği gibi belirli oranlarda motorin ile harmanlanarak da (B20, B50, v.b.) kullanılabilir. Bu yakıtlar şu şekilde isimlendirilmektedir:

- B5 : % 5 biyodizel ve %95 motorin karışımı
- B20 : % 20 biyodizel ve %80 motorin karışımı
- B50 : % 50 biyodizel ve %50 motorin karışımı
- B100 : %100 biyodizel

Mevcut dizel motorlarda hiçbir tasarım değişikliği gerektirmeden kullanılabilen ticari başarıyı yakalamış yeşil bir yakıt olan biyodizelin önemli özellikleri şu şekildedir:

- Yenilenebilir hammadde kaynaklarından elde edilmesi
- Petrol kökenli ürünlere olan bağımlılığı azaltması
- Emisyonları büyük ölçüde azaltması
- Kükürt içermemesi
- Yağlayıcılık özelliğinin iyi olması ve motorine katılması durumunda yağlayıcılığı arttırması
- Yüksek alevlenme noktası ile taşıma, depolama ve kullanma kolaylığına sahip olması
- Biyobozunabilir olması ve antitoksik özelliğe sahip olması
- Isıl değerinin motorinin ısıl değerine yakın olması ve motorine oranla daha yüksek setan sayısına sahip olması [36].

Çizelge 2.3, B100 ve B20 kullanımında yanma sonucu ortaya çıkan ortalama emisyon değerlerini motorinle karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Çizelgede de görüldüğü gibi biyodizel kullanımı ile petrol kökenli motorine göre karbon dioksit, karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar, kükürt oksit, partikül madde, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve nitratlı polisiklik aromatik hidrokarbon emisyonlarında azalma sağlanmaktadır. Buna karşın, azot oksit miktarında artış görülmektedir. NO_x

emisyondaki artışın motorun biyodizel yakıtı uygunluğuna bağlı olarak değişebilmesiyle beraber %10-13 oranına kadar ulaşabileceği belirlenmiştir. Bununla beraber biyodizel kükürt içermeyen bir yakıt olduğundan NO_x kontrol teknolojileri biyodizel yakıtı kullanan sistemlere eklenebilmekte ve bu şekilde NO_x emisyon değerleri azaltılabilmektedir [12,36].

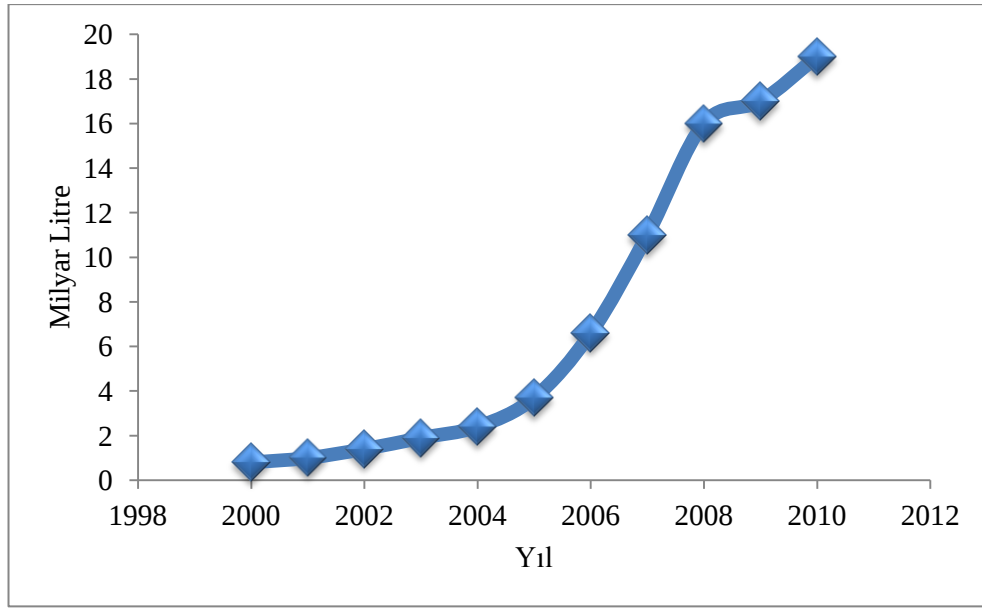
Çizelge 2.3: Biyodizel emisyon değerlerinin motorin ile karşılaştırılması [12,36].

Emisyon	B20	B100
Karbon dioksit	-%20	-%78
Karbon monoksit	-%12	-%48
Yanmamış hidrokarbonlar	-%20	-%67
Partikül madde	-%12	-%47
NO _x	+%2	+%10
SO _x	-%20	-%100
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	-%13	-%80
Nitratlı polisiklik aromatik hidrokarbonlar	-%50	-%100

2.3.2.1 Dünya’da biyodizel

Biyodizelin tarihçesi 1892 yılında Rudolf Diesel’in dizel motorunu keşfiyle başlamaktadır. Rudolf Diesel ilk kez 1893 yılında Almanya’da dizel motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve 1898 yılında Paris Dünya Fuarında yer fıstığını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir. O yıllarda, petrol endüstrisi içten yanmalı motor teknolojilerinin gelişmesiyle hızla ilerlemiş ve 1970’li yıllarda petrol fiyatlarındaki artışa kadar bitkisel yağların temiz ve yenilenebilir yakıtlar olarak kullanılabileceği unutulmuştur. 1990’lı yıllardan sonra ise biyodizel giderek önem kazanmaya başlamış olup dünya biyodizel üretimi de gün geçtikçe artmaktadır [40]. Şekil 2.5 2000-2010 yılları arasındaki dünya biyodizel üretimini göstermektedir. Dünya 2010 yılı biyodizel üretimi 19 Milyar litre/yıl olarak belirlenmiştir. Biyodizel üretiminde lider ülke Almanya olup bunu Brezilya, Arjantin, Fransa ve Amerika izlemektedir [16].

AB dünyanın en büyük biyodizel üreticisi, tüketicisi ve ithalatçısı konumundadır. 2010 yılı dünya biyodizel üretiminin yaklaşık olarak %53’ü AB tarafından sağlanmıştır. Biyodizel, AB ulaştırma sektöründe toplam biyoyakıt pazarının yaklaşık %80’sini temsil etmektedir. 1990’lı yıllarda Avrupa’da üretilip kullanılan



Şekil 2.5: Dünya biyodizel üretimi [16].

ulaştırma sektöründeki ilk biyoyakıt olan biyodizelin 2006 yılından 2009 yılına kadar üretim kapasitesi %360 artmıştır. 2010 yılında ise üretim kapasitesinde %3 oranında küçük bir artış olmuştur. Çizelge 2.4 2006-2010 yılları arasındaki üretim, ithalat, ihracat ve tüketim değerlerini göstermektedir. 2010 yılında üretim 10680 Milyon litre olup %60'ı ilk üç büyük üretici olan Almanya, Fransa ve İspanya tarafından karşılanmıştır. Yapılan son düzenlemeler ve konulan hedeflere göre biyodizel üretim ve tüketim miktarlarında artış olacağı öngörülmektedir [16, 23].

Çizelge 2.4: AB-27 biyodizel istatistikleri (Milyon litre) [23].

Yıl	2006	2007	2008	2009	2010
Üretim	5410	6670	9080	9485	10680
İthalat	70	1060	2020	2190	2400
İhracat	0	0	70	80	120
Tüketim	5480	7730	9930	11885	13235

AB biyodizel üretiminde en çok kullanılan hammadde kolza yağı olup hammadde kaynaklarının üçte ikisini oluşturmaktadır. Soya ve palm yağlarının kullanımı ise AB biyodizel standardı tarafından sınırlandırılmıştır. Soya yağı kökenli biyodizel standartta belirtilen iyot sayısı özelliğini sağlayamamaktadır. Palm yağı kökenli biyodizel ise Kuzey Avrupa'daki kış koşullarına uygunluk göstermemektedir. Buna rağmen kolza, soya ve palm yağlarından oluşturulan bir karışım ile standarda uygun özelliklere sahip biyodizel üretimi mümkün olabilmektedir [23].

2010 yılında en büyük biyodizel üretim artışları ise %46 ile Brezilya ve %57 ile Arjantin'e aittir. Brezilya yıllık biyodizel üretim miktarını 2.3 Milyar litreye, Arjantin ise 2.1 Milyar litre değerlerine çıkarmışlardır [16].

2.3.2.2 Türkiye’de biyodizel

Türkiye’de biyodizele olan ilgi özellikle 2000 yılından itibaren artmaya başlamıştır. Biyodizelin Türkiye’deki yasal konumu 5015 Sayılı “Petrol Piyasası Kanunu” kapsamında şu şekilde özetlenmektedir:

- Biyodizel akaryakıt sektörünün üçüncü motor yakıtı olup benzin ve motorin için geçerli tüm yasal tanımlama, düzenleme ve denetlemelere tabidir.
- Biyodizel ısıtma yakıtı olarak fuel oil ve kalyak gibi mevcut yakıtlarla aynı yasal düzenlemelerde denetlenmekte olup yakıtbiyodizelin taşıt yakıtı olarak kullanımı yasaklanmıştır.
- Biyodizel üreticileri Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’ndan işleme lisansı almalıdır.
- “Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği” kapsamında, bitkisel atık yağlardan geri kazanım tesislerinde biyodizel üretimi mümkündür.
- Otobiyodizel TS EN 14214, yakıtbiyodizel TS EN 14213 standartlarına uygun olmalıdır. Otobiyodizel TS 3082 (EN 590) standardına uygun olarak hacmen en çok %5 oranında motorin ile harmanlanabilir ve bu biyodizel katkılı motorinler bütün taşıtlarda tüm garantiler kapsamında kullanılabilir.
- Yerli tarım ürünlerinden üretilen otobiyodizel motorine hacmen en çok %2 oranında katıldığında eklenen kısmın ÖTV değeri sıfırdır.
- Eylül 2011’de yayımlanan tebliğe göre “Piyasaya akaryakıt olarak arz edilen motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil esteri içeriğinin 2014 yılı itibariyle en az %1, 2015 yılı itibariyle en az %2, 2016 yılı itibariyle en az %3 olması zorunludur” [27,41].

Türkiye’de Ocak 2012 itibariyle lisanslı 36 biyodizel tesisi bulunmakta olup, bunlardan bir tanesi atık bitkisel yağlardan işleme lisansına sahiptir [27]. DB Tarımsal Enerji San. ve Tic. A.Ş. ise ilk B2 (%2 biyodizel ve %98 motorin karışımı) tedarikçisi olmuştur. Üretim için öne çıkan hammaddeler pamuk, kanola, aspir, soya ve sarı gresdir. Türkiye uygun ve ekilebilir alanlara sahip olmasına karşın, mevcut yağlı tohum bitki üretimi iç tüketimi karşılayamamaktadır. Türkiye’de ekili alanların

sadece %6.2'sinde yağlı tohum bitki tarımı yapılmaktadır. Sulanabilir bölgelerde kanola, sulanamayan bölgelerde aspir ekimi ve şeker pancarı münavebe alanlarında kanola ekimi ile 1000-1800 bin ton/yıl biyodizel üretim potansiyeli olabileceği tahmin edilmektedir [12]. Biyodizel üretiminde öne çıkan hammaddeler arasında yer alan aspir bitkisi Bölüm 2.4'te daha detaylı olarak tanıtılacaktır.

2.3.2.3 Biyodizel standartları

Biyodizel için ASTM D 6751 Amerikan ile EN 14213 ve EN 14214 Avrupa Birliği standartları yürürlükte [42,43]. Türkiye'de de Yakıtbiyodizel için TS EN 14213, Otobiyodizel için TS EN 14214 standartları geçerlidir. Yürürlükteki bu standartlar Çizelge 2.5'te verilmektedir. TS EN 14214 standardına uygun biyodizel, Çizelge 2.6'da sunulmakta olan TS 3082 (EN 590) motorin standardına uygun olarak hacmen en fazla %5 oranında motorinle harmanlama bileşeni olarak kullanılabilir [44]. Çizelge 2.6'da verilmekte olan soğukta filtre tıkanma noktası özelliğinin standartlara uygun değerleri her ülkenin koşullarına, kış ve yaz aylarına göre değişmektedir. A, B, C, D, E ve F olmak üzere altı tip bulunmakta ve bu tipler için uygun değerler Çizelge 2.6'da da gösterildiği gibi TS 3082 standardında belirtilmektedir. Türkiye için belirtilen tipler arasından Tip A yaz döneminde, Tip E kış döneminde kullanılmakta olup, yaz dönemi 1 Nisan-30 Eylül, kış dönemi ise 1 Ekim-31 Mart aralığı olarak kabul edilmektedir.

2.3.3 Yağ asidi etil esterleri

Bitkisel yağlar ve türevlerinin alternatif motor yakıtı olarak değerlendirilmesi dizel motorunun tarihine kadar dayanmaktadır. Özellikle 1980'li yıllardan itibaren monohidrik alkollerin transesterifikasyon reaksiyonunda kullanımı yoğun olarak araştırılmış ve araştırılmaya devam etmektedir. Metanol ve etanolden daha fazla karbonlu veya sekonder alkollerin kullanımı ile transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda elde edilen ürünün soğukta akış özelliğinin daha üstün olması avantajına karşın pek çok dezavantaj söz konusu olmaktadır:

- Bu alkollerin kullanımı ile bilinen bazik katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonunun uygulanamaması ile yeni ve pahalı yöntemlerin gerekliliği
- Yüksek enerji tüketimi
- Kullanılan bu alkollerin maliyetinin yüksek olması bu dezavantajlardan bazıları olarak sayılabilmektedir.

Çizelge 2.5: Biyodizel türk standartları [42,43].

ÖZELLİKLER	TS EN 14213 Yakıt Biyodizel	TS EN 14214 Oto Biyodizel
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	860-900	860-900
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	3.5-5.0	3.5-5.0
Alevlenme Noktası, °C, En Az	120	101
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C, En Çok Yaz: 1 Nisan-30 Eylül; Kış: 1 Ekim-31 Mart	0	5;(-15)
Akma Noktası, °C, En Çok	0	-
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, En Çok	0.3	0.3
Bakır Korozyon Testi, En Az	No:1	No:1
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, saat, En Az	4	6
Setan Sayısı, En Az	-	51
Asit İndisi, mg KOH/g, En Çok	0.5	0.5
İyod İndisi, En Çok	130	120
Ester İçeriği, Ağır.%'si, En Az	96.5	96.5
Kükürt İçeriği, mg/kg, En Çok	10	10
Su İçeriği, mg/kg, En Çok	500	500
Toplam Kirlilik, mg/kg, En Çok	24	24
Sülfate Kül İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.02	0.02
Serbest Gliserin İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.02	0.02
Toplam Gliserin İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	-	0.25
Fosfor İçeriği, mg/kg, En Çok	-	4
Metanol İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	-	0.2
Trigliserid İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.02	0.2
Digliserid İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.2	0.2
Monogliserid İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.8	0.8
Grup I Metaller (Na+K), mg/kg, En Çok	-	5
Grup II Metaller (Ca+Mg), mg/kg, En Çok	-	5
Linolenik Asit Metil Esteri Miktarı, Ağır.%'si, En Çok	-	12
Poli Doymamış Metil Ester Miktarı, Ağır.%'si, En Çok	1	1
Net Yanma Isısı, Hesaplanmış, MJ/kg , En Az	35	-

Çizelge 2.6: Motorin türk standardı [44].

ÖZELLİKLER	TS 3082 (EN 590)
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	820-845
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	2.0-4.50
Setan Sayısı, En Az	51.0
Setan İndisi, En Az	46.0
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Ağır.%'si, En Çok	11
Kükürt İçeriği, mg/kg, En Çok	10
Alevlenme Noktası, °C, En Az	55
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, En Çok	0.3
Kül İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.01
Su İçeriği, mg/kg, En Çok	200
Toplam Kirlilik, mg/kg, En Çok	24
Bakır Korozyon Testi, En Az	No:1
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, g/m ³ , En Az	25
Yağlama Özelliği, 60 °C, µm, En Çok	460
Yağ Asidi Metil Esteri, Hac. %'si, En Çok	7
Distilasyon Testi:	
250°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si, En Çok	65
350°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si, En Çok	85
%95'in (Hacmen) Elde Edildiği Sıcaklık, °C, En Çok	360
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C, En Çok	
Tip A	5
Tip B	0
Tip C	-5
Tip D	-10
Tip E	-15
Tip F	-20

Günümüzde metanol ve etanolden daha fazla karbonlu alkollerin pazarda rekabet edemeyeceği öngörülerek transesterifikasyon reaksiyonunda metanol ve etanol tercih edilmektedir. Metanol ve etanol arasında ise ticari uygulamada metil ester standart konumu ile öndedir, etil ester ise ikinci sırada yer almaktadır. Alternatif yakıt olarak

yağ asidi etil esterini (YAEE) yağ asidi metil esterini (YAME) yanında avantajlı kılan önemli noktalar şu şekilde sıralanabilir:

- Etanolün biyokütle kaynaklarından üretiminin uzun süredir biliniyor olması
- Etanolün yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilip, çevre dostu olmasına karşın metanolün fosil kökenli kaynaklardan üretiliyor olması
- YAEE üretim aşamasının daha az toksik olması nedeniyle etanol kullanımının daha uygun olması
- Daha üstün yakıt özelliklerine sahip alternatif yakıt eldesi (Daha yüksek ısı değeri ve setan sayısı ile daha iyi sonuçlar veren soğukta filtre tıkanma noktası eldesi)
- Pek çok ülkenin metanol üreticisi olmazken, etanolün dünyada yaygın olarak üretilmesi [36,45,46].

Biyoetanol üretiminin olduğu ülkelerde etil ester giderek önem kazanmaktadır. Bu durum Türkiye için de büyük önem teşkil etmektedir. Türkiye açısından değerlendirildiğinde metanol yerine etanolün kullanılması ile ulusal kaynakların değerlendirilmesi söz konusu olacaktır, ekonomiye katkı, çevresel etkiler ve stratejik önemleri de gözardı edilmemelidir.

2.4 Aspir Yağı

Biyoyakıt dünyasının önemli hedeflerinden biri de, ileri biyorafineri teknolojileri kapsamında yeni tip hammadde kullanımını arttırırken gıda kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmaktır. Özellikle biyoyakıt-gıda ilişkisi kapsamında gıda dışı hammaddelerin kullanımı ve bu konuda yapılan çalışmalar giderek önem kazanmaktadır. Biyorafineriler varoluşları ve kuruluş etikleri gereği gıda ve yeme müdahale etmez ve zarar vermezler. Bu noktada, gıda amaçlı kullanımı tercih edilmeyen aspir yağı önemli bir biyodizel hammadde kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Aspir sarı, beyaz, krem, kırmızı ve turuncu gibi değişik renklerde çiçeklere sahip, tohumları beyaz, kahverengi ve üzerinde koyu çizgiler bulunan beyaz taneler şeklinde olan ortalama 110-140 gün arasında yetişebilen kuraklığa dayanıklı bir yağ bitkisidir. Kır safranı, papağan yemi, boyacı aspiri, haspir gibi isimlerle de anılmaktadır. Benzerliği nedeniyle safran bitkisiyle sık sık karıştırılması sonucu

yalancı safran olarak da adlandırılmaktadır. Aspirin farklı ülkelerdeki isimlendirilişleri Çizelge 2.7’de gösterilmektedir. Aspir (Carthamus tinctorius) botanik olarak Campanulatae takımı, Asteraceae familyası, Carthamus cinsi, Carthamus tinctorius L. türü olarak bilinmektedir [47-49].

Çizelge 2.7: Dünya’daki bazı aspir isimlendirmeleri [49].

Ülke	İsim
Afganistan	Muswar, Kajireh, Kariza
Arap ülkeleri	Qurtum, Gurtum, Osfur, Asper, Kurtum, Usfar
Çin	Honghua, Huai safflower, Du safflower
Habeşistan	Suff
Fransa	Le carthame
Almanya	SaflorFaerbeldistel
Hindistan	Jafran, Kusumba, Kusum, Kardai, Pavari
İtalya	Cartama
Japonya	Benibana, Benihana
Latin Amerika	Cartamo, Azafrancillo
İspanya	Alazor, Azafran romi
Türkiye	Aspir, Kır Safranı, Boyacı Aspiri, Haspir

Aspir tohumlarında %20-45 oranında yağ bulunmaktadır. Aspirin dikenli ve dikensiz olmak üzere iki tipi bulunmaktadır. Dikenli formdaki aspirler dikensizlere göre daha fazla yağ içermektedir. Bitki kazık köklüdür ve kök toprak yapısına göre 100-150 cm derine inmektedir. Sap yuvarlaktır, 0.5-3.0 cm arası kalınlaşmaktadır. Genellikle 80-100 cm arasında boylanabilen aspirin renkli çiçekleri gıda ve kumaş boyasında kullanılabileceği gibi, küspesi hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir. Yağı sabun, boya, vernik, cila veya biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilmektedir. Aspirin kullanım alanları Çizelge 2.8’de özetlenmektedir [48-50].

Aspir yağı oleik asitçe zengin ve linoleik asitçe zengin olmak üzere iki tiptedir. Günümüzde oleik asitçe zengin ve doymuş yağ asidi oranı az olan aspir yağı tercih edilmektedir. Genetik ıslah ile stearik, oleik ve linoleik asit oranlarını değiştirebilmek mümkündür ve yaklaşık olarak %77 oleik ve %15 linoleik asit içeren yüksek oleik aspirleri yetiştirilebilmiştir. Aspir, tohum yağı bileşimi açısından dizel motorları için yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilir niteliktedir [51].

Çizelge 2.8: Aspirin kullanım alanları [50].

Aspir	Ürün	Kullanım Alanı ve Yararları
Tohum	Polidoymamış yağ içeren yenebilir yağ	Kolesterolün azaltılmasında etkili
	Yağ ekstraksiyonu sonucu elde edilen küspe	Hayvan yemi
	Yağ	Biyoyakıt hammaddesi
Çiçek	Gıda ve kozmetik boyası	Sarıdan turuncuya kadar değişen renk eldesi
	Boya	Renklendirme
	İlaç	Kardiovasküler hastalık, travma gibi hastalıkların tedavisi
Tümü	Seyreltici	Besleyici bitkiselilerin hazırlanması
	Sap/Saman	Tahıl saplarının kullanımına benzer kullanım

Aspir tarımında toprak hazırlığından ürünün depolanmasına kadar geçen sürede kullanılan tüm ekipmanların buğday ve arpa tarımında kullanılan ekipmanlarla aynı olması önemli bir avantaj sağlamakta ve buna bağlı olarak aspir üreticiler tarafından daha çabuk benimsenmektedir. Ancak makinanın ayarlarının aspir tarımına uygun bir şekilde yapılması zorunludur. Yağ eldesinde de ayçiçeği işleyen tüm makinalar aspir işlemeye de elverişli olduğu için, Türkiye’de sanayide işlenmesi açısından herhangi bir problem bulunmamaktadır.

Aspir toprak bakımından seçici olmasa da aspir tarımında derin, verimli, nötr pH değerine sahip ve su tutma kapasitesi yüksek topraklar tercih edilmelidir. Kıraç alanlarda da ekimi mümkün olabilmektedir. Verim ve yağ içeriği özellikle sulamalı alanlarda gübreleme ile arttırılabilmektedir. Aspirin tuza dayanıklılığı arpa ile aynıdır. Topraktaki fazla tuz, çimlenme, verim ve tanedeki yağ oranını düşürmektedir.

Aspir yabancı döllenişi hakim olan bir bitki olduğu için çeşitlerin birbirine karışması ya da aynı çeşidin zaman içinde iyi özelliklerini yitirme olasılığı yüksektir, bu nedenle sürekli ıslah gereklidir. Islah ile tohum verimi yüksek, yağ miktarı fazla, çevre şartlarına daha iyi uyum sağlayabilen, hastalıklara dayanıklı, özellikleri değişik yeni çeşit eldesi mümkün olabilmektedir.

Yazlık bir bitki olan aspirin ekimi bahar aylarında olmakla beraber kışları fazla soğuk olan ılıman bölgelerde kışlık olarak da ekilebilmektedir. Örneğin Türkiye’de Çukurova bölgesinde kışlık olarak Kasım ayında ekimi uygundur. Fide döneminde, diğer bitkilere göre soğuğa daha çok dayanıklı olduğu için, ekimin 20 Mart-20 Nisan tarihleri arasında yapılması mümkün olmaktadır [48,51,52].

2.4.1 Dünya’da aspir yağı pazarı

Aspir insanoğlunun yetiştirdiği en eski ürünlerden biridir. İlk olarak nerede yetiştirildiği ve anavatanı konusunda kesin bir bilgi bulunmamakla beraber çeşitli görüşler mevcuttur. Aspirin Güney Asya’da ortaya çıktığı, ilk olarak Asya kıtasının güneyinde, Ortadoğu Bölgesinde ve Akdeniz ülkelerinde ekildiği ve buradan tüm dünyaya yayıldığı kabul edilmektedir. Hatta milattan önce Mısır’da ekildiği bilindiğinden buradan da dünyaya yayılabilmiş olacağı düşünülmektedir.

Çok eski zamanlardan bu yana Çin, Hindistan, Japonya, Mısır, İran, İtalya, Fransa ve İspanya’da tarımı yapılmakta olan aspir Amerika’nın keşfinden sonra İspanyollar tarafından Meksika, Venezuela ve Kolombiya’ya götürülmüş, 1925’te ise Amerika’ya girişi sözkonusu olmuştur. Aspir bitkisi önceleri tıbbi amaçlarla kullanılmaya başlanmış ve bazı ülkelerde halen kullanılmaya devam edilmektedir. Aspir çiçekleri, Çin’de pek çok hastalığın tedavisinde değerlendirilmiş, kalp ve damar rahatsızlıklarında, travma sonucu oluşan şişlik ve ağrıların tedavisinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Afrika’da ateş düşürücü ve zehirlenmelerde panzehir olarak kullanılan aspir, Bangladeş’te romatizmaya karşı merhem olarak da kullanılmıştır. Aspir çiçekleri, daha ucuz olan sentetik boyaların keşfedilmesine kadar gıda ve kumaş boyalarında da yoğun olarak kullanılmıştır. Günümüzde bazı Asya ülkelerinde özellikle geleneksel ve dini günlerde aspiden elde edilen boya maddeleri kullanılmaya devam edilmektedir. Aspirin ticarileşmesi 1950’li yıllarda gerçekleşmiş ve yağ özellikleri sayesinde yağının da değerlendirilmesi amacıyla yetiştirilmeye başlanmıştır. Günümüzde Dünya’da 25 yabancı aspir türü bulunduğu belirtilmektedir ve bu yabancı türlerin birkaçı Türkiye’de değişik bölgelerde doğal ortamda görülebilmektedir [49,53,54].

Aspir günümüzde özellikle Hindistan, ABD, Meksika, Kazakistan, Kırgızistan, Etiyopya ve Avustralya gibi ülkelerde geniş alanlarda üretimi yapılan bir yağ bitkisi haline gelmiştir. 2009 yılı dünya yağlı tohum bitki üretim miktarları Çizelge 2.9’da

verilmektedir. Çizelgeye göre soya 223.2 Milyon ton üretim ile ilk sırada yer alırken, bunu 210.3 Milyon ton üretim ile palm yağı meyvesi ve 60.9 Milyon ton üretim ile pamuk tohumu izlemektedir. Aspir bitkisinin dünya üretimindeki payı ise %0.08 olarak belirlenmiştir [55]. Çizelge 2.10 ise aspir bitkisinin 2004-2009 yılları arasındaki üretim miktarları, verimleri ve ekilen alan miktarını göstermektedir [55]. Çizelgeye göre verim ve üretim miktarlarının arttığı görülmekte olup 2009 yılı aspir üretim miktarı 646.4 bin ton, verim 859.1 kg/hektar ve ekilen alan 752.5 bin hektar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.9: 2009 yılı için dünya yağlı tohumlu bitki üretimi [55].

Yağlı Tohumlu Bitkisi	Üretim, ton	Üretimdeki Pay,%
Soya	223184884	27.35
Palm Yağı Meyvesi	210326644	25.77
Pamuk Tohumu	60891596	12.2
Hindistan Cevizi	61708358	7.56
Kolza	61675518	7.56
Palm Yağı	45083932	5.52
Yerfıstığı (Kabuklu)	36456791	4.47
Ayçiçeği	32391774	3.97
Zeytin	19302675	2.37
Palm Çekirdeği	12698806	1.56
Susam	3976968	0.49
Keten	2123649	0.26
Hintyağı	1484086	0.18
Kavun –Karpuz Tohumu	798000	0.1
Aspir	646427	0.08
Hardal	683919	0.08
Haşhaş	98835	0.01
Kenevir	57843	0.007
Jojoba Tohumu	77	0.000009
Diğerleri	3899833	0.48
TOPLAM	816120702	100

Çizelge 2.10: Dünya aspir istatistikleri [55].

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Ekilen alan, ha	965961	836739	704528	754919	709704	752455
Üretim, ton	657700	585859	534868	627189	622993	646427
Verim, kg/ha	680.9	700.2	759.2	830.8	877.8	859.1

2.4.2 Türkiye’de aspir yağı pazarı

Aspir bitkisi konusunda ilk olarak 1929-1930 yıllarında Eskişehir’de tohum ıslah istasyonunda aspir yetiştirme ve ıslahı üzerine çalışmalar başlatılmıştır. 10 yıl süren bu çalışmalar 2. Dünya Savaşı nedeniyle kesintiye uğramış ancak 1935-36 yıllarında bu çalışmalar sonucunda elde edilen en iyi performansla sahip dikensiz kompozit çeşit “Yenice” ismiyle bölge çiftçisine dağıtılmıştır. Yıllık yağ ihtiyacının artmasına karşın üretimin az olması nedeniyle Tarım Bakanlığı’nın talimatları doğrultusunda 1958 yılında aspir konusundaki çalışmalar yeniden başlatılmış ancak gereken önem verilememiştir [47,48].

Aspir bitkisinin ekim alanı 1972 yılında 1100 hektardan 1980 hektara, 1976 yılında ise 2200 hektara ulaşmış ancak bu tarihten sonra üretim hızla azalmış ve 2000 yılında 30 hektara kadar gerilemiştir. 2000 yılından sonra ise aspir ekimine olan ilgi hızla artmış ve 2010 yılında 26000 tonluk üretime ulaşılmıştır. Çizelge 2.11’de 2010 yılında Türkiye’deki yağlı tohum bitki üretim miktarları gösterilmektedir. Buna göre, ayçiçeği 1320 bin ton ile ilk sırada yer alırken, bunu çığit ve kolza izlemektedir. Aspir ise yağlı tohum bitki üretimi sıralamasında 7. sırada yer almaktadır. 2000-2010 yılları için Türkiye aspir istatistikleri ise Çizelge 2.12’de sunulmaktadır. Çizelgeye göre 2000 yılından itibaren aspir ekilen alan miktarı ve üretimde artış görülmektedir. 2010 yılında 2000 yılından bu yana en yüksek aspir verimi elde edilmiştir [56]. Türkiye aspir üretiminin büyük bir kısmı sözleşmeli tarım kapsamında biyodizel üretiminde kullanılmakta, bir kısmı da kuş yemi başta olmak üzere hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir [53]. Aspirin kuraklığa karşı dayanıklı olması GAP yöresinde, Orta, Doğu ve Güneydoğu Anadolu dahil ülkemizin her yöresinde üretimini mümkün kılmaktadır. Kırac alanlarda da başarılı bir şekilde aspir tarımı mümkündür. 2005 yılından itibaren aspir Tarım ve Köyişleri Bakanlığınca destekleme kapsamına alınmış ve kg başına destek her geçen yıl artmaktadır. 2011 senesi ürün desteği 40 Kuruş/kg olarak belirlenmiştir [47,48,56].

Çizelge 2.11: 2010 yılı için Türkiye yağlı tohum bitki üretimi [56].

Yağlı tohum bitkisi	Verim, kg/dekar	Üretim, ton
Ayçiçeği	206	1320000
Çiğit	265	1272800
Kolza	341	106450
Yerfıstığı	354	97310
Soya	369	86540
Haşhaş	71	36910
Aspir	193	26000
Susam	74	23460
Kenevir	32	7
Toplam	-	2969477

Çizelge 2.12: Türkiye aspir yağı istatistikleri [56].

Yıl	Ekilen alan,dekar	Üretim,ton	Verim, kg/dekar
2000	300	18	60
2001	350	25	71
2002	400	25	63
2003	2500	170	68
2004	1650	150	91
2005	1730	215	124
2006	4305	395	92
2007	16941	2280	135
2008	54021	7068	131
2009	215237	20076	93
2010	135000	26000	193

Aspir tohumunun Türkiye’de üretiminin yapılmasının en büyük avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- İklimsel ve jeolojik koşullar açısından seçici olmaması
- Kurak arazilerde dahi yetiştirilebilmesi
- Erozyonu önlemesi, yabani otları bastırması
- Meyilli, kıraç ve fakir topraklarda diğer bitkilerden daha fazla verim sağlaması

- Tohumunun dökülme tehlikesinin az olması nedeniyle hasat kayıplarının az olması
- Toprak hazırlığından ürünün depolanmasına kadar tüm ekipmanların buğday ve arpa tarımında kullanılan ekipmanlarla aynı olması ile yağ eldesinde ayçiçeği işleyen tüm makinaların aspir işlemeye elverişli olması
- Çiftçiye ek bir maliyet getirmeyen en ucuz yağlı bitkilerden biri olması [57].

Günümüzde, Yenice, Dinçer ve Remzibey-05 olmak üzere üç çeşit tescilli aspir yetiştirilmektedir. Bu çeşitlerin özellikleri Çizelge 2.13’de sunulmaktadır. Çiçekleri kırmızı olup dikensiz bir yapıya sahip olan Yenice linoleik asitçe zengin yağa sahip olup 1931 yılında tescil edilmiştir. Yenice, Dinçer ve Remzibey’e göre 10-15 gün daha sonra hasada gelmektedir. Turuncu çiçeklere sahip olan Dinçer tipi ise 1977 yılında tescil edilmiş olup, Remzibey’e göre 2-3 gün daha önce hasada gelmektedir. Dinçer, linoleik asitçe zengin yağa sahiptir. Tescil edildiği yıla kadar 5-154 ismiyle üretim iznli olarak bilinen sarı çiçekli Remzibey ise 2005 yılında tescil edilmiş olup oleik asitçe zengin yağa sahiptir. Kuraklığa dayanıklı olan her üç tip için de sulama ile verim artmaktadır [47,48,53].

Çizelge 2.13: Türkiye tescilli aspir çeşitlerinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması.

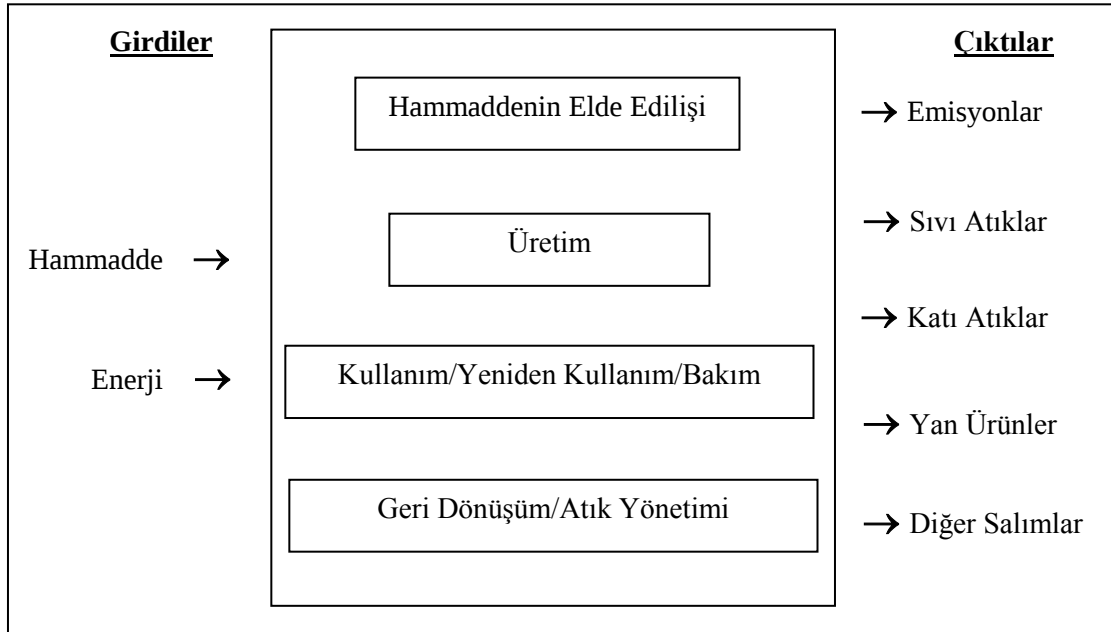
Çeşitler	Dikenlilik	Çiçek Rengi	Bitki Boyu, cm	Tane Rengi	Yağ İçeriği, %	Bin tane ağırlığı,g
Yenice	Dikensiz	Kırmızı	100-120	Beyaz	24-25	38-40
Dinçer	Dikensiz	Turuncu	90-110	Beyaz	25-28	45-49
Remzibey	Dikenli	Sarı	60-80	Beyaz	35-40	45-50

2.5 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Çevreye olan duyarlılığın ve bilincin artmaya başlaması ile endüstri dünyası gerçekleştirdikleri aktivitelerin çevreye olan etkilerini değerlendirmeye başlarken, insanların dikkati de doğal kaynakların azalması ve doğanın bozulmaya başlaması konularına çevrilmiş ve böylece yeşil ürünlerin üretim ve kullanımı ile yeşil teknolojilerin kullanılmaya başlanması giderek önem kazanmaya başlamıştır. Pek çok üretici çevresel performanslarını geliştirmek için stratejiler geliştirmeye ve çevresel yönetim araçlarını kullanmaya başlamıştır. Bu araçlardan biri de yaşam döngüsü değerlendirmesidir.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) bir ürünün tüm yaşam döngüsünü ele almaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin ana amacı, ürünlerin tüm yaşam çevrimleri süresince çevreye karşı olan potansiyel etkilerinin miktarının belirlenmesidir. Bu değerlendirme “kaynaktan son kullanıma” veya “beşikten mezara” yaklaşımları olarak da adlandırılmaktadır ve pazarda yerini almış ürünler için gerçekleştirilebileceği gibi ürün tasarımında da kullanılabilir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi kantitatif bir yöntemdir. Bu değerlendirmede bir ürünü oluşturmak için gereken hammaddelerin yeryüzünden ilk toplanması anından tüm maddelerin yine yeryüzüne geri döndüğü son ana kadar geçen zamanda yani tüm yaşam döngüsü boyunca ürünün yaşamının tüm kademeleri incelenmekte, çevreye verdiği etki değerlendirilmekte ve kaynaktan son kullanıma enerji gereksinimi hesabı yapılmaktadır [58].

