

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYODİZEL ÜRETİMİNE UYGUN TÜRKİYE'DE  
YETİŞEN VE YETİŞEBİLECEK BİTKİLERİN VE  
BİYODİZEL TEKNOLOJİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Makine Yük. Müh. Mehmet KOÇ

**F.B.E Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında  
Hazırlanan**

**DOKTORA TEZİ**

**Tez Savunma Tarihi** : 14.01.2011  
**Tez Danışmanı** : Prof. Dr. Z. Düriye BİLGE (YTÜ)  
**Jüri Üyeleri** : Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN (YTÜ)  
Prof. Dr. Galip TEMİR (YTÜ)  
Prof. Dr. Eralp ÖZİL  
Doç. Dr. Zafer UTLU (A.Ü.)

**İSTANBUL, 2011**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	viii
KISALTIMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xii
ÖNSÖZ .....	xiv
ÖZET .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
1. GİRİŞ .....	1
2. DÜNYADA ve TÜRKİYEDE ENERJİ .....	3
2.1 Dünyada Enerji .....	3
2.2 Türkiye’de Enerji.....	5
2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	7
3. BİYOKÜTLE ENERJİSİ .....	8
3.1 Biyokütle Kaynakları .....	11
3.1.1 Bitkisel Kaynaklar .....	11
3.1.2 Hayvansal Atıklar .....	12
3.1.3 Şehir ve Endüstri Atıkları.....	13
3.2 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Değerlendirilmesi .....	13
3.3 Biyokütle Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları .....	13
3.3.1 Avantajları .....	13
3.3.2 Dezavantajları.....	14
4. BİYODİZEL.....	15
4.1 Yağ Asidi Metil Esteri .....	15
4.1.1 Yağ Asitleri .....	16
4.1.1.1 Doymuş Yağ Asitleri .....	16
4.1.1.2 Doymamış Yağ Asitleri .....	17
4.1.1.2.1 Tekli Doymamış Yağ Asitleri .....	19
4.1.1.2.2 Çoklu Doymamış Yağ Asitleri .....	19
4.1.2 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri.....	19
4.1.3 Yağ Asitlerinin Kimyasal özellikleri .....	20
4.1.3.1 Tuz (sabun) oluşumu .....	20
4.1.3.2 Ester Oluşumu .....	20
4.1.3.3 Çift Bağlarla İlgili Reaksiyonlar .....	21
4.1.4 Yağ Asitleri Kompozisyonuna Etkili Faktörler.....	21
4.1.4.1 Çevre Faktörleri.....	21
4.1.4.1.1 Sıcaklık.....	21
4.1.4.1.2 Enlem Derecesi ve Lokasyon.....	22
4.1.4.1.3 Ekim Zamanı .....	24
4.1.4.1.4 Kuraklık .....	24
4.1.4.1.5 Toprak .....	25
4.1.4.2 Genetik Faktörler .....	25

4.1.4.3	Diğer Faktörler .....	27
4.2	Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları .....	29
4.2.1	Biyodizelin Avantajları .....	29
4.2.2	Biyodizelin Dezavantajları .....	31
4.3	Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler .....	32
4.3.1	Algler .....	35
4.3.2	Tohumlardan Yağ Elde Etme Yöntemleri .....	36
4.3.3	Yaşamsal Döngü .....	38
4.3.4	Biyodizelin Dizel Motoru Dışında Kullanım Alanları .....	40
4.4	Dizel ve Biyodizel Standartları .....	40
4.4.1	Parlama Noktası .....	47
4.4.2	Su ve Serbest Partikül Miktarı .....	47
4.4.3	Viskozite .....	48
4.4.4	Sülfatlanmış Kül .....	49
4.4.5	Kükürt .....	49
4.4.6	Bakır Şerit Korozyon Testi .....	50
4.4.7	Setan Sayısı .....	50
4.4.8	Karbon Artığı .....	50
4.4.9	Asit Sayısı .....	51
4.4.10	Serbest ve Toplam Gliserin .....	51
4.4.11	Fosfor İçeriği .....	51
4.4.12	Damıtma Koşulu .....	52
4.4.13	Biyodizel Yakıtların Soğuk Akış Özellikleri .....	54
4.4.13.1	Bulutlanma Noktası (Cloud Point) .....	54
4.4.13.2	Soğukta Filtre Tıkama Noktası (SFTN) (CFPP) .....	54
4.4.13.3	Akma Noktası (Pour Point) .....	55
4.4.13.4	Donma Noktası (Freezing Point) .....	55
4.4.14	Biyodizelin Kararlılığı .....	56
4.4.14.1	Oksidasyon Kararlılığı .....	59
4.4.15	Isıl Değeri (Kalori Değeri) .....	59
4.4.16	Yanma Noktası .....	59
4.4.17	İyot Sayısı .....	59
4.4.18	Yağlama Yağının Seyrelmesi .....	60
4.4.19	Süzülebilme (Filtre tıkama noktası-CFPP) Yeteneği .....	60
4.4.20	Toksik Etkisi .....	60
4.4.21	Tortu Maddeleri .....	61
4.4.22	Gam Miktarı ve Reçine Oluşumu .....	61
4.4.23	Mikrobiyal Kirlilik .....	61
4.4.24	Temizleyici Etkisi .....	61
4.4.25	Biyolojik Ayrışabilirlik .....	61
4.4.26	Biyodizelin Depolanması ve Taşınması .....	62
4.4.27	Biyodizelin Yağlayıcılık Özelliği .....	63
4.4.28	Malzeme Uyumluluğu .....	64
4.4.29	Biyodizelin Çevreye Etkileri .....	65
4.5	Biyodizel Üretimi ve Prosesleri .....	68
4.5.1	Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi .....	69
4.5.1.1	İnceltme (seyreltme) .....	70
4.5.1.2	Mikroemülsiyon .....	71
4.5.1.3	Piroliz .....	72
4.5.1.4	Transesterifikasyon .....	72
4.5.1.5	Süper Kritik Yöntem .....	72

4.5.2	Biyodizel Üretimi .....	73
4.5.2.1	Transesterifikasyon .....	73
4.5.2.1.1	Bazık Katalizör Kullanımıyla Biyodizel Üretimi .....	76
4.5.2.1.2	Asidik Katalizör Kullanımıyla Biyodizel Üretimi .....	81
4.5.2.1.3	Enzim Katalizörle Yağ Asidi Esterifikasyonu ve Transesterifikasyon .....	83
4.5.2.1.3.1	Enzim Katalizörler .....	86
4.5.2.1.3.2	Lipazlar .....	86
4.5.2.1.3.2.1	Lipazlarla Gerçekleştirilen Esterifikasyon Reaksiyonları .....	87
4.5.2.2	Süperkritik Alkol Kullanımıyla Biyodizel Üretimi .....	89
4.5.2.2.1	Süperkritik Akışkanlar ve Uygulamaları .....	89
4.5.2.2.2	Süperkritik Metil Alkol Kullanımıyla Biyodizel Üretimi .....	93
4.5.2.3	Ultrasonik Enerji Kullanılarak Bitkisel Yağlardan Yağ Asidi Metil Esteri Elde Edilmesi .....	96
4.5.3	Biyodizel Üretim Sistemleri .....	98
4.5.3.1	Kesikli Sistem .....	98
4.5.3.2	Yarı Kesikli Sistem .....	100
4.5.3.3	Sürekli Sistem .....	100
4.5.3.4	Yüksek Serbest Yağ Asit Sistemi .....	101
4.5.3.5	Katalizörsüz Sistem .....	102
4.5.3.5.1	Biyox Sistem .....	102
4.5.3.5.2	Süper Kritik Sistem .....	103
5.	TÜRKİYE'NİN TARIM ALANLARI VE DOĞAL BİTKİ ÖRTÜSÜ .....	104
5.1	Türkiye'nin Coğrafi Yeri ve Arazi Varlığı .....	104
5.1.1	Türkiye'nin Topoğrafik ve Jeolojik Özellikleri .....	104
5.1.2	Türkiye'nin İklim Özellikleri .....	105
5.1.2.1	Yağışlı ( Hümid ) İklim Bölgeleri .....	105
5.1.2.2	Nemli-Az Yağışlı ( Nemli Subhümid ) İklim Bölgeleri .....	105
5.1.2.3	Kuru-Az Yağışlı ( Kuru Subhümid ) İklim Bölgeleri .....	105
5.1.2.4	Yarı Kurak ( Semiarid ) İklim Bölgeleri .....	106
5.1.2.5	Çok Yağışlı ( Per Hümid ) İklim Bölgeleri .....	106
5.2	Türkiye'de Doğal Bitki Örtüsü .....	106
5.3	Türkiye'deki Arazi Varlığı ve Kullanma Biçimleri .....	109
5.4	Türkiye'nin 1998-2008 Yılları Ekili Dikili Alanları .....	113
6.	TÜRKİYE'DE YETİŞEN YAĞ BİTKİLERİ VE ÜRETİMİ .....	115
6.1	Türkiye'deki Yağlı Bitkileri .....	115
6.2	Türkiye'deki Yağlı Tohum Üretimi Miktarı .....	121
6.3	Biyodizelin Enerji Bilançosu .....	127
7.	BİYODİZEL TEKNOLOJİLERİ VE PROSESLER .....	131
7.1	Hammadde ve Teknoloji Seçiminde Önemli Noktalar .....	131
7.1.1	Hammadde Kalitesi .....	131
7.2	Biyodizel Hammaddesi Yağlarda Ön İşlemleri .....	132
7.2.1	Ön İşlem Teknolojileri .....	132
7.2.1.1	Yapışkan Maddelerin Uzaklaştırılması (Degumming) .....	132
7.2.1.2	Ağartma İşlemi .....	133
7.2.1.3	Kokuların Uzaklaştırılması (Deodorization) İşlemi .....	133
7.2.1.4	Kostik Sökme İşlemi .....	134
7.2.1.5	Yağ ayırma (Çözücü Ekstraksiyonu) .....	134
7.2.1.6	Hidroliz İşlemi .....	135

7.2.1.7	Gliseroliz İşlemi .....	136
7.2.1.8	Asit Esterifikasyon Teknolojisi .....	136
7.3	Yağlara Uygulanan Ticari Teknolojiler .....	137
7.3.1	Ticari Teknoloji: 1 .....	138
7.3.2	Ticari Teknoloji: 2 .....	138
7.3.3	Ticari Teknoloji: 3 .....	138
7.3.4	Ticari Teknoloji: 4 .....	139
7.3.5	Biyodizel Üretiminde Kullanılan Diğer 5. Teknolojiler .....	139
7.3.6	Gelişmekte Olan Teknolojiler .....	139
7.3.6.1	İki Solventli İşlemler: Biyox, Resoydyn .....	139
7.3.6.2	Çift Solventli Teknolojiler .....	139
7.3.6.3	Muhtemel Teknolojiler .....	140
7.3.6.4	Solvent Ekstraksiyonu Teknolojisi .....	140
7.3.7	Transesterifikasyon Ticari Teknolojisi .....	140
7.4	Elde Edilen Ürünlerle İlgili Sorunlar .....	141
7.4.1	Renk .....	141
7.4.2	Koku; .....	141
7.4.3	Gliserin Miktarı .....	141
7.4.4	Gliserin kalitesi .....	141
7.4.5	Biyodizelin Saflaştırılması .....	141
8.	<b>BİYODİZEL BİTKİLERİNDE ARANACAK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ</b> .....	143
8.1	Biyodizelin Alternatif Ürün Olarak Üretilmesi Stratejik Açıdan Değerlendirmesi .....	143
8.1.1	Güçlü Yönleri .....	143
8.1.1.1	Üretim Potansiyeli .....	143
8.1.1.2	Tarımsal Potansiyel .....	144
8.1.1.3	Maliyet Avantajı .....	145
8.1.2	Zayıf Yönleri .....	145
8.1.2.1	Biyodizelle ilgili Entegre Bir Plan ve Model Olmaması .....	145
8.1.2.2	Hammadde sorunu .....	145
8.1.2.3	Yüksek ÖTV ve KDV .....	145
8.1.2.4	Biyodizel Mevzuatı .....	145
8.1.2.5	Biyodizel Standartları .....	146
8.1.3	Tehditler .....	146
8.1.3.1	Petrol Yasası .....	146
8.1.3.2	Teknolojik Gelişmeler .....	146
8.1.3.3	Kayıt ve Standart Dışı Üretim .....	146
8.1.4	Üretilecek Olan Yağ Bitkilerinin Sağlayacağı Olanaklar .....	146
8.1.4.1	Biyodizel Üretiminde Enerji Arzına Sağlayacağı Katkıları .....	147
8.1.4.2	Tarımsal Üretim Potansiyeli .....	147
8.1.4.3	GAP .....	148
8.1.4.4	Yağ Üretimi .....	148
8.1.4.5	Sözleşmeli Üretim .....	148
8.1.4.6	Atık Yağların Kullanımı .....	148
8.1.4.7	Yan Ürünler .....	148
8.1.4.8	İstihdam Katkısı .....	149
8.2	Biyodizel Üretiminde Yağlı Bitkilerin Belirlenmesinin Modellenmesi .....	149
8.2.1	Yağlı Bitkilerin Zirai Özelliklerinin Belirlenmesi .....	149
8.2.1.1	İklim Faktörünün Etkisi .....	150

8.2.1.1.1	Sıcaklık.....	150
8.2.1.1.2	Nemlilik ve Yağış .....	151
8.2.1.1.3	Güneşlenme Süresi .....	151
8.2.1.1.4	Rüzgârlar .....	151
8.2.1.2	Yer Şekilleri .....	151
8.2.1.2.1	Yükselti .....	152
8.2.1.2.2	Bakı .....	152
8.2.1.2.3	Arazinin Yarıılma Durumu: .....	152
8.2.1.2.4	Drenaj durumu:.....	152
8.2.1.3	Toprak İstekleri .....	152
8.2.1.4	Biyotik Etken.....	153
8.2.1.5	Türkiye’de Tarımı (Verimi) Etkileyen Faktörler.....	153
8.2.1.5.1	Sulama.....	153
8.2.1.5.2	Gübreleme .....	153
8.2.1.5.3	Tohum Islahı.....	154
8.2.1.5.4	Tarımsal Mekanizasyon .....	154
8.2.1.5.5	Zirai Mücadele.....	155
8.2.1.5.6	Toprak Bakımı.....	155
8.2.1.5.7	Toprak Analizi.....	155
8.2.1.5.8	Destekleme Alımı ve Pazar .....	155
8.2.1.5.9	Çiftçi Eğitilmeli ve Kredi Desteği.....	155
8.2.1.5.10	Sürdürülebilir Tarım .....	155
8.2.1.6	Tarım İşletme Metotları .....	156
8.2.1.6.1	İntansif (Modern-Yoğun) Tarım Metodu.....	156
8.2.1.6.2	Ekstansif (İlkel-Kaba-Yaygın ) Tarım Metodu.....	156
8.2.1.6.3	Nadaslı Tarım Metodu .....	156
8.2.1.6.4	Kuru Tarım.....	157
8.2.1.6.5	Plantasyon Tarım Metodu.....	157
8.2.1.7	Zirai Yönden Değerlendirme.....	157
8.2.2	Yağlı Bitkilerin Diğer Kullanma Olanakları.....	160
8.2.2.1	Gıda Güvenliği .....	160
8.2.2.2	Yağlı Tohumlu Bitkilerin Toprak Verimliliğine Katkısı .....	161
8.2.2.3	Yağlı Tohumlu Bitkilerin Yeşil Yem Olarak Kullanımı .....	162
8.2.2.4	Ekim Nöbeti Bitkisi Olarak Kullanımı .....	162
8.2.2.5	Arı Yetiştiriciliğinde Kullanımı .....	162
8.2.2.6	Sanayide Hammadde Olarak Kullanımı .....	162
8.2.2.7	Yağ bitkilerinin Diğer Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi .....	166
8.2.3	Fiziksel ve Kimyasal Özellikler .....	169
8.2.3.1	Doymuş Doymamış Yağ Oranları ve Hammadde Kalitesi .....	169
8.2.3.2	Atık Yağların Kullanımı .....	170
8.2.3.3	Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerin Değerlendirilmesi .....	172
8.2.4	Uygun ve Optimum Üretim Teknoloji Seçimi .....	175
8.2.4.1	Değerlendirme .....	175
8.2.5	Diğer Hususlar.....	178
8.2.5.1	Biyodizel Kalitesi .....	178
8.2.5.2	Ülkemizde ’de Biyodizel Üretim Maliyeti.....	178
8.2.5.3	Diğer Hususları Değerlendirme.....	179
9.	SONUÇ VE ÖNERİLER .....	182
	KAYNAKLAR.....	202

EKLER	.....	207
Ek 1	Lurgi Prosesleri .....	208
Ek 2	Noba Prosesi.....	213
Ek 3	Henkel Prosesi.....	216
Ek 4	Energea Proses.....	217
Ek 5	Desemet Ballestra Prosesi 1/Yağ Asidi Metil Ester Üretimi Genel Akış Diyagramı.....	218
Ek 6	Desemet Ballestra Prosesi 2 .....	219
Ek 7	BASF Biyodizel Üretimi SYA Giderimi için asit katalizli sistem .....	220
Ek 8	CROWN Prosesi.....	221
Ek 9	Ticari Biyodizel Üretimi-1 .....	224
Ek 10	Ticari Biyodizel Üretimi-2 .....	227
Ek 11	Yenilenebilir Enerji Ulaşım Yakıt Zinciri.....	228
Ek 12	Yağların Doymuş ve Doymamış Yağ Asitleri .....	229
Ek 13	Yağlı tohum bitkilerinden alternatif yakıtlara geçişleri.....	230
ÖZGEÇMİŞ	.....	231

## SİMGE LİSTESİ

$^{\circ}\text{C}$	Sıcaklık
G	Yerçekimi
H	Saat
$K_m$	Enzimatik Reaksiyon Özgül Sabiti
$V_{\max}$	Maksimum Hız
ml	Mili Litre
$P_A$	Ortam Basıncı
$P_c$	Kritik Basınç
$P_w$	Düşük Basınç
S	Substrak Konsantrasyon
$T_c$	Kritik Sıcaklık
$\lambda$	Dalga boyu



## KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Topluluğu
CEN	Avrupa Topluluğu Standardı
CFPP	Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
CP	Bulutlanma Noktası
EMA	Motor İmalatçıları Birliği (Engine Manufactures Association)
EPA	Çevre Koruma Ajansı
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi
KEE	Kolza Etil Ester
KME	Kolza Metil Ester
Km	Kuru Madde
LCA	Yaşamsal Döngü Analizi
LTFT	Düşük Sıcaklık Akış Testi
ME	Metil Ester
METP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
PV	Fotovoltaik Pil
SAY	Serbest Yağ Asidi
SCM	Amerika Motor İmalatçı Birliği
SFE	Süper Kritik Akışkan Ekstraksiyonu
SF	Süper Kritik Akışkan
SVO	Direk Bitkisel Yağ Kullanımı
SWOT	Kuvvet Analiz Yöntemi
TG	Trigliserid
YAME	Yağ Asdi Metil Esteri
PCE	Perkloroetilen
PCB	Poliklorlanmış Bifenil

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Kaynaklar bazında enerji tüketiminin dağılımı ve ileriye yönelik öngörüler..... 4
Şekil 2.2	Enerji tüketiminin bölgeler bazında dağılımı ve ileriye yönelik öngörüler.... 4
Şekil 2.3	Türkiye'nin 2007 yılı birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı ..... 5
Şekil 2.4	Türkiye'nin 2007 yılı birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı..... 6
Şekil 2.5	Yenilenebilir enerji kaynakları ..... 7
Şekil 3.1	Biyokütleden biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş (Özçimen, 2001)..... 10
Şekil 3.2	Biyokütleden termokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş (Özçimen, 2001)..... 10
Şekil 4.1	Doymuş yağ asidi zincirinde C atomları ..... 16
Şekil 4.2	Doymamış yağ asidi zincirinde C atomları ..... 18
Şekil 4.3	Avrupa'da üretilen biyodizelin bitkisel yağ kaynaklarına göre dağılımı (İşcan, 2006)..... 33
Şekil 4.4	Yağ ekstraksiyonu (Kitani, 1999) ..... 37
Şekil 4.5	Petrodizel ve biyodizelin yaşamsal döngü analizi (LCA) (Öğüt ve Oğuz, 2006) ..... 39
Şekil 4.6	Dizel yakıtı ile glikoz, (KME) kolza metil esteri ve (KEE) kolza etil esterinin biyolojik ayrışabilirliklerinin karşılaştırılması (Öğüt ve Oğuz, 2006)..... 62
Şekil 4.7	Yakıt depolama tankından örnek alma noktaları (Gerpen vd., 2004)..... 63
Şekil 4.8	Biyodizel yüzdeleri arası emisyon farkları (Tyson, 2004) ..... 67
Şekil 4.9	Eski veya yeni motorlarda göre de NOx emisyonunda değişiklikler (Acaroğlu, 2007)..... 67
Şekil 4.10	Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilme metotları..... 70
Şekil 4.11	Biyodizel üretimi kimyasal reaksiyonu [5] ..... 74
Şekil 4.12	Biyodizel üretimi tersinir reaksiyon basamakları ..... 75
Şekil 4.13	Yağ molekülü (trigliserid) yapısı ..... 75
Şekil 4.14	Yağ Molekülünü parçalamış olan SYA zinciri..... 75
Şekil 4.15	Serbest gliserin ve üç biyodizel molekülü ..... 76
Şekil 4.16	Bazik katalizli iç ester değişim reaksiyonu (Akçay, 2006) ..... 77
Şekil 4.17	Bazik katalizli iç ester değişimi reaksiyonuna ait genel proses (Knothe vd., 2005) ..... 78
Şekil 4.18	(a) Trigliserid molekülünün ve (b) Yağ asidinin sabunlaşma reaksiyonu..... 79
Şekil 4.19	Asit katalizli iç ester değişim reaksiyonunun mekanizması (Akçay, 2006)..... 82
Şekil 4.20	Asit katalizli esterleşme reaksiyonu ..... 82
Şekil 4.21	İD-enzim katalizörle yağ asidi esterifikasyonu (Acaroğlu, 2007) ..... 84
Şekil 4.22	Gliserin ve sabunun çıkarılması (Acaroğlu, 2007) ..... 85
Şekil 4.23	İD – Adsorpsiyon biyodizelin temizlenmesi (Acaroğlu, 2007)..... 85
Şekil 4.24	Yağ asitlerinin metil esterleri..... 88
Şekil 4.25	Enzimatik biyodizel üretim şeması ..... 88
Şekil 4.26	İmmobilize extracellular ve intracellular lipaz enzimlerin karşılaştırılması .... 88
Şekil 4.27	Tek bir maddenin faz diyagramı (Dinçer vd., 2005)..... 89
Şekil 4.29	Süperkritik sıcaklıkta ester değişimi reaksiyon düzeneği ..... 94
Şekil 4.30	Süperkritik sıcaklıkta ester değişim reaksiyonunun mekanizması ..... 96
Şekil 4.31	Sıvı içindeki kabarcığın ultrasonik etkiyle büyümesi ve patlaması. P <sub>A</sub> : Ortam basıncı, P <sub>w</sub> : Genleşme (Düşük basınç), λ: Dalga boyu..... 98
Şekil 4.32	Kesikli sistem biyodizel üretim şeması..... 99

Şekil 4.33	Sürekli sistem biyodizel üretim şeması.....	101
Şekil 4.34	Yüksek serbest yağ asit biyodizel üretim yöntemi.....	102
Şekil 4.35	Biyox yöntemi ile biyodizel üretim sistemi.....	102
Şekil 4.36	Süperkritik yöntem ile biyodizel üretim sistemi.....	103
Şekil 5.1	Sıcaklık dağılışı.....	107
Şekil 5.2	Kuraklık haritası.....	108
Şekil 5.3	Türkiye2001 yılı ekili alanları içerisinde nadas alanlarının illere göre oransal dağılımı (Bayar, 2004) .....	114
Şekil 5.4	Türkiye 2001 tarım alanları içerisinde ekili alanların illere göre oransal dağılımı (Bayar, 2004) .....	114
Şekil 7.1	Yağlara uygulanana ön işlemler .....	135
Şekil 7.2	Asidik ve bazik esterifikasyon teknoloji aşamaları (Tyson, 2003).....	136
Şekil 7.3	Yağlara uygulanan ticari teknolojiler .....	137
Şekil 7.4	Rafine bitkisel yağların transesterifikasyon aşamaları (Tyson, 2003).....	140
Şekil Ek1.1	Lurgi yağ kimyasında lurgi prosesi akış şeması (Kleber, 2004).....	209
Şekil Ek 1.2	Lurgi bitkisel yağlardan biyodizel üretim prosesi (Kleber, 2004).....	210
Şekil Ek 1.3	Lurgi prosesi maksimum dönüşüm için iki aşamalı transesterifikasyon.....	211
Şekil Ek 1.4	Lurgi prosesi transesterifikasyon (Kleber, 2004).....	211
Şekil Ek 2.1	Noba reaktörlü biyodizel tesisi (Keskinler, 2006) .....	214
Şekil Ek 2.2	Noba reaktörlü biyodizel üretimi (Keskinler, 2006).....	215
Şekil Ek 2.3	Noba reaktörlü (Keskinler, 2006) .....	215
Şekil Ek 3	Biyodizel üretiminde henkel prosesi (Türkay, 2005).....	216
Şekil Ek 4	Energea biyodizel prosesi akış şeması (Bacovsky vd., 2007) .....	217
Şekil Ek 5	Desemet ballestra prosesi 1/yağ asidi metil ester üretimi genel akış diyagramı.....	218
Şekil Ek 6	Desemet Ballestra prosesi 2 (Türkay, 2005).....	219
Şekil Ek 7	BASF SYA Giderimi için asit katalizli sistemi (Zadra, 2005) .....	220
Şekil Ek 8	a) CROWN prosesi (Keskinler, 2006) .....	222
Şekil Ek 8	b) CROWN prosesi (Keskinler, 2006) .....	223
Şekil Ek 9	Ticari biyodizel üretimi-1 (Öğüt ve Oğuz, 2006) .....	224
Şekil Ek 10	Ticari biyodizel üretimi-2 .....	227
Şekil Ek 11	Yağlı tohum bitkilerinden biyoyakıtlara geçiş (Kardaşlar, 2000) .....	230

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Ülkemizdeki enerji arz – talep gelişimi ..... 6
Çizelge 2.2	2007 Yılı Ticari Olmayan Yakıtlar Arzı ve Tüketimi (10 <sup>3</sup> tep)..... 6
Çizelge 4.1	Doymuş Yağ Asitleri ..... 17
Çizelge 4.2	Doymamış Yağ Asitleri..... 18
Çizelge 4.3	Susamda farklı tohum renkliliği ile yağ asitleri kompozisyonu arasındaki ilişkiler..... 27
Çizelge 4.4	Haşhaşta farklı tohum renkliliği ile yağ asitleri kompozisyonu arasındaki ilişkiler..... 27
Çizelge 4.5	Biyodizel üretilebilecek başlıca yağ bitkileri (Kitani, 1998; Tickell, 2000).. 34
Çizelge 4.6	Dizel yakıtı ve bazı bitkisel yağların temel bileşenleri (Alfelbeck, 1986)..... 35
Çizelge 4.7	Algler ve ısı değerleri..... 36
Çizelge 4.8	Dizel (No 2) ile biyodizelin bazı özellikleri (NREL, 2009)..... 42
Çizelge 4.9	İlgili ASTM D6751–03 standardında yer alan özellik sınırları ve yapılması önerilen testler ve uygulama yöntemleri (NREL, 2009)..... 43
Çizelge 4.10	Dizel ve biyodizel yakıtlar için mevcut standartları..... 44
Çizelge 4.11	TS EN 14214 Genel özellikler ve deney yöntemleri ..... 45
Çizelge 4.12	TS EN 14213 Genel özellikler ve deney yöntemleri ..... 46
Çizelge 4.13	Biyodizelin kimyasal yapısının önemli yakıt özellikleri üzerindeki etkileri.. 53
Çizelge 4.14	Biyodizelin bazı türleri için soğuk akış verileri..... 55
Çizelge 4.15	Biyodizel çeşitlerinde karışım oranlarının akma noktasına etkisi ..... 56
Çizelge 4.16	Biyodizel ile malzemelerin uyuşabilirliği (Tyson, 2001) ..... 65
Çizelge 4.17	Biyodizel emisyonlarının motorin emisyonlarından %’de farkı ..... 66
Çizelge 4.18	Bitkisel yağların yakıt olarak kullanma yöntemlerinin karşılaştırılması (Zhou, 2000) ..... 73
Çizelge 4.19	Alkol tipinin ester dönüşümü ve yoğunluğu üzerine etkisi (Çanakçı ve Gerpen, 1999) ..... 81
Çizelge 4.20	Alkali katalizi ester değişimi reaksiyonu ile lipaz enzimi katalizli esterdeğişimi reaksiyonlarının karşılaştırılması ..... 89
Çizelge 4.21	Maddenin süperkritik akışkan, gaz ve sıvı haldeki özelliklerinin karşılaştırılması..... 90
Çizelge 4.22	Süperkritik akışkan olarak bazı maddelerin özellikleri..... 92
Çizelge 4.23	Bitkisel yağlardan transesterifikasyonla biyodizel üretiminde katalitik metanol (MeOH) prosesi ve süper kritik metanol (SCM) metodunun karşılaştırılması (Acaroğlu, 2007) ..... 96
Çizelge 5.1	Arazilerin Sınıflandırılması..... 110
Çizelge 5.2	Türkiye’de şimdiki arazi kullanma biçimlerinin (kabiliyet) sınıflarına dağılımı ..... 111
Çizelge 5.3	Türkiye’nin 1998 ile 2008 yılları arasında ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı (TÜİK, 2010)..... 113
Çizelge 6.1	Ülkemizde yetişen çeşitli ..... 117
Çizelge 6.2	Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri..... 119
Çizelge 6.3	Türkiye’deki (2003-2008) yılları yağlı tohum bitkilerinin ekiliş alanları, üretim miktarlar ve üretim verimleri (TÜİK, 2010) ..... 122
Çizelge 6.4	Türkiye’de yağlı tohumlu bitki üretilebilecek ilave arazi ve üretim miktarları ..... 127
Çizelge 6.5	Yakıtlar arasındaki karşılaştırmalı enerji dengesi..... 130
Çizelge 7.1	Element dönüşüm faktörleri ..... 134

Çizelge 8.1	Türkiye'deki biyodizel sektörünün analizi.....	144
Çizelge 8.2	Biyodizel bitkilerinde zirai yönden aranacak özellikler .....	158
Çizelge 8.3	Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerde zirai özelliklerin akım şeması	159
Çizelge 8.4	Biyodizel bitkiler kullanma olanakları yönünden aranacak özellikler .....	167
Çizelge 8.5	Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin diğer kullanım alanları proses şeması.....	168
Çizelge 8.6	Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin doymuş ve doymamış yağ oranı yüzdeleri.....	171
Çizelge 8.7	Bitkisel yağın fiziksel ve kimyasal özellikler.....	173
Çizelge 8.8	Yağlı bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri proses şeması .....	174
Çizelge 8.9	Biyodizel üretiminde ticari teknoloji akım şeması .....	176
Çizelge 8.10	Seçilmiş bir bitki için teknoloji akış diyagramı.....	177
Çizelge 8.11	Biyodizel üretiminde standartlar ve ekonomikliği prosesi akım şeması.....	181
Çizelge 9.1	Biyodizel bitkilerinden kanola ve mısırın zirai yönden aranacak özelliklerin karşılaştırılması.....	184
Çizelge 9.2	Biyodizel bitkiler kullanma olanakları yönünden aranacak özellikler .....	185
Çizelge 9.3	Bitkisel yağlardan kanola ve mısırın fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	187
Çizelge 9.4	Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin doymuş ve doymamış yağ oranı yüzdeleri.....	188
Çizelge 9.5	Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerde zirai özelliklerin akım şeması	191
Çizelge 9.6	Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin diğer kullanım alanları proses şeması.....	191
Çizelge 9.7	Yağlı bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri proses şeması .....	193
Çizelge 9.8	Biyodizel üretiminde ticari teknoloji akım şeması .....	194
Çizelge 9.9	Seçilmiş bir bitki için teknoloji akış diyagramı.....	195
Çizelge 9.10	Biyodizel üretiminde standartlar ve ekonomikliği prosesi akım şeması.....	196
Çizelge Ek 1.1	Lurgi prosesinden elde edilen biyodizelin özellikleri (Kleber, 2004) .....	212
Çizelge Ek 11	Yenilenebilir enerji ulaşım yakıt zinciri çizelgesi (Rosillo-Calle, 2004).....	228
Çizelge Ek 12	Yağların doymuş ve doymamış yağ asitleri [3].....	229

## ÖNSÖZ

İçinde yaşadığımız dönem, enerji kaynaklarına olan ihtiyacın fazlaştığı bir dönemdir. Son yıllarda özellikle fosil kökenli enerji kaynaklarında, gerek nüfus artışı ve bunun doğal sonucu olan hızlı kentleşme, gerekse hızlı sanayileşme ve bilinçsiz kullanımdan dolayı hızlı azalma olduğu gözlenmektedir.

Alternatif enerji kaynakları her geçen gün önemini arttırmaktadır. Bu alternatif enerji kaynaklarından biri olan biyodizel, yenilenebilir enerji kaynağı da olması sebebiyle günümüzde ismi çok anılır olmuştur. Hammaddesi yağ olan biyodizel, ülkemiz tarımı için de önemli bir yer tutmaktadır

Bitkisel yağların ayrıştırılması sonucunda elde edilen ester, biyodizel olarak tanımlanmakta ve dizel motorlarda konstrüksiyon açısından herhangi bir değişiklik yapılmadan direkt olarak kullanılabilir. Dizel motorlarda biyodizel kullanımı ile petrol kökenli dizel yakıtına göre daha az egzoz emisyonu üretilerek bu motorlardan kaynaklanan çevresel problemler iyileştirilmektedir. Ayrıca biyodizel biyolojik olarak çok hızlı parçalanabilmekte ve enerjinin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır.

Bu doktora çalışmasında, biyodizel elde etmek için kullanılan bitkilerin florasını çıkartılmış, biyodizel kullanılan yağlarda aranılan özellikler, ülkemizde yetişen ve yetişebilecek yağlı bitkilerin miktarları, üretim alanları, yaşamsal, zirai özellikleri, kullanım alanları, fiziksel, kimyasal özellikleri, üretim teknolojileri ve standartları belirlenerek modellenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmalarımda, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zeynep Düriye BİLGE'ye, teknik ve manevi yardımlarını esirgemeyen hocam, Sayın Prof. Dr. Eralp ÖZİL'e, raporları izleme üyesi hocam, Sayın Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN'a çalışmalarda her türlü yardımları esirgemeyen asistan arkadaşlara ve işyeri arkadaşlarıma, maddi ve manevi olarak her türlü desteği veren aileme ve sevgilerini çaldığım kızıma sonsuz teşekkürler sunarım.

## ÖZET

### **BİYODİZEL ÜRETİMİNE UYGUN TÜRKİYE'DE YETİŞEN VE YETİŞEBİLECEK BİTKİLERİN VE BİYODİZEL TEKNOLOJİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Son yıllarda kullanılan konvansiyonel enerji kaynakları rezervleri azalmakta olduğu ve petrol rezervlerinin yakın bir gelecekte tükeneceği bilinmektedir. Hızla artan nüfus ve endüstrileşme, dünya enerji tüketiminde artışa yol açmakta, bunun sonucu olarak da enerji açısından yeni ve acil önlemlerin alınması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bilinen kaynakların rasyonel kullanımı ve yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi bu önlemlerin başında gelir. Bu kaynaklar arasında biyokütle (biyomass) en büyük potansiyellerden biridir. Biyokütle kökenli en önemli alternatif yakıt, dizel motorlar için üretilen ve biyodizeldir.

Dizel yakıtları birçok alanda kullanılmakta ve ülke ekonomisinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Biyodizel, dizel motorları için, bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen alternatif bir yakıttır. Ayrıca toksik olmayan, doğada kolay bozulabilen, çevreci bir yakıttır.

Tezin ilk aşamasında ideal biyodizel üretimi için bitkilerde bulunması istenen fiziksel ve kimyasal özellikler saptanmış ve bu özellikler bazında Türkiye'deki aday biyodizel bitkileri saptanmıştır. Bu bitkilerin florasını çıkarmak, yetiştirme şartları ve bitkisel yağlardan biyodizel elde etmek için yağlarda aranılan özellikler, ülkemizde yetişen yağlı bitkilerin miktarları ve üretim alanlarının belirlenmiştir. Ayrıntılı bir literatür çalışması sonucu, biyodizel üretimi için önde gelen teknolojiler belirlenmiş ve bitki özellikleri bazında sınıflandırılmışlardır. Daha sonra, Türkiye'de biyodizel üretimi için bir SWOT analizi yapılmış, Ülkemizin bu alandaki avantajları ve zayıf yönleri belirlenmiştir. Olanaklar ve tehditlerde çalışmada yer almıştır. Tezin son aşamasında bir model geliştirilmiştir. Bu model, ilk adımda herhangi bir bitkinin büyük miktarlarda Türkiye'de üretilip üretilmeyeceğini, ikinci adımda ise biyodizel için üretime uygun olup olmadığını test etmektedir. Uygun bulunan bitkiler, kimyasal özellikleri çerçevesinde değerlendirilmekte ve en son aşamada biyodizel üretimine uygun olanlar için, özelliklerine en uygun üretim teknolojisi seçilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif yakıt, biyodizel, biyodizel üretim teknolojileri, yağ bitkileri.

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF BIODIESEL PLANTS THAT ARE NATIVE TO TURKEY FOR BIODIESEL PRODUCTION AND IDENTIFICATION OF APPROPRIATE PRODUCTION TECHNOLOGIES**

It is indicated that reserves of conventional energy sources used in recent years has been decreasing and oil reserves will be exhausted in the near future. Rapidly increasing population and industrialization has led to an increase in world energy consumption, as a result of this, the necessity of taking new and urgent measures in terms of energy is emerging. Evaluation of new and renewable energy resources and using known resources in the best way is premier ones. Among these sources, biomass is one of the greatest potential. The most important alternative biomass-based fuel is produced for diesel engines and named as biodiesel.

Diesel fuels are used in many areas and play a significant role in the national economy. Biodiesel for diesel engines is an alternative fuel which can be produced from renewable sources such as vegetable and animal fats. Moreover it is a non-toxic, easily biodegradable in nature and green fuel.

In this thesis, it is aimed that the determination of biofuel sources, the examination of fatty acids, the standardization of biodiesel fuel and heating fuel, the researching of advantages and disadvantages, the biodiesel production methods and technological developments, the revealing the flora of the plants used for obtaining biodiesel, the cultivating conditions and the desired properties of oils to get biodiesel from vegetable oils, the amount of the oil crops growing and having capability of growing in our country, the production areas, the usage areas, the crucial, agricultural, physical and chemical properties and the ester structures of the plant desired to use as a fuel. A plant that requested for use as a fuel, it's agricultural specifications, uses, the physical and chemical properties, manufacturing technologies and manufacturing standards were determined and to tried for modelling.

**Keywords:** Alternative fuels, biodiesel, biodiesel production technology, oil plants.



## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşamı boyunca enerjiye ihtiyaç duymuştur. Enerji olmadan yaşamanın mümkün olmadığı fiziksel bir olgudur. Tarih boyunca meydana gelen birçok büyük sosyal, siyasal, ekonomik çalkantılar ve savaş felaketlerinin temelinde yatan en büyük sebeplerden birisi, toplumların ihtiyaç duydukları enerjiyi temin etmek ve ülkelerine dışarıdan enerji akışını sürekli kılmak arzularıdır.

İçinde yaşadığımız dönem, geleneksel olarak bilinen ve yaygın kullanımdaki enerji kaynaklarının yok olma riskinin arttığı bir dönemdir. Son yıllarda özellikle fosil kökenli enerji kaynaklarında, gerek nüfus artışı ve bunun doğal sonucu olan hızlı kentleşme, gerekse hızlı sanayileşme ve bilinçsiz kullanımdan dolayı hızlı azalma olduğu gözlenmektedir.

Klasik enerji kaynaklarının birçoğunun bir süre sonunda tükeneceği beklenmektedir. Bu tür kaynaklar evre için büyük ve geri dönüşümü olmayan tehlikeler yaymakta, artan ihtiyacı ve gelişen teknolojiyi beslemekte yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, bugünkü dünya ülkelerinin her biri gelecekte alternatif olarak ne tür bir yakıt kullanacaklarını ve bu yakıtın kaynağının rezerv durumunun ne düzeyde olduğunu iyi hesaplamak zorundadırlar. Geleceğin yakıt türünün seçimini etkileyen en önemli faktörlerin başında rezervlerin büyüklüğünün yanı sıra, yakıtın ekonomikliği ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin uygunluğu gelmektedir. Bununla beraber, yakıtın yanması sonucu oluşan kirletici emisyonların insan ve evre sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri de alternatif yakıtın türünü belirlemede kısıtlayıcı bir faktör olacaktır (Artukoğlu, 2006).

Enerji kaynakları, esas olarak “Birincil (Primer) Enerji Kaynakları” ve “İkincil (Sekonder) Enerji Kaynakları” olarak iki grupta incelenmektedir. Potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere paralel olarak yeni faydalanılabilen enerji kaynaklarına “yeni” ve tükenmeyen veya eksilmeyen kaynaklara da “yenilenebilir” enerji kaynakları denilmektedir (ğt ve Oğuz, 2006).

Çağımızda yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği artmakta, bir kısmı ekonomik alternatiflik açısından değer kazanmakta, bir kısmı üzerinde de ekonomik analizler yapılmakta ve her gün başka enerji kaynakları ortaya çıkmaktadır. Bu kaynakların neredeyse tamamının ortak yönü, çevreye kısa ve uzun vadede olumsuz etki oluşurmamasıdır. Biyodizel yakıtlar, bu kapsamda en yenileri arasındadır.

Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden türetilen yakıtlar biyodizel, biyodizel, biyomotorin, biyodiesel, dizel-bi olarak adlandırılır. TBMM

Tarafından 04.12.2003 tarihinde 5015 sayılı kanun ile çıkartılan Petrol Piyasası Kanununda ve Resmi Gazetenin 10.09.2004 tarih ve 25579 sayılı nüshasında yayınlanan “Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında” yönetmelikte ve TS EN 14214 ve TS EN 14213 standartlarında “BİYODİZEL” ifadesi yer aldığı ve yaygınlık kazandığı için, bu çalışmada BİYODİZEL kavramı tercih edilmiştir.

Biyodizel saf olarak kullanılabilceği gibi petrolden elde edilen dizel yakıtlara karıştırılarak da kullanılabilir. Rudolph DIESEL ilk olarak 1893’te Almanya’da motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve 1898’te Paris Dünya Fuarı’nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir. 1911 yılında bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının ülkelerin tarımının gelişiminin ciddi bir katkısı olacağını ifade etmiş ve 1912’de “Bitkisel yağların motorlarda kullanımı günümüzde önemsiz görünebilir, ancak bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacak” demiştir (Artukoğlu, 2006).

Biyodizel, Avrupa Birliği’ne üye ülkelerde dizel yakıt içerisine %2 oranında karıştırılarak satılmaktadır. Avrupa Birliği enerji politikalarının belirtildiği “Beyaz Kitap”a göre biyodizelin dizele karışım oranının 2005 yılında %5,75’e, 2010 yılında %10’a ve 2020 yılında %20’ye çıkartılması hedeflenmiştir.

Türkiye gibi petrol konusunda dışa bağımlı bir ülkenin alternatif bir yakıt üretebileceği ve bu yakıtın kullanımı sonucunda çevreye zararlı emisyon değerlerinin azalacağı gerçeklerinin gündeme getirilerek; biyodizel kullanımının yaygınlaştırılması ve kullanıcılarının bilgilendirilmesi, içinde bulunduğumuz Avrupa Birliği Uyum Süreci açısından da önem arz etmektedir.

Dizel yakıtının özelliklerine yakın, temiz, ucuz alternatif bir yakıt olan biyodizel üretiminin, hayvansal atık yağlarından yapılması, böylece atık yağların değerlendirilerek alternatif yakıtı dönüştürülmesi ile milli gelire katkı sağlamak ve yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi olanaklarının araştırılması ile biyodizel üretiminin yaygınlaştırılmasını sağlayarak dışa bağımlılığı azaltmaktır.

## 2. DÜNYADA ve TÜRKİYEDE ENERJİ

İnsanoğlunun gereksinimlerini karşılayabilmek için bugün dünya üzerinde kullanabileceği enerji kaynakları bellidir. Genelde tükenir ve tükenmez enerji kaynakları olarak iki sınıfta toplanabilirler. Özellikle konvansiyonel fosil kökenli enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte tükenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının insanlık için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, Dünyada ve Türkiye’de mevcut olan enerji kaynakları, enerji tüketimi eğilimleri kısaca özetlenmektedir.

### 2.1 Dünyada Enerji

Günümüzde Dünyada kullanılan yakıtların hemen tümü fosil kökenli veya nükleer yakıtlardır. Fosil yakıtlar, verilen isimden de anlaşılacağı üzere, eski jeolojik çağlarda oluşmuş olup, hiç bir şekilde yenilenebilir özellik göstermezler. Kullanıldıktan sonra genellikle ekosisteme yanma ürünleri olarak atılırlar ve tümü tükenmeye mahkûmdur. Günümüzde birincil kaynak olarak kabul edilen fosil yakıtlar kömür, petrol ve doğal gazdır. Sanayileşmenin başlamasıyla fosil yakıtlar tüm dünyanın enerji yükünü üstlenmiş ve sürekli artan bir şekilde ısıtma, soğutma amaçlı olarak konutlarda, elektrik üretmek amacıyla elektrik santrallerinde, hemen her tür ulaştırma aracında ve sanayide tüketilmeye başlamışlardır.

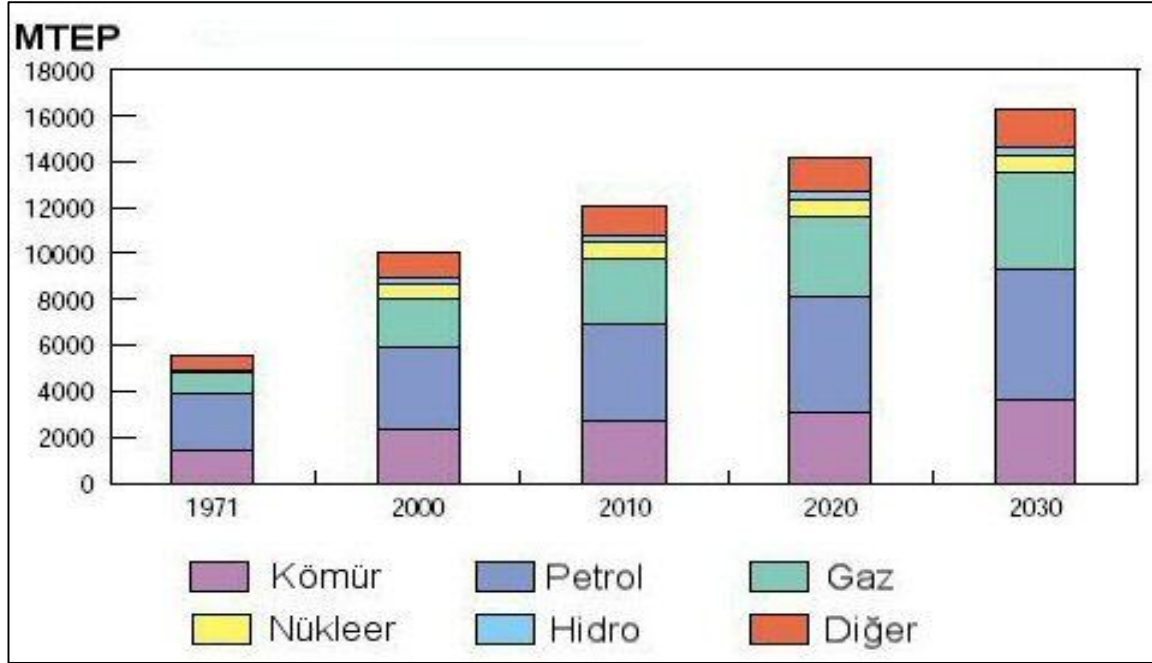
Türkiye’nin de üyesi bulunduğu OECD ülkeleri toplamda dünyanın en büyük enerji tüketicisidir. Özellikle, dünyanın birinci enerji tüketicisi olan ABD, üçüncü büyük ekonomi olan Japonya ve AB’nin de yer aldığı bu uluslar topluluğunun uzun yıllar böyle kalması beklenmektedir. Ancak, çevre bilincinin giderek artması sonucu, önümüzdeki yıllarda özellikle bu grubun gerek tüketim alışkanlığı, gerekse enerji seçenekleri bakımından radikal değişikliklere gitmesi beklenmektedir.

Fosil kökenli yakıtlar (kömür, petrol ve doğal gaz) dünya üzerindeki elektrik üretiminin yaklaşık % 75’ini oluşturmaktadır. Nükleer elektrik enerjisi üretimi, hidroelektrik santraller ve az da olsa yenilenebilir kaynaklar geriye kalan dörtte birlik payı oluşturur.

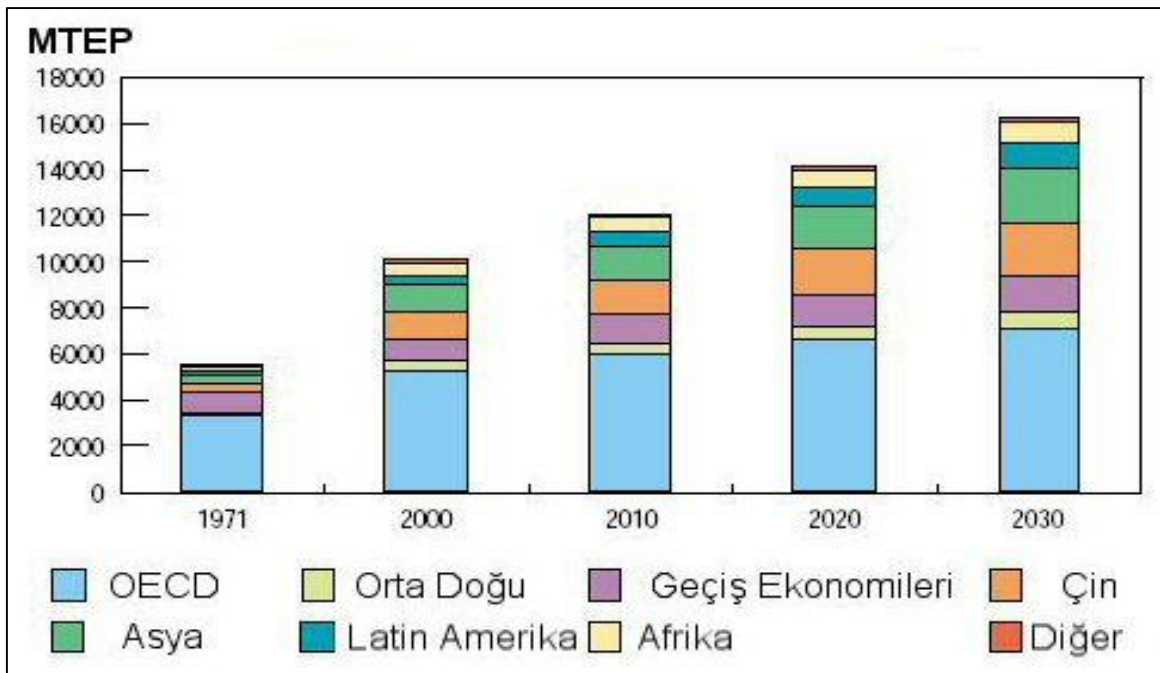
Önümüzdeki yirmi yıl içinde, nüfusun ve refah düzeyinin artması ve ekonominin büyümesine paralel olarak dünya enerji tüketiminin de artması beklenmektedir. Tahmin edileceği üzere petrol fiyatlarının, son on yılın eğilimine bağlı olarak, 2008 yılında yaşanan küresel ekonomik krize rağmen, yüksek düzeyde kalmasının beklendiği ve bu nedenle sıvı yakıtların tüketimindeki artış hızının geçmişteki yirmi yıl ile karşılaştırıldığında oldukça düşük gerçekleşeceği söylenebilir. Nitekim OECD, DOE ve IEA gibi kuruluşların tümü,

önümüzdeki yirmi yıl içinde, sıvı yakıt tüketimindeki ortalama yıllık artış hızının %1'lerin altında kalacağını tahmin etmektedirler.

Şekil 2.1'de Dünyadaki birincil kaynaklarının son kırk yıla ait fiili tüketim rakamlarını ve gelecek on beş yılı kapsayan tahminleri vermektedir. Şekil 2.2'de ise bu tüketimin bölgesel dağılımı görülebilir.



Şekil 2.1 Kaynaklar bazında enerji tüketiminin dağılımı ve ileriye yönelik öngörüler



Şekil 2.2 Enerji tüketiminin bölgeler bazında dağılımı ve ileriye yönelik öngörüler

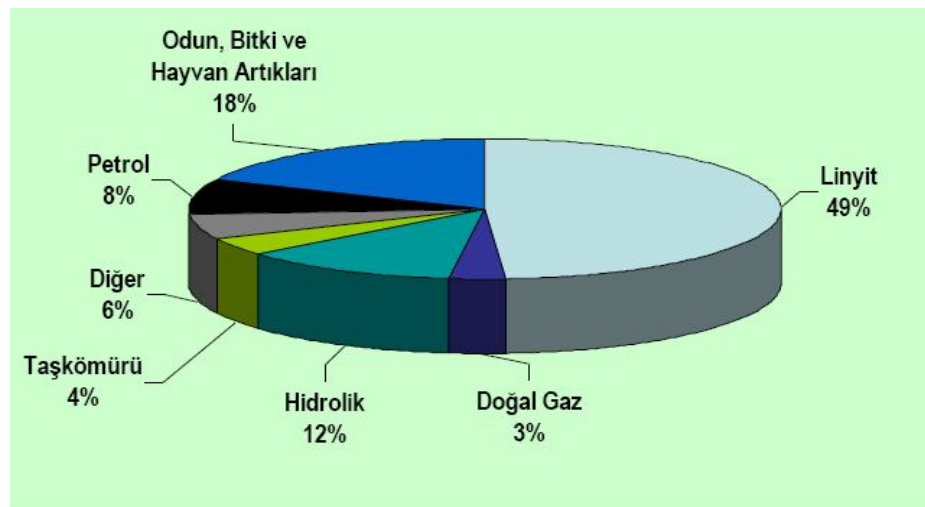
Buna karşın, yenilenebilir enerji kaynakları kökenli enerji tüketiminin, yaklaşık %3'lük

ortalama yıllık artış hızıyla, en hızlı artışı göstereceği tahmin edilmektedir. Özellikle fosil kökenli yakıtların çevreye olumsuz etkilerinin toplum tarafından anlaşılacak önemsenmesi ve gelişmiş ülkelerin uygulamaya başladıkları teşvik politikaları ve programlarının katkısıyla, yenilenebilir enerji kaynakları dünya enerji piyasasındaki önemini ve üretimde aldığı payı sürekli olarak arttıracaktır. Buna rağmen, sıvı yakıtların halen %36'larda olan payının, 2030'lara gelindiğinde ancak %30'lara düşmesi beklenmektedir. Günümüz koşullarında elektrik enerjisi üretimi sektörü başta olmak üzere sanayinin de petrol ve sıvı yakıtlardan hızla kaçacağı ve üretimi daha ekonomik yakıtlarla ikame edeceği söylenebilir. Aynı şekilde konutlarda ve ticari sektörde de sıvı yakıtların payında önemli düşüşler beklenmelidir (Özil vd., 2011).