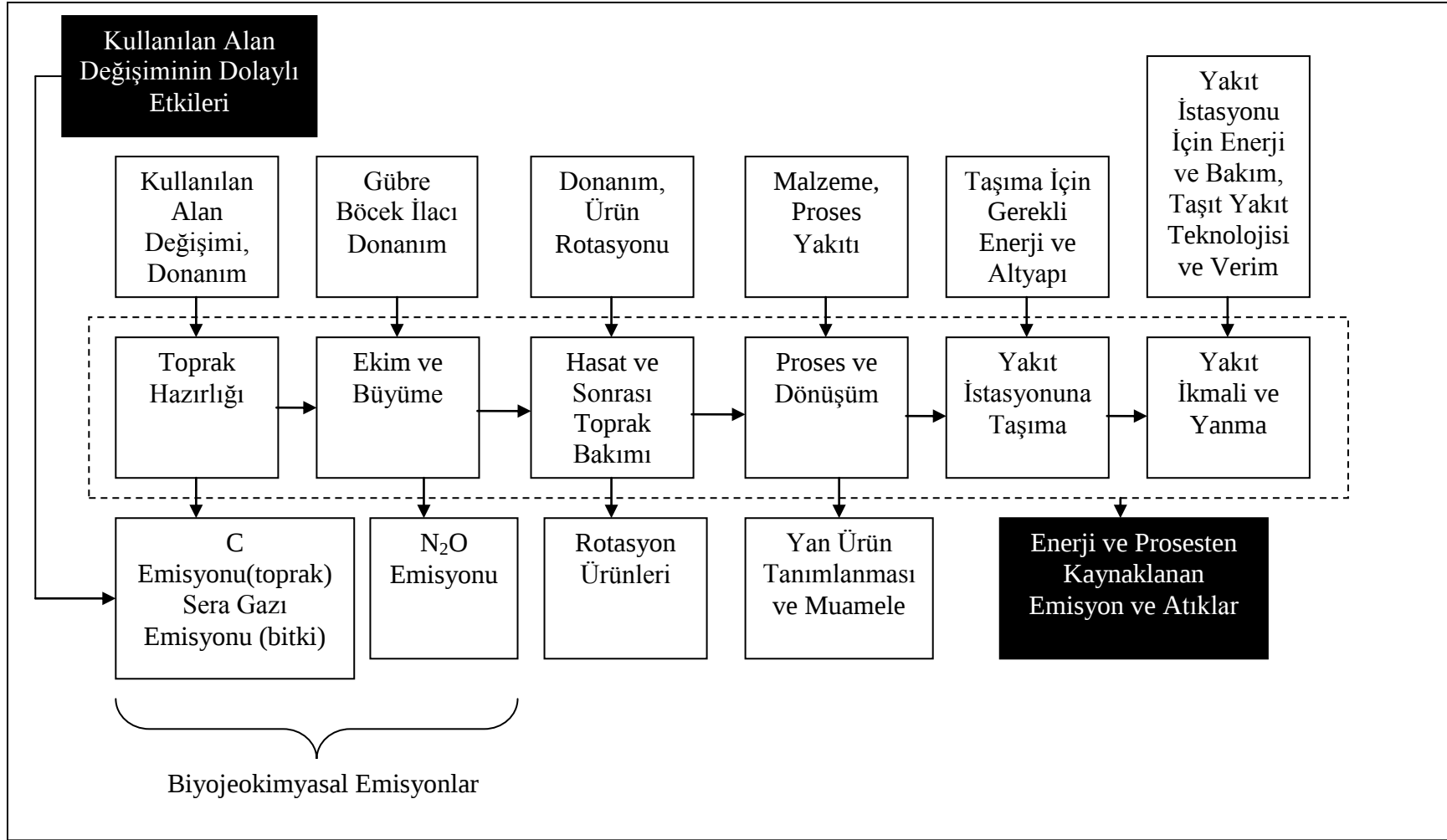
YDD ile daha geleneksel olan diğer analizlerden farklı olarak hammaddelerin elde edilişi, hammaddelerin taşınması, atık yönetimi gibi incelenmeyen tüm aşamalar da ele alınmaktadır. Yaşam döngüsü kademeleri ile girdi ve çıktılar Şekil 2.6’da sunulmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi ürünün yaşam döngüsü o ürünün üretimi ve taşınması için gerekli olan tüm hammadde ve enerji kaynaklarının elde edilmesi ile başlamaktadır. Üretim aşamasında hammadde ve enerji kaynakları kullanılarak üretilen ürün tüketiciye iletilmektedir. Üretim aşaması hammaddelerin ürünü oluşturmak üzere işlenebilir hale dönüştürülmesi, bu malzemelerin son ürünler olarak



Şekil 2.6: Yaşam döngüsü kademeleri [59].

paketleme ve dağıtım hazır hale getirilmesi ile paketleme/dağıtım olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır. Ürün tüketiciye dağıtıldıktan sonra ise bir sonraki aşamaya geçilmektedir. Ürünün kullanımı süresince ilgili tüm enerji tüketimi ve çevresel etkileri bu kademede incelenmektedir. Gerekli görülen durumlarda ürün veya malzeme bakıma alınmakta veya tamir edilmektedir. Tüketicinin ürüne olan ihtiyacı son bulduğunda ise bir sonraki aşama olan geri dönüşüm veya atık yönetimi aşaması başlamaktadır. Bu son aşamada da ilgili tüm enerji ihtiyacı ve çevresel atık oluşumları dikkate alınmaktadır [59].

Şekil 2.7’de ise biyoyakıtlar için genel yaşam döngüsü şematik olarak gösterilmektedir. Buna göre biyoyakıtın yaşam döngüsü, o biyoyakıtı üretebilmek için gerekli olan tarımsal ürünün tarım aşamasıyla başlamakta, bu aşamada toprağın hazırlanması, ekim, büyüme, hasat ve hasat sonrası bakım kademeleri incelenmektedir. Tarımsal ürün ve biyoyakıtın üretimi için gerekli olan diğer hammaddelelerin elde edilmesinin ardından biyoyakıt üretilmekte, tüketiciye iletebilmesi için yakıt istasyonlarına taşınmakta ve tüketici tarafından araçlarda kullanımı ve yanma sonucu emisyon oluşumu ile biyoyakıtın yaşam döngüsü tamamlanmaktadır. Biyoyakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını iki kategoride incelemek mümkündür. Bunlardan biri enerji ve malzeme üretiminden gelen emisyonlar, bir diğeri ise doğal veya biyojeokimyasal kaynaklı sera gazı emisyonlarıdır. Örneğin, azotlu gübre kullanımı üretim, taşıma ve arazideki uygulaması için enerji ihtiyacı duymaktadır ve bu da yakıtın yanması ve endüstriyel proseslerde sera gazı emisyonu yayımı ile sonuçlanmaktadır. Bu emisyonlar enerji ve malzeme üretimi kaynaklı emisyonlardır. Diğer taraftan azotlu gübre kullanımı ile topraktaki mikrobiyal prosesler sonucunda N_2O ortaya çıkmaktadır. Bu da biyojeokimyasal kaynaklı emisyonlar kategorisine girmektedir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı’na (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) göre N_2O emisyonunun %67’si azotlu gübre kullanımından kaynaklanmaktadır. Gübreden dolayı oluşan N_2O emisyonu gibi toprak ıslahı için kullanılan pek çok kimyasal da sera gazı oluşumuna neden olabilmektedir. Örneğin pH’ı düzenlemek için kullanılan kalsiyum karbonat ve dolamitin toprakta çözünmesi CO_2 emisyonuna neden olmaktadır. Çalışmalarda genelde kalsiyumkarbonattan kaynaklanan CO_2 emisyonunun gübreden kaynaklanan CO_2 emisyonundan çok küçük bir değere sahip olduğu için ihmal edilebileceği varsayımı yapılmıştır.



Şekil 2.7: Biyoyakıtlar için yaşam döngüsü [60].

Mısır kökenli etanol üretimi de örnek olarak ele alınırsa, malzeme ve enerji kaynaklı sera gazı emisyonları yakıtın yanması ve mısır kökenli etanol üretim prosesi (enzimatik proses veya fermentasyon) esnasında oluşmaktadır. Enerji kaynaklı sera gazı emisyonları yakıt karışımı, hammaddenin dönüştürülmesi için proses teknolojisi ve tarım aşamasında kullanılan birincil enerji kaynakları, taşıma ve elektriğe bağlı olarak değişebilmektedir. Bu emisyonların belirlenmesi ve karakterize edilmesi daha kolay olup sonuçların doğruluk derecesi yüksek iken, doğal proseslere bağlı olarak oluşan emisyonların modellenmesi zor olup doğruluk derecesi de azdır. Toprak CO₂ için bir kaynak veya azaltıcı, N₂O için bir kaynak, diğer gaz, partiküller ve CH₄ için etkin bir kaynak rolü üstlenebilmektedir. Bu nedenle bu hesaplamalarda genelde varsayımların kullanımı zorunlu hale gelmektedir [60].

Biyoyakıtlar karbondioksit salımı açısından da önemli bir avantaja sahiptir. Biyokütle yetişirken fotosentezde kullandığı karbondioksidi yanma sonucunda atmosfere vermektedir. Bun nedenle biyoyakıtın kullanım aşamasında yani yakılmasında karbondioksit emisyonunun sıfır olduğu kabul edilmekte, diğer bir deyişle karbon nötr olarak değerlendirilmektedir [59,60].

YDD ile çevre üzerinde en az etkiye sahip olan ürün veya prosesin seçilebilmesi mümkün kılınmaktadır. YDD sonuçlarından elde edilen bilgi, maliyet ve performans verileriyle birleştirilerek kullanılabilir. YDD ile şunların yapılması mümkündür:

- İncelenen ürünün çevresel etkilerinin sistematik olarak değerlendirilmesi veya ürünlerin karşılaştırılabilmesi
- Hava, su ve toprağa salınan tüm çevresel etkilerin hesaplanabilmesi
- Yaşam döngüsü kademeleri ile çevre arasındaki çevresel etkilerin yönlerinin belirlenmesi
- Malzeme tüketimi ve salımların yerel halk, bölge ve dünya üzerindeki etkilerinin belirlenmesi
- İki veya daha fazla ürünün sağlık ve çevre üzerine olan etkilerinin karşılaştırılabilmesi [59].

2.5.1 Yaşam döngüsü değerlendirmesinin tarihçesi

Yaşam döngüsü değerlendirmesi ilk olarak 1960 yıllarında ortaya çıkmıştır. Hammaddelerin ve enerji kaynaklarının sınırlı olması enerji kullanımının incelenmesine ve gelecekteki enerji arzı ve kullanımının projelendirilmesine neden

olmaya başlamıştır. Harold Smith kimyasal yan ürün ve ürünlerin enerji ihtiyacı için gereken kümülatif enerji ihtiyacını 1963 yılında Dünya Enerji Konferansında sunmuştur.

60'lı yıllardan sonra dünyanın değişen nüfusunun sınırlı hammadde ve enerji kaynakları üzerindeki etkilerini incelemek üzere bazı modelleme çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalarda maliyet ve çevre etkilerine de değinilmiştir. 1969 yılında Coca-Cola şirketinin bünyesinde başlatılan çalışmalar ile yaşam döngüsü veri analizi için ilk temeller atılmıştır. Bu çalışma kapsamında çevreye, doğal kaynaklara en az zarar verecek içecek kutusunun seçilmesi hedeflenmiştir. O zamanlarda özel olarak endüstriyel veriler pek bulunmadığı için devletten alınan teknik yayınlar kaynak olarak kullanılmıştır. İlk modeller enerji kullanımı ve atık üretimi üzerine yoğunlaşan daha kolay bir sistem olarak ortaya çıkmıştır. Analizin temel öğeleri arasında içecek kapları, deterjanlar, çocuk bezleri gibi ürünler yer almıştır. Pek çok çalışma gerçekleştirilmiş olmasına karşın çalışmaların sonuçları birbiriyle çatışmaya başlamıştır. Bunun nedeni seçilen yöntemlerin ortak bir temel üzerine oturtulmamış olmasıdır. Bu şekilde ABD ve Avrupa'da pek çok fabrika kendi çalışmalarını yürütüp kendi ürünlerinin diğer rakip ürünlere göre daha çok çevre dostu olduğunu savunmuş ve bu asılsız söylemler yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarının imajını zedelemiştir [59].

Kaynakların kullanımı ve çevreye olan salımın miktarının belirlenmesi, ABD'de "Kaynak ve Çevre Profil Analizi" Avrupa'da ise "Ekodenge" olarak isimlendirilmiştir. 1970'lerdeki petrol krizi nedeniyle 1970-1975 yılları arasında 15 adet "Kaynak ve Çevre Profil Analizi" yapılmıştır. Bu zaman sürecinde standart bir araştırma yöntemi geliştirilmiştir. 1980'lerde petrol krizinin etkilerinin azalmasıyla bu çalışmalarda azalma görülmüş ve çevresel konular zararlı atık yönetimine çevrilmiştir. Buna rağmen yaşam döngüsü veri analizleri devam etmiş ve yöntemler geliştirilmiştir.

1988 yılında katı atıkların dünya çapında bir konu haline gelmesi ile YDD çevresel sorunların analizi için bir araç olarak yine gündeme gelmiş ve YDD için yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır. YDD'nin veri analizinden etki değerlendirmesine doğru kayması yöntemlerin gelişimini çok farklı bir noktaya getirmiştir. 1989 yılında Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC) yaşam döngüsü değerlendirmesini kendi bünyesine alarak hem

uygun bir tanımlama belirlemiş, hem de belirli bir teknik çalışma şeması oluşturmuştur. İlk olarak temel birimin tanımlanması gerçekleştirilmiştir. Bu adım ürünlerin karşılaştırılabilmesi açısından önemlidir. Diğer bir adım ise ekonomi ile çevre arasındaki sınırların tanımlanması olmuştur. Diğer bir ilgilenilen yöntemsel problem ise birden fazla fonksiyonu gerçekleştiren çoklu proseslerde çevresel etkinin paylaşımı üzerine olmuştur. Örneğin “Atık bir malzeme ikinci bir malzemeye dönüştürülürse, çevresel yükümlülük atığa mı yoksa ikinci malzemeye mi ait olacak ya da bu oran nasıl belirlenecek?” gibi sorulara cevap getirilmeye çalışılmıştır. Tartışılan bu konuların yanı sıra modellemenin yatışkın hal için yapılması ve atıkların kg cinsinden ifade edilmesi gibi karara bağlanan konular da olmuştur. SETAC her yıl düzenlediği kongrelerle hala yaşam döngüsü çalışmalarıyla ilgilenmektedir. Ayrıca SETAC tarafından kurulmuş ve YDD konularını işleyen iki dergi de bulunmaktadır [61].

1994 yılından itibaren Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardisation, ISO) 14040-14041-14043 serisi ile yaşam döngüsü değerlendirmesini standartlar kapsamı altına almıştır. ISO’nun öncelikli amaçlarından biri SETAC’ın geliştirmiş olduğu teknik çerçeveyi detaylandırmak olmuştur. Daha sonra YDD prosesindeki subjektif ve objektif bölümler birbirinden ayrılarak amaç ve kapsamın belirlenmesi, veri toplama, çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve yorum başlıkları altında toplanmıştır. YDD’nin bu dört aşamasına Bölüm 2.5.2’de değinilecektir.

90’lı yıllardan sonra YDD alanında aktif üçüncü bir kuruluş olarak Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme, UNEP) ortaya çıkmıştır. 2002 yılında bu kuruluş SETAC ile “UNEP/SETAC Yaşam Döngüsü Girişimi” adı altında ortak bir çalışma yürütmeye başlamıştır. Bu girişimin ana amacı YDD ve diğer yaşam döngüsü yaklaşımlarını pratiğe geçirmek ve daha kesin veri ve tanımlayıcılar sağlamak için araçları geliştirmektir. Bu girişim üç programdan oluşmaktadır:

- Yaşam döngüsü için verilerin toplanması
- Yaşam döngüsü için toplanan verilerin analizi
- Yaşam döngüsü yönetimi

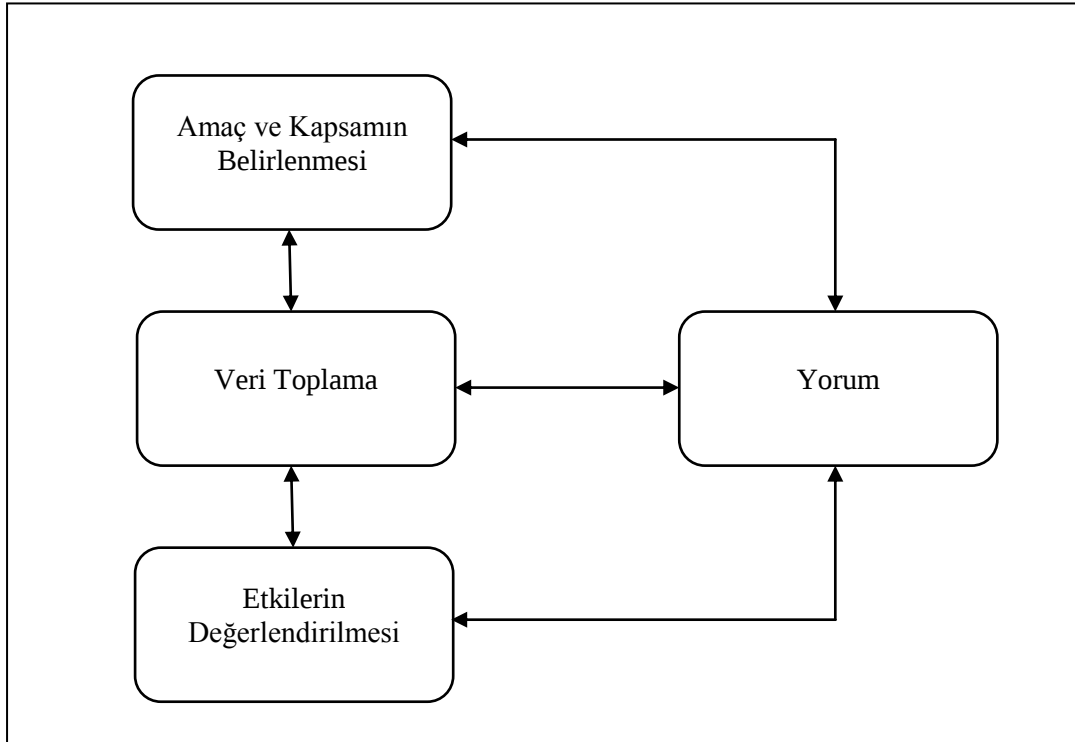
Günümüzde YDD akademik çalışmaların araçlarından biri haline gelmiştir. Pek çok üniversitede YDD araştırma grupları oluşturulmuş ve doktora çalışmaları yürütülmektedir. Ayrıca bu konuda “International Journal of Life Cycle Assessment”, “Journal of Industrial Ecology”, “Journal of Cleaner Production” gibi bilimsel dergiler yayına başlamıştır. Ulusal düzeyde de pek çok ülke kendi YDD programlarını oluşturmaktadır. Bunun yanısıra sıra pek çok program da piyasaya sürülmektedir [59,61].

2.5.2 Yaşam döngüsü değerlendirmesinin aşamaları

Şekil 2.8 YDD’nin dört temel aşamasını göstermektedir. ISO standartlarında da belirtilen bu dört aşama şu şekildedir [62,63]:

1. Amaç ve kapsamın belirlenmesi
2. Veri toplama
3. Etkilerin değerlendirilmesi
4. Yorum

Bu bölümde YDD’nin temelini oluşturan bu dört aşama detaylı olarak anlatılacaktır.



Şekil 2.8: Yaşam döngüsü değerlendirmesi aşamaları.

2.5.2.1 Amaç ve kapsamın belirlenmesi

Amaç ve kapsamın belirlenmesi yaşam döngüsü incelenecek olan ürünün, prosesin veya aktivitenin belirlenip tanımlanmasını içermektedir. Bu aşamada belirlenmesi gereken temel faktörler şu şekildedir:

- Çalışmanın temel amacı ve çözülmesi istenen soruların belirlenmesi
- Sistemin tanımlanması ve referans sistemlerin belirlenmesi
- Temel birimin belirlenmesi
- Sistem sınırlarının belirlenmesi
- Çevresel etki paylaşımının tanımlanması
- İstenilen veri kesinlik derecesinin belirlenmesi
- Varsayımlar ve kısıtlamaların belirlenmesi
- Veri toplama aşaması için gerekli ön çalışmaların belirlenmesi
- Çözümlerin sunum şeklinin belirlenmesi
- Çalışma için gerekli rapor şeklinin tanımlanması

Ürünlerin çevresel etkilerinin karşılaştırılabilmesi için temel birimin belirtilmesi çok önemlidir. Birden fazla fonksiyonu olan veya ürün oluşturan proseslerde ise çevresel etkinin ne şekilde paylaştırılacağı karar verilmesi gereken önemli konulardan biridir. Çevresel etki paylaşımı sorununu çözmek için ISO şu şekilde bir öncelik sıralaması yapılmasını önermektedir:

- İlk olarak prosesi iki ayrı prosese ayırarak çevresel etki paylaşımından kaçınılması önerilmektedir. Böylece her bir prosesin bir ürünü olacaktır, ancak prosesler genellikle içiçe geçmiş proseslerden meydana geldiği için bu prosesleri iki ayrı prosese ayırmak mümkün olmamaktadır.
- Çevresel etki paylaşımının kullanılmaması için bir başka yöntem ise sistem sınırlarının genişletilmesidir. Bu şekilde, incelenen sisteme benzer bir ürün üreten bir proses sistem sınırlarına eklenmektedir ve bu prosessten elde edilen ürünün çevre üzerindeki etkileri incelenen sistemin çevre üzerindeki etkisinden çıkartılmaktadır, ancak benzer ürünlerin alternatif üretimlerinin belirlenmesi çoğu zaman mümkün olmamaktadır.
- Çevresel etki paylaşımından kaçınılamaması durumunda çevresel etkinin ürünlerin kütle veya enerji içeriklerine göre paylaştırılması önerilmektedir.

- Üç adımın da uygulanamaması durumunda, ekonomik değerler kullanılarak çevresel etkinin ürünlerin ekonomik durumlarına göre paylaştırılması önerilmektedir. Ancak ürün fiyatları çeşitli etkenlere bağlı olarak değişebileceğinden ekonomik çevresel etki paylaşımı ISO tarafından tercih edilmemektedir [59,62-64].

2.5.2.2 Veri toplama

Veri toplama aşamasında tüm enerji ve malzeme kullanımları ile katı ve sıvı atıklar, emisyonlar ve diğer tüm salımlar tanımlanarak miktarları belirlenmektedir. Veri toplama aşamasında, modellenen sisteme özgü veriler kullanılabileceği gibi enerji, ulaştırma ve atık yönetimi için kaynak tarama çalışmalarından veya veritabanlarından yararlanılabilmektedir. Veri toplarken dikkat edilmesi gereken en önemli konu en yeni ve güvenilir verilere ulaşabilmektir [59,62-64].

2.5.2.3 Etkilerin değerlendirilmesi

Amaç ve kapsam belirlenip verilerin toplanmasının ardından üçüncü aşama olan etki değerlendirmesi aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yöntemleri toplanan her bir veriyi bu sonuca denk gelen çevresel etkiye dönüştürmeyi hedeflemektedir. Yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları için geliştirilmiş pek çok yazılım programı ve çok sayıda etki değerlendirme yöntemleri mevcuttur. Piyasada bulunan yazılım programları ve yöntemlerin yanı sıra ülkeler veya üreticiler kendi yazılım programlarını veya yöntemlerini geliştirebilmektedir. Etki değerlendirmesi aşamasında kullanılan tüm bu yöntemlerde bulunması zorunlu olan ve isteğe bağlı adımlar bulunmaktadır [59,64]. Bunlar şu şekilde sıralanabilmektedir:

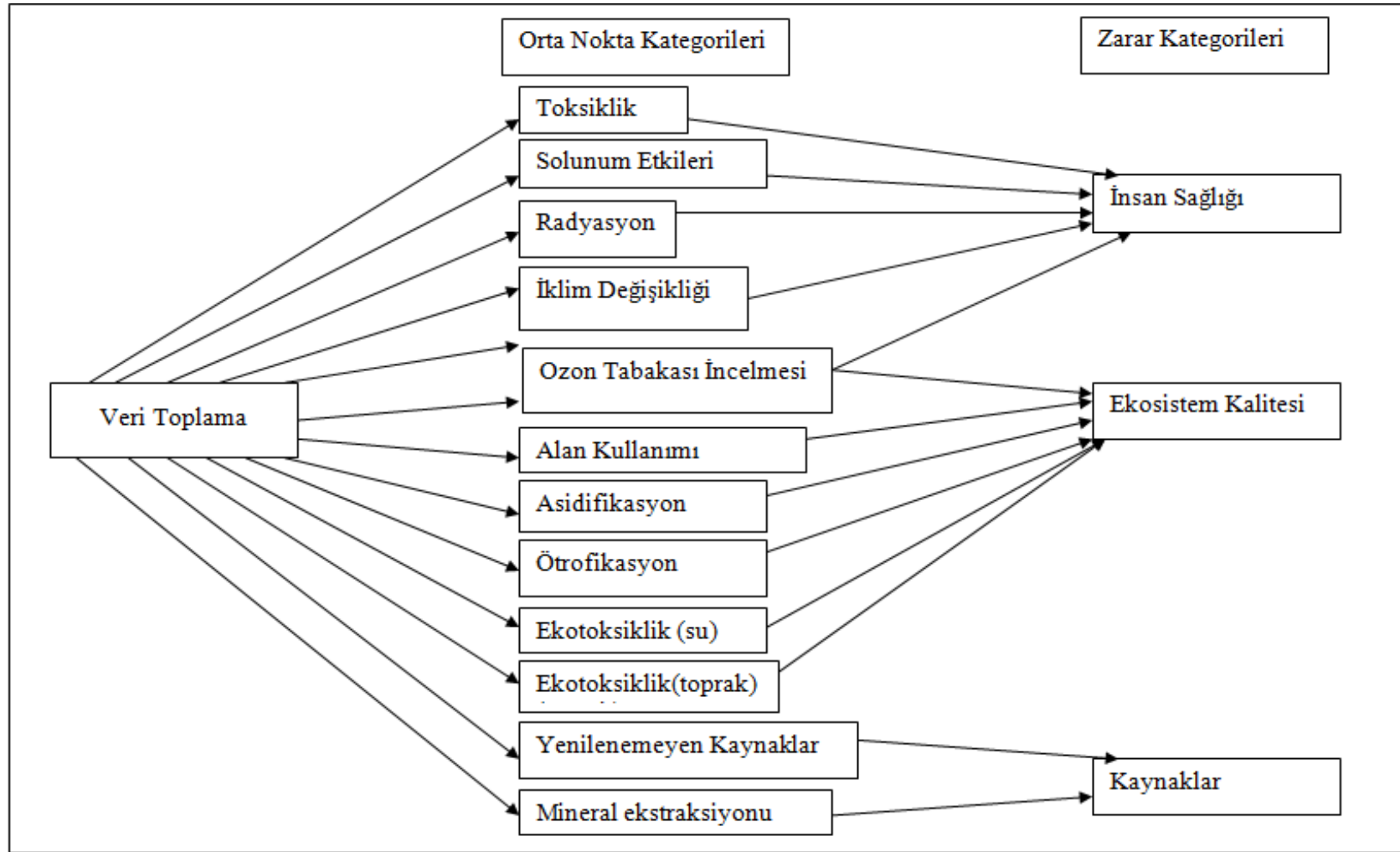
1. Sınıflandırma: Veri toplama aşamasında emisyon, enerji ve malzemeler ile ilgili çok sayıda bilgi elde edilmektedir. Elde edilen bu uzun listeyi yorumlamak bu şekliyle kolay olmamaktadır. Bu nedenle, tüm yöntemlerde olması zorunlu olan sınıflandırma aşaması ilk aşama olarak uygulanmaktadır. Örneğin, CO₂ ve CH₄ iklim değişikliği kategorisinde, SO₂ ve NH₃ asidifikasyon kategorisinde sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma ile belirlenen etkiler orta nokta olarak tanımlanan yaşam döngüsü verileri ile çevresel etkinin görüldüğü son nokta arasındaki herhangi bir yerde ya da son noktada

yer alabilmektedir. Bu çerçeve kapsamında iki ayrı yöntem grubu geliştirilmiştir:

- Klasik etki değerlendirmesi yöntem grubu: Bu yöntemler yaşam döngüsü verilerini orta nokta kategorilerinde temalarına göre (toksiklik, solunum etkileri, asidifikasyon, ötrofikasyon gibi) gruplamaktadır. EDIP97 bu yöntem grubuna örnektir.
- Zarara yönelik yöntem grubu: Eco-indicator 99 ve EPS bu yöntemlerdendir. Modelleme son noktaya varana kadar sürdürülmektedir, ancak bu şekilde belirsizliklerin de artması söz konusu olabilmektedir.

Orta nokta etkileri ve zarar etkilerine örnek bir etki değerlendirmesi Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi toksiklik, solunum etkileri, radyasyon, iklim değişikliği, ozon tabakası incilmesi, alan kullanımı, asidifikasyon, ötrofikasyon, ekotoksiklik, fosil kaynak kullanımı, mineral kullanımı orta nokta etkilerindendir. Orta nokta etkilerinin devam etmesi çevre şartlarının kalitesini düşürecek insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynakların tüketilmesi gibi bir veya birden fazla zararlı etkinin oluşmasına neden olmaktadır [65].

2. Karakterizasyon: Sınıflandırma ile etkiler belirlendikten sonra toplanan veriler belirli etkilere denk gelecek şekilde karakterize edilmekte, diğer bir deyişle emisyonların etki kategorilerine olan katkıları hesaplanmaktadır. Karakterizasyon aşaması da her yöntemde olması gereken bir aşamadır. Karakterizasyon sonuçlarında, her bir etki kendi birimiyle ifade edilmekte ve sonuçlar yüzde cinsinden verilebilmektedir.
3. Normalizasyon: Normalizasyon aşaması isteğe bağlı bir aşamadır. Amaç, hangi etkinin toplam çevresel etki üzerinde daha çok paya sahip olduğunu belirlemektir. Bu nedenle karakterizasyon değerleri çeşitli şekillerde belirlenebilen bir normal sabitine bölünmektedir. Bu değer genellikle belirlenmiş bölgede bir sene boyunca yaşayan kişi sayısıdır. Bu şekilde tüm etkiler birimsiz ifade edilerek karşılaştırma yapmak kolaylaştırılmaktadır.
4. Ağırlıklandırma: Ağırlıklandırma aşaması da normalizasyon gibi isteğe bağlı bir aşamadır. Normalizasyon sonucunda elde edilen değerler sadece hangi etkinin daha büyük olduğu hakkında bilgi vermektedir. Normalizasyon değerlerine etkilere ait önem veya derecesini belirten ağırlıklandırma faktörü uygulanarak bu etkilerin önemi ortaya koyulmaktadır [59,62-64].



Şekil 2.9: YDD etki değerlendirmesi aşamaları [65].

Yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarında kullanılabilecek çok sayıda yöntem mevcuttur. Bunlardan bazılarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

- BEES: Amerika’da geliştirilmiş bir yöntem olup özellikle binaların yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarında tercih edilmektedir.
- CED ve CexD: CED yöntemi kümülatif enerji talebini, CexD yöntemi ise kümülatif ekserji talebini inceleyen yöntemlerdir.
- CERES: Özellikle tarımsal üretimlerin yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarında kullanılan bu yöntem, topraktaki su, karbon ve azot dengelerini incelemek amaçlı tercih edilmektedir.
- CML 2001: Hollanda’da geliştirilmiş bir yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi olan CML 2001, zarara yönelik yöntemlerden biri olup, özellikle abiyotik kaynak kullanımı, iklim değişikliği, ozon tabakası incilmesi ve toksiklik özelliklerinin incelenmesi için tercih edilmektedir.
- Eco-indicator 95: Zarara yönelik bir yöntem olan ve ağırlıklandırma aşamasını da içeren Eco-indicator 95, özellikle ürün tasarımında kullanılması için geliştirilmiş bir yöntemdir.
- Eco-indicator 99: Eco-indicator 95’in geliştirilmesi ve çeşitli etki kategorilerinin bu yönteme eklenmesi ile oluşturulmuş zarara yönelik bir yöntem olan Eco-indicator 99’un özellikle farklı ürünlerin karşılaştırılmasında kullanımı uygundur.
- Ecopoints 97: 1990 yılında ilk olarak sunulan bu yöntem 1997 yılında yenilenmiş ve daha sonra 2004 yılının verileriyle 2005 yılına da uyarlanmıştır. Ecopoints 97 yöntemi, farklı çevresel etkilerin bir araya getirilip ağırlıklandırılmasına olanak sağlamaktadır. Yöntem emisyonlar, su ve toprak kirlenmesi, enerji kullanımı için ağırlıklandırma faktörlerini sunmakta olup İsviçre koşullarına göre oluşturulmuştur.
- EDIP97 ve EDIP 2003: EDIP97 klasik etki değerlendirme yöntemlerinden olup emisyon etkisi, kaynak kullanımı ve çevre etkilerini kapsayan bir yaklaşımdır. Normalizasyon politik olarak çevresel etkilerin azaltılma hedefleri temel alınarak yapılmaktadır. EDIP97, çevresel etkileri daha geniş bir şekilde kapsamasını sağlayacak şekilde yenilenerek EDIP 2003 geliştirilmiştir. EDIP 2003 ile fotokimyasal ozon oluşumu, asidifikasyon, ekotoksiklik, gürültü gibi etki kategorileri de incelenebilir hale gelmiştir.

- EPS 2000d: Ürün geliştirmede çevresel stratejilerin belirlenmesi odaklı bir yöntem olup, veriler insan sağlığı, ekosistem üretim kapasitesi, biyoçeşitlilik, biyotik olmayan kaynaklar ve kültürel değerleri yansıtacak şekilde seçilmektedir.
- GREET: Amerika koşullarına göre geliştirilmiş olan bu yöntem özellikle ulaşımda enerji kullanımı, sera gazı etkisi ve emisyonların incelenmesi durumlarında kullanılmaktadır.
- IMPACT 2002+: Zarara yönelik bir yöntem olup özellikle insan ve çevre üzerindeki toksiklik etkisinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılabilmesi için kullanımı tercih edilmektedir.
- IPCC 2001: Özellikle iklim değişikliğini inceleyen bir yöntemdir.
- JEPIX: Japonya'da geliştirilmiş bir yöntem olup EcoScarcity yöntemini temel almaktadır. Emisyonlar ile Japonya'daki çevre kanunlarının ele aldığı 11 temel alan üzerine yoğunlaşmıştır. Ağırlıklandırma faktörleri Japonya'daki koşullara göre belirlenmiş olup 2003 yılından bu yana 40 adet Japon firması bu yöntemi kullanmış ve yaşam döngüsü değerlendirmelerini yapmıştır. 2006 yılında daha da geliştirilmiş olan bu program üzerinde devlet çalışmaları da sürmektedir.
- LIME: Japonya Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Ulusal Projesi kapsamında oluşturulmuş zarar odaklı bir etki değerlendirme yöntemidir. LIME ile abiyotik kaynakların kullanımının sosyo-ekonomi üzerindeki potansiyel zararları, birincil enerji üretimindeki azalmanın nedenleri ve kaynak tüketimi gibi etkiler incelenmektedir. Sosyo-ekonomik etkinin modellenmesi için kullanıcının masrafı temel alınmaktadır.
- TRACI: Amerika tarafından geliştirilmiş bir etki değerlendirme yöntemi olup ozon tabakasının incelenmesi, iklim değişikliği, asidifikasyon, ötrofikasyon, toksiklik, insan sağlığına etki eden etkenler, kanserojenler ve fosil yakıt kullanımı gibi potansiyel zarar etkileri karakterize edilmektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi için tasarlanmış olmakla beraber, sürdürülebilirlik ve kirliliğin önlenmesi gibi kullanım alanları bulacağı da öngörülmektedir.

YDD çalışmalarında seçilen yöntemlere göre sonuçlar da değişebilmektedir. Yöntem seçiminde dikkat edilecek özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Amaç ve kapsam aşamasında belirlenen hedeflerle örtüşmesi

- Bilimsel geçerliliğinin olması
- Gösterge değerlerinin çevreye uygunluğu, çevreye etkileri veya zararları cinsinden ifade edilebilirliğinin olması
- Tekrarlanabilir ve şeffaf olması, iyi tanımlanmış olması ve hesaplamalar için net bir prosedürün olması
- Gösterge değerlerinin belirsizlik derecesinin ölçülebilirliği
- Uygulanabilirlik
- Sonuçların mantıklı olması ve diğer çevre değerlendirme araçlarından elde edilen bilgilerle örtüşmesi [62,63,66].

2.5.2.4 Yorum

Yorum aşamasında, toplanan verilerden etki değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçların yorumlanması ile istenen ürün, proses veya sistemin seçilmesi sağlanmaktadır. Sonuçlar ile amaç ve kapsamın belirlenmesi aşamasında belirtilmiş olan hedefler karşılaştırılarak açıklayıcı, anlaşılabilir ve tutarlı bir rapor hazırlanmaktadır.