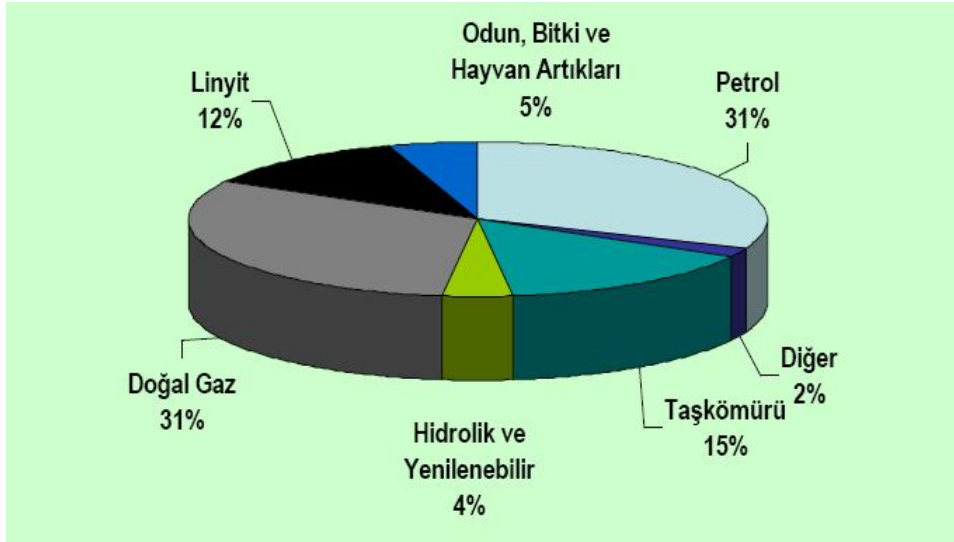
## 2.2 Türkiye'de Enerji

Konuyu ülkemiz açısından incelediğimizde, Türkiye'nin enerji açısından dışa bağımlı bir ülke olduğu ortaya çıkmaktadır. Türkiye, bölgesel olarak fosil enerji kaynakları yeterli olmayan ve enerji ihtiyacının %85'ini ithal eden bir ülkedir.

Şekil 2.3'de Türkiye'nin 2007 yılı birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı ve enerji üretimimiz 27.4 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Şekil 2.4'de Türkiye'nin 2007 yılı birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı ve enerji tüketimimiz 2007 yılında 107.6 MTEP olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizdeki enerji arz ve talep çizelgesi verilmiştir (Çizelge 2.1). İncelenen dönem itibarıyla yerli üretimi yetersiz kalan ülkemizde, üretim talebi karşılayamamakta ve enerjide tamamıyla dışa bağımlı bir yapı görülmektedir (Çubuk ve Heperkan, 2010).

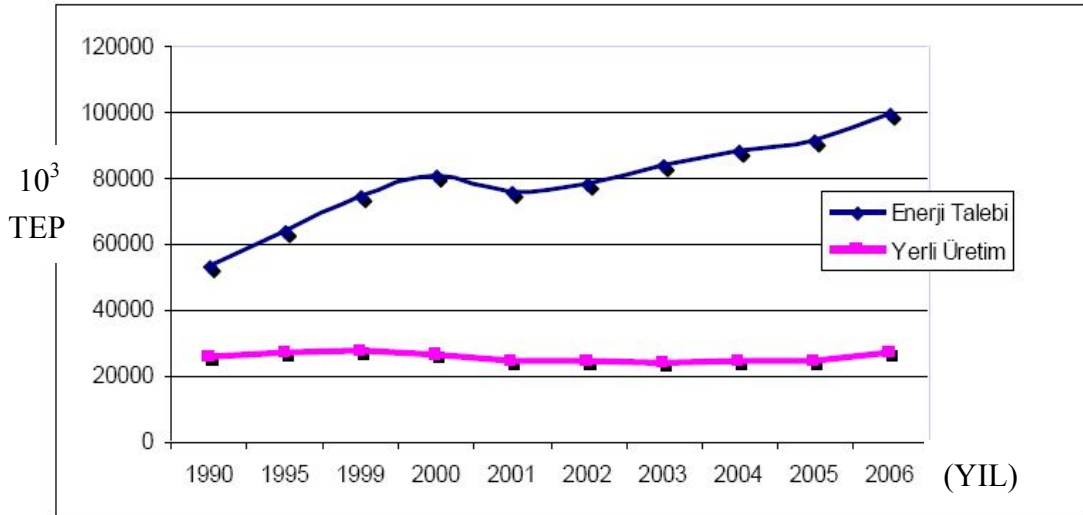


Şekil 2.3 Türkiye'nin 2007 yılı birincil enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı



Şekil 2.4 Türkiye'nin 2007 yılı birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı

Çizelge 2.1 Ülkemizdeki enerji arz – talep gelişimi



Çizelge 2.2 2007 Yılı ticari olmayan yakıtlar arzı ve tüketimi (10<sup>3</sup> tep) verilmiştir.

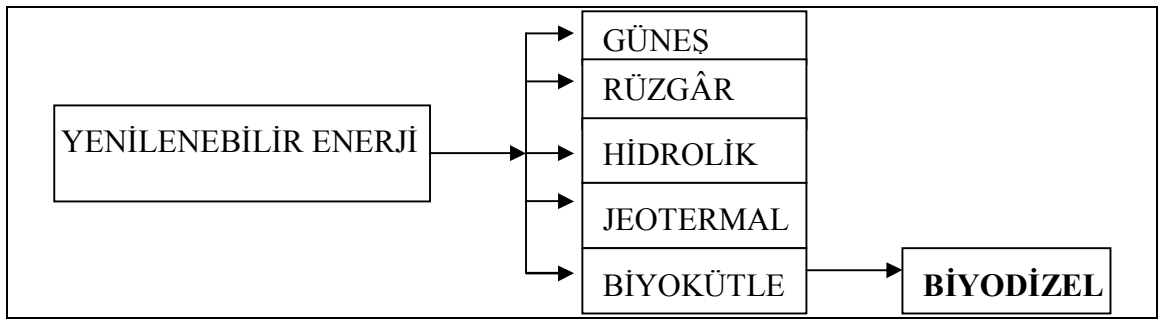
Çizelge 2.2 2007 Yılı Ticari Olmayan Yakıtlar Arzı ve Tüketimi (10<sup>3</sup> tep)

	Odun	Hayvan ve Bitki Artıkları	Toplam
Yerli Üretim	3880	1116	4996
Birincil Enerji Arzı	3880	1116	4996
Çevrim ve Enerji Sektörü	58	0	58
Sanayi Tüketimi	0	0	0
Ulaştırma	0	0	0
Konut ve Hizmetler	3822	1116	4938

### 2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, kaynağı sonsuz enerjidir. Bütün enerjilerin kaynağı olarak güneş enerjisi kabul edilmektedir. Nitekim bitkiler hidrokarbonlar yoluyla güneş enerjisini, kimyasal enerjiye dönüştürürler. Yenilenebilir enerjinin birçok çeşidi vardır. Örneğin, Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan biyokütle enerjisinin hammadde kaynakları, orman ürünleri, tarım ürünleri ve sanayi atıklarıdır.

Biyokütle, tükenme riskinin olmaması, özellikle dünyada belli ülkelerin tekelinde olmaması ve enerji temini konusunda ülkeleri tek çeşit enerji kaynağına bağlı olmaktan kurtarması gibi avantajları nedeniyle öne çıkmaktadır (Şekilde 2.5).



Şekil 2.5 Yenilenebilir enerji kaynakları

Biyokütle kaynaklı yakıtlar, katı, gaz ya da sıvı şeklinde olmaktadır. Odun, kömür, zeytin çekirdeği ve diğer atıklar katı biyokütle grubu içinde sayılmaktadır. Biyokütleden biyokimya ya da termokimya prosesleriyle elde edilen biyoyakıtların başlıcaları şunlardır:

- Biyoetanol,
- Biyometanol,
- Biyodimetileter,
- Biyoyağ,
- Biyodizeldir.

Örneğin benzinli motorlarda kullanılabilen Etil Alkol veya biyoetanol (Biyolojik-tarımsal malzemeden elde edilen etil alkol) bunlardan birisidir. Fotovoltaik piller (PV), güneş enerjisinden elektrik üretmeye yarayan güneş panelleridir. Rüzgâr çarkları ise rüzgârdan enerji üreten makinelerdir. Bitkisel yağlarda yenilenebilir enerji kapsamında yer almaktadır.

Yenilenebilir enerji orijinli yakıtların yanma sonucu ortaya çıkarttığı CO<sub>2</sub>, bitkiler tarafından tutulur. Bitkiler CO<sub>2</sub>'i, karbon ve oksijene ayırırlar. Oksijen tekrar atmosfere bırakılır. Yenilenebilir enerji kullanımı böylece CO<sub>2</sub> emisyonunda doğal dengenin oluşmasını sağlar.

### 3. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük teknik potansiyele ‐Biyokütle‐ sahiptir. Ana bileşenleri karbon-hidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler ‐Biyokütle Enerji Kaynağı‐, bu kaynaklardan üretilen enerji ise ‐Biyokütle Enerjisi‐ olarak tanımlanmaktadır. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanması sonucu oluşmaktadır. Hayvansal biyokütle ise bitkisel biyokütleden türemektedir (Vermeersch, 2000).

Güneşin dünyaya verdiği enerjinin yaklaşık  $1.5 \cdot 10^{18}$  Kwh/yıl olduğu bilinmektedir. Dünya yüzeyine gelen bu enerjinin yaklaşık %0,1'i fotosentez olayıyla biyokütleye dönüştürülerek depolanmaktadır. Bu ise yaklaşık olarak dünyada kullanılan toplam enerji den 10 kat fazladır (Akunal ve Tolay, 2003).

Biyokütle, oksijenle reaksiyona girdiğinde ısı ortaya çıkar. Bu nedenle ‐Biyoyakıt‐ olarak da adlandırılabilir. Doğal ekolojide, tüm biyokütle, çürüme ve metabolizma sonucu normal çevre sıcaklıklarında ısı açığa çıkararak temel elementlere çözünür. Biyokütle sonucu ortaya çıkan enerji bu sebeple yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve çevreyi herhangi bir yan ürünle kirlilemez. Biyoyakıtlar bu sebeple ‐Yeşil Enerji‐ olarak tanımlanabilir

Dünya üzerinde, biyokütle çok geniş bir alana yayılmıştır ve çok seyrekdir. Genellikle yağın yoğunluğu da fosil kökenli yakıtlarinkinden 3-4 kat daha düşüktür. Bu yüzden biyokütle tesisleri fosil yakıt tesislerinkinden daha büyüktür ve biyokütlenin taşınması ve işlem yapılması fosil yakıtlara göre daha zor ve masraflıdır. Biyokütlenin ekonomik olarak etkin bir şekilde kullanılması açısından, tüm yenilenebilir enerji süreçlerinde olduğu gibi, doğada enerji döngüsünün kendiliğinden gerçekleştiği yerleri bulup, enerji üretim tesislerini bu bölgelerle ilişkilendirmek gereklidir (Ölçüm, 2006).

Biyokütleden enerji, aşağıda belirtilen yöntemlerle elde edilebilir:

- Doğrudan yakma,
  - Fiziksel süreçler,
  - Çevrim süreçleridir.
1. Termal çevrim süreçleri (gazlaştırma, piroliz)
  2. Biyokimyasal çevrim süreçleri (fermantasyon, anaerobik sindirim, biyofotoliz)
  3. Agrokimyasal çevrim süreçleri (transesterifikasyon; biodizel, biyodizel, biyomotorin, biodiesel, dizel-bi üretimi).



Fiziksel süreçler ve dönüşüm süreçleri ile biyokütlenin olumsuz özellikleri ortadan kaldırılabilmektedir. Fiziksel süreçler; boyut küçültme (kıırma ve öğütme), kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve briketleme şeklindedir. Fiziksel süreçler dönüşüm süreçleri için biyokütlenin işlenmesi amacı ile kullanılırsa “Biyokütlenin ön hazırlık işlemleri” olarak tanımlanmaktadır. Biyokütlenin fiziksel süreçler sonrasında yakıt kalitesi artar ve doğrudan yakılarak kullanılabilir. Biyokütleden, biyoyakıt üretiminde kullanılan dönüşüm süreçleri iki ana grupta toplanmaktadır.

- Biyokimyasal dönüşüm süreçleri,
- Termokimyasal dönüşüm süreçleridir.

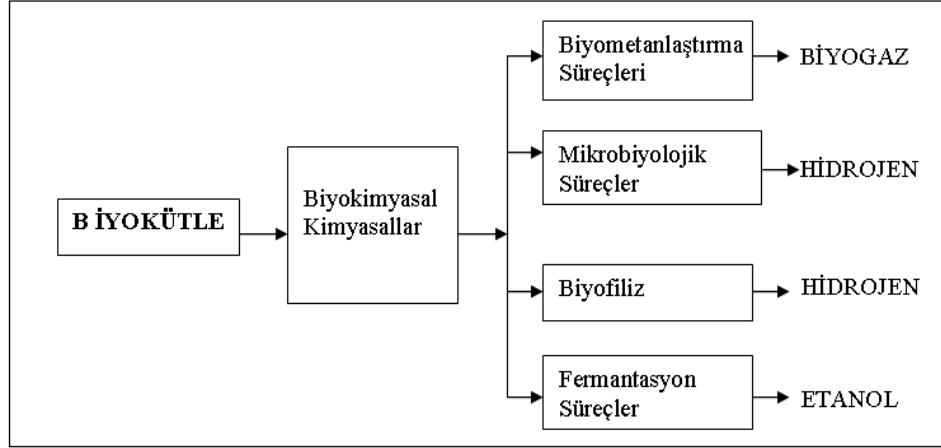
Dönüşüm süreçleri ile karbon ve hidrojen zengin, yüksek ısı değeri, mevcut yakıtlara alternatif özelliklerde pek çok biyoyakıt elde edilebilmektedir. Bu yakıtlar arasında biyogaz ve biyoetanol uygulaması en yaygın olanlardır (Özçimen, 2001).

Biyokütlenin yakma dışında en basit değerlendirilmesi, anaerobik fermantasyonla biyogaz üretimidir. Biyogaz, organik içerikli biyolojik parçalanabilir maddelerin havasız ortamda (anaerobik) bakteriler tarafından parçalanması esnasında oluşan ve bileşimi organik maddeyi oluşturan, bileşiklere göre değişebilen yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogazı oluşturan bileşenler metan ( $CH_4$ ), karbondioksit ( $CO_2$ ), hidrojen sülfür ( $H_2S$ ), amonyak ( $NH_3$ ), azot ( $N_2$ ), hidrojen ( $H_2$ ) olabilmektedir. Koşulları iyi ayarlanmış bir biyogaz üretiminde elde edilen gaz, %55-70  $CH_4$  % 30-45  $CO_2$ , az miktarda  $H_2S$  ve  $H_2O$  şeklinde bir bileşime sahip olmaktadır. Biyogazın ısı değeri, karışımdaki  $CH_4$  yüzdesine bağlı olarak 19.000 ile 27.500  $kJ/m^3$  arasında değişmektedir (Dengiz, 1990).

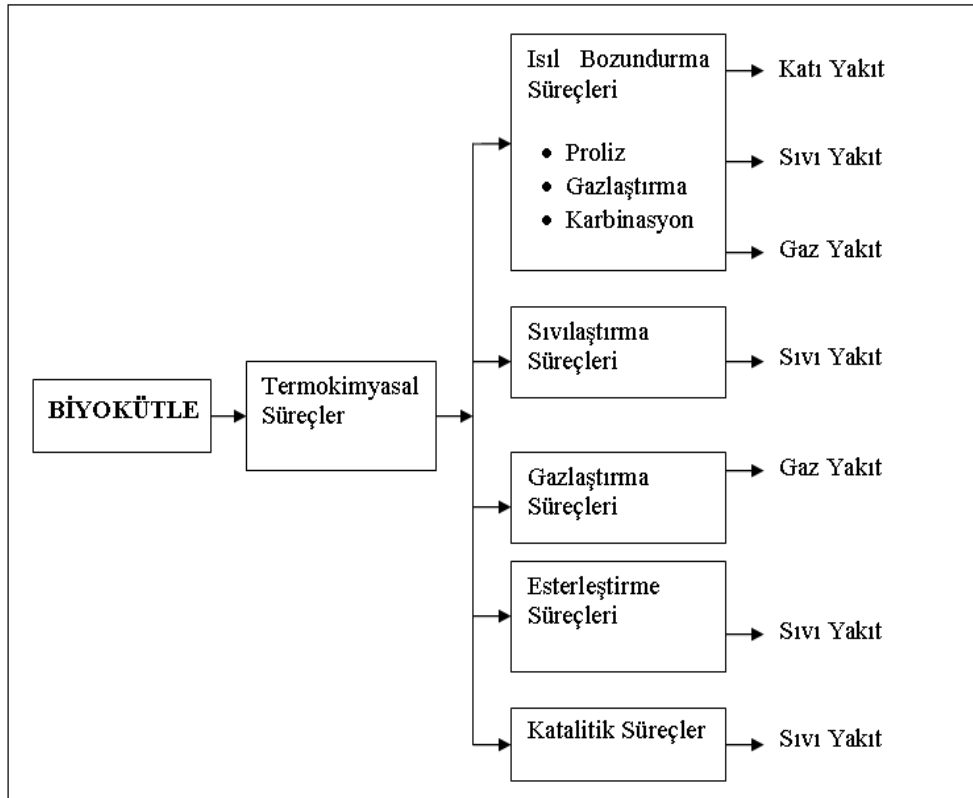
Biyokütleden biyokimyasal ve termokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş Şekil 3.1’de ve Şekil 3.2’de görülmektedir.

Termokimyasal dönüşüm süreçlerinin amacı, fosil yakıtlara alternatif, kararlı özelliklere sahip, kolay depolanabilir ve taşınabilir yakıtlara ulaşmaktır. Isıl işlem sonucunda karbon içeren biyokütle molekülü yükseltgenerek katı, sıvı ve gaz ürünler oluşmaktadır. Yükseltgenme tepkimesinde temel etkenler; sıcaklık, ısıtma hızı, biyokütle ile uygulanan sürecin tipi ve özellikleridir. Biyokütleden biyoyakıt edesinde en çok ısı bozundurma süreçleri kullanılmaktadır.

Termokimyasal süreçlerden doğrudan elde edilen birincil ürünler ham biyokütleden daha kolay kullanılabilir ve daha değerlidir. Birincil ürünler, daha kullanışlı ve değerli ikincil yakıtlara veya kimyasal ürünlere dönüştürülerek de kullanılabilir.



Şekil 3.1 Biyokütleden biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş (Özçimen, 2001)



Şekil 3.2 Biyokütleden termokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş (Özçimen, 2001)

Termokimyasal dönüşüm süreçlerinden elde edilen birincil ürünler, uygulanan dönüşüm sürecine bağlı olarak kati, sıvı ve gaz olabilir. Bu ürünler doğrudan kullanılacağı gibi daha yüksek kalitede yakıt ve kimyasal ürünler üretmek için kimyasal işlemlere tabi tutulabilirler.

İkincil ürünlerin büyük miktarı birincil ürünlerden üretilebilir. İkincil ürünlerden motor yakıtları, hidrojen ve amonyak içeren kimyasallar ve kimyasal açıdan özel maddeler

üretilebilir (Ölçüm, 2006).

Biyokütleden bütün bu dönüşüm süreçleri kullanılarak pek çok biyoyakıt elde edilebilmektedir. Kullanılacak dönüşüm süreçlerinin seçimi elde edilmek istenen yakıt türü, kullanılacak hammadde, yapılacak yatırımın gibi şartlara bağlıdır.

Günümüzde sıvı biyoyakıt üretimi yaygınlaşmıştır ve bu iş için güçlü yatırımlar yapılmaktadır. Yapılan bu yatırımlar ülkeden ülkeye farklılık gösterir, çünkü her ülkede izlenen politikalar ve çeşitli koşullar farklılık göstermektedir. Avrupa Birliği, 1985-1996 yılları arasında sıvı biyoyakıt üretimi amaçlı pek çok projeye fon ayırmış ve desteklemiştir. Biyokütleden biyoyakıt eldesi için kullanılan dönüşüm süreçleri arasında en çok fon ayrılan iki dönüşüm teknolojisi; piroliz ve esterleşmedir. Bu iki dönüşüm süreci Avrupa Birliği tarafından en fazla destek gören süreçlerdir (Moor, 1997).

### **3.1 Biyokütle Kaynakları**

Enerji üretiminde kullanılacak biyokütle kaynakları; bitkisel kaynaklar, hayvansal atıklar, şehir ve endüstri atıkları şeklinde sınıflandırılabilir.

#### **3.1.1 Bitkisel Kaynaklar**

Bitkisel kaynaklar olarak; orman ürünlerini, 5-10 yıl arasında büyüyen ağaç türlerini içeren enerji ormanlarını, bazı su otlarını, algleri ve enerji (C4) bitkilerini sayabiliriz. Enerji bitkileri olan tatlı sorgum, şeker kamışı, mısır gibi bitkiler; diğer bitkilere göre CO<sub>2</sub> ve suyu daha iyi kullanmakta, kuraklığa karşı daha dayanıklı olmakta ve fotosentetik verimleri daha yüksek olmaktadır. Bu bitkilerden alkol ve değişik yakıtlar üretilmektedir. Türkiye’de; bitki artıklarının, fındık ve ceviz kabuğu, prina, ayçiçeği kabuğu, çığit ve mısır gibi artıklar enerji amacıyla değerlendirilmektedir. Kuru biyokütlenin ısı değeri 3800-4300 kcal/kg arasında değişmektedir. Biyokütleden yakma yolu ile enerji elde edilmesinde yanma verimi, orta kaliteli bir kömüre eşittir. Biyokütle, çoğu kömürden daha az miktarda kül ve kükürt içermektedir. Biyokütlenin enerji üretimi amacıyla geniş oranda kullanımını engelleyen bazı problemler vardır. Bunlar, biyokütle kaynağının yoğunluğu nedeniyle nakliye ve depolama maliyeti ve bu mahsullerin hektar başına verimliliğinin düşük olmasıdır.

Türkiye’de odun ve bitki artıkları yıllardır ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Odunun (odun ve benzeri selüloz ihtiva eden maddelerin) biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmesinde izlenme yollardan birisi oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda (350-800 °C) piroliz yapmaktır. Piroliz sırasında odun kömürü ile birlikte asetik ve formik

asit metanol, aseton ve formaldehit gibi ürünler elde edilmektedir. Hızlı ve verimli bir piroliz için odunun tamamen kurutulması ve 150-200 °C'ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulması gerekmektedir. Kati yüzdesi fazla olan atıklardan piroliz ile gaz yakıt ve aktif karbon üretimi yapılmaktadır.

Bitkisel kaynaklı biyokütleden elde edilen etil alkol ve metil alkol, alternatif yakıt çeşitleri olarak özellikle gelişmekte olan ülkelerde, petrol ürünleri yerine kullanılmaya başlamıştır. Metil alkolün üretimi ve kullanılmasında bazı sorunlar olduğu için etil alkol tercih edilmektedir. Etil alkol; alkollü içkilerde, kimya sanayinde, fuel-oil yanında kazan yakıtı ve ya benzin yakıtı olarak kullanılmaktadır. Etanol üç farklı biyokütleden üretilmektedir.

- Şekerli karbonhidratlardan (şeker kamışı, melas, sorgum),
- Nişastalar (mısır, patates),
- Selülozlu bitkiler (odun, zirai atıklar).

### 3.1.2 Hayvansal Atıklar

Hayvansal gübrenin samanla karıştırılıp kullanılması suretiyle elde edilen tezeğin köylerde yakıt olarak kullanımı oldukça yaygındır. Hayvansal gübrenin oksijensiz ortamda fermantasyonu ile üretilen biyogazın dünyada kullanımı da oldukça yaygındır. Herhangi bir atıktan metan meydana gelişi, bakteriler tarafından iki kademedede gerçekleştirilir. Önce kompleks organikler, asit bakterileri tarafından uçucu yağlı asitlere dönüştürülür. Sonra üreyen asitler metan bakterileri tarafından metan haline getirilir. Elde edilen gaz %55-70 metan, %30-45 karbondioksit, az miktarda hidrojen sülfür ve su bileşimine sahiptir. Biyogazın ısı değeri, karışımdaki metan yüzdesine bağlı olarak 1900 ile 27500kJ/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Biyogaz üretiminde genel olarak kesikli beslenme metodunda, fermantasyon tankına taze çiftlik gübresi verilir ve tank hava almayacak şekilde kapatılır. Gübrenin havasız ortamda fermantasyonu sonunda meydana gelen biyogaz, bir boru ile gazometre denilen ikinci bir kapta toplanır. Kesikli beslenme yönteminde, tanka ilk gübre beslemenin yapılmasından yaklaşık 15 gün sonra biyogaz üretimi başlamakta ve gazın sürekliliği 60 gün sürmekte, bu sürenin sonunda gaz verimi düşmektedir. Bu durumda fermantasyon tankı boşaltılarak tekrar taze çiftlik gübresi doldurulur. Biyogaz üretiminden sonra elde edilen fermente gübrenin, fermente olmamış gübreye oranla %20-25 daha verimli olduğu belirtilmektedir. Ülkemizde biyogaz üretim potansiyeli 2.8-3.9 milyar m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.

### 3.1.3 Şehir ve Endüstri Atıkları

Çöp depolanan yerlerde ve evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları eğer önceden stabilize edilmemiş ve biyokimyasal aktiviteleri durdurulmamışsa aerobik organizmalar tarafından ayrıştırılarak metan gazına dönüştürülecektir. Metan gazı aynı zamanda sera etkisinin oluşmasında en az karbondioksit ve su buharı kadar etkili olduğundan oluşumu kontrol altına alınarak değerlendirme yoluna gidilmiştir. Bu amaçla çöp toplanan alanda oluşan gazlar toplayacak şekilde sondaj boruları belirli bir düzene göre yerleştirilerek oluşan gazlar toplanmaktadır. Çıkan gazlar arıtılarak gaz jeneratörüne gönderilmekte ve gaz jeneratöründe elektrik elde edilmektedir. Diğer uygulama alanları ise doğal gaz sisteminde ve araçlarda yakıt olarak, kimya sanayinde saf metan haline getirilerek kullanma olarak sıralanabilir. Elde edilen biyogazın doğal gaz dağıtım sisteminde kullanılması, gaz temizleme işleminin pahalı olması nedeniyle fazla uygulanmamaktadır. Toplanan çöpün bileşimine bağlı olarak oluşan gaz içindeki bileşenler; metan %35-60, karbondioksit %35-55, nitrojen %0-20 arasında değişmektedir. Depolama alanından oluşan 1 metreküp gazın ısı değeri ise yine çöpün bileşenlerine bağlı olarak 18-27 MJ/Nm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Türkiye'nin ilk çöp gaz santrali Aksa Jeneratör tarafından Bursa Demirtaş'ta kurulmuştur. 1.4 MW gücünde ve 2 milyon dolara mal olan santralden yılda 10 milyon Kw/h elektrik üretimi planlanmaktadır. Çöp ve kati maddelerden enerji elde etmenin diğer bir yolu ise piroliz ve yüksek sıcaklıklarda yakılmasıdır. Çöp ve kati atıkların uygun yakma tesislerinde havayla yakılması ile elde edilen enerji ısı enerjisinde veya elektrik üretiminde değerlendirilmektedir (Ölçüm, 2006).

### 3.2 Bitkisel Yağların Yakıt Olarak Değerlendirilmesi

Bitkisel yağ kaynağı olarak değerlendirilebilecek bitkilerin geniş bir iklim aralığında yetişmeleri, özütlenme kolaylığı, bu işlemin artıklarının ve yan ürünlerinin değerlendirilebilmesi bitkisel yağların diğer avantajları arasında sayılabilir. Bitkisel yağların sıvı halde bulunmaları da taşıma ve depolamada avantaj sağlar. Bitkisel yağların fosil kaynaklı alışlagelmiş enerji kaynaklarına göre en önemli avantajı ise yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasıdır (Dizdar, 2003).

### 3.3 Biyokütle Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

#### 3.3.1 Avantajları

Biyokütlenin kullanımının sağlayacağı avantajlar şunlardır:

- Hemen her yerde yetiştirilebilir,

- Üretim ve çevrim teknolojileri iyi bilinmektedir,
- Her ölçekte enerji verimi için uygundur,
- Düşük ışık şiddeti yeterlidir,
- Depolanabilir,
- 5-35 °C arasında sıcaklık gerektirir,
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemlidir,
- Çevre kirliliği oluşturmaz,
- Sera etkisi oluşturmaz,
- Asit yağmurlarına yol açmaz.

### **3.3.2 Dezavantajları**

Biyokütlenin kullanımının dezavantajları olarak şunları sıralayabiliriz (Ölçüm, 2006):

- Düşük çevrim verimine sahiptir,
- Tarım alanları için rekabet oluşturmaktadır,
- Su içeriği fazladır.

## 4. BİYODİZEL

### 4.1 Yağ Asidi Metil Esteri

Biyodizel, yenilenebilir bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen, uzun zincirli yağ asidi alkil esterleri (genellikle metil ester) yapısında ve özellikleri uluslararası standartlarca tarif edilmiş bir üründür. Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil ester tipi bir yakıttır.

Biyodizel mevcut dizel motorlarda büyük çaplı bir modifikasyona ihtiyaç duyulmaksızın kullanılabilen alternatif bir dizel motor yakıtıdır. Motorine eşdeğer özelliklere sahip olduğundan, herhangi bir oranda motorin (dizel yakıtı) ile karıştırılıp veya doğrudan yakıt olarak kullanılabilir.

Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından, hayvansal yağlardan ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyon sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan yağ asidi metil esterleridir. Bu bağlamda B100 olarak gösterilen biyodizel, bitkisel ya da hayvansal yağ asitlerinden elde edilen uzun zincirli yağ asitlerinin mono alkil esteridir. Kimyasal olarak “yağ asidi metil ester (YAME)” adıyla tanımlanmaktadır.

Mono alkil ester, düz zincirli alkolle hayvansal ya da bitkisel yağın (trigliserid) reaksiyonundan oluşan uzun zincirli yağ asidinin esteridir. Bu reaksiyondan yan ürün olarak gliserol (gliserin) oluşmaktadır.

Bu bağlamda yenilenebilir bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen yağ asidi metil ester (YAME), uzun zincirli yağ asidi alkil esterleri (genellikle metil ester) yapısında olup biyodizel gibi doğrudan kullanımını sağlayacak performansa sahip olmayan bir üründür.

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi sonucunda elde edilmektedir. Bunlar petrol esaslı yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Dizel yakıtı büyük oranlarda **parafinler ve aromatiklerden** oluşmasına karşılık, **bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir**. Bu esterlere gliserid adı verilir. Gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi ile trigliserid adını alır.

Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır.

Oleinik asit:  $C_{18}H_{34}O_2 \implies$  (C18:1 tek çift bağ)

$H_3C-(CH_2)_7-C=C-(CH_2)_7-COOH,$   $H_3C-(CH_2)_7-C=C-(CH_2)_7-COOCH_3$

Oleinik asit

Oleinik asit metil ester

Linoleik asit:  $C_{18}H_{32}O_2 \implies$  (C18:2; iki çift bağ),

Linolenik asit:  $C_{18}H_{30}O_2 \implies$  (C18:3; üç çift bağ)

Stearoik asit:  $C_{18}H_{36}O_2 \implies$  (C18:0; doymuş)

Bunun yanında yağ asidi metil esterlerin indirekt uygulamaları vardır.

#### 4.1.1 Yağ Asitleri

Yağ asitleri genel olarak çift karbon sayılı, cis konfigürasyonda, (acil zincirleri söz konusu çift bağın aynı tarafında ise bu bileşik cis'tir) dallanmamış ve düz zincirli (asiklik) mono karboksilik asitlerdir. Az olmakla birlikte doğada trans konfigürasyonda, tek karbon sayılı (propiyonik asit) ve dallanmış yağ asitleri ile siklik yağ asitleri de bulunmaktadır.

Yağ asitlerindeki karbon sayısı 2-34 arasında değişmektedir. Eğer yağ asidi molekülünde

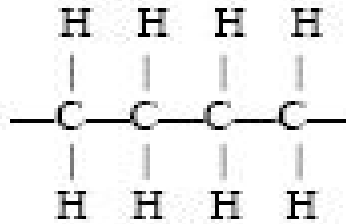
**Karbon Sayısı (KS);**

**KS < 6 ise "kısa", 6 < KS < 10 ise "orta" ve KS > 12 ise "uzun zincirli" diye adlandırılır** (Acaroğlu, 2007).

Yağ asitleri, genelde düz zincir türevleri olup hidrokarbon zincirdeki bağlara göre doymuş veya doymamış yağ asitleri olmak üzere iki grupta incelenebilir.

##### 4.1.1.1 Doymuş Yağ Asitleri

Karbon-karbon atomları arasında tek bir kovalent bağdan (-C-C-) oluşan ve oda sıcaklığında genelde katı olan yağ asitleri doymuş yağ asitleri olarak adlandırılır Şekil 4.1. Bu yağ asitlerince zengin olan yağlara da doymuş yağlar denir.



Şekil 4.1 Doymuş yağ asidi zincirinde C atomları

"Doymuş" terimi hidrojenle ilişkili olarak kullanılır, karboksilik asit [-COOH] grubundaki



karbon dışındaki diğer karbonların olabildiğince çok hidrojenle bağ kurmuş olduğu anlamını taşır. Diğer deyişle, omega ( $\omega$ ) ucundaki karbonun 3 hidrojen vardır ( $\text{CH}_3$ -), zincirdeki karbonların her birinin ise iki hidrojeni vardır ( $-\text{CH}_2-$ ). Doymuş yağ asitleri düz zincirler oluşturdukları için sıkışık bir şekilde istiflenebilirler ve canlıların kimyasal enerjiyi yoğun bir şekilde depolamalarını sağlarlar.

Bunlardan en basit doymuş yağ asidi 2 karbona sahip asetik asittir. 2, 3 ve 4 karbonlu yağ asitleri olan asetik asit, propiyonik asit ve bütirik aside "**uçucu yağ asitleri**" denir.

Laurik asit ( $\text{C}_{12}:0$ ), Miristik asit ( $\text{C}_{14}:0$ ), Palmitik asit ( $\text{C}_{16}:0$ ), Stearik asit ( $\text{C}_{18}:0$ ), Araşidik asit ( $\text{C}_{20}:0$ ) ve Behenik asit ( $\text{C}_{22}:0$ ) bitkisel yağlarda bulunan en önemli doymuş yağ asitleridir. Özellikle palmitik ve stearik asit bitkisel yağlarda bulunan en yaygın doymuş yağ asitleridir (Karaca ve Aytaç, 2007).

Yağ asitleri doğal sıvı ve katı yağlar içerisinde esterler halinde bulunurlar. Hayvansal ve bitkisel yağlarda en çok bulunan başlıca doymuş yağ asitleri şunlardır (Çizelge 4.1).

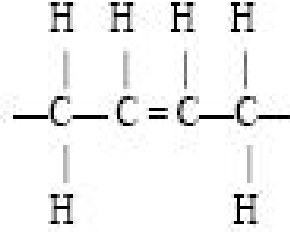
Çizelge 4.1 Doymuş Yağ Asitleri

Asetik Asit	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	$\text{CH}_3 \text{COOH}$
Propiyonik Asit	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	$\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{COOH}$
Bütirik Asit	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_2 \text{COOH}$
Kaproik Asit	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_4 \text{COOH}$
Kaprilik Asit	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_6 \text{COOH}$
Kaprik Asit	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_8 \text{COOH}$
Laurik Asit	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{10} \text{COOH}$
Miristik Asit	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{12} \text{COOH}$
Palmitik Asit	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{14} \text{COOH}$
Stearik Asit	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{16} \text{COOH}$
Araşidik Asit	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{18} \text{COOH}$
Behenik Asit	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{20} \text{COOH}$
Lignoserik Asit	$\text{C}_{24}\text{H}_{48}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{22} \text{COOH}$
Serotik Asit	$\text{C}_{26}\text{H}_{52}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{24} \text{COOH}$
Montanik Asit	$\text{C}_{28}\text{H}_{56}\text{O}_2$	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{26} \text{COOH}$

#### 4.1.1.2 Doymamış Yağ Asitleri

Karbon zinciri üzerinde çeşitli konumlarda, karbon- karbon arasında bir veya daha fazla kovalent çift bağ içeren yağ asitleri doymamış yağ asitleri olarak isimlendirilir. Bu yağ

asitlerince zengin olan yağlara da doymamış yağlar denir (Şekil 4.2) Doymamış yağ asitleri, doymuş olanlara benzer şekillidir, ancak zincir üzerinde bir veya daha fazla alken grubu vardır. Bir alken grubunda, bir "-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-" bağ yerine "-CH=CH-", yani birbirine çift bağla bağlanmış iki karbon vardır.



Şekil 4.2 Doymamış yağ asidi zincirinde C atomları

Yapılarındaki çift bağlar nedeniyle, doymamış yağ asitleri doymuş yağ asitlerine göre daha reaktiftir. Bu reaktivite yağ asidi zincirindeki çift bağ sayısına göre artmaktadır (Karaca ve Aytaç, 2007).

Doymamış yağlar vücudun gereksinim duyduğu zorunlu yağ asitlerindedir. Oda sıcaklığında sıvı haldedirler ve büyük çoğunluğu bitkisel kaynaklıdır. Hayvansal ve bitkisel yağlarda en çok bulunan başlıca doymamış yağ asitleri şunlardır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Doymamış Yağ Asitleri

<b>Palmitoleik Asit</b>	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH = CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
<b>Oleik Asit</b>	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH = CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
<b>Linoleik Asit</b>	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH = CHCH <sub>2</sub> CH = CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
<b>Alfa-Linolenik Asit</b>	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH = CHCH <sub>2</sub> CH = CHCH <sub>2</sub> CH = CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
<b>Araşidonik Asit</b>	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH

Oleik asit doğada en yaygın bulunan yağ asididir. Bilinen tüm doğal yağların ve fosfolipidlerin hepsinde oleik asit saptanmıştır. Hayvansal lipidlerde en çok bulunan doymamış yağ asitleri palmitoleik, oleik, linoleik ve arahidonik asitlerdir.

Doymamış bağların sayısı bir veya daha fazla olabilir ve doymamış yağ asitleri doymuş hale getirilebilir. Doymamış yağ asitleri kolaylıkla okside olabilirler. Özellikle çift bağın sayısının artması oksidasyonu kolaylaştırmaktadır. Metaller, ısı, ışık vb. oksidasyonu hızlandırmaktadır.

#### **4.1.1.2.1 Tekli Doymamış Yağ Asitleri**

Yapılarında bir çift bağ içeren yağ asitleri tekli doymamış (monounsaturated) yağ asitleri veya monoenoik yağ asitleri olarak isimlendirilir. Bu grubun en önemli iki üyesi, palmitoleik asit (C16:1) ile oleik asit (C18:1). Bunlardan palmitoleik asit daha çok deniz hayvanları yağları için karakteristik bir bileşen olduğu halde, oleik asit bugüne değin bilinen bütün doğal yağların yapısında yer almıştır. Zeytin ve kolza yağları, kabuklu yemişler (fındık, fıstık, ceviz) kabuklu yemiş yağları (Yerfıstığı ve badem yağları), avokado tekli doymamış yağ asitlerini yüksek oranda içermektedirler.

#### **4.1.1.2.2 Çoklu Doymamış Yağ Asitleri**

Birden fazla çift bağ içeren yağ asitleri ise çoklu doymamış (polyunsaturated) yağ asitleri veya polyenoik yağ asitleri olarak isimlendirilir. Linoleik (C18:2), linolenik (C18:3), araşhidonik (C20:4), eikosapentaenoik (C22:5) ve dokosaheksaenoik (C22:6) asitler çoklu doymamış yağ asitlerinin en önemlileridir. Çoklu doymamış yağ asitleri beslenmede önemli esansiyel yağ asitleridir; F vitamini olarak da adlandırılmaktadır. Bunların yağlar ve çeşitli yağ ürünlerinde belli düzeylerde bulunmaları arzu edilmektedir.

#### **4.1.2 Yağ Asitlerinin Fiziksel Özellikleri**

Yağ asitlerinin hem fiziksel hem de fizyolojik özellikleri karbon zincirinin uzunluğuna ve moleküldeki çift bağların sayısına (yağ asidinin doymamışlık derecesine) bağlıdır.

Karbon sayısı düşük olan (10'a kadar) yağ asitleri adi ısıda sıvı ve uçucudur. Daha fazla sayıda karbona sahip olanlar (12:0 ve daha büyük zincirli doymuş yağ asitleri) vücut sıcaklığında katıdır. Bunların erime noktaları molekül ağırlığının artması ile yükselir.

Bilinen bütün doymamış yağ asitleri oda ısısında sıvıdır. Çift bağ sayısı arttıkça daha düşük derecelerde de sıvı kalabilirler. Örneğin 18:2 doymamış yağ asitleri 0 (sıfır) °C'de sıvıdır. Doymamış yağ asitleri taşıdıkları çift bağlar sayesinde yüksek reaksiyon yeteneğine sahiptir.

2-4 karbonlu yağ asitleri, asetik, propiyonik ve bütirik asitler her oranda su ile karışımlarına karşılık, karbon sayısı arttıkça suyla karışma yetenekleri azalır. Karbon sayısı 10'dan fazla

olanlar doymuş yağ asitleri suda hiç erimezler. Pratikte doğal açilgliseroller kendilerinin fonksiyonel rollerine uyacak şekilde biçimlenmiş yağ asidi karışımlarını içerirler. Örneğin bütün çevresel ısılarda sıvı olması gereken membran lipidleri depo lipidlerden daha fazla doymamış yağ asidi içerirler. Doymuş yağ asitleri oranı fazla olan gliseridler ise katıdır. Doğal olarak bulunan uzun zincirli doymamış yağ asitlerinin hemen hepsi cis konfigürasyondadır. (Acil zincirleri söz konusu çift bağın aynı tarafında ise bu bileşik cis'tir ve birbirlerinin karşı tarafında iseler trans konfigürasyonda olur). Örneğin oleik asidin erime noktası 13 °C ve cis şeklindedir. Oleik asil nitrit asitle muamele edilirse trans şekli olan elaidik asit meydana gelir. Bunun ise erime noktası 45 °C'dir.

Yağlar, iyot sayılarına göre kurumayan (<100), yarı kuruyan (100-130), kuruyan yağlar (>130) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Fakat bu gruplandırma ile yağlar arasında farklılıklar ortaya konamamaktadır. Yağlarda kuruma; yağ asidi zincirindeki doymamış bağlara oksijen atomunun yerleşmesi ile meydana gelir. İyot sayısı da yağ asitleri zincirinde doymamış bağlara bağlanan iyot miktarının mg olarak ifadesidir. İyot sayısı arttıkça yağlarda doymamışlık miktarı ve kuruma oranı artar.

### **4.1.3 Yağ Asitlerinin Kimyasal özellikleri**

#### **4.1.3.1 Tuz (sabun) oluşumu**

Altı karbondan yüksek yağ asitlerinin metallerle yaptıkları tuzlara "sabun" denir. Sodyum ve potasyum sabunları suda erirler. Ancak diğer metallerin tuzları (sabunları) genellikle erimezler ve temizleyici değillerdir. Potasyum sabunları sodyum sabunlarından daha fazla yumuşaktır ve daha çabuk erirler. Doymamış yağ asitlerinin verdiği sabunlar doymuş olanlara oranla suda ve alkolde daha fazla erir. Alkali metal sabunları eter, benzol ve kloroformda erimezler. Ağır metallerin sabunları erimez. Sabunların asit ortamda bozulmaları ve sert sularda çözünmeyen toprak alkali sabunlarına dönüşmeleri kullanımda sakıncalar doğurduğundan deterjan adı verilen temizleyiciler geliştirilmiştir. Deterjanlar yağ asitlerinin tuzlarıdır. Bütün deterjanlar nötr, katyonik veya sabunlarda olduğu üzere anyonik olabilen hidrofilik bir grupta birlikte hidrofobik hidrokarbon yapısına sahiptir.

#### **4.1.3.2 Ester Oluşumu**

Yağ asitlerinin karboksil grupları alkolle reverzibl olarak esterleşebilir. Esterleşme kendiliğinden yavaş, fakat ısı veya hidrojen iyonu varlığında hızlıdır.

#### 4.1.3.3 Çift Bağlarla İlgili Reaksiyonlar

Doymamış yağ asitlerinin yapısında yer alan etilen bağı (-CH=CH-) kolaylıkla hidrojenle ya da halojenlerle duyurulabilir. Doymamış yağ asidi doymuş hale geçer. Ya da çift bağ oksidasyonla açılarak yeni ürünler oluşabilir. Oleik asitten pelargonik asit ve azelaik asitlerin oluşması buna örnek olarak verilebilir. Doymamış yağ asitlerinin moleküler oksijenle oksitlenmeleri ve çift bağlara O<sub>2</sub> girmesi ile çeşitli gruplar ortaya çıkar. Acılaşma olarak bilinen bu olayda oluşan ve yağda istenmeyen tad, görünüm ve koku oluşturan bileşikler peroksit, epoksit, ketohidroksit gibi gruplardır. Bunların yüksek ısıda parçalanmaları ile çoğunlukla asit ve aldehitlerden oluşan değişik ürünler oluşur (Acaroğlu, 2007).

#### 4.1.4 Yağ Asitleri Kompozisyonuna Etkili Faktörler

Yağ bitkilerinin yağ asitleri kompozisyonu sürekli sabit olmayıp; yağ asitleri sentezi genetik, ekolojik, morfolojik, fizyolojik ve kültürel uygulamalara bağlı olarak değiştiği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir.

##### 4.1.4.1 Çevre Faktörleri

###### 4.1.4.1.1 Sıcaklık

Aspir (*Carthamus tinctorius* L), yağ asidi kompozisyonundaki değişimin görüldüğü en iyi bitkilerden birisidir. Tohum olgunlaşması sırasındaki sıcaklık artışları, linoleik asit içeriğini azaltırken, oleik, palmitik ve stearik asit içeriğini arttırmaktadır. Farklı aspir çeşitlerinin tohumlarındaki linoleik asit oranının soğuk iklim koşullarında daha yüksek; oleik asit oranını ise sıcak iklim koşullarında daha yüksek çıktığı saptanmıştır. Viktorya'da yapılan çalışmada, kolzada (*Brassica napus*) yağ asidi kompozisyonunun bölgelere ve yıllara göre değiştiği görülmüştür. Oleik asit içeriği % 0.4-60.3 arasında değişirken düşük sıcaklıklar ve az yağışlar oleik asit içeriğini azaltmıştır. Linoleik (% 0.3-19.7) ve linolenik asit (% 0.3-10.4), baharda yüksek sıcaklıklar ve düşük yağmurlar olmasına rağmen, bölgeler arasında düşük varyabilite göstermiştir.

Sıcaklık artışları ile birlikte oleik asitten linoleik ve linolenik asidin sentezlenmesini katalize eden enzimlerin aktivitesinde azalmalar olmaktadır. Bunun sonucunda, yüksek sıcaklıklar bitkilerde linoleik ve linolenik asit sentezi üzerine olumsuz, buna karşın oleik asit sentezi üzerine olumlu etki yapmaktadır.

Türkiye' de üretimi yapılan bazı ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) varyetelerinin yağ asidi kompozisyonlarını büyüme koşullarının önemli bir şekilde etkilediği belirlenmiştir.

Ayçiçeğinde tohum doldurma esnasındaki sıcaklıklar yağ kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Tek yıllık yabancı ayçiçeğinin tohum yağı ve yağ asitleri konsantrasyonları gelişim sırasındaki çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Çevresel faktörlerden, özellikle minimum sıcaklık ve güneş ışığı (solar radyasyon) yabancı ve kültür ayçiçeğinde oleik asit konsantrasyonu üzerinde önemli etkiye sahip iken, maksimum sıcaklığın etkisi daha az önemli bulunmuştur. Linoleik asit konsantrasyonları yabancı ve kültür ayçiçeğinde minimum sıcaklık ve güneş ışığından negatif olarak etkilenmiştir.

Linoleik asit ayçiçeği tohum gelişiminin tüm aşamalarında yağın ana bileşenini teşkil etmektedir ve elverişli sıcaklık koşulları altında fizyolojik olgunlukta döllenen sonra % 50'den % 70'e kadar artabilir. Ayçiçeği tohumlarının yağ içeriği ve kompozisyonu üzerine yüksek sıcaklıklar ve özellikle yüksek gece sıcaklıklarının linoleik asit yüzdesinde belirgin bir azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Oleik asidin linoleik aside dönüşümünde sorumlu olan "desaturaz" enziminin aktivitesi üzerine sıcaklığın etkisinin olabileceğini düşünülmektedir. Elde edilen bu bulgulara göre, ayçiçeğinde yaz ortasındaki yüksek sıcaklıklarda olgunlaşan bitkilerdeki yağ asitleri kompozisyonun değişimi üzerine sıcaklık stresinin etkisi büyük olmaktadır.

Çin'in Xinjiang bölgesinde yetiştirilen aspir çeşitlerinin tohumlarındaki linoleik asit oranı üzerine ekolojik ve coğrafi şartların etkili olduğu bildirilmiş olup; incelenen tohumlardaki yüksek linoleik asit oranının (% 75.3 ile % 83.5) düşük atmosfer rutubeti ile gece ve gündüz arasındaki önemli sıcaklık farklılıklarından etkilendiği belirtilmiştir.

Avustralya' da önemli kolza üretim bölgelerinde 3 yıl boyunca yürütülen çalışmada, doymuş yağ asitleri oranlarının sıcaklığın yüksek seyrettiği bölgelerde yetiştirilen kolzalarda daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada kolzanın palmitik ve stearik asitlerle birlikte toplam % 7 oranında doymuş yağ asidi içermekte olduğu, palmitik ve stearik asit içeriğinin kolzada genetik olarak azalmasıyla kolzanın toplam doymuş yağ içeriğinin düşeceği ve yenilebilir daha sağlıklı bir yağ olacağı sonucuna varılmıştır.

#### **4.1.4.1.2 Enlem Derecesi ve Lokasyon**

Farklı enlem kuşaklarında yer alan ekolojik bölgeler arasında, yağ asitleri dağılımı bakımından önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

Güney enlemlerine doğru inildikçe artış gösteren sıcaklıklar bitkileri daha az linoleik, fakat daha çok oleik asit sentezine teşvik etmektedir. Güney bölgelerinde yetişen aspir, ayçiçeği, keten bitkileri, Kuzey bölgelerinde yetiştirilenler göre daha yüksek oleik ve daha düşük

linoleik asit içermektedir. Böylece yağ bitkilerinde bölgesel üretim planlaması yaparak, değişik bölgelerden tüketim amacına uygun bitkisel yağ üretimi yapılabilir. Örneğin, Trakya bölgesinde yetiştirilen ayçiçeği çeşitlerinden nispeten yüksek linoleik asit tipi yağlar, güney bölgelerinde yetiştirilen ayçiçeği çeşitlerinden ise nispeten yüksek oleik tipi yağlar üretmek mümkün olabilmektedir. Aspir için Ankara ve Şanlıurfa lokasyonlarını yağ asitleri kompozisyonu bakımından farksız bulmuştur.

Kuzey ve Güney Amerika' da yetiştirilen soya (*Glycine max* (L). Merr.) çeşit ve hatlarında Güney bölgesinde üretilen tohumların hem miristik, hem de linolenik oranları düşük olmasına rağmen kuzeyde üretilen tohumlardan daha yüksek oranda oleik içerdiği, yüksek çevresel sıcaklıkların soya yağının linolenik konsantrasyonunu azalttığı belirtilmiştir.

Yağ asitlerinin ekolojik bölgelere göre değişimini gözlemek için Türkiye'nin farklı ekolojik bölgelerinde yetiştirilen susam (*Sesamum indicum*) popülasyonlarının yağ asitleri dağılımları incelenmesinde, yağ asitleri dağılımının ekolojik bölgelere göre önemli değişimler gösterdiğini saptamış.

Kuzey enlemlerinden güney enlemlerine doğru inildikçe susam popülasyonlarının stearik ve oleik asit oranları artarken, palmitik ve linoleik asit oranları azalmıştır. Farklı enlem kuşaklarında yer alan ekolojik bölgeler arasında iklim ve toprak faktörlerinin neden olacağı çevresel farklılıklar, yağ asitleri üzerinde gözlenen bu değişimlerin oluşmasında oldukça önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Kolza' da yağ asitleri bileşimi genetik olarak belirlenmesine rağmen çevre koşullarıyla değişmektedir. Soğuk iklim koşullarında ve yüksek enlemlerde daha çok doymamış yağ asitleri oluşmaktadır. Arjantin'de soyanın linoleik ve linolenik asit içeriği enlem derecesi yükseldikçe artarken, oleik asit içeriğinin en yüksek enlem derecesinde azaldığı tespit edilmiştir. Ancak, yarfıstığında bundan farklı olarak, Florigant çeşidi ekvatora yakın olan Sudan'da ekildiğinde düşük oleik asit içerirken, daha kuzeyde olan Amerika' da ekildiğinde yüksek oleik asit içerdiği saptanmıştır.

Yağ asitleri kompozisyonunun çevreden etkilenme düzeyi doymuş ya da doymamış olması durumuna göre farklılık göstermektedir. Güney Avustralya'da 6 bölgede yetiştirilen kolzalarda doymuş yağ asitlerinin nispeten stabil olduğu belirlenmiştir. Arjantin' de 3 lokasyonda yetiştirilen soyada doymuş yağ asitleri (palmitik ve stearik asit) tüm bölgelerde nispeten sabit kalırken, doymamış yağ asitlerinde değişimler gözlemlenmiştir. Hindistan'da 6 ayrı lokasyonda iki aspir çeşidinde yağ oranının % 29 ile %35; oleik asit oranının % 14 ile

% 19 ve linoleik asit oranının da % 69 ile % 76 arasında değiştiği belirlenmiştir.

#### **4.1.4.1.3 Ekim Zamanı**

Farklı ekim tarihlerinde 3 farklı aspir çeşidinde ekim tarihlerinin gecikmesiyle oleik asit, palmitik asit ve stearik asit oranı azalırken, linoleik asit oranı artmıştır. Araştırmada, en yüksek linoleik asit içeriği (% 66.7) ve en dūřuk oleik asit (% 21.3) Yenice çeşidinden elde edilmiştir. 5-154 çeşidi en yüksek oleik asit (% 51.4) ve en dūřuk linoleik asit (% 38.0) içeriğine sahip olmuştur. Farklı çeşitlerde ve farklı ekim tarihlerinde yaę asitleri kompozisyonunda görülen bu değişimlerin oluşmasında genotipin etkisinin çevrenin etkisinden daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır.