YDD çalışmalarında elde edilen sonuçlarda farklılıklar olması mümkündür. Çalışmalardaki farklı sonuçlar sadece verilerdeki değişik değerler veya bilgi eksikliklerinden kaynaklanmaz. Ortaya çıkan olası farklılıkların nedenlerini şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Yapılan kabuller
- Sistemin tanımlanması ve sınır koşulları
- Seçilen yaklaşım tipi (Kaynaktan tanka veya kaynaktan tekerleğe gibi)
- Temel birim
- Çevresel etki paylaşımı yöntemi
- Referans sistem [62,63,67].

2.6 Kaynak Tarama Çalışması

Bu bölümde, yağ asidi etil esterleri, yağ asidi metil ve etil esterlerin özelliklerinin karşılaştırılması, aspir yağı metil esterleri ve yaşam döngüsü değerlendirmesi başlıkları altında yapılmış kaynak tarama çalışması sunulmaktadır.

Peterson ve arkadaşları, kolza yağı etil esteri üretiminin optimum koşulları üzerinde çalışmışlardır. Buna göre, yağ/alkol mol oranı 1/5, katalizör miktarı ise yağın ağırlıkça %1.43'ü oranında potasyum hidroksit olarak belirlenmiştir. Katalizör olarak sodyumhidroksit yerine potasyumhidroksidin seçilmesinin nedeni olarak sodyumhidroksitin etanol içinde çözünmesi ve buna bağlı olarak reaksiyon sırasında istenmeyen bir jel ve emülsiyon oluşturma eğilimi gösterilmiştir. Reaksiyon oda sıcaklığında altı saatte gerçekleştirilmiştir [68]. Kolza yağı etil esteri üretiminin optimum koşulları üzerinde çalışılan bir başka çalışma ise Korus ve çalışma arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmaya göre kolza yağı etil esteri üretimi için katalizör olarak %0.3-0.5 oranlarında sodyum metoksit veya %1.0 oranında potasyum hidroksit seçilmiş, bunlardan en iyi faz ayrışması sodyum metoksit ile gözlemlendiğinden sodyum metoksidin tercih edilmesi önerilmiştir. Katalizörün potasyum hidroksit olarak seçilmesi durumunda %100 alkol fazlası, sodyum metoksit olarak seçilmesi durumunda ise %50 alkol fazlası kullanılması gerektiği belirlenmiştir [69].

Bouaid ve arkadaşları yüksek oleik ayçiçeği yağı (HOSO), yüksek ve düşük erusik asit Brassica carinata yağlarını (HEBO ve LEBO) etil ester üretiminde kullanmışlardır. Yüzey tepki yönteminin uygulanması sonucunda HEBO ve HOSO etil esterleri için uygun reaksiyon sıcaklığı 32°C ve yağ/alkol mol oranı: 1/5 olarak belirlenirken LEBO etil esteri için uygun reaksiyon sıcaklığı 20°C ve yağ/alkol mol oranı: 1/6 olarak belirlenmiştir [70]. Bouaid ve arkadaşları bir başka çalışmalarında B.carinata yağının etanolle gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonuna etki eden parametreleri incelemişlerdir. Yüzey tepki yönteminin uygulanması sonucunda optimum sıcaklık 35°C olarak belirlenmiş olup ester içeriği %98.04'dür [71].

Kulkarni ve arkadaşları kanola yağının metanol, etanol ve farklı oranlardaki metanol-etanol karışımlarıyla gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonunun koşullarını incelemişlerdir. Buna göre yağ/alkol mol oranı 1/6, katalizör miktarı ise yağın ağırlıkça %1'i oranında potasyumhidroksit olarak belirlenmiştir. Etanol ile gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonunda sıcaklık 70°C olarak belirlenmiştir. Ester ve ester karışımlarının asit değeri, viskozite, yoğunluk, bulutlanma ve akma noktaları gibi özelliklerinin ASTM standartlarına uygunluğu tespit edilmiş ve bu yakıt özelliklerinin No.2 motorinin özelliklerine yakın olduğu belirlenmiştir [72].

Baiju ve arkadaşları Karanja yağı metil ve etil esterlerini alternatif yakıt adayları olarak değerlendirmişlerdir. Etil esterlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin metil esterlerin özellikleriyle hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir. Etil esterlerin viskozitesi metil esterlerin viskozitesine göre daha yüksek olup, etil esterlerin soğukta akış özelliklerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Metil ve etil esterler motorine katılarak performans ve egzoz emisyonları değerlendirilmiştir. Buna göre metil esterler en iyi performansa sahiptir. Metil ve etil esterlerin kullanımıyla egzoz emisyonlarının azaldığı belirlenmiş ve esterlerin alternatif yakıt adayı olarak motorda herhangi bir modifikasyona gerek duyulmaksızın kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [73].

Moser ve arkadaşları Kamelina yağı metil ve etil esteri üretimini incelemişlerdir. Kamelina yağı metil esteri üretimi, yağın ağırlıkça %1'i oranında NaOCH_3 kullanılarak 60°C 'de (yağ miktarı: 200 mL, metanol miktarı: 49 mL, reaksiyon süresi: 1.5 saat) gerçekleştirilirken, Kamelina yağı etil esteri yağın ağırlıkça %1'i oranında KOH kullanılarak 70°C 'de (yağ miktarı: 200 mL, metanol miktarı: 110 mL, reaksiyon süresi: 1.5 saat) üretilmiştir. Kamelina yağı metil ve etil esterlerinin yakıt özellikleri incelendiğinde zayıf oksidatif stabiliteleri ve yüksek iyot sayıları dışındaki özelliklerinin soya yağı, kanola ve palm yağları kullanılarak üretilen metil esterlerin özellikleriyle benzer olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak Kamelina yağı metil ve etil esterlerinin ultra düşük kükürtlü motorin yakıtları için katkı maddesi olarak kullanılabileceği ve yağlayıcılığı arttırıcı özellik göstereceği vurgulanmıştır [74].

Joshi ve arkadaşları soya yağı metil ve etil esteri karışımının üretim koşulları ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi konusunda çalışmışlardır. Soya yağı metil ve etil esterleri yağın ağırlıkça %1'i oranında KOH kullanılarak (reaksiyon sıcaklığı: 30°C , yağ/alkol mol oranı: 1/12, reaksiyon süresi: 1 saat) üretildikten sonra yakıt özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, transesterifikasyon reaksiyonu sırasında etanole metanol katılması ile soya yağı metil ve etil esteri karışımının yakıt özelliklerinin geliştirilebileceği belirlenmiştir [75].

Lupuerta ve arkadaşları atık yemeklik yağların metil ve etil esterlerini incelemişlerdir. Çalışmada üretimde kullanılan alkol cinsinin parçacık oluşumu ve hidrokarbon emisyonları üzerinde önemli etkisi olduğu belirlenmiş ve motorin yerine saf biyodizel kullanılması ile yakıt tüketiminde artış ve hidrokarbon emisyonlarında azalma olduğu sonucuna varılmıştır [76].

Bueno ve arkadaşları soya yağı etil esterinin motorinle karıştırılması durumunda motorun performansını incelemişlerdir. Termal verim açısından %20 biyodizel katkısı ve fren gücü açısından %10 biyodizel katkısının en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir [77].

Işığigür ve arkadaşları Türkiye kökenli aspir yağlarının transesterifikasyonunu gerçekleştirerek aspir yağı metil esterini ilk kez alternatif bir motorin yakıtı olarak değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirme için 19 adet aspir yağı incelenmiş ve transesterifikasyon reaksiyonunda aspir çeşidi olarak Yenice seçilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonu için 18 dakika reaksiyon süresi, 1/7 yağ/alkol mol oranı, yağın ağırlıkça %1'i oranında potasyumhidroksit ve 69°C reaksiyon sıcaklığı optimum koşullar olarak belirlenmiştir [78].

Aspir yağı metil esteri üzerine bir başka çalışma da Meka ve arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Meka ve arkadaşları aspir yağı metil esteri üretiminin optimum koşulları üzerine çalışmışlardır. Bunun için sıcaklık, yağ/alkol mol oranı ve katalizör miktarının etkisi incelenmiş ve en uygun koşul olarak 1/6 yağ/alkol mol oranı, yağın ağırlıkça %2'si oranında sodyumhidroksit seçilmiş ve uygun reaksiyon sıcaklığı 60°C olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda elde edilen ester içeriği %96.5 olarak belirlenmiştir [79].

Rashid ve arkadaşları yağ/alkol mol oranı, sıcaklık, karıştırma hızı, katalizör miktarı ve katalizör cinsinin aspir yağı ve metanolün tranesterifikasyon reaksiyonu üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. %98 oranında ester içeriğinin elde edildiği reaksiyon koşulları şu şekilde tespit edilmiştir: Reaksiyon sıcaklığı: 60°C, yağ/alkol mol oranı: 1/6, katalizör miktarı: yağın ağırlıkça %1.9'u oranında NaOCH₃, karıştırma hızı: 600 rpm. Elde edilen ester ürünün pek çok özelliğinin ASTM D 6751 ve EN 14214 standartlarına uygun olduğu ancak ürünün soğukta filtre tıkanma noktası, bulutlanma noktası ve akma noktasının motorine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir [80].

Düz ve arkadaşları aspir yağı metil esteri üretimini mikrodalga ışınlaması yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Transesterifikasyon reaksiyonu koşulları şu şekildedir: Katalizör miktarı: yağın ağırlıkça %1'i oranında NaOH, yağ/alkol mol oranı: 1/10, reaksiyon süresi: 6 dakika. Elde edilen ürünün yakıt özellikleri No.2 motorinin yakıt özellikleri ile karşılaştırılmış ve mikrodalga ışınlaması yönteminin trigliseritlerin

metanol ile alkoliz reaksiyonunun gerçekleştirilmesinde hızlı bir alternatif yöntem olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [81].

İlkılıç ve arkadaşları aspir yağı metil esteri ve B5, B20, B50 alternatif yakıtlarının bazı önemli fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemişler ve motorda performans ve emisyon testlerini yürütmüşlerdir. Sonuç olarak aspir yağı metil esterinin emisyon azaltımındaki avantajları vurgulanırken alternatif bir yakıt adayı olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [82].

Kim ve Dale biyodizel ve biyoetanol üretmek amacıyla mısır ve soyanın farklı hasat sistemleri ile üretiminin yaşam döngüsü değerlendirmesini incelemişlerdir. Iowa'daki Scott bölgesinde gerçekleştirilen ekimlerde mısır ve soyanın rotasyonlu ekimi, mısırın sürekli ekimi, sapların %50'sinin toplandığı mısırın sürekli ekimi ve sapların %70'inin toplandığı ve kışın buğdayın ekildiği mısırın sürekli ekimi olmak üzere dört farklı hasat modeli denenmiştir. Temel birim olarak 1 hektarlık alan seçilmiş ve ekilen tüm ürünün biyoyakıt üretimi için kullanıldığı varsayımı yapılmıştır. Fosil yakıt tüketimi, iklim değişikliği, asidifikasyon ve ötrofikasyon etkilerinin incelenmesi için TRACI modeli kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre daha yüksek etanol üretim hızı ve lignince zengin olan fermentasyon atıklarından enerji kazanımı mısır saplarının hammadde olarak kullanımının avantajlarını oluştururken, sapların hasatı için daha fazla yakıt tüketimi ve topraktaki organik karbon birikme hızının daha az olması dezavantajlar arasındadır. Kışlık ekim yapılması ise organik karbon oranının bozulması ve toprak erozyonu gibi dezavantajları önlemektedir. Buna bağlı olarak sapların hasat edildiği ve kışın da ekim yapılan hasat sistemi çevresel açıdan en uygun sistem olarak belirlenmiştir. İncelenen dört sistem de sera gazı emisyonu azalması ve fosil yakıt tüketimi azalmasına katkıda bulundukları için avantaj sağlamaktadır [83].

Kiwjaroun ve arkadaşları, palm yağının hammadde olarak kullanıldığı iki tip biyodizel üretiminden hangisinin çevreye daha çok olumlu katkısı olduğunu incelemişlerdir. Bunlar alkali katalizörlerin kullanıldığı metanol ile transesterifikasyon ve süperkritik metanol prosesleridir. Çevresel etkilerin incelenmesi için Hysys. Plant Version 3.2 proses simülatöründen elde edilen bilgiler kullanılmıştır. Hysys ile biyodizel üretimi sırasında kullanılan malzeme ve enerji tüketimleri değerlendirilmiş ve buradan elde edilen bilgiler SimaPro 7 ve Eco-indicator 99 kullanılarak yaşam döngüsü değerlendirmesi için girdi olarak

kullanılmıştır. Temel birim olarak 1 kg biyodizel seçilmiş ve iklim değişikliği, kanserojenler, solunumla ilgili organik ve inorganikler, ozon tabakası incelmesi, ekotoksiklik, asidifikasyon ve ötrofikasyon, mineraller, radyasyon, alan kullanımı ve fosil yakıtlar olmak üzere 11 kategori incelenmiştir. Geleneksel alkali katalizörlerin kullanıldığı prosesin süperkritik prosese göre daha az enerji tükettiği belirlenmiştir. Alkali katalizörlü proses 11 kategoriden 7 tanesinde daha az çevresel etkiye sahipken süperkritik metodun 3 kategoride daha az zarar verdiği belirlenmiştir. Bunlar, radyasyon, ozon tabakası incelmesi ve alan kullanımı olup zararın az olmasının nedeni sodyum hidroksit ve fosforik asit gibi kimyasalların kullanılmaması ile sıvı ve katı atık oluşturmaması olarak belirlenmiştir. Zarar etkilerinin (insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kullanımı) değerlendirilmesinde ise süperkritik prosesin oluşturduğu zararların daha fazla olduğu belirlenmiştir. Daha iyi bir değerlendirme yapabilmek için normalizasyon yapılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çevresel açıdan değerlendirildiğinde süperkritik metodu uygulanabilir yapabilmek için metanol geri kazanım prosesindeki distilasyon kolonunun daha az enerji harcayan farklı bir teknoloji ile değiştirilmesi veya iki kademeli süperkritik yöntemin uygulanması önerilmiştir [84].

Contreras ve arkadaşları, şeker üretiminin yan ürün ve atıklarını karşılaştırmak amacıyla dört alternatif sistem incelemiştir. Çalışmada temel olarak günde 216 ton şeker kamışı üretim kapasitesi olan bir şeker değirmeni ele alınmıştır. Birinci alternatif Küba'daki geleneksel şeker üretimini ele almaktadır. Küspe, elektrik ve ısı ihtiyacı için yakılmakta ve yanmadan kaynaklanan kül ve filtre pastası toprağa atılmaktadır. İkinci alternatifin birinci alternatiften farkı atık suyun sulama için, filtre pastası ve külün ise sentetik gübre yerine kullanılmasıdır. Üçüncü alternatifte filtre pastası ve atık su biyogaz üretiminde kullanılırken çıkan çamur ve atık su ile gübreleme ve sulama yapılmaktadır. Elde edilen biyogaz şeker değirmeni çevresindeki evlerde pişirme amaçlı kullanılmaktadır. Dördüncü alternatifte ise melastan alkol üretimi ile şeker ve alkol üretiminden kaynaklanan atıklardan biyogaz üretimi söz konusudur. Bu dört alternatifin karşılaştırılması için SimaPro 6.0 ve Eco-indicator 99 kullanılmıştır. Ecoinvent veritabanı ve kaynaklardan toplanan veriler Küba şeker üretimine göre uyarlanmıştır. İncelenen çevresel kategoriler kanserojenler, solunumla ilgili etkiler, iklim değişikliği, ozon tabakası, radyasyon, toksiklik, alan kullanımı, asidifikasyon, ötrofikasyon, fosil yakıtlar ve mineraller

şeklinde. Yapılan ağırlıklandırma sonucunda çevre üzerinde en etkili etkilerin alan kullanımı ve solunum etkileri olduğu belirlenmiştir. Solunum etkilerini azaltmak için atık gazın işleme tabi tutulması gerektiği belirtilmiştir. Alan etkisi ise özellikle yenilenebilir kaynaklarda etkin bir faktör olarak görülmektedir. En iyi alternatif sistem olarak biyogaz ve alkolün beraber üretildiği dördüncü sistem seçilmiştir. Yapılacak iyileştirmelerle bu alternatif sistem çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilir hale dönüştürülebilecektir [85].

Halleux ve arkadaşları, şeker pancarı etanolü ve kolza metil esterinin yaşam döngüsü değerlendirmesini yaparak fosil yakıtlarla karşılaştırıp biyoyakıtların çevresel avantajlarını ortaya koymuşlardır. Ayrıca etanol ve metil esterin kendi aralarında karşılaştırılması da yapılmıştır. Bu karşılaştırma iki biyoyakıtın kullanımı benzer iken üretimlerindeki sınırlayıcı parametrenin kullanılabilir alan olması açısından seçim için önem teşkil etmektedir. Sistem sınırları üretim kademesini içerdiği gibi yakıtın kullanımı ve farklı yan ürünlerin değerlendirilmesini de kapsamaktadır. Temel birim olarak orta büyüklükteki yeni bir arabayı çevreleyen 100 km'lik bir alan seçilmiştir. Kanserojen etkiler, solunumla ilgili organik ve inorganikler, iklim değişikliği, ekotoksiklik, asidifikasyon, ötrofikasyon ve fosil yakıtlar gibi çevresel kategoriler SimaPro programı kapsamında Eco-indicator 99 yöntemi ile incelenmiştir. Veriler literatür ve Ecoinvent veritabanı kullanılarak elde edilmiştir. Karakterizasyon sonuçlarına göre biyodizel en az çevresel etkiye sahip sistem olarak belirlenirken, etanolün sadece iklim değişikliği ve fosil yakıt tüketiminde benzine oranla iyileşme sağladığı belirlenmiştir. Normalizasyon yapıldıktan sonra fosil yakıt kategorisinin diğer kategorilere göre daha etkili olduğu ve metil esterin en az fosil yakıt tüketimine sahip olduğu belirlenmiştir. Yan ürünler dikkate alınmadığı takdirde biyodizel ve bioetanolün çevreye olan etkisi hemen hemen aynıdır, ancak yan ürünlerin değerlendirilmesi biyodizele büyük avantajlar sağlamaktadır. Sonuç olarak biyoyakıt üretiminin fosil yakıtlara oranla çevresel etki açısından avantajlar sağladığı belirlenmiş, ancak özellikle şeker pancarı etanolü için geliştirmeler yapılması gerektiği belirtilmiştir [86].

Gabrielle ve Gagnaire, buğdaydan etanol üreten bir tesiste ısı ve güç üretiminin yarısının doğal gaz yerine birleşik ısı ve güç sistemi oluşturularak buğday samanından sağlanması durumundaki potansiyeli incelemişler, bu alternatif sistemin yaşam döngüsü değerlendirmesini yaparak doğalgaz ile çalışan sistemle

karşılaştırmışlardır. İncelenen alanda farklı ürünlerin rotasyonu sözkonusudur. Çalışmada CERES modeli Fransa koşullarına göre uyarlanmış ve model toprak türü, hava koşulları ve ürün yönetimi etkenlerinin kombinasyonunda çalıştırılmıştır. Ürün yönetiminde hangi ürünün hangi sırayla ekileceği ve buğday samanının alandan hangi sıklıkla kaldırıldığı yani toplanma frekansı değişkenleri incelenmiştir. Kaynakların azalması, iklim değişikliği, asidifikasyon, ötrofikasyon ve ozon tabakasının incelmesi incelenen kategoriler arasındadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi sonucunda özellikle iklim değişikliği ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı kategorilerinde saman kullanımının avantajlı olduğu görülmüştür. Saman kullanımı ötrofikasyon ve asidifikasyon kategorilerinde çok tercih edilmese de, genel olarak bakıldığında fosil kaynaklar yerine saman kullanımının çevresel kazançları bu çalışma ile belirlenmiştir [87].

Xunmin ve arkadaşları, Çin'de kullanılan altı tip biyoyakıtın yaşam döngüsü değerlendirmesi ile enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarını belirlemiştir. Bu biyoyakıtlar, mısır etanolü, cassava etanolü, sorgum etanolü, soya biyodizeli, jatropha biyodizeli ve kullanılmış yağ kökenli biyodizel şeklindedir. Çalışmada, Tsinghua-CA3EM modelinin Kaynaktan Tekerleğe analiz modülü kullanılmıştır. Model GREET modelinin Çin koşullarına uyarlanması ile elde edilmiştir. Temel birim olarak 1 MJ biyoyakıt ele alınmış ve analiz kaynaktan pompaya ve pompadan tekerleğe olmak üzere iki kademede gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak mısır etanolü, sorgum etanolü ve soya biyodizeli için enerji çıktısının 1.0-1.5 katı kadar fosil enerji girdisi gerekirken cassava etanolü, kullanılmış yağ kökenli biyodizel ve jatropha biyodizeli için enerji çıktısının 0.5-0.9 katı kadar fosil kaynak kullanımının gerekli olduğu belirlenmiştir. Mısır etanolü ve soya biyodizeli sadece fosil yakıt tüketimini azaltırken, sera gazı emisyonlarını arttırmaktadır. Soya etanolü hem fosil yakıt tüketimi hem de sera gazlarını arttırırken, jatropha biyodizeli, cassava etanolü ve kullanılmış yağ kökenli biyodizel ise yakıt tüketimi ve sera gazlarını azaltmaktadır. Yüksek enerji tüketimi ve emisyonu neden olan etkenler yakıt üretimi esnasında yüksek enerji kullanımı ve hammadde üretimi esnasındaki yüksek oranda gübreleme olarak belirlenmiştir [88].

Luo ve arkadaşları, biyoetanol ve benzinin yaşam döngüsü değerlendirmesi ile yaşam döngüsü maliyetini analiz etmişlerdir. Benzin ve etanol arasında bir karşılaştırma yapıldığı gibi iki farklı etanol üretim prosesi incelenmiştir. Bunlar, şekerden etanol

üretimi ve küspeden ısı-elektrik üretimi ile şeker ve küspeden etanol üretimi ve atıktan ısı-elektrik üretimi şeklindedir. Temel birim olarak orta büyüklükteki bir aracın 1 km boyunca sürülmesi durumundaki enerji ihtiyacı temel alınmıştır. Yakıt alternatifleri olarak benzin, E10, E85 ve etanol incelenmiştir. Tarım ve proses verileri Brezilya koşullarına göre belirlenmiş ve SimaPro programı kapsamında CMLCA yöntemi ile abiyotik tükenme, sera gazı emisyonları, ozon tabakası incelmeleri, fotokimyasal oksidasyon, ekotoksiklik, asidifikasyon ve ötrofikasyon gibi çevresel etkiler incelenmiştir. Benzin toksiklik, asidifikasyon ve ötrofikasyon kategorilerinde etanole göre avantajlı iken, incelenen diğer kategorilerde etanol daha iyi değerler göstermiştir. Küspenin de etanol üretiminde kullanıldığı proseste sera gazı emisyonu etkisi dışındaki tüm kategorilerde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Tüm etanollü yakıtlar benzine göre daha ekonomik bulunmuş, küspenin etanol üretiminde kullanıldığı proses diğer proseslere göre daha ekonomik olarak belirlenmiştir, ancak yine de çıktıların baz alınan petrol fiyatlarına göre değişebileceği belirtilmiştir [89].

Yee ve arkadaşları, palm yağı kökenli biyodizelin sera gazı emisyonları ile enerji tüketimlerini inceleyerek motorin ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca kolza yağı için enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları benzer bir yaklaşımla belirlenerek palm yağı ile karşılaştırılmıştır. Temel birim, enerji dengesi için GigaJoule/ton ham palm yağı, sera gazı emisyonu değerlendirmesi için ton CO₂/ton biyodizel/yıl olarak seçilmiştir. Sistem sınırları tarım, palm yağının öğütülmesi ve transesterifikasyon olmak üzere üç kademeyi kapsamakta olup tarım aşamasından transesterifikasyon reaksiyonu sonuna kadar üretim için kullanılan enerji miktarı hesaplanmıştır. Kolza yağı kökenli biyodizel için de yapılan benzer hesaplamaların sonucunda her iki alternatifin de motorine göre, palm biyodizelinin ise kolza kökenli biyodizele göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kolza ve palm kökenli biyodizelin motorine oranla CO₂ miktarında net bir azalma sağladığı da belirlenmiştir [90].

Su ve arkadaşları, 2007 yılında %98.36 oranında enerjide dışa bağımlı olan Taiwan'daki biyoyakıtların durumunu inceledikten sonra, örnek olarak şeker kamışı etanolü ile soya ve kolza biyodizeli için yaşam döngüsü verilerini toplayarak enerji ve hammadde girdileri ile kirlenici ve CO₂ emisyonlarını ele alarak biyoyakıtların çevresel etkilerini incelemişlerdir. Temel birim olarak 1 yılda 1 hektar alandan üretilen biyoyakıt belirlenmiştir. Sonuç olarak etanol ve biyodizelin yakılmasından

kaynaklanan CO₂ miktarının fosil yakıtlara göre daha az olduğu belirlenmiştir. Etanol üretimi enerji kazancı açısından pozitif bir değere sahip iken kolza kökenli biyodizel dışındaki bazı biyodizellerde (soya ve ayçiçeği gibi) negatif değerler bulunmuştur [91].

Gnansounou ve arkadaşları, yöntem seçimi ve yerel koşulların yaşam döngüsü değerlendirmesi sonuçlarını nasıl etkilediğine değinerek, İsviçre'deki bir buğday etanolü üretimini örnek olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, İsviçre'de taşıma yakıtı olarak kullanılan susuz etanolün üretim, dağıtım ve kullanımı kaynaktan tekerleğe yaklaşımı kullanılarak incelenmiştir. Temel birim olarak 1 km seçilmiştir. Yaşam döngüsü verileri Enerji Görüşü ve İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü (Energy Concept and the Swiss Federal Institute of Technology, ENERS) tarafından geliştirilen bir model kullanılarak oluşturulmuştur. Bu model Excel'e dayalı olup Ecoinvent v2.0 verilerini kullanmaktadır. Model kaynak tüketimi (enerji, kimyasal, alan, su, altyapı) ve emisyon yayılımını raporlamaktadır. Temel sera gazları olarak CO₂, CH₄ ve N₂O incelenmiştir. Biyoetanol üretimi ve kullanımı sırasında yayılan CO₂ hemen hemen bitkinin fotosentez esnasında kullandığı CO₂'e eşit olduğundan sadece fosil CO₂ emisyonu dikkate alınmıştır. N₂O emisyonları için ise Ecoinvent veritabanında da bulunan Agroscope modeli kullanılmıştır. Yakıt alternatifleri olarak E5, E10 ve E85 incelenmiştir. Çevresel etkinin farklı şekillerde paylaştırılması durumunda ise etanolün benzine göre en az %36 oranında sera gazı emisyonunda azalma sağladığı görülmüştür. Ekim alanının değiştirilmesi de önemli bir faktördür. Enerji bitkilerinin ekimi için ormanların kesilmesi durumu dışında etanolün sera gazı emisyonları benzine göre her zaman daha azdır ve kabullere bağlı olarak sera gazı azalımı -24% ile 38.3 arasında değişik değerler almıştır [67].

Renouf ve arkadaşları, Avustralya'daki şeker kamışından şeker üretimini şeker pancarı ve mısırdan şeker üretimi ile karşılaştırarak çevresel performansını belirlemiş ve bu inceleme için yaşam döngüsü değerlendirmesini kullanmışlardır. Şeker kamışı sisteminin yaşam döngüsü değerlendirmesi için referans sistem olarak Avustralya üretiminin %94'ünün sağlandığı Queensland seçilmiştir. Sistem ekimden kamışların öğütülmesi ve kamış özsuyunun saflaştırılmasına kadar tüm aşamaları içerecek şekilde belirlenmiş, temel birim olarak 1 kg monosakkarit seçilmiştir. Her bir ürünün yaşam döngüsü değerlendirme sonuçlarının belirlenmesi için SimaPro programı kapsamında Eco-indicator 95 yöntemi kullanılmış ve enerji girdisi, sera gazı

emisyonu, asidifikasyon, ötrofikasyon ve su kullanımı gibi çevresel kategoriler incelenmiştir. Sonuç olarak şeker kamışının enerji girdisi ve sera gazı emisyonları kategorilerinde özellikle küspenin enerji kaynağı olarak kullanımı sayesinde mısır ve şeker pancarına göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Şeker kamışının N_2O salımı daha fazla olmasına rağmen üretiminin yüksek verimli oluşu bu noktadaki dezavantajı da ortadan kaldırmakta ve böylece asidifikasyon da negatif bir etken olmamaktadır. Ötrofikasyon etkisi ise küspenin daha verimli yakılmasıyla engellenebilecek bir faktördür. Şeker kamışının en büyük dezavantajı sulama ihtiyacının çok olmasıdır. Genel olarak sonuçları etkileyen faktörler yan ürünler, monosakkarit verimi ve azot yönetimi olmak üzere üç başlık altında toplanmıştır [92].

Joliet ve arkadaşları, orta nokta ve zarar etkileri doğrultusunda olan yaklaşımların kombinasyonu olarak uygulanabilecek IMPACT 2002 modelini incelemişlerdir. IMPACT 2002 yönteminde özellikle toksiklik ve ekotoksiklik kategorilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi mümkün kılınmış, diğer kategorilerde ise Eco-indicator 99 ve CML 2002 yöntemleri temel alınmıştır. Toksikliğin detaylı incelenmesine rağmen yine de gürültü ve su kullanımı gibi bazı alanlarda eksiklikler olduğu ve daha fazla veriye ihtiyaç duyulduğu, bu alanda iyileştirmeler yapılması gerektiğine de değinilmiştir [65].

Kendall ve arkadaşları Amerika'daki mısır etanolü üretimini örnek sistem olarak ele alıp biyoyakıtlar için gerçekleştirilen yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarını inceleyip değerlendirmişlerdir. Biyoyakıt olarak mısır etanolünün seçilmesinin nedeni en çok verinin bu alanda toplanabiliyor olması ve bu biyoyakıtın Amerika biyoyakıt tüketim ve kullanımında en büyük orana sahip olması şeklinde açıklanmıştır. Çalışmada yaşam döngüsü sera gazı emisyon hesabı konusunda 13 çalışma ve 3 model incelenmiştir. Bu çalışmalarda biyoyakıt performansı enerji verimliliği, net sera gazı emisyonu ve toplam çevresel etki başlıkları altında tanımlanmıştır. Çalışmalardaki en büyük farklılık kullanılan alan değişiminin etkisinin incelenip incelenmemesi ve sera gazı emisyonlarının biyojeokimyasal kaynaklarının hesaba katılıp katılmamasıdır. N_2O emisyon hesabı yapan bazı çalışmalarda IPCC yöntemi, bazı çalışmalarda ise DAYCENT yöntemi kullanılmıştır. Bunun yanı sıra GREET, EBAMM ve BESS yöntemlerinden de bahsedilmiştir. EBAMM yöntemi etanolün yaşam döngüsü sera gazı emisyonu

hesaplamalarının belirlenmesi ve sistem sınırlarının normalizasyonu için kullanılmıştır. BESS yöntemi ise Nebraska üniversitesinde GREET yöntemini temel alarak oluşturulmuş, etanol üzerine yoğunlaşmış ve gelecekteki sera gazı emisyon sertifikasyon ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Her iki yöntem de biyoyakıtların yaşam döngülerindeki gerçek sera gazı emisyon değerlerini en doğru şekilde modellemeyi amaçlamaktadır. Sonuç olarak sera gazı emisyon hesaplamaları için şu yeniliklerin yapılması gerektiği belirtilmiştir: N₂O emisyon modellemeleri pek çok çalışmada hiç yapılmamıştır ya da eksik yapılmıştır, bu konuda ilerlemeler yapılmalıdır. Çevresel etkinin paylaştırılması çalışmalarda farklı şekillerde uygulanmıştır ve raporlamada şeffaflık eksiktir, bu durum düzeltilmelidir. Kullanılan alan değişikliği etkileri genelde ihmal edilmektedir, bu etki de çalışmalara katılarak daha doğru sonuçların eldesi mümkün olabilecektir [60].

Dreyer ve arkadaşları, EDIP97 yöntemini Eco-indicator 99 ve CML 2001 yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. En önemli farklılık EDIP97 ve CML 2001 yöntemleri probleme odaklanırken Eco-indicator 99 yönteminin oluşan zararı incelemesi olarak belirlenmiştir. Yani iki model çevresel mekanizmanın içindeki herhangi bir noktada emisyonlar ve zararlar arasındaki etkileri incelerken, Eco-İndicator 99 insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynaklar gibi korunması gereken alanlara gelen zararı modellemek için çalışmaktadır. Karşılaştırmalar için sistem olarak bir boyanın yaşam döngüsü seçilmiş, temel birim ise 20 yıllık süre boyunca bir mutfak dolabının dekorasyon ve kullanımı olarak belirlenmiştir. CML 2001 ile EDIP 97 arasında yapılan sayısal karşılaştırma sonucunda toksiklik kategorisi dışındaki özelliklerde (iklim değişikliği, fotokimyasal ozon oluşumu, ötrofikasyon ve asidifikasyon, ozon tabakası incilmesi) farkın az olduğu ve toksiklik etkilerinin yaşam döngüsü değerlendirmesinde çok büyük rol oynamadığı durumlarda hangi yöntemin seçileceğinin fark yaratmadığı sonucuna varılmıştır. Eco-indicator 99 ve EDIP 97 karşılaştırması sonucunda ise toplam sonucun aynı büyüklükte olduğu ancak sonuca katkı yapan emisyonların farklı değerlere sahip olduğu belirlenmiş ve modellemedeki farklılıklardan ötürü başka bir ürün kullanıldığında sonuçlarda farklılıklar olabileceği belirtilmiştir [66].

Davis ve arkadaşları Orta Batı Amerika'da mısır, switchgrass, miscanthus ve mısır-soya, mısır-soya-buğday gibi rotasyonlu ekimlerden elde edilen etanol üretimini inceleyen çalışmaları karşılaştırarak bir değerlendirme yapmışlardır. İncelenen

çalışmalarda net enerji değeri (biyoyakıt üretimi için gereken enerji ile elde edilen kullanılabilir enerji arasındaki fark) -2.63 MJ m^{-2} ile 12.85 MJ m^{-2} arasında değişmekte, yakıt enerji oranı (üretilen yakıtın enerjisinin üretim için kullanılan fosil enerji miktarına oranı) 0.44 ile 5.6 arasında, toplam sera gazı emisyon yayılımı ise $-89 \text{ Mg CO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$ ile $9.6 \text{ CO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$ arasında değişmektedir. Farklı değerlerin elde edilebilmesinin nedeni olarak ise verimlilik terimlerinin farklı tanımlanması, yaşam döngüsü verilerinin farklı olması ile sistem sınırlarının farklı belirlenebilmesi gösterilmiştir. Tüm değerler incelendiğinde ise tüm biyoyakıtların sera gazı emisyonlarında net bir azalma sağlandığı görölmüş ve daha sağlıklı YDD çalışmalarının yürütölmesi için çevrebilimci, ekonomist ve mühendislerin beraber çalışarak oluşturacağı yeni yöntemlerin oluşturulması gerektiğine dikkat çekilmiştir [93].

Lechon ve arkadaşları, arpa ve buğdaydan üretilen biyoetanol, benzin, bitkisel yağlardan üretilen biyodizel, atık yağlardan üretilen biyodizel ve motorin için yaşam döngüsü değerlendirmesini yaparak karşılaştırmışlardır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi sadece enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları kategorileri incelenerek sınırlandırılmış, temel birim olarak 1 km seçilmiştir. Sistem sınırları genişletilerek çevresel etki paylaşımı kullanılmamıştır. Biyoetanol ve biyodizel üretiminden oluşan küspenin hayvan yemi olarak, biyodizel üretimi yan ürünü olan gliserinin ise sentetik gliserin veya propilenglikol olarak kullanılabileceği varsayımı yapılmıştır. Biyoetanolün tümünün kullanıldığı (A), biyodizelin tümünün kullanıldığı (B) ve biyodizel ile biyoetanolün eşit oranlarda kullanıldığı (C) durum olmak üzere üç tip senaryo incelenmiştir. Buna göre, fosil yakıtlar yerine biyoyakıt karışımlarının kullanılması sera gazı emisyonu kategorisinde olumlu sonuçlar sağlamakta ve bu olumlu sonuç biyoyakıt oranının artmasıyla daha da fazlalaşmaktadır. En iyi sonuçlar atık yağlardan üretilen biyodizel ile elde edilmiştir. Gerek fosil enerji tüketimi gerekse sera gazı emisyonları açısından en kötü sonuçlar palm yağından üretilen biyodizelde gözlemlenirken, yerli ayçiçeğinden üretilen biyodizel her iki kategoride de pozitif sonuçlar vermiştir. Biyoetanol üretimi ise birleşik ısı ve güç sistemi olmadan geręekleřtirildięinde fosil enerji kazancı açısından negatif sonuçlar vermiş olup çok az miktarda sera gazının engellemesini sağlayabilmiştir. Sera gazı emisyonları değerlendirildiğinde en iyi senaryo olarak A senaryosu, enerji tüketimi değerlendirildiğinde ise en iyi senaryo olarak B senaryosu belirlenmiştir. Senaryo

seçimlerinde de diğerk sonuçların değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Örneğin, sera gazı emisyonları ve enerji tüketiminin azalması isteniyorsa ve biyodizel seçilecekse, palm yağı kökenli biyodizel en az oranda kullanılırken yerli ayçiçeğinden üretilen biyodizel en yüksek oranda kullanılmalıdır [94].

Blottnitz ve arkadaşları, farklı hammaddelerden (mısır, buğday, patates, cassava, ligno-selüloz, şeker kamışı ve şeker pancarı, küspe ve melas gibi atık hammaddeler) farklı yerlerde üretilen ve ulaştırma yakıtı olarak değerlendirilen biyoetanol üzerine yürütölmüş YDD çalışmalarını incelemişlerdir. Karşılaştırma fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sağlık ve çevreye olan etkilerin azaltılması olmak üzere üç ayrı kategoride yapılmıştır. Sonuç olarak tüm çalışmalarda biyoetanolün fosil kaynaklar yerine kullanılmasının ya da katkı olarak kullanılmasının enerji dengesinde net bir enerji kazandırmakta olduğu belirlenmiş, ancak çalışmalarda değerlendirmelerin ilk kaynaktan son kullanıma kadar yapılması gerektiği ve asidifikasyon, ötrofikasyon, toksiklik ve alan kullanımı gibi kategorilerde daha fazla veriye ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir [95].