Akdeniz Bölgesinde yüksek oleik tip ayçiçeği hibritlerinde erken ekimle birlikte, oleik ve palmitik asit içeriği azalırken linoleik ve linolenik asit oranları artmıştır. Diğer taraftan Teksas'da yetiştirilen ayçiçeği tohumlarının linoleik ve oleik asit konsantrasyonlarının ilk ekimden (bahar) son ekime (yaz) kadar, sırasıyla arttığı ve azaldığı tespit edilmiştir. Güney İtalya'da hem oleik hem de standart ayçiçeği varyetelerinin yağındaki oleik asit konsantrasyonu her iki varyetede (standart ve yüksek oleik hibrit) Kasım ayından Mayıs ayına kadarki ekimlerde artmıştır.

Kışlık ve yazlık olmak üzere farklı ekim zamanlarında yetiştirilen Montola-2001 ve Centennial aspir çeşitlerinde kışlık ekimlerin yazlık ekimler göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yazlık ve kışlık aspir ekimlerinde yağ asidi kompozisyonunda önemli bir farklılık olmadığını bildirmektedir.

#### **4.1.4.1.4 Kuraklık**

Yüksek oleik asitli kolzanın endüstriyel amaçlı olarak kullanılabilceği gibi, beslenme açısından da ilgi çekici olduğunu belirten, kuraklıktan etkilenen bölgelerdeki kolza çeşitlerinde oleik asit miktarını diğer bölgelere göre daha dūřuk olduğunu, linoleik asit ve linolenik asit miktarları daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Doymuř yaę asitlerinin tüm bölgelerde nispeten stabil olduğu belirlenmiştir.

Sezon sonunda yaşanan kurak koşullarda yerfıştığında (*Arachis hypogaea*) toplam yaę ile linoleik ve behenik asit içeriğini önemli bir şekilde azaltırken, stearik ve oleik asit içeriğini önemli miktarda arttırmaktadır. Yaę asitlerindeki artış yâda azalış su yokluğunun artmasıyla ilerlemektedir. Oleik, linoleik ve behenik asitlerdeki farklılıklar dūřuk nem eksikliğinde önemli olurken, stearik asitteki farklılıklar daha yüksek nem eksikliklerinde önemli



olmaktadır. Genotiplerin yağ asidi içeriğinin kuraklık stresinden etkilendiği görülmüştür.

Akdeniz Bölgesinde yüksek oleik içerikli ayçiçeği hibritlerinde, sulamalı koşullarda linoleik ve palmitik asit oranlarında artış ve oleik asitte azalış belirlenmiştir.

#### 4.1.4.1.5 Toprak

Yağ asidi kompozisyonu, toprak özellikleri tarafından da etkilenmektedir. Tuzlu koşullarda bazı keten çeşitlerinin tuzluluk seviyesinin artmasıyla çimlenme yüzdeleri, yağ içeriği ve verimi azalmaktadır. Ayrıca, ketende önemli bir yağ asidi olan linolenik asit tuzluluk seviyesinin artmasıyla birlikte artmaktadır.

Yağ asitleri kompozisyonuna N(azot) gübrelemesinin etkisi üzerine yapılmış çalışmalarda farklı sonuçlar alınmıştır. Örneğin, farklı dozdaki azot gübrelemesinin kolzada genel olarak yağ asitleri bileşimi etkilemediği; ancak kolza ve hardal yağının yağ asidi kompozisyonunun N uygulamasıyla linoleik ve oleik asit içeriklerinde bir artış olduğu, eikosenoik ve erusik asitlerin azalma gösterdiği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Kolza ve hardal da yağ asitleri kompozisyonunun başlıca genetik özelliğinin kontrolünde olduğu, ancak N uygulamasının da yağ asitleri kompozisyonunda değişimlere yol açtığı bildirilmiştir.

Kolza ve hardalda N(azot) ve S(kükürt) birlikte uygulandığında, yalnız N uygulamasına göre oleik asit ve linoleik asitte artışlar, eikosenoik ve erusik asitlerde azalışlar meydana getirmiştir.

#### 4.1.4.2 Genetik Faktörler

Tohumların yağ asitleri kompozisyonları ekolojik, morfolojik, fizyolojik ve kültürel pek çok faktöre göre değişebildiği gibi genotipe bağlı olarak farklılık gösterdiği yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir.

Ayçiçeğinde genetik özelliğinin yağ asitleri kompozisyonunu önemli oranda etkilediği, bu etkinin hibrit tipine göre değiştiği belirlenmiştir. Sıcaklık değişimlerinin, standart hibritlerde, oleik ve linoleik yağ asitleri konsantrasyonunun daha yüksek varyasyonlarda olduğunu belirleyen bir çalışma olmasına rağmen diğer bir başka çalışmada yüksek oleik yağ asidi genotiplerinin daha yüksek varyasyon gösterdiğini belirlemiştir. Bu durum, farklı genotiplerde oleik ve linoleik yağ asitleri konsantrasyonunun sıcaklıktan etkilenmesinin genotipik özelliğe bağlı olduğu düşüncesini kuvvetlendirmektedir. Aspir bitkisinin yağ asitleri konsantrasyonunun oleik tip veya linoleik tip olmasına bağlı olarak farklılık gösterdiği değişik araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

Susamda ise temel yağ asitlerinin (palmitik, stearik, oleik, linoleik ve linolenik) çeşit/hatlar arasında yüksek varyasyon gösterdiği, palmitoleik, behenik ve erusik asit bakımından varyasyonun daha dar olduğu bildirilmiştir. Susam bitkisinde de yağ asitleri konsantrasyonları bakımından genotipten ve çevreden etkilenmeleri arasında fark olduğu görülmektedir.

Kanada (Manitoba)'da 3 yıl süre ile yapılan kolza denemelerinde, incelenen çeşitlerde palmitik asitteki meydana gelen varyasyonun temelde genotipten, stearik asitteki varyasyonun ise genotip ve çevreden kaynaklandığı, bu nedenle palmitik ve stearik asit konsantrasyonlarının farklı genler tarafından kontrol edildiği belirtilmiştir.

İncelenen 214 keten varyetesinde hem varyeteler arasında, hemde varyetelerin kendi içlerinde yağ içeriği ve yağ asitleri kompozisyonu bakımından önemli varyasyonlar belirlemiştir. Araştırmada, varyeteler arasında oleik asit içeriği % 13.3-25.2, linolenik asit içeriği % 45.5-64.2 arasında değişmiştir.

Susamda determinant genotiplerin, yüksek oleik ve düşük linoleik asit içeriğine sahip oldukları görülmüştür. Uzun olgunlaşma grubuna dâhil soya çeşitlerinde linoleik asit ve linolenik asit oranları artarken, oleik asit oranının azaldığı belirlenmiştir.

Aspirde kültür formları ile yabani formların yağ asidi kompozisyonları farklı bulunmuştur. Kültür formlarında palmitik, stearik, oleik ve linoleik yağ asidi oranları sırasıyla % 6.7, % 3.1, % 12.2 ve % 77.3 bulunurken yabani formlarda bu değerler sırasıyla %10.3, % 2.4, % 16.5, % 68.0 şeklinde belirlenmiştir.

Aspirde Montola 2001 çeşidi genelde yüksek oleik, Morlin çeşidi ise yüksek linoleik asit içermektedir. Montola 2001 aspir çeşidinde % 39.7 yağ; % 11.4 linoleik asit; % 81.1 oleik asit bulunurken; yüksek linoleik asit içerikli Morlin aspir çeşidinde % 40.8 yağ; % 80.8 linoleik asit; % 8.5 oleik asit saptanmıştır. İtalya' da 16 aspir çeşit ve hatlarını incelemiş ve en yüksek oleik asit içeriğini (% 82.1) Montola 2001 çeşidinde bulmuşlardır.

Soya tohumlarının biyokimyasal kompozisyonu ve fiziksel görünüşünün soya yiyeceklerinin kalitesini belirlediğini ifade eden Kumar vd., (2006) genotip, lokasyon ve genotipxlokasyon interaksiyonu yağ içeriği ve oleik, linoleik ve linolenik asit olarak adlandırılan doymamış yağ asitleri için önemli olduğunu, ayrıca genotipler lokasyonlara göre doymamış yağ asitleri bakımından önemli varyasyon gösterdiğini belirtmiştir.

#### 4.1.4.3 Diğer Faktörler

Yağ asitleri kompozisyonu üzerine ekolojik ve fizyolojik faktörlerden başka morfolojik faktörler de etkili olmaktadır (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4).

Tohum rengi değişikçe yağ asitleri dağılımı da değişmektedir. Araştırmalarda, susam ve haşhaşa farklı tohum renkliliği ile yağ asitleri kompozisyonu arasında belirgin ilişkiler saptanmıştır. Susam ve haşhaş tohumlarında koyu renklilikten açık renkliliğe doğru gidildikçe düzenli olarak palmitik ve linoleik asit oranlarının artarken, stearik ve oleik asit oranları azalmıştır.

Aynı bitki üzerinde çeşitli pozisyonlarda meydana gelen meyvelerin hepsinin aynı kompozisyonlarda yağ asitlerini içerdiği düşünülebilir. Çünkü bitkinin bütün meyvelerinde aynı gen veya genlerin kontrolü altında sentez gerçekleştirilmektedir. Oysa bitki içindeki fizyolojik büyüme ve gelişme farklılıklarından dolayı, gerçekleşen beklenenlerden farklı olabilir. Tek bir bitkinin her bir meyvesinde hatta her bir meyvenin farklı pozisyonlarındaki tohumlarında farklı bir yağ asidi oranıyla karşılaşılabilir.

Çizelge 4.3 Susamda farklı tohum renkliliği ile yağ asitleri kompozisyonu arasındaki ilişkiler

<b>Yağ Asitleri Kompozisyonu (%)</b>					
<b>Tohum rengi</b>	<b>Palmitik</b>	<b>Stearik</b>	<b>Oleik</b>	<b>Linoleik</b>	<b>Diğer</b>
Siyah	9.74	4.50	43.54	41.93	0.29
K.Kahverengi	10.27	4.40	43.37	42.69	0.27
Kahverengi	12.53	4.20	39.03	43.34	0.00
Sarı	13.02	3.64	39.62	43.72	0.00
Beyaz	14.15	2.94	38.87	44.02	0.00

Çizelge 4.4 Haşhaşta farklı tohum renkliliği ile yağ asitleri kompozisyonu arasındaki ilişkiler

<b>Yağ Asitleri Kompozisyonu (%)</b>							
<b>Tohum Rengi</b>	<b>Miristik</b>	<b>Palmitik</b>	<b>P-oleik</b>	<b>Stearik</b>	<b>Oleik</b>	<b>Linoleik</b>	<b>Linolenik</b>
K.rengi	0.20	9.35	-	2.04	14.16	70.76	3.45
Mavi	0.13	10.52	0.11	1.24	14.08	71.86	2.06
Beyaz	0.10	9.38	0.06	1.73	12.83	74.16	1.65

Tabladaki tohum pozisyonlarının yağ asitleri içeriğine etkisi önemlidir. Bir aspir bitkisi üzerinde farklı pozisyonlarda bulunan tablalarda her bir yağ asidi farklı oranlarda sentezlenmediği ve yağ asitleri sentezi üzerinde tabla pozisyon etkisinin önemli olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Aspirde alt tablalardan üst tablalara gidildikçe palmitik, stearik ve oleik asit oranları düzenli olarak azalırken, linoleik oranları düzenli olarak artmaktadır. Ayrıca, dıştaki tablalardan içteki tablalara doğru gidildikçe palmitik, stearik ve oleik asit oranları düzenli olarak artarken, linoleik asit oranları düzenli olarak azalmıştır.

Tablanın olgunlaşma süresince yağ asitleri kompozisyonunda değişiklikler olmaktadır. Ayçiçeğinde tohum olgunlaşma süreci ilerledikçe oleik asit önemli şekilde azalırken, linoleik asit önemli şekilde artmaktadır. Tabla kenarından merkeze doğru gidildikçe tohumlarda düzenli olarak linoleik asit azalırken, oleik asit artmaktadır. Araştırmacılar, tablanın çevresinden merkezine doğru gidildikçe linoleik asit seviyesinin arttığını, oleik asit seviyesinin azaldığını belirleyen başka çalışmalarla ortaya çıkan zıt sonuçların, genotipik ve çevresel farklılıklar nedeniyle olabileceğini bildirmektedirler. Örneğin yine ayçiçeğinde tabla kenarından merkeze doğru ilerledikçe tohumda oleik asit içeriği artarken, linoleik asit içeriğinin azaldığı belirlenmiştir. Aspir bitkisinde erken çiçeklenen tablalar geç çiçeklenen tablalara göre daha düşük palmitik, stearik ve oleik asit, fakat daha yüksek linoleik asit içerdiğini belirtmişlerdir. Ayçiçeğinde ise erken çiçeklenen tablalar geç çiçeklenen tablalara göre daha yüksek oleik asit, fakat daha düşük linoleik asit içermektedir.

Susam bitkisinde merkezi kapsüllerin lateral kapsüllere göre daha yüksek palmitik ve oleik asit, fakat daha düşük stearik, linoleik ve araşhidik asit içerdiği, ayrıca alt kapsüllerden üst kapsüllere doğru gidildikçe oleik asit oranı azalırken, linoleik ve palmitik asit oranının arttığı belirlenmiştir.

Tohumun oluşmasından olgunlaşmasına kadar geçen sürede yağ asitleri dağılımında sürekli olarak değişimler meydana gelmesi ontogenetik varyabilite olarak adlandırılmaktadır. Yapılan çalışmalarla birbirlerinden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Nitekim çalışmalarda, kolzanın çiçeklenmesinden olgunlaşmasına doğru palmitik asit, oleik asit ve erusik asit içeriğinin azaldığı, linoleik asit içeriğinin arttığı belirlenmiştir.

Kolzanın çiçeklenmesinden olgunlaşmasına doğru palmitik, stearik ve linoleik asit oranı düşerken, oleik asit oranının artmaktadır. Kolza tohumlarında olgunlaşma sonuna doğru oleik asit oranı artarken, linoleik asit oranının azalma gösterdiğini belirlemişlerdir. Susam bitkisinde de çiçeklenmeden olgunlaşmaya doğru tohumda linoleik asit oranı azalırken, oleik asit oranı artmaktadır. Ancak, soya ve ayçiçeğinde ise tohumun olgunlaşma dönemleri

ilerledikçe düzenli olarak palmitik ve oleik asit oranları azalırken, linoleik asit oranında artma olduğu saptanmıştır. Kuzey Meksika’da kurak koşullar altında yetiştirilen 5 adet ayçiçeği çeşidinin tohumlarında yağ asidi kompozisyonun yağ asitlerine ve çeşide bağlı olarak tohum oluşumundan hasada kadar farklılık gösterdiği saptanmıştır.

Çiçeklenmeden olgunlaşmaya kadar geçen sürede yapılan hasat zamanlarında iki aspir çeşidinin yağlarında palmitik asit oranının azaldığı görülürken, Montola’da oleik asit oranının, Centennial’de ise linoleik asit oranının düzenli bir şekilde arttığı belirlenmiştir (Karaca ve Aytaç, 2007).

## **4.2 Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları**

### **4.2.1 Biyodizelin Avantajları**

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil ester tipi bir biyoyakıttır. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli motorinden aynısıdır (Eker, 2007).

Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki avantajları, motorda yanma verimini artırır ve CO, partikül ve SO<sub>x</sub> emisyonlarında azalmalar sağlar. Biyodizel-dizel karışımı ile karşılaştırıldığında biyodizelin kullanılması ile CO, PM, HF, SO<sub>x</sub> ve CH<sub>4</sub> emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub>, HCI ve HC emisyonlarında ise artma görülmektedir. Biyodizel, değişiklik yapılmamış herhangi bir dizel motorunda dizel yakıtı ile değişik oranlarda karıştırılarak kullanıldığı gibi, %100 oranında da kullanılabilir (Artukoğlu, 2006).

Yakıt özelliklerinin dizel motor yakıtına yakın olması ve dolayısı ile benzeri özellikler göstermesi sözkonusudur. Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri kolayca ve hızla parçalanarak çözülür. Biyolojik olarak ayrışabilir ve zehirli değildir. Yapılan testlere göre, kanoladan elde edilmiş biyodizelin 21 günde %99,6’sının ayrıştığı görülmüştür. Çevre dostudur, alternatif bir enerji kaynağıdır, yenilebilir karakterlidir, yerel imkânlarla üretilebilir. Dizele mukayese edildiğinde CO<sub>2</sub>’nin atmosferde birikimine ve bunun sonucunda da sera etkisine neden olmaz. Çünkü biyodizelin yanması sonucu oluşan CO<sub>2</sub>, biyodizelin elde edildiği bitkiler tarafından kullanılır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Biyodizel suya bırakıldığında 28 günde % 95’i bozulurken, dizel yakıtının sadece % 40’ı bozulabilmektedir. Bu özelliği ile birlikte biyodizelin bozulabilme özelliği şekere benzemektedir (Bulut, 2008).

Evsel v.b kullanılmış yağların değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilebilir. Atık maddelerin değerlendirilmesi yeryüzündeki atık

miktarını azaltır. Tarımsal ürünlere ikinci bir artı değer kazandırır (Akın, 2005).

Biyodizel, yağ asitleri ve bunları içeren yağlar biyolojik maddeler içinde en yüksek ısı değerine sahiptir. Bu özellik iki hidrojen atomu taşıyan tek bir karboksil grubuna bağlanmış nispeten uzun hidrokarbon zincirine sahiptir. Bu nedenle bitkisel yağlar sıvı yakıtlara en yakın biyolojik maddelerdir ve yağsız biyolojik maddelere nazaran daha yüksek ısı enerjisine sahip olan yağlı biyolojik maddeler, biyodizel üretimi için sürekli bir potansiyel oluştururlar. Biyodizel kaynakları kaynağı olarak değerlendirilebilecek bitkilerin geniş bir iklim aralığında yetişmeleri, işleme kolaylığı, bu işlemin artıklarının ve yan ürünlerinin değerlendirilmesi bitkisel yağların diğer avantajları arasında sayılabilir (Öztürk, 2007).

Biyodizelin, petrol kökenli dizel yakıtına göre daha yüksek tutuşma derecesine (>110°C ) sahiptir. Bu yanmaya doğrudan etki etmemesine rağmen, biyodizeli depolanması ve taşınabilirliği açısından daha güvenli hale getirmektedir (Mutlu vd., 2006).

Emisyonlarında karbon monoksit, partikül madde, yanmamış hidrokarbon daha azdır ve aromatik bileşikler ile kükürt hemen hemen hiç yoktur. Bundan başka kansere sebebiyet veren bileşimler (Aromatlar) bakımından da fakirdir. Biyodizel kükürt içermemesinden dolayı, biyodizel işletmelerinde oksidasyon katalizatörü kullanılabilir. Böylece zararlı emisyon değerleri daha da düşük seviyelere indirilebilir [4].

Biyodizel, motorine göre daha iyi bir yağlayıcı olduğundan motor ömrünü uzatır. Çünkü yağlanma derecesi yüksektir. Biyodizel ağırlıkça % 11 oksijen içerir. Oksijen içeriği fazla olduğu için yanma verimi daha yüksektir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Biyodizelin iyot sayısı oldukça düşüktür, kurum oluşturmaz (Nişancı, 2007).

Setan sayısının dizele göre yüksek olması, motorun daha gürültüsüz ve vuruntusuz çalışmasını sağlar. Biyodizel, değişiklik yapılmamış herhangi bir dizel motorunda dizel yakıtı ile değişik oranlarda karıştırılarak kullanıldığı gibi, %100 oranında da kullanılabilir (Türkay, 2005).

Yan ürün olarak ticari amaçlı gliserin ve potasyum gübresi elde edilir [4].

Fosil yakıtların tükeniyor olması ve bu nedenle petrol fiyatlarının giderek yükselmesi, fosil yakıtların kullanımından doğan büyük çevre zararları ve bunların telafisi için ülkelerin enerji kaynakları çeşitlendirme ve enerjide dışa bağımlılıktan kurtulabilme strateji ve çabaları, savaş ve zorunlu hallerde stratejik yakıttır. Tarım ürünlerinin sanayiye entegrasyonunu sağlayarak ülkelerin tarımsal kalkınmasının çarpan etkisiyle hızlandırması, biyodizel kullanımı ile yeni istihdam olanakları yaratılmakta ve ülke ekonomisine küçümsenmeyecek katkılar

gerçekleşmektedir (Nişancı, 2007).

Ekim yapılmamış alanların, dört yılda bir ekilen şeker pancarı ve kıraç topraklarda yetişebilen aspirin ekilmesi ile değerlendirilmesini sağlar (Artukoğlu, 2006).

Küçük (evsel) ve sanayi tipi üretiminin ekonomik uygulanabilirliği, dizele yakın özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerlerine sahip olması, ulaşım dışında ısıtma sistemleri ve jeneratörlerde kullanıma uygun olması, biyodizelin üstünlükleridir [4].

Biyodizel çevresel yararlarından ve yenilenebilir kaynaklardan üretilmesinden dolayı son zamanlarda daha çekici hale gelmiştir (Frangrui, 1999).

Ticari başarıyı yakalamış bir yeşil yakıttır [2].

#### **4.2.2 Biyodizelin Dezavantajları**

Dizelden daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bitkisel yağların doğrudan dizel yakıtı olarak kullanılmaları olumsuz yönde etkileyen başlıca faktör yüksek viskoziteleridir. Modern dizel motorlarının enjeksiyon sistemleri viskozite değişimlerine karşı hassasiyet gösterirler. Yüksek viskozite yakıtının yanma odasındaki atomizasyonunu bozmakta, damlacık boyutundaki büyümeyle tam yanmayı önlemektedir. Tamamlanmayan yanma ise yanma odasında birikmelere, enjektörlerde koklaşma ve tıkanmalara ayrıca yağlama yağına bulaşmaya neden olmakla ve yağlama yağında kalınlaşma ile jelleşme görülmektedir.

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında bir diğer sorun içerdikleri doymamış bağlardan kaynaklanır. Doymamış yapıların yağlama yağına karışması ve bu ortamda polimerezasyonu, motoru tahrip edecek viskozite artışlarına neden olmaktadır (Öztürk, 2007).

Biyodizel soğuk hava şartlarından dizele göre daha çabuk etkilenir. Soğuk havalarda dizelden daha yüksek bulutlanma noktasına sahiptir. Ayrıca bitkisel yağların düşük sıcaklıklarda söz konusu olan katılaşma eğilimi de yakıt olarak kullanılmasında sorun yaratır. Bununda ötesinde, yüksek miktarda doymuş yağ asidi içeren biyodizeller, kış aylarında yakıt filtresinin ve yakıt hattı borularının tıkanmasına sebep olabilir. Bu durum biyodizelin soğuk iklim bölgelerinde kullanımını sınırlandırıcı bir faktördür. Bunu aşabilmek için B20 kullanım formu tercih edilmektedir ve ön ısıtma ile giderilebilir (Yeni geliştirilen proseslerle biyodizel -20°C'ye kadar sorunuz kullanılabilir).

Biyodizelin ısı değeri dizele göre düşüktür. Bu durum motordaki yanma sonucunda bir miktar güç düşmesine yol açar (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Yüksek jelleşme noktasına sahiptir. B100 (% 100 biyodizel) için 0 °C (32°F) iken B20 (%20

biyodizel + %80 motorin) için  $-26^{\circ}\text{C}$  ( $-15^{\circ}\text{F}$ )'dır (Eker, 2007).

Biyodizelin diğeri bir dezavantajı da oksitlenmeye karşı olan eğilimidir. Havayla temas eden biyodizel, özellikle yüksek sıcaklıklarda hızla oksitlenmeye başlar. Bununla birlikte biyodizelin, parlama noktası daha yüksektir. Bu yanmaya doğrudan etki etmemesine rağmen, biyodizeli depolanması ve taşınabilirliği açısından daha güvenli hale getirmektedir (Güleryürek ve Akpınar, 2003).

Biyodizel, depolama, taşıma ve motor malzemelerinde doğal ve butil kauçukları parçalamaktadır ve uzun süre depolanamaz. Saf (B100) kullanım durumunda ise motor malzemelerinde özellikle yakıt donanımındaki hortum, bağlantı elemanı ve contaların uygun malzeme ile değiştirilmesi gerekir (Artukoğlu, 2006).

Azot oksit ( $\text{NO}_x$ ) emisyonları petrodizel göre birazcık yüksektir. Ancak bu sorun yanma sıcaklığını azaltarak (yanmanın  $1-3^{\circ}$  geciktirilmesi ile sağlanabilir veya katalitik konvertör kullanılarak) aşılabılır (Zhang, 2002).

Yakıt tüketimi hacim esasında % 11, ağırlık esasında ise %5-6 daha fazla olmaktadır (Schumacher, 1997).

Yağlama yağının seyrelmesine neden olmaktadır (Nişancı, 2007).

Biyodizel, 1996 yılı öncesi üretilen araçların bazı plastik aksamaları ile etkileşebilir. Biyodizel kullanmadan önce araç depolanıyorsa temizlenmelidir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

### **4.3 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler**

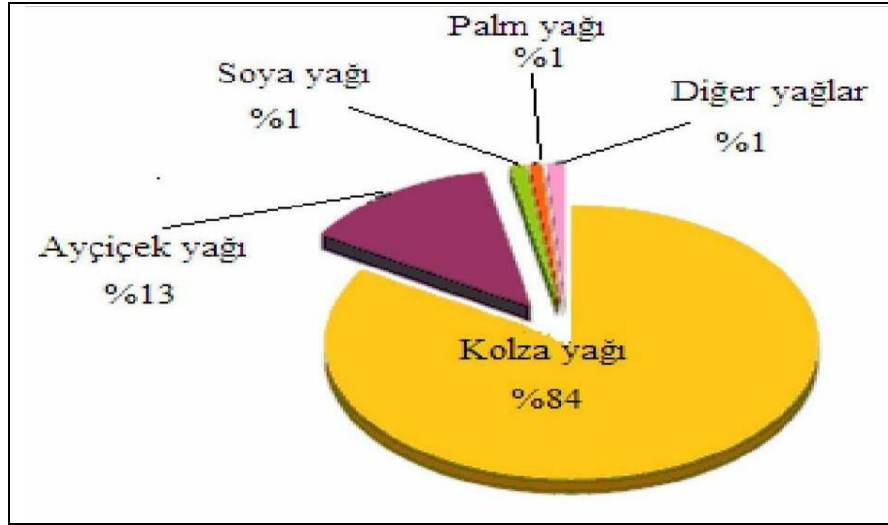
Biyodizel hammaddesi olarak bitkisel ve hayvansal kaynaklı yağlar, alg ve bakteriler, atık yağlar ve yağ rafinasyon atıkları kullanılmakla birlikte ticari olarak en çok tercih edileni bitkisel yağlardır (Şekil 4.3). Standartlar oluşturulurken o ülkede en çok bulunan yağlı tohumlar esas alındığı için (kanola ve soya vb.) üretilen biyodizelin yakıt performansı ve soğuk akış özellikleri de daha çok bu yağ kaynaklarına dayandırılmıştır. Diğer taraftan, yüzlerce bileşen içeren dizel yakıtın kimyasıyla karşılaştırıldığında biyodizel üretiminde kullanılan farklı yağların kimyasal yapıları birbirine benzerdir çünkü yağların temel yapısı, %90-98 oranında trigliseridlerden ve az miktarda di ve monogliseritlerden oluşmaktadır. Esas fark ise yağ asitlerinin karbon zincir uzunluklarından ve çifte bağ sayısından (doymamışlık oranı) kaynaklanmaktadır.

Kullanıma en uygun biyodizel, tekli doymamış yağ asidi içeren yağlardan üretilmekte olup bu tip yağların içerisinde ise en çok kullanılanlar soya yağı, ayçiçeği yağı, palm yağı, kanola yağı



ve pamuk yağıdır.

2003 yılında, rafinasyon atıklarının biyodizel üretiminde kullanılabileceğine dair çalışmalar yapmışlardır. Rafinasyon atıkları su, sabun ve yağ karışımı olup biyodizel üretimi sırasında suyu uzaklaştırılır, sabunlaştırılır ve daha sonra organik veya inorganik asit katalizör yardımıyla transesterifikasyona uğrattılır. Fındık yağı rafinasyon atığı ve ayçiçeği yağı karışımından elde edilen biyodizelin emisyon testlerini gerçekleştirmiş ve sonuçta elde edilen biyodizelin dizel yakıt ile harmanlanarak kullanımının mümkün olduğunu göstermişlerdir.



Şekil 4.3 Avrupa'da üretilen biyodizelin bitkisel yağ kaynaklarına göre dağılımı (İşcan, 2006)

Biyodizel üretimi sırasında suyu uzaklaştırılır, sabunlaştırılır ve daha sonra organik veya inorganik asit katalizör yardımıyla transesterifikasyona uğrattılır. Fındık yağı rafinasyon atığı ve ayçiçeği yağı karışımından elde edilen biyodizelin emisyon testlerini gerçekleştirmiş ve sonuçta elde edilen biyodizelin dizel yakıt ile harmanlanarak kullanımının mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Hayvansal yağlar, daha fazla miktarda doymuş yağ içerdikleri için oda sıcaklığında katı halde bulunurlar. Bu özellikleri hayvansal yağların direkt yakıt olarak kullanılmalarını imkânsız kılar (İşcan, 2006).

Bitkisel yağların doğrudan dizel yakıtı olarak kullanılmalarını olumsuz yönde etkileyen başlıca faktör yüksek viskoziteleridir. Modern dizel motorlarının enjeksiyon sistemleri, viskozite değişimlerine karşı hassasiyet gösterirler. Yüksek viskozite, yakıtın yanma odasındaki atomizasyonunu bozmakta, damlacık boyutundaki büyüme tam yanmayı önlemektedir. Tam yanmanın olmaması, yanma odasında birikmelere, enjektörlerde karbon birikimine ve tıkanmalara ayrıca yağlama yağına karışmaya neden olmakta ve yağlama yağında kalınlaşma ile jelleşme görülmektedir (Altınsoy, 2007).

Genelde yeryüzünde 4000 den daha fazla yağı çıkarılan bitki çeşidi vardır. Ürünler tarımsal girdiler ve yetiştirme tekniklerine göre farklılıklar göstermektedir.

Çizelge 4.5'de tohum ve yağ elde edilen ve biyodizel üretimine kaynak teşkil edebilecek yaygın bitkiler ve bunların yağ oranları verilmiştir.

Çizelge 4.5 Biyodizel üretilebilecek başlıca yağ bitkileri (Kitani, 1998; Tickell, 2000)

Yağ Bitkisinin Adı	Bilimsel Adı	Kgyağ/ha	Yağ İçeriği (%)
Mısır	<i>Zeamays</i>	145	5-6
Mahun Cevizi	<i>Anacardium occdentale</i>	148	38-46
Palm	<i>Erythea salvadorensis</i>	189	50
Acı Bakla, Termiye	<i>Lupinus albus</i>	195	6-9
Pamuk	<i>Gossypium spp.</i>	273	20
Kenevir	<i>Cannabis sativa</i>	305	30-35
Soya	<i>Glycine max</i>	375	17-26
Keten	<i>Linum usitatissimum</i>	402	38
Fındık	<i>Corylus avellana</i>	405	65-75
Bezir Yağı	<i>Perillafrutescens</i>	442	49-51
Bal Kabağı	<i>Cucurbita pepo</i>	449	24-30
Hardal	<i>Brassica alba</i>	481	27-35
Susam	<i>Sesamun indicum</i>	585	50
Aspir	<i>Carthamus tinctorius</i>	655	25-37
Ayçiçeği	<i>Helianthus anmis</i>	800	35-40
Kakao	<i>Theobroma cacao</i>	863	50
Yer Fıstığı	<i>Arachis hypogaea</i>	890	36-50
Haşhaş	<i>Papaver somniferum</i>	978	40-50
Kolza	<i>Brassica napus</i>	1000	33-40
Zeytin	<i>Olea europaea</i>	1019	35-70
Zencibar	<i>Telfairia pedeta</i>	1119	35-38
Badem	<i>Primus dulcis</i>	1125	25-50
Jojoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	1528	48-52
Jatropha	<i>Jatropha curcas</i>	1590	50
Ceviz	<i>Juglans nigra</i>	4500	60

Bazı bitkisel yağların, karbon, hidrojen, oksijen ve ısıl değerleri verilerek dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.6).

Bitkisel yağların karbon ve hidrojen değerleri dizel yakıtına yakın; oksijen değeri ise daha yüksektir. Isıl değerleri ise dizel yakıtının ısıl değerinden yaklaşık % 10-15 kadar daha azdır.

Çizelge 4.6 Dizel yakıtı ve bazı bitkisel yağların temel bileşenleri (Alfelbeck, 1986)

	Birim	Dizel Yakıtı	Kolza Yağı	Soya Yağı	Ayçiçeği Yağı
<b>Karbon, C</b>	%	86	77.7	77.8	77.6
<b>Hidrojen, H</b>	%	13	12.0	11.8	11.7
<b>Oksijen, O</b>	%	0.4	10.9	10.7	11.1
<b>Kükürt, S</b>	%	0.3	-	-	-
<b>Isıl Değeri</b>	MJ/kg	41.6 –45.2	35.8	36.1	36.2
	MJ/l	35.8	32.9	33.2	33.3

#### 4.3.1 Algler

Algler, denizden tatlı suya, çöl kumlarından kaynar yer altı kaynaklarına, atta kar ve buz altına kadar her ortamda bulunan, fotosentez yapabilen organizmalardır. Tek hücreli formlardan 60 metreye kadar büyüyen dev kelp yosununa kadar değişen şekillere sahiptirler. Karmaşık yapılarının yanı sıra çeşitli üreme şekilleri ve diğer bitkilerle kurdukları ortak yaşam şekilleriyle bütün dünyaya yayılan algler, yaptıkları büyük miktardaki fotosentezle atmosferdeki oksijenin büyük bir kısmını sağlarlar.

Evrimci bakış açısına göre tek hücreli canlılar, çok hücreli canlılardan daha ilkeldirler. Bu ise onlara göre çok hücrelilerin tek hücrelilerden evrimleş-tiklerinin sözde kanıtıdır. Ancak diğer evrimci senaryolar gibi bu görüşün de bilimsel bir dayanağı yoktur. Bilakis tek hücrelilerin bazı formları son derece kompleks bir hücre yapısı sergilerler. İşte fotosentez yapan algler bu kompleks hücre yapısına sahip ve atmosferdeki oksijenin büyük bir kısmını sağlayan canlılardır. Tek hücreli alglerin kompleks hücre yapılarının yanı sıra, sahip oldukları şekiller, doğadaki en zarif geometrik desenleri sergilemektedir. Çıplak gözle görülemeyen bu canlılar ortalama 0.5 mikrometre çapındadırlar.

Bu küçük boyutlarına rağmen yeryüzünde inanılmayacak kadar çok sayıda bulunurlar. Okyanuslardaki canlı organizmaların %90'ını oluştururlar. Diğer fotosentez yapan canlılarla (plankton) beraber yılda yaklaşık 130 milyon ton organik karbon üreterek dünyadaki besin zincirinin de temelini oluştururlar. Bu canlıların her biri dünyaya besin ve oksijen sağlamak

için çalışan mikro makinelerdir. Dokuların üretimi için kullanılan organik poliamin, karmaşık bir kimyasal maddedir ve birçok canlı tarafından kullanılmaktadır. Bu canlılar hücre duvarlarını inşa ederken doğadaki en uzun organik poliamin zincirlerini kullanırlar.

Bu canlılar fotosentez yapan karmaşık klorofil pigmentlerinin yanı sıra. altın şansı bir renk veren sarı "xantofil pigmenti"ne de sahiptirler. Balıklardaki D vitaminin en büyük kaynağı olan bu tek hücreli canlılar belirli bir amaç için tasarlanmış kompleks yapılara sahiptirler. Doğal koşullarda alglerin yıllık verimi hektar başına 2 tondur. Besin maddelerince zengin göllerde bu rakam yılda 10 t/ha Kuru Madde (KM) değerine kadar çıkabilmektedir.

Alglerde yüksek verim elde etmek için modern sistemlere gereksinim vardır. Alg yetiştirme sistemleri oldukça değişkendir. Açık havuzlarda ve karmaşık chemostat sistemleri AB Enerji komisyonları tarafından desteklenmekte ve araştırılmaktadır.

Açıkta kültüre almada başlıca sorunlar; diğer alglerde kontaminasyon. gaz kontrolü, üretimde artışı sağlamak için CO<sub>2</sub> verilmesi, resirkülasyon, karıştırma, hasat için gerekli enerji giderleridir. Buna rağmen hektara 70 ton KM verimine ulaşılabilir. Pratikte bir diğer sorun ışık azlığıdır. Işık azlığı verimi etkileyen bir faktördür. Verim; gelen güneş ışınım şiddetine ve alglerin ışık yoğunluğuna doyumuna bağlıdır. Işık yoğunluğunun doyumuna ise türe, büyüme koşullarına, yosun yoğunluğuna bağlıdır. Alglerin ısı değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir (Acaroğlu, 2007).

Çizelge 4.7 Algler ve ısı değerleri

Alg	Isıl Değeri (MJ/Kg)
Plankton Algleri	19.23-20.48
Deniz Yosunu	18.39-18.88
Kara yosunu	15.88-17.56

#### 4.3.2 Tohumlardan Yağ Elde Etme Yöntemleri

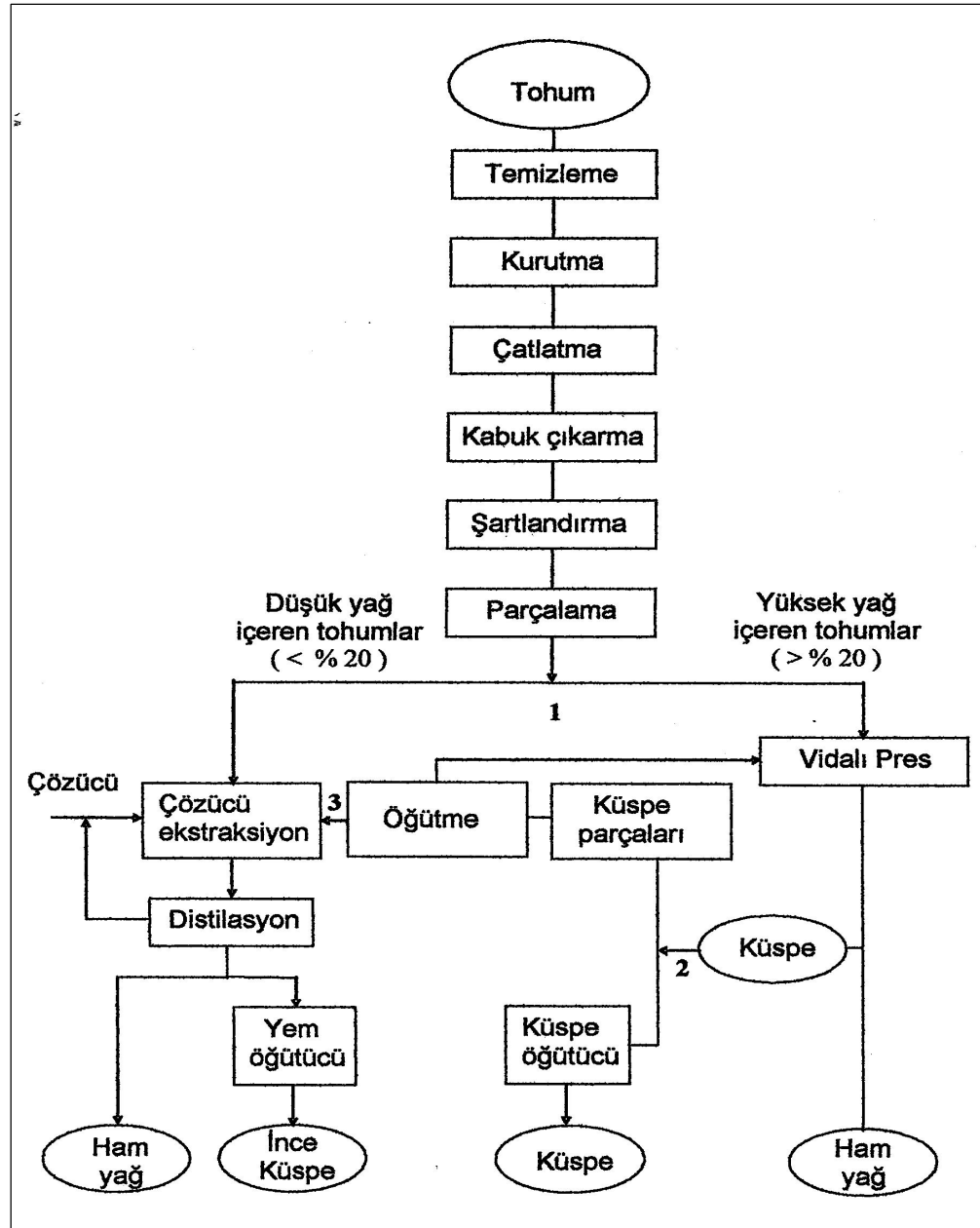
Yağlı tohumlar ham yağa islenmeden önce temizleme, tohumun nemlendirilmesi, kabuk kırma ve ayırma, pulcuk haline getirme ve kavurma gibi on işlemlerden geçirilmektedir. Uygulanacak ön işlemler yağlı tohumun yapısal özelliklerine ve ham yağ üretiminde kullanılacak yönteme göre değişmektedir.

Ön işlemlerden geçirilen yağlı tohumlardan ham yağ üretiminde ham maddenin yağ içeriğine bağlı olarak mekanik presleme, solvent ekstraksiyonu, ön presleme, solvent ekstraksiyonu yada iki kademeli solvent ekstraksiyonu ve süperkritik sıvı ekstraksiyonu yöntemleri

kullanılmaktadır.

**Mekanik presleme işlemi:** Katı- sıvı faz ayırım yöntemi olarak tanımlanabilir. Genellikle yağ oram % 20'nin üzerinde olan yağlı tohumlara mekanik ekstraksiyonu uygulanır. Mekanik presleme sonucu esas ürün olarak ham yağ, yan ürün olarak küspe elde edilmektedir.

**Solvent ekstraksiyonu yöntemi:** Ham yağ üretiminde özellikle tohumların yağ içerikleri azaldıkça mekanik preslemenin verimi düşmekte ve alınamayan yağın tohumdaki toplam yağ oranı yükselmektedir. Bu nedenle, yağ içeriği düşük tohumlarda solvent ekstraksiyonu, mekanik preslemeden daha iyi sonuç vermektedir. Yağlı tohumların yağ işlenmesi akış şeması verilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Yağ ekstraksiyonu (Kitani, 1999)

Yağ oram % 20'den yüksek yağlı tohumların ise ön presleme - solvent ekstraksiyonu ya da direkt solvent ekstraksiyonu ile ham yağa islenmesi önerilmektedir. Ön presleme - solvent ekstraksiyonu yönteminde yağ oram ilk kademede % 14-20 değerine düşürülmekte kalan yağ ikinci kademede solvent ekstraksiyonu ile alınmaktadır. Şekil 4.4'de gösterilen 1 rakamı Endüstriyel prosesi, 2 rakamı İki kademeli ekstraksiyonu, 3 rakamı Presleme aşamasını ifade etmektedir. Direkt solvent ekstraksiyonunda ise iki kademeli solvent ekstraksiyonu uygulanmaktadır.

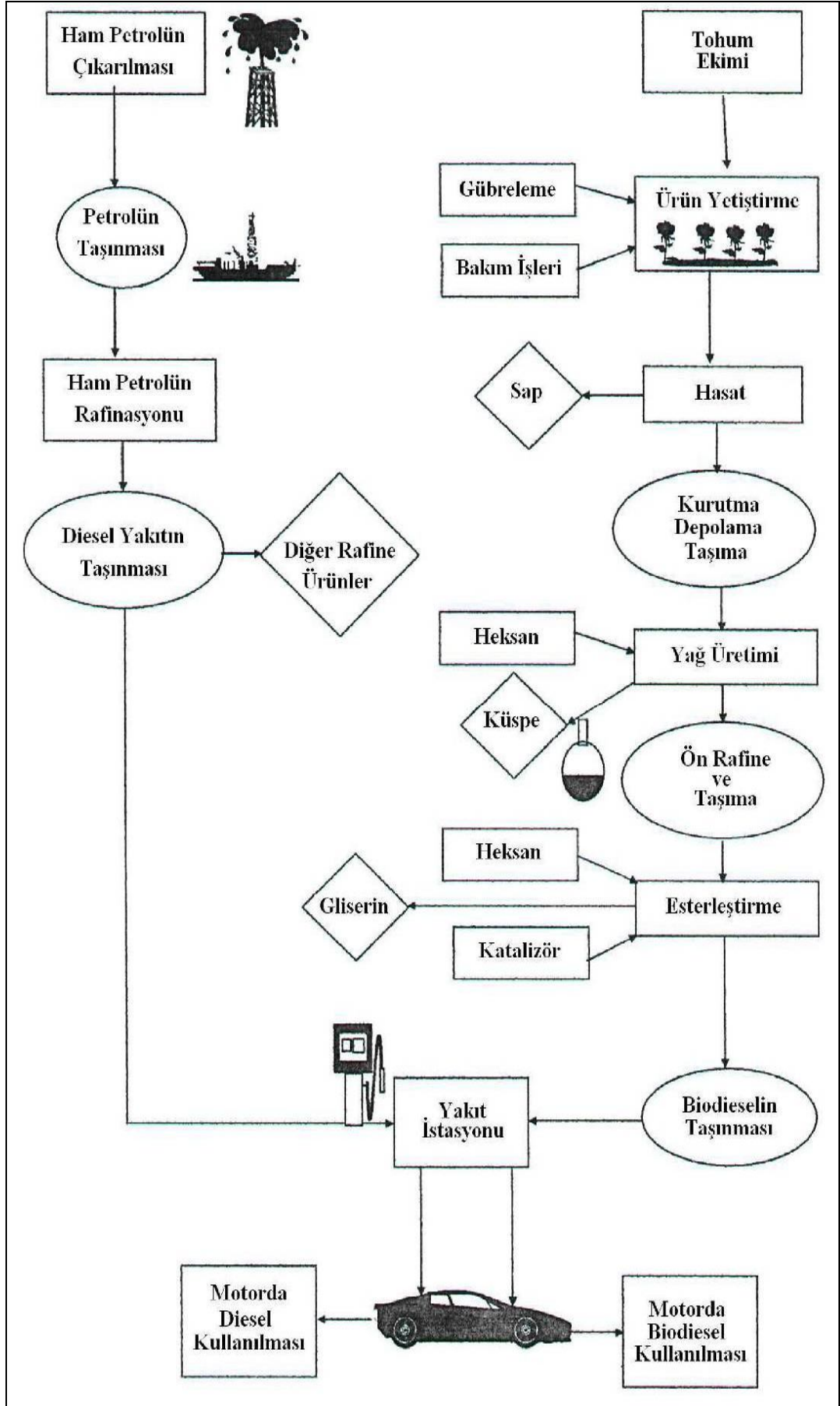
Şekil 4.4'de 1: Endüstriyel proses, 2: İki kademeli ekstraksiyonu, 3: Preslemedir. Süperkritik sıvı ekstraksiyonu, son yıllarda önemli gelişmelerin kaydedildiği bir tekniktir. Yağ ekstraksiyonunda solvent olarak kullanılan hidrokarbonların insan ve çevre sağlığına olumsuz etkileri vardır. Yağlı tohumlardan yağın, kritik noktasının üzerindeki sıcaklık ve basınç değerlerinde solvent gibi davranan bir sıvı ile ekstraksiyonu sağlanabilmektedir. İşlem yüksek basınç altında gerçekleşmektedir. Ekstraksiyon işlemi yüksek basınç altında gerçekleştirildiği için sistemin kuruluş ve istetme mahiyeti oldukça yüksektir (Gümüşkesen, 1999).

### 4.3.3 Yaşamsal Döngü

LCA (Life Cycle Analysis), bir ürünün hammadde üretiminden başlayarak, mamul gelinceye kadar geçirdiği safhaları, kullanımını ve kullanım sonrası neden olduğu atıklarını kapsar. Her bir aşamadaki enerji bilançosu ve çevreye etkileri incelenir. Yoğun sanayileşmenin çevre üzerindeki olumsuz etkileri önleme düşüncesinden hareketle geliştirilen LCA için ISO 14040 uygulamaya sokulmuştur. LCA çevreye etki değerlendirmesi açısından en etkili araçtır ve LCA'nın başarısı doğal olarak verilerin sağlıklı olmasına bağlıdır. LCA da enerji bilançosu, karbon çevrimi (Sera gazı emisyonu) ve diğer emisyonlar analitik olarak incelenmektedir.

Enerji bilançosunu oluşturulmasında hammaddenin üretimi, yağ elde etme amacıyla işlenmesi, biyodizel üretimi, taşınması ve nihai kullanım aşamasında harcanan enerjiler hesaba katılmaktadır.

Şekil 4.5 Petrodizel ve biyodizelin yaşamsal döngü analizi (LCA) verilmiştir (Öğüt ve Oğuz, 2006).



Şekil 4.5 Petrodizel ve biyodizelin yaşamsal döngü analizi (LCA) (Öğüt ve Oğuz, 2006)

#### 4.3.4 Biyodizelin Dizel Motoru Dışında Kullanım Alanları

Biyodizelin sahip olduğu özellikler, alternatif yakıtın dizel motorları dışında da yakıt olarak kullanımına olanak vermektedir. Biyodizel bu nedenle, “Acil Durum Yakıtı” ve “Askeri Stratejik Yakıt” şeklinde adlandırılabilir. Biyodizel;

- Soba, fener ve diğer ısıtıcılarda,
- Model uçaklarda,
- Kalorifer kazanlarında,
- Yapışkan kimyasal, sprey boyaların ve otomobillerdeki istenmeyen boyaların temizlenmesinde çözücü (solvent) olarak,

Motor parçalarındaki yağ ve kurumun temizlenmesinde,

- Çok amaçlı makine yağlayıcısı olarak,
- Tuğla üretiminde ve çömlekçilikte,
- Araziye ya da suya kazaen dökülen petrolün temizlenmesinde,
- Jeneratör yakıtı olarak,
- İnşaat kalıplarının sıvanmasında,
- Hidrolik sıvı olarak,
- Demiryolu yağlayıcısı olarak,
- Gıda işletmelerinin yakıt ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilir
- Kükürt içermeyen biyodizel seralar için mükemmel bir yakıttır (Vermeersch, 2000).

#### 4.4 Dizel ve Biyodizel Standartları

Mevcut dizel yakıtına benzer özellik gösteren biyodizel, dizel motorlarında bazı değişiklikler ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilir. Biyodizel, direk olarak motorin yerine kullanılabilir gibi, mevcut motorin yakıtıyla belli oranlarda karışım oluşturularak da kullanılabilir. Biyodizel yakıtı, petrol kökenli yakıtlara göre daha az emisyon üretir, kükürt içermez.

Dizel motorlarında hava-yakıt karışımı yanma odası içinde gerçekleştirilmekte, dolayısıyla karışım oluşturma yanma verimini ve motor performans parametrelerini etkileyen bir işlem olmaktadır. Biyodizelin içerdiği oksijen miktarı, motorinle karşılaştırıldığında %11 oranında daha fazla olduğu için biyodizel kullanımında karışım oluşumu daha iyi olmakta, bunun sonucunda egzoz emisyonlarında azalma görülmektedir (Schumacher, 1997).

Biyodizel saf ve dizel-biyodizel karışımları şeklinde yakıt olarak kullanıldığında aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır.



**B5** : % 5 Biyodizel + % 95 Dizel.

**B20** : % 20 Biyodizel + % 80 Dizel.

**B50** : % 50 Biyodizel + % 50 Dizel.

**B100** : % 100 Biyodizel

Biyodizel için EN 14214 Avrupa Birliği Standardı ile ASTM (American Society for Testing and Materials) D6751 Amerikan D Standardı yürürlüktedir. Çizelge 4.8’de ASTM dizel ile biyodizelin bazı özellikleri verilmiştir.

Bu şekilde biyodizel, gerçek anlamda ASTM D 6751 standardı tarafından tanımlanmakta ve kimyasal ve fiziksel özelliklerine sınırlamalar getirilmektedir. Böylece, bugüne kadar biyodizel olarak tanımlanan çok sayıda biyoyakıtlara artık biyodizel denilmesi mümkün değildir. Özellikle çiğ bitki yağları veya hayvan yağları hammaddesinden, kısmi tepkimeye girmiş yağlar, kömür çamurları veya yukarıda tanımlara uymayan hiç bir biyolojik yakıt, artık biyodizel olarak sınıflandırılmayacaktır (NREL, 2009).

Uzun yağ asidi zincirleri mono-alkil esterlerden oluşan ve bitkisel hammaddeden elde edilen yağın biyodizel olarak anılabilmesi için gerekli olan koşullar Çizelge 4.9’de özetlenmektedir.

**TS EN 590:** AB, Çek Cumhuriyeti, İzlanda, Norveç, İsviçre ve Türkiye’de de satışa sunulacak olan tüm dizel yakıtların fiziksel özellikleri bu standartla belirlenen şartları karşılamak zorundadır. Bu standart, normal dizel ile biyodizelin %5 oranında karıştırılmasına izin vermektedir.

**DIN 51606:** Biyodizel için bir Alman standardıdır. Mevcut standartların en yükseği olarak değerlendirilmektedir ve tüm araç üreticileri tarafından dizel yakıtlar için en katı (yüksek) standartlar ile uygunluğun karşıtı olarak kabul edilmektedir. Ticari olarak üretilen biyodizelin büyük bir çoğunluğu bu standartları veya daha fazlasını karşılamaktadır. Çizelge 4.10’de Dizel ve biyodizel yakıtlar için mevcut standartları verilmiştir.

Çizelge 4.8 Dizel (No 2) ile biyodizelin bazı özellikleri (NREL, 2009)

<b>YAKIT ÖZELLİĞİ</b>	<b>DİZEL</b>	<b>BİYODİZEL</b>
<b>YAKIT STANDARDI</b>	<b>ASTM D975</b>	<b>ASTM D6751</b>
Alt Isıl Değer, kJ/litre	~36 000	~33 000
Kinematik Viskozite, mm <sup>2</sup> /s, 40°C	1.3-4.1	4.0-6.0
Özgül Ağırlık kg/l, 15,5°C	0.85	0.88
Yoğunluk, gr/cm <sup>3</sup> , 15.5°C	0.8482	0.878
Su ve Serbest Partikül, % Hacim	0.05 maksimum	0.05 maksimum
Karbon, % Ağırlık	87	77
Hidrojen, % Ağırlık	13	12
Oksijen, % Ağırlık	0	11
Kükürt, % Ağırlık	0.05 maksimum	0.0-0.0024
Kaynama Noktası, °C	180-340	315 - 350
Parlama Noktası, °C	60-80	100 -170
Bulutlanma Noktası, °C	-35 – (+5)	-3 – (+15)
Akma Noktası, °C	-35 – (-15)	-5 – (+10)
Setan Sayısı	40-55	48-65

Çizelge 4.9 İlgili ASTM D6751–03 standardında yer alan özellik sınırları ve yapılması önerilen testler ve uygulama yöntemleri (NREL, 2009)

<b>ÖZELLİK</b>	<b>ASTM YÖNTEMİ</b>	<b>SINIR DEĞERLER</b>	<b>BİRİM</b>
Parlama Noktası	D93	130.0 minimum	°C
Su ve Serbest Partikül Miktarı	D2709	0.050 maksimum	% hacim
Kinematik Viskozite, 40°C	D445	1.9 - 6.0	mm <sup>2</sup> /s
Sülfatlanmış Kül	D874	0.020 maksimum	% Kütle
Kükürt (S15)	D5453	0.0015 maksimum	% Kütle
(S500)	D5453	0.05 maksimum	% Kütle
Bakır Şerit Korozyon Testi	D130	No. 3 maksimum	-
Setan Sayısı	D613	47 minimum	-
Parafin Yoğuşma Sıcaklığı	D2500	-	°C
Karbon Artığı	D4530	0.050 maksimum	% Kütle
Asit Sayısı	D664	0.80 maksimum	mg KOH/g
Serbest Gliserin	D6584	0.020 maksimum	% Kütle
Toplam Gliserin	D6584	0.240 maksimum	% Kütle
Fosfor Miktarı	D4951	0.001 maksimum	% Kütle
Damıtma Sıcaklığı %90 Geri Kazanım (T90)	D1160	360 maksimum	°C

Çizelge 4.10 Dizel ve biyodizel yakıtlar için mevcut standartları

KRİTERLER	EN590	DIN 51606	EN14214
Yoğunluk(15°C g/cm <sup>3</sup> )	0.82-0.86	0.875-0.9	0.86-0.9
Viskozite(40°C mm <sup>2</sup> /s)	2.0-4.5	3.5-5.0	3.5-5.0
Parlama Noktası (°C)	>55	>110	>101
Kükürt (%Kütle)	0.20	<0.01	<0.01
Sülfatlanmış kül (%Kütle)	0.01	<0.03	0.02
Su (mg/kg)	200	<300	<500
Karbon Kalıntısı (%Kütle)	0.30	<0.03	<0.03
Toplam Kirlilik (mg/kg)	Bilinmiyor	<20	<24
Bakır Şerit Korozyonu (3h/50°C)	Sınıf 1	Sınıf 1	Sınıf 1
Setan Sayısı	>45	>49	>51
Metanol (%Kütle)	Bilinmiyor	<0.3	<0.2
Ester içeriği (% Kütle)	Bilinmiyor	>96.5	>96.5
Monogliseridler (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.8	<0.8
Digliseridler (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.4	<0.2
Trigliseridler (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.4	<0.4
Serbest Gliserol (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.02	<0.02
Toplam Gliserol (% Kütle)	Bilinmiyor	<0.25	<0.25
İyot Sayısı	Bilinmiyor	<115	120
Fosfor (mg/kg)	Bilinmiyor	<10	<10
Alkali Metaller Na K (mg/kg)	Bilinmiyor	<5	<5

Ülkemizde EN 590, EN 14214 ve EN 14213 standartları temel alınarak Türk Standartları hazırlanmıştır. Bu standartlar kısaca aşağıda açıklanmıştır.

**TS EN 14214:** Avrupa Standartlar Birliği (CEN) tarafından oluşturulan biyodizel standardıdır. Genel olarak DIN51606 standardını temel almaktadır. Bu standart, dizel motorlar için %100 derişimlerde otomotiv yakıtı olarak kullanılan veya TS EN 590'da belirtilen özelliklere uygun dizel yakıtlara ilave edilen biyodizel için gerekleri ve deney yöntemlerini kapsar. Çizelge 4.11'de Dizel ve biyodizel yakıtlar TS EN 14214 için mevcut standartları verilmiştir.

Çizelge 4.11 TS EN 14214 Genel özellikler ve deney yöntemleri

ÖZELLİK	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester içeriği	% Kütle	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite, 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3.50	5.00	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	101	-	EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10.0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% Kütle	-	0.30	EN ISO 10370
Setan sayısı		51.0	-	EN ISO 5165
Sülfatlanmış kül içeriği	% Kütle	-	0.02	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır Şerit Korozyonu (50°C'ta 3 saat)	derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı, 110°C'ta	h	6.0	-	EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0.50	EN 14104
İyot sayısı	g iyot/100g	-	120	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	% Kütle	-	12.0	EN 14103
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) metil esterleri	% Kütle	-	1.0	
Metanol içeriği	% Kütle	-	0.20	EN 14110
Monoglisericid içeriği	% Kütle	-	0.80	EN 14105
Diglisericid içeriği	% Kütle	-	0.20	EN 14105
Triglisericid içeriği	% Kütle	-	0.20	EN 14105
Serbest gliserol	% Kütle	-	0.02	EN14105 EN14106
Toplam gliserol	% Kütle	-	0.25	EN14105
Grup I metaller (Na+K) Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg mg/kg	-	5.0	EN 14108 EN 14109 prEN 14538
Fosfor içeriği	mg/kg	-	10.0	EN 14107

**TS EN 14213:** Avrupa Standartlar Birliği (CEN) tarafından oluşturulan ısıtma amaçlı kullanıma uygun biyodizel standardıdır. Bu standart, %100 derişimlerde ısıtma yakıtı olarak veya ısıtma yakıtı üretimini için bir karışım bileşeni olarak kullanılmak üzere pazara sunulan biyodizel özelliklerini ve deney yöntemlerini kapsar (Çizelge 4.12). Çizelgelerde verilen özelliklerin önemi ise aşağıda özetlenmektedir.

Çizelge 4.12 TS EN 14213 Genel özellikler ve deney yöntemleri

Özellikler	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
<b>Ester içeriği</b>	% Kütle	96.5	-	EN 14103
<b>Yoğunluk, 15 °C</b>	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
<b>Viskozite, 40 °C</b>	mm <sup>2</sup> /s	3.50	5.00	EN ISO 3104 ISO 3105
<b>Parlama Noktası</b>	°C	120	-	EN ISO 3679
<b>Kükürt içeriği</b>	mg/kg	-	10.0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
<b>Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)</b>	% Kütle	-	0.30	EN ISO 10370
<b>Sülfatlanmış kül içeriği</b>	% Kütle	-	0.02	ISO 3987
<b>Su içeriği</b>	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
<b>Toplam kirlilik</b>	mg/kg	-	24	EN 12662
<b>Oksidasyon kararlılığı, 110°C'ta</b>	h	4.0	-	EN 14112
<b>Asit sayısı</b>	mg KOH/g	-	0.50	EN 14104
<b>İyot değerı</b>	g iyot/100g	-	120	EN 14111
<b>Çoklu doymamış (&gt;=4 çift bağ) metil esterleri</b>	% Kütle	-	1.0	
<b>Monoglisericid içeriği</b>	% Kütle	-	0.80	EN 14105
<b>Diglisericid içeriği</b>	% Kütle	-	0.20	EN 14105
<b>Triglisericid içeriği</b>	% Kütle	-	0.20	EN 14105
<b>Serbest gliserol</b>	% Kütle	-	0.02	EN 14105 EN 14106
<b>Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN)</b>	°C	-	-	EN 116

#### 4.4.1 Parlama Noktası

Parlama noktası, sıvı buharının parlayabilir bir atmosfer meydana getirdiği en düşük sıcaklıktır. Parlama noktasının yüksek olması, yakıtın depolama, taşıma kolaylığı ve güvenliğini beraberinde getirir.

Yangın güvenliği açısından, dizel yakıtı için minimum parlama sıcaklığının belirlenmesi zorunludur. Yakıtın hava ile tutuşabilir bir karışım oluşturabilme eğilimini gösterir. Yakıtlar ve yağların, yanma sıcaklık derecesinden çok daha düşük bir sıcaklık derecesinde bir alev yaklaştırılınca parladığı görülür. Bunun nedeni içlerinde, yanabilecekleri sıcaklıktan daha düşük sıcaklık derecelerinde gaz durumuna geçebilen maddelerin bulunmasıdır. Bunların da parladıkları noktadaki sıcaklık derecesi, o yağ veya yakıtın alev alma tehlikesinin tanınmasına yarar.

Bu aşamada, en önemli husus üretim sürecinde kullanılan metanolün biyodizelden hemen tümüyle ayrılmasının sağlanmasıdır. Çok az miktarı bile yangın güvenliği için büyük önem arz eder. Bu bağlamda artık sayılabilecek düzeyde de olsa, biyodizel içindeki metanolün varlığı, yakıt pompalarını, contaları, benzer elastomerleri de negatif yönde etkileyecektir (NREL, 2009).

Genellikle bir akaryakıtın kaynama noktası ne kadar düşük olursa, onun alev alma noktası da o kadar düşük olur. Parlama noktası; hem resmi depo talimatları yönünden gereklidir ve hem de motorda kullanılabilmesi için, ön ısıtmaya gereksinim gösterip göstermediğinin belirtilmesi yönünden önemlidir. Parlama noktası risk sınıflamasında çok önemlidir (Acaroğlu, 2007).

Taşıma ve depolanma için parlama noktasının yüksek olması istenir. Dizel yakıtının parlama noktası 110 °C olmasına rağmen; bitkisel yağların parlama noktası 300 °C den yukarıda, biyodizelin parlama noktası ise 220 °C civarındadır. Parlama noktasının tespitinde test metodu olarak DIN EN 22719 (Pensky - Martens) standardı uygulanmaktadır.

#### 4.4.2 Su ve Serbest Partikül Miktarı

Hem konvansiyonel dizel ile hem de biyodizel için aynı düzeyde su zerreciklerine ve serbest partiküle izin verilmektedir. Su miktarının fazlalığı büyük çoğu kez yetersiz kurutma tekniğinden veya taşımacılıktan kaynaklanır. Fazla su korozyona yol açar ve mikroorganizmalar için ortam yaratır. Partikül veya çökelti oluşumunun en önemli nedenlerinden birisi de yakıtın oksidasyonudur. Bu nedenle asit testi ve viskozite testleri ile beraber değerlendirilirse, depolama aşamasında yakıtın fazla oksitlenip oksitlenmediği tayin

edilebilir (NREL, 2009).

Yakıtların içinde su bulunması, patlama veya yanmanın düzenli olmaması ve ısı değerinin düşük olması sonucunu ortaya çıkarır. Eğer yakıtta su varsa, soğuğa dayanıklılık azalır. Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak bitkisel yağların üretimi ve depolanması esnasında karışabilmektedir. Yakıtların belli oranda su içermeleri motor için bir dezavantaj değildir. Su / yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltabilir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde bölgesel çürümelere sebep olabilir. Bitkisel yağlar için prEN ISO 12937 ye göre belirlenen maksimum değer kütleli % 0.075'i geçmemelidir.

#### 4.4.3 Viskozite

Bazı motorlar için viskozite değerinin minimum 1.3-4.1 mm<sup>2</sup>/s değerlerinin arasında olması istenir. Bunun nedeni, düşük viskozite değerlerinde, enjeksiyon pompasında sızma meydana gelmesi ve genelde güç kaybıdır. Bu husus, biyodizel için bir sorun yaratmaz ve minimum değer konvansiyonel dizel yakıtlarla aynı düzeyde olabilir. Buna karşın, maksimum viskozite ise motor enjeksiyon sisteminin tasarımına göre değişir ve yüksek viskozite değerleri yanmanın kötüleşmesine ve katı partikül birikimine yol açar ve nihayet yakıtın silindirin daha derinlerine gitmesine ve seyrelmesine neden olabilir. Biyodizeller 4.1mm<sup>2</sup>/s değerinin üzerindeki viskozite değerlerine de izin verilmektedir. Bunun nedeni, biyodizel yakıtların doğal viskozite değerlerinin 4 – 6 mm<sup>2</sup>/s aralığında olmasıdır. Günümüzdeki dizel motorların büyük bir çoğunluğu bu viskozite değerlerinde sorunsuz çalışacak şekilde tasarlanmışlardır (NREL, 2009).

Kinematik viskozite biyodizelin karakteristik özelliğidir. Viskozite sıcaklığa bağlıdır. Hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça viskozite artar, çifte bağ sayısı arttıkça viskozite azalır (Ölçüm, 2006). Yüksek viskozite çıkması transesterifikasyon işleminin başarı ile tamamlanamadığının göstergesidir. Viskozitenin, yakıt enjeksiyon sistem performansı üzerine olumsuz etkiye sebep olmaması için, kabul edilebilir değerler aralığında tutulmalıdır. Biyodizelin viskozite değeri 40°C'de 3.5-6 mm<sup>2</sup>/s arasında değişmektedir. Bu yolla viskozite özellikleri, diğer dizel yakıtlarinkiyle eşit tutulmaya çalışılmaktadır. Düşük sıcaklıkta biyodizel kalınlaşabilmekte ve akamayabilmektedir. Bu da, enjektör ve pompaların performansını etkilemektedir (Artukoğlu, 2007). Test metodu olarak DIN EN ISO 3104 uygulanmaktadır. Yüksek viskozite sorununu çözmek için iki temel strateji vardır. Motorun yakıtı uyarlanması, bitkisel yağlı motorlar- stasyonier motorlar. Yakıtın motora uyarlanması, biyodizel viskozite düşürülmesine uygun anti-jel maddelerin kullanımı ile



düşürebilmektedir.

#### 4.4.4 Sülfatlanmış Kül

Biyodizelde üretim aşamasından arta kalan alkali katalizör artıklarının ve kül oluşturuca bileşiklerin varlığı sülfatlanmış kül testi yapılarak anlaşılır (NREL, 2009).

Bazı ağır yakıt ve yağların içerisinde bir miktar katı pislik veya maddeler bulunur. Bunların bir kısmı yanıcıdır. Bu yönden motor için bir sakınca oluşturmazlar. Bir kısmı ise; yanıcı değildirler. Bunlara kül denir ve motor silindirleri içerisinde istenmeyen bir bakiye olarak kalırlar ve aynı zamanda silindirleri aşındırıcı etkileri vardır. Ayrıca dizel motorlarında özellikle püskürtme sisteminin aşınmasına ve arıza yapmasına neden olurlar. İyi dizel yakıtlarının kül miktarları % 0.05'in altında, maksimum miktarı ise % 0.10 olmalıdır (Acaroğlu, 2007).

#### 4.4.5 Kükürt

Yakıt ve yağlarda karbon ve hidrojenden sonra en önemli eleman kükürttür. En önemli ve en çok rastlanan kükürlü hidrojen erimiş olarak ham petrolde bulunur. Kükürt, temasta bulunduğu çelik yüzeyleri aşındırıcı bir etkiye sahiptir. Genellikle otomobil yakıtlarında bulunan kükürt miktarının % 0.2'yi geçmemesi istenir. Ama dizel yakıtlarında daha fazla kükürt içeriğine izin verilebilir.

Düşük sıcaklıkta ve kesintili çalışmalarda yüksek kükürt miktarı dizel motorlarında sorun yaratmaktadır. Yüksek nem yağurmasının meydana geldiği durumlarda soğuk korozyon ve motor aşınması olur.

Yakıtın kükürt (S) içermesi durumunda özellikle egzoz borularında ve susturucuda kükürt (S) birikmesi olur. Bu ise; orada sülfürik aside dönüşerek egzoz çürümmesine neden olur. ASTM D5453'e göre SO<sub>x</sub> maksimum limit 20 mg/kg olarak belirlenmektedir.

Özellikle dizel motor egzozlarına katalizör konması durumunda sülfat ve sülfürik asit emisyonların düşürülmesi gerekecektir. Yapılacak kükürt testinin biyodizel içinde bulunan oksijenle hatalı sonuç vermesini engelleyecek testler tercih edilmelidir (NREL, 2009).

Bitkisel yağların kullanılması durumunda dizel yakıtıyla karşılaştırıldığı zaman kükürt miktarlarında azalma olduğu görülür. Yakıtta yağlayıcılık özelliği kazandıran kükürt oranının uygulamaya konulan yeni emisyon standartlarında 10 ppm'den de aşağıya çekilmesinin hedeflenmesi, motorine biyodizelin katılmasını zorunlu hale getirmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

#### 4.4.6 Bakır Şerit Korozyon Testi

Bu testin yapılma amacı yakıt sistemi komponentlerinde bulunabilecek bakır ve bronz malzeme ile ilgili potansiyel sorunları belirlemektir. Her ne kadar, biyodizel ortamında korozyona uğramazlarsa da, uzun sereli temas yakıt bozulmasına ve partikül oluşumuna neden olabilir (NREL, 2009).

#### 4.4.7 Setan Sayısı

Dizel yakıtlarının tutuşma özelliğini belirtir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Yüksek setan sayılı yakıtların tutuşma kabiliyetleri daha iyi olmaktadır. Bunun sonucunda, dizel motorlarında güç ve emisyon gibi parametreler daha iyi değerler vermektedir. Özellikle, tutuşma gecikmesi süresinin uzamasından dolayı ortaya çıkan dizel vuruntusu gibi bir problem azalmaktadır.

Setan endeksi, biyodizel ve karışımlarının setan sayısını tahmin etmekte kullanılmamalıdır. Bu endeks petrodizel'in damıtma eğrisi ve özgül ağırlığı parametreleri kullanılarak belirlendiği için, biyodizelin setan sayısını bu endeksle belirlemek mümkün değildir (NREL, 2009).

Uzun düz zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayısı yüksektir. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olan yakıtlar dizel vuruntusuna daha fazla eğilimlidir. Setan sayısı hidrokarbonların uzunluğu arttıkça artar, çift bağ sayısı arttıkça azalır. Orta veya uzun zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayıları yüksektir (palm ve don yağı). Soya ve ayçiçeği yağının doymamışlığı yüksek olup setan sayıları düşüktür. Oksidasyon sonucu oluşan peroksitler setan sayısını artırır. EN 14214 standardında minimum setan sayısı 51'dir (Karahan, 2006).

#### 4.4.8 Karbon Artığı

Yakıtta bulunan karbon artığı miktarı, yakıtta karbon birikimi ve dolayısıyla motor içinde birikim eğilimini verir. Konvansiyonel dizel yakıtlarında, arıtmada elde edilen artıkların yaklaşık %10'u bu test amacıyla kullanılırken, biyodizelin hemen tümü, petrodizelin arıtma sıcaklığının en yüksek uçlarında kaynadığı, artık karbon miktarı tüm biyodizel örneği üzerinden belirlenir (NREL, 2009).

Oksijensiz ortamda bir yüzeyde yakıtın yanması simüle edilerek DIN EN ISO 10370 test metoduna göre karbon artığı belirlenmektedir. Karbon artığı enjektör deliklerinde veya yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır. Denemeler, biyodizelin pratikte yok denecek

kadar az karbon artığı bıraktığı ve maksimum değerin kütleinin %0,3'ü kadar olduğunu göstermiştir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

#### **4.4.9 Asit Sayısı**

Biyodizel için serbest yağ asitlerinin düzeyini belirleyen en önemli göstergelerden birisi asit sayısıdır. Biyodizel düzgün olarak üretilmediyse veya oksidasyona uğrayarak bozulduysa bu sayı artacaktır. ASTM standardına göre asit sayısını 0.8'in üzerine çıkması yakıt sisteminde katı partikül birikimini ve filtre ve pompalarda sorunlar yaşanacağını gösterir (NREL, 2009).

Serbest yağ asitleri motorda korozyona neden olurlar. Katalizör eşliğinde gerçekleşen biyodizel üretiminde serbest yağ asitleri ortadan kaldırılır. Ancak yakıtın su veya hava ile temas etmesi ile asit numarası yükselebilir. Bu nedenle üreticilerin kalite kontrol işlemleri esnasında mutlaka takip etmeleri gereken bir değerdir (Gerpen vd., 2004).

#### **4.4.10 Serbest ve Toplam Gliserin**

Biyodizelde serbest ve toplam gliserinin varlığı hiç dönüşmemiş veya kısmi dönüşmüş yağların ve yan ürünlerin varlığına işaret eder. Tamamlanmamış dönüşümlerde toplam gliserin sayısı yüksek olacaktır. Aynı şekilde, biyodizelden tüm gliserinin ayrıştırılmamış olması da serbest gliserin sayısını arttıracaktır. Bu koşullarda depo tanklarında, yakıt sisteminde ve motorda sorunlar yaşanabilir. Filtrelerin tıkanması sık yaşanan sorunların başında gelir (NREL, 2009).

Toplam gliserin yakıt içerisindeki serbest ve bağlı gliserinlerin toplamıdır. Bağlı gliserinler mono, di ve trigliseridler içerisindeki gliserinlerdir. Yeterli bir yıkama işleminin uygulanmamış veya başka bir nedenle gliserinin biyodizelden etkili bir şekilde ayrıştırılmamış olmasıdır. Serbest gliserin motor içinde oluşan karbon birikintilerinin en önemli kaynağıdır (Gerpen vd., 2004).

#### **4.4.11 Fosfor İçeriği**

Biyodizel yakıtlarda fosfor içeriği, proses sırasında bitkisel yağlardan ve hayvansal yağlar içerisindeki zar ve proteinlerden gelen fosfolipidlerin tam olarak rafine edilememesi sonucu oluşan ve yakıtın yapısında istenmeyen bir özelliktir (Gerpen vd., 2004).

Bazı bitkisel yağlarda fosfor düzeyi 10 ppm'i aşabilir. Bu düzeyin aşılması halinde egzoz katalizörü bozulabilir (NREL, 2009).

#### 4.4.12 Damıtma Koşulu

Damıtma sürecinde, yakıtların yüksek sıcaklıkta kaynayan, kullanılmış motor yağı gibi, malzemelerle kirlenmesinin engellenmesi amacıyla, “T90 Arıtma Koşulu” getirilmiştir. Bu nedenle bir damıtma eğrisi yerine, biyodizeller için bir kaynatma sıcaklığı noktasından bahsedilebilir. Biyodizelin üretildiği düz zincir hidrokarbonlar genellikle 16 ila 18 karbon içerirler ve atmosferik koşullarda biyodizelin kaynama sıcaklığı 330°C ila 357°C arasında değişir.

Petrol kökenli yakıtlarda olduğu gibi, biyodizel standartlarında yer alan özellikler ve bu özelliklerdeki sınır değerler, çeşitli hammaddelerin üretim için kullanılmasına olanak verecek tarzda belirlenmiştir. Doğal olarak elde edilen biyodizelin bazı özellikleri doğrudan hammaddeye bağlıdır. Hammadde özelliklerinden en önemli olanları setan sayısı, soğuk akış özellikleri, sıkıştırılabilirlik ve kararlılık olarak sıralanabilir. Ayrıca yapılan laboratuvar testlerinde göre dizel motorlarındaki sıkılaştırma ve yanma sonucu elde edilen NO<sub>x</sub> emisyonu da hammaddeye göre büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Buna karşın hammaddedeki değişiklikler HC, CO, katı partikül, poliaromatik hidrokarbon (PAH), nitratlanmış poliaromatik hidrokarbon (NPAH) emisyonları üzerinde çok etkili değildir.

Bilindiği üzere biyodizel çok sayıda yağdan elde edilebilmektedir:

- Hayvani yağlar,
- Bitkisel yağlar; soya, mısır, kolza, ay çiçeği, pamukyağı ve benzerleri,
- Geri dönüşümü yapılabilen yemeklik ve kızartma yağları.

Ayrıca, hardal, hurma, hindistan cevizi, fıstık, susam, zeytin ve aspir yağlarından da biyodizel üretilmektedir.

Petro dizel yakıtının kimyası oldukça karmaşıktır ve yüzlerce bileşik içerebilir. Buna karşın, biyodizel hammaddelerinin kimyasal yapısı birbirlerine çok yakındır. Her yağ molekülü bir üç karbonlu bir gliserin ana yapısı üzerine inşa edilmiş olan ve her karbonunun uzun yağ asidi zincirine bağlı olduğu bir yapıdadır. Uzun yağ asitleri metanol ile reaksiyona girerek metil ester veya biyodizel oluştururlar ve ana yapıyı oluşturan gliserin ise serbest gliserine dönüşür ve yan ürün olarak pazarlanır. Yukarıda değinilen asit zincirlerinin en yaygın olan on türü, çoğunluğu 16 – 18 olmak üzere, 12 ila 22 karbon içerir. Bu yağ zincirlerinin bazıları doymuş, bazıları ise doymamış haldedir. Doymamış yağ zincirleri mono – tekli veya poly – çoklu olabilirler. Doymuşluk düzeyi bazı biyodizel yakıtı özelliklerini etkiler. Bu nedenle, hammadde seçiminde en önemli kriterlerden birisi doymuşluk düzeyidir.

Çizelge 4.13 ise bizlere hangi tür yağ asidinin doymuş, tekli doymamış veya çoklu doymamış olduğunu ve buna bağlı olarak yakıtlarda aranılan özellikleri göstermektedir. Çizelgedeki düzen CC:X formatında hazırlanmıştır. Buna göre “CC” rakamı yağ asidi zincirindeki karbon sayısını göstermektedir. İki noktadan sonra gelen “X” sayısı ise yağ asidinin doymuş veya doymamış olduğunu ifade eder. Buna göre “0” sayısı doymuşu gösterirken, “1” tekli doymamış yağ asidine ve “2” veya “3” sayıları da çoklu doymamış yağ asidine işaret etmektedir. Örneğin “16:1” bizlere 16 karbonlu bir yağ asidi zincirini ve 1 sayısı ise bir noktadaki doymamışlığı (tekli doymamış) göstermektedir. Çizelgedeki genel anlamda bir değerlendirmeyi vermektedir. Doğal olarak katkı maddeleri ilavesiyle bu değerler önemli düzeyde değiştirilebilir (NREL, 2009).

Çizelge 4.13 Biyodizelin kimyasal yapısının önemli yakıt özellikleri üzerindeki etkileri

	<b>Doymuş</b>	<b>Tekli Doymamış</b>	<b>Çoklu Doymamış</b>
<b>Yağ asidi</b>	12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0	16:1, 18:1, 20:1, 22:1	18:2, 18:3
<b>Setan sayısı</b>	Yüksek	Orta	Düşük
<b>Bulutlanma Noktası</b>	Yüksek	Orta	Düşük
<b>Stabilite</b>	Yüksek	Orta	Düşük
<b>NO<sub>x</sub></b>	Azalma	Hafif artış	Fazla artış

Günümüzde üretilen biyodizelin büyük bir bölümünün setan sayısı 47'nin üzerindedir. Daha öncede vurgulandığı üzere, biyodizelin setan sayıları standart dizel yakıtların 40 – 45 arasında olan düzeyden daha yüksek olduğu için motor daha kolay ve daha sessiz çalışmaktadır. Yüksek oranda doymuş olan hayvan yağları veya kızartma yağlarının setan sayıları 70 dolaylarındadır. Buna karşın C18:2 ve C18:3 gibi çoklu doymamış yağ içeren soya, ay çiçeği, mısır ve kolza yağlarının setan sayıları ise 47'nin üzerinde olmakla beraber doymuş yağlara göre düşük kalmaktadır.

Bazı yaygın biyodizel hammaddelerin karbon sayıları, doymuş/doymamış ve tekli/çoklu doymamış bilgileri Çizelge Ek 12'de görülebilir.

Hem konvansiyonel Petrodizeli hem de biyodizel için soğuk akış özellikleri çok önemlidir. Benzinin aksine, hava soğudukça, dizel donmaya veya pelteleşmeye başlar. Bu sürecin başlamasıyla filtreler tıkanır ve yakıt tankından motora pompalanması giderek zorlaşır. Bu sorunu test eden üç özellikten söz edebiliriz. Bunlar, bulutlanma (parafinleşme) noktası, soğuk filtre tıkanma noktası ve akma noktalarıdır.

#### 4.4.13 Biyodizel Yakıtların Soğuk Akış Özellikleri

Biyodizel motorinden daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta kullanımında problem çıkarmaktadır. Doymuş hidrokarbonların CP, CFPP, PP değerleri yüksektir. Yüksek sıcaklıkta kristalize olurlar.

Hayvansal ve kızartma yağların doymuş hidrokarbon sayısı fazladır. Soğuk akış özelliği iyi olmayan yakıt kullanımı motorun yakıt besleme elemanlarına hasar verir. Ayrıca motorda ilk hareket problemleri oluşur (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Hem biyodizel hem de dizel için soğuk akış özellikleri, özel bir önem oluşturur. Her iki yakıt tipinde de sıcaklık değeri düştükçe jelleşme ve donma başlar. Şayet bu yakıtlarda jelleşme olursa, yakıt filtresi tıkanabilir veya yakıt, yakıt pompasına yapışabilir. Bu sebeplerden dolayı, genel olarak Dizel motorların yakıtlarının soğuk akış özellikleri;

- Bulutlanma noktası,
- Soğukta filtre tıkanma noktası,
- Akma noktası,
- Donma noktası ile ifade edilir.

##### 4.4.13.1 Bulutlanma Noktası (Cloud Point)

Belirlenmiş standart şartlar altında soğutulmuş yakıtta, küçük katı tanelerinin (parafın kristallerinin) ilk görüldüğü sıcaklık değeridir. Sıcaklık bu değerin üzerinde ise yakıtın kullanılmasında herhangi bir sorunla karşılaşmaz. Şayet sıcaklık bu değerin altına düşerse yakıt filtresi tıkanır.

Dizel motorlarının düşük sıcaklıklarda iyi performans göstermeleri bulutlanma noktasına bağlıdır. Genellikle biyodizelin bulutlanma noktası, konvansiyonel dizelden daha yüksek sıcaklıkta olduğunda soğukta daha etkili olarak kullanılabilirler (NREL, 2009).

##### 4.4.13.2 Soğukta Filtre Tıkanma Noktası (SFTN) (CFPP)

Yakıtta, bulutlanma noktasında oluşan kristallerin sıcaklığın daha da düşmesi ile bu mevcut kristallerin kümeleştiği noktadır. Bu sıcaklık değerine ulaşıldığı zaman yakıt filtresi tıkanır. Dizel motor yakıtları için önemli testlerden birisi, soğukta filtre tıkanma noktasıdır. Dizel motor yakıtlarının soğuk akış özelliklerini en iyi tanımlayan bir değerdir (NREL, 2009).

Bu özellik soğuk şartlarda dizel motorlar için hayati öneme sahiptir. Bu özellik IP 309/80, DIN EN 116'da belirtilen standart yöntemlerle belirlenmektedir. Biyodizel motorinden daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta kullanımında problem

çıkarmaktadır. Dizel yakıtı için soğukta filtre tıkanması veya akma noktası değişik yöntemlerle belirlenebilmektedir. Biyodizelin soğukta filtre tıkanması ve akma noktası dizel yakıtına benzer şekilde belirlenebilmektedir (Tyson, 2003).

#### 4.4.13.3 Akma Noktası (Pour Point)

Soğukta filtre tıkanma noktasında oluşan kristal kümeleşmelerin daha da büyüdüğü (pelteleşmeye başladığı) noktadır. Bu noktada yakıt, jelleşir ve akamaz hale gelir. Akma noktası, filtre tıkandıktan sonra motor nasıl olsa çalışmayacağına göre bu tanımın pratik bir değeri olmamasına karşın, yakıtın pompalanabilirliğini ifade ettiği için daha çok akaryakıt istasyonları ve dağıtıcılar için önem taşır. Akma noktası, katılaşma veya donma noktası olarak da ifade edilebilir (NREL, 2009). Biyodizel için yukarıda tanımları yapılan özellikler, Çizelge 4.14'te verilmektedir.

Çizelge 4.14 Biyodizelin bazı türleri için soğuk akış verileri

Yakıt Özellikleri	Bulutlanma Noktası	Akma Noktası	Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
Sıcaklık	°C	°C	°C
Soya Metil Ester	3	-4	-2
Kolza Metil Ester	-3	-4	-4
Sarı Gres Metil Ester	13	13	11
Yenilebilir Donyağı Metil Ester	19	16	14
Yenilemez Donyağı Metil Ester	16	15	10
Sarı Gres 1 Metil Ester	--	9	11
Sarı Gres 2 Metil Ester	8	6	1

#### 4.4.13.4 Donma Noktası (Freezing Point)

Yakıtın tamamen katılaşmış veya donduğu sıcaklık derecesine denir. Bu ise yakıtın soğuk havada kullanılabilme oranını gösterir. Özellikle motorin soğuk havalarda kristalleşerek donabilir.

Yüksek oranlı biyodizel karışımları, genellikle daha yüksek akma noktasına sahiptir. B5 ya da düşük oranlı biyodizel karışımları, Petrodizel ile karşılaştırılabilir özellikler sergilemektedir.

Akma noktasını etkileyen biyodizelin yapısal özellikleri, doymamışlık ve zincir uzunluğudur. Çoklu doymamış yağ asidi zincirleri (iç yağı, hidrojenlenmiş soya yağı, palm yağı), oldukça yüksek sıcaklıklarda katılaşma eğilimindedirler. Kanola metil esterleri, soya yağı metil esterlerinden daha düşük bulutlanma ve akma noktalarına sahiptirler. İçyağı metil esteri 16 °C bulutlanma noktasına ve 10 °C akma noktasına sahiptir. Biyodizeli, metanol yerine etanol ile üretmek bulutlanma ve akma noktalarını birkaç derece azaltmaya yardımcı olur. Biyodizel

karışımlarının bulutlanma ve akma noktaları, karışımların içindeki biyodizel miktarını değiştirerek modifiye edilmektedir. Biyodizelin değişik karışım oranlarının akma noktası Çizelge 4.15'da verilmiştir.

Çizelge 4.15 Biyodizel çeşitlerinde karışım oranlarının akma noktasına etkisi

Biyodizel Karışım Oranı	Soya ME	Kolza ME	Yenilen Don Yağı ME	Yenilmeyen Don Yağı ME	Düşük SYA'li Sarı Gres ME	Yüksek SYA'li Gres ME
%0	-27	-27	-27	-27	-27	-27
%1	-24	-24	-21	-24	-24	-24
%3	-24	-24	-21	-21	-21	-21
%5	-21	-21	-18	-15	-18	-18
%10	-18	-21	-12	-12	-18	-18
%20	-18	-18	-9	-9	-9	-12
%35	-15	-18	-6	-3	-6	-6
%50	-9	-15	3	3	0	-2
% 100	-1	-4	13	8	12	8

Yapılan araştırma sonuçlarına göre; CFPP, LTFT ve CP noktaları arasında biyodizelin hem kendisi hem de D-1 ve D-2 ile karışımları için doğrusal bir bağlantı vardır. Düşük sıcaklıktaki akış testinin ve soğukta filtre tıkkama noktasının, bulutlanma noktasına göre değişim formülü aşağıda verilmiştir (Acaroğlu, 2007).

$$CFPP = 1.019 (CP) - 2.9 \quad (4.1)$$

$$LTFT = 1.020 (CP) + 0.4 \quad (4.2)$$

Bu formüllerde; CFPP: Soğukta filtre tıkkama noktası, LTFT: Düşük sıcaklıkta akış testi, CP: Bulutlanma noktasıdır.

#### 4.4.14 Biyodizelin Kararlılığı

Kararlılık kavramı oldukça geniş anlamı olmakla beraber biyodizelle ilgili iki konuda yoğunlaşmaktadır. Bunlardan birincisi uzun dönem depolamada yakıt özelliklerinin kararlılığı ki bu husus daha çok oksitlenme kararlılığı olarak bilinmektedir; diğeri ise, özellikle motorun yakıt sistemi içinde, yüksek sıcaklık ve basınçlarda kararlılıktır. Bu hususta ısıl kararlılık olarak adlandırılmaktadır.

Genel olarak, iki ila dört aylık depolamalarda oksitlenme süreci çok önemli değildir. Ancak, depolama mevsim değişikliklerini de içerecek şekilde 6 – 8 aya uzarsa, o zaman kararlılık büyük önem kazanacaktır. Biyodizelde yakıt yaşlanması ve oksitlenme, yüksek asit sayılarına çıkılmasına, viskozitenin artmasına ve filtreleri tıkkayabilecek çökelti ve katı yapışkan parçacıkların oluşmasına yol açar. Böyle bir durumda standartların öngördüğü sınırlar aşılsa,



yakıt kullanılmamalıdır. Asit sayısı artması ve partikül oluşumu genellikle beraber gözlemleniyorsa, büyük olasılıkla yakıt değerlerinde bozulma başlamış demektir. Bazı koşullarda, temizleme malzemeleri de partikül oluşumuna yol açabilir. Ancak, böyle bir durumda asit sayısında artış gözlemlenmez. O bakımdan, bu iki özelliğin beraber kontrol edilmesinde büyük yarar vardır. Yakıt stabilitesi aslında geniş bir kavram olmakla beraber oksidasyon stabilitesi ve termal stabilite kavramlarını bünyesinde barındırır. Hangi koşullarda yakıt kararlılığının daha uzun süreyle sağlanabileceği hususunda bazı önemli ipuçları verilebilir. Bunlardan en önemlileri aşağıda sıralanmıştır:

- Doymamışlık düzeyi ne kadar yüksekse, yakıtın oksitlenme olasılığı da o kadar yüksektir. Kaide olarak doymuş yağ asitleri (16:0 veya 18:0 gibi) karalıdır ve her doymamışlık artışında (örneğin 18:0 dan, 18:1'e, 18:2'ye veya 18:3'e geçişte) yakıtın kararlılık düzeyi hızla azalır. **C18:3'den oluşan bir yakıtın kararlılığı, C18:1'den oluşan bir yakıtı göre 100 kez daha düşüktür.** Bunun sebebi, doymamışlık noktası sayısı arttıkça, bu noktadaki molekülün oksijen ile reaksiyona girerek peroksit oluşmasına yol açması ve peroksitlerinden parçalanarak asit ve çökelti ve yapışkan partiküller oluşturmalarıdır.
- Isı ve güneş ışınları yukarıda anlatılan süreci hızlandıracağından depolama mahallerinin seçimine dikkat edilmelidir.
- Bakır, çinko, kurşun, kalay, pirinç ve bronz malzemeler bozulma sürecini arttırmaya ve daha fazla çökelti oluşumuna neden olurlar. Bu tür malzemeleri içeren depolama sistemleri kullanılmamalıdır. Bazı katkı maddeleriyle bu etki düşürülebilmektedir.
- Doğal ve/veya üretimi sürecinde katılan anti-oksidadantlar, biyodizelin depolanma ömrünü önemli düzeyde arttırabilir. Bu hususun biliniyor olmasına karşın, bazı hammadde veya biyodizel üretim süreçleri ise hammaddedeki doğal anti-oksidadantları yok eder ve kararlılık düzeyinin düşmesine neden olur. Özellikle bitkisel yağlar doğal olarak anti-oksidadantları içerir ve bozulmazlar. Ancak, ağartma, koku giderme işlemleri veya damıtma yağları biyodizel üretiminin belli aşamalarında kullanılıyorsa, doğal anti oksidadantların ayrışmasına neden olacaklardır.

Yakıtı oksijenden uzak tutmak doğal olarak oksitlenmeyi düşürecek ve yakıt ömrünü uzatacaktır. Bu nedenle, yakıt depolama işlemi sabit tanklarda azot katmanı kullanılarak veya kapalı varillerde yapılmalıdır.

Kısa bir süre için olsada, yakıt enjeksiyon sisteminde oluşabilecek yüksek sıcaklığa maruz kalan yakıttaki olası bozulma düzeyi, yakıtın ısıl kararlılık olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, yakıtın bozulması, enjektörde kömürleşmeye bile yol açabilecek sorun oluşturabilir. Doymuş bitkisel yağların kızartma yağı olarak kullanıldıkları ve yüksek sıcaklıklara uzun süre dayanıklı oldukları hatırlanırsa biyodizelin ısıl kararlılık düzeyinin konvansiyonel dizel yakıtına göre daha iyi olduğu anlaşılabilir (NREL, 2009).

Teknik literatür içinde yaygın olarak ifade edilen üç stabilite vardır. Bunlar; termik stabilite, oksidatif stabilite ve depolama stabilitesidir. Oksidasyon stabilitesi, biyodizelin kalitesini

etkileyen bir faktördür. Biyodizel içinde oksitlenme meydana gelirken ortaya çıkan kimyasal ve fiziksel değişimler vardır. Bu faktörler aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

Oksidasyon stabilitesi biyodizel için bir kalite ölçütüdür. Yağ asidi metil esterlerinin oksidasyon stabilitesi, biyodizelin minimum kalite gereksinimlerini ifade etmek için kullanılan standart bir parametre olarak farklı test yöntemleri içinde yer almıştır.

Oksidasyon oranı üzerinde zamanın, oksijen akış hızının, sıcaklığın, metallerin ve hammaddenin türünün etkisi bulunmaktadır. Doymamış bileşikler oksidasyona daha çok yatkındır. Soya fasulyesi metil esteri buna bir örnektir. İyot sayısı da oksidasyon üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. İyot sayısı ayrıca yağ asitlerinin doymuşluk oranını da belirlemede de bir ölçüttür.

Bir yakıtın ya da yağın içindeki çift bağların sayısını ölçmek için iyot kullanılır. Peroksit değeri de, yakıt oksidasyonu sırasında oluşan peroksit/hidroperoksit konsantrasyonunun ölçümü olarak tanımlanabilir (mg/g). Peroksitler yakıt içinde zatk ve polimerleri oluştururlar.

İki ve üç bağlı linoleik ve linolenik asitler, sırasıyla kolayla oksidize olmaktadır. Özetle daha fazla sayıdaki çift bağ, oksidasyona daha fazla yatkın olma anlamına gelmektedir.

Oleik (C<sub>18:1</sub>) : Linoleik (C<sub>18:2</sub>) : Linolenik (C<sub>18:3</sub>) = 1:15: 25 olup aynı zamanda 1:10:100 şeklinde de ifade edilir. Böylelikle **Linolenik < Linoleik < Oleik** ifadesi yazılabilir.

Oksidasyon, hidroperoksitleri, aldehitleri, ketonları ve asitleri üretir. Bunlar yakıtın özelliklerini değişmesinde son derece etkilidirler. Hidroperoksitler, esterlerin polimerizasyonuna neden olur ve çözünemeyen zatk ve çökeltiler oluştururlar. Bu ürünler yakıt filtresinin tıkanmasına neden olabilmektedir.

Yapılan çalışmada, biyodizelin oksitlenmesi durumunda setan sayısının yükseldiği tespit edilmiştir. Yüksek setan sayısı, motor silindiri içinde ateşlemenin hızlı olmasıdır.

Oksidasyona sebep olan diğer faktörler arasında ışık, süre, yükseltilmiş sıcaklık, biyodizelin depolandığı kabın yapısı da yer almaktadır. Yapılan bir deneyde belli miktarda soya metil esteri, açık kaplarda havaya maruz bırakılmıştır. Asit değeri ve kinematik viskozite süreye bağlı olarak yüzey tarafında yükselmiştir. Havayla temas eden yüzey alanının da geniş olması oksidasyonu hızlandıran bir etkidir.

Yapılan uzun ve kısa süreli testlerde güneş ışığının yakıt oksidasyonu üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle biyodizel, ışık muhafazalı ve şeffaf

olmayan depolarda saklanmalıdır (Acaroğlu, 2007).

#### 4.4.14.1 Oksidasyon Kararlılığı

Biyodizelin kimyasal yapısı itibari ile oksidasyon kararlılığı fosil dizel yakıtına göre çok daha düşüktür (ayçiçeği yağında linoleik ve linolenik asit fazla). Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı yüksektir (palm yağı). Oksidasyon kararlılığı ham yağın tokeferol ve karoten (antioksidan) içeriğine de bağlıdır. Antioksidan katkılar kullanılır (Altınsoy, 2006).

#### 4.4.15 Isıl Değeri (Kalori Değeri)

Yakıtlarda kalori değeri çok önemli bir faktördür. Çünkü motorun silindirlerinde yandığı zaman motorun geliştirebileceği g miktarı, yakıtın verebileceği kalorik enerjiye bağlıdır. Genellikle yakıtın birim kütlesinin enerjisi (kJ/kg veya kcal/kg) ile verilmektedir. Genellikle biyodizelin kalori değeri 35 Mj/kg'dan daha büyüktür. Kalori değeri DIN 51900-3 test metoduna göre belirlenmektedir (Acaroğlu, 2007).

Yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarını belirler. Ağırlık sınırlaması olan araçlar için bu değer çok önemlidir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıka ısı değer artar (palm yağı). Doymamışlık arttıka (hidrojen sayısı azaldıkça) ısı değer azalır.

Biyodizelin ısı değer i oksijen içeriğinden dolayı (yaklaşık %11) fosil dizel yakıtına göre daha düşüktür (Kanola %13 ktleseli,%8 hacimsel-biyodizelin yoğunluğu yüksek). Aynı motor şartları altında biyodizelin g ve torku daha düşüktür. Enjeksiyon hacmi artarsa aynı motor performansı elde edilebilir. Ancak yakıt sarfiyatı artar (Karahana, 2006).

#### 4.4.16 Yanma Noktası

Açık potada alev alma noktasından sonra sıcaklık daha yükselirse, çıkan gazlar homojen bir alevle yanarlar. Bu sıcaklığa, yanma noktası denir. Bu nokta, alev çekildiği halde yanmanın devam ettiği noktadır. Yanma noktası genellikle parlama (alevlenme) noktasından 30-40 C daha yüksektir.

Kendiliğinden tutuşma noktası; sıcaklık arttırılırsa belirli bir zamanda karışım kendi kendine tutuşur. Bu sıcaklık kendiliğinden tutuşma noktasıdır. Benzin için kendiliğinden tutuşma sıcaklığı 475-530 C, dizel yakıtı için ise; 170-350 C'dir (Acaroğlu, 2007).

#### 4.4.17 İyot Sayısı

Yağın toplam doymamışlığının bir ls olan, iyot sayısı bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre değişmektedir. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara

veya yanma odasında hasar meydana gelmesine sebep olmaktadır.

TS EN 14214 de iyot sayısı en çok 120 olan bu değer TS EN 14213 de ise en çok 140 olarak verilmektedir. Amerikan Biyodizel standardı olan ASTM D 6751 de iyot sayısına yer verilmemektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Dikkate alınması gerekli diğer parametreler:

#### **4.4.18 Yağlama Yağının Seyrelmesi**

Biyodizelin dizel motorlarında kullanımında ortaya çıkan olumsuzluklardan biri, yağlama yağının seyrelmesidir. Motor yağı ve biyodizelin motor içindeki direkt ilişkisi, yakıt enjeksiyon pompasında ve silindir içerisindeki yakıt enjeksiyonu yanma işlemi sürecince olmaktadır. Araştırmalar yağlama yağı seyrelmesinin %4-5 oranında olduğunu göstermiştir (Karahan, 2006).

Yağ seyrelmesi motor yaşının büyüklüğü ile veya motorun çalışma süresinin fazlalığı ile artış gösterir. Piston-silindir arasındaki aşınma ve yağ boşluğunun artması ile daha fazla yakıt yağlama yağına karışır ve sonuçta yağı bozar. Motorin kullanımında yağlama yağına karışan yakıtın büyük kısmı kısa sürede buharlaşırken, biyodizel kullanımında, yakıtı oluşturan ester moleküllerinin kaynama noktaları birbirine yakın olduğu için buharlaşma olmaz ve motor yağı kısa sürede bozulur (Altınsoy, 2006).

#### **4.4.19 Süzülebilme (Filtre tıkama noktası-CFPP) Yeteneği**

Yakıtların süzülebilme yeteneğinin saptanması için 100 cm<sup>3</sup> yakıtın, 0.5 atmosfer basınçta, 6 mm çaplı ve 0.1 mm dokuma aralıklı 10 adet yuvarlak delikli bakır süzgeçten geçebilmesi için gerekli süre ölçülür. Bunun iki katı ölçü olarak alınır. Sıcaklık, yaz mevsimi dizel yakıtları için (-5 °C) ve kış mevsimi dizel yakıtları için (-13 °C) kabul edilmiştir. Bu sıcaklıkta (30 veya 60) saniyede süzülme olmalıdır (Acaroğlu, 2007).

#### **4.4.20 Toksik Etkisi**

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1.75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha yüksek öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin ciltte %4'lük sabun çözeltisinden daha az toksik etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizelin toksik olmamasına karşın, biyodizel ve biyodizel-motorin karışımlarının kullanımında motorin için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi vb.) kullanılması önerilmektedir (Altınsoy, 2006).

#### 4.4.21 Tortu Maddeleri

Su ve tortu maddeleri birlikte değerlendirilir. Buradaki tortu; taş toprak, kum vb. maddelerden ibarettir. Bir de pis artık yağ (sludge) denilen tortu maddesi vardır ki; bunlar yakıt ve yağların bünyesinde bulunan hidrokarbonların oksidasyonu sonucu oluşan kimyasal bileşiklerdir ve organik yapıda olan tortulardır.

#### 4.4.22 Gam Miktarı ve Reçine Oluşumu

Genel olarak benzinlerde 15 mg/100 cm<sup>3</sup> reçine miktarına izin verilir. Yapışkan madde sorununu azaltmak amacıyla benzine uçucu olmayan bazı özel yağlar ve katıklar eklenir (Acaroğlu, 2007).

#### 4.4.23 Mikrobiyal Kirlilik

Biyolojik kirlenme söz konusu olduğunda, su kirliliğinin kontrolü öncelik taşır. Aerobik mantar ve maya mikroorganizmaları gibi kirleticilerin genelde yakıt-su arayüzünde oluştukları bilinmektedir.

Oksijene gerek göstermeyen ve kükürt miktarının düşürülmesi için kullanılan bazı mikroorganizmalar da tank yüzeyindeki çökeltiler üzerinde etkili olup korozyona yol açabilir. Biyolojik oluşumlara rastlanan biyodizeller yakıtlarda, konvansiyonel dizel yakıtlarda yaygın olarak kullanılan biyosidlerin kullanımı önerilmektedir (NREL, 2009).

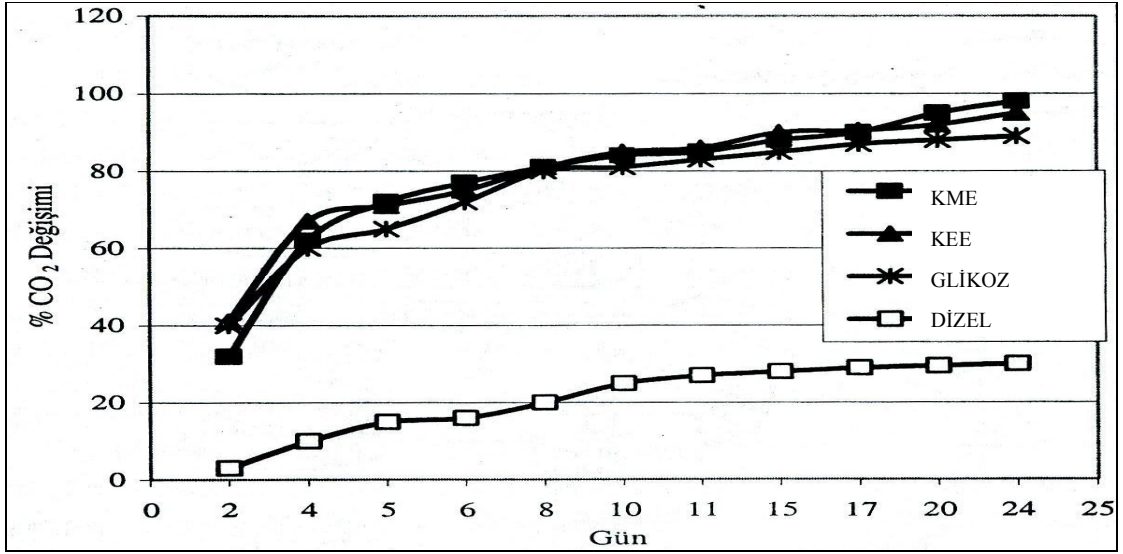
#### 4.4.24 Temizleyici Etkisi

Bilindiği gibi uzun yıllardan beri mekanik parçaların temizlenmesi için düşük düzeyde buharlaşan organik bileşik olarak metil esterler kullanılmaktadır. Bilindiği üzere biyodizeller de metil ester esaslıdır. Bu nedenle daha öncede kullanılmış olan bir dizel tankında veya dizel araçta kullanılmaları durumunda daha eskiden birikmiş olan çökeltileri çözerek filtrelerin tıkanmasına ve hatta parçalanmasına neden olabilir ve enjektör sistemine ulaşmasına yol açabilir. Bu nedenle sisteme biyodizel konulmadan önce, tüm sistemin çok iyi düzeyde yıkanması ve temizlenmesi gerekecektir (NREL, 2009).

#### 4.4.25 Biyolojik Ayrışabilirlik

Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolayca hızla parçalanarak çözünür. 10000 mg/l't'e kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Yapılan biyolojik ayrışabilirlik testlerinde petrol esaslı dizel yakıtının 28 günde % 30'unun ayrışmasına karşın biyodizelin % 95-98'nin biyolojik olarak ayrışabildiği tespit edilmiştir. Dizel yakıtı ile glikoz, (KME) kolza metil esteri ve (KEE) kolza etil esterinin biyolojik

ayrışabilirliklerinin karşılaştırılması verilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Dizel yakıtı ile glikoz, (KME) kolza metil esteri ve (KEE) kolza etil esterinin biyolojik ayrışabilirliklerinin karşılaştırılması (Öğüt ve Oğuz, 2006)

Biyodizelin doğada bozulabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir. Özellikle Avrupa Ülkelerinde hassas tarım arazilerinde, deniz kenarlarında ve orman arazilerinde biyodizelin kullanımı mecbur hale getirilmiştir. Şekil 4.6'de yapılan bir biyolojik ayrışabilirlik testinin sonuçları gösterilmektedir.

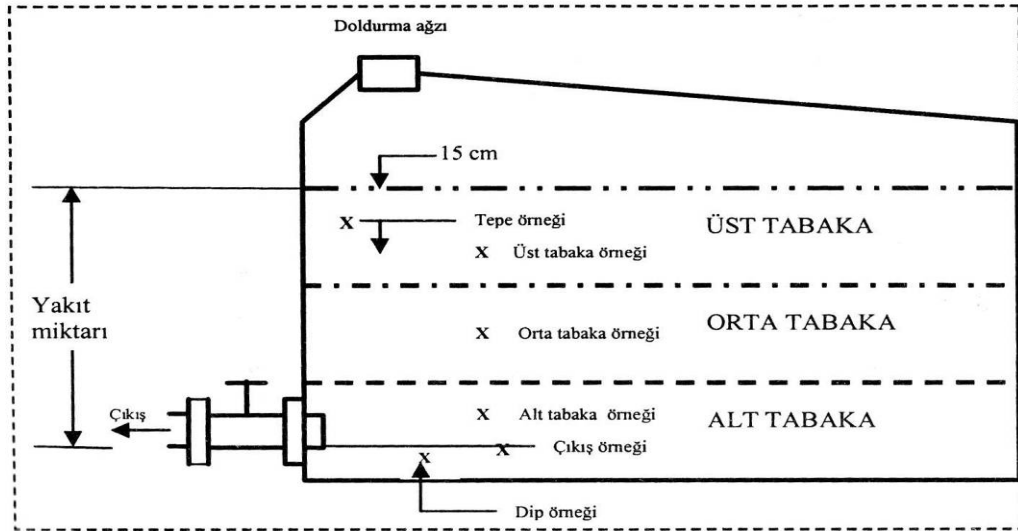
Biyodizel, biyolojik olarak ayrışabilir ve zehirli değildir. Biyodizelin %100 biyolojik ayrışımı şekere benzer, tuzdan ise daha az toksik etkiye sahiptir. Araştırmalar biyodizelin biyolojik ayrışabilirliğinin, Petrodizelden 4 kat daha fazla olduğunu göstermektedir. 3 haftalık bir sürede % 98 oranında ayrışma görülmektedir. Bu özellik, biyodizelin deniz taşımacılığı ile orman ve milli park gibi özellik arz eden alanlarda kullanımını gerekli kılmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

#### 4.4.26 Biyodizelin Depolanması ve Taşınması

Biyodizel taşıma ve depolama açısından da güvenlidir. Ancak biyodizelin kara yolundaki asfaltı yumuşatma ve eritme etkisi vardır, bu nedenle depolara ve tanklara biyodizel doldurulurken dikkatli olunmalıdır. Petrodizelin taşınması sırasında güvenliğini artırmak amacıyla içerisine belli oranda biyodizel karıştırılması uygulamaları yapılmaktadır.