Quirin ve arkadaşları, Yanmalı Motorlar Araştırma Derneği (Research Association for Combustion Engines, FVV) ve Enerji ve evre Araştırma Enstitüsü (Institute for Energy and Environmental Research, IFEU) aracılığıyla biyoyakıtların çevresel etkileri ve maliyetleri üzerine yapılmış çalışmaları inceleyerek eksiklikler ve gelecekte yapılması gerekenleri ortaya koymuşlardır. Bu inceleme için 800 çalışma gözönünde bulundurulmuştur. Bunlardan 63 alışma detaylı bir analiz verirken 109 çalışma farklı biyoyakıtların enerji ve CO₂ dengeleri hakkında bilgi vermektedir. Çalışmalarda genellikle üretimden tüketime kadar tüm yaşam döngüsü ele alınmıştır. Biyoyakıtların enerji ve sera gazı emisyon dengeleri, çevresel etkiler ve maliyet analizleri üzerine elde edilen sonuçlar birbirinden farklıdır. Bunun ana nedenleri arasında ekim aşamasıyla ilgili yapılan farklı varsayımlar ve yan ürünlerin farklı şekillerde değerlendirilmesinin geldiği belirtilmiştir. Biyoyakıtlar fosil yakıtlarla karşılaştırıldıklarında çevresel avantaj ve dezavantajlardan her ikisini de göstermektedirler. Fosil yakıt kullanımının ve sera gazı etkisinin azaltılması en önemli avantajlar olarak belirtilmektedir. Farklı biyoyakıtların karşılaştırılması sonucunda ise etil tersiyer butil eterin enerji dengesi ve sera gazı dengesinde diğerk biyoyakıtlara göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Biyoetanolün biyodizele göre daha avantajlı olup olmaması ise hammaddeye bağlı olarak değişmektedir. Sistem

sınırlarının aynı seçilmesi durumunda biyodizel bitkisel yağa göre daha avantajlı bulunmuştur. Enerji bitkilerinden biyoyakıt eldesinin dezavantajları ise ötrofikasyon, asidifikasyon ve ozon incilmesi alanlarında ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni genelde tarım aşamasından gelen azot bileşikleridir. Çalışmada avantajların dezavantajlardan daha önemli olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak çalışmalarda eksiklikler olduğu vurgulanmış, farklı hammaddelerden elde edilen biyoyakıtların da yaşam döngüsü değerlendirmesinin yapılması gerekliliğine dikkat çekilmiştir [96].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, aşağıda sıralanan başlıklar altında yürütülen deneysel çalışmalar sunulmaktadır:

- Aspir yağının karakterizasyonu
- Laboratuvar ölçeğinde aspir yağı etil esteri üretimi
- Alternatif motorinlerin yakıt özelliklerinin belirlenmesi

3.1 Kullanılan Hammaddeler

Aspir yağının transesterifikasyon reaksiyonu alkol olarak etanol, katalizör olarak sodyum hidroksit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan rafine aspir yağı, 2007-2008 DB Tarımsal Enerji San. ve Tic. A.Ş. sözleşmeli enerji tarımı İç Batı Anadolu hasadı olup, etanol Konya Şeker A.Ş.'ye ait Çumra Şeker Fabrikasında kurulan biyoetanol tesisinden, motorin ve kırsal motorin ise Total Oil Türkiye A.Ş.'den terminal çıkışlı özel tedarik olarak temin edilmiştir. Kullanılan diğer kimyasallar ise analitik saflıkta olup Merck firması ürünüdür.

3.2 Yöntemler

3.2.1 Aspir yağının karakterizasyonu

Aspir yağının özellikleri standart yöntemler ile VİTSAN Gözetim Mümessillik ve Ticaret A.Ş.'de belirlenmiştir. Aspir yağının yağ asidi bileşimini belirlemek için, Hewlett-Packard 5890 II (Hewlett Packard, Walgton, Almanya) cihazı kullanılarak, AOCS Ce 1-62 metotuna göre BF_3 -Metanol kompleksi ile yağın metil esteri hazırlanıp oluşan metil ester karışımı gaz kromatografisi analizi için cihaza verilmiş ve yağ asidi bileşimi belirlenmiştir. Gaz kromatografisi koşulları Çizelge 3.1'de, aspir yağının özellikleri ise Çizelge 3.2'de verilmektedir. Yoğunluk, asit ve iyot değerleri, sabunlaşma değeri, sabunlaşmayan madde içeriği, tortu ve su içerikleri, kırıma indisi ve yağ asidi bileşimi belirlenen özellikler arasında yer almakta olup, aspir yağının ortalama molekül ağırlığı 880.48 kg/mol kg olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1: Gaz kromatografi analiz koşulları.

Dedektör tipi	FID(Alev iyonizasyon dedektörü)
Dedektör sıcaklığı (°C)	280
Enjektör tipi	Dağıtımali
Enjektör sıcaklığı (°C)	250
Gaz hızları (mL/dak)	
Taşıyıcı gaz (N ₂)	4.5
Hidrojen	30
Hava	400
Dağıtma oranı	88:1
Fırın sıcaklığı (°C)	170 (5 dak) 170-275 (10 °C/dak) 275 (10 dak)
Kolon tipi	Kapiler kolon, Ultra 1(25 m×0,32 mm, 0,52 µm kalınlığında %100 dimetil polisiloksan)

Çizelge 3.2: Aspir yağının özellikleri.

Özellikler	Aspir Yağı
Yoğunluk , 20°C, kg/m ³	917.5
Asit Değeri, mg KOH/g	0.27
İyot Değeri, g I/100 g	121
Sabunlaşma Değeri, mg KOH/g	190
Sabunlaşmayan Madde İçeriği, Ağır. %'si	0.88
Tortu İçeriği, Ağır. %'si	0.0004
Su İçeriği, ppm	595
Kırılma İndisi	1.4657
Yağ Asidi Bileşimi, Ağır. %'si	
Miristik Asit C _{14:0}	0.07
Palmitik Asit C _{16:0}	5.36
Palmitoleik Asit C _{16:1}	0.09
Stearik Asit C _{18:0}	1.76
Oleik Asit C _{18:1}	35.71
Linoleik Asit C _{18:2}	56.14
Linolenik Asit C _{18:3}	0.1
Arasidik Asit C _{20:0}	0.29
Eikosenoik Asit C _{20:1}	0.17
Diğerleri	0.32
Yağın Ortalama Molekül Ağırlığı, kg/mol kg	880.48

3.2.2 Laboratuvar ölçeğinde aspir yağı etil esteri üretimi

Aspir yağı ile etanolün transesterifikasyon reaksiyonlarının gerçekleştirilmesi için özel ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ile ± 1 °C hassasiyetiyle kontrol edilen su banyosu içine yerleştirilmiş, 250 mL hacimli, üç boyunlu cam balon kullanılmıştır. Geri soğutucunun kullanıldığı deneylerde karıştırma hızı 1000 devir/dakika olmak üzere sabit tutulmuştur. Belirlenen miktardaki yağ, cam balona alınarak reaksiyon sıcaklığına kadar ısıtılmıştır. Belirlenmiş miktardaki etanol içerisinde çözünmüş sodyum hidroksit, reaksiyon ortamına ilave edilmiştir. Önceden hazırlanan ve içerisinde distile su bulunan tüplere belirli zaman aralıklarında numuneler alınmış ve bu tüpler tuz-buz karışımı içerisinde bekletilerek soğutulmuştur. Numune tüplerinde oluşan üst faz alınarak gaz kromatografisi için gerekli olan numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanması ve analizi TS EN 14103 standardına göre yapılmıştır [97]. Numune şişelerine üst fazdan alınan 250 mg numune üzerine 5 mL metil heptadekonat çözeltilisi ilave edilerek, ester örnekleri hazırlanmış ve aspir yağının aspir yağı etil esterine dönüşüm yüzdeleri Hewlett-Packard 5890 II cihazı kullanılarak VİTSAN Gözetim Mümessillik ve Ticaret A.Ş.'de belirlenmiştir. Gaz kromatografisi çalışma koşulları Çizelge 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.3: Gaz kromatografi çalışma koşulları.

Dedektör tipi	FID(Alev iyonizasyon dedektörü)
Dedektör sıcaklığı (°C)	250
Enjektör tipi	Dağıtmalı
Enjektör sıcaklığı (°C)	250
Dağıtma hızı (mL/dak)	20-100
Taşıyıcı gaz	He
Gaz Hızı (mL/dak)	1-2
Basınç (kPa)	30-100
Fırın sıcaklığı (°C)	200 °C
Kolon tipi	Kapiler kolon (30 m × 0.32 mm, 0.25 µm kalınlığında %100 polietilen glikol)

Kaynak tarama çalışmaları sonucunda, deneylere yağ/alkol mol oranı: 1/6; reaksiyon sıcaklığı: 70 ± 1 °C ve reaksiyon süresi 30 dakika koşullarında başlanılmasına karar verilmiştir [69,72,78-82]. Aspir yağının transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör miktarı değişiminin etkisini incelemek için yağın ağırlıkça %0.5, %0.75, %1, %1.5,

%2 ve %2.5 oranlarında katalizör; yağ/alkol mol oranının değişiminin etkisini incelemek için 1/6 ve 1/7 yağ/alkol mol oranları; sıcaklık değişiminin etkisini incelemek için 50°C, 60°C ve 70°C denenmiş ve aspir yağı etil esteri üretim koşulları saptanmıştır. Üretim koşulları için sonuçlar Bölüm 5.1’de sunulmaktadır. Belirlenen uygun koşullarda aspir yağı etil esteri üretilmiş ve ester ürün rafine edilmiştir.

Laboratuvar ölçeğinde rafinasyon için Karaosmanoğlu ve arkadaşlarının çalışması esas alınmıştır [98]. Transesterifikasyon reaksiyonu sonrasında elde edilen ürün karışımı, oda sıcaklığına getirilerek bir gece ayırma hunisinde bekletilmiş ve gliserin ile ester fazı ayrıştırılmıştır. Elde edilen ham ester fazı, 50°C’deki distile su ile 1:1 oranında, atılan su fazı berrak olana kadar yıkanmıştır. Kurutma işlemi için ester fazı ağırlığının %25’i kadar Na_2SO_4 kullanılmıştır. Ester ağırlığının %25’i oranında tartılıp kızdırılan Na_2SO_4 estere ilave edilerek bir gece bekletilmiş, filtrasyon ile ester fazı Na_2SO_4 ’ten ayrılmış ve aspir yağı etil esteri elde edilmiştir.

3.2.3 Alternatif motorinlerin yakıt özelliklerinin belirlenmesi

Motorin ve alternatif motorin olarak seçilen yakıtlar ve adlandırmaları Çizelge 3.4’te verilmektedir.

Çizelge 3.4: Alternatif motorin olarak seçilen yakıtlar ve adlandırmaları.

Yakıtlar	Adlandırma
Motorin	M
Kırsal Motorin	KM
Aspir Yağı Etil Esteri	AEE
Hacmen %2 oranında aspir yağı etil esteri katkılı motorin	E2m
Hacmen %5 oranında aspir yağı etil esteri katkılı motorin	E5m
Hacmen %7 oranında aspir yağı etil esteri katkılı motorin	E7m
Hacmen %2 oranında aspir yağı etil esteri katkılı kırsal motorin	E2km
Hacmen %5 oranında aspir yağı etil esteri katkılı kırsal motorin	E5km
Hacmen %7 oranında aspir yağı etil esteri katkılı kırsal motorin	E7km

Motorin için TS 3082 (EN 590), aspir yağı etil esteri için TS EN 14214 biyodizel standardı, hacmen %2, %5 ve %7 oranlarında aspir yağı etil esteri katkılı motorin ve kırsal motorinler için TS 3082 (EN 590) standartlarına göre VİTSAN Gözetim Mümessillik ve Ticaret A.Ş’de yakıt özellikleri belirlenmiştir. Çizelge 3.5, aspir yağı etil esterinin yakıt özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri, Çizelge 3.6

ise motorin, kırsal motorin ve hacmen %2, %5 ve %7 oranlarında aspir yağı etil esteri katkılı motorin ve kırsal motorinlerin yakıt özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri göstermektedir. Yakıt özellikleri sonuçları Bölüm 5.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.5: TS EN 14214 standardındaki yakıt özellikleri için kullanılan metotlar.

Özellikler	Test Metodu
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	EN ISO 3675; EN ISO 12185
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	EN ISO 3104
Alevlenme Noktası, °C	EN ISO 3679
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C	
Yaz : 1 Nisan-30 Eylül	EN 116
Kış : 1 Ekim-31 Mart	
Karbon Bakiye, Ağır.%’si	EN ISO 10370
Bakır Korozyon Testi,	EN ISO 2160
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, saat	EN 14112
Asit İndisi, mg KOH/g	EN 14104
İyod İndisi	EN 14111
Ester İçeriği, Ağır.%’si	EN 14103
Kükürt İçeriği, mg/kg	EN ISO 20846; EN ISO 20884
Su İçeriği, mg/kg	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik, mg/kg	EN 12662
Sülfate Kül İçeriği, Ağır.%’si	ISO 3987
Serbest Gliserin İçeriği, Ağır.%’si	EN 14105, EN 14106
Toplam Gliserin İçeriği, Ağır.%’si	EN 14105
Fosfor İçeriği, mg/kg	EN 14107
Metanol İçeriği, Ağır.%’si	EN 14110
Trigliserid İçeriği, Ağır.%’si	EN 14105
Digliserid İçeriği, Ağır.%’si	EN 14105
Monogliserid İçeriği, Ağır.%’si	EN 14105
Grup I Metaller (Na+K), mg/kg	EN 14108; 14109; 14538
Grup II Metaller (Ca+Mg), mg/kg	EN 14538
Linolenik Asit Metil Esteri Miktarı, Ağır.%’si	EN 14103
Poli Doymamış Metil Ester Miktarı, Ağır.%’si	EN 15779

Çizelge 3.6: TS 3082 standardındaki yakıt özellikleri için kullanılan metotlar.

Özellikler	Test Metodu
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	EN ISO 3675; 12185
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	EN ISO 3014
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Ağır.%'si	EN 12916
Kükürt İçeriği, mg/kg	EN ISO 20846;20884
Alevlenme Noktası, °C	EN 22719
Karbon Bakiye, Ağır.%'si	EN ISO 10370
Kül İçeriği, Ağır.%'si	EN ISO 6245
Su İçeriği, mg/kg	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik, mg/kg	EN 12662
Bakır Korozyon Testi	EN ISO 2160
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, g/m ³	EN ISO 12205
Yağ Asidi Metil Esteri, Hacim %'si	EN 14078
Distilasyon Testi :	
250°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si	EN ISO 3405
350°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si	EN ISO 3405
%95'in (Hacmen) Elde Edildiği Sıcaklık	EN ISO 3405
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C	EN 116

4. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde, aşağıda sıralanan başlıklar altında yürütülen yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları sunulmaktadır:

- Amaç ve kapsamın belirlenmesi
- Veri toplama

4.1 Amaç ve Kapsamın Belirlenmesi

Bu çalışmada yürütülen yaşam döngüsü değerlendirmesinin amacı, aspir yağı etil esterinin çevre üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, aspir yağı etil esterinin çevresel etkilerinin aspir yağı kökenli bir diğer biyoyakıt olan aspir yağı metil esteri ve motorinin çevresel etkileri ile karşılaştırmalı olarak sunulması şeklinde belirlenmiştir. Temel birim olarak orta büyüklükteki yeni bir arabanın 100 km boyunca kullanımı seçilmiştir. Verilerin bir kısmı kaynak tarama çalışmalarından ve Ecoinvent veritabanından alınmış olup büyük bir bölümü üreticilerden alınan gerçek değerlerdir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmaları kapsamında toplanan verilerin modellenmesi için SimaPro 7.2.4 programının kullanılmasına karar verilmiş, yöntem olarak ise Eco-indicator 99 seçilmiştir. SimaPro yazılım programı ile Ecoinvent veritabanı Bölüm 4.1.1’de ayrıntılı olarak tanıtılmakta ve seçilme nedenleri belirtilmektedir.

SimaPro 7.2.4 programında yer alan yöntemlerin bazılarında temel bir sorunla karşılaşmaktadır. Veri analizi aşamasında enerji ve malzeme kullanımı ile emisyonlar için pek çok veri toplanmakta ve veri sayısındaki artış bu verilerin yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemleri kapsamında bir ürün veya prosesin tüm yaşam döngüsü boyunca orta nokta etkilerinden olan iklim değişikliği, asidifikasyon gibi çevresel sorunların ayrı ayrı katkılarının belirlenmesi mümkün olmaktadır, ancak toplam çevresel etkinin belirlenmesi mümkün olamamaktadır. Bunun nedeni bazı yöntemlerin çevresel

etkilerin ağırlıklandırılması aşamasındaki eksikliğidir. Eco-indicator 99 yönteminin seçilmesiyle beraber bu temel sorun ortadan kaldırılmıştır. Eco-indicator 99 yöntemine eklenmiş olan ağırlıklandırma aşaması ile ayrı ayrı hesaplanan çevresel etkilerin toplamının tek bir değer olarak hesaplanabilmesi sağlanmış ve bu değer ekodeğer olarak isimlendirilmiştir. Karşılaşılan bir diğer sorun ise sıklıkla kullanılan temel malzeme ve prosesler için toplanan verilerin farklı bölgeleri temsil etmesidir. Örneğin, TRACI yöntemi Amerika tarafından geliştirilmiş bir etki değerlendirme yöntemi olup, temel üretim verileri Amerika koşullarına göre oluşturulmuştur. Avrupa ortalamalarına göre temel proseslerin oluşturulduğu, sıklıkla kullanılan her bir proses ve malzeme üretiminin Avrupa koşullarına göre tanımlanıp çeşitli üretim şekillerine ayrılarak değerlerin belirlendiği Eco-indicator 99 yönteminin kullanılmasıyla bu sorun da ortadan kaldırılmıştır. Bu çalışmada, Eco-indicator 99 yönteminin seçilmesinin nedenlerini şu şekilde özetlemek mümkündür:

- Ağırlıklandırma ile toplam çevresel etkinin tek bir ekodeğer ile ifade edilebilirliğinin mümkün olması
- Diğer yöntemlerde sıkça rastlanmayan kaynak kullanımı, alan kullanımı gibi orta nokta kategorilerinin incelenmesinin mümkün olması
- Malzeme, üretim prosesleri, taşıma prosesleri, enerji üretim prosesleri ve atık senaryoları için çok sayıda veri içermesi ve bu verilerin Avrupa ortalamalarına göre oluşturulmuş olması
- Biyoyakıtlar ile ilgili yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarının çoğunda Eco-indicator 99 yönteminin kullanılmış olması ve bu sayede çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılabilir özellikte olmasının sağlanması.

SimaPro 7.2.4 programı ve Eco-indicator 99 yöntemi kullanılarak incelenecek çevresel etkiler ise şu şekilde sıralanmaktadır:

- Kanserojenler
- Solunumla ilgili organik ve inorganikler
- İklim değişikliği
- Radyasyon
- Ozon tabakası
- Ekotoksiklik

- Asidifikasyon ve ötrofikasyon
- Alan kullanımı
- Mineral kullanımı
- Fosil yakıt kullanımı

Bu orta nokta etkilerinin yanı sıra insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kullanımı gibi zarar etkileri de incelenmiştir. Bölüm 4.1.2’de Eco-indicator 99 yöntemi ve bu kapsamında incelenecek tüm orta nokta ve zarar kategorileri ayrıntılı olarak tanıtılmaktadır.

Çalışmada belirlenmiş sistem sınırları içinde yer alan üretim aşamaları ise şu şekilde sıralanmaktadır:

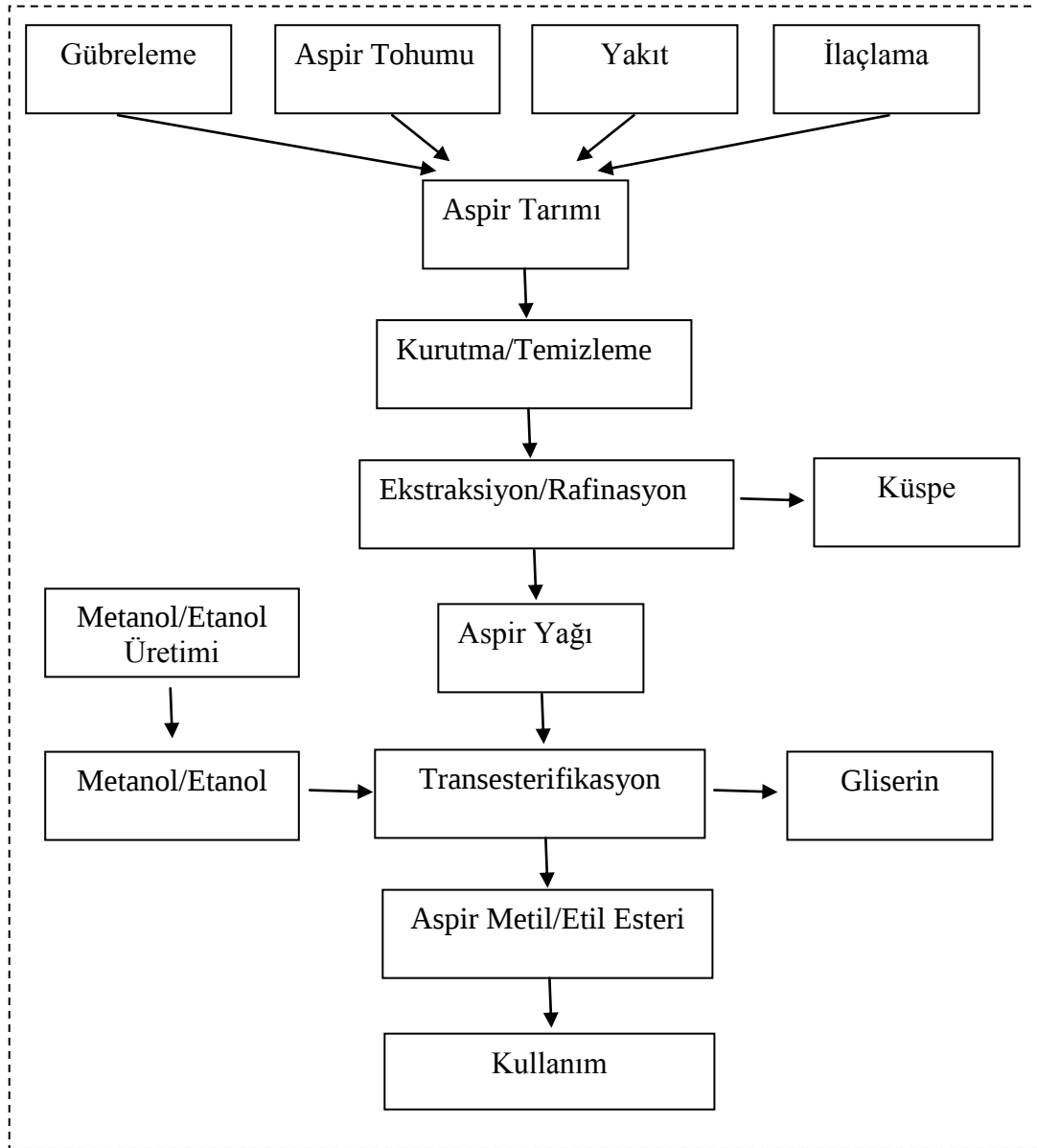
- Tarım aşaması
- Yağ ekstraksiyonu
- Aspir yağı metil/etil ester üretim prosesi
- Yanma

Şekil 4.1’de sistem sınırları ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Hammaddelerin tarladan fabrikaya taşınması ve üretilen biyoyakıtın yakıt istasyonlarına taşınması da hesaplamalara katılmıştır. Aspir yağı metil esteri üretiminde hammadde olarak aspir yağı ve metanol kullanılmaktadır. Metanol üretimi için gerekli proses ve veriler SimaPro 7.2.4 programı ve Ecoinvent veritabanından yararlanılarak kullanılmıştır. Aspir yağı etil esteri üretiminde ise hammadde olarak aspir yağı ve şeker pancarı melasından üretilen etanol kullanılmaktadır. Etanol üretimi için gerekli olan şeker pancarı tarımı ile şeker pancarı melasından alkol üretimi de sistem sınırlarına dahil olup ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Aspir tohumlarından aspir yağı üretimi için hekzan ile ekstraksiyon yöntemi, aspir yağından aspir yağı metil/etil ester üretimleri için transesterifikasyon reaksiyonu gerçekleştirilmektedir. Yağ ekstraksiyonu sonucunda aspir yağı ve küspe, transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda ise aspir yağı metil/etil esteri ve ham gliserin olmak üzere iki ürün oluşmaktadır. Buna benzer şekilde şeker pancarı melasından etanol üretiminde de etanol ve şlempe olmak üzere iki ürün oluşmaktadır. Prosesler içiçe geçmiş olduğu için prosesleri iki ayrı prosese ayırmak mümkün olmamaktadır. Sistem sınırlarının genişletilmesi ürün özelliklerinin detaylı olarak bilinip benzer özelliklere sahip ürün üreten proseslerin varlığında

olabileceğinden bu çalışmada uygulanması mümkün değildir. Bu durumda ISO standartlarının da öngördüğü şekilde çevresel etki paylaşımı yapılması uygun görülmüş ve ürünlerin çevresel etki paylarının enerji içeriklerine göre belirlenmesine karar verilmiştir.

Referans sistem olarak seçilen motorinin yaşam döngüsü ise rafineri aşaması, motorinin dağıtım aşaması ve motorinin yanması olmak üzere üç aşamada değerlendirilmektedir. SimaPro programı ve Ecoinvent veritabanı motorinin yaşam döngüsünü oluşturmak için gerekli olan tüm verileri içermekte olup, değerlendirmede bu veriler kullanılmıştır. Motorinin yanması sonucu oluşan emisyon değerleri ise Bölüm 4.2.3.3'te belirtildiği şekilde hesaplamalara katılmıştır.



Şekil 4.1: Sistem sınırları.

4.1.1 SimaPro 7.2.4 programı ve Ecoinvent veritabanı

Yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarında incelenen ürün veya sistemin çevre üzerindeki potansiyel etkilerini belirlemek amacıyla geliştirilmiş çok sayıda yaşam döngüsü değerlendirme yazılımları bulunmakta, sürekli olarak yeni yazılımlar geliştirilmekte ve modüller istenen koşullara göre güncellenmektedir. Çizelge 4.1, bu yazılım programlarından bazılarını sunmaktadır. Çizelgede de görüldüğü gibi dünyanın farklı yerlerinde geliştirilmiş olan bu programların bir kısmı tüm sektörler için kullanılabilirken bir kısmı sadece belirli sektörlerde değerlendirilebilmektedir. Çizelge 4.2 ise yoğun olarak kullanılmakta olan bazı veritabanlarından örnekler sunmaktadır.

Bu çalışmada, uygun yazılımın seçilebilmesi için yapılan ön eleme sonucunda Gabi, SimaPro, TEAM ve Umberto yazılımlarının daha detaylı incelenmesine şu özellikler nedeniyle karar verilmiştir:

- Yazılımın ticari olarak kullanımda olması
- Yazılımın Avrupa ülkelerinde geliştirilmiş olması
- Yazılımın tüm sektörlerde kullanılabilir olması
- Yazılımın ilgili alanda fabrika, üniversite ya da başka kuruluşlar tarafından kullanılıp denenmiş olması.

Belirlenen bu dört yazılım çeşitli özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Bunlar şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Servis (Yazılımı destekleyici servis ve güncellemelerin varlığı)
- Fonksiyonellik (Bilgisayarlarla uyumlu olması, Windows sistemi ile çalışabilmesi, veri analizi ve etki değerlendirme aşamalarını desteklemesi, grafiksel gösterime sahip olması, etki faktörlerinin değiştirilebilir olması, bilgisayarla uyumlu hesaplama hızları)
- Veritabanı (Hammaddeler, elektrik üretimleri, taşıma ve atık yönetimleri ile ilgili verileri barındıran veritabanlarına sahip olması, verilerin güncellenmesi, verilerin Avrupa genelinde ve uluslararası geçerliliğe sahip olması, verileri değiştirebilme imkanı)
- Esneklik (Yazılımın değiştirilebilirliği)
- Benzer çalışmaların olması ve maliyet

Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda, incelen dört yazılım programının servis,

Çizelge 4.1: YDD çalışmalarında kullanılan yazılım programları.

Yazılım programı	Kullanıldığı sektör	Geliştirildiği ülke
AirConLCA	Havalandırma sistemleri	Avustralya
AIST-LCA	Tüm sektörler	Japonya
BEES	Yapı malzemeleri	Amerika
EIME	Elektrik-elektronik sektörü	Avrupa
Environmental Impact Estimator	Binalar	Kuzey Amerika
Gabi	Tüm sektörler	Almanya
KCL-ECO	Orman endüstrisi ve kağıt üretimi	Batı Avrupa
LEGEP	Binalar	Almanya
Modular MSWI Model	Katı atık yakma tesisleri	Almanya
Prototype Demolition Waste Decision Tool 1	Binalar	Hollanda
Sabento	Mikroorganizma ve enzimlerin üretimi	Almanya
SALCA-biodiversity	Biyçeşitlilik	İsviçre
SALCA-crop	İsviçre koşullarında yetişen tarım ürünleri	İsviçre
SALCA-erosion 061	Erozyon etkileri	İsviçre
SALCA-Heavy metals	Bakır, kurşun, nikel gibi ağır metallerin etkileri	İsviçre
SALCA-nitrate	Nitrat etkisi	İsviçre
SALCA-soil quality	Toprak kalitesi	İsviçre
SimaPro	Tüm sektörler	Avrupa
TEAM	Tüm sektörler	Avrupa
TESPI	Tüm sektörler	İtalya
trainEE	Trenler ve tren parçaları	Almanya
Umberto	Tüm sektörler	Almanya
USES LCA	Toksiklik	Hollanda
WAMPS	Atık yönetimi	İsveç
WISARD 4.0	Atık yönetimi	Fransa
WRATE	Atık yönetimi	İngiltere

Çizelge 4.2: YDD çalışmalarında kullanılan veritabanları.

Veritabanı	Kullanıldığı sektör	Kullanıldığı ülke
Ecoinvent	Tüm sektörler	Tüm ülkeler
EIME	Elektrik-elektronik sektörü	Tüm ülkeler
Eurofer	Demir-çelik endüstrisi	Sadece AB ülkeleri
Gabi	Tüm sektörler	Tüm ülkeler
GEMIS	Tüm sektörler	Tüm ülkeler
IO	Tüm sektörler	Danimarka
IVAM LCA Data	İnşaat sektörü	Tüm ülkeler
KCL EcoData	Kağıt endüstrisi	Tüm ülkeler
Option data pack	Kimyasal üretimi	Japonya
PlasticsEurope Ec0-profiles	Polimer endüstrisi	Avrupa Ülkeleri
Sabento library	Enzimatik prosesler	Tüm ülkeler
SALCA	Tarımsal üretimler	Tüm ülkeler
SimaPro	Tüm sektörler	Tüm ülkeler
sirAdos	İnşaat sektörü	Tüm ülkeler
Umberto	Tüm sektörler	Her AB ülkesi veya bölgesine göre farklı değerler
US LCA	Tüm sektörler	Amerika ve Kanada
Waste Technologies Data Centre	Atık yönetim teknolojileri	Tüm ülkeler

fonksiyonellik ve veritabanı barındırması açısından çok farklılık göstermediği belirlenmiş, ancak Gabi ve SimaPro programlarının özellikle kullanım kolaylığı, benzer çalışmaların varlığı ve maliyet alanlarındaki olumlu yönleri ile öne çıktığı görülmüştür. SimaPro programının biyoyakıtlarla ilgili yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarında yoğun olarak kullanılmış olması, çok çeşitli ve üstün etki değerlendirme yöntemlerini içeriyor olması, zarar kategorilerini barındırması ve ürün karşılaştırma analizlerinin hızlı yapılabilirliği özelliklerine sahip olması gibi daha avantajlı yönleri ile bu çalışmada SimaPro programının kullanılmasına karar verilmiştir. SimaPro programı Avrupa ortalamalarına göre oluşturulmuş pek çok endüstriyel proses verisi içeren Ecoinvent veritabanının yanı sıra, Amerika, Danimarka, Hollanda koşullarına göre oluşturulmuş, Danimarka'daki gıda sektörü üreticilerinden alınmış verilere göre oluşturulmuş, özel olarak elektrik üretimi ve ambalaj sektörü için oluşturulmuş veritabanlarını da bünyesinde barındırmaktadır.

Bu çalışmada, hem Avrupa ortalamalarına göre oluşturulmuş olan hem de çok çeşitli prosesler için veriler içeren zengin bir veritabanı olan Ecoinvent veritabanı kullanılmaktadır. Ecoinvent veritabanında elektrik üretim ve dağıtımı; yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklardan elde edilen ısı ve güç kazanımı prosesleri; metaller, yapı malzemeleri, temel kimyasal üretim prosesleri; havayolu, denizyolu, raylı sistemler ve karayolu taşımacılığında kullanılan çok çeşitli araç kullanımı ile ilgili bilgiler, tarımsal prosesler, atık yönetimi ve daha pek çok proses ile ilgili veriler mevcuttur.

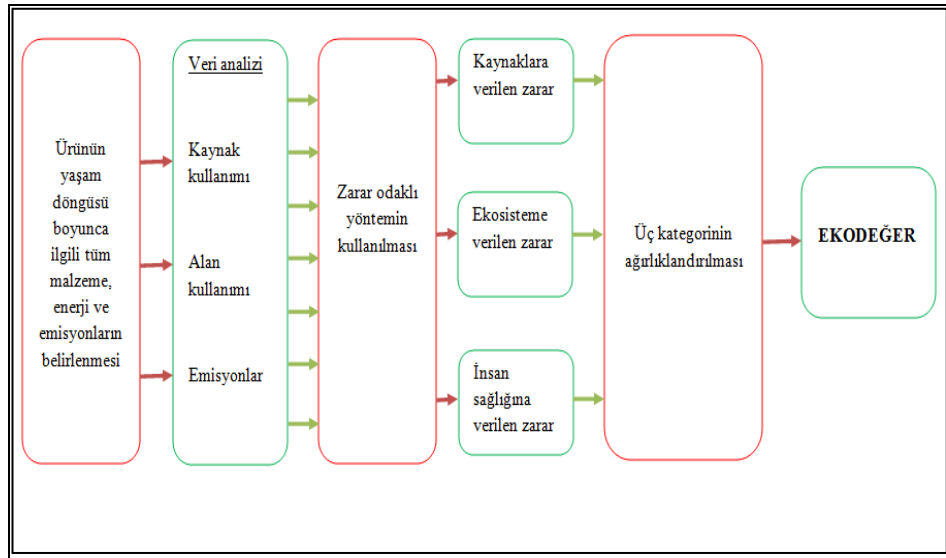
4.1.2 Eco-İndicator 99 yöntemi ve incelenen çevresel etkiler

Eco-indicator 99 yönteminde temel amaç orta nokta kategorileri başlığı altında toplanan her bir çevresel etkinin derecesinin belirlenmesinin yanı sıra üç temel zarar etkisinin miktarını belirlemek ve ağırlıklandırma ile toplam çevresel etkiyi tek bir eko-değer ile ifade etmektir. Toplam çevresel etkinin tek bir değerle ifade edilebilmesi Avrupa Birliği'nin eko-etiket uygulamasına paralel olarak önemli bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Gönüllü bir uygulama olan bu düzenleme ile, üreticilerin o ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca çevreye en az etkisi olan ürünlerini piyasaya sürmesi ve eko-etiketli ürünlerin teşvik ve uluslararası pazarlara girebilmesinde avantajlar sağlamasında faydalı olacaktır.