Biyodizelin depolanmasında herhangi bir sorunla karşılaşmaz. Biyodizel soğuk iklim şartlarında depolama kurallarına uymak şartı ile en az 6 ay süreyle depolanabilir. Depolama için petrodizelin depolandığı tanklar ve ortamlar kullanılabilir. Depolama yapmadan önce, depolama tankında eğer su varsa bu uzaklaştırılmalıdır. Ayrıca depolama tankındaki, bakır,

pirinç ve bronz malzemeler çelik yada alüminyum olanlarla değiştirilmelidir. Uzun süreli depolanmış biyodizelin, kullanımından önce pH'sı test edilmeli ve pH'nın 7-10'un sınırları arasında olmasına dikkat edilmelidir. Yine aynı şekilde uzun süre beklemiş biyodizelin kullanımından önce özgül ağırlığının 0,9'u aşıp aşmadığı belirlenmelidir. Biyodizel tankları mümkünse tamamen dolu tutulmalıdır. Bunu yapmaktaki amaç, biyodizel ile havanın temasını en aza indirmektir. Eğer biyodizel nemli ve ılık iklimde depolanacak ise biyodizel depo tanklarına katkı maddesi ilave etmek gereklidir. Biosit olarak adlandırılan ve sıvı formda bir zehir olan bu madde, depo içerisindeki mikro organizmaları yok etmede kullanılır. Yakıt tankının içerisine ilave edilecek biosit miktarı 50-60 gr'dır. Dökülen bu miktar depo 3 defa boşalana kadar etkisini sürdürür. Eğer dizel motor iki haftadan daha uzun bir süre kullanılmayacak ise depo yakıtla doldurulur ve depo içerisine yine 50-60 gr biosit veya biyostat konulur. Bakteri gelişimini engelleyen biyostat özellikle, ılık ve nemli bölgelerde bakteri gelişimini mümkün merteye engellemek için yakıt içerisine periyodik olarak ilave edilmelidir. Şekil 4.7'da yakıt depolama tankı ve örnek alma noktaları gösterilmiştir (Öğüt ve Oğuz, 2006).



Şekil 4.7 Yakıt depolama tankından örnek alma noktaları (Gerpen vd., 2004)

#### 4.4.27 Biyodizelin Yağlayıcılık Özelliği

Biyodizel, dizel yakıtından daha iyi yağlayıcılık özelliğine sahiptir bu da motorun daha rahat çalışmasına sebep olur. Bütün dizel motorlar özel bir dizayn olan enjeksiyon sistemi ile çalışır. Buradaki hareket eden iç parçaların yağlanması yakıt ile sağlanmaktadır. Yakıttaki yağlayıcı özelliğin yetersizliğinde ya düşük basınca sebep olmakta yada aşınmalar oluşmaktadır. 2010 yılında çevre için dizel yakıtı içerisindeki kükürt ve aromatiklerin % 0.5'ten %0.05'e veya 500 ppm'ye düşürülme kararı alınmıştır. Bu işlem dizel yakıtının

partikül emisyonlarının azalmasında etkili olmuştur. Ancak bu işlem yakıtın yağlama özelliğini kötüleştirmektedir. Kaliforniya’da yapılan çalışmalar ile dizel yakıtının içerisine % 0.4 biyodizel katılarak bu özellik tekrar kazandırılmış ve sonuçta kükürt oranı düşük, yağlama özelliği iyi dizel yakıtı elde edilmiştir.

Araştırmalarda kükürt oranı düşürülmüş dizel yakıtı içerisine %1 oranında çeşitli bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen etil veya metil ester ilave ederek, yani biyodizeli katkı maddesi olarak kullanarak yakıtın yağlayıcılık özelliğini incelemiştir. İçerisine %1 biyodizel katkı maddesi katılarak elde edilen yakıtların yağlayıcılık özelliklerindeki meydana gelen değişme, dizel yakıtına göre tüm bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen etil veya metil esterlerin daha iyi olduğu görülmüştür (Öğüt ve Oğuz, 2006).

#### 4.4.28 Malzeme Uyumluluğu

Biyodizel genellikle uzun süre temasta olduğu hortum, conta, elastomer ve plastikleri bozabilir, yumuşatabilir ve hatta sızabilir. Özellikle sentetik lastik ([akrilonitril kopolimeri](#) ve [bütadien](#)), polipropilen, polivinil ve tygon esaslı hortumların biyodizellere karşı dayanıksız olduğu bilinmektedir. Bu malzemeler yerine teflon, florlanmış plastikler, naylon ve benzeri malzemeler kullanılmalıdır (NREL, 2009).

Biyodizel orta dereceli bir çözücüdür. Boyanmış yüzeylerle temas ettiğinde bazı boyaları çözebilmektedir. Emniyet açısından kazara döküldüğü yerden silinmelidir. Biyodizelin çözücü özelliğinden dolayı daha önceden dizel yakıtından kaynaklanan sediment ve tortuları çözücü olarak yakıt filtresinin hatta enjektörlerin tıkanması gibi problemlerle karşılaşılabilir. Bu yüzden biyodizel yakıt deposuna konulmadan önce yakıt deposunun bakımı yapılarak, içi temizlenmelidir.

Pirinç, bronz, bakır, kurşun, kalay ve çinko dizel yakıtı ve biyodizel ile okside olabilir ve tortulaşma meydana getirebilir. Bakır borular, pirinç regülâtörler ve bakır rekorlarda kurşun ve çinko kaplamalardan kaçınılmalıdır. Yakıt veya rekorlar renk değiştirmeye meyleder ve tortu meydana gelerek filtreye ulaşır. Zarar görmüş parçalar çelik veya alüminyum olanı ile değiştirilmelidir. Alüminyum, karbon çeliği, florlanmış poliüretan, florlanmış polipropilen, teflon ve fiberglas tanklarda bir soruna rastlanmamaktadır (Tyson, 2001). Biyodizel ile bazı malzemelerle uyuşabilirliği verilmiştir (Çizelge 4.16).

Biyodizelin dizel yakıtı alternatifi olarak kullanılması durumunda çeşitli metal, kauçuk ve plastik parçalar üzerindeki korozif etkisi de bazı araştırmacılarca incelenmiştir. ABD - Pretoria Üniversitesi'nde, ayçiçeği ester ürünlerinin muhtelif maddeler üzerindeki korozif etkisinin



araştırıldığı bir çalışmada çelik, pik demir, alüminyum, pirinç, bakır, galvanize çelik ve paslanmaz çelik gibi metallerdeki korozyona bağlı kütle kaybının 1 mikrometre/yıl olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, püskürtme pompası ve kontrol bağlantıları üzerinde yapılan incelemelerde de korozyona ait hiçbir belirtiye rastlanmadığı bildirilmektedir.

Ayçiçeği yağı metil esteriyile gerçekleştirilen bir başka motor performansı çalışması sonunda metal parçalarda korozyona rastlanmadığı ancak tüm plastik aksamın sertleşme eğilimi ve mukavemette düşme gösterdiği bildirilmektedir. Ester yakıtın tüm kauçuk parçalarda tahrip edici özellik gösterdiği, Viton A kauçuğun konstrüksiyon açısından en uygun kauçuk olduğu belirtilmektedir. Ester yakıtların uzun süreli temas sonucunda, boyalar üzerinde çözücü etkisi yaptığı, bunun göz önünde tutularak gerekli aksama dayanıklı boya uygulamasının yararlı olacağı vurgulanmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Çizelge 4.16 Biyodizel ile malzemelerin uyuşabilirliği (Tyson, 2001)

Malzeme	Biyodizelin % Karışım Oranı	Etkinin Dizel Yakıtı ile Karşılaştırılması
Teflon	B100	Çok az değişme
Naylon 6/6	B100	Çok az değişme
Nitril	B100	% 20 sertleşmede azalma, % 18 şişme artışı
Viton A401-C	B100	Çok az değişme
Viton GFLT	B100	Çok az değişme
Flurosilikon	B100	Sertlikte çok az değişme, % 7 şişme artışı
Poliüretan	B100	Sertlikte çok az değişme, % 6 şişme artışı
Polipropilen	B100	% 10 sertlikte azalma % 8 - 15 şişme artışı
Polivinly	B100	Çok kötü
	B50	Kötü
	B40	Kötü
	B30	Kötü
	B20	Benzer
	B10	Benzer
Tygon	B100	Kötü

#### 4.4.29 Biyodizelin Çevreye Etkileri

Biyodizel en çok kullanılan çevreci, alternatif dizel yakıttır. Çevre ile uyumludur. Çünkü çok kısa sürede doğada %99.6'ya varan oranlarda biyolojik olarak parçalanabilen bir yakıttır. Çizelge 4.17.'de B100 ve B20 emisyonlarının motorin emisyonları ile karşılaştırılması verilmektedir. Biyodizel ve motorin-biyodizel karışımı kullanımı ile CO, PM, HF, SO<sub>x</sub> ve CH<sub>4</sub> emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub>, HCl ve HC emisyonlarında ise artma görülmektedir.

Biyodizel, biyolojik karbon döngüsü içinde fotosentez ile karbondioksiti dönüştürür, karbon döngüsünü hızlandırır, ayrıca sera etkisini artırıcı yönde etkisi yoktur. Temel olarak sülfürsüz olduğundan asit yağmurlarına neden olmaz (Ölçüm, 2006).

HCl ve HF emisyonları motorin ve biyodizel için oldukça düşük seviyede ve kömür emisyonlarından çok daha düşük değerde olup, çevre için asit tehlikesi oluşturmazlar. Biyodizelin HC emisyonu, motorinkinden yüksektir. Bu değer biyodizelin üretim süreç aşamalarından (yağlı tohumun ziraatı ve işlenmesi) kaynaklanmaktadır. Ancak biyodizel, motorinden daha düşük HC egzoz gazı emisyonu vermektedir. Egzoz gazı emisyonu yönünden incelendiğinde CO, HC, SO<sub>x</sub>, PM emisyonlarının motorinden daha az, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise fazla olduğu görülmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonu katalitik konvertör kullanımı ile azaltılabilir.

Çizelge 4.17 Biyodizel emisyonlarının motorin emisyonlarından %'de farkı

<b>Emisyonlar</b>	<b>B20</b>	<b>B100</b>
CO: Karbonmonoksit	% - 6.90	% - 34.50
PM: Partikül Madde	% - 6.48	% - 32.41
HF: Hidroflorik Asit	% - 3.10	% - 15.51
SO <sub>x</sub> : Kükürt Oksitler	% - 1.61	% - 8.03
CH <sub>4</sub> : Metan	% - 0.5 1	% - 2.57
NO <sub>x</sub> : Azot Oksitler	% 2.67	% 13.35
HCl: Hidroklorik Asit	%2. 71	% 13.54
HC: Hidrokarbonlar	% 7.19	% 35.96

Biyodizelin 2 no'lu dizele göre HC'nin azalmasında değerli yararları vardır. Soya kökenli B20'de 2 no'lu dizelden % 21,1 daha az HC yayılır. EPA'NIN raporu gösteriyor ki; değişik biyodizel tiplerinin (kolza, soya ve hayvansal kökenli) arasında HC emisyonlarının yüzdesel azalmasında önemli değişiklik bir yoktur. B20 (soya kökenli) biyodizel ürünlerinde 2 no'lu dizel yakıtından % 11 daha az CO vardır. Bu yöneliş temel biyodizel tiplerine göre (kolza, soya ve hayvansal) benzerdir.

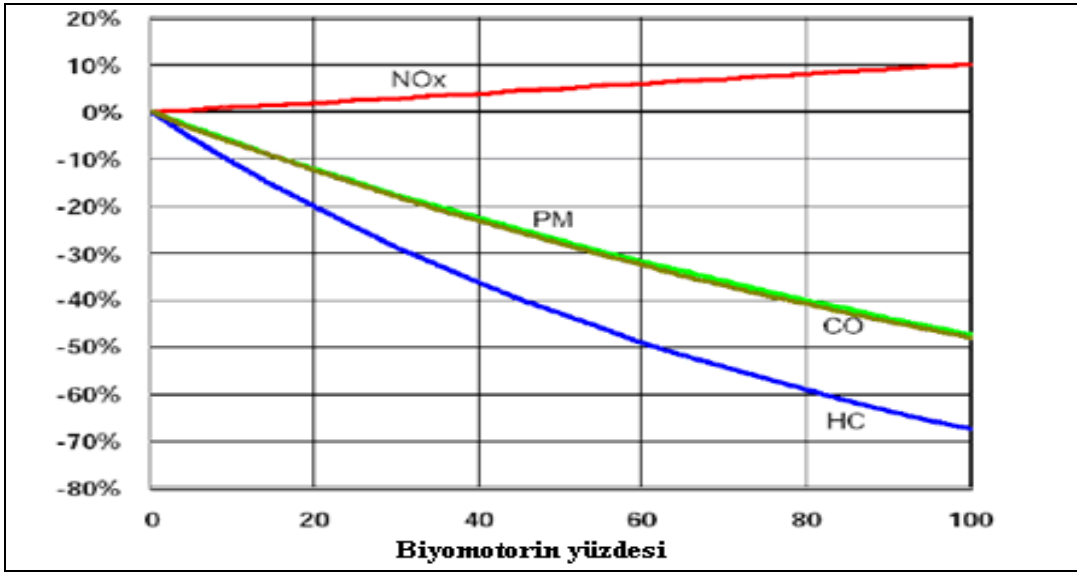
Biyodizelin emisyon değerleri dizelin emisyon değerlerinden daha düşüktür ve bu değerler dizelle kıyaslandığında; Azot oksit emisyonu (NO<sub>x</sub>) aracın yaşına ve motorun devir sayısına bağlı olarak % 10-18 azalır ya da artar.

- Hidrokarbon ( HC) % 36,73 daha azdır.
- Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu % 80 daha azdır.
- Karbon monoksit (CO) emisyonu % 46,23 daha azdır.

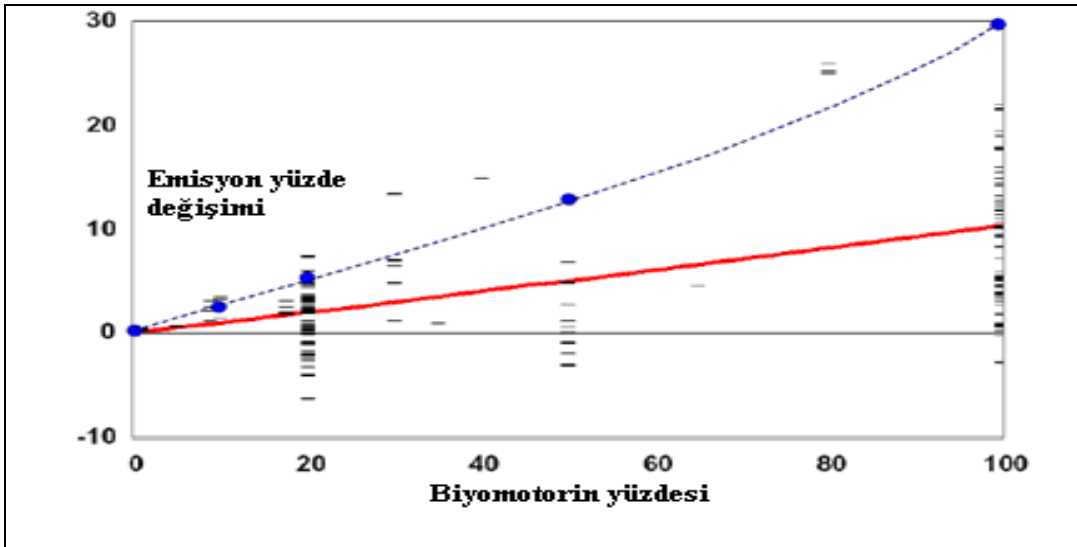
- Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonu % 100 daha azdır.
- Partikül madde (PM) % 68 daha azdır.
- Toksik karakter gösteren PAH % 80, nPAH ise % 90 daha azdır.

EPA analizlerine göre NO<sub>x</sub> emisyonunda B5 kullanımında değişiklik görülmezken, B20'de % 2, B100'de ise % 10 artma görülmüştür. Partikül maddede B5'te % 5, B20'de % 12, B100'de ise % 48 azalma görülür. Biyodizel yüzdeleri arası emisyon farkları gösterilmiştir (Şekil 4.8).

Ayrıca motorun eski veya yeni oluşuna göre de NO<sub>x</sub> emisyonunda değişiklikler Şekil 4.9.'da görülmektedir. Tipik eski motorlarda B 20'de % 2 artış, B100'de ise % 10 artış görülürken, yeni motorlarda ise B 20'de % 4 artış, B100'de ise % 30 artış görülür. Bu durum aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 4.8 Biyodizel yüzdeleri arası emisyon farkları (Tyson, 2004)



Şekil 4.9 Eski veya yeni motorlarda göre de NO<sub>x</sub> emisyonunda değişiklikler (Acaroğlu, 2007)

#### 4.5 Biyodizel Üretimi ve Prosesleri

Bitkisel yağların enerji içerikleri, petrol kökenli dizel yakıtları ile hemen hemen aynı düzeydedir. Ancak dizel yakıtına göre 10-20 kat daha fazla sahip oldukları yüksek viskozite nedeniyle; enjektörlerde tıkanma, yağlama yağı problemleri ve motor ömrünün kısılması ana sorunları ile belirtilebilecek pek çok olumsuzluklara neden olmaktadır.

Bitkisel yağların direkt püskürtmeli dizel motorlarında uzun süreli kullanımları imkânsız olup, sadece rafine yağların ön yanma odalı dizel motorlarında bazı sınırlamalar ile değerlendirilmesi mümkündür. Bütün bu olumsuz faktörler, motor bakım masraflarını arttırıcı ve motorun ömrünü kısaltıcı yönde etki etmektedir.

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır.

Bitkisel yağlar, hayvansal yağlar veya her ikisinin karışımını biyoyakıt olarak aracınızda kullanmak için en az üç seçenek mevcuttur. Bu seçenekler kullanılmış veya kullanılmamış yağların her ikisine de uygulanabilmektedirler.

- Bitkisel yağların araçlarda yakıt olarak direk kullanılması (Dünya çapında bu kullanım sistemleri SVO (Straight Vegetable Oil ) sistemleri olarak bilinmektedir.
- Parafin, dizel veya biyodizel ile karıştırılarak kullanılması.
- Biyodizel üretilmesidir.

Günümüzde ise temel olarak dört biyodizel üretim prosesi mevcuttur. Bunlar;

1. Kimyasal Transesterifikasyon,
  - Homojen katalizör (asidik, bazik),
  - Heterojen katalizör (asidik, bazik),
2. Enzim kullanılarak üretim,
3. Süper kritik akışkan yöntemi prosesleridir.

Bunların içerisinde ticari olarak en yaygın kullanılanı homojen alkali kataliz prosesidir. Aşağıda belirtilen özellikleri nedeniyle, Türkiye'de mevcut tesislerin hemen hemen hepsi homojen alkali kataliz yöntemini kullanmaktadır:

- Teknolojinin kolaylığı,
- Prosesin maliyetinin ucuz olması,
- Yüksek metil ester dönüşüm oranları.

Dünyada söz konusu prosesi kullanarak biyodizel üreten proseslerden biri de Lurgi

Prosesi'dir.

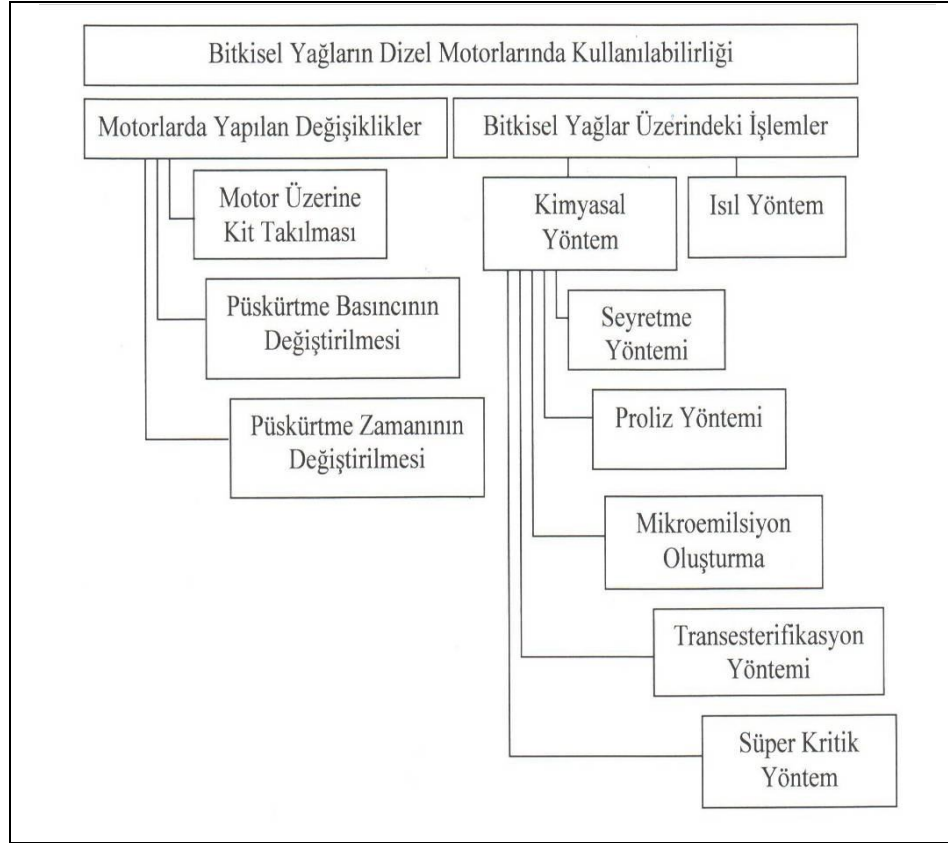
Bunun yanında biyokütleden gerek biyodizel gerekse sıvı yakıt üretiminde seyreltme, mikroemülsiyon (Co-solvent prosesi) oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon, süper kritik akışkan yöntemlerinin yanında, Fischer Tropsch prosesi, Henkel prosesi, ultrasonik transesterifikasyon prosesi, Conneman prosesi, Lewatit® İyon Değiştirici prosesi çoğunlukla kullanılan proseslerdir.

#### 4.5.1 Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bu çalışmalardan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi diğeri motor konstrüksiyonunun değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların ağırlığını bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağların, ön ısıtma ile sıcaklığının yükseltilmesi, viskozitenin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak bu yöntemin özellikle hareketli bir araç motorunda uygulama zorluğu bulunmaktadır.

Bitkisel atık yağların dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi için petrol kökenli dizel yakıtı olan motorinin kimyasal özelliklerine sahip bir özellikte bir yakıtı dönüştürülmesi gerekir.

Yakıtın aynı çaptaki enjektör deliğinden daha yüksek basınçla püskürtülmesi, pülverizasyon taneciklerini küçülttüğünden ve viskozite yüksekliğinin sebep olduğu kötü püskürtme karakteristiklerini kısmen iyileştirdiğinden, motorun standart püskürtme basıncının artırılması performans ve emisyon değerlerini iyileştirir. Püskürtme avansı arttırıldığında, yakıt püskürtülmeye başlandığında silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç daha düşük olacağından tutuşma gecikmesi süresi artar. Eğer azaltılırsa, yakıt püskürtülmeye başlandığında silindir içerisindeki sıcaklık ve basınç daha yüksek olacaktır. Dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresi kısalmaktadır. Bitkisel yağların özellikleri dikkate alındığında, motorun çalışma şartlarına göre motorine göre ayarlanmış püskürtme avansının azaltılması ile bitkisel yağların yanmasından daha iyi verim alınacağı söylenilebilir. Şekil 4.10'de bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilme metotları gösterilmektedir (Tyson, 2003).



Şekil 4.10 Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilme metotları

#### 4.5.1.1 İnceltme (seyreltme)

İnceltme yöntemi, bitkisel yağların çeşitli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak inceltmesi işlemidir. Böylece viskozite değeri belli oranlarda düşürülmektedir. Karışım oranı, karışım halindeki yakıtın özelliklerinin standartlar içinde kalmasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır (Demirbaş, 2003).

Yapılan araştırmalarda motorin içerisindeki bitkisel yağ oranının %25'e kadar olması durumunda, motor performans değerlerinde önemli bir değişikliğin olmadığı belirlenmiştir. Bazı ülkelerde B20 adı ile satışı yapılan motor yakıtının bileşimi de, motorin içerisine %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen yakıtın, dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin dizel yakıtına yakın olduğu belirtilmektedir (Ulusoy ve Alibaş, 1999).

Seyreltme tekniği uygulamalarında en çok tercih edilen bitkisel yağlara örnek olarak; ayçiçek yağı, soya yağı, aspir yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı, palm yağı ve kullanılmış kızartma atık yağları sayılabilir. Bu yağların yüksek viskozitelerinin yanı sıra kimyasal bileşimleri de yakıt olarak değerlendirilmelerinde sorun yaratabilir. Yağı oluşturan yağ asitlerinin doymamışlık dereceleri yanma olayını doğrudan etkiler. Doymamışlık derecesine bağlı olarak, yanma

sonucunda bazı kompleks oksidatif ısıl polimerizasyon reaksiyonları ile gamlar oluşabilmektedir. Böylece püskürtme memelerinde karbon birikimleri olmakta, püskürtme bozulmakta, yağlama yağının viskozitesi artarak niteliğini değiştirmektedir.

Kaufman vd. (1986)'da yaptığı bir çalışmada, hacim olarak %25 ayçiçek yağı, %75 dizel yakıtından oluşan karışımın 40<sup>0</sup>C'deki viskozitesi 4,88 mm<sup>2</sup>/s olarak bulunmuştur. ASTM standartlarında dizel yakıtı için belirlenen üst sınır değeri 40 <sup>0</sup>C için 4,0 mm<sup>2</sup>/s'dir. Bu nedenle hacim olarak %25 ayçiçek yağı %75 dizel yakıtı karışımının direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı belirlenmiştir.

Hacim olarak %75 dizel yakıtı %25 yüksek oleik asitli aspir yağı karışımının viskozitesi ise 40 <sup>0</sup>C'de 4,92 mm<sup>2</sup> /s olarak tespit edilmiştir. Aspir yağının daha az doymamışlık içermesi bu karışımı, ayçiçek yağıyla oluşturulan karışıma üstün kılmaktadır (Kaplan, 2001).

Bu yöndeki bir başka çalışmada kolza yağı ağırlıkça %10 oranında dizel yakıtına katılmış ve bu yağın dizel yakıtı özelliklerinde önemli değişimlere yol açmadığı gözlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuvar çalışmalarından olumlu sonuçlar alınmış, ayrıca egzoz gazında bazı iyileşmelerin olduğu belirtilmiştir (Çildir, 2003).

#### 4.5.1.2 Mikroemülsiyon

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkoller ile mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir (Acaroğlu, 2007). Mikroemülsiyon, boyutlan 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikroyapılarının kolloidal denge dağılımı olup normalde karımayan iki sıvı ve bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir. Ancak konuyla ilgili yapılan araştırmalardan da anlaşılacağı gibi kullanılacak yağ, alkol, amfifilin sisteminde faz dengelerinin, karışabilme limitleri ve diğer fiziksel karakteristiklerin geniş ölçüde incelenmesi gerekmektedir.

Bu işlemde, alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle mikroemülsiyonun da setan sayısı düşük olur. Aynı zamanda, karışım düşük sıcaklıklarda ayrışma eğilimi gösterir. Bu iki durum yöntemin sakıncaları olarak görülmektedir (Erdoğan, 1991).

Tepkime sırasında düşük kaynama noktalı bileşenlerin buharlaşarak patlamasıyla spreyn karakteristikleri iyileşir. Bütanol, hegzanol ve oktanol ile gerçekleştirilen bütün mikroemülsiyonlarda, dizel yakıtları için uygun en düşük viskoziteler elde edilir. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir (Kaplan, 2001).

#### 4.5.1.3 Piroliz

Piroliz, gaz, sıvı ve katı ürün üretmek amacıyla oksijensiz ortamda organik maddelerin ısıyla bozulması ve kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların piroliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptan parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısıyla parçalanma etkisinde tutmaktır.

Piroliz, bitkisel yağların oksijen varlığında ısı etkisiyle alkanlar, alkenler, alkadienler, karboksilik asitler, aromatik bileşikler ve az miktarda gaz bileşik vermek suretiyle termal olarak bozunmasıdır (Demirbaş, 2003). Bu yöntemin esası, bitkisel ve hayvansal yağların termal bozulmasıyla, fosil kaynaklı dizel yakıtlarda bulunan olefin ve parafin türü bileşiklerin elde edilmesidir. Farklı tipteki bitkisel yağlardan termal bozulma ile çok sayıda ürün meydana gelir.

#### 4.5.1.4 Transesterifikasyon

Bitkisel yağların dizel yakıtı alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğeri adıyla alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol katalizöründe gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Tek bir bitkisel yağ molekülü, bir gliserin molekülüne tutunmuş üç esterden oluşmaktadır. Bu nedenle bitkisel yağlar aynı zamanda trigliserid olarak, buradaki “tri”nin üç esteri ve gliseridin gliserini ifade etmesinden dolayı da gliserol ester olarak da adlandırılabilir.

#### 4.5.1.5 Süper Kritik Yöntem

Son yıllarda teknolojik gelişmelere bağlı olarak geliştirilen “Süper Kritik” yöntem olarak bilinen yöntemde, metanol 80 atm'den daha yüksek basınçta ve 350 °C- 400 °C aralığında sıcaklığa ısıtılarak süper kritik hale ulaşması sağlanmakta ve 240 saniye gibi kısa bir sürede ve katalizör kullanımına gerek kalmadan transesterifikasyon prosesi gerçekleştirilmektedir.

Biyodizel üretiminde transesterifikasyon, süper kritik akışkan yöntemi ve diğeri uygulanan yöntemler daha ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

Zhou (2000), tarafından tüm bu yöntemler ile yapılan çalışmalar tamamlanmış ve birbirleri ile karşılaştırılarak verilmiştir (Çizelge 4.18). EMA (Engine Manufacturers Association) Motor İmalatçıları Birliği tarafından belirtilen test yöntemleri test edilmiştir. Transesterifikasyon yönteminde soya metil esterleri kullanılmıştır. Seyreltme metodunda %50 bitkisel yağ - %50



dizel yakıtı kullanılmıştır. Mikroemülsiyon oluşturma yönteminde, %52.7 yağ, %13.3 metanol, %2 oktanol, %1 setan kullanılmıştır. Çizelge 4.18'de bitkisel yağların yakıt elde etme yöntemleri içerisinde en iyi yöntemin transesterifikasyon olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.18 Bitkisel yağların yakıt olarak kullanma yöntemlerinin karşılaştırılması (Zhou, 2000)

Test Özelliği	ASTM	Dizel	Biyodizel Elde Etme Yöntemleri			
			Transesterifikasyon	Seyretme	Mikroemülsiyon	Piroliz
Viskozite	D 445	2.39	4.08	4.88	11.2	10.2
Setan Sayısı	D 613	45.8	46.2	-	-	43
Bulutlanma Noktası (°C)	D 2500	-19	2	-	-	-
Akma Noktası	D 97	-23	1	-	-	2
Motor Testi	200h EMA	Başarılı	Başarılı	Başarılı	Başarılı	-

#### 4.5.2 Biyodizel Üretimi

Dizel motorlarında kullanılmak üzere bitkisel ya da hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen, uzun zincirli yağ asitlerinin mono alkil esterleri biyodizel olarak tanımlanır. Bitkisel yağlardan biyodizel elde edilmesi konusundaki çalışmaların çoğunluğunu, yüksek viskozitenin azaltılması oluşturmaktadır. Transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretimi iyi bilinen bir yöntemdir

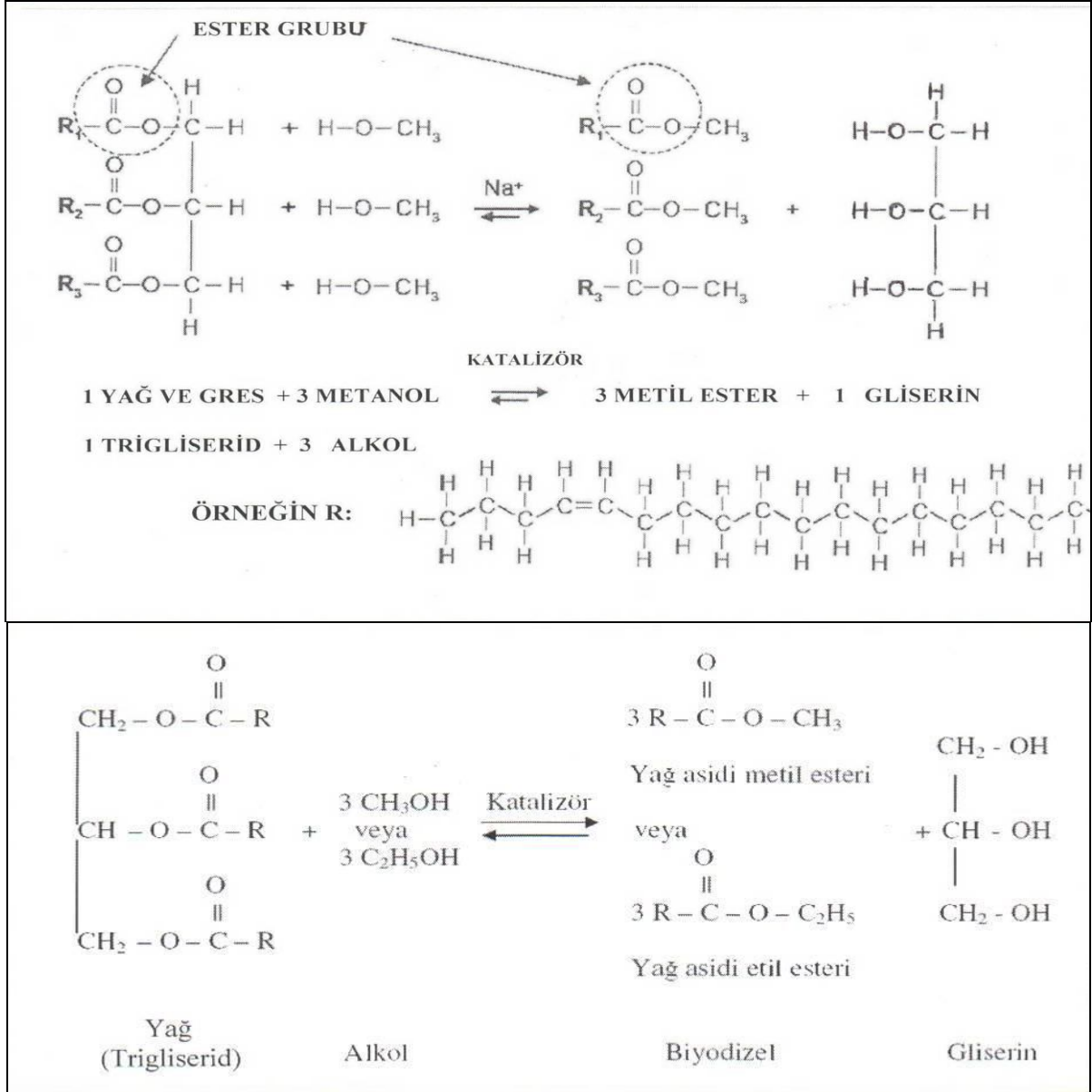
##### 4.5.2.1 Transesterifikasyon

Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, mono hidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak palm, kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir. Hayvansal yağlar da biyodizel üretiminde kullanılabilir.

Transesterifikasyon yöntemi bir tür esterın başka bir tür estere dönüştürülmesi işlemidir. Ester başka bir molekül ile bağ yapabilen hidrokarbon zinciridir. Yağ molekülü bir gliserine tutunmuş üç ester molekülünden oluşur. Bitkisel yağ molekülünün %20'si gliserindir. Yağın bünyesinde bulunan bu gliserin, yağı kalınlaştıran ve yapışkan olmasına neden olan bir yapıya sahiptir. Transesterifikasyon esnasında, bitkisel yağın bünyesinde bulunan bu gliserin uzaklaştırılarak, yağın incilmesi ve özelliklerinin dizel yakıtına yakınlaştırılması sağlanır.

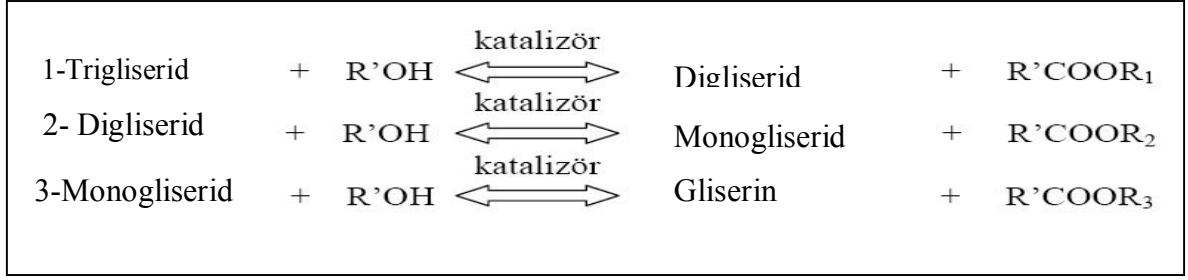
Yağdan ayrıştırılan gliserinin yerini alkol radikalleri almakta, yani üç ester molekülü gliserinden ayrıştırılıp, alkol radikalleri ile bileşik oluşturmaktadır.

Şekil 4.11’de biyodizelin kimyasal üretim prosesi ve Şekil 4.12’de biyodizelin tersinir reaksiyon basamakları sunulmuştur. Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır. Biyodizel %99 değeri üzerinde saf üretilmelidir.



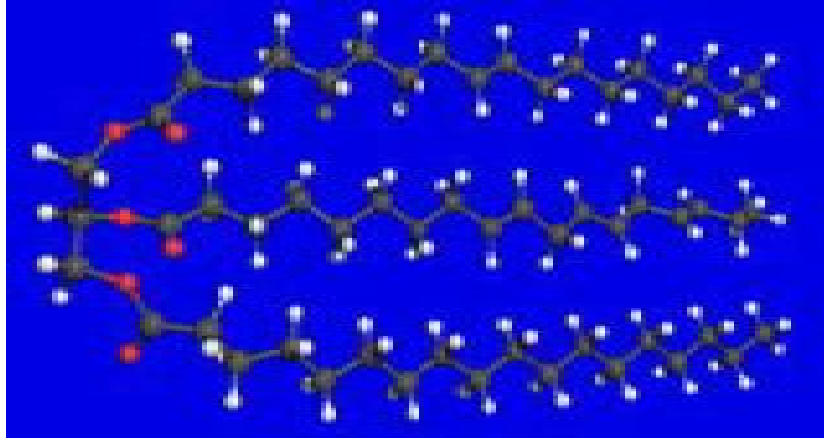
Şekil 4.11 Biyodizel üretimi kimyasal reaksiyonu [5]

Transesterifikasyon reaksiyonu viskozitenin düşürülmesindeki en etkili yöntemdir. Örneğin; hint yağında yapılan bir transesterifikasyon işleminde, ham hint yağının viskozitesi 100 °F’ta 1100 Redwood-saniye iken, transesterifikasyon işleminden sonra bu değer aynı sıcaklıkta 74 Redwood-saniye’ye düşmüştür (Acaroğlu, 2003).



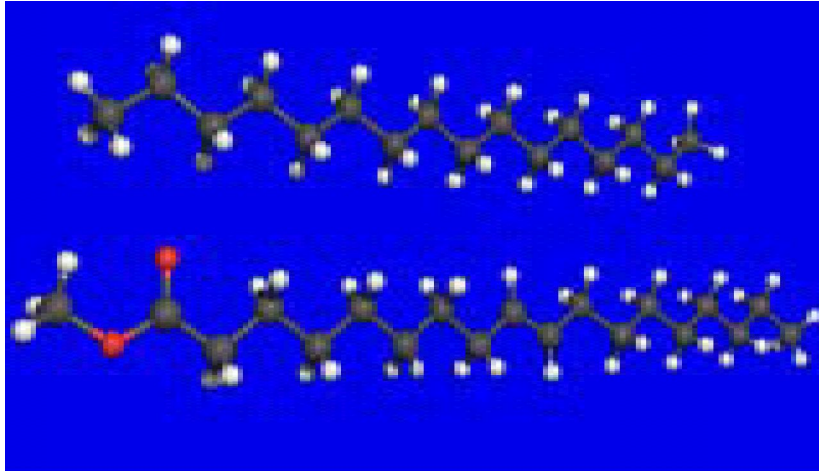
Şekil 4.12 Biyodizel üretimi tersinir reaksiyon basamakları

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> karbon ve hidrojen atomlarının uzun zincirleridir. Yağ asidi (alkil grupları) olarak da adlandırılır. Yağ Molekülünü parçalamış olan SYA (Serbest yağ asidi), zinciri Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Yağ molekülü (trigliserid) yapısı

Şekil 4.14 Serbest gliserin ve üç biyodizel molekülü zincir yapısı verilmiştir.



Şekil 4.14 Yağ Molekülünü parçalamış olan SYA zinciri

Bir SYA + Bir Metanol = Bir Biyodizel olarak hesaplanır. Şekil 4.15'da Serbest gliserin ve üç biyodizel molekülü verilmiştir.



Şekil 4.15 Serbest gliserin ve üç biyodizel molekülü

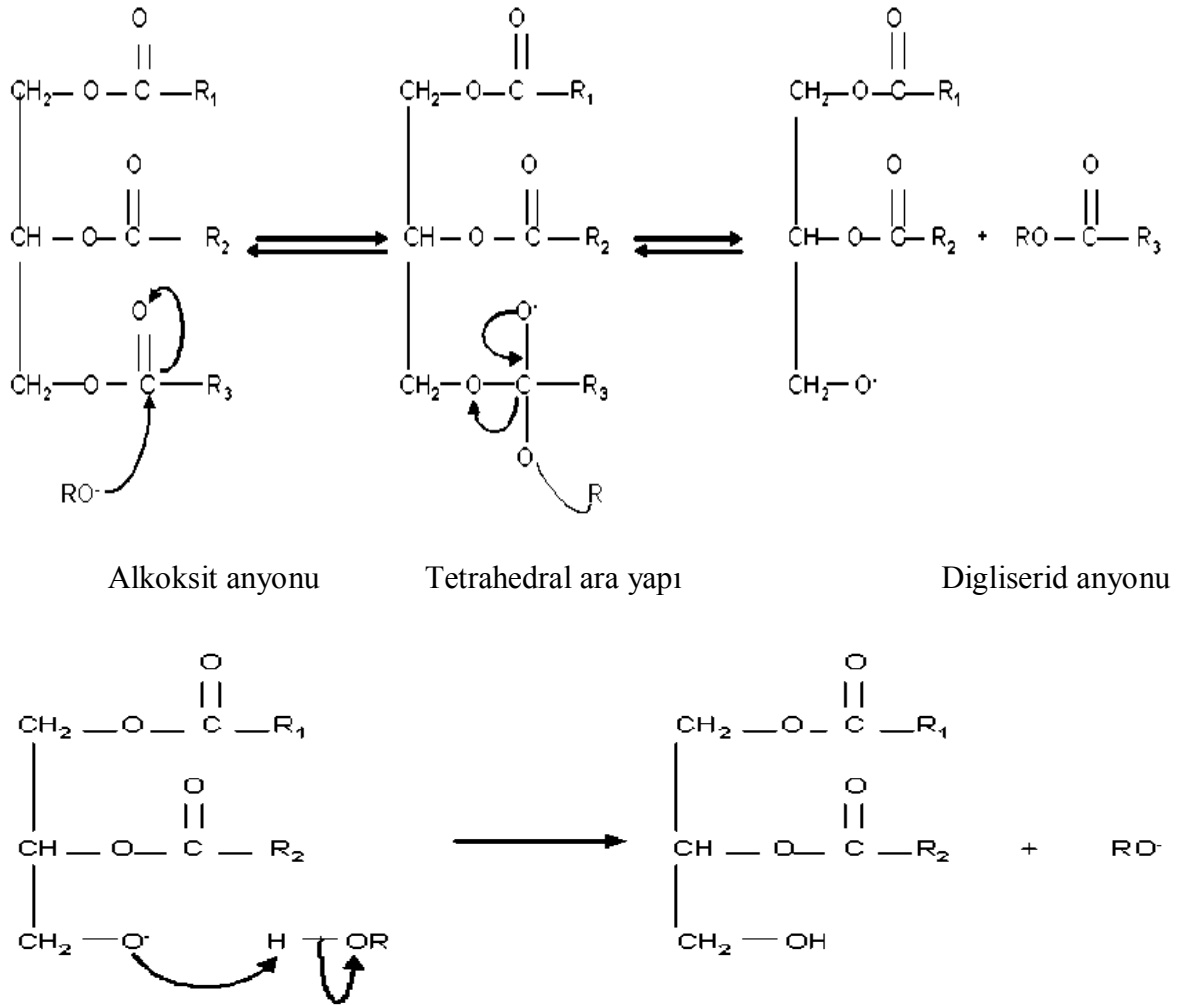
Esterleşme işlemi son zamanlarda araştırmalarda üzerinde en çok durulan metottur. İlk esterleşme prosesini Haller ve Youssoufin (Kann vd., 2002), hindistan cevizi yağını esterleştirmek suretiyle gerçekleştirmiştir. Bunlar %2 hidrojen klorür katalizörlü metanol ile hindistan cevizi yağın esterleştirerek, yağ asidi metil esterlerinin (oleik asit, palmitik asit vb gibi) bir karışımını elde etmişlerdir.

Reaksiyonda kullanılacak alkoller; metil alkol, etil alkol, propanol ve butanol gibi kısa zincirli alkollerdir. Bununla birlikte, bu alkoller arasında pratikte en sık kullanılanları metil ve etil alkoldür. Etil alkol, tarımsal ürünlerden elde edilebilen yenilenebilir bir kaynak ve ekolojik denge içerisinde biyolojik olarak daha kabul edilebilir olması nedeni ile metil alkole karşı daha avantajlı olmasına rağmen, metil alkolün daha ucuz olması ve daha kısa alkol zincirlerine sahip olması gibi kimyasal ve fiziksel avantajları vardır. Reaksiyonda alkali, asidik ve enzimatik katalizörler kullanılabilir. Katalizörün buradaki görevi, reaksiyon hızını ve verimini arttırmaktır (Fukuda vd., 2001). Transesterifikasyon reaksiyonu, bitkisel yağların viskozitesini ısıl değerini etkilemeden düşürür. Böylece yakıt atomizasyonu, yanma ve emülsiyon özellikleri için, motorda ham yağ kullanıldığında elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edilir. Bu yöntemle, bitkisel kökenli yağların viskozitelerinin yaklaşık 70 mm<sup>2</sup>/s'den, dizel yakıt eşdeğeri 4.5 mm<sup>2</sup>/s'ye indirilebilmesi mümkün olmaktadır (Acaroğlu, 2003).

#### 4.5.2.1.1 Bazik Katalizör Kullanımıyla Biyodizel Üretimi

Trigliseridlerin ester değişim reaksiyonu ardışık üç denge reaksiyonundan oluşur. Triglicerid molekülü adım adım digliserid, monogliserid ve son olarak da gliserine parçalanır. Reaksiyonun her basamağında bir mol ester açığa çıkar. Alkali katalizörlü ester değişiminin reaksiyon mekanizması üç adımda açıklanır. İlk adımda, alkolün bazik katalizörle

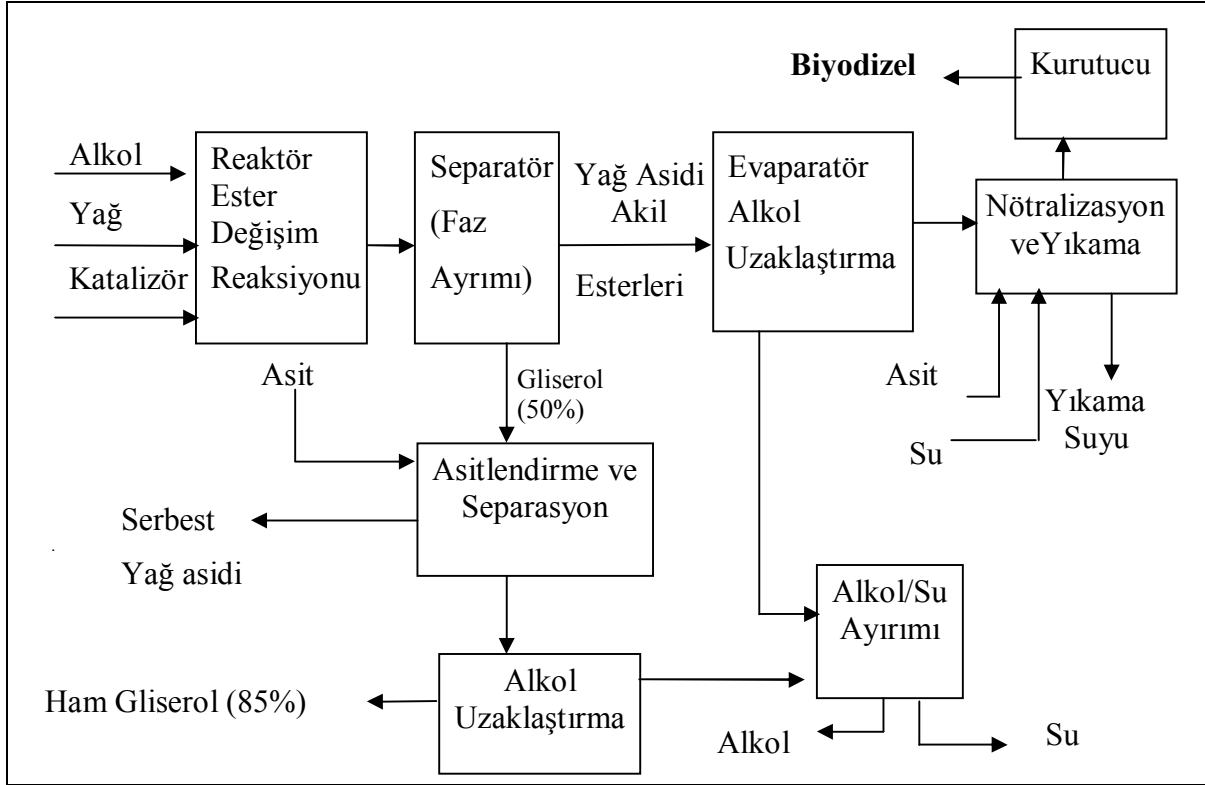
muamelesinden meydana gelen alkoksit anyonu, tetrahedral bir ara yapı meydana getirmek üzere karbonil karbonuna bağlanır. İkinci adımda, tetrahedral ara yapıda meydana gelen düzenlemeyle yağ asidi alkil esterleri ve digliserid anyonu meydana gelir. Son adımda, digliserid anyonu alkolle digliserid ve alkoksit anyonu vermek üzere reaksiyona girer. Reaksiyon digliserid üzerinden aynı mekanizmayla devam eder. Sonuçta, yağ asidi alkil esterleri ve gliserin açığa çıkar. Şekil 4.16'de iç ester değişim reaksiyonunun mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 4.16 Bazik katalizli iç ester değişim reaksiyonu (Akçay, 2006)

Alkol, bazik katalizör ve yağ reaktöre yerleştirilir. Uygun sıcaklık ve karışma etkinliği sağlanarak ester değişim reaksiyonu yürütülür. Reaksiyon gerçekleştikten sonra, gliserol ve yağ asidi alkil esterleri separatorde birbirinden ayrılır yani faz ayrımı gerçekleşir. Gliserolün esterlerdeki düşük çözünürlüğü nedeniyle bu ayırma genelde çok hızlı gerçekleşir. Ayırma, ya çöktürme tankında ya da santrifüjle yapılır. Faz ayrımı gerçekleştikten sonra gliserolden ayrılan alkil esterleri, nötralizasyon ünitesine gönderilir ve suyla yıkama işleminden önce alkol evaporatörde buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Biyodizele yani ester fazına, arta kalan

katalizörü nötralize etmek ve reaksiyon boyunca oluşabilecek sabunu parçalamak için asit eklenir. Sabun, suda çözünür tuzlar ve serbest yağ asitleri oluşturmak için asitle etkileşir. Tuzlar, suyla yıkama basamağında ayrılırken serbest yağ asitleri biyodizelde kalır. Şekil 4.17’de bazik katalizli iç ester değişimi reaksiyonunun genel proses şeması görülmektedir.



Şekil 4.17 Bazik katalizli iç ester değişimi reaksiyonuna ait genel proses (Knothe vd., 2005)

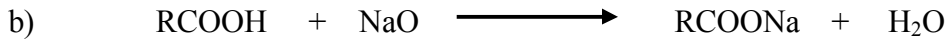
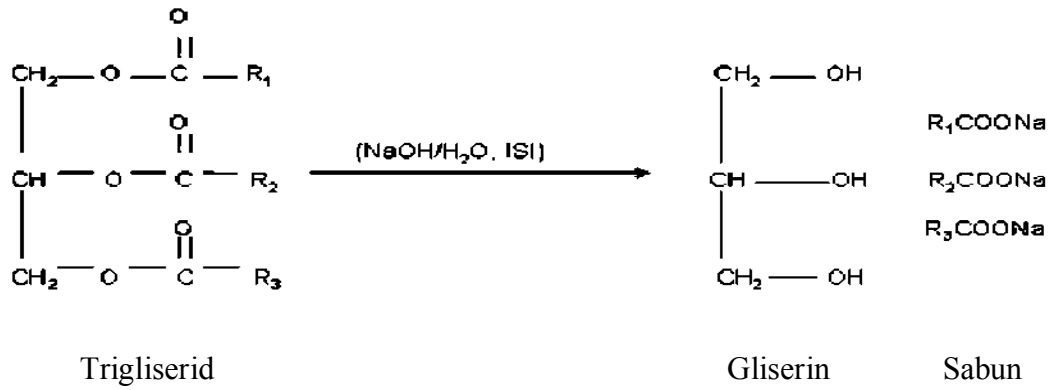
Suyla yıkama basamağı, biyodizelden arta kalan katalizör, sabun, tuzlar, alkol ya da gliserolu ayırmak için düşünülmüştür. Yıkamadan önceki nötralizasyon işlemi ise, su gereksinimini azaltır ve biyodizele yıkama suyu eklendiğinde oluşabilecek emülsiyonlar için potansiyeli mümkün olduğu kadar azaltır. Yıkama işleminden sonra kalan su, vakum flaş işlemiyle (kurutucu) biyodizelden ayrılır. Separatörden ayrılan gliserol akımı yalnızca %50 oranında gliserol içerir. Akım; aşırı alkolü, katalizörün çoğunu ve sabunu içerir. Bu nedenle de saflaştırılması gereklidir. Gliserolün saflaştırılmasında ilk işlem, sabunların serbest yağ asitlerine ve tuzlara dönüşümü için parçalandığı asit ekleme işlemidir. Asit eklendikten sonra oluşan serbest yağ asitleri gliserolde çözünmez ve ortamdan ayrılır. Geri kalan gliserol, alkol buharlaştırma işlemine tabi tutulur ve %85’lik ham gliserol elde edilir (Fukuda vd., 2001; Gerpen, 2005).

Bu metodun en büyük iki dezavantajı, kullanılan katalizörlerin reaksiyon sonunda ortamdan uzaklaştırılmalarının gerekli olması ve reaksiyonun çok uzun zaman almasıdır. Bazik

katalizör yardımıyla biyodizel üretiminde transesterifikasyon reaksiyonunu etkileyen bazı faktörler vardır. Bu faktörler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

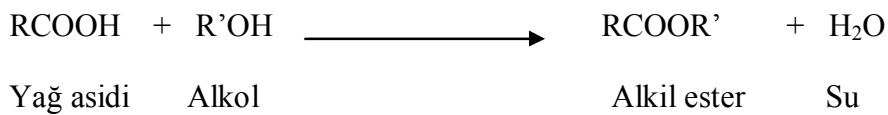
**Serbest yağ asidi ve nemin etkisi:** Nem ve serbest yağ asidi (SYA) içeriği transesterifikasyon reaksiyonunu etkileyen en temel kriterlerdir. Bazik katalizörlü reaksiyonda, SYA miktarı %4'ün altında olmalıdır. Yağın asitliğinin yüksek oluşu katalizörün tükenmesine sebep olacağından dönüşüm verimi azalır. Bazik katalizör miktarının aşırı olması sabunlaşmaya yol açtığı gibi yetersiz miktardaki bazik katalizör de sabunlaşmaya yol açabilir (Meher vd., 2006). Şekil 4.18'de trigliseridlerin ve yağ asidinin bazik katalizörlü ortamda sabunlaşma reaksiyonları gösterilmiştir.

a)



Şekil 4.18 (a) Trigliserid molekülünün ve (b) Yağ asidinin sabunlaşma reaksiyonu

SYA seviyesi %4'ün üzerinde olduğunda sabun, esterler ve gliserolün ayrılmasını engelleyerek yıkama boyunca emülsiyon oluşumuna neden olur. Bu gibi durumlarda, serbest yağ asidinin esterleşerek alkil esterlere dönüşebilmesi için aşağıdaki reaksiyonda gösterildiği gibi bir asit katalizörü kullanılabilir.



Bu yöntem yüksek serbest yağ asidi içeren besleme stoklarında SYA seviyesini düşürmek için ön işlem olarak kullanılmaktadır (Gerpen, 2005).

Bazik katalizörlü sistemlerde başlangıç maddelerinin belirli özelliklere sahip olması gerekir. Trigliseridlerin susuz ve düşük asit değerine sahip olmalıdır. Reaksiyonu katalizlemek için gerekli olan katalizörün ilavesi, ortamdaki yağ asitlerini nötralize ederek asitliği düşürebilir, fakat sabunlaşma viskozitenin artmasına ve jelleşme meydana gelmesine yol açar. Bu durum

reaksiyon verimini etkilediği gibi reaksiyon sonunda oluşan gliserinin ayrılmasını da zorlaştırır. Kullanılacak katalizör susuz ortamlarda muhafaza edilmelidir. Katalizörlerin hava ile uzun süre teması havadaki karbondioksit ve nemden etkilenmeleri sebebiyle katalizlenme etkinliklerini azaltır (Meher vd., 2006).

**Katalizör tipi ve konsantrasyonu:** Bazik katalizörlü sistemlerde en yaygın olarak kullanılan katalizörler sodyum hidroksit (NaOH), potasyum hidroksit (KOH) ve bu bileşiklerin metoksitleridir. Bu metoksitlerin yanında bazı toprak alkali metal bileşikleri de katalizör olarak kullanılabilir. Sodyum ve potasyum metoksit, yağın %0,4-2'si arasında değişen oranlarda kullanılır. Rafine ve ham yağda, hem sodyum hem de potasyum hidroksitin %1 oranında kullanımıyla oldukça başarılı analizler gerçekleştirilebilir (Meher vd., 2006).

**Alkol tipi ve miktarı:** Genellikle transesterifikasyon reaksiyonunda metil, etil, propanol ve bütanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılır. Bu alkoller arasında kinetik ve reaksiyon sonu ürünler açısından bazı farklılıklar vardır. Transesterifikasyon reaksiyonlarında genel olarak 1-8 karbon arası primer ve sekonder alifatik alkoller kullanılır. Bu alkollerden en sık kullanılanları metil ve etil alkollerdir. Özellikle metanol, diğer alkollere göre daha polar olması, küçük bir molekül olması, sodyum hidroksit içinde kolay çözünmesi, kolay reaksiyona girmesi ve düz yapısı nedeniyle yüksek dönüşüm oranına sahip olması gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra ucuz oluşuyla da en çok tercih edilen alkoldür (Çanakçı ve Gerpen, 1999).

Bazik katalizörlü ester değişim reaksiyonu ile etil esterinin elde edilmesi, metil esterinin elde edilmesinden çok daha zordur. Etanoliz sırasında meydana gelen sabit emülsiyon durumu önemli bir problemdir. Metanolizde meydana gelen emülsiyonlar çok çabuk bir biçimde dağılır ve gliserin bakımından zengin alt faz ve metil ester bakımından zengin üst faz oluşur. Etanolizde meydana gelen emülsiyonlar ise çok daha sağlam yapılıdır. Oluşan etil esterini ayırmak ve saflaştırmak oldukça zordur. Emülsiyonların meydana gelişinde hem hidroksi grubunun hem de polar olmayan hidrokarbon zinciri içeren mono ve digliseritlerin payı vardır. Bu ara yapılar güçlü yüzey aktif maddelerdir. Ester değişim reaksiyonunda söz konusu ara yapıların konsantrasyonu sınır seviyeyi aştığında emülsiyonlar meydana gelir. Etanoldeki polar olmayan grubun, metanole göre daha büyük olması sebebiyle oluşan emülsiyon kararlılık kazanır. Ayrıca mono ve digliseridler konsantrasyonları düşük olsa bile emülsiyonları kararlı hale getirebilir. Çizelge 4.19'de alkol tipinin ester dönüşümü ve yoğunluğu üzerine etkisi verilmiştir (Meher vd., 2006).



Çizelge 4.19 Alkol tipinin ester dönüşümü ve yoğunluğu üzerine etkisi (Çanakçı ve Gerpen, 1999)

Alkol Tipi	Kaynama Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )	Reaksiyon Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	Ester Dönüşümü (%)	Elde Edilen Esterin Yoğunluğu (g/ml)
Metanol	65	60	87.8	0.8876
2-Propanol	82.4	75	92.9	0.8786
1-Bütanol	117	110	92.1	0.8782
Etanol	78.5	75	95.8	0.8814

Kullanılan alkolün miktarı, alkil esterinin iyot, sabunlaşma, peroksit ve asit sayısı değerlerini etkilemez. Ancak, alkolün çok aşırı kullanımı gliserinin çözünürlüğünü arttırarak ayrılmasını zorlaştırır. Reaksiyon sırasında gliserinin ortamda çözülmüş olarak bulunması reaksiyon yönünü sola çevireceğinden reaksiyon verimi düşer (Meher vd., 2006).

**Alkol/yağ molar oranı:** Alkol/yağ molar oranı ester verimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Reaksiyonda stokiometrik olarak üç mol alkolle bir mol trigliserid, üç mol yağ asidi alkil esteri ve bir mol gliserin vermek üzere reaksiyona girerler. Reaksiyon, bir denge reaksiyonu olduğu için reaksiyonun yönünü sağa yani ürünlere kaydırmak için alkolün aşırısı kullanılır. En yüksek ester verimi için alkol:yağ molar oranı 6:1 olarak kullanılmaktadır (Meher vd., 2006).

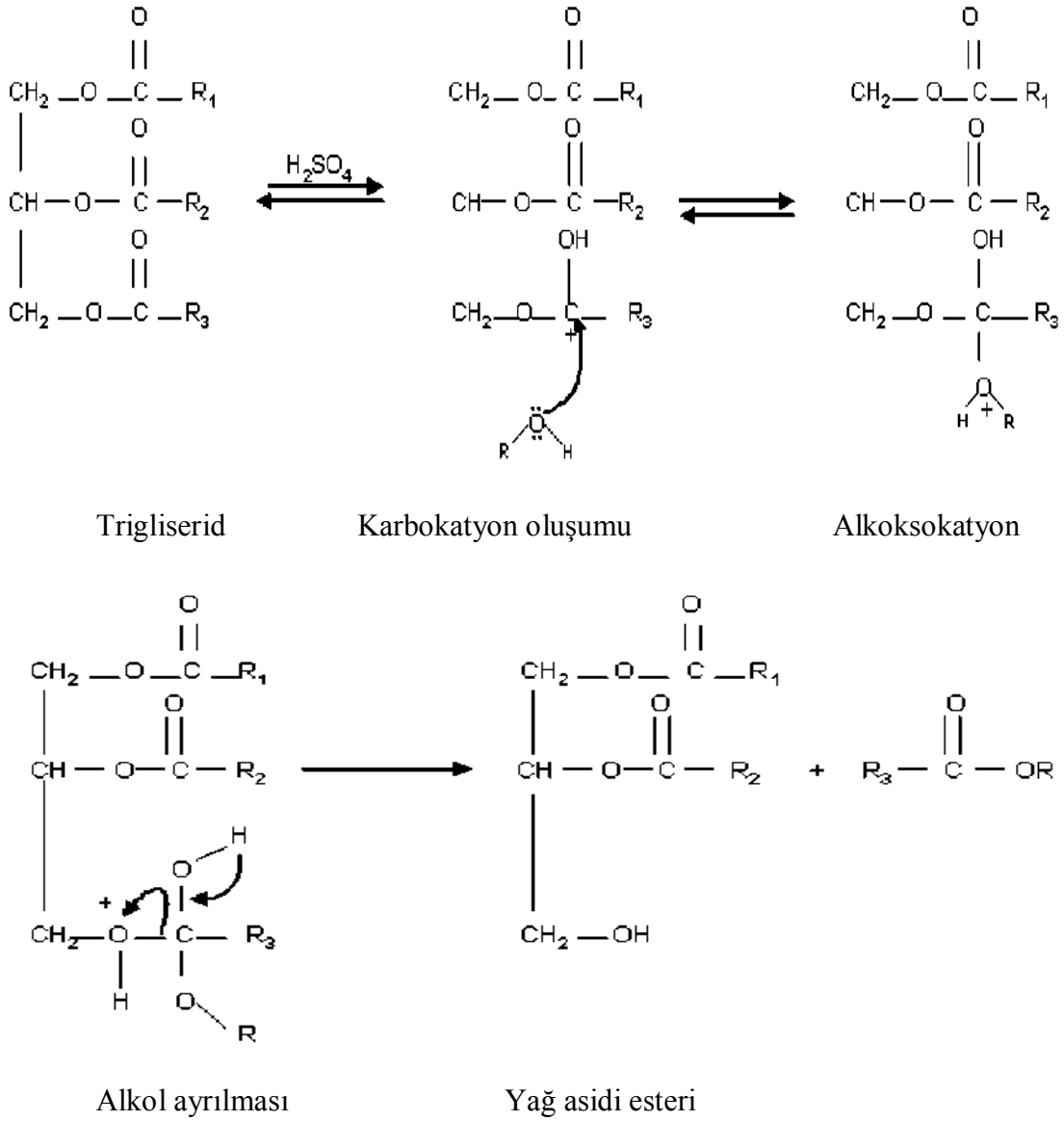
**Reaksiyon süresi ve sıcaklığı:** Transesterifikasyon reaksiyonu, kullanılan alkol ve yağa bağlı olarak farklı sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Genelde reaksiyon, kullanılan alkolün kaynama noktasına yakın bir sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda, bu reaksiyon oda sıcaklığında da gerçekleştirilebilir. Sonuç olarak, alkolün kaynama noktası ile sınırlı olmakla birlikte, alkolün kaynama derecesi arttıkça dönüşüm oranında da bir artış gerçekleşmektedir (Fangrui ve Milford, 1999).

#### 4.5.2.1.2 Asidik Katalizör Kullanımıyla Biyodizel Üretimi

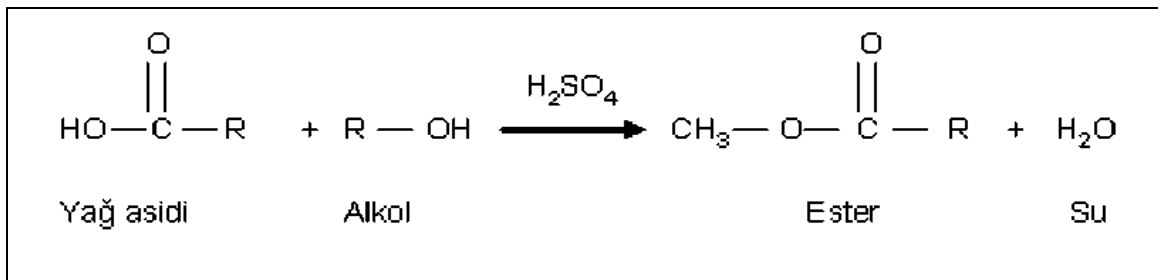
Biyodizel üretimi için ikinci geleneksel yöntem asit katalizli yöntemdir. Bu yöntemde, trigliseridler bazik katalizör yerine asitlerin katalizörlüğünde alkolle reaksiyona sokulur. Asit katalizli reaksiyonun verimi oldukça yüksek olmasına rağmen, reaksiyon hızı bazik katalizli reaksiyona göre yavaştır. Reaksiyonda katalizör olarak sülfürik asit, fosforik asit, hidroklorik asit ve organik sülfonik asit kullanılmaktadır. Asit katalizörlü ester değişim reaksiyonu genel olarak yüksek miktarda SYA içeren yağların dönüşümü için daha uygundur (Fukuda vd., 2001).

Asit katalizörlü ester değişim reaksiyonunun mekanizması Şekil 4.19'de, asit katalizörlü

esterleşme reaksiyonu da Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Reaksiyon mekanizması başlangıç esterine proton bağlanarak karbokatyon oluşumu ile başlar. Karbokatyona, alkol bağlanarak alkoksokatyon olarak ifade edilen ara yapı oluşur. Oluşan ara yapıdan trigliseridin alkolünün ayrılması ile yağ asidi esteri meydana gelir (Tüzün, 1996).



Şekil 4.19 Asit katalizli iç ester değişim reaksiyonunun mekanizması (Akçay, 2006)



Şekil 4.20 Asit katalizli esterleşme reaksiyonu

Asit katalizörlü reaksiyon trigliseridleri sadeleştireceğinden daha sonra bir alkali katalizörle transesterifikasyon yapılabilir. Bu yöntem, aynı zamanda, yüksek oranda SYA içeren besleme stoklarından bazik katalizli transesterifikasyonla biyodizel üretirken, yağın SYA seviyesini düşürmek için kullanılan bir ön işlemdir. Genellikle, yağ endüstrisinin düşük kaliteli yan ürünlerinden biyodizel üretirken tercih edilir.

Transesterifikasyon reaksiyonu, **aynı miktarda asit ve bazik katalizör kullanarak iki yöntemle yapıldığında, bazik katalizör için 4000 kat daha hızlı gerçekleşir.** Bazik katalizör kullanıldığında oda sıcaklığı yeterliyken, asit katalizör kullanılması durumunda reaksiyon sıcaklığını arttırmak gerekmektedir. Bazik katalizör için, kütleli olarak, reaksiyona sokulan yağın %0,1-1'i yeterli iken, bu oran asit katalizör kullanıldığında %3-5'e kadar çıkmaktadır. Ayrıca asit katalizör kullanıldığında reaksiyon için gerekli alkol miktarı da bazik katalizöre göre daha fazladır. Bazik katalizör ile 6:1 alkol/yağ molar oranında elde edilen ester dönüşümünü, aynı sürede asit katalizör ile sağlamak için 30:1'lik bir oran gerekmektedir (Çildir ve Çanakçı, 2006). Alkol/yağ molar oranı transesterifikasyonu etkileyen ana faktörlerden biridir. Alkolün aşırısı ürünlerin oluşumuna yardımcı olurken, aşırı miktardaki alkol gliserinin geri kazanımını zorlaştırır. Bu yüzden ideal alkol/yağ molar oranı her özel prosese göre deneysel olarak belirlenmelidir (Demirbaş, 2008).

Asidik katalizör kullanılarak yapılan bir çalışmada, alkol/yağ molar oranı 100:1 ile 300:1 arasında alınmıştır. Bu oran, kullanılan sülfürik asit miktarı ve reaksiyon süresi gibi diğer reaksiyon koşullarına da bağlıdır. 200:1 alkol:yağ molar oranında, 4 saatlik reaksiyon süresi sonunda %96.5'lik verim elde edilirken, molar oran 300:1 olarak alındığında 1 saatlik reaksiyon süresi sonunda %97.9'luk verime ulaşıldığı görülmüştür. Bu pratik olarak reaksiyonun tamamlandığı anlamına gelmektedir (Akçay, 2006).

Asidik katalizörler ile gerçekleştirilen transesterifikasyon reaksiyonu bitkisel yağ içerisinde bulunan SYA ve su miktarından etkilenmemektedir. Reaksiyon süresi uzun olmasına rağmen, yağın SYA miktarından etkilenmemesi, alkali katalizörlere göre su miktarına daha az duyarlı olması ve bu özellikleri sonucunda da ayrıca bir ön işlem gerektirmemesi asidik katalizli yöntemin avantajlarından. Bu avantajlar özellikle atık yemeklik yağların ve sabun stoklarının hammadde olarak kullanılması durumunda büyük önem taşımaktadır (Tillem, 2005).

#### 4.5.2.1.3 Enzim Katalizörle Yağ Asidi Esterifikasyonu ve Transesterifikasyon

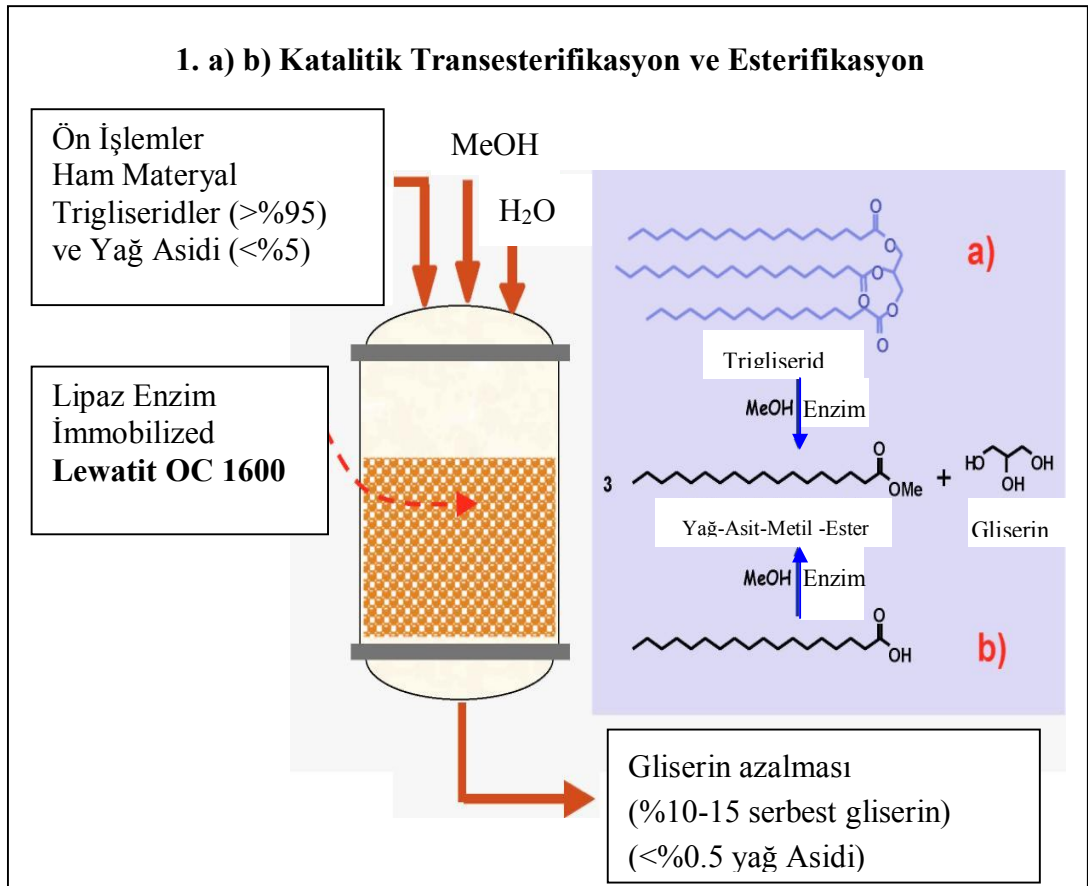
Biyodizel üretiminde İyon değiştirici (İD) kullanımının avantajları şu şekilde sıralanabilir.

### 1a.) ID-Enzim Katalizörle Yağ Asidi Esterifikasyonu

- % 5 daha fazla biyodizel verimi,
- Ayırma fazının geliştirilmesi,
- Gliserin saflığının artırılması,
- Organik atıkların azaltılarak atık su yönetimine katkıda bulunmak (Şekil 4.21).

### 1b.) ID-Enzim Katalizörle Transesterifikasyon

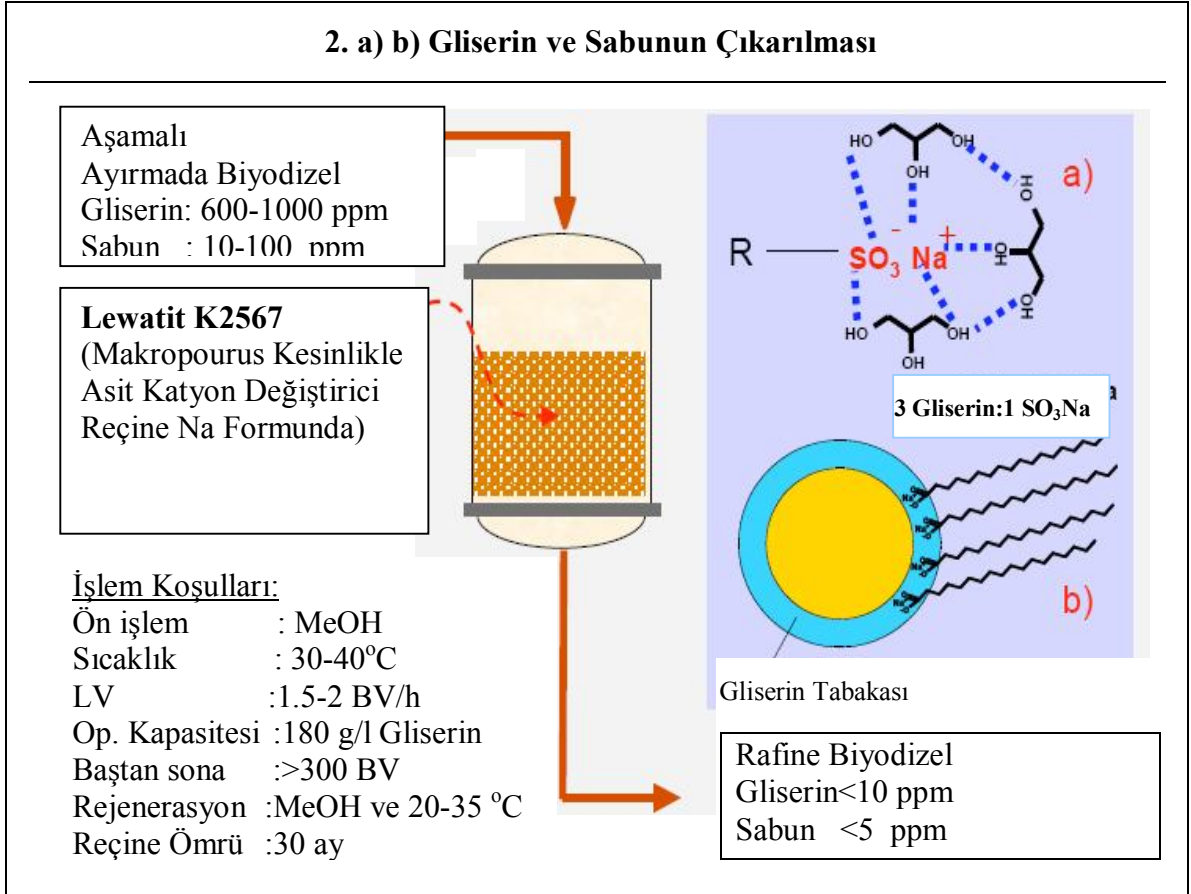
- Biyodizelden KOH uzaklaştırmasının gerekli olmaması,
- İşlem koşullarının hafifletilmesi,
- Rengin önemli ölçüde indirgenmesidir (Şekil 4.21) .



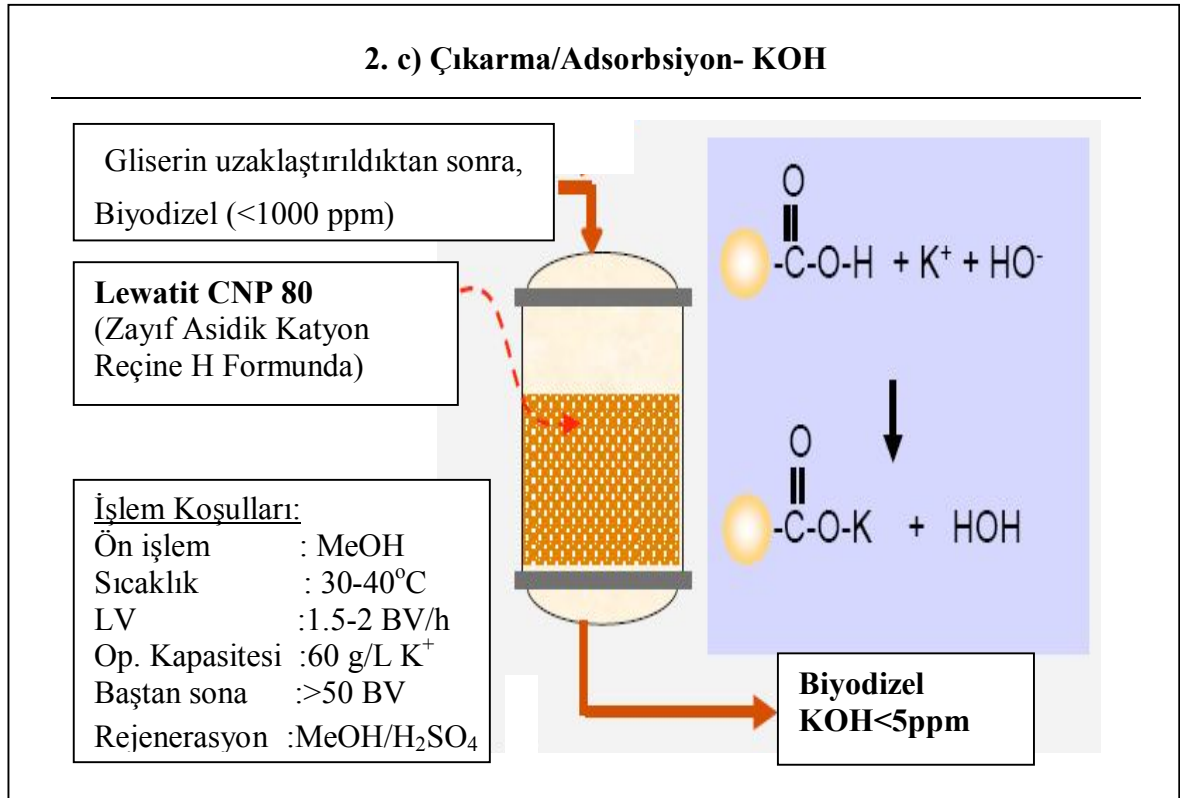
Şekil 4.21 ID-enzim katalizörle yağ asidi esterifikasyonu (Acaroğlu, 2007)

### 2. a.b.c.) ID-Adsorpsiyon biyodizelin temizlenmesi

- Atık suyun azalımı (neredeyse sıfır emisyon),
- Sıvı yok/ sıvı faz ayrılması/ santrifüj yok,
- Kurutma adımında temizlemede biyodizelde az su yüksek saflıkta son ürün,
- Distilasyon sonucu metanolün geri kazanımıdır (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23).



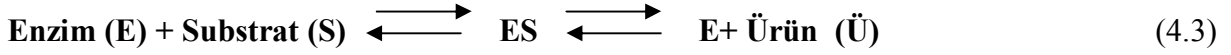
Şekil 4.22 Gliserin ve sabunun çıkarılması (Acaroğlu, 2007)



Şekil 4.23 ID – Adsorpsiyon biyodizelin temizlenmesi (Acaroğlu, 2007)

### 8.2.1.1. Enzim Katalizörler

Enzim katalizli bir reaksiyonun denklemi aşağıdaki gibidir.



Böyle bir reaksiyonun hızı ortamdaki enzim ve substrat konsantrasyonu, ısı, pH, oksidasyon yapan faktörler ve radyasyon gibi etkenlere bağlıdır.

Diğer tüm koşullar sabit tutulup yalnızca substrat konsantrasyonu (S) arttırıldığı zaman enzim katalizli reaksiyonun hızında bir artma olur. Ancak bu artış belli bir noktaya kadar doğrusaldır.

Daha sonra bu doğrusallık yerini hiperbolik bir eğriye bırakır. Bundan sonra da maksimum hıza ( $V_{\max}$ ) ulaşır ve reaksiyonun hızı sabit kalır. Bu noktada enzim molekülleri substrata doymuştur, ortamda serbest enzim kalmamıştır. Bir substrat molekülü ürüne dönüşür dönüşmez hemen yeni bir substrat molekülü enzim molekülüne bağlanmakta ve dolayısıyla reaksiyon hızı sabit kalmaktadır. Böylece dinamik bir denge oluşmuş olur. Böyle bir reaksiyonda substrat konsantrasyonuna karşı reaksiyonun hız değişimi bir grafikte gösterildiğinde hiperbolik bir eğri elde edilir. Bu grafikte maksimum hızın yarısına karşılık gelen substrat konsantrasyonu o enzimatik reaksiyona özgü  $K_m$  ile ifade edilen sabit bir değerdir (Michaelis-Menten sabiti) ve enzimin substratına olan ilgisini gösterir.  $K_m$  ne kadar küçükse enzimin substratına olan ilgisi de o kadar yüksektir.

Son yıllarda, biyodizel üretiminde kullanılabilecek enzim katalizörlerinden, doğal substratı yağlar olan lipazlar yaygın bir şekilde araştırılmaktadır. Lipazlar, altı enzim sınıfının üçüncü sırasında yer alan hidrolazlar sınıfının triaçil gliserol hidrolazları (E.C.3.1.1.3) grubuna girerler.

#### 4.5.2.1.3.1 Lipazlar

Lipazların doğal fonksiyonları canlı organizmalarda lipidleri tersinir olarak hidrolizini katalize eden enzimlerdir. Suda çözünmeyen lipidin bulunduğu organik faz ile enzimin bulunduğu sulu fazın ara yüzeylerinde ester bağlarını hidrolizler, yüzey aktif madde olan safra tuzları lipidleri emülsiyon halinde tutarak hidrolizi kolaylaştırır. Susuz ortamda hidrolizin tersi sentez reaksiyonlarını katalizlerler.

Günümüzde lipazlar serbest ve immobilize formda; özel öneme sahip yağlar ve yağ asitleri, yüzey aktif maddeler, deterjanlar, parfümeri, kozmetik, gıda katkı maddeleri, yüksek basınç kaydırıcıları gibi alanlarda endüstriyel kullanımı en çok olan enzimlerdir.

Lipazlar mikrobiyal, hayvansal ve bitkisel kaynaklardan elde edilirler. Lipazların biyodizel üretiminde endüstriyel ölçekte kullanımı henüz çok sınırlıdır. Ancak araştırma aşamasında özellikle mikrobiyal lip saflaştırılmış halde, kısmen de maliyetin artmaması için doğrudan mikroorganizma halinde katalitik performansları incelenmektedir. Mikrobiyal kaynaklı lipazlar, maya, mantar ve diğer mikroorganizmalardan elde edilirler. Yapılan araştırmalarda lipazların modifikasyon ve immobilizasyonları, reaksiyon ortamında bulunması gereken optimum alkol, su, yağ oranları çalışılmaktadır.

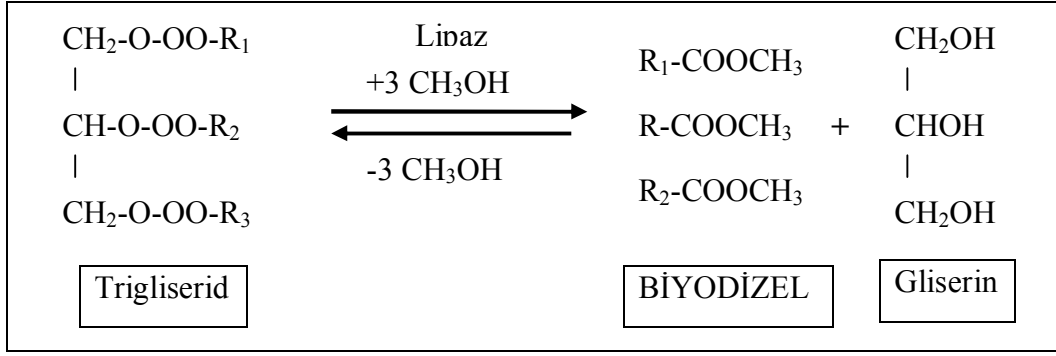
Araştırmalarla mikrobiyal lipazların, yüksek aktiviteye, yer ve yağ asidi spesifitesi özelliklerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında mikroorganizmaların hızlı çoğalma yetenekleri ve modifikasyonlarıyla bol miktarda ve ekonomik olarak enzim elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Mikrobiyal lipazların diğer lipaz cinslerine göre tercih edilmesi, kısa sürede düşük maliyetle üretilerek çoğaltılabilmesi ve yüksek özelliklerdir.

Bitkisel kaynaklı lipazlar, çoğunlukla hintyağı bitkisi tohumu, ayçiçeği, soya fasulyesi, yer fıstığı gibi çeşitli yağlı tohumlardan elde edilirler. Lipaz cinslerinin yağlarda alkoliz spesifisite, performansları çalışılırken, seçilen lipazların olabildiği kadar çok ve uzun süre katalizör olarak kullanılması için immobilizasyon ile dayanıklılığının ve aktivitesinin artırılması çalışmaları da sürmektedir. Memeli hayvanlardan elde edilen hayvansal kökenli lipazlar ise pankreas ile bağırsaklardan elde edilirler. Bunlardan daha çok sığır ve domuz pankreatik lipazları ile benzer lipid transesterifikasyon dönüşümleri çalışılmaktadır.

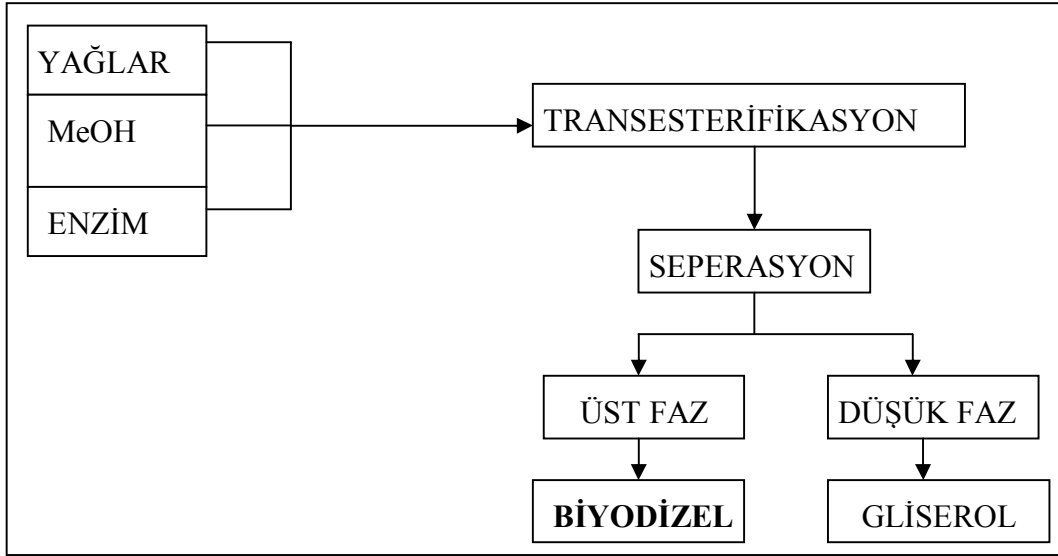
#### **4.5.2.1.3.1.1 Lipazlarla Gerçekleştirilen Esterifikasyon Reaksiyonları**

Yağlardan, yağ asidi acil esterlerini (biyodizel) elde etmek için hazırlanan yağlar; alkollerle lipaz katalizörü varlığında reaksiyona sokulur. Biyodizel, yağ asidi metil-etil esterleri olduğu için, yağlardan metanol veya etanol kullanılarak alkoliz reaksiyonuyla elde edilir.

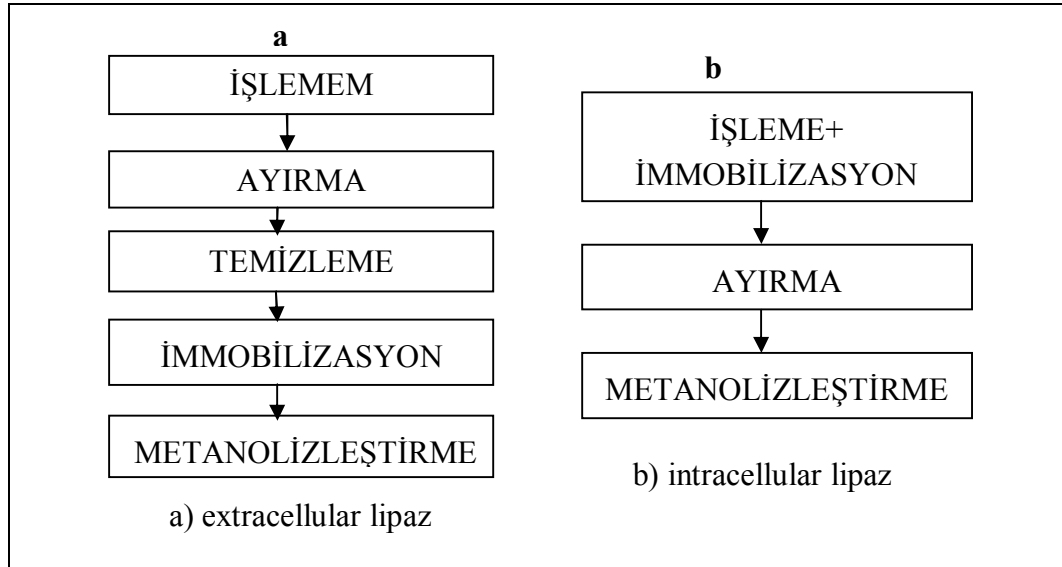
Kısa veya uzun zincirli bir mono alkolün, yağ asitleri ile oluşturduğu esterlerden veya trigliserid yapıları lipidlerden, ayrılan yağ asitleri ile başka bir alkolün meydana getirdiği esterleşme reaksiyonları alkoliz reaksiyonları olarak isimlendirilir. Aslında bir esterdeki alkolden diğer serbest alkole acil grubu transferi şeklinde yürüyen reaksiyonu Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Lipaz katalizli proste, reaksiyon ortamı, oda sıcaklığı, basıncı ve nötr pH gerektirdiği için aşırı sıcaklık, basınç ve bunlara bağlı korozyon söz konusu değildir. Bu nedenle teknik tasarımları veya donanımları daha basit ve ucuz malzemedir yapılabilir. Bu durum, insan ve donanım açısından daha emniyetli bir üretimi ve daha ekonomik biyodizel üretimini Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'deki gibi mümkün kılacaktır (Acaroğlu, 2007).



Şekil 4.24 Yağ asitlerinin metil esterleri



Şekil 4.25 Enzimatik biyodizel üretim şeması



Şekil 4.26 İmmobilize extracellular ve intracellular lipaz enzimlerin karşılaştırılması

Lipaz katalizli reaksiyonların özellikleri bazik katalizli reaksiyonların özellikleri ile



karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.20’de görülmektedir (Özçimen, 2001).

Çizelge 4.20 Alkali katalizi ester değişimi reaksiyonu ile lipaz enzimi katalizli esterdeğişimi reaksiyonlarının karşılaştırılması

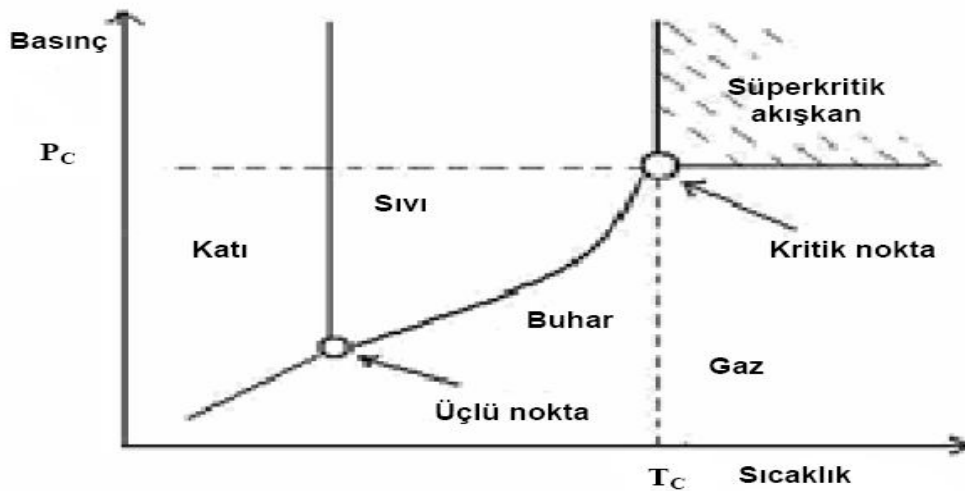
	Alkali Katalizli Yöntem	Lipaz Katalizli Yöntem
<b>Reaksiyon Sıcaklığı</b>	60-70°C	30-40°C
<b>Serbest Yağ Asidi Varlığı</b>	Sabunlaşma ürünleri	Metil Ester
<b>Su Varlığı</b>	Reaksiyonu bozar	Etkilemez
<b>Metil Ester Verimi</b>	Normal	Yüksek
<b>Gliserinin Ayrılması</b>	Zor	Kolay

#### 4.5.2.2 Süperkritik Alkol Kullanımıyla Biyodizel Üretimi

##### 4.5.2.2.1 Süperkritik Akışkanlar ve Uygulamaları

Süperkritik akışkan (SF), kritik sıcaklık ve kritik basınç değerlerini aşmış maddeler şeklinde tanımlanabilir. Bir madde için kritik sıcaklık ( $T_C$ ), basınç ne olursa olsun o sıcaklığın üzerinde maddenin sıvı bir faz olarak bulunamayacağı sıcaklıktır. Kritik basınç ise ( $P_C$ ), maddenin kritik sıcaklığındaki buhar basıncıdır. Yani SF, bir başka deyişle, hem sıcaklığı hem de basıncı kritik noktanın üzerinde olan maddeler için kullanılan bir terimdir. Şekil 4.27’de bir maddenin faz diyagramında süperkritik akışkan hali gösterilmiştir.

Son yıllarda zaman zaman karşılaşılan ayırma problemlerine süperkritik akışkanlar ile çözüm getirilebilmektedir. SF’lerin başlıca özelliği, bu tür akışkanların çözme gücünün yoğunluk değişimi ile kontrol edilebilmesidir. SF’nin çözünürlüğü, yoğunluğu ve difüzyonu yüksektir.



Şekil 4.27 Tek bir maddenin faz diyagramı (Dinçer vd., 2005).

Süperkritik akışkanlar yüksek derecede sıkıştırılmış gazlar gibi, hem sıvı hem de gaz özellikleri kombine ederler. Örneğin; içinde bulunduğu kabı gazmış gibi doldururken, aynı zamanda maddeleri sıvıymış gibi çözer. Kritik basıncın üzerinde bir basınçta tutulan bir sıvının bazı özellikleri (yoğunluk, viskozite vb.), sıcaklığın yavaş yavaş artırılması ile değişir, bu da SF'nin oluşumunu sağlar. Benzer şekilde, kritik sıcaklığın üstüne ısıtılan gaz, yavaşça artan basınçla SF'yi oluşturur.

Saf bir maddenin kritik sıcaklığının ve basıncının üstünde bulunan alana süperkritik akışkan bölgesi denir. Süperkritik bölgede, çözme gücü yoğunluğun doğrusal fonksiyonudur. Yoğunluk, sabit sıcaklıkta artan basınçla kuvvetlice artar; sabit basınçta ise, artan sıcaklıkla azalır.

Süperkritik akışkan, bir sıvının yoğunluğuna (0,1-1 g/ml) ve onun karakteristik çözme gücüne sahiptir. Böylece çözme gücü, sıcaklık veya basınç ayarlaması ya da her ikisinin de ayarlanması ile değiştirilebilir. Difüzyon, sıvı durumundakinden daha yüksektir. Viskozite ise, sıvı halinden daha düşük, gaz halinden 400 atm gibi yüksek basınçlarda bile biraz daha yüksektir. SF'nin bu fiziksel özellikleri kütle transferinin hızlı olmasını sağlar.

Süperkritik akışkanların yoğunluk, viskozite ve diğer özellikleri maddenin sıvı ve gaz hallerindeki özellikleri arasında yer alır. Çizelge 4.21'de süperkritik koşullardaki bazı akışkanların birtakım özellikleri, maddenin sıvı ve gaz hallerindeki özellikleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelgede verilen üç özellik gaz, sıvı ve SF uygulamalarında önemli olan özelliklerdir.

Çizelge 4.21 Maddenin süperkritik akışkan, gaz ve sıvı haldeki özelliklerinin karşılaştırılması

	GAZ	SÜPERKRİTİK AKIŞKAN	SIVI
<b>Yoğunluk ( g/ cm<sup>3</sup> )</b>	(0.6-2).10 <sup>-3</sup>	0.2-0.5	0.6-2
<b>Difüzyon Katsayısı ( cm<sup>2</sup> / s)</b>	0.1-0.4	10 <sup>-3</sup> – 10 <sup>-4</sup>	(0.2-2).10 <sup>-5</sup>
<b>Viskozite ( g/ cm.s)</b>	(1-3).10 <sup>-4</sup>	(1-3) . 10 <sup>-4</sup>	(0.2-3).10 <sup>-2</sup>

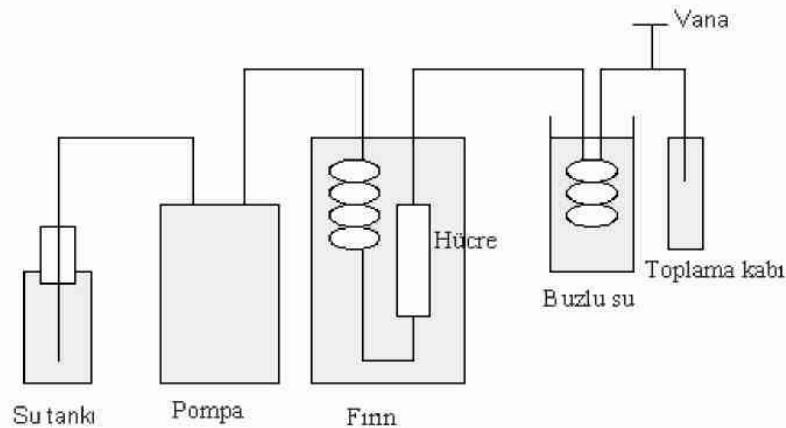
Süperkritik akışkanların yüksek yoğunluklarından (0.2-0.5 g/cm<sup>3</sup>) kaynaklanan önemli bir özellikleri uçucu olmayan büyük molekülleri çözme yeteneklerinin oldukça iyi olmasıdır. İkinci bir önemli özellikleri, bu akışkanlarda çözülmüş analitlerin çözeltiler nispeten düşük sıcaklıklarda atmosferle dengeye getirildiği için, kolayca geri kazanılabilmesidir. Örneğin;

süperkritik CO<sub>2</sub>'te çözülmüş bir analit, çözeltilin üzerindeki basıncın düşürülüp çözücünün normal laboratuvar koşullarında uçurulmasıyla geri kazanılabilir. Analitlerin termal olarak kararsız olmaları halinde bu özellik önem kazanır. Pek çok SF'nin bir başka üstünlüğü de ucuz ve zararsız olması, zehir etkisi göstermemesidir. Bu akışkanlar çevreye zarar vermedikleri için rahatlıkla atmosfere bırakılabilirler. SF'lerin viskozitelerinin, sıvıların viskozitelerinden on kat daha düşük, çözünen moleküllerin bu ortamlardaki difüzyon hızlarının da sıvılarınkinden on kat daha büyük olması da bir diğer önemli özelliktir. Ayrıca SF'lerin yüzey geriliminin sıfır olması, mikro gözenekli yapılar içine kolayca difüze olmalarını sağlar (Skoog vd., 1998).

Süperkritik akışkanlar reaksiyonlarda ya reaktif ya da reaksiyon ortamı olarak kullanılırlar. SF, reaktant ve katalizörü tek bir fazda çözer. Böylece fazlar arası kütle aktarımında meydana gelebilecek dirençler ortadan kaldırılmış olur ve reaksiyon hızı artar. Bunun yanı sıra düşük viskoziteye ve yüksek çözme gücüne sahip oldukları için başlatıcının etkinliğini de arttırlar. SF'lerin özelliklerini genel olarak şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Süperkritik akışkanlar sıkıştırılabilir, homojenlik ve sürekli değiştirilebilir gibi önemli karakteristik özellikler gösterirler.
- Süperkritik akışkanlar gaz ve sıvı arasında özelliklere sahip olup, basınçla kontrol edilebilirler.
- Sıvı ve gaz olarak yoğunlaştırılmaz veya buharlaştırılmazlar.
- Çözünürlük, artan basınçla dolayısıyla artan yoğunlukla beraber artar.
- Süperkritik akışkanlar inert gazlar ile (N<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gibi) tamamen karışabilirler.

Süperkritik akışkan elde etmek için kullanılan bir düzenek Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28 Süperkritik akışkan ekstraksiyonu (SFE) sisteminin basit bir görünüşü

SF uygulamaları, bilimsel ve teknolojik açıdan hızla gelişen bir alan haline gelmiştir. Son

yıllarda Almanya başta olmak üzere Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'da bu konuyla ilgili çalışmalar yoğun bir şekilde yürütülmektedir. Ancak SF uygulamalarında kullanılan yüksek basınçlar dolayısıyla endüstriyel boyuttaki tasarımın özel bir itina ile yapılması gerekir. Her ne kadar bazı akışkanlar için yüksek sıcaklıklar gerekmiyorsa da, su gibi yüksek kritik sıcaklığı olan ve korozif özelliklere sahip akışkanlar için itina gösterilmesi gerekmektedir. Geleneksel ekstraksiyonun gerektirdiği yüksek sıcaklıklarda bozulan veya içinde geleneksel çözücülerin eser miktarının bile olmaması gereken ürünler için uygun olan SF süreçleri, birçok uygulamada kullanılan geleneksel reaksiyonlu veya reaksiyonsuz ayırma işlemlerine oranla ekonomik açıdan daha dezavantajlıdır. Yüksek basınç malzemelerinin pahalı olması, yüksek basınçlar dolayısıyla ilgili tesislerin bakım ve onarım giderlerinin yüksek olması ve işletme emniyet önlemlerinin üst düzeyde olması gereği yüzünden sanayicinin ihtiyatla yaklaştığı SF uygulamaları, özellikle çevre kirlenmesine karşı ve birçok uygulamada kullanılan düşük sıcaklık ve dolayısıyla düşük enerji ihtiyacı sebebiyle gelecekte birçok uygulamada reaksiyonlu veya reaksiyonsuz ortamda geleneksel ayırma işlemlerinin yerini tek başına alabilecek potansiyele sahiptir. SF uygulamaları endüstriyel açıdan çevre dostu ve ekonomik olan, kolay ve bol bulunabilen çözücülerle çalışılabilmesi araştırmacıları ve sanayicileri bu konu üzerinde daha çok araştırmaya ve yatırıma yöneltmiştir (Dinçer vd., 2003).

SF uygulamalarında CO<sub>2</sub>, amonyak (NH<sub>3</sub>), etilen ve toluen genel olarak amaca uygun çözücülerdir. En iyi akışkanın seçimi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar arasında, analitlerin ve matriksin polaritesi ve çözünürlüğü, analitlerin derişimi, örnekteki nem oranı ve kinetik parametreler sayılabilir. Süperkritik akışkan olarak kullanılan bazı önemli maddelerin kritik değerleri verilmiştir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22 Süperkritik akışkan olarak bazı maddelerin özellikleri

AKIŞKAN	KRİTİK SICAKLIK ( T <sub>C</sub> , °C )	KRİTİK BASINÇ ( P <sub>C</sub> , ATM)
<b>Karbon dioksit</b>	31	74
<b>Su</b>	373	221
<b>Propan</b>	97	43
<b>Amonyak</b>	133	114
<b>Metanol</b>	239	81
<b>Etanol</b>	243	64

Pek çok çalışmada akışkan olarak CO<sub>2</sub> tercih edilmiştir. CO<sub>2</sub>, çok geniş bir kullanım alanına

sahiptir (%95'in üzerinde). CO<sub>2</sub>, apolar maddeler için çok iyi bir çözücüdür. Aynı zamanda, içerisinde metanol gibi polar bir madde katılarak çözücülük gücünün modifiye edilmesiyle çok polar analitler için de iyi bir çözücü haline getirilebilir. CO<sub>2</sub>'in en çok kullanılan süperkritik akışkan olmasını sağlayan bazı spesifik özellikleri vardır. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Hemen hemen hiç tükenmeyen bir kaynaktır. Atmosferden, fermantasyondan, yanma proseslerinden, doğal jeolojik kaynaklardan elde edilebilir.
- Kullanımı kolaydır, çalışma ortamlarında sorun yaratmaz. Geri kazanılabilir.
- Teknik anlamda kritik noktası çalışmaya uygundur.
- Toksik, korozif, yanıcı ve tehlikeli değildir, ucuzdur.
- Kimyasal olarak ve radyoaktif uygulamalarda kararlıdır.
- Kullanımdan sonra prostesten uzaklaştırılması mümkündür. Çünkü CO<sub>2</sub> oda sıcaklığında gaz olarak bulunur ve atmosfere kısa bir sürede, hızlı bir biçimde bırakılabilir.
- Çevrecidir, proseslerde atık suya sebep olmaz.