Bir ürün veya prosesin yaşam döngüsü boyunca çevre üzerindeki toplam etkisini belirtmek için kullanılan ekodeğerler ne kadar büyükse, o ürün veya prosesin çevre üzerindeki etkisi de o kadar çoktur. Ekodeğerin hesaplanabilmesi için üç adım gereklidir:

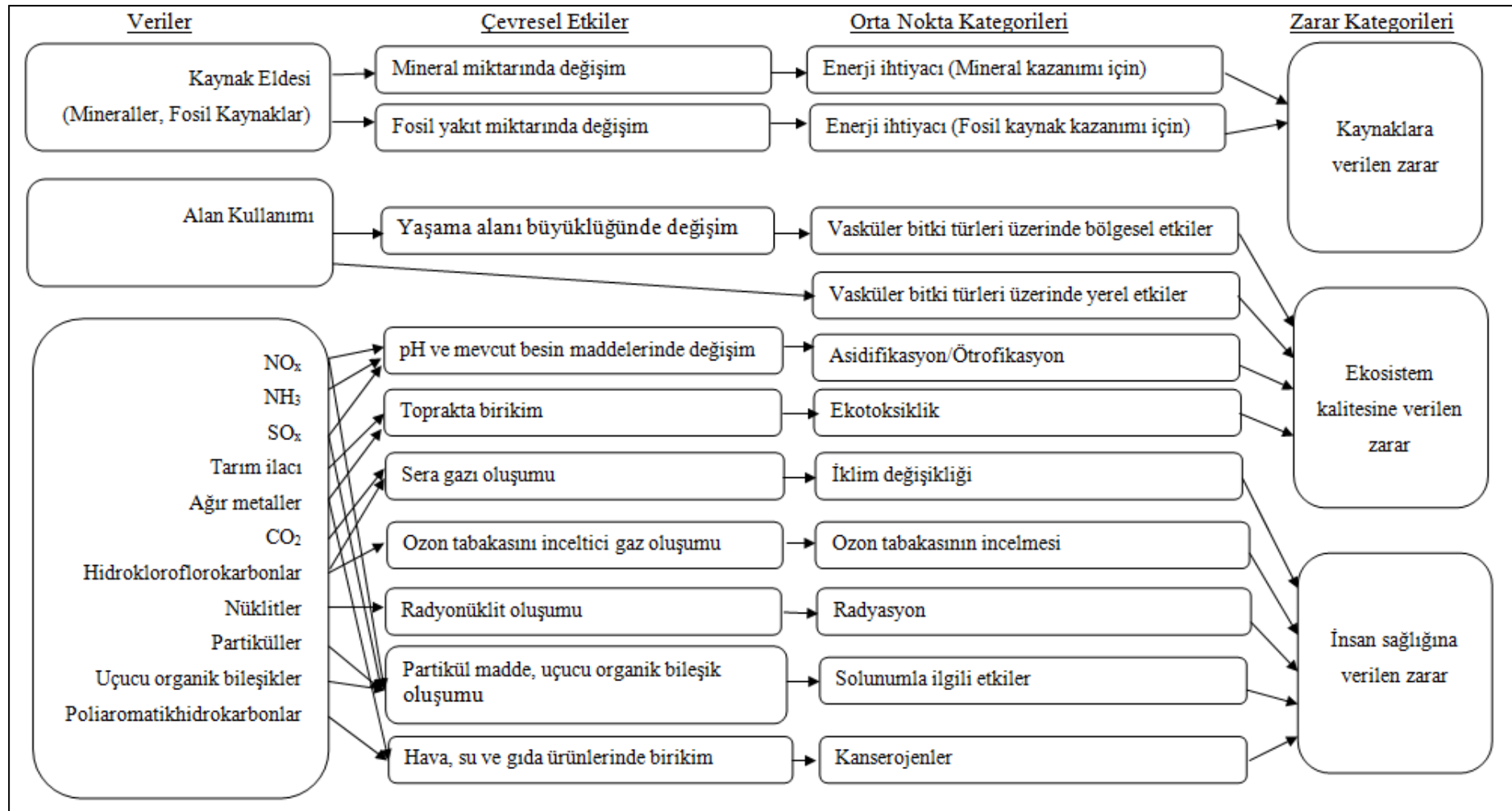
1. Veri analizi
2. Verilerin karakterizasyonu ile orta nokta kategorileri ve zarar kategorileri cinsinden ifade edilmesi
3. Zarar kategorilerinin ağırlıklandırılması

Ekodeğerin hesaplanması için gerekli adımlar Şekil 4.2’de de sunulmaktadır. Öncelikle her yaşam döngüsü değerlendirme çalışmasında da olduğu gibi veri analizi yapılmakta, daha sonra zarar odaklı yöntemin kullanılması ile karakterizasyon sonucunda asidifikasyon, ozon tabakasının incelenmesi, ekotoksiklik, kaynak kullanımı gibi çok sayıda farklı orta nokta etkileri elde edilmekte, orta nokta etkileri üç zarar kategorisi başlığı altında toplanmakta ve zarar kategorilerine ağırlıklandırma uygulanarak tek bir ekodeğer elde edilmektedir.



Şekil 4.2: Ekodeğerin belirlenmesi.

Eco-indicator 99 yönteminde incelenen orta nokta ve zarar kategorileri Şekil 4.3’de ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi zarar etkileri insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kullanımı olup iklim değişikliği, ozon tabakasının incelenmesi, radyasyon, solunumla ilgili etkiler ve kanserojenler insan sağlığına; alan kullanımı, asidifikasyon, ötrofikasyon ve ekotoksiklik ekosistem kalitesine; mineral ve fosil yakıt kullanımı ise kaynak kullanımı kategorisine etki etmektedir.



Şekil 4.3: Eco-indicator 99 yönteminde orta nokta ve zarar kategorileri.

4.1.2.1 İnsan sağlığı

Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO) insan sağlığını tanımlarken hastalık ve sakatlığın olmaması durumuna ek olarak fiziksel, ruhsal ve sosyal açıdan iyi bir durumda bulunulmasını da eklemektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde ise sadece şu etkenler göz önünde bulundurulmaktadır:

- Hava, su ve topraktaki tüm emisyonlar dikkate alınmaktadır ancak çalışma alanları, ev gibi ortamlardaki sağlıksız koşullar hesaplamalara katılmamaktadır.
- Doğal afetler, iklim, mikroorganizmalar, volkanik patlamalara bağlı olarak oluşan sağlık problemleri dikkate alınmamaktadır.
- Ekonomik durumlar yani gelirin az veya çok olması durumu göz önünde bulundurulmamaktadır.

Tüm bu sınırlamalar doğrutusunda yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında incelenen “İnsan Sağlığı” kavramı Dünya Sağlık Örgütü’nün tanımlamasına göre daha kısıtlı bir şekilde belirlenmiştir. Buna göre, insan sağlığı erken ölümler veya endüstriyel ve tarımsal proseslerin hava, su ve toprağa yaydığı emisyonların neden olduğu hastalıkların olmama durumu olarak tanımlanmaktadır. İnsan sağlığına etki eden çevresel faktörler ise şu şekildedir:

- Kanserojenler tarafından insan sağlığına verilen zarar: Uluslararası Kansere Araştırma Örgütü (The International Agency for Research on Cancer, IARC) insan sağlığı üzerinde kanserojen etkisi olan maddeleri gruplamak için şu şekilde bir sınıflandırma yapmaktadır:
 - Grup 1: İnsanlar üzerinde kanserojen etkisi olan madde, karışım veya yayılımlar
 - Grup 2A: İnsanlar üzerinde büyük olasılıkla kanserojen etkisi olan madde, karışım veya yayılımlar
 - Grup 2B: İnsanlar üzerinde kanserojen etkisi olması mümkün olan madde, karışım veya yayılımlar
 - Grup 3: İnsanlar üzerinde kanserojen olarak sınıflandırılmayan madde, karışım veya yayılımlar (Bu grup başka bir kategorinin kullanılmaması durumunda seçilmektedir.)

- Grup 4: İnsanlar üzerinde büyük olasılıkla kanserojen etkisi olmayan madde, karışım veya yayılımlar.

Eco-indicator 99 yöntemi ile IARC tarafından 1, 2A, 2B ve 3 olarak sınıflandırılan maddelerin neden olduğu insan sağlığı üzerindeki zararın tümü hesaplamalara katılmaktadır.

- Solunumla ilgili etkiler tarafından insan sağlığına verilen zarar: Gerçekleştirilen çalışmalar pek çok inorganik madde ile tozun insan sağlığında solunumla ilgili etkilerle bağlantısı olduğunu göstermektedir. Solunumla ilgili etkilere neden olan maddeler şu şekildedir:

- Partikül maddeler
- Nitrat ve sülfatlar
- SO₃
- O₃
- CO
- NO_x ve SO_x
- Uçucu organik bileşikler

Belirtilen tüm bu etkiler Eco-indicator 99 yönteminde hesaplamalara katılmaktadır.

- İklim değişikliği tarafından insan sağlığına verilen zarar: Sera gazlarının insan sağlığı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, bu gazların yayılımı sonucunda görünür zararlar oluşmadığından öngörülere göre yapılmaktadır. DeneySEL verilerle doğrulanamayan senaryo ve modellerde pek çok olasılık olduğundan belirsizlik derecesi yüksek, kesinlik derecesi düşüktür. Yapılan modellemelere göre iklim değişikliğinin çok çeşitli rahatsızlıklara yol açabileceği öngörülmektedir. Oluşabilecek bu rahatsızlıklar Çizelge 4.3’de özetlenmektedir. Eco-indicator 99 yöntemi ile iklim değişikliğinin insan sağlığı üzerindeki etkisinin en çok olduğu üç kategori (aşırı sıcaklığa maruz kalma, taşıyıcı parazitlerin çeşitlenmesi ve aktifleşmesi, deniz seviyesinin yükselmesi) incelenmektedir.
- Radyasyon tarafından insan sağlığına verilen zarar: Bu kategori ile radyoaktif maddelerin çevreye yayılımına bağlı olarak insan sağlığına verilen zarar tanımlanmaktadır. Petrol ve doğalgaz kazanımında, kömür santrallerinde,

Çizelge 4.3: İklim değişikliğinin insan sağlığı üzerine etkileri.

Direk Etkiler	Oluşan Sağlık Sorunu
Aşırı sıcaklığa maruz kalma	Sıcaklık değişimine bağlı hastalık ve ölümler
Hava durumundaki ani değişiklikler	Ölüm, hastalanma ve psikolojik bozukluklar
Dolaylı etkiler	Oluşan Sağlık Sorunu
Taşıyıcı parazitlerin çeşitlenmesi ve aktifleşmesi	Taşıyıcı parazitlerden kaynaklanan hastalıklar
Su ve gıda kaynaklı bulaşıcı maddelerin ekolojik değişimi	İshal ve diğer bulaşıcı hastalıkların görülme sıklığında artış
Hava durumundaki değişikliklere bağlı olarak gıda üretim veriminde değişim	Yetersiz beslenme, açlık ve çocuklarda büyüme ve gelişim bozuklukları
Deniz seviyesinin yükselmesi	Bulaşıcı hastalık riskinde artış ve psikolojik sorunlar
Polen ve spor miktarı ile çevre kirliliğinde artış	Astım ve alerjik hastalıklar, solunumla ilgili kronik hastalıklar ve ölüm
Sosyal ve ekonomik değişimler	Halk sağlığının genelinde bozulmalar, ruhsal sorunlar, beslenme sorunları

nükleer yakıt çevriminde ve daha pek çok proste hava ve su kaynaklı radyonüklitler çevreye salınmaktadır. Tüm bu salımlar Eco-indicator 99 kapsamında ele alınmaktadır, sadece büyük ve beklenmeyen kazaların oluşma ihtimali göz ardı edilmektedir.

- Ozon tabakası incelmesi tarafından insan sağlığına verilen zarar: Ozon tabakası incelmesinin en önemli nedeni kloroflorokarbonların yayımına bağlı olarak klorür ve brom seviyelerindeki artıştır. Özellikle deri kanserine neden olan tüm bu maddeler Eco-indicator 99 yönteminde hesaplamalara katılmaktadır.

İnsan sağlığı zarar etkisi ile insan sağlığı kategorisini oluşturan tüm orta nokta etkileri DALY (Sağlıksız Yaşam Yılı, Disability Adjusted Life Years) birimi ile ifade edilmektedir. DALY çevresel etkenlerden ötürü gerçekleşen erken ölümler veya hastalıklara bağlı olarak kaybedilen veya engellenen yaşam yılı sayısını temsil etmektedir. DALY birimi Dünya Bankası ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından da kullanılan bir birimdir.

4.1.2.2 Ekosistem kalitesi

Heterojen sistemler olup inceleme ve gözlemlenmesi çok karmaşık yapılar olan ekosistemlerin kalitesini belirlemek için en önemli etken olarak ekosistemin insanların gerçekleştirmekte olduğu aktivitelerden belirgin olarak ne oranda engellenip bozulduğu belirlenmekte ve bu bozulma oranı türlerin çeşitliliği cinsinden ifade edilmektedir. Bu kategoride, özellikle vasküler bitkiler ve bazı organizmalar olmak üzere tür çeşitliliğinin sağlanması incelenmekte ve belirli bir bölgede belirli bir zamanda çevresel etkilere bağlı olarak tükenen veya tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalan tür yüzdesi cinsinden ifade edilmektedir. Ekosistem kalitesine etki eden çevresel faktörler şu şekildedir:

- Ekotoksiklik tarafından ekosistem kalitesine verilen zarar: Toksik özelliğe sahip tüm maddeler bu kapsamda incelenmektedir. Su, tarımsal olarak kullanılan toprak, endüstriyel olarak kullanılan toprak ve doğal alanlardaki tüm emisyonlar hesaplamalara katılmaktadır. Toksiklik PAF (Potansiyel olarak etkilenen kısım, Potentially Affected Fraction) birimi ile ifade edilmektedir. PAF birimi balık, kabuklular, algler, solucanlar, nematodlar, mikroorganizmalar ve çeşitli bitki türleri gibi suda ve toprakta yaşayan canlılar üzerindeki etkiyi belirtmek amacıyla kullanılmaktadır.
- Asidifikasyon ve ötrofikasyon tarafından ekosistem kalitesine verilen zarar: Asidifikasyon ve ötrofikasyon sülfat, nitrat, fosfat gibi inorganik maddelerin havada veya suda birikimi sonucunda oluşmaktadır. Havada oluşan bu birikimler sonucu ortaya çıkan asidifikasyonun temel etkisi topraktaki asit değeri ile besin değerinin değişimi ve bu değişimlere bağlı olarak türlerin sayısı ve cinsinin azalması veya çoğalması olup, suda oluşan emisyonlar sonucu ortaya çıkan ötrofikasyonun temel etkisi besin maddelerinin büyük oranda artması sonucunda bitki varlığının aşırı miktarda artarak suda çözünmüş oksijen miktarını azaltıp su ekosisteminin yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalması şeklindedir. Asidifikasyon ve ötrofikasyonun etkilerinin belirtilmesi için PDF (Potansiyel olarak tükenen kısım, Potentially Disappeared Fraction) birimi kullanılmaktadır. PDF birimi ile fosil türler ve eğreltiotları gibi vasküler bitki nüfusu üzerindeki etkiler tanımlanmaktadır.
- Alan kullanımı tarafından ekosistem kalitesine verilen zarar: Alan kullanımı modellenmesinde kullanılan değerlerin çoğu deneysel değerlerdir. Ancak

türlerin azalma veya çoğalması alan değişiminin yanı sıra toksiklik, asitlik değerindeki artış gibi pek çok etkene bağlı olarak değişmekte olduğundan alan kullanımı ve değişiminin etkisini ayırmak çok mümkün olamamaktadır. Ayrıca tüm alan türleri için de veriler bulunmamaktadır. Bu nedenle alan kullanımı kategorisi üzerindeki çalışmalar halen devam etmektedir. Alan kullanımı da PDF birimi ile ifade edilmektedir.

Ekosistem kalitesi modellenirken tek bir birim kullanılmadığı gibi, farklı orta nokta kategorileri için farklı türler incelenmiştir. Pratik olarak tüm türler insanların gerçekleştirdikleri aktivitelerden etkilenebilmektedir, ancak tüm bu etki ve türleri incelemek olanaksızdır. Bu nedenle, ekosistem kalitesini en iyi şekilde temsil edebilecek tür grupları belirlenmiştir. Ekotoksik etkiler için suda yaşayan ve bentik organizmalar, asidifikasyon, ötrofikasyon ve alan kullanımı için ise vasküler bitkiler en iyi temsil edici tür olarak seçilmiştir. PAF ve PDF birimlerinin eşit olarak ifade edilebilmesi için de ekosistem üzerindeki zarar $PDF \times \text{alan} \times \text{zaman}$ cinsinden ifade edilmiştir. Asidifikasyon ve ötrofikasyonda diğer kategorilerden farklı olarak hedef türün azalma yüzdesi incelenmektedir. Bunun nedeni asidifikasyon ve ötrofikasyonun türlerin sayısında her zaman azalmaya neden olmaması bunun yerine türlerin yapılarının değişime uğramasıdır. Çizelge 4.4’de ekosistem kalitesinde yer alan kategoriler, bu kategorileri temsil eden türler, kullanılan birimler özetlenmektedir.

Çizelge 4.4: Ekotoksiklik zarar kategorisinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması.

Kategori	Tür	Birim	Oluşan zarar
Ekotoksiklik	Çeşitli türler	$PAF \times m^2 \times \text{yıl}$	Toksik stres
Asidifikasyon	Vasküler bitkiler	$PDF \times m^2 \times \text{yıl}$	Tükenme olasılığı
Ötrofikasyon	Vasküler bitkiler	$PDF \times m^2 \times \text{yıl}$	Tükenme olasılığı
Alan kullanımı	Vasküler bitkiler	$PDF \times m^2 \times \text{yıl}$	Tükenme olasılığı

4.1.2.3 Kaynak kullanımı

Kaynak kullanımı kategorisinde mineraller ve fosil kaynaklar incelenmektedir. Bu incelemede sınırlayıcı etken kaynağın niceliği değil niteliğidir. Günümüzde kullanılan her bir kaynak, geride kalan kaynakların niteliğini düşürecek ve kalan kaynakların kazanımı için gerekli olan uğraş artacaktır. Bir diğer deyişle, kalitenin azalması ve gelecekte kazanım için enerji ihtiyacının artması kaynaklara olan zarar

başlığı altında incelenmektedir. Mineraller ile fosil kaynakların ayrı incelenmesinin nedeni oluşum süreçlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Mineral kaynaklar için en önemli nitelik parametresi konsantrasyondur. Konsantrasyon ne kadar az olursa, kaynağın kazanımı için gerekli olan enerji de o kadar artacaktır. Fosil kaynaklar için ise konsantrasyon çok kullanışlı bir parametre değildir, onun yerine kaynağın kazanımı için gerekli olan enerji temel alınmaktadır. Fosil kaynaklar başlığı altında kömür, doğalgaz ve petrol incelenmektedir. Birim olarak enerji birimi MJ (Mega Joule) kullanılmaktadır. Bu birim ile bir kaynağın günümüzde kazanılması için gerekli olan enerji ile gelecekte kazanımı için gerekli olan enerji arasındaki farkın tanımlanması hedeflenmektedir.

4.2 Veri Toplama

Bu bölümde, aşağıda sıralanan başlıklar altında yaşam döngüsü değerlendirmesi için gerekli veriler toplanmıştır:

- Şeker pancarı tarımı ve melastan etanol eldesi için veri toplama
- Aspir tarımı için veri toplama
- Aspir yağı metil ve etil esterleri için veri toplama

4.2.1 Şeker pancarı tarımı ve melastan etanol eldesi için veri toplama

4.2.1.1 Şeker pancarı tarımı

Şeker pancarı, genellikle dört yıllık münavebe sistemi ile üretilmektedir. Tarlanın şeker pancarı tarımına hazır olması için bir sene önceden ön bitki hasat edilir. Hasattan hemen sonra diskaro ile toprak hazır hale getirilerek sulama yapılır. Yapılan bu sulama sonucunda tarlada yabani otlar ve hububat hasadından kalan tohumlar çimlenir. Tarla tava geldikten sonra sürüm yapılır. Kasım ayında ise taban gübresinin 2/3'ü tarlaya atılarak ikinci sürüm yapılır. İlkbaharda taban gübresinin 1/3'ü ile azotlu gübrenin yarısı tarlaya atılarak tohum yatağı hazırlanır. Ekimin Mart ayında yapılması tercih edilmektedir. İyi bir ekimin gerçekleştirilebilmesi için havalı mibzerler kullanılmaktadır.

Şeker pancarı üretiminde ekimden hasada kadar geçen sürede yabancı ot, hastalık ve zararlılara karşı koruma sağlanması gerekmektedir. Bu koruma için tohumların ilaçlanması gerekmektedir, bu şekilde hastalık ve zararlı böceklerle karşı önlem

alınmış olunur. Hastalık ve zararlılarla yapılan mücadele ekim öncesi ve ekim sonrası olmak üzere iki dönemi kapsamakta olup, hastalıklara rastlanması durumunda 3-4 sefer yapılabilir. Yabancı otlara karşı mücadelede ise çapalama uygun bir yöntemdir.

Ekimden 6 ay sonra şeker pancarı hasat edilebilecek olgunluğa erişmektedir. Hasat elle veya makine ile yapılmaktadır. Hasattan sonra diskaro yardımıyla kalan pancar yaprakları da topraktan temizlenir. Tüm bu adımlar için gerekli yakıt tüketimleri Çizelge 4.5’de verilmektedir [86,92,99-103].

Çizelge 4.5: Şeker pancarı tarımı için yakıt tüketimi [86,92,99-103].

İşlem	Uygulama sayısı/yıl	Motorin tüketimi, Litre/hektar
Diskaro ile toprağın hazırlanması	2	6
Yabani ot ve hububat hasadından kalan tohumların sürülmesi	1	15
Kasım ayı sürümü	1	15
Tohum yatağı hazırlığı	1	5
Ekim (Mibzer ile)	1	5
Yabancı ot, böcek ve hastalıklardan koruma	4	2
Çapalama	2	2
Gübreleme	2	2
Hasat	1	50
Toprağın hazırlanması	1	5

Şeker pancarı üretimindeki verim ve kaliteye etki eden en önemli konulardan bir diğeri ise gübreleme ve sulamadır. Gübreleme şeker pancarının ihtiyacı olan bitki besin maddeleri ve miktarları temel alınarak uygulanmalıdır. Bunun için en iyi yol, tarla toprağının analiz edilerek ihtiyaca göre gübreleme yapılmasıdır. 2010-2011 Türkiye verilerine göre ortalama pancar verimi 53 ton/hektar olarak hesaplanmıştır [56]. Çizelge 4.6’da şeker pancarı tarımı sırasında kullanılan gübre miktarları, tarım ilacı miktarları ve üretilebilecek etanol miktarı verilmektedir. Değerler gerçek değerler olup kaynak tarama çalışmaları ile de karşılaştırılmıştır [86,92,99-103].

Hasat edilmiş olan pancarlar işlenmek üzere şeker fabrikasına taşınır. Şeker pancarları fabrikaya taşınana kadar tarlaya yakın bir depoda bekletilebilir. Depolama esnasında kurutma veya soğutma işlemlerine gerek duyulmamaktadır.

Çizelge 4.6: Şeker pancarı tarımında kullanılan gübre-ilaç miktarı ve etanol üretimi [86,92,99-103].

Azotlu gübre, kg/hektar	125
Fosforlu gübre, kg/hektar	105
Potasyumlu gübre, kg/hektar	80
Tarım ilacı, kg/hektar	4.5
Şeker pancarı melasından etanol üretimi,kg/hektar	700

4.2.1.2 Şeker pancarı ve melasın hazırlanması

Şeker fabrikasına taşınmış olan pancarlar hemen işletmeye alınabileceği gibi daha sonra işlenmek üzere silolara da stoklanabilir. İşletmeye alınan pancarlar, öncelikle su yardımıyla yıkama tesisine gönderilir. Bu sırada, taş tutucular pancarla beraber gelen taşı ve kumu, ot tutucular da otları tutarak şeker pancarını tüm yabancı maddelerden temizlerler ve pancarlar suyla yıkanarak tüm toprağından arındırılır. Son olarak pancarlar durulama tesisinden geçerek ambarlara alınır. Bundan sonra şeker fabrikasında pancarlara uygulanan işlemler sırasıyla şu şekilde gerçekleştirilir:

- **Pancarın Kıyılması:** Pancarlar daha sonra uygulanacak difüzyon işleminde daha büyük yüzeye sahip olması için boyutlarının küçültülmesi amacıyla özel pancar bıçakları yardımıyla kıyılır.
- **Difüzyon İşlemi:** Kıyılmış pancarın içerisindeki şeker, difüzörün içerisinde bulunan yaklaşık 70°C sıcaklığındaki suya geçer. Bu işlem sonunda iki ara ürün elde edilmektedir. Bunlar ham şerbet ve küspedir. Elde edilen küspe, sistemden uzaklaştırılmadan önce preslerde sıkılır ve kazanılan şerbet sisteme geri beslenir. Bu şekilde kayıpların en aza indirilmesi sağlanmış olur. Elde edilen küspe hayvan yemi olarak değerlendirilebilirken, ham şerbet arıtılmak üzere arıtım istasyonuna gönderilir.
- **Ham Şerbetin Arındırılması:** Ham şerbetin içerisindeki şeker dışı maddeler kireçleme yardımıyla çöktürülür.
- **Filtrasyon:** Kireçleme işleminin tamamlanmasının ardından karbonatlama ve filtrasyon işlemlerine tabi tutulan şerbet berrak bir sulu şerbet şeklinde elde edilir.
- **Sulu Şerbetin Koyulaştırılması:** Sulu şerbet buharlaştırma istasyonlarında buharlaştırılarak şerbet yoğunluğu artırılır. Bu işlem sırasında bir miktar koyulaştığından işlem şerbetin koyulaştırılması olarak isimlendirilmiştir.

- **Koyu Şerbetin Rafinasyonu:** Koyu şerbet, kristalizasyon kademeleri olan kristal şeker pişirimi, orta şeker pişirimi ve son şeker pişirimi aşamalarının gerçekleştirilmesi için rafineri ünitesine gönderilir. Kristal şeker pişirimi ile kuru madde içeriği %92-93 oranlarına çıkartılır ve ürün olarak beyaz kristal şeker elde edilir. Bu kademede santrifüjlerden ayrılan şurup orta şeker ünitesinde tekrar pişirim işlemine alınarak orta şeker ve orta şurup elde edilir. Orta şeker kristal şeker şurubunun karışımına girerek sisteme geri dönerken orta şurup tekrar pişirim için son şeker ünitesine yollanır. Son şeker pişiriminde son şeker ve şurup ayrımı gerçekleştirilir. Son şeker kristal şekerin standart şurubunun hazırlanmasında kullanılarak sisteme geri döndürülür. Elde edilen şurup ise melas olarak adlandırılmaktadır, özetle melası şuruplardan maksimum şeker alındıktan sonra geriye kalan ana şurup olarak tanımlamak mümkündür. Melas yaklaşık olarak %45-50 civarında şeker içermekte olup pek çok sanayi kolunun ana hammaddesi (maya üretimi, yem sanayi, alkol üretimi gibi) olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, şeker sanayi yan ürünü olan melastan alkol üretimi incelenmiştir. Çizelge 4.7, şeker pancarlarının taşınması, hazırlanması, yıkanması, depolama, parçalama ve şeker ekstraksiyonu için gerekli ısı ve elektrik üretimlerini göstermektedir. Veriler 1 ton melas üretimi için olup, Ecoinvent veritabanı ve literatür çalışmaları kaynak alınarak belirlenmiştir [99,102-105]. Şeker pancarından kristallendirilemeyen en son şurup şeklinde kalan melasın oranı hasat şekli, depolama şartları ve şeker elde etme yöntemine bağlı olarak yaklaşık %4'tür [106,107]. Bu çalışmada, 1 ton şeker pancarından elde edilen melas miktarı 40 kg olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.7: Melas üretiminde ısı ve elektrik tüketimi [99,102-105].

	Isı, MJ/ton melas	Elektrik, kWh/ton melas
Şeker pancarlarının taşınması, hazırlanması ve yıkanması	-	14
Depolama	-	2
Parçalama	-	4
Şeker ekstraksiyonu	320	45

4.2.1.3 Fermantasyon ve saflaştırma

Fermantasyon işleminde hammadde kaynağı olan şeker pancarı melası anaerobik (havasız) ortamda mayaların kullanımı ile etanole dönüştürülür. Yüksek etanol veriminin sağlanması için uygun sıcaklık, pH değeri, alkol konsantrasyonu gibi ortam koşullarının optimum seviyede tutulması gerekmektedir. Mayalanmış lapanın alkol içeriği hacimce %7-10 arasındadır. Mayalanmış lapalar, alkolden ayrıştırılmaları için önce lapa kolonuna alınarak alkol içeriği hacimce %40'lara ardından evaporasyona tabi tutularak alkol içeriği % 95 oranlarına getirilmektedir. Etanol ve şlempenin ayrıştırılmasının ardından elde edilen şlempe yem sanayi, organik sıvı, gübre veya yapı kimyasalları sanayisinde değerlendirilebilmektedir. Şlempeye kurutma işlemi uygulanmaktadır. Daha sonra elde edilmiş alkole damıtma yapılarak %95.6-97.2 oranlarında etanol eldesi gerçekleştirilir. Bir sonraki adım kurutmadır. Elde edilen etanol %99.8 civarında olup biyoetanol tanklarına alınır. Fermentasyon, distilasyon ve kurutma aşamaları Şekil 4.4'de özetlenmektedir. Çizelge 4.8'de ise etanol üretiminde kullanılan ısı ve elektrik miktarları verilmektedir [86,92,99,102-105].

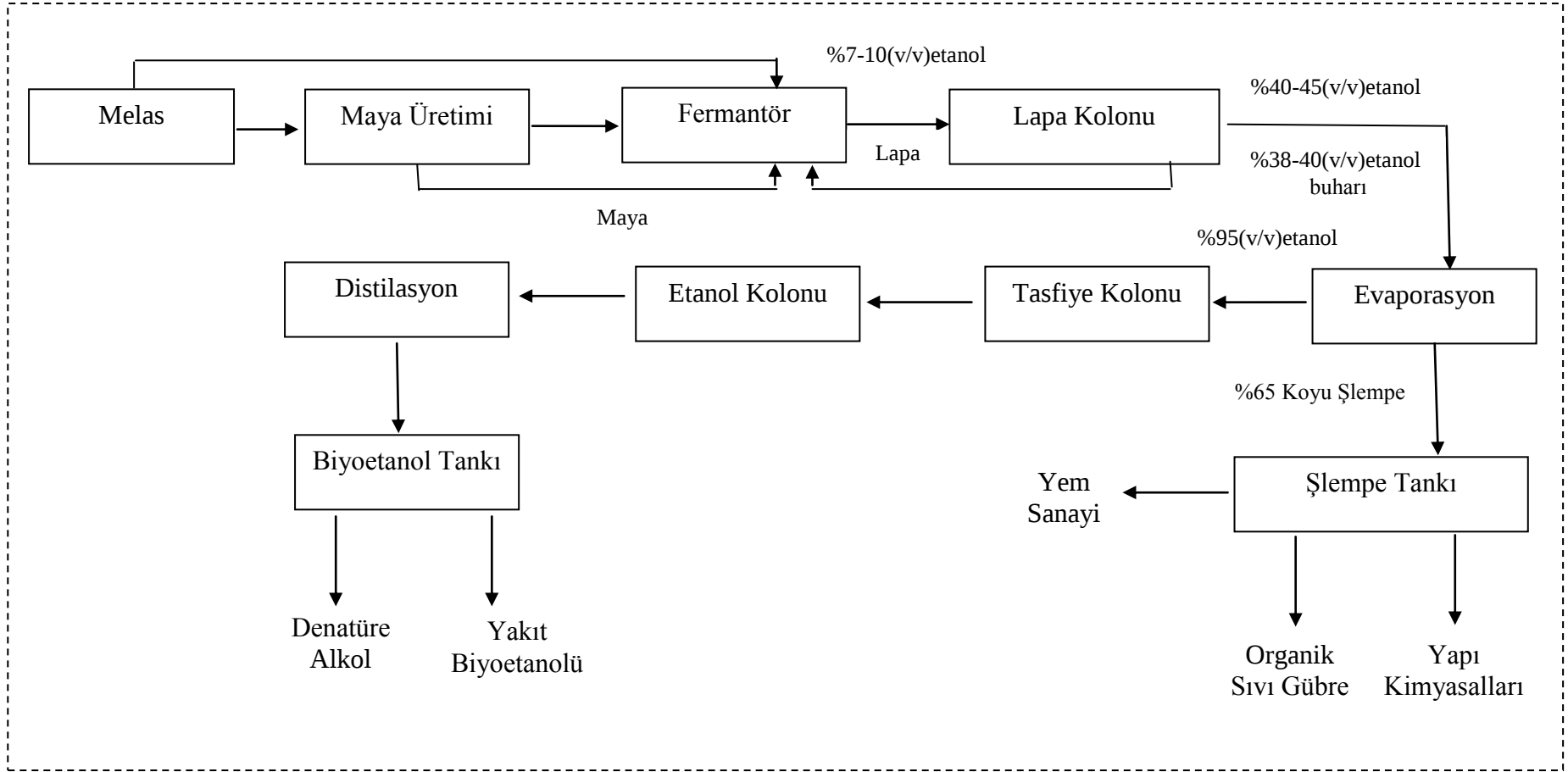
Çizelge 4.8: Etanol üretiminde ısı ve elektrik tüketimi [86,92,99,102-105].

İşlem	Isı, MJ/ton etanol	Elektirik, kWh/ton etanol
Fermantasyon	-	30
Distilasyon, evaporasyon	4200	45
Şlempenin preslenmesi	-	20
Şlempenin kurutulması	240	36

Bölüm 4.1'de de belirtildiği gibi şeker pancarı melasından etanol ve şlempe olmak üzere iki ürün oluşmaktadır ve çevre etki paylaşımının bu iki ürünün enerji içeriklerine göre yapılmasına karar verilmiştir. Buna göre etanolün çevresel etki payı %72, şlempenin çevresel etki payı ise %28 olarak belirlenmiştir [102].

4.2.2 Aspir tarımı için veri toplama

Aspir tarımı için toplanan veriler Türkiye'de tarımı yapılan aspir bitkisine ait gerçek değerler olup kaynak tarama çalışmaları ile de karşılaştırılarak belirlenmiştir. Aspir tarımında ilk olarak tarlanın bir önceki bitkiden aspir ekimine kadar boş bırakılması



Şekil 4.4: Şeker pancarı melasından etanol eldesi.

durumunda toprak sonbahar veya ilkbaharda pullukla sürülür ve ekimden önce diskaro ile ekime hazırlanır. Tarla hazırlığının ekimden hemen önce yapılması ile kendiliğinden çıkacak bitki ve yabancı otların yok edilmesi de sağlanmış olunur. Aspir bitkisi 3.5-4 ay gibi bir sürede yetişebildiği için gerekli olan tüm gübre ekimden önce toprağa verilmektedir. Gübre bir seferde verildiği için üre kullanımı tercih edilmektedir, çünkü üre kullanımı ile etki süresi yavaş ve etkili hale getirilir. Türkiye'deki topraklar potasyum açısından yeterli kabul edildiğinden potasyumlu gübre ihtiyacına gerek duyulmamaktadır. Aspir bitkisi, kuraklığa dayanıklı bir bitki olduğundan sadece belirli dönemlerde sulama ile verimin artırılması mümkündür.

Ekim için diğer hububat ekimlerinde kullanılan mibzerlerin kullanımı uygundur. Yabancı ot mücadelesinin sağlanabilmesi için sıra arası 15-20 cm civarında tutulmakta ve bu şartların sağlanması durumunda dekara 2-3 kg tohumluk kullanılmaktadır. Aspir bitkisi gelişiminin ilk bir ayında yabancı otlarla mücadele edememektedir. Bunun için tavsiye edilen tarım ilaçlarından birkaçı Treflan, Trifluarin, Metalochlor, EPTC, Barban, Profluralin, Paraquat olarak sayılabilir. Aspir bitkisi yapraklarının büyük bir bölümü tamamen kuruyarak çiçek ve çanak yaprakları kahverengi rengine döndükten ve taneleri tamamen beyazlaştıktan sonra hasat edilebilmektedir. Bu dönem genellikle çiçeklenmeden yaklaşık 4-5 hafta sonraya denk gelmektedir. Hasat için arpa ve buğday gibi hububatların hasadında kullanılan biçerdöverler kullanılabilmektedir [47,49,53,108,109].

Aspir tarımında kullanılan yakıt miktarları Çizelge 4.9'da, gübre ve tarım ilacı miktarları ise Çizelge 4.10'da sunulmaktadır [47-49,53,102,108]. Aspir verimi için ise 2010 yılı değeri alınmış olup 1930 kg/hektar olarak belirlenmiştir [56].

Çizelge 4.9: Aspir tarımı için yakıt tüketimi [47-49,102].

İşlem	Motorin tüketimi, Litre/hektar
Diskaro ile toprağın hazırlanması	12
Tohum yatağı hazırlığı	5
Ekim (Mibzer ile)	5
Yabancı ot, böcek ve hastalıklardan koruma	2
Gübreleme	2
Hasat	50
Toprağın hazırlanması	5

Çizelge 4.10: Aspir üretimi için gübre-ilaç miktarları ile verim [47,53,56,108].

Azotlu gübre, kg/hektar	60
Fosforlu gübre, kg/hektar	40
Tarım ilacı, kg/hektar	2.5
Verim, kg/hektar	1930

4.2.3 Aspir yağı metil ve etil esterleri için veri toplama

Aspirlerin hasat edilip taşınmasının ardından sırasıyla şu işlemler gerçekleştirilmektedir:

- Aspir yağı eldesi ve rafinasyon
- Esterleşme
- Kullanım

4.2.3.1 Aspir yağı eldesi ve rafinasyon

Öncelikle hasat edilip yağ fabrikasına taşınan aspirler depolanır ve kurutulur. Nem içeriği %12 civarında olan aspirler kurutularak nem içeriği %8 oranına getirilir. Kurutma aşamasından sonra hekzan ile ekstraksiyon aşamasına geçilir. Üretilebilecek aspir yağı miktarı 660 kg/hektar olarak belirlenmiştir [56,110,111]. Çizelge 4.11 kurutma, ekstraksiyon ve rafinasyon işlemleri sırasında ısı ve elektrik tüketimleri ile kullanılan kimyasallar ve yan ürün üretim miktarlarını göstermektedir. Değerler 1 ton aspir yağı metil esteri (AME) üretimi için verilmekte olup kaynak tarama çalışmaları ile karşılaştırılarak belirlenmiş gerçek değerlerdir [102,109-112]. Yağ ekstraksiyonunda verim %95 olarak kabul edilmiş ve kullanılan hekzanın tümünün geri kazanıldığı varsayımı yapılmıştır [113,114].

Çizelge 4.11: Aspir yağı eldesi için veriler [102,109-112].

	Isı (MJ/ton AME)	Elektrik (kWh/ton AME)	Kimyasallar (kg/ton AME)	Yan ürünler (kg/ton AME)
Kurutma	703	47	-	-
Ekstraksiyon	2358	171	Hekzan:4	Küspe:1750
Rafinasyon	160	11	NaOH:0.99	-

Yağ ekstraksiyonu sonucunda aspir yağı ve küspe olmak üzere iki ürün oluşmaktadır ve çevresel etki paylaşımının yapılması gerekmektedir. Bölüm 4.1’de de belirtildiği gibi enerji içeriklerine göre çevresel etki payları belirlenmiştir. Buna göre aspir

yağının çevresel etki payı %28, küspenin çevresel etki payı ise %72 olarak belirlenmiştir [112,115].