#### 4.5.2.2.2 Süperkritik Metil Alkol Kullanımıyla Biyodizel Üretimi

Bazik katalizli ester değişim reaksiyonu; reaksiyon hızı, reaktiflerin ve yöntemin ucuzluğu gibi avantajlara sahip olması sebebiyle biyodizel üretiminde en yaygın olarak kullanılan yöntem olmasına rağmen, reaksiyon sonunda katalizörün ayrılması, sabunlaşma nedeniyle esterlerin ayrılabilmesi ve saflaştırılmaması gibi sorunları da beraberinde getirir.

Alkollerin süperkritik sıcaklıkta katalizörsüz olarak bitkisel yağlarla ester değişim reaksiyonları bu sorunları büyük ölçüde azaltır. Süperkritik alkollerle transesterifikasyon, bitkisel yağlardan biyodizel eldesinde kullanılan ve katalizör olmadan uygulanabilen bir yöntemdir.

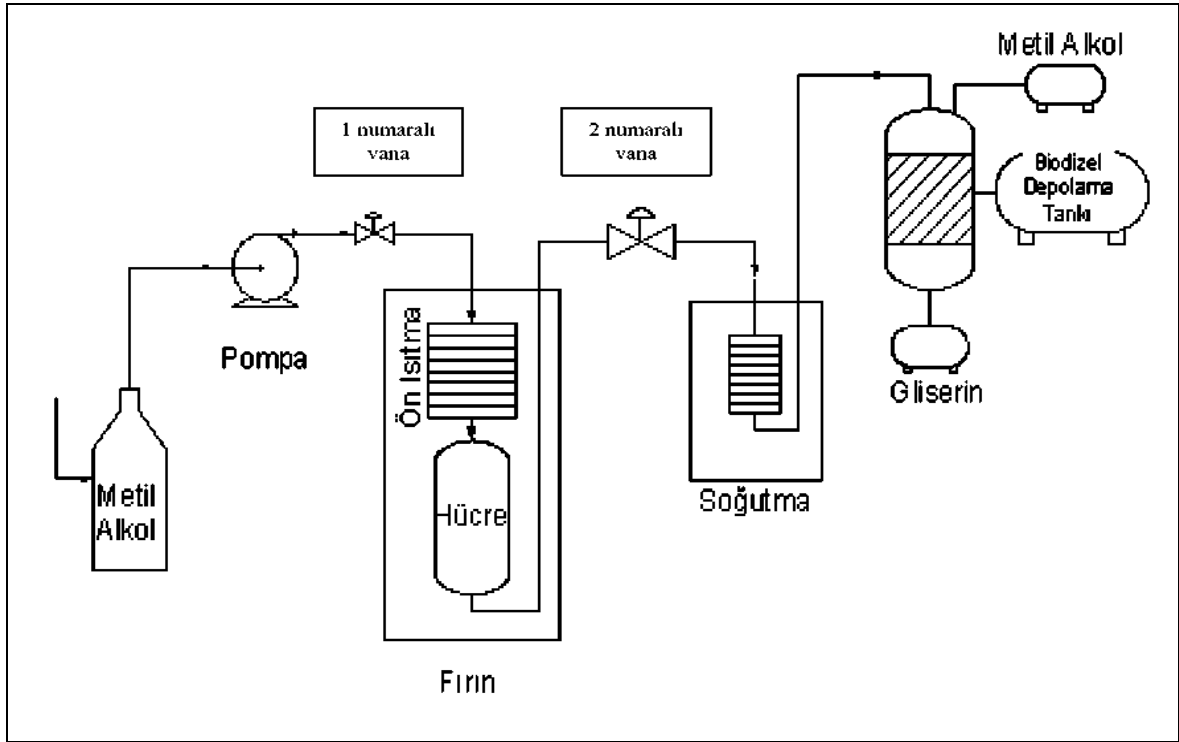
Değişik alkollerle süperkritik akışkan ortamında yapılan çalışmalar metanolün, biyodizel üretimi için uygun bir akışkan olduğunu göstermiştir. Metanolün kritik sıcaklık ve basıncı, 512 K (239 °C) ve 8 MPa (81 atm)'dır. Süperkritik sıcaklıkta metil alkolün dielektrik sabitindeki düşme sebebiyle tek faz oluşur ve böylece bitkisel yağ ile metil alkol fazlarının ayrılmasından kaynaklanan problem ortaya çıkmaz. Bitkisel yağ ile metil alkol karışımının tek fazlı bir sisteme dönüşmesi, reaksiyonun 2-4 dakika gibi çok kısa bir sürede gerçekleşmesini sağlar. Bunun ötesinde, katalizör kullanılmadığı için biyodizelin saflaştırılması çok daha kolaydır (Akçay 2006). Biyodizel üretiminde süperkritik alkollerin kullanımı belli başlı avantajlara sahiptir. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Transesterifikasyonda karıştırma hızı ve süresi oldukça önemli parametreler olmalarına

rağmen, süperkritik ortamda reaktantlar tek faz halindedir, karıştırmaya gerek yoktur.

- Atık/yan ürün oluşumunda azalma söz konusudur.
- Katalizör kullanılmadığı için katalizör maliyeti açısından tasarruf sağlanır.
- Kesikli klasik sistemlerle (saatler bazında) karşılaştırıldığında, son derece hızlı (dakika bazında) bir reaksiyondur.
- Otomasyon nedeniyle işçilik maliyetlerinde azalma söz konusudur.
- Başlangıç maliyeti yüksek olmasına rağmen işletme maliyetlerinde azalma söz konusudur.

Süperkritik alkol kullanılarak biyodizel üretilecek sistem, şematik olarak Şekil 4.29'de gösterilmiştir.



Şekil 4.29 Süperkritik sıcaklıkta ester değişimi reaksiyon düzeneği

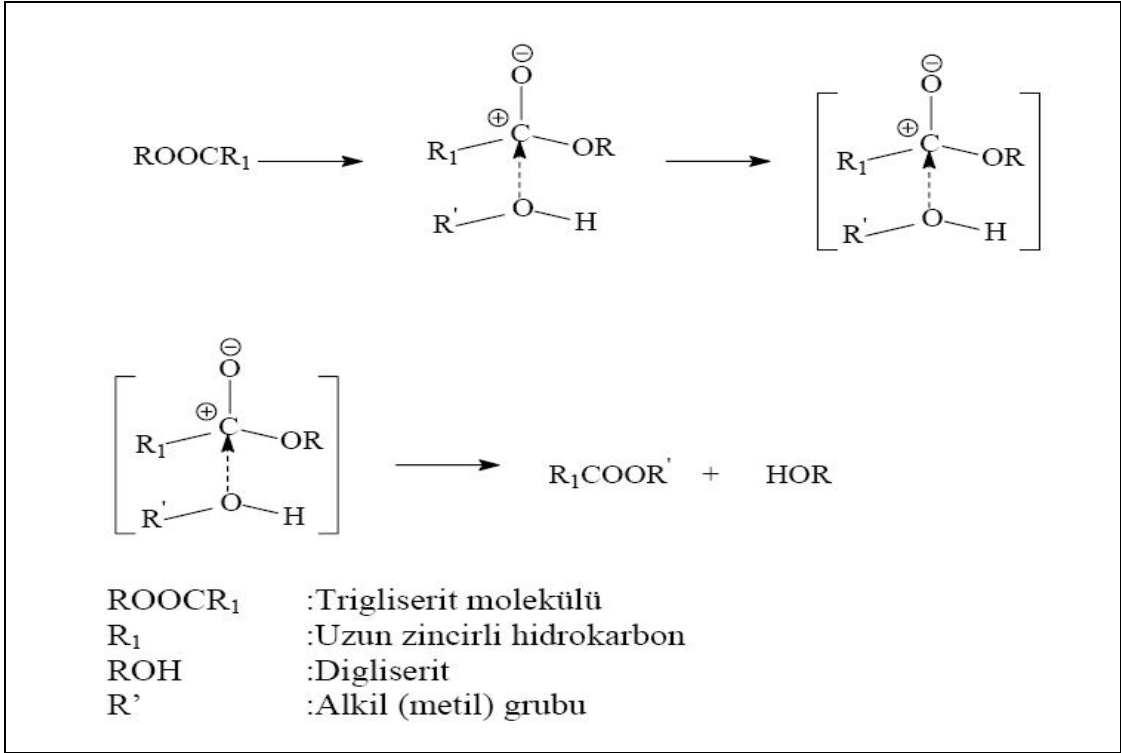
Şekle göre; biyodizel üretilecek olan yağ, hücre olarak tanımlanan bir tank içerisine yerleştirilir. Tepkime için gerekli olan metil alkol, ihtiyaç duyulan basınçta (70-400 atm) pompa yardımıyla ön ısıtıcıdan geçerek istenilen sıcaklıkta (300-400 °C) hücre içerisine gönderilir. Yağ ile süperkritik alkol, yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta, hücre içerisinde istenilen tepkime süresi kadar tutulur. Tepkime sürecince fırın çıkışındaki ve girişindeki vanalar kapalı tutulur. Tepkime bittiğinde 2 numaralı vana açılarak biyodizel, gliserin ve metil alkolün aşırısını içeren üç fazlı sistem soğutma ünitesinden geçirilerek toplama kabında toplanır. Toplama kabında belirli bir süre (yaklaşık olarak 30 dakika) beklenerek gliserin, biyodizel ve metil alkolün ayrışması sağlanır. Ayrışma tamamlandığında biyodizel, gliserin ve metil alkol bekleme tankından alınır.

Süperkritik sıcaklıkta çalışmanın ana fikri, basınç ve sıcaklık arasındaki ilişkinin etkisiyle çözücünün (metanol) dielektrik sabiti, viskozite, yoğunluk ve polarite gibi özelliklerini reaksiyon için uygun hale getirmektir. Örneğin, kimyasal reaksiyonların en önemli parametresi olan iyoniklik, basınç artırılarak iyileştirilebilir. Bu yüzden bitkisel yağların süperkritik metil alkolle muamelesinde, metil alkolün reaktif olarak davranmasının yanı sıra asidik katalizör gibi davranması da beklenir. Buna ek olarak, süperkritik şartlarda metil alkolün dielektrik sabiti, bitkisel yağın dielektrik sabitine çok yaklaştığı için, normal şartlarda alkolde çözünmeyen yağ süperkritik şartlarda metil alkol içinde çözünerek homojen bir karışım meydana getirir. Böylece yağ hızla reaksiyona girer ve kolaylıkla esterine dönüşür.

Bitkisel yağların süperkritik metil alkolde reaksiyon mekanizması, esterlerin süperkritik suda hidrolizi için geliştirilen mekanizma üzerine şekillendirilmiştir. Süperkritik metil alkolde katalizsiz ester değişimi reaksiyonunun mekanizması Şekil 4.30'da görülmektedir. Basıncın etkisiyle alkol molekülü karbonil karbonuyla direkt olarak etkileşir. Süperkritik ortamda basınç ve sıcaklığa bağlı olarak hidrojen bağları metil alkolün serbest bir monomer gibi davranmasını mümkün kılacak derecede zayıflar. Ester değişim reaksiyonu metoksinin, ürün olarak yağ asidi metil esteri ve digliserid meydana getirecek biçimde transferi ile sonuçlanır. Aynı yolu izleyerek digliserid monogliseride ve metil esterine, oluşan monogliseride tekrar bir mol metil esteri ve gliserine dönüşür (Akçay, 2006).

Bu metodun en önemli avantajları; katalizör kullanılmaması, bazik katalizörlü sistemlerde karşılaşılan sabunlaşma reaksiyonundan kaynaklanan sorunların olmaması, yağda bulunabilen farklı oranlardaki su miktarlarının biyodizel verimini azaltmaması ve saflaştırma işlemine gerek duyulmaması olarak sayılabilir (Çizelge 4.23). Bitkisel yağlardan transesterifikasyonla biyodizel üretiminde katalitik metanol (MeOH) prosesi ve süper kritik metanol (SCM) metodunun karşılaştırılması verilmiştir.

Sıcaklık ve basıncın yüksek olması bir dezavantaj gibi görünse de gelişen teknolojiler istediğimiz basınç ve sıcaklıkları, istediğimiz akış oranlarında sunabilecek çok farklı pompa sistemlerini içermektedir. Aynı zamanda süperkritik alkole farklı oranlarda katılabilecek CO<sub>2</sub> gibi kritik sıcaklığı düşük olan maddeler, biyodizel prosesinde ortam sıcaklığını ve basıncını düşürebilmektedir (280 °C ve 143 atm). Ayrıca reaksiyon, 2-30 dk gibi kısa bir sürede gerçekleştiği için enerji tasarrufu sağlar. Ürün işleme süresi kısaldığı için üretim miktarı kolayca arttırılabilir ve sonuçta üretim alanı küçülür (Saka ve Kusdiana, 2001).



Şekil 4.30 Süperkritik sıcaklıkta ester değişim reaksiyonunun mekanizması

Çizelge 4.23 Bitkisel yağlardan transesterifikasyonla biyodizel üretiminde katalitik metanol (MeOH) prosesi ve süper kritik metanol (SCM) metodunun karşılaştırılması (Acaroğlu, 2007)

	Katalitik MeOH Prosesi	Süper Kritik Metanol (SCM) Metodu
Metilleşme ajanı	Metanol	Metanol
Katalist	Alkali (NaOH veya KOH)	Yok
Reaksiyon sıcaklığı (°K)	303-338	523-573
Reaksiyon basıncı (MPa)	0.1	10-25
Reaksiyon süresi (minimum)	60-360	7-15
Metil ester verimi (wt%)	96	98
Saflaştırma için çıkanlar	Metanol, katalist, gliserol, sabunlar	Metanol
Serbest yağ asidi	Sabunlaşmış ürünler	Metil esterler, su
Egzoz kokusu	Sabun kokusu	Şeker kokusu

#### 4.5.2.3 Ultrasonik Enerji Kullanılarak Bitkisel Yağlardan Yağ Asidi Metil Esteri Elde Edilmesi

Yapılan çalışmada, bazik katalizli ester değişimi reaksiyonunda düşük frekanslı ses dalgaları kullanılarak biyodizel sentezi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Düşük frekanslı ultrasonik etki birbiri içinde karışmayan sıvıların emülsiyonlarının hazırlanması için faydalı bir araçtır. Ultrasonik etki ile fazlar arası yüzeyde meydana gelen



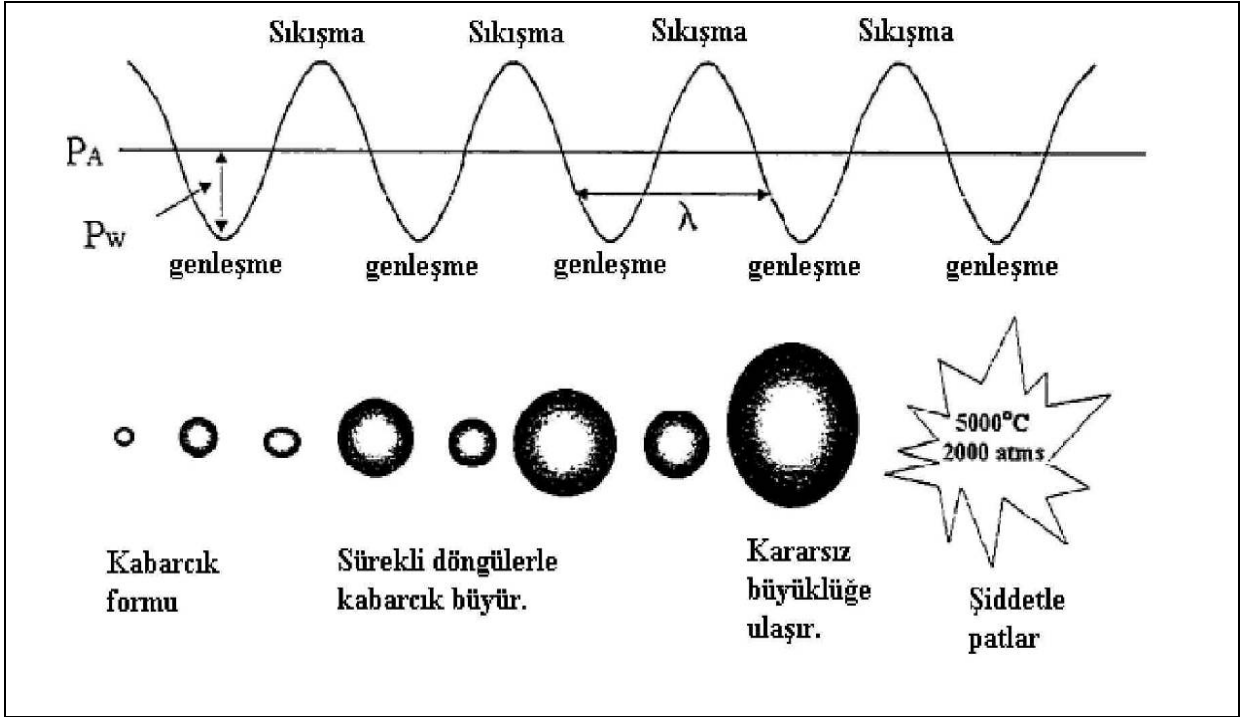
buhar boşluklarının çökmesi-parçalanması sonucu sıvıların emülsiyonları meydana gelir.

Ultrasonik dalgaların dalga boyu 10 cm ile  $10^{-3}$  cm arasında değişir. Bu tip dalgaların dalga boylan moleküllerin boyutlarıyla karşılaştırılmayacak kadar büyük olduğu için molekül parçalarıyla doğrudan etkileşemezler. Bu sebeple ultrasonik dalgaların gücü kabarcık olayı üzerinde etkilidir.

Akış olmayan sistemlerde ortam basıncı sıvıya ses dalgalarıyla yollanarak değiştirilebilir. Bu ses dalgaları moleküller arası ortamda ilerlerken sıkışma ve gerilmelere yol açarlar. Bu durum yüksek ve düşük basınç alanları meydana getiren bir dizi sıkışma-genleşme döngüsüne neden olur. Bu sıkışma ve genleşme döngüleri sıvıda kabarcıkların meydana gelmesine yol açar. Bu durum temelde, sıvının saflığına ve tipine bağlı gerilme direncine (Gerilme direnci maddenin yırtılmaksızın durabildiği en yüksek gerilim halidir.) bağlıdır. Pratikte kabarcık, gerilme direnci daha düşük sıvılardaki zayıf noktaların varlığı sebebiyle daha düşük ultrasonik etki uygulanarak elde edilebilir. Zayıf noktalar; çözülmüş gazlardan meydana gelen gaz dolu kabarcıklardan, anlık meydana gelen gaz kabarcıklarından ve ön kabarcık oluşumunda meydana gelen mikro kabarcıklardan oluşur.

Ultrasonik etki ile etkileştirilen küçük kabarcıklar ses dalgalarından enerji absorblarlar. Bu kabarcıkların rezonans frekansları uygulanan ses dalgasının frekansıyla eşleşinceye kadar ortamda bulunan buhar ve gazı absorblayarak büyürler. Ultrasonik etkiyle meydana getirilen kabarcıklar çevresinde meydana gelen diğer kabarcıklar sebebiyle kararlı değildir. Bunun sonucu olarak bazı kabarcıklar aniden kararsız bir yapı meydana getirecek şekilde büyür ve şiddetle patlar. Kabarcıkların patlaması kimyasal ve mekanik etkileri olan bir enerji meydana gelmesine yol açar. Ultrasonik etkiyle bir kabarcığın büyümesi ve patlamasına ait şema Şekil 4.31'de görülmektedir.

Kabarcıkların patlaması olayını açıklamak için en geçerli teori sıcak nokta yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre her bir kabarcık sıvı sisteminde anlık olarak bin atmosferi aşkın basınç ve birkaç bin derecelik sıcaklık meydana getiren küçük bir reaktördür. Kabarcığın çökmesiyle ortaya çıkan ısı anlık olarak oluştuğu için kabarcığın etrafını saran soğuk sıvı tarafından soğutulur. Oluşan sıcak noktanın ömrü çok kısa olduğu için sıvının sıcaklığında ani yükselmeler meydana gelmez. Sıvı içinde meydana gelen anlık noktanın sıcaklığı yaklaşık  $5000^{\circ}\text{C}$ , basıncı 1000 atmosfer civarında ve ömrü bir mikrosaniyeden daha kısadır (Quintana E.E.B., 2002)



Şekil 4.31 Sıvı içindeki kabarcığın ultrasonik etkiyle büyümesi ve patlaması.  $P_A$ : Ortam basıncı,  $P_w$ : Genleşme (Düşük basınç),  $\lambda$ : Dalga boyu

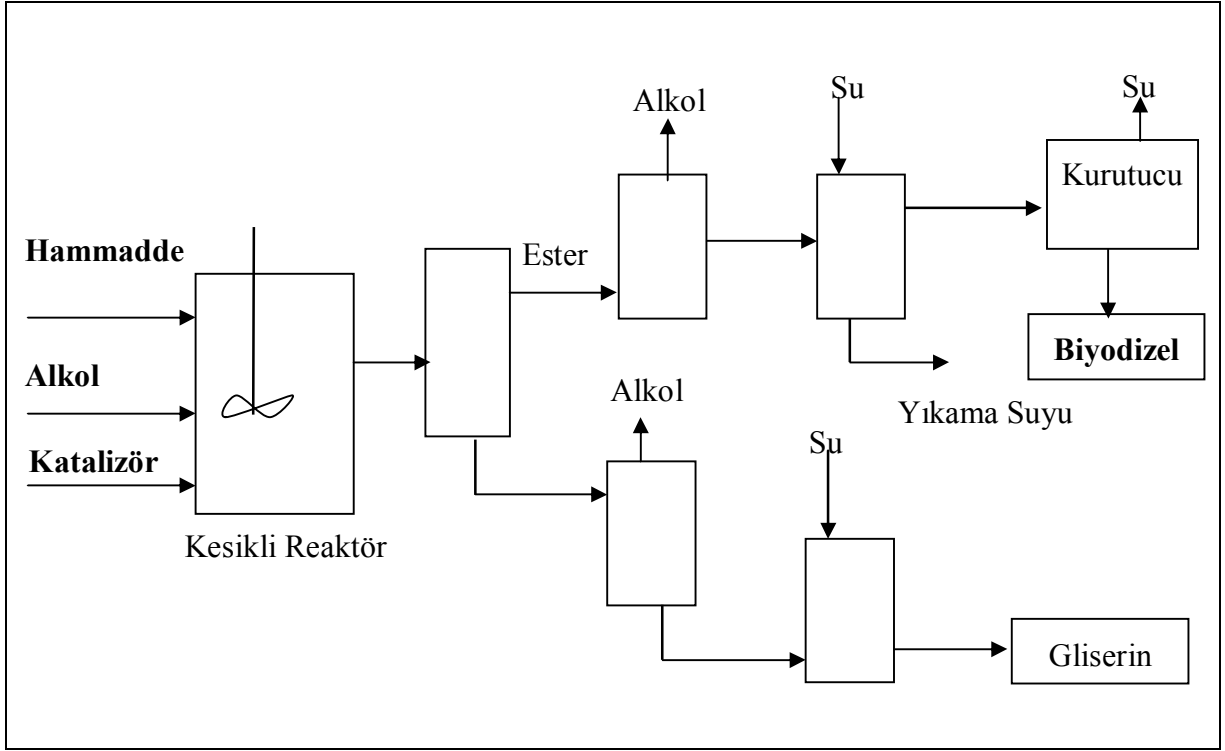
#### 4.5.3 Biyodizel Üretim Sistemleri

Üretim tekniği olarak kesikli, yarı kesikli ve sürekli üretim yöntemleri uygulanmaktadır. İlk yatırım maliyeti açısından kesikli sistem en ucuzu olmasına rağmen üretim maliyeti açısından en pahalıdır. Çünkü üretim sırasında elde edilen gliserinin saflığı %50 mertebesinde olup, önemli bir ticari değeri bulunmamaktadır. Ayrıca EN 14214 standardına uygun biyodizel üretmek her zaman mümkün olmamaktadır.

##### 4.5.3.1 Kesikli Sistem

Biyodizel üretiminin en basit ve ilk yatırım maliyeti en az olan metodu karıştırıcılı tank reaktörlerden oluşan kesikli sistemdir (Şekil 4.32)

Bu sistemde alkol/trigliserid oranı 4:1 ile 20:1 (mol/mol) arasında kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan oran 6:1'dir. Proses sıcaklığı 25°C ile 85°C arasında olmakla birlikte genellikle 65°C olarak tanımlanmıştır. Bu sistemde en çok kullanılan katalizör sodyum hidroksittir. Muhakkak ki potasyum hidroksit de tercih edilebilir. Tipik katalizör oranları %0.3 ile %1.5 arasındadır. Reaksiyon başlangıcından önce alkol ve katalizörün karıştırılması ve homojen denge sağlandıktan sonra yağ ile reaksiyona girmesi ana prosedürdür.



Şekil 4.32 Kesikli sistem biyodizel üretim şeması

Bazı sistem dizaynlarında, oluşan ester içeriğini %94-%96 mertebelerine çıkarmak için çift reaksiyon tasarlanabilmektedir. Reaksiyon sıcaklıkları ve alkol/yağ oranı arttırıldıkça reaksiyon verimliliği artmaktadır. Kesikli sistemlerde reaksiyon zamanları 20 dakika ile 60 dakika arasında seçilebilmektedir. Sistemde öncelikle yağ reaktöre alınır. Bu esnada susuz ve katalizör karışımı hazırlanır. Karışım reaktöre alınır ve belirlenen reaksiyon süresince karıştırıcılı ve ısıtıcılı tankta belirlenen reaksiyon sıcaklığında ve süresinde reaksiyon gerçekleştirilir. Reaksiyon sonucunda karıştırma işlemi durdurulur. Ester ve gliserin ayırma işlemi hemen reaksiyon sonunda başlamaktadır. Tam bir ayırma için yeterli miktarda bekletildikten sonra, alt faz olan gliserin, sistemden ayrılarak başka bir toplama ünitesine ayrılır. İsteğe bağlı olarak bu ünite de gliserin içerisindeki alkol geri kazanılarak tekrar işletme kullanımına verilir. Reaksiyona girmemiş alkol bazı işletmelerde hemen reaksiyon sonunda kazanılabilmektedir. Alkol, buharlaştırma ya da flaş ünitesiyle geri kazanılır. Reaksiyon sırasında alkolün susuz olması önemli olduğu için geri kazanılan alkoldeki su moleküller elekler vasıtasıyla alınmalıdır. Gliserin ayrıldıktan sonra, nötralizasyon işlemleri için ester pompalar vasıtasıyla yıkama ünitesine alınır. Yumuşak ılık su ile yıkama işlemi yapılır. Sistem içerisinde kalan atık alkol ve tuz, yıkama işlemi ile sistemden alınır.

Kesikli sistemlerde bazı zamanlar asitli yıkama tercih edilmektedir. Bu işlem ortamda bulunan alkol ve tuzların daha etkin bir şekilde dışarı atılmasını sağlar. Aksi takdirde 2 hatta 3 yıkama işlemi mevcut tesislerde uygulanmaktadır. Yıkama sonrası ester kurutma tankına

alınır ve burada ester içerisinde kalan su, buharlaştırma yoluyla sistemden atılır. Ülkemizdeki tesislerde kurutma işlemi 120 °C- 130 °C civarlarında gerçekleştirilmekte bu da biyodizel kalitesini düşürmektedir. Kurutma işlemi vakum altında yapılarak 80 °C- 90 °C'de süreç tamamlanmalıdır. Kurutma işlemi sonucunda elde edilen biyodizel stok tanklarına sevk edilir (Garpen vd., 2004).

#### **4.5.3.2 Yarı Kesikli Sistem**

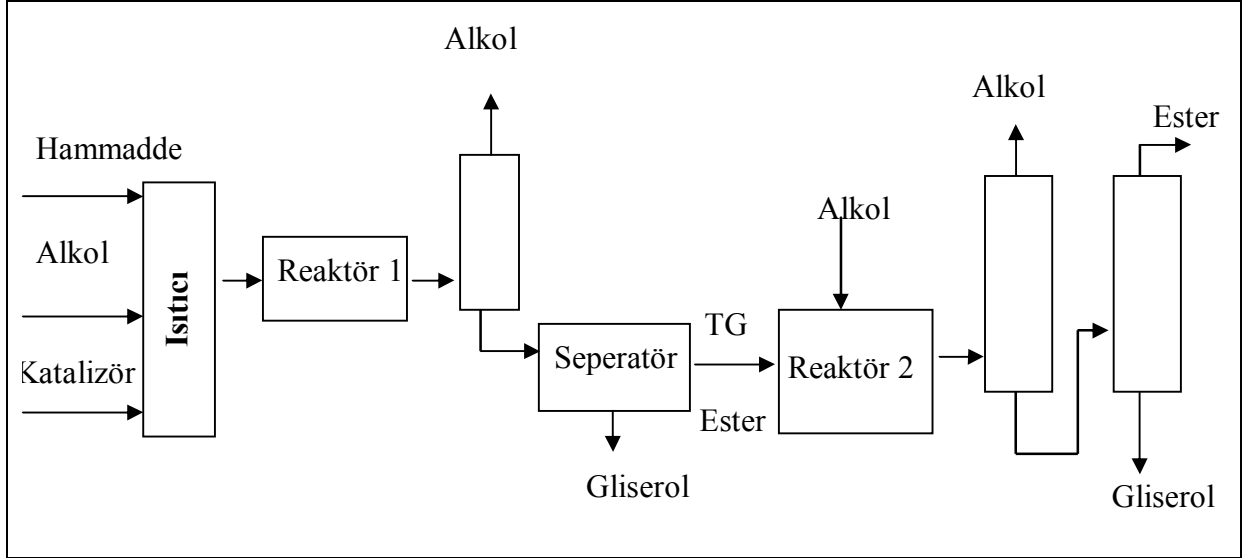
Yarı kesikli sistem kesikli sistemin modernleştirilmiş halidir. İlk yatırım maliyeti, kullanılan seperatörler nedeniyle kesikli sisteme nazaran daha yüksektir. Üretilen biyodizel kalitesi EN 14214 standardını karşılamakla birlikte üretilen gliserinin saflığı %60 - %70 mertebesindedir. Gliserin saflaştırma ünitesi ilavesi ile saflığı %85 mertebesine çıkarmak mümkündür. Yarı kesikli sistem günlük biyodizel kapasitesi en fazla 50-60 ton olan tesisler için uygun olmakla birlikte, özellikle günlük üretim kapasitesi 100 tonun üzerindeki tesisler için önerilmemektedir. Yarı kesikli biyodizel üretim prosesinde, reaktörde esterleştirilen yağ ve metoksik karışımı seperatöre gönderilir. Seperatöre yoğunluk farkından dolayı gliserin ve biyodizel fazlan ayrılır. Seperatörden ayrılan biyodizel, içerisinde kalan alkolden arındırılmak üzere bir geri kazanım tankından geçirilir. Daha önce bahsedildiği gibi alkol geri kazanımı isteğe bağlı olarak gliserinden de kazanılabilir. Ya da yine reaksiyon işlemi gerçekleştirildikten sonra reaktörden alkol kazanımı yapılabilir. Böylelikle seperatöre giren gliserin ester fazlarında alkol bulunmaz. Alkolden arınmış olan biyodizel sırasıyla yıkama ve kurutma işlemlerine tabii tutulur. Kurutma işleminde de biyodizelin içerisindeki suyu uzaklaştırmak için ikinci bir seperatör de bazı sistemlerde tercih edilmektedir. Son ürün olarak çıkan biyodizel kullanıma hazırdır (Nişancı, 2007).

#### **4.5.3.3 Sürekli Sistem**

Biyodizel üretim teknikleri arasında en popüler sistemdir. Sürekli karıştırıcılı tank reaktörlerin seri bağlanmasıyla oluşan prosestir (Şekil 4.33).

İslenecek olan hammadde önce ilk reaktöre gelir burada işlendikten sonra seperatörden geçer ve ikinci reaktöre girer. Burada reaksiyon daha hızlı gerçekleşir ve %98 dolaylarında esterleşme meydana gelir. Biyodizel üretim aşamalarında birkaç çeşit karıştırma yöntemi kullanılmaktadır. Hareketsiz mikserler, pompalar vasıtasıyla da karıştırma işlemi gerçekleştirilebilir. Bu tip karıştırıcıların yerine, reaktörün tank şeklinde değil de, tüp şeklinde olması sürekli sistemin özelliğidir. Reaksiyon karışımı, tüp şeklindeki kanallardan geçerken aynı zamanda karışım gerçekleşir. Böylelikle seri bağlanmış tank reaktör görevi

görür. Sürekli sistemde reaksiyon zaman normal karıştırıcılı sisteme göre oldukça kısadır. Reaksiyon oranının yüksek olması için bu tarz sistemlerde yüksek sıcaklık ve basınç uygulaması tercih edilmektedir. Reaksiyon sonrasında ürün yıkama ve kurutma işlemlerine tabi tutulmaktadır.



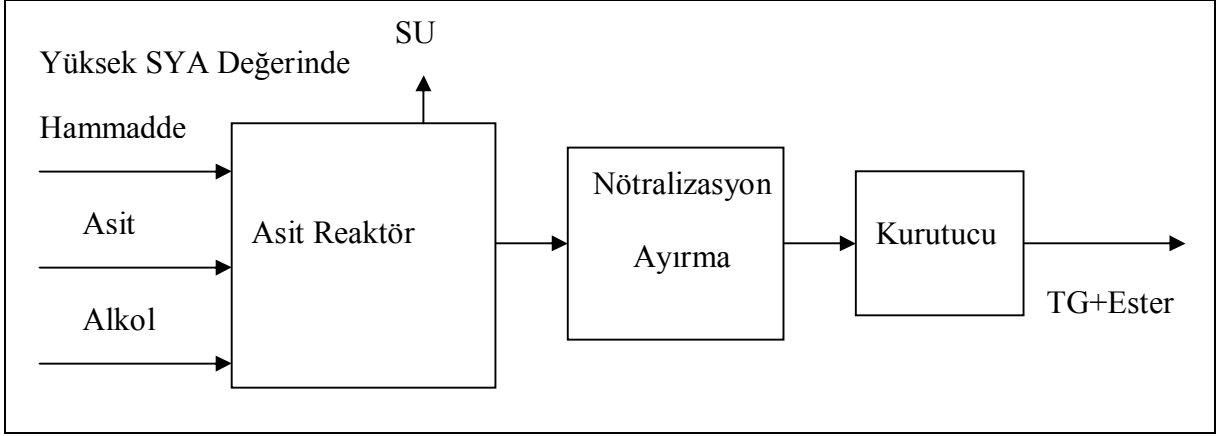
Şekil 4.33 Sürekli sistem biyodizel üretim şeması

#### 4.5.3.4 Yüksek Serbest Yağ Asit Sistemi

Normal katalizörlü sistemlerde, yüksek serbest yağ asidi değerine sahip hammaddeler, katalizör eşliğinde reaksiyona girdiğinde sabun oluşumu meydana gelir. Kabul edilebilir serbest yağ asidi (SYA) değerinin %4'den az olması gerekmektedir. Özellikle tercih edilen değer ise %1'in altındaki değerlerdir. Bazı durumlarda ön esterleştirme olarak adlandırılan asit esterifikasyonu uygulanmaktadır (Şekil 4.34).

Bazı düşüncelere göre yüksek serbest yağ asitli mamullerde serbest yağ asitlerini yok etme ya da asit esterifikasyon ünitesinde ayırma işlemi ile arıtmada bu sistem tercih edilmektedir. Mamule kostik eklenir ve sonuç olarak oluşan sabun merkezkaç etkisi kullanılarak atılır. Buna kostik ayrışma da denmektedir.

Bazı trigliseridler kostik ayrışma esnasında sabunla beraber kaybedilir. Sabun karışımı asitle etkileştirilerek yağ asitleri ve ayırma tankında kaybedilen yağlar geri kazanılır. Arıtılmış yağlar kurutulur ve transesterifikasyon için gerekli prosese gönderilir. Bu durumda atılan serbest yağ asitlerini boşa harcamaktansa, asit esterifikasyon prosesiyle metil esterine dönüştürülebilir.



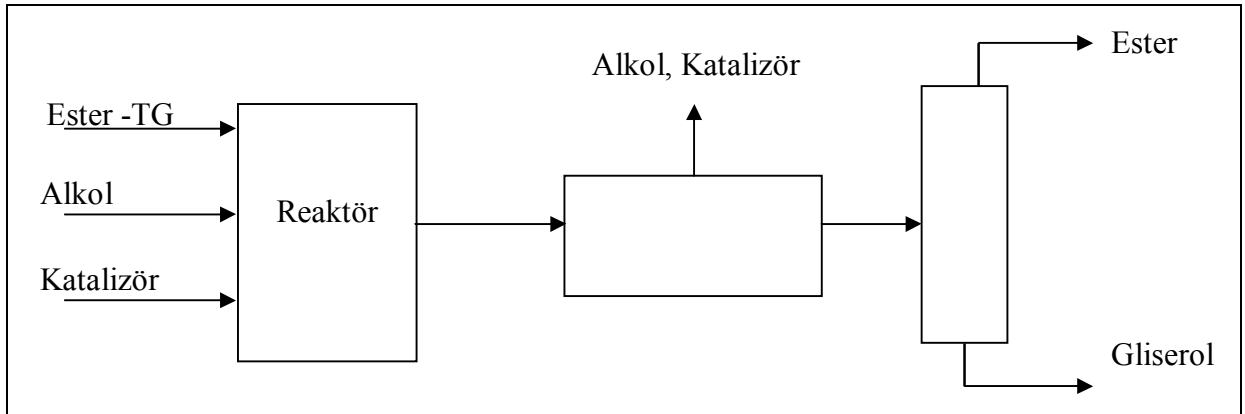
Şekil 4.34 Yüksek serbest yağ asit biyodizel üretim yöntemi

Daha önce belirtildiği gibi asit kataliz prosesi SYA değeri yüksek olan yağların direk esterifikasyonunda kullanılır. Özellikle donyağı ve içyağı yüksek SYA değerlerine sahip hammaddelerdir. Muhakkak suretle daha ucuza temin edilebilmektedir. SYA değerleri %15 civarlarında ya da daha azdır. Bu tarz hammaddelerin direk asit esterifikasyonunda, reaksiyon esnasında su ortamdan atılmalıdır. Bunun yanında serbest yağ asidi oram 20:1 ile 40:1 oranları arasında alkol kullanımı gerektirmektedir. Proses uygulamasına uygun olarak bu sistemin oldukça fazla asit katalizör tüketeceği de unutulmamalıdır (Garpen vd., 2004).

#### 4.5.3.5 Katalizörsüz Sistem

##### 4.5.3.5.1 Biyox Sistem

Biyox sistemi, alkolün yağ fazı içinde çok yavaş çözünmesinden kaynaklanan yavaş reaksiyon zamanını düzenlemek için tasarlanmıştır (Şekil 4.35).



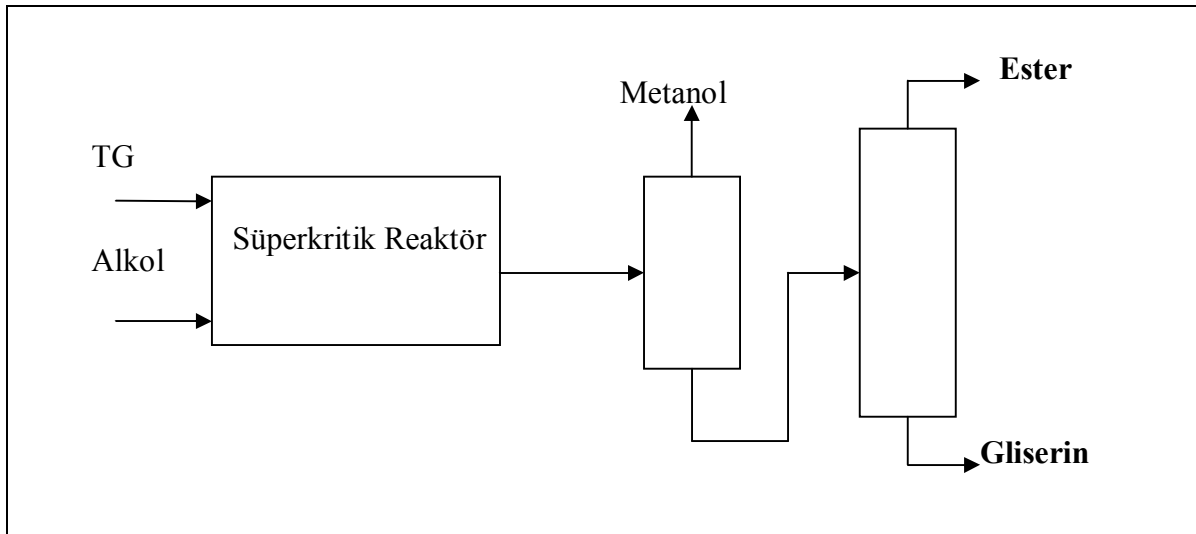
Şekil 4.35 Biyox yöntemi ile biyodizel üretim sistemi

Bu sistemde alkolü çözümede co-solvent (katalizör) olarak tetrahidrofuran kullanılmaktadır. Tetrahidrofuranla tek faz elde edilir. 30 kat metanol, oda sıcaklığında yüksek yağ asitleri ihtiva eden yağlar kullanılabilir. Reaksiyon zamanı 5-10 dakikadır. Ester ve gliserin

fazlarında atık katalizör bulunmaz. Tetrahidrofuranın toksik özelliği nedeniyle bu sistemlerde kullanımı sırasında çok dikkatli olunması ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

#### 4.5.3.5.2 Süper Kritik Sistem

Bir sıvı yahut gaz, kritik noktalarını aşan sıcaklık ve basınç altında kalırsa, orada alışılmamış özelliklere rastlanır. Sıvı ve gaz fazları yerine, sadece tek bir akış fazı bulunur. Hidroksil grubu içeren su veya başlıca alkoller süper asit görevi görürler. Süperkritik yöntem ile biyodizel üretim sistemi şematik olarak Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36 Süperkritik yöntem ile biyodizel üretim sistemi

Bu tür katalizörsüz yaklaşımda alkol yağ oranı 42:1 olarak tespit edilmiştir. Süperkritik şartlar altında (350 °C- 400 °C aralığında sıcaklık ve 80 atm'den daha yüksek basınçta) reaksiyon zamanı 4 dakikadır. Bu sistemin yatırım ve işletme maliyetleri son derece yüksektir. Bunun yanında enerji tüketimi oldukça fazladır. Bu sistemi şaşırtıcı bir model Japonya'da yapılmıştır. Sonuç olarak 3 ila 5 dakikada reaksiyon tamamlanmış, ester ve gliserin fazları hızlı bir şekilde oluşmuştur (Warabi vd., 2003).

## 5. TÜRKİYE'NİN TARIM ALANLARI VE DOĞAL BİTKİ ÖRTÜSÜ

### 5.1 Türkiye'nin Coğrafi Yeri ve Arazi Varlığı

Türkiye'nin dünya kara parçası üzerindeki yerini şu şekilde özetleyebiliriz. Türkiye'nin genel yüzölçümü 77.797.127 hektardır. Bunun 1.102.000 hektarı göllerle kaplıdır. Toprakları Asya ve Avrupa kıtalarında iki bölüme ayrılır. Asya topraklarına Anadolu (75.396.027 hektar), Avrupa'daki topraklarına Trakya (2.401.100 hektar) adı verilir.

Türkiye doğu-batı doğrultusunda uzanan bir dikdörtgen görünümündedir. En kuzey ucu (Kerenpe Burnu, Sinop yakınlarında)  $42^{\circ}26'$ , kuzey ve en güney ucu (Hatay ilinin güney sınırı)  $35^{\circ}51'$  kuzey paralellere rastlar. Doğuda  $44^{\circ}48'$  doğu boylamı (Aras Irmağının Türkiye sınırından çıktığı nokta ) ile batıda  $25^{\circ}39'$  doğu boylamı (İmroz Adasının Avlaka Burnu) arasında uzanır. Bu noktalar arasında uzunluğu 1.565 km, eni 650 km'dir [6].

#### 5.1.1 Türkiye'nin Topoğrafik ve Jeolojik Özellikleri

Topografik yapısı bakımından Türkiye, yüksek yayla karakterinde, çok değişken engebeli ve dağlık arazi durumundadır. Ülkemizde ortalama yükselti 1.130 m civarında olup, arazinin ancak %10'unda yükselti 0-250 m arasındadır. Fazla yükselti yanında, buna bağlı olarak Türkiye arazisi fazla eğime sahip oluşu ile de karakteristiktir. Ülkemiz arazisinin %20 kadarı %15 ve daha az eğimde, geriye kalan %80'i ise %15'ten yukarı eğimli arazi karakterindedir.

Fiziki coğrafya bakımından Türkiye:

1. Kıyı bölgeleri,
2. Yüksek Anadolu platosu,
3. Yüksek dağlık bölge (Doğu Anadolu),
4. Trakya alçak bölgesi olmak üzere 4 kısma ayrılır.

Türkiye'nin güney-kuzey kıyıları boyunca kenar dağları uzanır. Bu dağlar genel olarak doğu-batı doğrultusunda uzanan geniş yaylaları meydana getirirler. Kenar dağları Türkiye'nin doğusunda birbirine yaklaşır ve sıklaşır. Aynı dağlar batıda da birbirine yaklaşır ve sıklaşır, fakat yükseklikleri doğudaki kadar olmadığı gibi, aralarına vadileri de alarak, birbirine paralel olarak Ege kıyılarına dik inerler. Kenar dağların kuşattığı İç Anadolu yayla ve yüksek ova şeklindeki düzlüklerden oluşmuştur. Türkiye'de alçak düzlükler, kıyı ovaları az yer kaplar. Bunlara daha çok ülkenin batı ve güney kısımlarında, Trakya'da ve ayrıca bazı büyük akarsu deltaları yakınında rastlanır.



### 5.1.2 Türkiye'nin İklim Özellikleri

Toprak oluşumunun aktif faktörlerinden olan iklim doğal bitki örtüsü ve kültür bitkilerinin dağılımı üzerinde en büyük etkidir. Yağış ve sıcaklık gibi iklimik faktörler seçilecek tarım sistemleri, tarımsal üretim çeşitliliği ve desenlerine doğrudan etkili olan öğelerdir. Aynı zamanda toprak oluşumunun iklim ile birlikte diğer aktif faktörünün oluşturan doğal vejetasyon örtüsü de iklim faktörleriyle doğrudan etkilidir.

Belirli bir bölgenin iklimini belirleyen en önemli etmenler enlem dereceleri, deniz ve okyanus gibi büyük su kütlelerine olan uzaklık ve yakınlığı, denize göre yükseltisi ve yeryüzü şekilleri, egemen olan rüzgârların yönü ve şiddetidir.

Üç tarafı denizlerle çevrili, 36° - 42° enlem ve 26°- 45° doğu meridyenleri arasında yer alan Türkiye'nin coğrafi konumu ve topoğrafik durumu ülkemizde çeşitli iklim tiplerinin varlığına neden olmuştur. Karadeniz kıyı şeridinin doğusu dışında yağışların yıllık dağılımı düzenli değildir. Yıllık ortalama yağış 670 mm olmakla birlikte bu değer, toplam yüzölçümünün 2/3'nü oluşturan iç kısımlarda 250 mm'ye kadar düşmekte, Doğu Karadeniz kıyı şeridinde 2500 mm'ye yükselmektedir.

Yağışların düzensizliği nedeniyle birçok bitki için, büyüme derecesinde sulama yapılması gerekmektedir. Türkiye beş temel iklim bölgesine ayrılmaktadır.

#### 5.1.2.1 Yağışlı ( Hümid ) İklim Bölgeleri

Kuzeyde Karadeniz, güneyde Akdeniz ve batıda Ege Denizi kıyı şeridine paralel bölgeleri kapsar. Batıda ve güneyde Akdeniz iklim tipi iklim özelliklerini gösterir. Yağış ortalaması 700 mm'nin üzerindedir.

#### 5.1.2.2 Nemli-Az Yağışlı ( Nemli Subhümid ) İklim Bölgeleri

Trakya, İç Batı Anadolu ve Akdeniz kıyı şeridiyle Orta Anadolu platosu arasında kalan küçük bir bölgeyi kapsar. Yıllık ortalama yağış 550-750 mm arasında değişir.

#### 5.1.2.3 Kuru-Az Yağışlı ( Kuru Subhümid ) İklim Bölgeleri

İç Anadolu yarı kurak bölgesini çevreleyen geniş ve düzensiz bir iklim kuşağından ibarettir. Yıllık ortalama yağış 400-500 mm arasında değişir.

#### 5.1.2.4 Yarı Kurak ( Semiarid ) İklim Bölgeleri

Orta Anadolu'da Eskişehir, Ankara, Çorum, Konya ve Kayseri illerinin çevrelediği geniş bir iç bölgedir. Yıllık yağış ortalaması 350 mm civarındadır.

#### 5.1.2.5 Çok Yağışlı ( Per Hümid ) İklim Bölgeleri

Doğu Karadeniz bölgesinin dar bir kıyı bölgesinde Rize ve civarında görülür. Yıllık yağış ortalaması 2500 mm'ye çıkar, çok dar bir alanı kapsamakla birlikte ekonomik bakımdan çok önemli bazı bölgelerin tek yetiştirme bölgesi oluşu (çay gibi) ile önem kazanır. Şekil 5.1'de ve Şekil 5.2'de Ülkemizde sıcaklık dağılışı ve kuraklık haritaları verilmiştir.

### 5.2 Türkiye'de Doğal Bitki Örtüsü

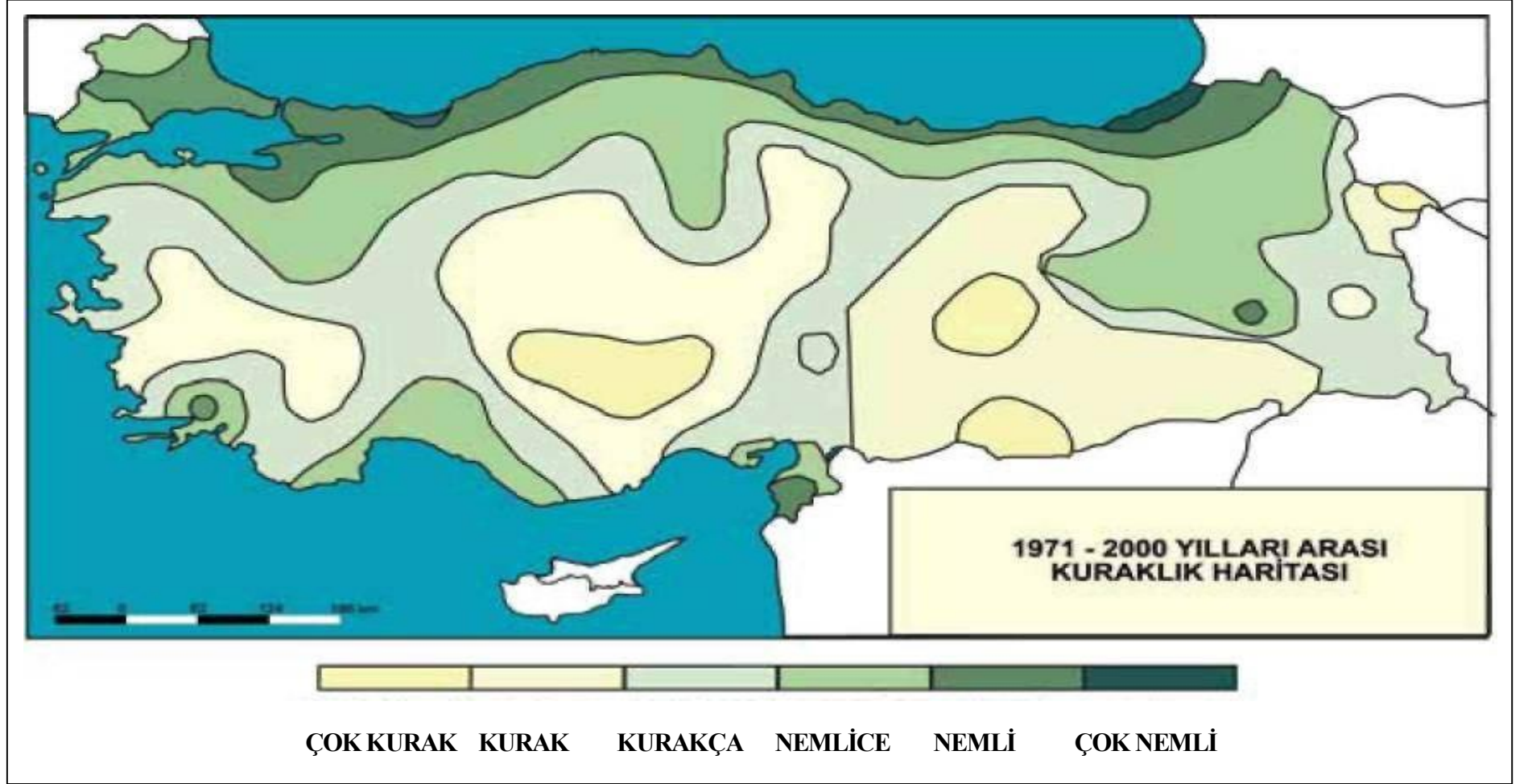
Türkiye'de doğal bitki örtüsü topoğrafik özellikleri ve iklim tipleri kadar değişken ve çeşitlidir. Aynı durum kültür bitkileri içinde geçerli olup, denemeye alınan bazı tropikal ve subtropikal ürünler dışında Türkiye'de doğal koşullar altında tarım yapılamayan kültür bitkisi yoktur denilebilir. Pek çok kültür bitkisinin yabancı formlarını da Anadolu'dan kaynaklandığı bilinmektedir.

Türkiye'deki doğal bitki örtüsünün temelini oluşturan çayır-mera arazileri, orman örtüsü ve fundalık-çalılık alanların genel büyüklük ve dağılımı ve potansiyel özellikleri hakkında geniş bilgiler arazi varlığımız ile ilgili bölümde verilmektedir. Topraklarımızın yaklaşık %65'i doğal bitki örtüsü altında bulunmakla birlikte, doğal vejetasyon çeşidi ve yoğunluğu, ülkemizdeki iklim tiplerine göre tipik değişiklikler gösterir.

Yağışlı bölgelerde özellikler Karadeniz kıyı şeridi boyunca doğal vejetasyon örtüsünü iğne yapraklı ağaçlar özellikle çam, ladin, köknar ile yaprağını döken ağaçlardan kayın, gürgen, meşe, yabancı fındık, ceviz ve funda ve çalılar oluşturur. Ayrıca, yağışlı seven tipik çayır-mera bitkileri, eğrelti otları da bulunur. Yarı nemli ılıman Akdeniz iklim tipinin etkisi altında kalan batı ve güney bölgelerde, iklim faktörleri topografya ve ana materyalinde birlikte etkileri sonucu bu bölgeler için karakteristik bir doğal vejetasyon örtüsü oluşmuştur. Yabancı zeytin, keçiboynuzu, meşe, dış budak, dut, çitlembik, günnük ağacı, fıstık çamı ve diğer çam türleri yanında defne, pırnar meşesi, ılgın, meyan kökü, mersin, hayıt gibi ekonomik değer taşıyan maki örtüsü ve çeşitli funda çalıları gibi çok yıllık ağaç ve ağaççıklar ve çok çeşitli yabancı gramine türleri ve değişik çayır otları Akdeniz iklim bölgelerinin doğal bitki örtüsünü oluşturur. Akdeniz iklim tipi batıda denize dik olarak inen dağların oluşturduğu vadiler ile iç bölgelere; güneyde ise Güney Doğu Anadolu bölgesine kadar etkilerine devam



Şekil 5.1 Sıcaklık dağılışı



Şekil 5.2 Kuraklık haritası

ettirebildiğinden denize göre yükselti ve az çok değişen iklim özelliklerine rağmen Akdeniz iklim bölgelerine özgü doğal vejetasyon iç bölgelere ve güney doğu sınırlarına kadar uzanır.