Aspir yağı metil esteri ticari olarak üretilmekte olduğundan fabrika değerleri ve kaynak tarama çalışmalarından değerler elde etmek mümkün olmaktadır. Buna karşın, ikinci kuşak biyoyakıtlardan olan aspir yağı etil esteri (AEE) henüz ticari olarak üretilmemekte ve fabrika değerlerinin bulunması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, aspir yağı etil esteri üretimi için yapılan deneysel çalışmalar ve kaynak tarama çalışmalarındaki çeşitli yağların metil ve etil esterlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmaları temel alınmıştır. Aspir yağı metil esteri üretim miktarı 620 kg/hektar iken aspir yağı etil esteri üretim miktarı 655 kg/hektar olarak kabul edilmiştir [116,117]. Bu nedenle AEE üretiminde hem tarım aşamasında hem de kurutma, ekstraksiyon, rafinasyon aşamalarında enerji tüketimi AME üretimindeki enerji tüketimine göre daha az olacaktır. AEE üretiminde AME üretiminde kullanılan makinaların kullanıldığı kabul edilmiş ve kullanılan donanım açısından bir farklılık olmadığı varsayılmıştır. Çizelge 4.12, 1 ton AEE üretimi için kurutma, ekstraksiyon ve rafinasyon işlemleri sırasında ısı ve elektrik tüketimleri ile kullanılan kimyasallar ve yan ürün üretim miktarlarını göstermektedir.

Çizelge 4.12: Aspir yağı eldesi için veriler [116,117].

	Isı (MJ/ton AEE)	Elektrik (kWh/ton AEE)	Kimyasallar (kg/ton AEE)	Yan ürünler (kg/ton AEE)
Kurutma	663	45	-	-
Ekstraksiyon	2230	161	Hekzan:3.8	Küspe:1650
Rafinasyon	150	10	NaOH:0.89	-

4.2.3.2 Esterleşme

Rafine edilmiş aspir yağının metanol/etanolla esterleşme reaksiyonu sonucunda aspir yağı metil/etil esterleri üretilmektedir. Üretimde kullanılan metanol/etanolün geri kazanıldığı ve kullanılan suyun yeniden kullanılabilceği kabul edilmiştir [115]. Esterleşme sonucunda metil/etil esteri ve gliserin olmak üzere iki ürün oluşmaktadır ve çevresel etki paylaşımının yapılması gerekmektedir. Bölüm 4.1’de de belirtildiği gibi enerji içeriklerine göre çevresel etki payları belirlenmiştir. Buna göre aspir yağı metil esteri üretiminde aspir yağı metil esterinin çevresel etki payı %90.6, gliserinin çevresel etki payı %9.4; aspir yağı etil esteri üretiminde aspir yağı etil esterinin çevresel etki payı %91.2, gliserinin çevresel etki payı ise %8.8 olarak belirlenmiştir

[112,115]. Aspir yağı metil ve etil esteri üretimi için ısı ve elektrik tüketimleri, kimyasallar ve yan ürün miktarları ise Çizelge 4.13’de sunulmaktadır [109-112,116,117]. Bu koşullarda üretilen aspir yağı metil/etil esterleri son ürün olarak yakıt istasyonlarına taşınır.

Çizelge 4.13: Aspir yağı metil ve etil esterleri için veriler [109-112,116,117].

Isı, MJ/ton AME	802
Elektrik, MJ/ton AME	57
Kimyasallar, kg/ton AME	Metanol: 98
Yan ürünler, kg/ton AME	Gliserin: 124
Isı, MJ/ton AEE	802
Elektrik, MJ/ton AEE	57
Kimyasallar, kg/ton AEE	Etanol: 136
Yan ürünler, kg/ton AEE	Gliserin: 113

Tüm çalışmada, kullanılan elektrik üretimi dağılımı Türkiye koşullarına göre uygulanmıştır. 2009 yılında elektrik üretimi dağılımında doğalgazın payı %48.6, kömürün payı %28.3, hidroelektriğin payı %18.5, fuel-oil’in payı %3.4 ve yenilenebilir elektriğin payı %1.1 olarak belirlenmiştir [26]. Elektrik üretiminde rüzgar, biyokütle ve jeotermal kaynakları kullanılmakla beraber üretim içindeki payları çok küçük olduğundan dikkate alınmamış ve elektriğin kömür, doğalgaz, hidroelektrik ve fuel oil tarafından sağlandığı varsayımı yapılmıştır. Elektrik üretim dağılımı Çizelge 4.14’de gösterilmektedir. Isı üretimi için ise çok kesin bilgiler bulunmamakla beraber, doğalgazın yoğun olarak kullanıldığı belirlenmiş ve doğalgazdan ısı üretimi temel alınmıştır.

Çizelge 4.14: Elektrik üretimi dağılımı.

Enerji kaynağı	Elektrik üretimindeki pay,%
Doğalgaz	48.9
Kömür	28.6
Hidroelektrik	18.8
Fuel oil	3.7

4.2.3.3 Kullanım

Aspir yağı metil/etil esterinin B100 olarak kullanımı ve motorinin kullanımı sonucu oluşan emisyon değerleri Çizelge 4.15’de sunulmaktadır [45,82,86,118-121].

Çizelge 4.15: Emisyon değerleri [45,82,86,118-121].

Emisyon Değeri	Motorin	AME	AEE
CO ₂ , kg/100 km	13.4	0.7	-
CH ₄ , mg/100 km	7.6	6.1	4.2
NO _x , mg/100 km	25.6	28.9	26.2
N ₂ O, mg/100 km	0.0645	0.095	0.095
SO _x , mg/100 km	0.011	0.009	0.007
Partikül, mg/100 km	3.56	2.4	1.8
Uçucu olmayan bileşikler (metan hariç), mg/100 km	9.59	3.7	3.3

Toplanan tüm bu veriler SimaPro 7.2.4 programı ve Eco-indicator 99 yöntemi kullanılarak sonuçlar oluşturulmuştur. Elde edilen bu sonuçlar yaşam döngüsü değerlendirmesinin üçüncü ve dördüncü aşamaları olan etki değerlendirmesi ve yorum aşamaları kapsamında Bölüm 5.3’de sunulmaktadır.

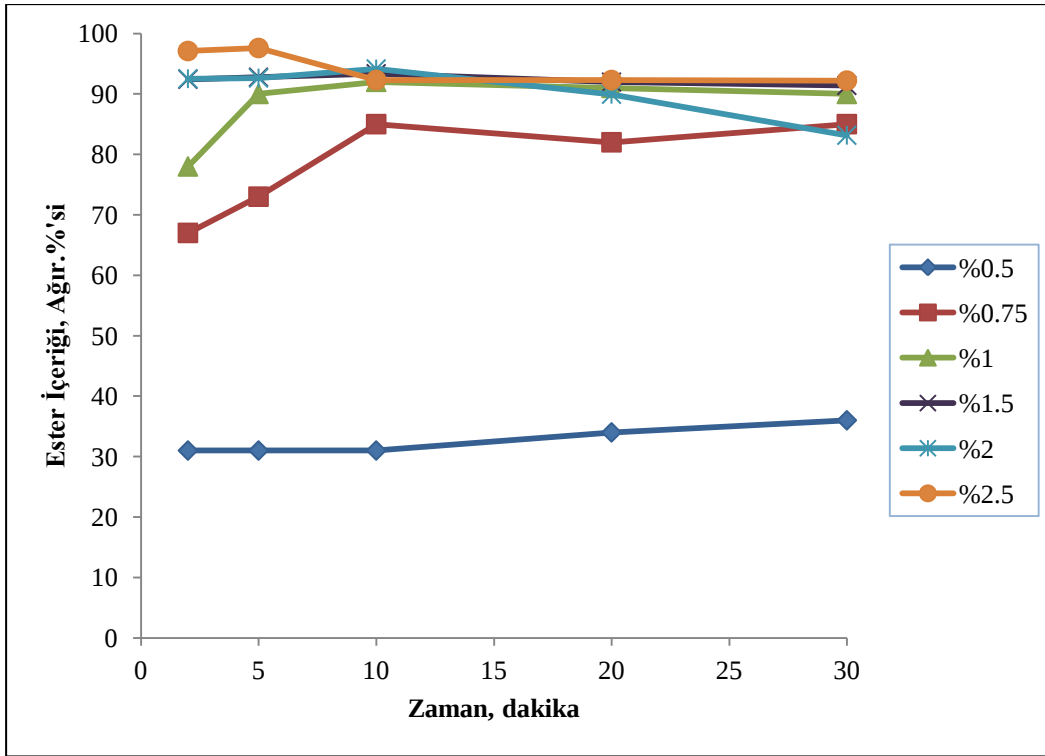
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde deneysel çalışma sonuçları ile yaşam döngüsü değerlendirmesi sonuçları aşağıda sıralanan başlıklar altında sunulmaktadır:

- Laboratuvar ölçeğinde aspir yağı etil esteri üretimi
- Alternatif motorinlerin yakıt özelliklerinin belirlenmesi
- Yaşam döngüsü değerlendirmesi

5.1 Laboratuvar Ölçeğinde Aspir Yağı Etil Esteri Üretimi

Aspir yağı etil esteri üretimi için transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör miktarı değişiminin ürün bileşimine olan etkisini belirlemek için yağın ağırlıkça %0.5, %0.75, %1, %1.5, %2 ve %2.5 oranlarında NaOH denenmiş ve kaynak tarama çalışmaları sonucunda Bölüm 3.2.2’de de belirtildiği gibi yağ/alkol mol oranı: 1/6; reaksiyon sıcaklığı: $70 \pm 1^\circ\text{C}$ ve reaksiyon süresi: 30 dakika olarak sabit tutulmuştur. Laboratuvar ölçeğinde %0.5, %0.75, %1, %1.5, %2 ve %2.5 oranlarında NaOH kullanımında elde edilen ürün bileşiminin zamana bağlı olarak aspir yağı etil esteri içeriği Şekil 5.1’de ve Çizelge A.1’de sunulmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi %0.5 oranında katalizör kullanımı ile 30 dakika sonunda elde edilen ester içeriği %36 ve %0.75 oranında katalizör kullanımı ile elde edilen ester içeriği de %85 ile sınırlı kalmıştır. %1 oranında katalizör kullanımı ile 10 dakika sonunda elde edilen ester içeriği ise %92 olup 10.dakikadan sonra geri reaksiyon nedeniyle ester içeriği %90’a düşmüştür. %1.5 ve %2 oranlarında katalizör kullanımında, 10.dakikada elde edilen ester içeriği sırasıyla %93 ve %94 olup, daha sonra geri reaksiyon nedeniyle ester içeriğinde düşüş gözlemlenmiştir. %2.5 oranında katalizör kullanımında ise ester içeriği 5.dakikada %97 olup 10.dakikadan itibaren %92’ye düşmüştür. Katalizör miktarı seçiminde ürün bileşiminin yanı sıra elde edilen rafinasyon verimleri de göz önüne alınmıştır. Çizelge 5.1, %1, %1.5, %2 ve %2.5 oranlarında katalizör kullanımı sonucunda elde edilen rafinasyon verimlerini göstermektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi %2.5 oranında katalizör kullanımı ile elde edilen rafinasyon verimi değerleri %25-30 arasında olup, bu değer %1.5 ve %2 oranlarında



Şekil 5.1: Katalizör miktarı değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi (Sıcaklık: $70 \pm 1^\circ\text{C}$, yağ/alkol mol oranı: 1/6, reaksiyon süresi: 30 dakika).

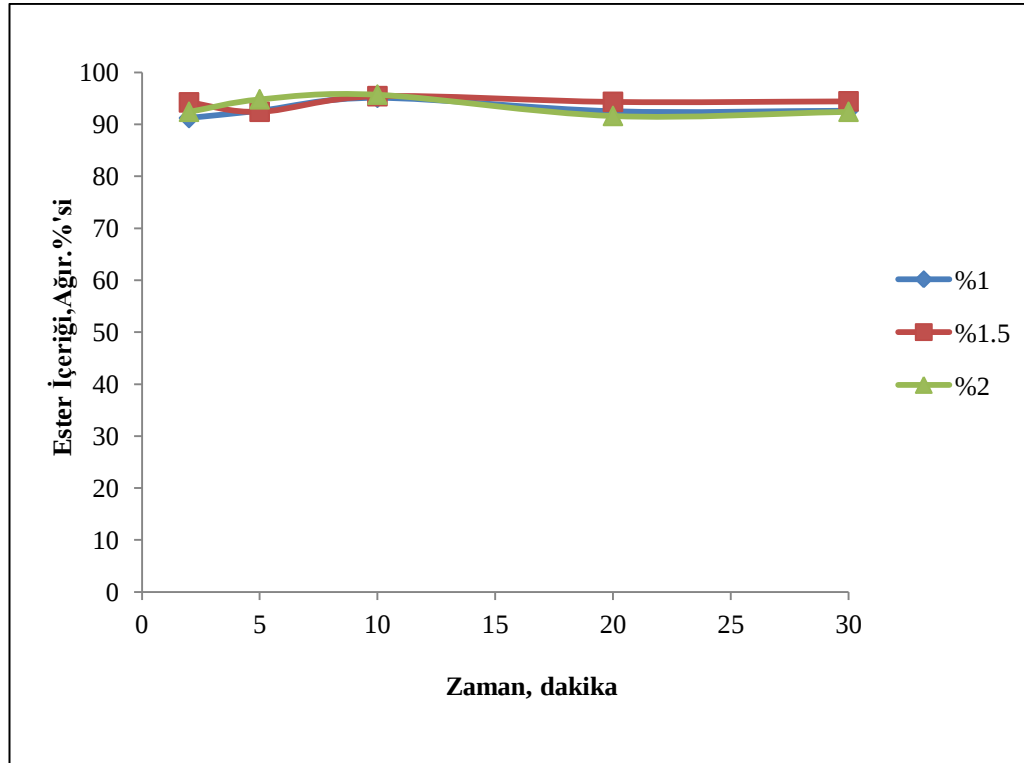
Çizelge 5.1: Rafinasyon verimleri.

Katalizör Miktarı, %	1	1.5	2	2.5
Zaman, dakika				
2	70.2	65.9	66.2	25.2
5	74.9	67.2	67.8	30.6
10	75.6	70.5	70.6	29.8
20	74.6	69.2	70.1	28.5
30	74.4	67.3	68.2	28.4

katalizör kullanımı için %65-70, %1 oranında katalizör kullanımı için %70-75 arasında değişmektedir.

Katalizör miktarları için tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, %2.5 oranında katalizör kullanımı ile elde edilen ester içeriği en yüksek olmasına rağmen rafinasyon verimi çok düşük olduğu için ve %1, %1.5 ve %2 oranlarında katalizör kullanımı sonucunda

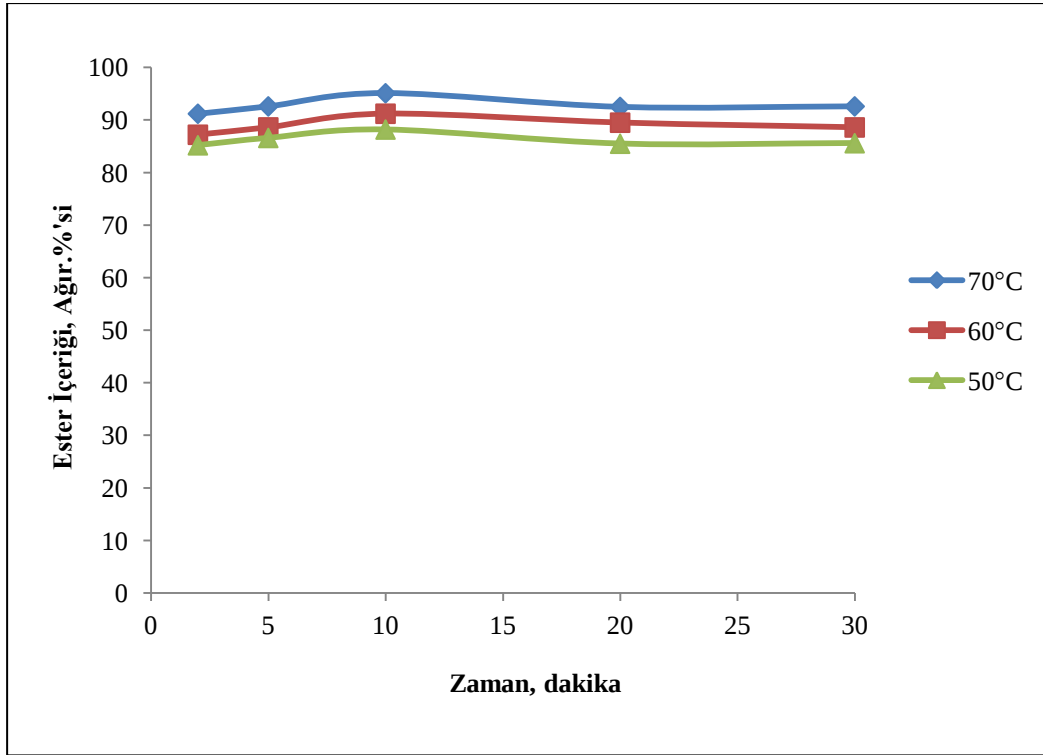
elde edilen rafinasyon verimi ve ester içerikleri birbirine yakın olduğu için, bir sonraki adım olarak %1, %1.5 ve %2 oranında katalizör miktarlarında 1/7 yağ/alkol mol oranının incelenmesine karar verilmiştir. Sıcaklık ve reaksiyon süresi 70°C ve 30 dakika olmak üzere sabit tutulan diğer reaksiyon parametreleri arasında belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.2’de ve Çizelge A.2’de sunulmaktadır. Sonuçlara göre, %1 oranında katalizör kullanımında 10 dakika sonunda elde edilen ester içeriği %95.1, %1.5 oranında katalizör kullanımında %95.4 ve %2 oranında katalizör kullanımında elde edilen ester içeriği %95.6 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.2: Katalizör miktarı değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi (Sıcaklık: 70 ± 1°C, yağ/alkol mol oranı: 1/7, reaksiyon süresi: 30 dakika).

Her üç katalizör miktarında elde edilen ester içerikleri hemen hemen aynı olduğundan katalizör miktarı %1 olarak belirlenmiş ve bundan sonraki deneylerde sabit tutulmuştur. Yağ/alkol mol oranı ve reaksiyon süresi de 1/7 ve 30 dakika olmak üzere sabit tutulan diğer reaksiyon parametreleri arasında belirlenmiştir. Bu koşullarda sıcaklığın elde edilen ester içeriğine etkisi belirlenmiştir. Sıcaklık değişiminin ester içeriğine etkisinin belirlenmesi için 70°C, 60°C ve 50°C olmak üzere üç ayrı sıcaklık değeri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.3’de ve Çizelge A.3’de sunulmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi, 70°C’de 10 dakika sonunda %95.1 oranında ester içeriği elde edilmiş ve bu değer 30 dakikada geri

reaksiyon nedeniyle %92.6'ya düşmüştür. Sıcaklığın ester içeriği üzerine etkisini incelemek için 60°C'de gerçekleştirilen reaksiyon sonucunda 10 dakika sonunda %91.2, 50°C'de gerçekleştirilen reaksiyon sonucunda ise %88.2 ester içeriğine ulaşılmış ve ester içerikleri 30 dakika sonunda %88.6 ve %85.7'ye düşmüştür. Denenen koşullar arasında istenen ester içeriğine 70°C'de erişildiği için uygun sıcaklık olarak 70°C seçilmiştir. 10 dakikadan sonra geri reaksiyon gözlemlenmesi nedeniyle reaksiyon süresinin 10 dakika tutulması yeterli görülmüştür.



Şekil 5.3: Sıcaklık değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi (Katalizör miktarı:%1, yağ/alkol mol oranı:1/7, reaksiyon süresi:30 dakika).

Denenen transesterifikasyon koşulları sonrasında, aspir yağı etil esteri üretimi için reaksiyon koşulları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Yağ/alkol mol oranı : 1/7
- Reaksiyon sıcaklığı : $70 \pm 1^\circ\text{C}$
- Katalizör miktarı : Yağın ağırlıkça %1'i oranında NaOH
- Reaksiyon süresi : 10 dakika

Bu koşullarda Bölüm 3.2.2'de ayrıntısı verilen rafinasyon işlemi yürütülerek aspir yağı etil esteri üretilmiştir.

5.2 Alternatif Motorinlerin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi

Aspir yağı etil esterinin (AEE) yağ asitleri bileşimi Çizelge 5.2’de ayrıntılı olarak verilmektedir. Buna göre ester bileşiminde en çok %54.19 oran ile linoleik asit ve %34.05 oran ile oleik asit bulunmaktadır. TS EN 14214 standardına göre üst sınır değeri %12 olarak belirlenmiş olan linolenik asit içeriği AEE için %0.1 olup standart sınırları içinde kalmaktadır.

Çizelge 5.2: Aspir yağı etil esteri yağ asitleri bileşimi.

Yağ Asitleri		Bileşim, Ağır. %’si
Miristik Asit	C14:0	0.09
Palmitik Asit	C16:0	6.15
Palmitoleik Asit	C16:1	0.26
Stearik Asit	C18:0	1.59
Oleik Asit	C18:1	34.05
Linoleik Asit	C18:2	54.19
Linolenik Asit	C18:3	0.1
Arişidik Asit	C20:0	0.4
Diğerleri		3.17

AEE’nin yakıt özellikleri ise TS EN 14214 standardı ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.3’de sunulmaktadır. Etil esterinin içerdiği monogliseric, digliseric, trigliseric, serbest gliserin, toplam gliserin yüzdeleri sırasıyla 0.49, 0.11, 0.012, 0.01, 0.15 olup tüm değerler TS EN 14214 standart değerlerine uygundur. AEE’nin 15°C’deki yoğunluğu 883.4 kg/m³, 40°C’deki kinematik viskozitesi 4.892 cSt olup standart değerler içinde kalmaktadır. Aynı şekilde su içeriği 207 ppm, iyot indisi 109 olup standarda uygun diğer özellikleri arasında yerini almıştır. Bakır korozyon testinde de 1A grubuna ait olup, TS EN 14214 standardını sağlamıştır.

Biyodizelin en önemli özelliklerinden biri olan yüksek alevlenme noktası AEE için 150°C değerindedir. TS EN 14214’e göre alevlenme noktası en az 101°C olmalıdır. AEE’nin yüksek alevlenme noktası taşıma ve depolama açısından avantaj sağlayacaktır. TS EN 14214 standardına göre en çok 0.3 değerini alabilen karbon bakiyesi ise AEE için 0.058 değerindedir.

Biyodizeli önemli bir ticari yeşil yakıt haline getiren önemli özelliklerinden biri de kükürt içermeyen çevre dostu bir yakıt olmasıdır. Standartlara göre kükürt değeri en

Çizelge 5.3: Aspir yağı etil esterinin yakıt özellikleri.

ÖZELLİKLER	TS EN 14214 Oto Biyodizel	AEE
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	860-900	883.4
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	3.5-5.0	4.892
Alevlenme Noktası, °C, En Az	101	150
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C, En Çok		
Yaz : 1 Nisan-30 Eylül	5	-1
Kış : 1 Ekim-31 Mart	-15	
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, En Çok	0.3	0.058
Bakır Korozyon Testi, En Az	No:1	1A
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, saat, En Az	6	6
Asit İndisi, mg KOH/g, En Çok	0.5	0.5
İyod İndisi, En Çok	120	109
Ester İçeriği, Ağır.%'si, En Az	96.5	97.24
Kükürt İçeriği, mg/kg, En Çok	10	1.2
Su İçeriği, mg/kg, En Çok	500	207
Toplam Kirlilik, mg/kg, En Çok	24	3.8
Sülfate Kül İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.02	0.001
Serbest Gliserin İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.02	0.01
Toplam Gliserin İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.25	0.15
Fosfor İçeriği, mg/kg, En Çok	4	<1
Metanol İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.2	-
Trigliserid İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.2	0.012
Digliserid İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.2	0.11
Monogliserid İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.8	0.49
Grup I Metaller (Na+K), mg/kg, En Çok	5	3
Grup II Metaller (Ca+Mg), mg/kg, En Çok	5	1
Linolenik Asit Metil Esteri Miktarı, Ağır.%'si, En Çok	12	0.1
Poli Doymamış Metil Ester Miktarı, Ağır.%'si, En Çok	1	-

fazla 10 ppm olmalıdır. AEE'nin kükürt değeri ise 1.2 ppm olarak belirlenmiştir.

Düşük kükürt değeri AEE'nin en önemli avantajlarından biridir.

AEE için TS EN 14214 standardına uyan diğer özelliklerini oksidasyon stabilitesi, toplam kirlilik, sülfate kül içeriği, asit indisi, fosfor içeriği, metanol içeriği, Grup I Metaller (Na ve K), Grup II Metaller (Ca ve Mg) olarak saymak mümkündür. Soğukta filtre tıkanma noktası değeri AEE için -1°C olarak tespit edilmiştir. TS EN 14214 standardına göre bu değer yaz için uygun bir değerdir. Kış kullanımı için ise katkı maddesi eklenmesi yararlı olabilecektir.

Motorin ve kırsal motorinin yakıt özellikleri Çizelge 5.4'te, E2m, E5m ve E7m için yakıt özellikleri motorin ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.5'de, E2km, E5km ve E7km için yakıt özellikleri ise kırsal motorin ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.6'da sunulmaktadır. E2m, E5m, E7m TS 3082 (EN 590) standardındaki yoğunluk, kinematik viskozite, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, kükürt içeriği, alevlenme noktası, karbon bakiyesi, kül içeriği, su içeriği, toplam kirlilik, bakır korozyon testi, oksidasyon stabilitesi, yağ asidi metil esteri, distilasyon testi özellikleri olmak üzere standarttaki tüm özelliklere uygunluk göstermekte olup, alevlenme noktasını artırıcı ve kükürt içeriğini azaltıcı şekilde avantajlar sunmaktadır. Motorinin 6 ppm olan kükürt değeri, motorine %2 oranında aspir yağı etil esteri katılması ile 5.6 ppm değerine, %5 oranında aspir yağı etil esteri katılması ile 5.5 ppm değerine, %7 oranında aspir yağı etil esteri katılması ile 5.1 ppm değerine düşmüştür. Benzer avantajlar E2km, E5km, E7km alternatif yakıtları için de gözlemlenmiş olup bu yakıtların da tüm özellikleri TS 3082 (EN 590) standardındaki özelliklere uygunluk göstermektedir. Kırsal motorinin 910 ppm olan kükürt değeri kırsal motorine %2 oranında aspir yağı etil esteri katılması ile 870 ppm değerine, %5 oranında aspir yağı etil esteri katılması ile 860 ppm değerine, %7 oranında aspir yağı etil esteri katılması ile 750 ppm değerine düşmüştür.

Soğukta filtre tıkanma noktası özelliğinin standartlara uygun değerleri her ülkenin koşullarına, kış ve yaz aylarına göre değişmektedir. TS 3082 standardına göre A, B, C, D, E ve F olmak üzere altı tip bulunmaktadır. Bu tipler için uygun değerler Çizelge 5.4, 5.5 ve 5.6'da belirtilmiştir. Türkiye için belirtilen tiplerden Tip A yaz döneminde, Tip E kış döneminde kullanılmakta olup yaz dönemi 1 Nisan-30 Eylül, kış dönemi ise 1 Ekim-31 Mart aralığı olarak kabul edilmektedir. Buna göre motorin ve aspir yağı etil esteri katkılı alternatif motorinlerin yaz için kullanımı uygun olup, kış kullanımında katkı maddelerinin kullanılması yararlı olacaktır.

Çizelge 5.4: Motorin ve kırsal motorin için yakıt özellikleri.

ÖZELLİKLER	TS 3082 EN 590	M	KM
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	820-845	835.8	840.5
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	2.0-4.50	2.412	2.800
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Ağır.%'si, En Çok	11	2.8	3.3
Kükürt İçeriği, mg/kg, En Çok	50	6.0	910
Alevlenme Noktası, °C, En Az	55	64	69
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, En Çok	0.3	0.013	0.013
Kül İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.01	0.0021	0.0022
Su İçeriği, mg/kg, En Çok	200	51	49
Toplam Kirlilik, mg/kg, En Çok	24	4	4
Bakır Korozyon Testi, En Az	No:1	1A	1A
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, g/m ³ , En Çok	25	1.5	1.2
Yağ Asidi Metil Esteri, Hacim %'si, En Çok	5	0.12	<0.05
Distilasyon Testi :			
250°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si, En Çok	65	37	30
350°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si, En Çok	85	94	92
%95'in (Hacmen) Elde Edildiği Sıcaklık, °C, En Çok	360	354	358.5
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C, En Çok			
Tip A	5		
Tip B	0		
Tip C	-5	-12	-14
Tip D	-10		
Tip E	-15		
Tip F	-20		

Çizelge 5.5: E2m, E5m, E7m ve M için yakıt özellikleri.

ÖZELLİKLER	TS 3082 (EN 590)	M	E2m	E5m	E7m
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	820-845	835.8	838.3	838.5	839.8
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	2.0-4.50	2.412	2.569	2.645	2.870
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Ağır.%'si, En Çok	11	2.8	2.8	2.8	2.6
Kükürt İçeriği, mg/kg, En Çok	10	6.0	5.6	5.5	5.1
Alevlenme Noktası, °C, En Az	55	64	65	66	66
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, En Çok	0.3	0.013	0.013	0.013	0.013
Kül İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.01	0.0021	0.0021	0.0022	0.0022
Su İçeriği, mg/kg, En Çok	200	51	55	62	86
Toplam Kirlilik, mg/kg, En Çok	24	4	4	5	6
Bakır Korozyon Testi, En Az	No:1	1A	1A	1A	1A
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, g/m ³ , En Çok	25	1.5	2.8	3.9	4.4
Yağ Asidi Metil Esteri, Hacim %'si, En Çok	5	0.12	2.1	5.1	7.7
Distilasyon Testi :					
250°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si, En Çok	65	37.0	37.5	38.5	38.5
350°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si, En Çok	85	94.0	94.0	94.0	94.0
%95'in (Hacmen) Elde Edildiği Sıcaklık, °C, En Çok	360	354	353	351	350
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C, En Çok					
Tip A	5	-12	-12	-11	-11
Tip B	0				
Tip C	-5				
Tip D	-10				
Tip E	-15				
Tip F	-20				

Çizelge 5.6: E2km, E5km, E7km ve KM için yakıt özellikleri.

ÖZELLİKLER	TS 3082 (EN 590)	KM	E2km	E5km	E7km
Yoğunluk, 15 °C, kg/m ³	820-845	840.5	841.8	842.6	842.8
Kinematik Viskozite, 40 °C, cSt	2.0-4.50	2.800	2.812	2.874	2.902
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Ağır.%'si, En Çok	11	3.3	3.3	3.2	3.1
Kükürt İçeriği, mg/kg, En Çok	1000	910	870	860	750
Alevlenme Noktası, °C, En Az	55	69	69	70	70
Karbon Bakiye, Ağır.%'si, En Çok	0.3	0.013	0.013	0.013	0.013
Kül İçeriği, Ağır.%'si, En Çok	0.01	0.0022	0.0022	0.0022	0.0023
Su İçeriği, mg/kg, En Çok	200	49	51	56	74
Toplam Kirlilik, mg/kg, En Çok	24	4	4	5	6
Bakır Korozyon Testi, En Az	No:1	1A	1A	1A	1A
Oksidasyon Stabilitesi, 110 °C, g/m ³ , En Çok	25	1.2	2.5	3.4	4.2
Yağ Asidi Metil Esteri, Hacim %'si, En Çok	5	<0.05	1.96	4.26	8.00
Distilasyon Testi :					
250°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si, En Çok	65	30	31	31.5	32
350°C'de Elde Edilen Distilat, Hac. %'si, En Çok	85	92	92	92	92
%95'in (Hacmen) Elde Edildiği Sıcaklık, °C, En Çok	360	358.5	358	358	357
Soğukta Filtre Tıkanma Noktası, °C, En Çok					
Tip A	5				
Tip B	0				
Tip C	-5	-14	-14	-13	-13
Tip D	-10				
Tip E	-15				
Tip F	-20				

5.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Bu bölümde yaşam döngüsü değerlendirmesi için üçüncü ve dördüncü adımlar olan etki değerlendirmesi ve yorum aşamaları aşağıdaki başlıklar altında sunulmaktadır:

- Karakterizasyon
- Normalizasyon
- Ağırlıklandırma
- Yorum

5.3.1 Karakterizasyon

Bölüm 4'te sunulmakta olan amaç ve kapsamın belirlenmesi ile verilerin toplanmasının ardından Çizelge B.1 – B.11'de özetlenen şekilde tüm veriler SimaPro 7.2.4 programına girilerek Eco-indicator 99 yöntemi ile Çizelge 5.7 ve Şekil 5.4'de gösterilmekte olan aspir yağı metil esteri, aspir yağı etil esteri ve motorin için karakterizasyon sonuçları belirlenmiştir. Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi insan sağlığı kategorisini oluşturmakta olan kanserojenler, solunumla ilgili etkiler, iklim değişikliği, radyasyon, ozon tabakasının incilmesi DALY birimi ile, ekosistem kalitesi kategorisini oluşturmakta olan ekotoksiklik, asidifikasyon ve ötrofikasyon, alan kullanımı $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yıl}$ birimi ile, kaynak kullanımı kategorisini oluşturmakta olan mineral ve fosil kaynak kullanımı ise MJ birimi ile belirtilmektedir. Tüm bu kategorilerin birimleri farklı olduğundan karakterizasyon grafiği her bir kategorinin kendi içerisindeki yüzde dağılımına göre oluşturulmuştur.

Şekil 5.4 aspir yağı metil esteri, aspir yağı etil esteri ve motorin için orta nokta etkileri karakterizasyon sonuçlarını göstermektedir. Buna göre, aspir yağı metil ve etil esterlerinin kanserojenler, solunumla ilgili organik ve inorganikler, iklim değişikliği, radyasyon, ozon tabakası, asidifikasyon ve ötrofikasyon ile fosil yakıt kullanımı kategorilerinin tümünde motorine göre daha az çevresel etkisi olduğu görülmektedir. Şekilde gösterilen negatif değerler çevre üzerinde olumlu etki olduğunu pozitif değerler ise çevre üzerindeki zarar etki yüzdesini göstermektedir. Buna göre aspir yağı metil ve etil esterlerinin iklim değişikliği üzerinde yani sera gazı salımlarının azaltılmasında olumlu etkisi bulunmaktadır ve bu etkinin aspir yağı etil esterinde aspir yağı metil esterine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

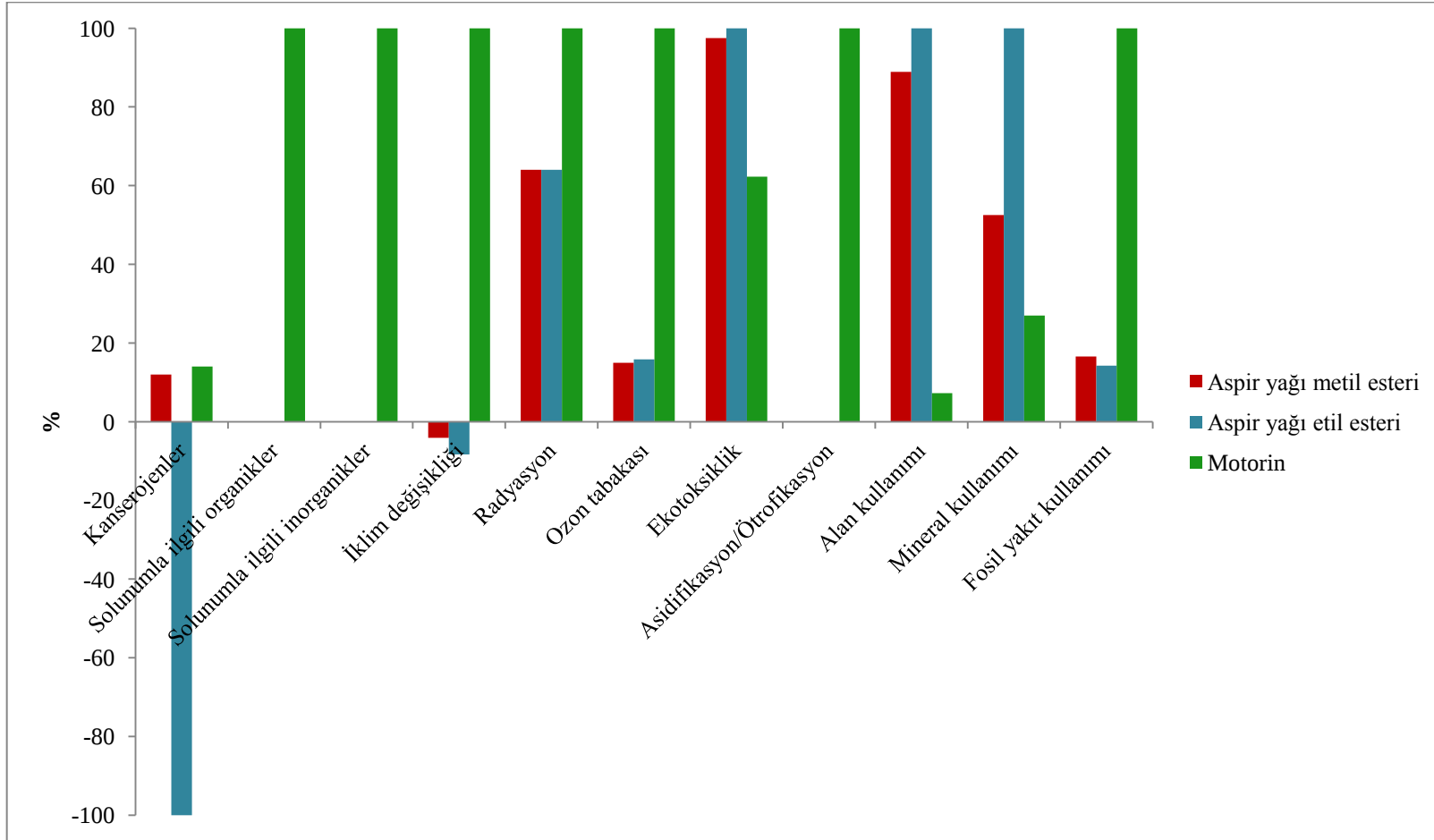
Çizelge 5.7: Orta nokta ve zarar etkilerinin karakterizasyonu.

Orta Nokta Etkisi	Birim	AME	AEE	Motorin
Kanserojenler	DALY	2.64E-10	-2.2E-9	3.08E-10
Solunumla ilgili organikler	DALY	2.66E-12	2.85E-12	2.91E-10
Solunumla ilgili inorganikler	DALY	2.99E-7	3.28E-7	6.27E-4
İklim değişikliği	DALY	-3.97E-7	-8.07E-7	9.68E-6
Radyasyon	DALY	2.06E-9	2.06E-9	3.18E-9
Ozon tabakası	DALY	7.27E-11	7.7E-11	4.85E-10
Ekotoksiklik	PDF*m ² *yıl	5.4E-3	5.6E-3	3.5E-3
Asidifikasyon/Ötrofikasyon	PDF*m ² *yıl	7.3E-3	9.4E-3	34.45
Alan kullanımı	PDF*m ² *yıl	5.8E-3	6.7E-3	5.0E-4
Mineral kullanımı	MJ	9.6E-3	1.8E-2	4.9E-3
Fosil yakıt kullanımı	MJ	1.19	1.02	7.19
Zarar Etkisi				
İnsan sağlığı	DALY	-9.53E-8	-4.79E-7	6.4E-4
Ekosistem kalitesi	PDF*m ² *yıl	0.0186	0.0217	34.5
Kaynak kullanımı	MJ	1.2	1.04	7.2

Aspir yağı etil esterinin negatif değere yani çevre üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu bir diğer kategori ise kanserojenlerdir. Hava ve suda oluşan poliaromatik hidrokarbonlar ile ağır metaller kanserojen etki yaratmakta ve bu etki insan sağlığına zararlı etkilere neden olabilmektedir. Aspir yağı etil esterinin kullanımı ile kanserojen etki ortadan kaldırılmaktadır.

İnsan sağlığına zararlı olacak solunumla ilgili organik ve inorganiklerde ise gerek aspir yağı metil esteri gerekse aspir yağı etil esterinin avantajlı durumu şekilde görülmektedir. Hidrokloroflorokarbonların salımının bir etkisi olarak oluşan ozon tabakasının zarar görmesi ise aspir yağı metil ve etil esterleri tarafından motorine oranla büyük ölçüde azaltılmaktadır. Radyasyon insan sağlığına etki eden radyoaktif malzemelerin çevreye yayılımını göstermektedir. Bu etki, hammaddelerin elde edilişi esnasında oluşabilmektedir. Bu kategoride de aspir kökenli biyoyakıtların daha avantajlı olduğu görülmektedir.

NH₃, SO_x ve NO_x emisyonlarına bağlı olarak oluşan asidifikasyon ve ötrofikasyon etkisi de her iki biyoyakıt için motorine göre büyük oranda azaltılmıştır, böylece bu



Şekil 5.4: Orta nokta etkileri için karakterizasyon sonuçları.

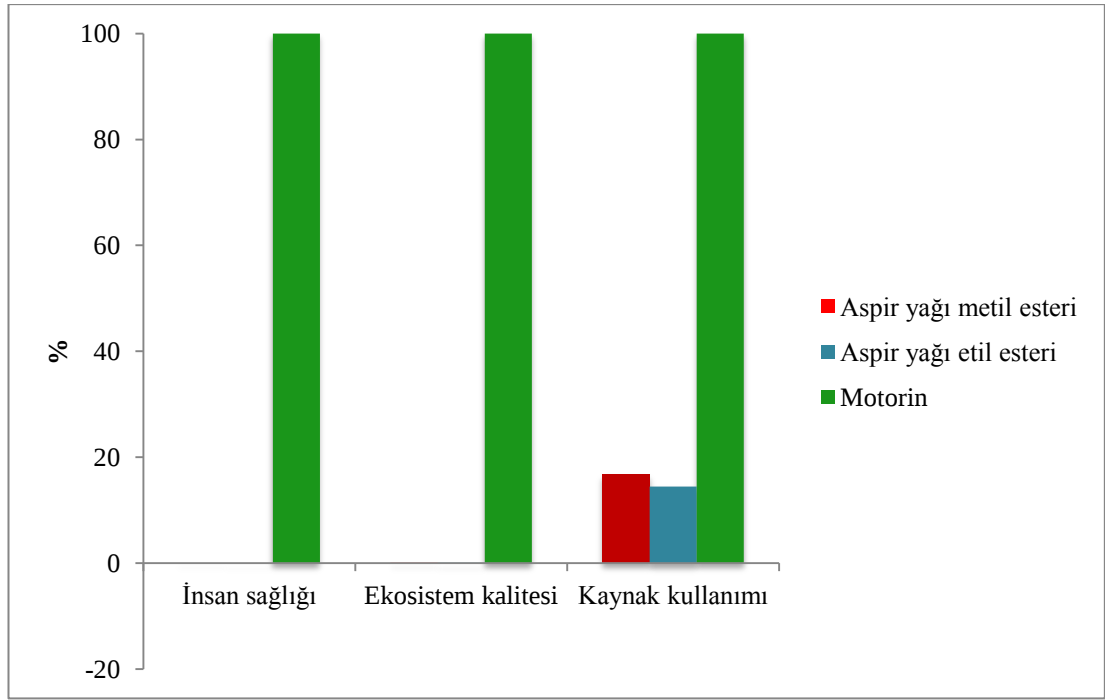
iki biyoyakıtın ekosistem kalitesine olan olumlu katkıları da artmıştır. Ekosistem kalitesi üzerinde etkisi olan ekotoksiklik kategorisinde ise aspir yağı metil ve etil esterlerinin çevresel etkisi motorine oranla daha yüksek olup en büyük etki aspir yağı etil esterine aittir. Bu etkiyi tarım aşamasında kullanılan tarım ilaçları ve gübre kullanımının etkisiyle açıklamak mümkündür. Ekosistem kalitesine etki eden bir diğer kategori ise alan kullanımıdır. Aspir yağı etil esterinin alan kullanımının aspir yağı metil esterine göre daha yüksek olması aspir yağı etil esteri üretiminde her iki hammaddenin de (aspir yağı ve etanol) tarımsal alanlardan elde edilmesiyle açıklanabilmektedir ve her iki biyoyakıtın alan kullanımının motorinin alan kullanımına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Kaynak kullanımı değerlendirildiğinde ise fosil yakıtların kullanımı açısından aspir yağı etil esteri en avantajlı konumda iken minerallerin kullanılması açısından motorinin en avantajlı olduğu görülmekte ve sırasıyla motorin, aspir yağı metil esteri ve aspir yağı etil esteri için mineral kullanımı giderek artmaktadır.

Şekil 5.5 ise aspir yağı metil esteri, aspir yağı etil esteri ve motorin için zarar etkilerinin karakterizasyon sonuçlarını göstermektedir. Buna göre, aspir yağı metil ve etil esterleri insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kullanımı kategorilerinin tümünde motorine göre çevresel olarak daha avantajlı konumdadır. Aspir yağı etil esteri aspir yağı metil esterine göre özellikle kaynak kullanımı ve az miktarda insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileriyle öne çıkmaktadır.

Kısaca özetlemek gerekirse aspir yağı metil ve etil esterleri mineral kullanımı, alan kullanımı ve ekotoksiklik kategorileri dışındaki incelenen tüm orta nokta kategorilerinde ve zarar etkilerini oluşturan insan sağlığı, ekosistem kalitesi, kaynak kullanımı kategorilerinde motorine göre daha avantajlı konumda olup aspir yağı etil esteri aspir yağı metil esterine göre kanserojenler, iklim değişikliği ve fosil yakıt kullanımı alanlarında daha üstün çevresel özelliklere sahiptir.

Karakterizasyon sonuçlarında belirtilen tüm bu kategorilerin birimleri farklı olduğundan yüzdelere göre grafikler oluşturulmakta ve bu yüzden hangi kategorinin çevre üzerinde daha çok etkili olduğu tam olarak belirlenememektedir. Bu nedenle, kategorilerden hangisinin daha etkili olduğunu görmek ve bu etkileri daha kolay yorumlamak amacıyla Bölüm 2.5.2’de de belirtildiği gibi normalizasyon yapılması



Şekil 5.5: Zarar etkileri için karakterizasyon sonuçları.

gerekmektedir. Bir sonraki bölümde normalizasyon ve ağırlıklandırma yapılarak sonuçlar daha anlamlı hale getirilecektir.

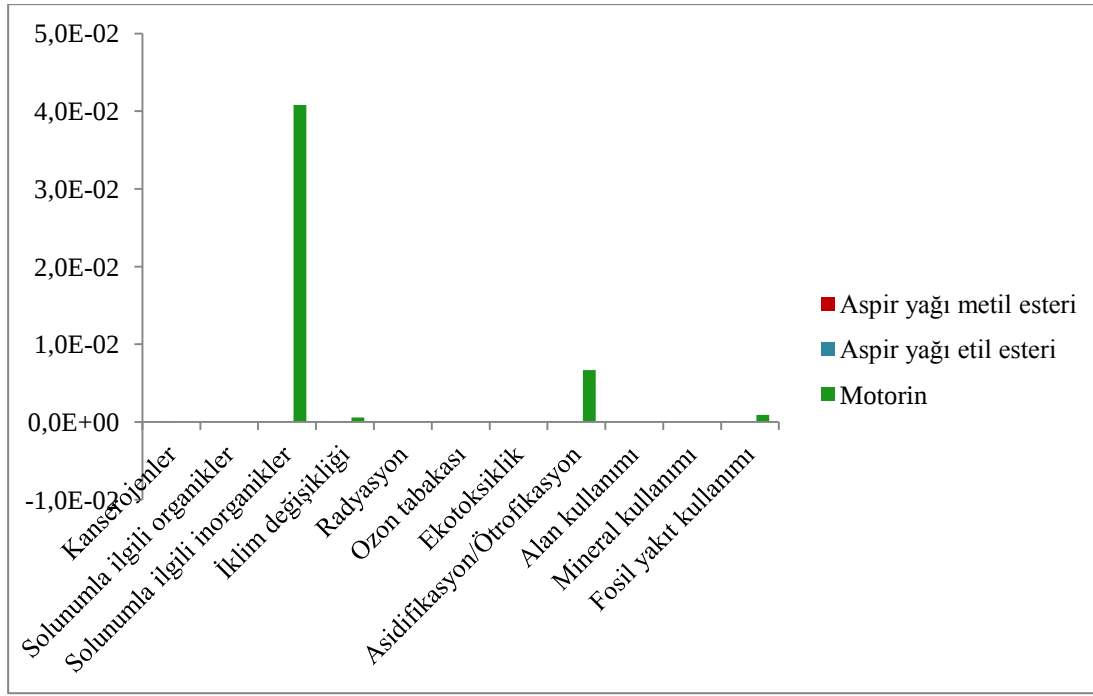
5.3.2 Normalizasyon

Orta nokta kategorileri ve zarar kategorilerinin farklı birimlerle ifade edilmesi nedeniyle karşılaştırma yapılabilmesi için tüm bu çevresel etkileri boyutsuz hale getirmek amacıyla normalizasyon yapılmaktadır. Normalizasyon ile tüm kategoriler boyutsuz hale getirilerek çevresel etkileri karşılaştırmak mümkün kılınmaktadır. Normalizasyon için, Eco-indicator 99 yöntemi tarafından kullanılması önerilen ve Çizelge 5.8’de sunulan normalizasyon faktörleri kullanılmıştır.

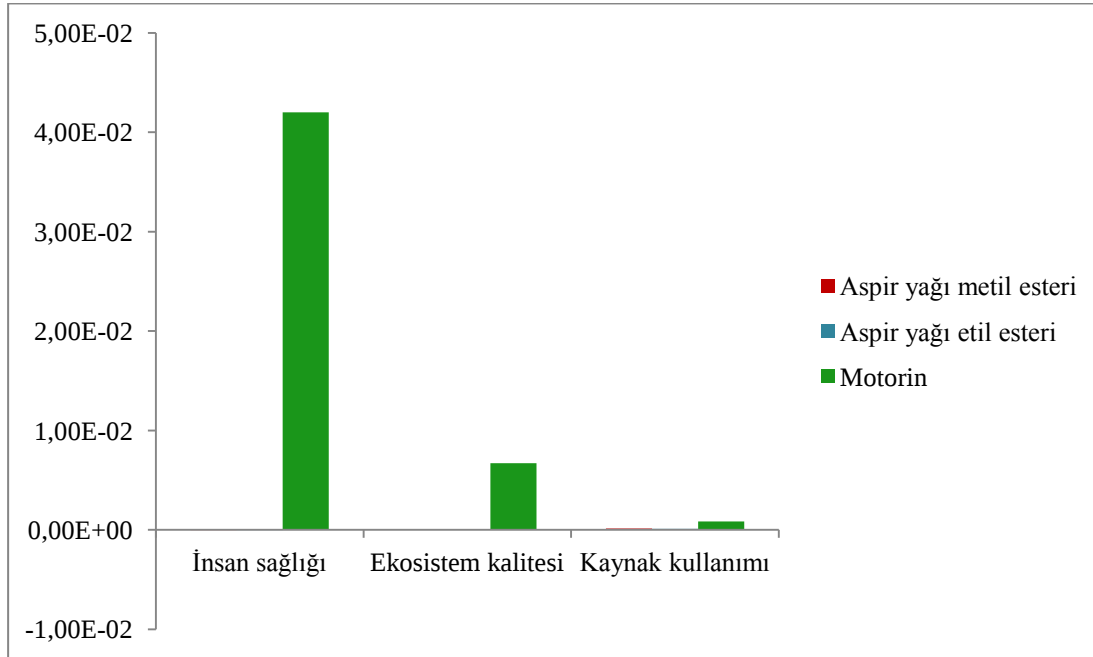
Çizelge 5.8: Normalizasyon faktörleri.

Etki Kategorisi	Faktör
İnsan Sağlığı	0.0154
Ekosistem Kalitesi	5130
Kaynak Kullanımı	8410

Şekil 5.6 aspir yağı metil ve etil esterleri ile motorin için orta nokta kategorilerinin normalizasyon sonuçlarını, Şekil 5.7 ise aspir yağı metil ve etil esterleri ile motorin için zarar kategorilerinin normalizasyon sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 5.6: Orta nokta etkiler için normalizasyon sonuçları.



Şekil 5.7: Zarar etkileri için normalizasyon sonuçları.

Şekilde 5.6'da görüldüğü gibi çevresel olarak en etkili olan orta nokta kategorileri solumunla ilgili inorganikler, asidifikasyon ve ötrofikasyon olup bunu fosil yakıt kullanımı ile iklim değışikliğı izlemektedir. Çevresel yükün oluşmasında en etkili olan bu kategorilerin tümünde motorinin çevresel etkisi her iki biyoyakıtın çevresel etkisinden daha yüksektir. Etkin olan bu kategoriler arasında solumunla ilgili

inorganikler, asidifikasyon ve ötrofikasyon kategorilerinde aspir yağı metil ve etil esterlerinin etkileri hemen hemen aynıdır, ancak fosil yakıt kullanımı konusunda aspir yağı etil esteri aspir yağı metil esterine göre daha avantajlı konumdadır. İklim değişikliği kategorisinde de her iki biyoyakıtın çevre üzerinde olumlu etkiye sahip olmasına karşın, aspir yağı etil esterinin çevre üzerindeki olumlu katkısının daha çok olduğu görülmektedir.

Şekil 5.7’de sunulmakta olan zarar kategorileri sonuçlarına göre ise insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kullanımı kategorilerinin tümünde aspir yağı metil ve etil esterleri motorine göre daha avantajlı olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.6 ve 5.7’de motorinin çevresel etkilerinin aspir yağı metil ve etil esterinin çevresel etkilerine göre çok daha yüksek olması nedeniyle aspir yağı metil ve etil esterlerinin çevresel etkilerini karşılaştırmak mümkün olmamaktadır. Bu iki biyoyakıtın çevresel etkilerinin daha iyi analiz edilebilmesi açısından aspir yağı metil ve etil esterlerinin karşılaştırmalı olarak normalizasyon sonuçları Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da gösterilmektedir. İklim değişikliği ve fosil yakıt kullanımı kategorilerinin diğer kategorilere göre çevre üzerinde daha etkili olduğu ve aspir yağı etil esterinin bu iki kategoride de aspir yağı metil esterine göre daha çevreci bir yakıt olduğu görülmektedir. Diğer bir etkili kategori olan solunumla ilgili inorganiklerde ise aspir yağı etil esterinin çevre üzerindeki etkisi aspir yağı metil esterinin çevre üzerindeki etkisine göre az miktarda fazladır. Aspir yağı metil esteri ile etil esterinin zarar etkileri karşılaştırıldığında ise aspir yağı etil esterinin insan sağlığı ve kaynak kullanımı alanlarında aspir yağı metil esterine göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Aspir yağı metil ve etil esterleri ile motorinin normalizasyon sonuçları toplu olarak Çizelge 5.9’da özetlenmektedir. Çizelgede de çevresel olarak en etkili olan orta nokta kategorilerinin solunumla ilgili inorganikler, asidifikasyon ve ötrofikasyon olup bunu fosil yakıt kullanımı ile iklim değişikliği kategorilerinin izlediği görülmektedir.

Normalizasyon aşamasının ardından çevresel etkilere ait önem ve dereceleri ifade eden ağırlıklandırma faktörlerinin uygulanması ve bu çevresel etkilerin öneminin ortaya konulması ile aspir yağı metil esteri, aspir yağı etil esteri ve motorin için eko-değerlerin hesaplanabilmesi amacıyla ağırlıklandırma aşamasına geçilmektedir.

Çizelge 5.9: Normalizasyon sonuçları.

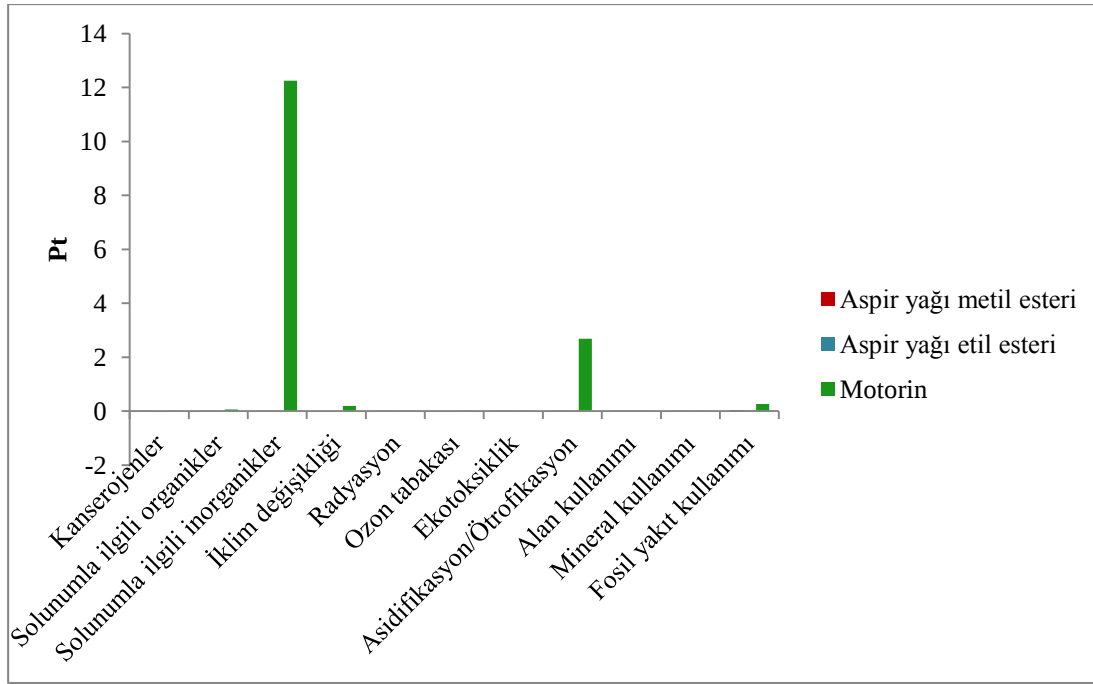
Orta Nokta Etkisi	AME	AEE	Motorin
Kanserojenler	1,71E-08	-1,43E-07	2E-08
Solunumla ilgili organikler	1,73E-08	1,85E-08	1,89E-08
Solunumla ilgili inorganikler	1,94E-05	2,13E-05	0,04
İklim değişikliği	-2,58E-05	-5,24E-05	6,29E-04
Radyasyon	1,34E-07	1,34E-07	2,06E-07
Ozon tabakası	4,72E-09	5,0E-09	3,15E-08
Ekotoksiklik	1,05E-06	1,09E-06	6,82E-07
Asidifikasyon/Ötrofikasyon	1,42E-06	1,83E-06	0,0067
Alan kullanımı	1,13E-06	1,31E-06	9,75E-08
Mineral kullanımı	1,14E-06	2,16E-06	5,85E-07
Fosil yakıt kullanımı	1,41E-04	1,21E-04	8,55E-04
Zarar Etkisi			
İnsan sağlığı	-6,23E-06	-3,11E-05	0,0413
Ekosistem kalitesi	3,61E-06	4,23E-06	0,0067
Kaynak kullanımı	1,42E-04	1,23E-04	8,56E-04

5.3.3 Ağırlıklandırma

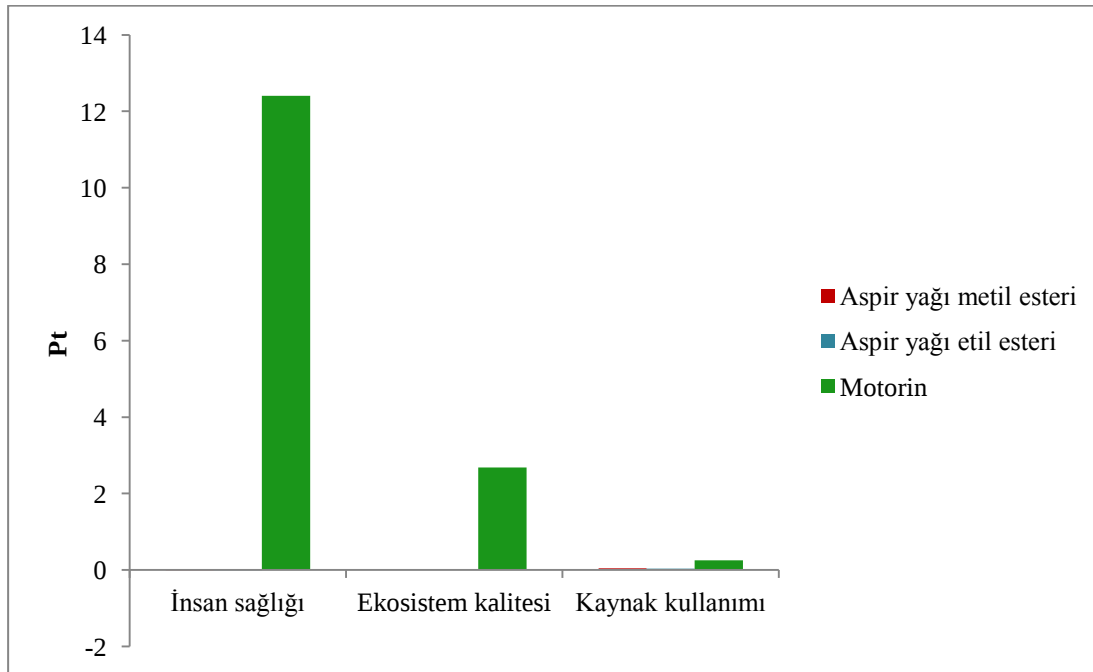
Aspir yağı metil esteri, aspir yağı etil esteri ve motorinin ağırlıklandırılmasında Çizelge 5.10’da sunulan ağırlıklandırma faktörleri kullanılarak elde edilen orta nokta etkiler için ağırlıklandırma sonuçları Şekil 5.10’da, zarar etkileri için ağırlıklandırma sonuçları ise Şekil 5.11’de sunulmaktadır. Ağırlıklandırma sonuçları Pt (Ecoindicator point) ve mPt (milli-point, 1Pt = 1000 mPt) birimiyle ifade edilmektedir. Pt kişi başına düşen yıllık ortalama çevresel yükün binde birini temsil etmekte olup Avrupa temel alınarak oluşan toplam çevresel yükün toplam kişi sayısına bölünüp bu değer in ağırlıklandırma faktörü ile çarpılması ile bulunmaktadır.

Çizelge 5.10: Ağırlıklandırma faktörleri.

Etki Kategorisi	Faktör
İnsan Sağlığı	300
Ekosistem Kalitesi	400
Kaynak Kullanımı	300



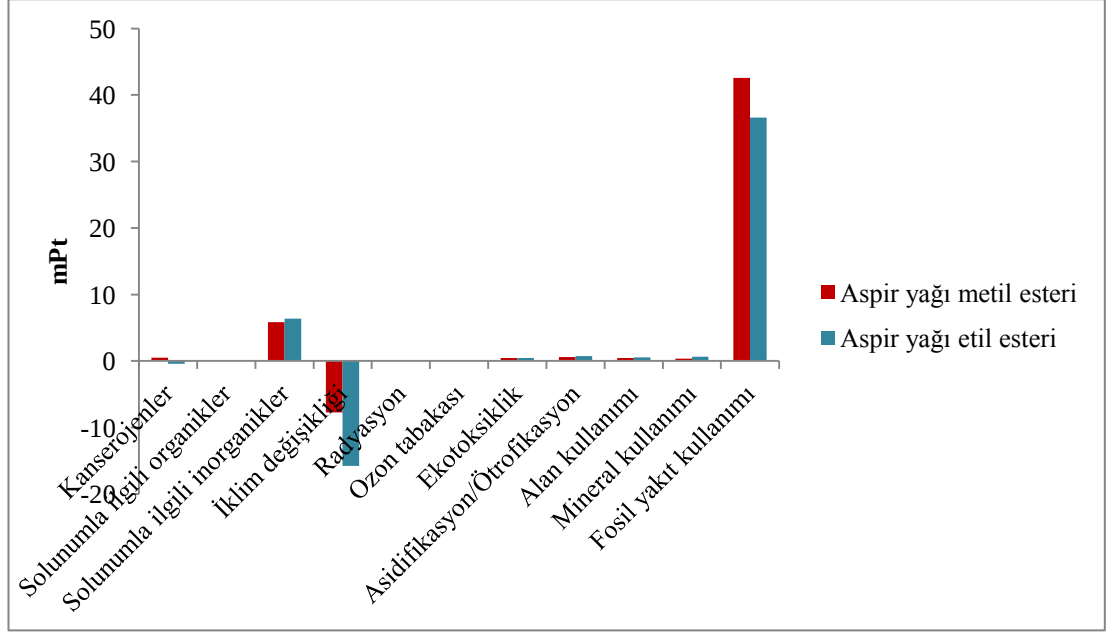
Şekil 5.10: Orta nokta etkiler için ağırlıklandırma sonuçları.



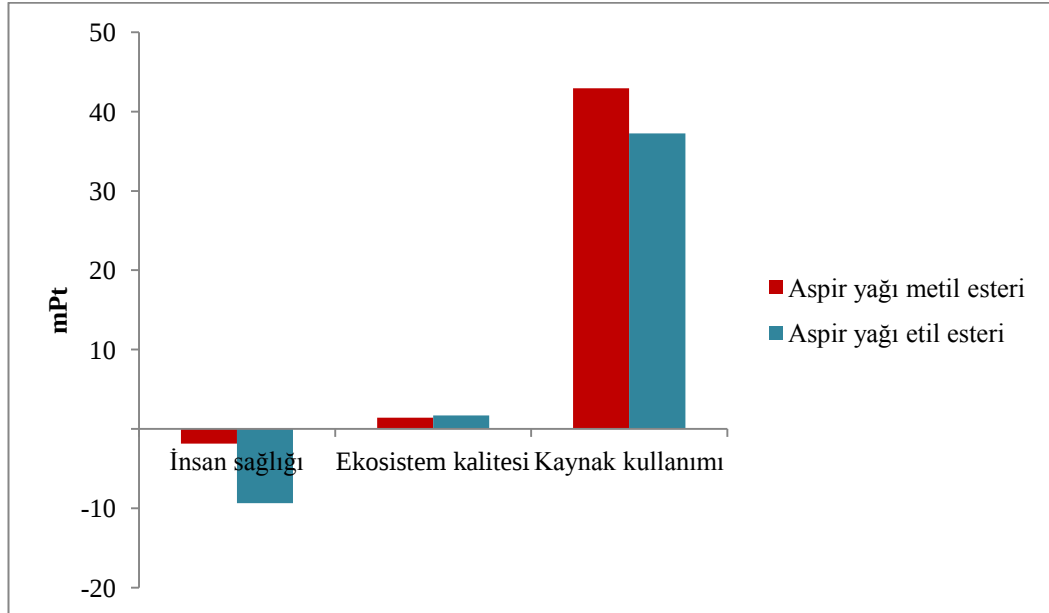
Şekil 5.11: Zarar etkileri için ağırlıklandırma sonuçları.

Normalizasyon sonuçlarına benzer şekilde, Şekil 5.10 ve 5.11’de motorinin çevresel etkilerinin aspir yağı metil ve etil esterinin çevresel etkilerine göre çok daha yüksek olması nedeniyle aspir yağı metil ve etil esterlerinin çevresel etkilerini karşılaştırmak mümkün olmamaktadır. Bu iki biyoyakıtın çevresel etkilerinin daha iyi analiz

edilebilmesi açısından aspir yağı metil ve etil esterlerinin ağırlıklandırma sonuçları ayrıca Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’de gösterilmektedir. Buna göre aspir yağı etil esteri iklim değişikliği ve fosil yakıt kullanımı kategorilerinde aspir yağı metil esterine göre avantajlı konumda olup, zarar kategorilerinden insan sağlığı ve kaynak kullanımı alanlarındaki olumlu yanlarıyla öne çıkmaktadır.



Şekil 5.12: Aspir metil/etil esterleri için orta nokta etkileri ağırlıklandırma sonuçları.



Şekil 5.13: Aspir metil/etil esterleri için zarar etkileri ağırlıklandırma sonuçları.

Aspir yağı metil ester, aspir yağı etil ester ve motorinin ağırlıklandırma sonuçları toplu olarak Çizelge 5.14’de sunulmaktadır. Zarar kategorilerine yapılan ağırlıklandırma sonucunda tüm yakıtlar için ekodeğerin hesaplanması da mümkün olmuştur. Buna göre motorinin toplam ağırlıklandırma etkisi 15.4 Pt iken, aspir yağı metil esterinin 0.042 Pt, aspir yağı etil esterinin ise 0.029 Pt olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.11: Ağırlıklandırma sonuçları.

Orta Nokta Etkisi	AME	AEE	Motorin
Kanserojenler	5,14E-06	-4,28E-05	6E-06
Solunumla ilgili organikler	5,18E-06	5,55E-06	5,67E-06
Solunumla ilgili inorganikler	5,82E-03	6,39E-03	12,21
İklim değişikliği	-0,0077	-0,0157	0,1886
Radyasyon	4,01E-05	4,01E-05	6,19E-05
Ozon tabakası	1,42E-06	1,5E-06	9,45E-06
Ekotoksiklik	4,21E-04	4,36E-04	2,73E-04
Asidifikasyon/Ötrofikasyon	5,69E-04	7,33E-04	2,6862
Alan kullanımı	4,52E-04	5,22E-04	3,9E-05
Mineral kullanımı	3,42E-04	6,49E-04	1,76E-04
Fosil yakıt kullanımı	0,0424	0,0364	0,2565
Zarar Etkisi			
İnsan sağlığı	-1,83E-03	-9,31E-03	12,40
Ekosistem kalitesi	1,44E-03	1,69E-03	2,69
Kaynak kullanımı	0,0427	0,0370	0,2566

5.3.4 Yorum

Karakterizasyon, normalizasyon ve ağırlıklandırma sonuçlarının tümü değerlendirildiğinde aspir kökenli her iki biyoyakıtın motorine göre çevresel avantajlar sunduğu görülmektedir. Karakterizasyon sonucunda aspir yağı metil ve etil esterlerinin çevresel etkilerinin ekotoksiklik, alan kullanımı ve mineral kullanımı kategorileri dışındaki incelenen tüm kategorilerde motorinin çevresel etkilerine göre daha az olduğu belirlenmiştir. Normalizasyon sonucunda ise toplam çevresel yükün oluşmasında en etkin kategorilerin solunumla ilgili inorganikler, asidifikasyon ve ötrofikasyon, fosil yakıt kullanımı ve iklim değişikliği olduğu belirlenmiş ve böylece karakterizasyon sonucunda motorine oranla daha olumsuz sonuçların elde edildiği

kategorilerin değerlerinin toplam çevresel yk içinde küçük bir paya sahip olduğu ve toplam çevresel yükün oluşmasında çok etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Çevresel etkinin oluşmasında en büyük katkıya sahip olan kategorilerin tümünde gerek aspir yağı metil esteri gerekse aspir yağı etil esteri motorine oranla daha avantajlı bulunmuş, özellikle fosil yakıt kullanımı ve iklim değişikliği kategorilerindeki olumlu etkileri nedeniyle aspir yağı etil esteri daha çevreci bir biyoyakıt olarak öne çıkmıştır. Ağırlıklandırma sonucunda ise, aspir yağı metil ve etil esterleri ile motorin için ekodeğerler hesaplanmış ve motorinin en yüksek çevresel etkiye, aspir yağı etil esterinin ise en düşük çevresel etkiye sahip olduğu görülmüştür. Buna göre motorinin evre üzerindeki etkisi 15.4 Pt iken, aspir yağı metil esterinin etkisi 0.042 Pt ve aspir yağı etil esterinin etkisi de 0.029 Pt olarak belirlenmiş olup bu sonuç aspir kökenli biyoyakıtların evre üzerindeki olumlu etkilerinin azımsanamayacak kadar çok olduğunu göstermektedir. Özellikle insan sağlığı konusunda avantajlar sağlayan her iki biyoyakıtın arasında daha az kaynak kullanımı ve insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle aspir yağı etil esteri ne çıkmaktadır.

Aspir yağı etil esterinin çevresel etkilerinin toplam miktarı tarım aşaması, üretim ve kullanım aşamaları için ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre, oluşan etkinin %12.5'i egzoz emisyonlarından, %25.5'i üretim aşamasından, %62'si tarım aşamasından kaynaklanmaktadır. Yani aspir yağı etil esterinin kullanımı sonucunda oluşan çevresel etki 0.0036 Pt, aspir yağı etil esterinin üretimi esnasında oluşan çevresel etki 0.0074 Pt ve aspir yağı etil esteri üretiminde hammadde olarak kullanılan aspir ve şeker pancarı tarımı sırasında oluşan çevresel etki 0.018 Pt olarak belirlenmiştir. Bu durum, tarım aşamasının evre üzerindeki etkilerinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Kullanılacak gübre cinsi ve miktarları, sulama miktarı, kullanılan yakıt miktarları önemle ele alınması gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Aspir yağı metil ve etil esterlerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi için yrtlmş olan bu çalışmanın hem literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılabilir olmasını gösterebilmek amacıyla hem de aspir yağı metil ve esterlerin çevresel etkilerinin başka bir yağ kaynağından üretilen bir biyoyakıtın çevresel etkileriyle karşılaştırılabilmesini sağlamak için kaynak tarama çalışmasından SimaPro programı ve Eco-indicator 99 yöntemi kullanılarak kolza yağı metil esterine ait ekodeğerin

hesaplandığı çalışma seçilmiştir [86]. Bu çalışmada, kolza yağı metil esterinin ekodeğeri 0.4 Pt olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, hem aspir yağı metil ve etil esterleri için yürütülmüş olan yaşam döngüsü değerlendirme çalışmasının sonuçlarının literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılabilir olduğunu göstermiş olup, hem de Türkiye’de biyodizel hammaddesi olarak tercih edilen kanola ve aspir yağları arasından aspir yağının çevresel açıdan daha olumlu sonuçlar oluşturabileceği sonucunu ortaya koymaktadır.

6. VARGILAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye kökenli aspir yağı-şeker pancarı biyoetanolünün transesterifikasyon koşulları belirlenmiş, aspir yağı etil esteri ile aspir yağı etil esteri katkılı motorin ve kırsal motorinlerin yakıt özellikleri saptanmış ve alternatif motorin adayları sunulmuştur. Bunun yanı sıra aspir yağı etil esteri için yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılarak aspir yağı etil esterinin çevresel etkileri aspir yağı metil esteri ve motorinin çevresel etkileri ile karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Aspir yağı-etanol transesterifikasyon reaksiyonu için denenen reaksiyon koşulları sonrasında:

Yağ/alkol mol oranı : 1/ 7

Katalizör miktarı : Yağın ağırlıkça %1'i oranında NaOH

Sıcaklık : 70°C

Reaksiyon süresi : 10 dakika olarak saptanmıştır.

2. Bu koşullarda üretilen aspir yağı etil esterinin yakıt özellikleri TS EN 14214 standardına uygunluk göstermektedir. Aspir yağı etil esterinin soğukta filtre tıkanma noktası ise -1°C olarak belirlenmiştir. Bu değer standarda göre yaz için uygun bir değer olup, kış kullanımı için katkı maddelerinin eklenmesinin yararlı olabileceği sonucuna varılmıştır.
3. Hacmen %2, %5 ve %7 oranlarında aspir yağı etil esteri içeren motorin ve kırsal motorin alternatif yakıtları, TS 3082 (EN 590) standardındaki tüm özelliklere uygunluk göstermektedir. Bu alternatif yakıtların alevlenme noktasını arttırıcı ve kükürt içeriğini azaltıcı şekilde avantajlar sunduğu belirlenmiştir. Soğukta filtre tıkanma noktası değerleri yaz kullanımı için uygun olup, kış kullanımı için katkı maddelerinin eklenmesinin yararlı olabileceği sonucuna varılmıştır.

4. Aspir yağı metil esteri, aspir yağı etil esteri ve motorin için gerçekleştirilmiş yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışması sonucunda aspir yağı etil esterinin bu üç yakıt arasındaki en düşük çevresel etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Veri analizi sonucunda toplanan tüm verilerin karakterizasyon, normalizasyon ve ağırlıklandırma sonuçları SimaPro 7.2.4 programı ve Eco-indicator 99 yöntemi yardımıyla belirlenmiştir. Karakterizasyon sonucuna göre, aspir yağı metil ve etil esterleri mineral kullanımı, alan kullanımı ve ekotoksiklik kategorileri dışındaki tüm incelenen kategorilerde çevresel avantajlar sunmakta olup aspir yağı etil esteri kanserojenler, iklim değişikliği ve fosil yakıt kullanımı alanlarında aspir yağı metil esterine göre daha üstün bir yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Normalizasyon ile aspir kökenli bu iki biyoyakıtın motorine oranla çevresel dezavantajının bulunduğu mineral kullanımı, alan kullanımı ve ekotoksiklik etki değerlerinin toplam çevresel etki içindeki payının çok küçük olduğu belirlenmiştir. Ağırlıklandırma sonucunda ise aspir yağı etil esterinin en düşük çevresel etkiye sahip olduğu ekodeğerler yardımıyla belirlenmiştir. Buna göre, motorinin çevre üzerindeki toplam etkisi 15.4 Pt iken, aspir yağı metil esterinin 0.042 Pt, aspir yağı etil esterinin 0.029 Pt olarak belirlenmiştir. Aspir yağı metil ve etil esterlerinin zarar etkileri karşılaştırıldığında ise aspir yağı etil esteri insan sağlığı ve kaynak kullanımındaki olumlu etkileri nedeniyle daha çevreci bir yakıt olarak öne çıkmaktadır.
5. Yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında aspir yağı etil esterinin toplam çevresel etkisinin %62'sinin tarım aşamasına ait olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, biyoyakıtların temiz üretim ve kullanımı konusunda tarım aşamasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Tarımda kullanılan tarım ilacı ve gübreler, seçilen yöntemler ve tohumluklar doğru olmalı ve her birinin çevresel etkisinin en az olmasına dikkat edilmelidir. Yakıtların kullanımı kadar biyokütle kaynağının ve biyoyakıtın temiz üretimi de çok önemlidir.
6. Biyoyakıt dünyasının hedefi hammadde çeşitliliğinin sağlandığı, sürdürülebilir kaynakların değerlendirildiği, gıda ile doğrudan etkileşimin giderek en az seviyeye indirildiği ileri biyorafineri uygulamaları paralelinde yüksek verim ve temiz teknolojilerle biyoyakıt üretimidir. Bu kapsamda aspir

Türkiye biyodizel üretimi için en uygun hammadde seçeneği olarak karşımıza çıkmaktadır. Gıda amaçlı kullanımı tercih edilmeyen aspir kurak arazilerde dahi yüksek verimle yetiştirilebilmekte ve toprağın hazırlanmasından ürünün depolanması anına kadar tüm aşamalarda kullanılan ekipmanların buğday ve arpa tarımında kullanılan ekipmanlarla, yağının eldesinde ise ayçiçeği işleyen tüm makinaların aspirin işlenmesinde kullanılan makinalarla aynı olması nedeniyle çiftçiye ek bir maliyet getirmeyen en ucuz yağlı bitkilerden biridir. Son düzenlemeler ile birlikte motorinin yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil ester içeriğinin kademeli olarak 2014-2016 yılları arasında %1'den %3'e çıkarılması zorunluluğunun getirildiği ülkemizde bu üretimi karşılaması açısından aspir en iyi çözümlerden biri olacaktır. Gıda dışı kullanımı ile biyoyakıt dünyasının hedeflerini de yerine getirecektir. Buna ek olarak, aspir yağı üretiminin yan ürünü olan küspe üstün özellikli hayvan yemi olarak değerlendirilebilecektir. Aspir gerek günümüzde yağ asidi metil esteri olarak tanımlanmakta olan biyodizel için gerekse geleceğin biyoyakıtlarından yağ asidi etil esteri üretiminde kullanılacak en önemli hammadde seçeneklerinden biridir. Birinci ve ikinci kuşak motor biyoyakıtları üretimindeki başarı enerji tarımının planlanması ve uygulanması alanlarındaki başarıya bağlıdır. Giderek artan enerji tarımı kapsamında aspir için sözleşmeli tarım uygulaması ile gıda alanlarına dokunulmadan artan oranlarda ekim alanları ve biyoyakıt üretim miktarlarına ulaşmak mümkün olacaktır.

7. Günümüzde biyoyakıt dünyası ticari olarak kullanımda olan birinci kuşak biyoyakıtların teknolojik gelişimini tamamlamak üzeredir. Avrupa'da ve tüm dünyada ikinci kuşak biyoyakıtlar için yoğun olarak Ar-Ge çalışmaları yürütülmektedir. Dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de ileri kuşak biyoyakıtlar üzerinde çalışmalar yapılması konusunda geç kalınmamalıdır. Bu kapsamda ikinci kuşak biyoyakıtlardan olan aspir yağı etil esteri önemli seçeneklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'de metanol üretimi bulunmamaktadır, buna karşın biyoetanol üretimi potansiyelimiz yüksek, hammadde seçeneklerimiz çoktur. Türkiye gibi biyoetanol üretiminin olduğu ülkelerde etil ester üretimi giderek önem kazanacaktır. Metil esterler yerine etil esterlerin kullanımı ile daha üstün yakıt özelliklerine sahip alternatif yakıt eldesi de mümkün olacaktır. Aspir

yağı etil esteri üretimi ile hammaddeler yerli üretim olacak, böylece ulusal kaynakların değerlendirilmesi ve hammadde çeşitliliğın sağlanması, enerji arz güvenliğinde artış sağlama ve ekonomik katkıları gibi olumlu getiriler kazanılacaktır. Aspir yağı etil esterinin çevresel açıdan daha avantajlı olması da göz ardı edilemeyecek önemli katkılardan biridir.

KAYNAKLAR

- [1]Ünver, Ö., Altuntaşoğlu, Z.T., Ar, F., Gönülalan, A.U., Keskin, T., Koçak, Ç., Koman, K., Özakcan, M.M., Peker, H., Sevim, C., Türkoğlu, G., Türyılmaz, O., Tüzüner, S., Yıldız, D., 2010. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 2010 enerji raporu, Ankara, Türkiye.
- [2]BP, 2011. BP statistical review of world energy June 2011, Orb Solutions, London.
- [3]International Energy Agency, 2010. World energy outlook 2010 report, IEA Publications, France.
- [4]Taylor, G., 2008. Biofuels and biorefinery concept, *Energy Policy*, **36**, 4406-4409.
- [5]İşler, A., Karaosmanoğlu, F., 2010. Biofuels in Turkey, in *Rethinking Structural Reform in Turkish Agriculture: Beyond the World Bank's Strategy*, Eds. Karapınar, B., Adaman, F., Özertan, G., Nova Science Publishers.
- [6]Bracmort, K., Schnepf, R., Stubbs, M., Yacobucci, B.D., Rudie, A.W., Tonsager, D., Shah, R., Ellerbusch, S., Roe, Jamerson, B.A., W., 2011. Biofuels, biorefinery and renewable energy: Issues and developments, *Energy Science, Engineering and Technology*, Eds. Levy, S.L., Nova Science Publishers.
- [7]Xiu S., Zhang, B., Shahbazi, A., 2011. Biorefinery processes for biomass conversion to liquid fuel, *Biofuels Engineering Process Technology*, InTech Publisher.
- [8]Lali, A., 2009. Biorefinery: The theme of next generation biofuels, *International Conference on Green Industry in Asia*, Manila, Philippines, September 9-11.
- [9]Jungmeier, G., Cherubini, F., 2008. Overview of biorefinery concepts and basics for their greenhouse gas balance, *International Workshop in Cooperation with the Salzburg State Government "Transportation Biofuels: For greenhouse gas mitigation, energy security or other reasons?"*, Salzburg, Austria, February 5.
- [10]Kamm, B., 2008. Definition and technical status of biorefineries, *Biofuture 2008*, Brussels, February 12.
- [11]Cherubini, F., 2010. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals, *Energy Conversion and Management*, **51**, 1412-1421.

- [12]Ar, F., Karaosmanoğlu, F., Koç, A., Acaroğlu, M., Mutlu, F., Sarısu, F., Özsöyler, Y., Bölük, G., İşler, A., Aygün, Ö.F., 2010. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi biyoyakıtlar raporu, Ankara, Türkiye.
- [13]Liu, S., Abrahamson, L.P., Scott, G.M., 2011. Biorefinery: Ensuring biomass as a sustainable renewable source of chemicals, materials, and energy, *Biomass and Bioenergy*, **39**, 1-4.
- [14]Ayas, C., Demirayak, F., Karaosmanoğlu, F., İş, G., Kumbaroğlu, G., Or, İ., Can, O., Yenigün, O., Arıkan, Y., 2009. İklim Çözümleri: 2050 Türkiye Vizyonu, Türkiye Doğal Hayatı Koruma Vakfı raporu, İstanbul, Türkiye.
- [15]International Energy Agency, 2011. Technology roadmap: Biofuels for transport, IEA Publications, France.
- [16]REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), 2011. Renewables 2011 global status report, France.
- [17]BP, 2011. BP Energy Outlook 2030, 60 years BP statistical review report, London.
- [18]Stoffel, B., 2010. Carbon disclosure transport report.
- [19]Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport, *Official Journal of the European Union L 123/42*.
- [20]Communication from the Commission: COM(2005)628, Biomass action plan, *Official Journal of the European Union*.
- [21]Communication from the Commission: COM(2006)34, An EU strategy for biofuels, *Official Journal of the European Union*.
- [22]Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EC, *Official Journal of the European Union L 140/88*.
- [23]Flach, B., Lieberz, S., Bendz, K., Dahlbacka, B., 2011. EU-27 Annual biofuels report, GAIN (Global Agricultural Information Network) report, NL1013.
- [24]Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, *Official Journal of the European Union L 140/16*.
- [25]Ar, F.F., 2011. Biyoyakıtlar ve Sektördeki Sorunlar, VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, MMO Yayın No:E/2011/565, s.31-40, Kayseri, 24 Ekim.

- [26]**Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, 2010-2014 stratejik raporu, Ankara, Türkiye.
- [27]**T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK)** Resmi Sitesi, 2011. <www.epdk.gov.tr>.
- [28]**T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı**, 2008. 2008-2012 tarım eylem raporu, Ankara, Türkiye.
- [29]**Balat, B., Balat, H., Öz, C.**, 2008. Progress in bioethanol processing, *Progress in Energy and Combustion Science*, **34**, 551-573.
- [30]**Luque, R., Campelo, J., Clark, J.H.**, 2011. Handbook of biofuels production: Processes and technologies, Woodhead Publishing, Oxford, Philadelphia.
- [31]**Erbaum, J.B.**, 2009. Bioethanol: Production, benefits and economics, Nova Science Publishers, New York.
- [32]**Bioethanol for Sustainable Transport (BEST)** Sitesi, Alındığı tarih: 10.10.2011, <<http://www.best-europe.org>>.
- [33]**Ar, F.F.**, 2011. Dünyada biyoetanöl sektörü, sektörün ekonomiye katkısı ve ülkemizdeki durum, *Biyokütle Çalıştayı ve Sergisi*, Bursa, 7-8 Ekim.
- [34] **World Sugar Statistics**, F.O.LICHT, 2011.
- [35]**Bart, J.C.J., Palmeri, N., Cavallaro, S.**, 2010. Biodiesel science and technology: From soil to oil, CRC Press, Oxford.
- [36]**Knothe, G., Gerpen, J.V., Krah, J.**, 2004. The biodiesel handbook, AOCS Press, Champaign, Illinois.
- [37]**Hui, Y. H.**, 1996. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, **5**, John Wiley & Sons. Inc., New York.
- [38]**Gerpen, J.V.**, 2005. Biodiesel processing and production, *Fuel Processing Technology*, **86**, 1097-1107.
- [39]**Marchetti, J.M., Miguel, V.U. ve Errazu, A.F.**, 2005. Possible methods for biodiesel production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11**, 6, 1300-1311.
- [40]**Knothe, G.**, 2001. Historical perspective on vegetable oil-based diesel fuels, *Inform*, **12**, 11, 1103-1107.
- [41]**Biyodizel-Biyomotorin Sitesi**, Alındığı tarih: 20.11.2011, <www.biyomotorin-biodiesel.com>.
- [42]**TS EN 14213**, 2005. Isıtma yakıtları – yağ asidi metil esterleri (YAME) – gerekler ve deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [43]**TS EN 14214**, 2009. Otomotiv yakıtları – yağ asidi metil esterleri (YAME/biyodizel) – dizel motorlar için gerekler ve deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [44]**TS 3082 EN 590**, 2010. Otomotiv yakıtları – dizel (motorin) – gerekler ve deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [45]**Mittelbach, M., Remschmidt, C.**, 2004. Biodiesel, The comprehensive handbook, Boersedruck Ges.m.b.H, Vienna, Austria.
- [46]**Demirbaş, A.**, 2006. Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics, *Energy Conversion and Management*, **47**, 2271-2282.
- [47] **Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü**, 2011. Kişisel görüşme.
- [48] **Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü**, 2011. Kişisel görüşme.
- [49]**Dajue, L., Müdel, H.**, 1996. Safflower, *Carthamus tinctorius* L, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops, **7**, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- [50]**Singh, V., Nimbkar, N., Rajvanshi, A.K.**, 2001. Safflower Improvement Programme at the Nimbkar Agricultural Research Institute, *Proceedings 5th International Safflower Conference*, pp. 117-121, USA, July 23-27.
- [51]**Işığür, A.**, 1992. Türkiye kökenli aspir tohum yağlarının transesterifikasyonu ve dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [52]**Berglund, D.R., Riveland, N., Bergman, J.**, 2007. Safflower production, North Dakota State University Extension Service, A-870.
- [53]**Babaoğlu, M.**, 2006. Dünya’da ve Türkiye’de aspir bitkisinin tarihi, kullanım alanları ve önemi, Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Broşürü, Edirne.
- [54]**Smith, J.R.**, 1996. Safflower, The American Oil Chemist Society Press, Champaign, IL, USA.
- [55]**Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics**, FAOSTAT, 2011. <www.fao.org>.
- [56]**Türk İstatistik Kurumu** Resmi Sitesi, 2011. <<http://www.tuik.gov.tr>>.
- [57]**Angın, D., Şensöz, S.**, 2006. Aspir tohumu pres küspesinin pirolizinde sürükleyici gaz akış hızının etkisi ve sıvı ürün karakterizasyonu, *Science and Engineering Journal of Fırat University*, **18**, **4**, 535-542.
- [58]**Curran, M.A.**, 1996. Environmental Life-Cycle Assessment, McGraw-Hill.
- [59]**Curran, M.A.**, 2006. Life cycle assessment: Principles and practice, EPA/600/R-06/060. Scientific Applications International Corporation (SAIC), National Risk Management Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- [60]**Kendall, A., Chang, B.**, 2009. Estimating life cycle greenhouse gas emissions from corn-ethanol: A critical review of current U.S. practices, *Journal of Cleaner Production*, **17**, 1175-1182.
- [61]**Haes, H.A., Hijungs, R.**, 2007. Life-cycle assessment for energy analysis and management, *Applied Energy*, **84**, 817-827.

- [62]ISO, 2006. ISO Norm 14040: Life cycle assessment: Principles and framework, environmental management.
- [63]ISO, 2006. ISO Norm 14044: Life cycle assessment: Requirements and guidelines, environmental management.
- [64]PréConsultants, 2008. Database Manual SimaPro, General Introduction to LCA.
- [65]Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., Rosenbaum, R., 2003. IMPACT 2002: A new life cycle impact assessment methodology, *International Journal of Life Cycle Assessment*, **8**, 324-330.
- [66]Dreyer, L., Niemann, A.L., Hauschild, M.Z., 2003. Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99, Does it matter which one you choose?, *International Journal of Life Cycle Assessment*, **8**, 4, 191-200.
- [67]Gnansounou, E., Dauriat, A., Villegas, J., Panichelli, L., 2009. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances, *Bioresource Technology*, **100**, 21, 4919-4930.
- [68]Peterson, C., Möller, G., Haws, R., Zhang, X., Thompson, J., Reece, D., 1996. Optimization of a batch type ethyl ester process, Final Report No.303, Idaho.
- [69]Korus, R.A., Hoffman, D.S., Bam, N., Peterson, C.L., Drown, D.C., 1992. Transesterification process to manufacture ethyl ester of rape oil, *In Proceedings of 1st Biomass Conference of Americas*, **2**, 815-826.
- [70]Bouaid, A., Martinez, M., Aracil, J., 2007. A comparative study of the production of ethyl esters from vegetable oils as a biodiesel fuel optimization by factorial design, *Chemical Engineering Journal*, **134**, 93-99.
- [71]Bouaid, A., Martinez, M., Aracil, J., 2009. Production of biodiesel from ethanol and Brassica carinata oil: Oxidation stability study, *Bioresource Technology*, **100**, 2234-2239.
- [72]Kulkarni, M.G., Dalai, A.K., Baklishi, N.N., 2007. Transesterification of canola oil in mixed methanol/ethanol system and use of esters as lubricity additive, *Bioresource Technology*, **98**, 10, 2027-2033.
- [73]Baiju, B., Naik, M.K., Das, L.M., 2009. A comparative evaluation of compression ignition engine characteristics using methyl and ethyl esters of Karanja oil, *Renewable Energy*, **34**, 1616-1621.
- [74]Moser, B.R., Vaughn, S.F., 2010. Evaluation of alkyl esters from Camelina sativa oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel, *Bioresource Technology*, **101**, 646-653.
- [75]Joshi, H., Moser, B.R., Toler, J., Walker, T., 2010. Preparation and fuel properties of mixtures of soybean oil methyl and ethyl esters, *Biomass and Bioenergy*, **34**, 14-20.

- [76]**Lapuerta, M., Herreros, J.M., Lyons, L.L., Garcia-Contreras, R., Briceno, Y.**, 2008. Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions, *Fuel*, **87**, 3161-3169.
- [77]**Bueno, A.V., Velasquez, J.A., Milanez, L.F.**, 2011. Heat release and engine performance effects of soybean oil ethyl ester blending into diesel fuel, *Energy*, **36**, 6, 3907-3916.
- [78]**Işığür, A., Karaosmanoğlu, F., Aksoy, A.**, 1994. Methyl ester from safflower seed oil of Turkish origin as a biofuel for diesel engines, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **45/46**, 103-112.
- [79]**Meka, P.K., Tripathi, V., Singh, R.P.**, 2007. Synthesis of biodiesel fuel from safflower oil using various reaction parameters, *Japan Oil Chemists' Society*, **56**, 1, 9-12.
- [80]**Rashid, U., Anwar, F.**, 2008. Production of biodiesel through base-catalyzed transesterification of safflower oil using an optimized protocol, *Energy and Fuels*, **22**, 2, 1306-1312.
- [81]**Düz, M.Z., Saydut, A., Öztürk, G.**, 2011. Alkali catalyzed transesterification of safflower seed oil assisted by microwave irradiation, *Fuel Processing Technology*, **92**, 308-313.
- [82]**İlkılıç, C., Aydın, S., Behçet, R., Aydın, H.**, 2011. Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine, *Fuel Processing Technology*, **92**, 356-362.
- [83]**Kim, S., Dale, B.E.**, 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel, *Biomass and Bioenergy*, **29**, 426-439.
- [84]**Kiwjaroun, C., Tubtimdee, C., Piumsomboon, P.**, 2009. LCA studies comparing biodiesel synthesized by conventional and supercritical methanol methods, *Journal of Cleaner Production*, **17**, 143-153.
- [85]**Contreras, A.M., Rosa, E., Perez, M., Langenhove, H.V., Dewulf, J.**, 2009. Comparative life cycle assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production, *Journal of Cleaner Production*, **17**, 772-779.
- [86]**Halleux, H., Lassaux, S., Renzoni, R., Germain, A.**, 2008. Comparative life cycle assessment of two biofuels: Ethanol from sugar beet and rapeseed methyl ester, *International Journal of Life Cycle Assessment*, **13**, 3, 184-190.
- [87]**Gabrielle, B., Gagnaire, N.**, 2008. Life-cycle assessment of straw use in bioethanol production: A case study based on biophysical modelling, *Biomass and Bioenergy*, **32**, 431-441.
- [88]**Xunmin, O., Xiliang, Z., Shiyan, C., Qingfang, G.**, 2009. Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in China, *Applied Energy*, **86**, 1, 197-208.

- [89]**Luo, L., Voet, E., Huppel, G.**, 2009. Life cycle assessment and life cycle costing of bioethanol from sugarcane in Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 1613-1619.
- [90]**Yee, K.F., Tan, K.T., Abdullah, A.Z., Lee, K.T.**, 2009. Life cycle assessment of palm biodiesel: Revealing facts and benefits for sustainability, *Applied Energy*, **86**, 189-196.
- [91]**Su, C., Lee, Y.**, 2009. Development status and life cycle inventory analysis of biofuels in Taiwan, *Energy Policy*, **37**, 754-758.
- [92]**Renouf, M.A., Wegener, M.K., Nielsen, L.K.**, 2008. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars of fermentation, *Biomass and Bioenergy*, **32**, 1144-1155.
- [93]**Davis, S., Anderson-Teixeira, K.J., Delucia, E.H.**, 2009. Life-cycle analysis and the ecology of biofuels, *Trends in Plant Sciences*, **14**, 3, 140-146.
- [94]**Lechon, Y., Cabal, H., Rua, C., Caldes, N., Santamaria, M., Saez, R.**, 2009. Energy and greenhouse gas emission savings of biofuels in Spain's transport fuel, the adoption of the EU policy on biofuels, *Biomass and Bioenergy*, **33**, 920-932.
- [95]**Blottnitz, H., Curran, M.A.**, 2007. A review of assessments conducted on bioethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective, *Journal of Cleaner Production*, **15**, 607-619.
- [96]**Quirin, M., Gartner, S., Pehnt, M., Reinhardt, A.**, 2004. CO₂ mitigation through biofuels in the transport sector, Status and perspectives main report, Heidelberg, Germany.
- [97]**TS EN 14103**, 2004. Katı ve sıvı yağ türevleri – yağ asidi metil esterleri (YAME) – ester ve linolenik asit metil ester içeriğinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [98]**Karaosmanoğlu, F., Cıgızoğlu, K.B., Tüter, M., Ertekin, S.**, 1996. Investigation of the refining step of biodiesel production, *Energy and Fuels*, **10**, 890-895.
- [99]**Konya Şeker Sanayi ve Ticaret A.Ş.**, 2011. Kişisel görüşme.
- [100]**Langeveld, H., Ven, G., Vries, S., Brink, L., Visser, C.**, 2008. Ethanol from sugar beet in the Netherlands: Energy production and efficiency, *8th European IFSA Symposium*, pp. 735-742, Clermont-Ferrand, France, July 6-10.
- [101]**Malça, J., Freire, F.**, 2004. Life cycle energy analysis for bioethanol: Allocation methods and implications for energy efficiency and renewability, *17th International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy and Process Systems*, Mexico, July 7-9.
- [102]**Voss, A., Kutzbach, H.D.**, 1999. Biokraftstoffe im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen-Lebensweganalysen von

Umweltwirkungen, Von der Fakultät Energietechnik der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Abhandlung, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart.

- [103]Foteinis, S., Kouloumpis, V., Tsoutsos, T., 2011. Life cycle analysis for bioethanol production from sugar beet crops in Greece, *Energy Policy*, **39**, 4834-4841.
- [104]Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2011. Ecoinvent database, v2.2.
- [105]Ruyck, J., Jossart, J.M., Palmers, G., Lavric, D., Bram, S., Novak, A., Remacle, M.S., Doms, G., Hamelinck, C., Broek, R., 2006. Project CP/53: Liquid biofuels in Belgium in a global bio-energy context, Scientific Support Plan for a Sustainable Development Policy.
- [106]Ar, F.F., 2008. Şeker sanayi ve biyoetanol üretimi, *Uluslararası Yakıt Sempozyumu*, Ankara.
- [107]İçöz, E., Tuğrul, K.M., Saral, A., İçöz, E., 2009. Research on ethanol production and use from sugar beet in Turkey, *Biomass and Bioenergy*, **33**, 1-7.
- [108]Türkman, A., 2011. Kişisel görüşme.
- [109]DB Tarımsal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2011. Kişisel görüşme.
- [110]Bates, C., Kapsenberg, R.M., 2007. Safflower in the Pacific North West, A report on 2007 trials.
- [111]Jayed, M.H., Masjuki, H.H., Saidur, R., Kalam, M.A., Jahirul, M.I., 2009. Environmental aspects and challenges of oilseed produced biodiesel in Southeast Asia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 2452-2462.
- [112]Liu, B., 2011. Winter safflower biodiesel: A green biofuel for the southern high plains, *Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting*, Sorpus Christi, February 5-8.
- [113]Huo, H., Wang, C., Bloyd, C., Putsche, V., 2008. Life cycle assessment of energy and greenhouse gas effects of soybean derived biodiesel and renewable fuels, U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- [114]Whitaker, M., Heath, G., 2009. Life cycle assessment of the use of jatropha biodiesel in Indian locomotives, National Renewable Energy Laboratory, Technical report, NREL/TP-6A2-44428.
- [115]Pradhan, A., Shrestha, D.S., Mcaloon, A., Yee, W., Haas, M., Duffield, J.A., 2009. Energy life cycle assessment of soybean biodiesel, Agricultural economic report 845, United States Department of Agriculture, Office of Energy Policy and New Uses.
- [116]Janulis, P., 2004. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle, *Renewable Energy*, **29**, 861-871.
- [117]Varanda, M.G., Pinto, G., Martins, F., 2011. Life cycle analysis of biodiesel production, *Fuel Processing Technology*, **92**, 1087-1094.

- [118]Işığgür, A., Karaosmanoğlu, F., Aksoy, H.A., Hamdullahpur, F., Gülder, Ö.L., 1994. Performance and emission characteristics of a diesel engine operating on safflower seed oil methyl ester, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **45/46**, 93-102.
- [119]U.S. **Environmental Protection Agency, Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality**, 2002. A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions, Technical report.
- [120]United States **Environmental Protection Agency**, 2005. Annual certification test results and data.
- [121]Peterson, C.L., Taberski, J.S., Thompson, J.C., Chase, C.L., 2000. The effect of biodiesel feedstock on regulated emissions in chassis dynamometer tests of a pickup truck, *Transactions of the ASAE*, **43**, 6, 1371-1381.

EKLER

EK A : Aspir Yağı Etil Esteri Üretimi İçin Reaksiyon Koşullarının Belirlenmesi

EK B : SimaPro Yazılım Programı Girdileri

EK A**Çizelge A.1:** Katalizör miktarı değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi (Sıcaklık: $70 \pm 1^\circ\text{C}$, yağ/alkol mol oranı: 1/6, reaksiyon süresi: 30 dakika).

Katalizör Miktarı, %	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5
Zaman, dakika	Ester İçeriği, Ağır.%'si					
2	31.2	67.1	78.3	92.4	92.5	97.1
5	31.4	73.2	90.2	92.8	92.6	97.6
10	31.6	85.4	92.1	93.3	94.1	92.3
20	34.3	82.6	91.4	91.9	89.9	92.3
30	36.2	85.2	90.3	91.4	83.2	92.2

Çizelge A.2: Katalizör miktarı değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi (Sıcaklık: $70 \pm 1^\circ\text{C}$, yağ/alkol mol oranı: 1/7, reaksiyon süresi: 30 dakika).

Katalizör Miktarı, %	1	1.5	2
Zaman, dakika	Ester İçeriği, Ağır.%'si		
2	91.2	94.2	92.4
5	92.6	92.4	94.8
10	95.1	95.4	95.6
20	92.5	94.3	91.6
30	92.6	94.4	92.4

Çizelge A.3: Sıcaklık değişiminin zamana bağlı olarak ester içeriğine etkisi (NaOH miktarı: %1, yağ/alkol mol oranı: 1/7, reaksiyon süresi: 30 dakika).

Sıcaklık, $^\circ\text{C}$	50	60	70
Zaman, dakika	Ester İçeriği, Ağır.%'si		
2	85.3	87.2	91.2
5	86.4	88.6	92.6
10	88.2	91.2	95.1
20	85.6	89.5	92.5
30	85.7	88.6	92.6

EK B**Çizelge B.1:** Aspir tarımı.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Tarım ilacı	kg	2.5
Azotlu gübre, N	kg	60
Fosforlu gübre, P ₂ O ₅	kg	40
Aspir tohumu	kg	25
Motorin	litre	81
Alan kullanımı	hektar	1
Aspir sulama	hektar	1
ÇIKTILAR		
Aspir (%12 su içeren)	kg	1930

Çizelge B.2: Aspirin kurutulması.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Aspir (%12 su içeren)	kg	1045
Isı	MJ	660
Elektrik	kWh	44
ÇIKTILAR		
Aspir (%8 su içeren)	kg	1000

Çizelge B.3: Aspir yağı eldesi.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Aspir (%8 su içeren)	kg	2650
Hekzan	kg	3.8
Deiyonize su	m ³	12
Elektrik	kWh	160
Isı	MJ	2216
Taşıma	tkm	200
Yağ fabrikası	parça	
ÇIKTILAR		
Aspir yağı	kg	1000
Küspe	kg	1640
Hekzan	kg	3.8
Katı atık	kg	10

Çizelge B.4: Aspir yağı rafinasyonu.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Aspir yağı	kg	1025
Isı	MJ	150
Elektrik	kWh	10
Sitrik asit	kg	0.37
Sodyumhidroksit	kg	0.88
ÇIKTILAR		
Rafine aspir yağı	kg	1000
Katı atık	kg	25

Çizelge B.5: Aspir yağı metil ester üretimi.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Rafine aspir yağı	kg	1064
Isı	MJ	802
Elektrik	kWh	57
Bitkisel yağ esterifikasyon fabrikası	parça	
Taşıma	tkm	30
Metanol	kg	98
Soğutma suyu	m ³	20
Sodyumhidroksit	kg	8.9
Hidroklorik asit	kg	10
ÇIKTILAR		
Aspir yağı metil esteri	kg	1000
Gliserin	kg	124

Çizelge B.6: Aspir yağı metil esterinin kullanımı.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Aspir yağı metil esteri	MJ/100 km	183
ÇIKTILAR		
CO ₂	kg/100 km	0.7
CH ₄	mg/100 km	6.1
NO _x	mg/100 km	28.9
N ₂ O	mg/100 km	0.095
SO _x	mg/100 km	0.009
Partiküller	mg/100 km	2.4
Uçucu olmayan bileşikler	mg/100 km	3.7

Çizelge B.7: Aspir yağı etil ester üretimi.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Rafine aspir yağı	kg	1007
Isı	MJ	802
Elektrik	kWh	57
Bitkisel yağ esterifikasyon fabrikası	Parça	
Taşıma	tkm	30
Etanol	kg	136
Soğutma suyu	m ³	20
Sodyumhidroksit	kg	9.9
Hidroklorik asit	kg	10
ÇIKTILAR		
Aspir yağı etil esteri	kg	1000
Gliserin	kg	113

Çizelge B.8: Aspir yağı etil esterinin kullanımı.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Aspir yağı etil esteri	MJ/100 km	183
ÇIKTILAR		
CO ₂	kg/100 km	-
CH ₄	mg/100 km	4.2
NO _x	mg/100 km	26.2
N ₂ O	mg/100 km	0.095
SO _x	mg/100 km	0.007
Partiküller	mg/100 km	1.8
Uçucu olmayan bileşikler	mg/100 km	3.3

Çizelge B.9: Şeker pancarı tarımı.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Azotlu gübre	kg	125
Fosforlu gübre	kg	105
Potasyumlu gübre	kg	80
Tarım ilacı	kg	4.5
Motorin	litre	123
Şeker pancarı tohumu	kg	15
Alan	hektar	1
Şeker pancarı sulama	hektar	1
Taşıma	tkm	5300
ÇIKTILAR		
Şeker pancarı	ton	53

Çizelge B.10: Melas üretimi.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Şeker pancarı	ton	25
Isı	MJ	320
Elektrik	kWh	65
Su	kg	1370
Sülfirik asit	kg	0.084
Organik kimyasallar	kg	0.12
İnorganik kimyasallar	kg	0.17
Şeker fabrikası	parça	
Taşıma	tkm	30
ÇIKTILAR		
Melas	kg	1000

Çizelge B.11: Etanol eldesi.

GİRDİLER	Birim	Miktar
Melas	kg	3000
Elektrik	kWh	131
Isı	MJ	4440
Su	kg	7600
Etanol fabrikası	parça	
Sülfirik asit	kg	0.35
Amonyumsülfat	kg	0.47
Diamonyumsülfat	kg	0.75
ÇIKTILAR		
Etanol	kg	1000
Şlempe	kg	1800
Katı atık	kg	200

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Aslı İşler

Doğum Yeri ve Tarihi: 14 Eylül 1982, İstanbul

Lisans: İTÜ Kimya Mühendisliği

Yüksek Lisans: İTÜ Kimya Mühendisliği

Burslar:

1. TÜBİTAK Yurtiçi Doktora Bursiyeri (2007-2012)
2. Erasmus Programı Bursiyeri (2010-2011)

Yayın Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

1. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2009. Safflower as an alternative feedstock for biodiesel production in Turkey, *100th AOCS Congress*, Orlando, Florida, ABD, 3-6 Mayıs.
2. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2010. Ethyl ester obtained from Turkish originated safflower oil and fuel ethanol as an alternative diesel fuel, *101th AOCS Congress*, Phoenix, Arizona, ABD, 16-19 Mayıs.
3. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2011. Safflower oil ethyl ester as an alternative diesel fuel candidate, *33rd Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*, Seattle, ABD, 2-5 Mayıs.
4. **İşler, A.**, Meydan, Z., Karaosmanoğlu, F., 2011. LCA applications in Turkey, *21st Setac Europe Annual Meeting*, Milano, İtalya, 15-19 Mayıs.
5. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2011. Biodiesel and vegetable oil sector in Turkey, *World Conference on Oilseed Processing, Fats & Oils Processing, Biofuels&Applications*, İzmir, Türkiye, 21-23 Haziran.
6. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2012. Life cycle assessment of safflower originated first and second generation engine biofuels in Turkey, *103th AOCS Congress*, California, ABD, 29 Nisan-2 Mayıs.

ULUSLAR ARASI MAKALELER

1. **İşler, A.**, Sundu, S., Tüter, M., Karaosmanoğlu, F., 2010. Transesterification reaction of the fat originated from solid waste of the leather industry, *Waste Management*, **30**, 12, 2631-2635.
2. **İşler, A.**, Yakaboylu, O., Alyakut, T., Karaosmanoğlu, F., 2011. Bioalternatives for four stroke motorcycle engine oils, *Industrial Lubrication and Tribology*, **64**, 1.
3. Meydan, Z., **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2012. Biorefineries and waste management, *International Journal of Green Energy*, (baskıda).

ULUSLAR ARASI BİLDİRİLER

1. **İşler, A.**, Tüter, M., Karaosmanoğlu, F., 2007. Ethyl ester obtained from Turkish originated canola oil and fuel ethanol as an alternative diesel fuel, *International Congress of Biodiesel: The Science and Technologies*, Viyana, Avusturya, 5-7 Kasım.
2. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2008. Bioethanol blended diesel fuels (E-Diesel) as alternative fuels, *Fuels and Combustion in Engine Conference*, İstanbul, Türkiye, 31 Mart-1 Nisan.
3. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2008. Canola oil ethyl ester and canola oil ethyl ester blended diesel fuels as alternative fuels, *99th AOCS Congress*, Seattle, ABD, 18-21 Mayıs.
4. **İşler, A.**, Alyakut, T., Karaosmanoğlu, F., 2008. Bioalternatives for four stroke motorcycle engine oils, *99th AOCS Congress*, Seattle, ABD, 18-21 Mayıs.
5. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2008. Traditional cooking fuels, ovens and stoves in Turkey, *Clean Cooking Fuels Workshop, 31th IAEE International Conference*, İstanbul, Türkiye, 16-17 Haziran.
6. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2009. Biodiesel industry in Turkey, *2nd International Congress on Biodiesel: The Science and the Technologies*, Münih, Almanya, 15-17 Kasım.
7. Meydan, Z., **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2009. Bioelectricity generation from biomass, *International Waste to Energy Symposium*, İstanbul, Türkiye, 12-13 Kasım.
8. Yakaboylu, O., **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2009. Waste tire to energy management, *International Waste to Energy Symposium*, İstanbul, Türkiye, 12-13 Kasım.
9. Meydan, Z., **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2010. Biorefineries and waste Management, *10th International Conference on Clean Energy*, Famagusta, Kuzey Kıbrıs, 15-17 Eylül.
10. Erdönmez, M.N., **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2010. The current situation of engine fuels in Turkey, *American Society of Agricultural and Biological Engineering (ASABE) Bridges to Sustainable Agriculture Conference*, Lethbridge, Kanada, 9-11 Eylül.

KİTAPLAR

1. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2010. Biofuels in Turkey, in: Rethinking Structural Reform in Turkish Agriculture: Beyond the World Bank's Strategy, Editors: Karapınar, B., Adaman, F., Özertan, G., Nova Science Publisher. ISBN: 1-60021-966-7.
2. Ar, F., Karaosmanoğlu, F., Koç, A., Acaroğlu, M., Mutlu, F., Sarsu, F., Özsöyler, Y., Bölük, G., **İşler, A.**, 2010. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Biyoyakıtlar Raporu, ISBN: 978-605-89548-5-4.

ULUSAL BİLDİRİLER

1. **İşler, A.**, Karaosmanoğlu, F., 2007. Yakıt alkolü: Mevcut durumu ve geleceği, *Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu*, Ankara, 13 Aralık.
2. **İşler, A.**, 2008. Biyoyakıt ve gıda ilişkisi, *1.Temiz Enerji Gençlik Kurultayı*, Ankara, 15-17 Ekim.
3. Yakaboylu, O., **İşler, A.**, 2008. İkinci ve üçüncü kuşak biyoyakıtlar ve dönüşüm teknolojileri, *1.Temiz Enerji Gençlik Kurultayı*, Ankara, 15-17 Ekim.