Karakteristik yarı kurak iklim özellikleri gösteren İç Anadolu Bölgesi'nin doğal bitki örtüsü yarı kurak bölgeler için tipik bitki türlerinden oluşur. Tek veya çok yıllık çalı ve dikensi çalı örtüsü (yavşan otu, deve dikenini) ile birkaç senelik otlardan özellikler ayırık otu, domuz ayrığı, sorguç otu, yumak otu, yonca, fiğ, beyaz tırfıl, dikenli tırfıl gibi değişik bitkiler ile püsküllü brom, tek yıllık bitkilerden yabancı gramıneler; yabancı arpa, yabancı yulaf gibi otlara ve nemli yerlerde yetişen mürdümük doğal çayır ve mera örtüsünü oluşturur. Çok yıllık bitkilerden karışık ve iğneli ağaçlara ve orman örtüsüne geniş alanlar halinde rastlanmaz. Yüksek dağlık bölgeyi oluşturan Doğu Anadolu'da doğal bitki örtüsünü çayır ve mera oluşturur. Yer yer yaprağını döken ağaç ve çamların oluşturduğu geniş orman alanlarına da rastlanır. Genel olarak iklim farklılıkları, ana kaya, topografya, denize göre yükselti ve toprak derinliği gibi faktörlere bağlı olarak, kurak ve yarı kurak bölgelerde seyrek, kısa boylu ve kısa ömürlü otlar ve çalılar, biraz daha nemli koşullarda seyrek çalı ve bodur ağaçlar, yağışlı bölgelerde ise yaprağını döken ve dökmeyen ağaçların meydana getirdiği orman örtüleri oluşmuştur.

### **5.3 Türkiye'deki Arazi Varlığı ve Kullanma Biçimleri**

Mevcut arazi varlığımızın toprak kullanım durumu ve genel dağılımına kısaca bakacak olursak ortalama arazi kullanım dağılımını şöyledir. Çizelge 5.1 Arazilerin Sınıflandırılması verilmiştir (Sarı, 1998).

Arazi miktarları, söz konusu bu arazilerin çeşitli kullanımlar altındaki potansiyel özellikleri, fiziksel çevre koşulları, yöresel iklim, rölyef, topografya, toprak, hidroloji ve bitki örtüsü gibi daha pek çok unsurun bilimsel ve teknolojik metotlar dahilinde değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Diğer bir deyişle; eğer erozyonla toprak kayıpları oluşmasın, çevre kirliliği ve doğa tahribatı ortaya çıkmasın, sel ve taşkın afetleri ile can ve mal kayıpları meydana gelmeyecek şekilde kullanılmalıdır.

Arazisinin %80'i, %15'ten fazla eğime sahip olan Türkiye'de doğal olarak erozyon tehlikesine karşı muhafazalı toprak kullanımı planlamasına mutlaka uyulması gerektiği halde bu konuda hiçbir koruyucu planlama yapılmamıştır. Bunun sonucunda da arazi varlığımızın halen %73.45'i olan 57.148.886 hektarında su erozyonu, yaklaşık %0.60'ı olan 465.913 hektarında rüzgâr erozyonu rüzgâr erozyonu aktif olarak bulunmaktadır. Ortalama sayılarla tarım arazilerimizin yaklaşık 16 milyon ha'sında orta, şiddetli ve çok şiddetli derecede su erozyonu ve 330.000 ha'sında rüzgâr erozyon zararı ve toprak kaybı tehlikesi bulunmaktadır.

Çizelge 5.1 Arazilerin Sınıflandırılması

Genel Sınıf ve Standartlar	1.Sınıf arazi	2.Sınıf arazi	3.Sınıf arazi	4.Sınıf arazi	5.Sınıf arazi	6.Sınıf arazi
<b>Toprak Özellikleri</b>	Derinlik 45 cm den fazla, Bünye orta, orta ağır ve orta kaba; Tuz $\leq 0,2$ , ekstraktının kondaktivitesi $EC \leq 4$ mm/cm, $Ph < 9$ , Na zarar vermeyecek kadar az	Derinlik 35 cm den fazla, Bünye: geçirgenliği iyi ağır, orta, orta ağır ve orta kaba; Tuz $\leq 0,5$ , $EC \leq 8$ mm/cm, $PH \leq 9$ Na zarar vermeyecek kadar az	Derinlik 25 cm den fazla, Bünye: ağır, orta, orta ağır ve orta kaba CL; Tuz $< 0,5$ $EC \leq 8$ mm/cm geçirgen ve iyi drenajlı topraklarda daha fazla olabilir, $PH \leq 9$ , $Na < 10$	Derinlik 20 cm den fazla, Bünye: ağır, orta, orta ağır ve orta kaba; Tuz % 0,5'i geçebilir, $PH: 9^{\circ}$ dan az, Na %15 olabilir	Mevcut hali ile sulamaya uygun değildir. Ekonomik olarak Islah edildiğinde tarım yapılabilir	Sulanmaz araziler: Ekonomik olarak ıslahı imkânsız olan arazilerdir.
<b>Topoğrafik özellikleri</b>	Eğim $< 4$ ; toprak işlemeyi engellemeyecek kadar taşlık, hafif tesviye ihtiyacı	Eğim $< 8$ , arızalı eğimde $< 4$ ; toprak işlemeyi engellemeyecek kadar taşlık ve tesviye ihtiyacı 1. Sınıftan fazla	Eğim $< 12$ , arızalı eğimde $< 8$ ; toprak işlemeyi engellemeyen taşlık ve tesviye ihtiyacı 2. Sınıftan çok	Eğim $\leq 20$ ; taşlık orta derecede olabilir, tesviye ihtiyacı yüksek		

Çizelge 5.2’de Arazi kullanma biçimlerine bakılırsa 6.112.000 ha işlenen arazinin V-VIII. kabiliyet sınıfı pulluk girmemesi gereken arazi olduğu halde sürülüp işlendiği görülür. Ayrıca toplam 569.000 ha olan meskûn arazi endüstri ve yerleşim alanlarının % 34’ü olan 172.000 ha’sı I-III kabiliyet sınıfı arazisi olduğu halde tarım dışı kullanıma ayrılmış bulunmaktadır.

Yeniden tarıma tahsisi mümkün olmayan bu arazilerin, kırsal alandan kentleşmeye yönelik hızı ve nüfus artışı ile endüstri alanlarının alt yapı ve temel yatırım sorunu olmayan yerleri seçmelerine paralel olarak her yıl önemli oranda artacağı yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.2 Türkiye’de şimdiki arazi kullanma biçimlerinin (kabiliyet) sınıflarına dağılımı

<b>Kabiliyet Sınıfları (1000 hektar)</b>									
<b>KULLANMA BİÇİMİ</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	<b>TOPLAM</b>
<b>İşlenen Arazi</b>	4 778	5 987	6 229	4 593	18	3 848	2246	-	<b>27 699</b>
<b>Kuru Tarım Arazisi (Nadash)</b>	2 340	3 362	4 296	3 321	10	2 479	985	-	<b>16 793</b>
<b>Kuru Tarım Arazisi (Nadassız)</b>	816	1 514	1 143	742	4	898	699	-	<b>5 816</b>
<b>Bağ-Bahçe</b>	176	188	205	172	-	202	115	-	<b>1 058</b>
<b>Sulu Tarım</b>	1413	836	476	223	4	34	4	-	<b>2 990</b>
<b>Özel Bitkiler (Zeytin, A. Fıstığı, Çay)</b>	33	87	109	135	-	235	443	-	<b>1 042</b>
<b>Çayır-Mera Arazisi</b>	178	547	826	1 731	103	4 104	14257	-	<b>21 746</b>
<b>Çayır Arazisi</b>	69	149	108	82	80	49	107	-	<b>644</b>
<b>Mera Arazisi</b>	109	398	718	1 649	23	4 055	14150	-	<b>21 102</b>
<b>Orman ve Fundalık</b>	17	172	477	840	31	2 237	1 9694	-	<b>23 468</b>
<b>Orman Arazisi</b>	5	92	322	575	10	1 240	12 891	-	<b>15 135</b>
<b>Funda ve Çalılık Arazi</b>	12	80	155	265	21	997	6 803	-	<b>8 333</b>
<b>Yerleşim Alanları</b>	40	53	42	37	-	49	57	292	<b>570</b>
<b>Diğer Araziler</b>	-	-	-	-	13	-	35	3 164	<b>3 212</b>
<b>Su Yüzeyleri</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>1 102</b>
<b>Kabiliyet Sınıfları Toplamı</b>	5 013	6 759	7 574	7 201	165	10 238	16 289	3 456	<b>76 684</b>
<b>GENEL TOPLAM</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>77. 797</b>

23.468.000 ha olarak gösterilen orman arazisinin 8.333.000 ha’sı makilik, fundalık ve çalılık

arazi karakterinde olup bu arazinin 512.000 ha'sı basit ıslah çalışmaları ile tarıma kazandırabilecek tarım arazisi karakterindedir. Orman için mera arazisi 3.450.000 ha kadar olup ıslahı gereken bu araziler her yıl ormanların aleyhine genişlemektedir. Mevcut orman arazisinin %39 iyi ve orta karakterli işletmeye elverişli, geriye kalan % 60.6'sı ise bozuk karakterli ve ıslahı gerektirmektedir. Ayrıca 2.874 bin hektar mera arazisi I-IV kabiliyet sınıfı tarım arazisi karakterinde iken halen mera olarak kullanılmaktadır.

Bu bilgilerden anlaşılacağı gibi, ülkemizde tüm Türkiye'yi kapsayacak biçimde veya bölgesel biçimde, arazi ve kullanımı planlaması yoktur. Araziler ya doğal olarak bulunduğu şekilde kullanılmış ya da devlete, özel mülkiyete ait araziler kullananların özel isteklerine göre belirli amaçlara tahsis edilmişlerdir. Bu durum kamuya ait orman ve mera arazilerinde olduğu gibi tarım arazilerinde sürdürülmüştür. Planlı kullanımda pulluk girmesi gereken 6.112.000 hektar arazi halen tarım arazisi; tarım arazisi olması gereken 2.874 bin hektar arazi ise mera arazisi olarak kullanılmakta, tarım arazisi kabiliyetinde 512.000 hektar fundalık-çalılık arazisi ise ormana terkedilmiş bulunmaktadır.

Doğal kaynaklarımızın temelini oluşturan toprak varlığımızın potansiyeli ve bu potansiyelin verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığı; ancak detaylı toprak haritaları çıkarılması, büyük toprak gruplarının dağılımı ve önemli özelliklerinin saptanması arazi kullanma kabiliyet sınıflarına göre, kullanım planlamalarının yapılması ile mümkündür.

Topraklarımızın yaklaşık 2/3'ünde kurak ve yarı kurak iklim özelliklerine bağlı kalınarak tarım yapılan ülkemizde tarımsal üretimin göstergesi olarak hububat tarımı esas alınır, hububat ekim alanları büyüklüğü bakımından dünya ülkeleri arasında altıncı sırada yer alan Türkiye'de hektara buğday veriminde yirmi ikinci sırada yer aldığı görülür. Yapılan araştırmalar Türkiye'de verimin sulama ile 2-3 kat artırılabilirliğini, elverişli koşullarla yılda bir değil ikinci hatta üçüncü ürünün alınabileceğini göstermekte olup son yıllarda yapılan ikinci ürün denemelerinden çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Ancak Çizelge 5.2'te görüleceği gibi halen 27.699.000 hektar işlenen tarım arazisinin, 16.793.000 ha'sında nadaslı kuru tarım yapılarak ancak 2 yılda bir ürün alınabilmektedir.

Yapılan incelemelere göre Türkiye'de işlenebilir tarım alanlarının 12.500.000 ha'sı sulanabilir nitelikte olup, ancak havzaların teknik özelliklerine göre uzun dönemde 8.628.000 ha'sı sulanabilecek durumdadır. Halen sulanabilen arazilerimiz 2.586.000 ha olup genelin % 3.32, işlenen tarım arazilerimizin %9.39'u kadardır.

Tarım potansiyelimizin temelini oluşturan toprak kaynağımızın verimli olarak kullanılabilmesi



bilimsel norm ve ölçülere göre hazırlanacak toprak haritaları ve bunlardan yararlanılarak yapılacak kullanım ve üretim plan ve programları ile mümkün olacaktır [6].

#### 5.4 Türkiye'nin 1998-2008 Yılları Ekili Dikili Alanları

Türkiye'nin ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı 1998 ile 2008 yıllarına göre Çizelge 5.3'de verilmiştir. Çizelgede verilen verilere göre toplam ekilebilecek arazi varlığının yaklaşık %18- 22'si nadas nedeniyle üretim dışı bırakılmaktadır.

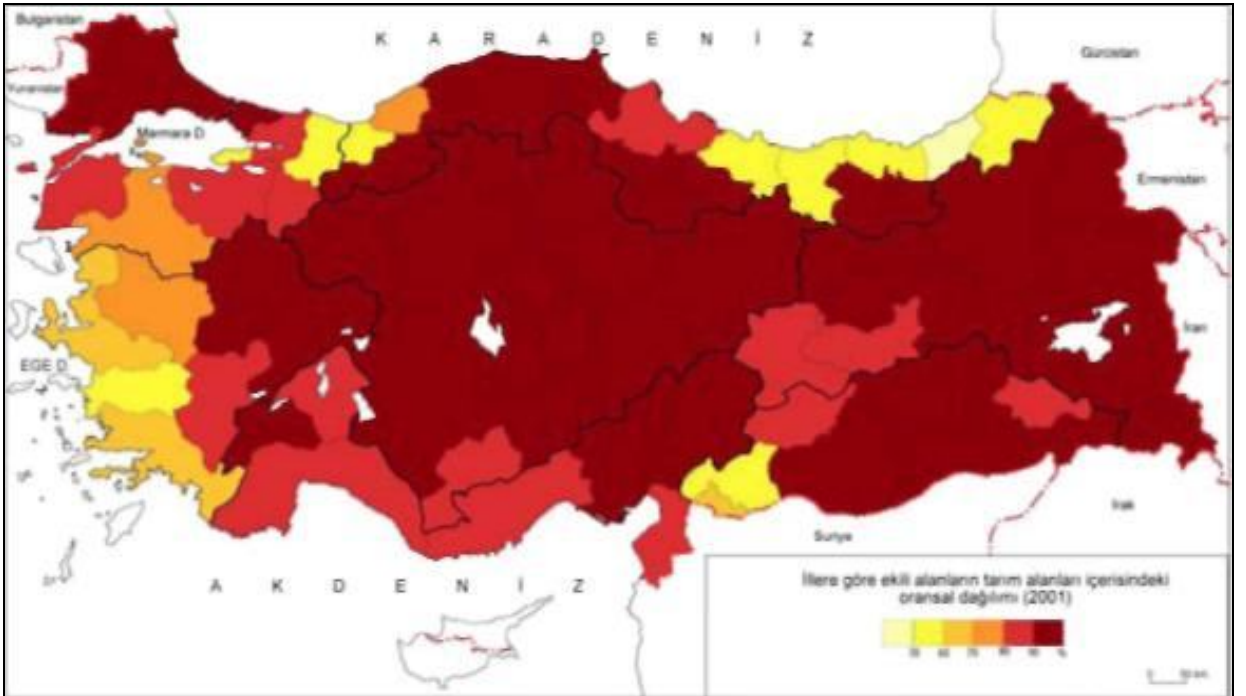
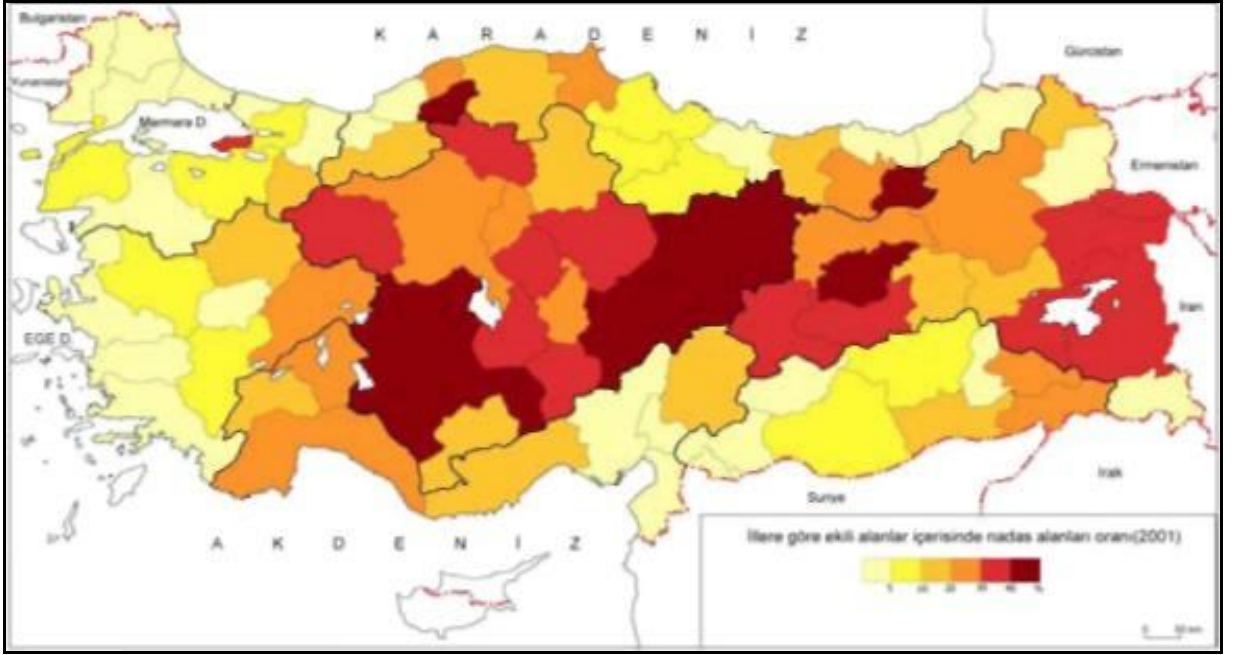
Çizelge 5.3 Türkiye'nin 1998 ile 2008 yılları arasında ekilebilen, nadasa bırakılan ve toplam arazi varlığı (TÜİK, 2010)

Yıl	Tahıllar (Bin Hektar)			Diğer Bitkisel Ürünlerin Alanı (Bin Hektar)				Orman Alanı (Bin Hektar)
	Toplam	Ekilen Alan	Nadas	Sebze Bahçeleri Alanı	Meyveler, İçecek ve Baharat Bitkileri Alanı	Bağ Alanı	Zeytin Ağaçlarının Kapladığı Alan	
1998	23 656	18 751	4 902	783	1 389	541	600	20 703
1999	23 489	18 450	5 039	790	1 393	535	595	20 703
2000	23 033	18 207	4 826	793	1 418	535	600	20 703
2001	23 001	18 087	4 914	799	1 425	525	600	20 703
2002	23 163	18 123	5 040	831	1 435	530	620	20 703
2003	22 554	17 563	4 991	818	1 501	530	625	20 703
2004	23 066	18 110	4 956	805	1 558	520	644	21 189
2005	23 024	18 148	4 876	806	1 598	516	662	21 189
2006 <sup>(1)</sup>	22 131	17 440	4 691	853	1 670	513	712	21 189
2007	21 164	16 945	4 219	815	1 671	485	753	21 189
2008	20 719	16 460	4 259	836	1 693	483	774	21 189

Bir başka anlatımla arazi varlığının %18-22'si iki yılda bir değerlendirilebilmektedir. İleri tarım tekniklerinin uygulandığı ülkelerde, tarım tekniklerinin bir arada uygulanması ile nadastan vazgeçilmektedir. Bu tekniklerden biri de münavebedir. Ülkemizde de bu alanda yapılacak araştırmalarla diğer tarım tekniklerinin yanında yağ bitkilerinin münavebe olanakları artırılarak nadas alanları azaltılabilir (Ulusoy ve Alibaş, 2002). Şekil 5.3'de

<sup>1</sup> 2006 yılından itibaren Avrupa Birliğinin faaliyetlere göre Ürünlerin İstatistik Sınıflaması (FÜS 2002) kullanılmaya başlanmıştır.

Türkiye 2001 yılı ekili alanları içerisinde nadas alanlarının illere göre oransal dağılımı, Şekil 5.4’de Türkiye 2001 tarım alanları içerisinde ekili alanların illere göre oransal dağılımı haritaları verilmiştir.



## 6. TÜRKİYE'DE YETİŞEN YAĞ BİTKİLERİ VE ÜRETİMİ

### 6.1 Türkiye'deki Yağlı Bitkileri

Yeryüzünde yetişen tohum ve yağ elde edilen ve biyodizel üretimine kaynak teşkil edebilecek yaygın bitkiler ve bunların yağ oranları Çizelge 4.5' te verilmiştir. Bu bölümde ülkemizde yetişen ve ekonomik olarak istatistiklere giren yağlı tohumlu bitkilere yer verilmiştir.

**Yağ oranı %15'i** geçen bitkilere **yağ bitkileri** denir. Bunlar tarla tarımı içerisinde tohumlardan yağ çıkartılan genellikle tek yıllık olan kanola, ayçiçeği, aspir, soya, pamuk çiğidi, haşhaş tohumu, keten tohumu ve yer fıstığı gibi bitkilerdir. Fındık, zeytin, badem, ceviz gibi yağ oranları yüksek meyvelerden de yağ ve buna bağlı biyodizel üretilebilir. Ayrıca ekonomik olmayan acı bakla, bal kabağı, hardal, ızgın, pelemir gibi ekonomik olmayan ve verimleri çok düşük bitki ve meyvelerden yağ elde edilerek biyodizel de kullanılabilir.

Bir de yağ oranı yüksek olmayıp da içinde % **2-5** oranında yağ içeren ve yağ bulunduran bitkiler de vardır, mısır özü yağı gibi. Mısır bitkisinden nişasta ve şeker elde edilirken özü (endospermi) ayrılır ve bu öz kendi bünyesinde yüksek yağ ihtiva eder. Bu öz preslenerek yağ elde edilir. Tütün tohumu yağı gibi yağlarda buna benzer (Süzer, 2008).

Tohumlarda bulunan depo lipitlerinin (yağ) büyük kısmı trigliseridlerdir. Bunlar başlangıçta yağlı dokularda bulunan lipazlarla hidrolize olurlar ve bir molekül gliserin molekülü ve üç yağ asidi meydana gelir. Daha sonra, gliserol, glisosis ve sitrik asit döngüsünde enerji kaynağı olarak kullanılırlar.

Bitkiler yağ muhteviyatında bulundurduğu karbon yaprakları aracılığı ile havadaki CO<sub>2</sub>'yi absorbe ederler. Toprakta azot, demir, kükürt, fosfor ve potasyum gibi elementleri kökleri ile topraktan alırlar. Yağı üretirken de gerekli enerjiyi yaprakları yardımı ile güneşten alır ve kimyasal reaksiyonlar sonucu yağa dönüştürüp tohumlarında saklarlar. İşte bu nedenle, yağın içerisinde fosfor ve benzeri bileşikler bulunur. Özellikle fosfor, Biyodizel açısından oldukça önemlidir.

Bitkiler fosforu asal olarak primer ort fosfat iyonu H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> halinde absorbe ederler. Fosfor bitkilerde nükleik asidin, fitinin ve fosfolipitlerin yapı maddesi olup döllenme için gereklidir. Fotosentezde ve enerji taşınmasında önemli rol oynar. Fosfor noksanlığında ise bitki büyümesi geriler. Gelişmenin sonlarına doğru tohuma ve meyvelere aktarılır. Bitkilerde fosfor düzeyi %0,01 dolaylarındadır.

Bitkilerde bulunan fosfor, tohumlardaki yağların sıkılması sürecinde yağlara geçmekte ve

biyodizel üretimini ve kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Biyodizel üretiminde olası fosforun yağdan uzaklaştırılması gerekir. 500-600 ppm mertebesindeki fosforun 10-20 ppm mertebesine çekilmesi gerekir. Bir tohumun biyodizel olarak kullanılmasını belirleyen faktörler şunlardır;

- 1-) Yağ oranı,
- 2-) İçerdiği yağın kimyasal özelliği, yağ asitleri ve nispeti,
- 3-) İçerdiği yağın fiziksel özellikleri (donma noktası gibi),
- 4-) Rengi, kokusu,
- 5-) Tarıma elverişliliği, iklim ve toprak seçiciliği, sulama isteği, tarımsal mekanizasyona yatkınlığı, sosyal ve kültürel alışkanlıklar, eğitim ve öğretimin kolaylığı,
- 6-) Ekim ve hasat tarihi,
- 7-) Depolama şartları, taşınabilirlik, bozulma süresi,
- 8-) Ürün işleme teknolojisi ve yağ çıkarmaya yatkınlık,
- 9-) Üretim miktarı / üretilebilme büyüklüğü,
- 10-) Bitkinin tek yıllık veya çift yıllık olması,
- 11-) Verimi dekar / kg,
- 12-) Maliyet / ürün fiyatı diğer rakip tarımsal ürünleri fiyatı (parite),
- 13-) Gıda ve diğer sektörlerde kullanılabilmesi ve fiyatı (rekabeti),
- 14-) Ülkelerin verdiği teşvik ve destekler,
- 15-) Tarımsal girdi maliyetleri,
- 16-) Tohumun preslenmesinden sonra kalan küspenin protein miktarı ve pazarıdır.

Yukarıda belirtilen şartlara uygun, biyodizel üretiminde tercih edilen enerji bitkilerinin başlıcaları; kolza (kanola), aspir, ayçiçeği, soya ve palm yağıdır [2].

Özellikle bazı ülkelerde bu artış aşırı derecede olmakta ve bu ülkeler bu yağ bitkileri ile özdeşleşmektedir. Örneğin ABD'de soya; Almanya'da kolza gibi. Bununla birlikte yenilenebilir ham materyallere olan ilgide giderek artmaktadır. Ürünler tarımsal girdiler ve yetiştirme tekniklerine göre farklılıklar göstermektedir. Yağ bitkilerinin yağ asitleri kompozisyonu sürekli sabit olmayıp; yağ asitleri sentezi genetik, ekolojik, morfolojik, fizyolojik ve kültürel uygulamalara bağlı olarak değiştiği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir.

Çizelge 6.1'de Ülkemizde yetişen çeşitli yağlı tohumlu bitkilerin toprak ve iklim özellikleri verilmiştir [6]. Çizelge 6.2'de Ülkemizde yetişen çeşitli yağlı tohumlu bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir (Nas vd., 2001; Kayahan, 2006).

Çizelge 6.1 Ülkemizde yetişen çeşitli yağlı tohumlu bitkilerin toprak ve iklim özellikleri

Yağ Bitkileri		Kolza (Brassica napus)	Aspir (Carthamus tinctorius)	Soya (Glycine max)	Mısır (Zeamays)	Ayçiçeği (Helianthus annis)	Pamuk Çiğdi (Gossypium spp.)	Susam (Sesamum indicum)	Kenevir (Cannabis sativa)	Yerfıstığı (Arachis hypogaea)	Keten (Linum usitatissimum)	Haşhaş (Papaver sommiferum)	
1	Verim	* %	33-40	25-37	17-26	5-6	35-50	20	50	30-35	36-50	38	40-50
		%	30-50	30-50	18-26	5-6	22-50	17-24	50-50	30-38	44-58	40-50	40-45
		* Kgyağ/ha	1000	655	375	145	800	273	585	305	890	402	978
		Kg toh./da	150-250 Sul.:250-350	80-250 Sul.:300-400	1.Ür.:300-400 2.Ür.:250-300	800	110-150	25-30	60-80 Kuru:20-30	80-100	1.Ür.:240-280 2.Ür.:180-200	40-150	150
2	Üretim (Ton) **	22 918	1 713	46 071	3 603 333	939 901	1 321 487	22 982	29	83 190	75	22 243	
3	Üretim Bölgesi	1.Marmara, Ege, 2.Tüm Bölgeler.	Tüm Bölgeler.	Ege, Akdeniz Güneydoğu Anadolu.	Karadeniz, Akdeniz, Marmara, Ege Bölgeleri.	1.Trakya, Marmara, 2. Anadolu.	Çukurova, Ege Güneydoğu Anadolu.	Sıcağı sever Tropikal, Suptropikal ve Ilıman bölgeler.	Karadeniz İç Anadolu	Tropikal, Suptropikal ve Ilıman bölgeler.	Batı İç Anadolu, Karadeniz, Hafif Serin, Ilıman bölgeler.	Güneşi ve sıcaklığı sever.	
4	Yağın Eldesi	Tohum	Tohum	Tohum	Tohum	Tohum	Tohum	Tohum	Tohum	Tohum	Tohum	Tohum	
5	Yıllık Ekim	Yazlık/ Kışlık	Ilıman bölgeler Kışlık/Yaz. 2.Ürün	Yazlık/ 2. Ürün	Yazlık	Yazlık	Yazlık	Yazlık/ 2.Ürün	Yazlık	Yazlık 2. Ürün	Yazlık/Kışlık Ilıman bölgeler	Yazlık/ Kışlık	
6	Ekim Zamanı	Kışlık: 15.9/15.10 Yazlık: İlkbahar	İli.:15.2-15.3 Soğuk:15 Nisana kadar	Nisan-Mayıs Sıcaklığı 10-12(°C)	Nisan- Mayıs	Mart, Nisan, Mayıs	Toprak Sıcaklığı 15 °C	Toprak Sıcaklığı 15°C	Mart -Nisan	Toprak Sıcaklığı 15°C	Kışlık: Eylül-Ekim Yazlık: Mart-Nisan	Kışlık:Ekim Yazlık: Mart- Nisan	
7	Hasat Zamanı	10.5-10.6	110-140gün sonra	Eylül	Eylül	Ağustos- Eylül	Ağustos- Aralık	90-120 gün sonra	Eylül	150-160 gün sora	-	-	
8	Çimlenme Sıcaklığı (°C)	10-12	4-5 12 Optimum	10-12	10-11	8-10	15	15-20	Yüksek nispi nem ve sıcaklık	13-15	-	4	

\* Literatür

\*\* (2003-2008 yılları arası ortalaması)

## Devamı

Devamı	Yağ Bitkileri	Kolza (Brassica napus)	Aspir (Carthamus tinctorius)	Soya (Glycine max)	Mısır (Zeamays)	Ayçiçeği (Helianthus annuus)	Pamuk Çiğidi (Gossypium spp.)	Susam (Sesamum indicum)	Kenevir (Cannabis sativa)	Yerfıstığı (Arachis hypogaea)	Keten (Linum usitatissimum)	Haşhaş (Papaver sommiferum)
9	Toprak İstekleri	Kumlu ve hafif topraklar hariç hepsi. (Humuslu derin topraklarda iyi yetişir)	Kurağa dayanıklı, kıraç topraklarda, yetişebilir	Sıcağı sever, tropikal, subtropikal bölgeler, tuza hassas, çorak çok kumlu dışında iyi yetişir.	Siltli killi topraklar.	Fazla taşlı kumlu ve yüzlek toprakları sevmez.	Derin profilili ve allüvyal topraklar.	Kumlu, killi allüvyal topraklar.	Dere, nehir yatak. besince zengin, gevşek ve organik allüvyal topraklar.	İyi drene olmuş ve gevşek, kumlu, tınlı, kalsiyum zengin, orta organik madde.	İnce yapılı, kil oranı yüksek topraklar.	Orta ağırlıktaki allüvyal Topraklar.
10	Sulama	Verimi art.	Verimi art.	3-4	3-4	2-3	3-5	1-3	2-4	4-8	Verimi art.	2
11	Sıcaklık İsteği (°C)	2300-2500	Soğuğa dayanıklı	2500-3000	Ilıman ve Tropikal bölg.	Ilıman 2600-2850	Yıllık ortalama 19(°C)	2500-2800	-	3000-4500	-	2300-2700
12	PH	4.2-8.2	Nötr (5-7)	6.2-7	Nötr-Hafif Asitli	6-7.2	6.5-7.5	Nötr	7-7.5	6-6.4	6-7	6.4-7.4
13	Ekim Nispeti	Münavebe	Münavebe	Münavebe	Münavebe	Münavebe	Münavebe	Münavebe	Münavebe	Münavebe	Münavebe	Münavebe
14	Bakım	Taban suyu dikkat. Mekanizasyona Uygun	Yabancı ot mücadelesi	2-3 Kez Çapalama, ot Mücadelesi.	Çapalama, Boğaz doldurma ot mücadelesi.	2-3 Kez Çapalama	Seyretme ve Çapalama	2-3 Kez Çapalama	Çapalama	2-4 Kez Çapalama	Yabancı ot Kontrolü.	2 Kez Çapalama
15	Yağış İsteği (mm)	300-2800	Kurağa Dayanıklı	450-550	2100-2200	500-600	400-600	-	700	500-600	450-750	600-700
16	Dona Dayanıklılık (°C)	-15	-7 (-12 bazı çeşidi)	-1.5 (-2.5)	-	-4, -6	-	-	-5	-	-2, -3	-5

Çizelge 6.2 Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri

		Soya Yağı	Aspir	Kolza (D.Linolenik/ Y. Oleik)		Mısır	Ayçiçeği	Susam	Kenevir	Yer fıstığı Yağı	Keten Tohumu	Pamuk Toh. (Çiğit) Yağı	Haşhaş Tohumu
1	Özgül Ağırlık (25°C /15.5°C)	0.917- 0.921	0.919- 0.924	0.906- 0.910		0.915- 0.920	0.915- 0.919	0.914- 0.919	0.923- 0.925	0.910- 0.915	0.90- 0.911	0.916- 0.918	0.908- 0.911
2	Kırılma İndisi (25°C)	1.470- 1.476	1.472- 1.475	1.470-1.474		1.470- 1.474	1.472- 1.474	1.470- 1.474	1.470- 1.473	1.467- 1.470	1.477- 1.482	1.468- 1.472	1.467- 1.470
3	İyot Sayısı	120-140	140-150	100-120		110-130	125-136	103-116	140-175	84-100	165-204	99-113	132-142
4	Sabunlaşma Sayısı (mg KOH/ g yağ)	189-195	186-197	170-180		187-193	188-194	188-195	190-193	188-195	189-195	189-198	185-196
5	Sabunlaşmayan Madde (%)	<1.5	<1.5	<1.5		<2	<1.5	<1.8	1	<1	<1.7	<1.5	<1.5
6	Titer(°C)	24	-	11.5-15		14-20	16-20	20-25	15-17	26-32	19-21	-	30-37
7	Lignoserik						Eser-0.4						
8	Miristik	Eer.-2.5	Eser	<1.5	-	Eser		Eser		Eser-1		0.5-2	0.5-1.5
9	Palmitik	7-11	3-6	1-4.7	4-5	3-6	3-6	7-9		6-9	4-7	17-29	20-23
10	Stearik	2-6	1-4	1-3.5	1-2	1-4	1-3	4-5		3-6	2-5	1-4	1-3
11	C <sub>20</sub> ve Yağ Asitleri	0.3-3											
12	Araşhidik		Eser-0.2			Eser-0.2	0.6-4	0.4-1		2-4	0.3-1	0.5-1.1	0.2-1.5

Devamı		Soya Yağı	Aspir	Kolza (D.Linolenik/ Y. Oleik)		Mısır	Ayçiçeği	Susam	Kenevir	Yer fıstığı Yağı	Keten Tohumu	Pamuk Toh. (Çiğit) Yağı	Haşhaş Tohumu
<b>13</b>	<b>Toplam Doymuş Yağ Asitleri %</b>	<b>11-20</b>	<b>5-10</b>	<b>5.4-9.5</b>		<b>5-10</b>	<b>8.7-14.2</b>	<b>12-14</b>	<b>5-10</b>	<b>12-16</b>	<b>8-17</b>	<b>15-35</b>	<b>20-35</b>
<b>14</b>	Oleik	15-33	13-21	13-38	55-63	13-21	14-43	37-49	7-14	37-49	12-34	15.3-36	23-25
<b>15</b>	Linoleik	43-56	73-79	9.5-22	20-31	73-79	44-75	35-47	46-69	35-47	17-24	33-54.8	42-54
<b>16</b>	Linolenik	5-11	Eser	1-10	9-10	Eser	Eser-2		16-28		60	0.1-2.1	
<b>17</b>	Palmitoleik											0.5-1.5	
<b>18</b>	Erusik			40-64	<1								
<b>19</b>	Hekzadekenoik							<1		<1			
<b>20</b>	C <sub>16</sub> ve daha aşağısı	Es.-1											
<b>21</b>	<b>Toplam Doymamış Yağ Asitleri %</b>	<b>83-90</b>	<b>90-95</b>	<b>90.5-94.2</b>		<b>90-95</b>	<b>85-91</b>	<b>86-88</b>	<b>90-95</b>	<b>86-88</b>	<b>83-92</b>	<b>65-85</b>	<b>65-80</b>
<b>22</b>	GS <sub>3</sub> (Doymuş Trigliserid %)	-	-	1.4-2.8		-	-	--		0-0.1	-	1	-
<b>23</b>	GS <sub>2</sub> U(Bir Doymuş Trigliserid %)	<5	1	-		2.0	0-2	5.9		12-20	3-5	12-24	1
<b>24</b>	GSU <sub>2</sub> (İki Doymuş Trigliserid %)	30.9-35	15	13-16.8		41.0	35-45	41		50-58	41-43	50-58	41-46
<b>25</b>	GSU <sub>3</sub> (Doymamış Trigliserid %)	40-60	84	74.0-78.5		57.0	56-63.	54		28- 36	52-56	28-36	53-58



## 6.2 Türkiye'deki Yağlı Tohum Üretimi Miktarı

Türkiye'de tarımsal nüfusun toplam nüfusa oranı %35 gibi yüksek bir orandadır. Kırsal nüfusun oldukça yüksek seviyede olması, sektör üzerinde ağır ve yoğun bir nüfus baskısına ve gizli işsizliğe yol açmaktadır. Türkiye'de öncelikle değerlendirilmesi gereken yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde bulunan biyodizelin yeni teknolojiler kullanıma sokulması, Türkiye'de yeni iş sahaları açacak, işsizliği azaltarak, milli geliri yükseltecektir.

Tarımın sektörü Türkiye ekonomisi içinde, %18'lik bir paya sahiptir. Arpa ve buğday Türkiye'de ekimi en çok gerçekleştirilen tarım ürünleridir. Bu ürünler dışında Türkiye'de yağlı tohum tarımı da büyük ölçüde gerçekleştirilmektedir.

Bitkisel yağlar ülkemizde halen yemeklik yağ olarak tüketildiğinden ekiliş ve üretim miktarları bu alana cevap verebilecek düzeydedir. Bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılabilir duruma gelmesiyle, bu alandaki üretimin artırılma olanağı vardır. Türkiye'de kanola, aspir, ayçiçeği, soya gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür.

Bu bitkiler arasından kanola diğerlerine göre daha az maliyetli olması, yüksek yağ içeriği, ekiminin devlet tarafından desteklenmesi gibi özellikleri nedeniyle enerji amaçlı tarım için avantajlı görünmektedir. Kanola Türkiye'nin iklim ve toprak özelliklerine tam uyum göstermektedir. Yaz ve kış ekimi gerçekleştirilebilen kanola, Türkiye'de Trakya ve iç Anadolu Bölgeleri'nde yetiştirilmektedir. Ayrıca Güneydoğu Anadolu Projesi'nde de sulu tarım olanağı olan 10 milyon dekarlık alanda pamuk ile dönüşümlü olarak kanola ekimi mümkündür. GAP Bölgesi'nde kanola ekimi ile yılda 1.5 milyon ton biyodizel üretimi mümkündür (Akunal ve Tolay, 2003). Yağlı tohumlu bitkilerin ekim alanlarının artırılmasında, ileriye dönük üretim hedeflerimizi gerçekleştirebilmek için önümüzde; kademeli olarak sulamaya açılan GAP alanı büyük bir şanstır. Bu bölgede özellikle soya, yerbıstığı, aspir, ayçiçeği ve kolza gibi alternatif yağ bitkilerinin üretimi devletçe teşvik edici tedbirlerle gerçekleştirildiği takdirde büyük bir adım atılmış olacaktır.

Enerji amaçlı tarımın, Türkiye tarım politikası içinde yer alması, çiftçinin yönlendirilmesi yararlı olacaktır. Tarımsal üretimle ilgili olarak aşağıdaki düzenlemeler yapılmalıdır. Biyodizel üretiminin tümü ile yerli tarımsal üretime dayalı olması esas alınmalıdır. Bu amaçla, yağlı tohum üretimi ulusal düzeyde tarım politikaları ile desteklenmelidir. Bu suretle yağ açığının kapatılması ile birlikte biyodizel üretimi ortak olarak planlanmalıdır.

Çizelge 6.3.'de Türkiye'deki (2003-2008) yılları yağlı tohum bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, üretim verimleri ve üretim miktarları verilmiştir (TÜİK, 2010).

Çizelge 6.3 Türkiye'deki (2003-2008) yılları yağlı tohum bitkilerinin ekiliş alanları, üretim miktarlar ve üretim verimleri (TÜİK, 2010)

Ürün	Bilimsel Adı	* Kgyağ/ha	*Yağ Oranı (%)		2003	2004	2005	2006	2007	2008
Ayçiçeği	Helianthus anmis			Ekiliş (ha) (1)	545 000	550 000	566 000	585 400	554 678	580 000
		800	35 - 40	Üretim (ton)	800 000	900 000	975 000	1 118 000	854 407	992 000
				Verim (kg/da)	147	164	172	191	154	171
Pamuk (Çiğit)	Gossypium spp.			Ekiliş (ha) (2)	637 329	640 045	546 880	590 700	530 252.8	495 000
		273	20	Üretim (ton)	1 337 065	1 425 850	1 291 180	1 476 556	1 320 831	1 077 440
				Verim (kg/da)	210	223	236	250	249	218
Soya	Glycine max			Ekiliş (ha)	27 000	14 000	8 600	11 918.6	8 674.7	9 444.4
		375	17 - 26	Üretim (ton)	85 000	50 000	29 000	47 300	30 666	34 461
				Verim (kg/da)	315	357	337	397	354	365
Haşhaş	Papaver somniaferum			Ekiliş (Kapsül) (4)	99 431	30 343	25 353	42 023.8	24 603.2	20 042.9
		978	40 - 50	Üretim (ton)	52 000	17 809	13 644	30 187	8 981	10 834
				Verim (kg/da)	52	59	54	72	37	54
Yerfıstığı	Arachis hypogaea			Ekiliş (ha)	28 000	26 000	25 850	22 690	2 5942.3	2 4837.6
		890	36 - 50	Üretim (ton)	85 000	80 000	85 000	77 454	86 409	85 274
				Verim (kg/da)	304	308	329	341	333	343
Susam	Sesamun indicum			Ekiliş (ha)	44 000	43 000	42 450	39 939.3	29 780.7	2 9223.6
		585	50	Üretim (ton)	22 000	23 000	26 000	26 545	20 010	20 338
				Verim (kg/da)	50	53	61	66	67	70

Devamı

Ürün	Bilimsel Adı	* Kgyağ/ha	*Yağ Oranı (%)		2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Kolza</b>	Brassica napus			Ekiliş (ha)	2 800	1 700	700	5 389.8	10 683	28 100
		1 000	33 - 40	Üretim (ton)	6 500	4 500	1 200	12 615	28 727	83 965
				Verim (kg/da)	232	265	171	234	269	299
<b>Aspir</b>	Carthamus tinctorius			Ekiliş (ha)	250	165	173	430.5	1 694.1	5 402.1
		655	25 - 37	Üretim (ton)	170	150	215	395	2 280	7 068
				Verim (kg/da)	68	91	124	92	135	131
<b>Keten Tohumu</b>	Linum usitatissimum			Ekiliş (ha) (3)	250	220	176	146	80.6	67
		402	38	Üretim (ton)	110	80	86	84	48	40
				Verim (kg/da)	44	36	49	58	60	60
<b>Kenevir Tohumu</b>	Cannabis sativa			Ekiliş (ha) (3)	650	375	65	64.5	55.9	29.4
		305	30 -3 5	Üretim (ton)	80	30	13	13	24	12
				Verim (kg/da)	12	8	20	20	43	41
<b>Mısır</b>	Zeamays			Ekiliş (ha)	560 000	545 000	600 000	536 000	517 500	595 000
		145	5 - 6	Üretim (ton)	2 800 000	3 000 000	4 200 000	3 811 000	3 535 000	4 274 000
				Verim (kg/da)	500	550	700	711	683	718
<b>Acı Bakla</b>	Lupinus albus			Ekiliş (ha)	700	610		601.1	501	361
		195	6 - 9	Üretim (ton)	660	500	490	482	401	289
				Verim (kg/da)	94	82	80	80	80	80

Devamı

Ürün	Bilimsel Adı	*Kgyağ/ha	*Yağ Oram (%)		2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Fındık</b>	Corylus avellana	405	65-75	Ekiliş (ha)						
				Üretim (ton)	480 000	350 000	530 000	661 000	530 000	800 791
				Verim (kg/da)						
<b>Badem</b>	Primus dulcis	1125	25-50	Ekiliş (ha)						
				Üretim (ton)	41 000	37 000	45 000	43 285	50 753	52 774
				Verim (kg/da)						
<b>Ceviz</b>	Juglans nigra	4500	60	Ekiliş (ha)						
				Üretim (ton)	130 000	126 000	150 000	129 614	172 572	170 897
				Verim (kg/da)						
<b>Zeytin</b>	Olea europaea	1019	35-70	Ekiliş (ha)						
				Üretim (ton)	850 000	1 600 000	1 200 000	1 766 749	1 075 854	1 464 248
				Verim (kg/da)						
<b>Bal Kabağı</b>	Cucurbita pepo	449	24-30	Ekiliş (ha)						
				Üretim (ton)	73 000	72 000	74 000	76 632	70 740	80 915
				Verim (kg/da)						
<b>TOPLAM</b>		<b>Üretim Yıllık (Ton)</b>			<b>6 762 585</b>	<b>7 686 919</b>	<b>8 620 828</b>	<b>9 277 911</b>	<b>7 787 703</b>	<b>9 155 346<sup>(1)</sup></b>

\* Dünya Standartları

(1) Veriler 2004 yılından itibaren derlenmeye başlamıştır. (2) Ekili alan pamuk (kütü) ile aynıdır. (3) Ekili alan lif ile aynıdır. (4) Ekili alan kapsül ile aynıdır.

Ekonomik ölçekte büyük üretim tesislerin yatırımı “sözleşmeli üretim” esasını da kapsayacak şekilde özel olarak teşvik edilmelidir.

- Özellikle üretim alanlarını arttırmak için ülkemizde boş alanlar (Mera, Hazine arazileri v.b), enerji bitkileri için düşük fiyatla çiftçiye kiralanmalı.
- Üretim sürecinde kampanya dönemleri ekolojik farklılık ve ürün çeşitliliği ile desteklenmelidir.

Gıda üretimi amacı ile özel teşvik gören ürünlerin biyodizel üretiminin ham maddesi olarak kullanılması ise doğrudan yeni bir döviz tüketim kaynağı yaratacaktır. Öte yandan yemeklik yağ üretmek üzere kurulan sanayi tesislerinde boş kapasite yaratılmasına neden olacaktır. Eğer, tarımsal üretime dayalı bir sistem kurulacak ise bunun için aşağıdaki önlemlerin alınması gerekmektedir.

- Ekonomik ölçekte büyük işletmelerin özel olarak teşvik edilmesi,
- Kampanya süresinin ekolojik farklılık ve ürün çeşitliliği ile desteklenmesi,
- Sistemin mutlaka “sözleşmeli üretim” olarak planlanması ve
- Yağ bitkileri tarımının da özel olarak desteklenmesidir.

Ayrıca Orta Anadolu ve Geçit bölgelerimizde nadas alanlarının kaldırılmasıyla aspir ve kolzaya ekim nöbetinde yer verilerek ekiliş ve üretim potansiyelimiz artacaktır. Özellikle sulanan şekerpancarı sahalarında ayçiçeğine tahıl yerine ekim nöbetinde daha çok yer verilerek de yağlı tohum üretimi artırılabilir. Güneydoğu Anadolu bölgesinde kışların çok sert geçmemesi nedeniyle kışlık aspir yetiştiriciliği rahatlıkla yapılabilen ve çeşitlere göre ortalama 260 kg/da civarında verim alınabilmektedir. Aspirdeki yağ oranını da ıslah çalışmaları ile iyileştirerek yeni çeşitlerin üretime sunulması üretim projeksiyonlarının yakalanmasında etkili olacaktır.

Biyodizel pazarını etkileyen en önemli faktör, biyodizel üretim maliyetinin yüksek olmasıdır. Gelişmiş ülkelerin pek çoğunda vergi indirimleriyle kullanımı ve üretimi teşvik edilen biyodizel, çevre bilinci gelişmiş ülkelerde teşviksiz de kullanılabilir.

Türkiye gelişmekte olan ve ekonomik sorunlarını çözmemiş bir ülke olduğu için, biyodizel ancak dizel yakıtından daha düşük fiyata satılması durumunda, yakıt piyasasında kendine yer bulabilir ve kullanımı yaygınlaşabilir. Bunun yanı sıra, ısı performansının dizel yakıtla kıyasla daha düşük olması nedeniyle, tüketici haklarının korunarak biyodizel birim fiyatının dizel birim fiyatına nazaran yaklaşık % 8.5 oranında daha düşük olarak satılması gerekmektedir. Bu oranının üzerindeki değerler biyodizel kullanımı teşvik eden değerlerdir.

Biyodizel birim üretim maliyetinde belirleyici bir faktör, yan ürün olarak elde edilen gliserinin ekonomik olarak değerlendirilmesidir. Yan ürün olarak elde edilen gliserin, sabun ve kozmetik sanayinde değerlendirilebildiği gibi, saflaştırılarak ilaç sektöründe de kullanılabilir.

Biyodizel yakıtı kolza, soya, aspir ve ayçiçeği gibi farklı yağ bitkilerinin yağlarından üretilmektedir. Özellikle Avrupa ve Amerika kolza ve soya yağlarını biyodizel üretimi için kullanmakta, kolza ve soya üretimi için planlamalar yapmaktadır. Türkiye’de üretilen biyodizelin %70’lik bir kısmı yurt dışında ithal edilen palm ve türevlerinden elde edilmektedir. Oysa biyodizel üretimi için en uygun bitkiler olan aspir (safflower) ve kolza-00 (kanola-rapseed) ülkemiz şartlarında rahatlıkla yetiştirilebilecek ve verim alınabilecek bitkiler olarak görülmektedir.

Yağlı tohumlu bitkiler insan beslenmesinde temel gıda maddesi ve biyoyakıt olarak kullanılması nedeniyle stratejik ürünler olarak değerlendirilmektedir.

Ülkemizde yağlı tohumlara yönelik olarak yapılan desteklemeler ve yayım çalışmalarına rağmen ekiliş alanları ve üretim miktarı istenilen düzeyin altında kalmaktadır. Yağlı tohumlarla ilgili tartışmalar devam etmekle birlikte, bu noktada özellikle vurgulanması gereken konu, yağlı tohum üretiminin artırılmama nedeninin arazi miktarı kısıtlılığından kaynaklanmamasıdır.

Biyoyakıtlarda başarının anahtarının hammadde üretimi olması ve ülkemizin arazi varlığı, ekolojik şartlar, tür zenginliği, ekim nöbeti, sulanabilir alan varlığı, ürün destekleme politikaları ve sözleşmeli üretim gibi konular dikkate alınarak, biyoyakıt hammaddesi üretimi amacıyla fırsatların yaratılabileceği görülmektedir. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından belirlenen tarımsal üretim yapılmayan alanlarda, yapılacak kolza ve aspir üretimiyle 1.9 milyon hektar alanda 3 milyon ton biyodizel hammaddesinin rahatlıkla üretilebileceği belirlenmiş ve Çizelge 6.4’da gösterilmiştir.

Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından belirlenen dokuz farklı bölgede kolza, aspir ve ayçiçeği yetiştirilmesiyle, 3 milyon ton hammadde üretiminin kolaylıkla sağlanabileceği görülmektedir. Bu üretimin gerçekleşmesinde gıda amaçlı kullanım alanları etkilenmediğinden, enerji-gıda amaçlı enerji bitkileri üretimi tartışmalarına imkân verilmeyecek şekilde fırsatların değerlendirilmesi sağlanabilecektir. Bu şekilde ülkemizde elde edilebilecek 3 milyon ton hammadde üretimiyle, biyodizel konusunda yaşanan hammadde sorunu giderilebilecek ve hammadde de çok tartışılan dışarıya bağımlı olma

sorunu ülkesel kaynaklarla çözülebilecektir. Ayrıca bu kadar alanda yapılan tarımsal üretim ile üretici gelirlerinin artmasına ve yaşam standardının yükselmesine de katkılar sağlanabilecektir. Diğer yandan, buradan elde edilen biyodizel ile ülkemizin dizel ihtiyacının yaklaşık olarak %7'si rahatlıkla karşılanabilecektir.

Çizelge 6.4 Türkiye’de yağlı tohumlu bitki üretilebilecek ilave arazi ve üretim miktarları

<b>Bölgeler</b>	<b>Yağlı Tohumlu Bitki Üretilebilecek İlave Arazi Miktarı (Bin Ha)</b>	<b>Üretim</b>	<b>Hedef Üretim (Ton)</b>
Orta Kuzey	245	Kolza	490.000
Ege	186	Kolza	370.000
Marmara	132	Kolza	260.000
Akdeniz	115	Aspir	115.000
Kuzey Doğu	266	Aspir	520.000
Güney Doğu	224	Ayçiçeği	320.000
Karadeniz	303	Kolza	600.000
Orta Doğu	272	Aspir	272.000
Orta Güney	150	Aspir	150.000
<b>Toplam</b>	<b>1.897</b>		<b>3.000.000</b>

Ülkemizde Güneydoğu Anadolu Projesi’yle birlikte ortaya çıkacak sulanabilir alanlarda, gıda amaçlı yağlı tohum üretimiyle birlikte enerji bitkileri üretimi de kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir. Sulamayla birlikte ekim nöbetine girebilecek yağlı tohumlardan elde edilecek hammadde ile biyodizel üretiminde avantajlar sağlanabilecektir.

### 6.3 Biyodizelin Enerji Bilançosu

Türkiye için ise maliyet önemli bir sorun teşkil etmektedir. Zira bitkisel yağ tüketiminin % 35’ini yerli kaynaklardan, % 65’ini ithalat yoluyla karşılamaktadır. Yerli hammadde kullanarak biyodizel üretimi gerçekleştirecek firmalara uygulanacak Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) muafiyetindeki belirsizlik çiftçilerimizi etkilemektedir. Sonuç olarak önceden de belirttiğimiz gibi enerji tarımımızın önünün açılmasının gerekliliği bir kez daha gözler önüne serilmiştir.

Biyodizel üretim maliyetleri büyük oranda hammadde fiyatına bağlıdır. Çünkü kullanılan bitkisel veya hayvansal yağın, son ürünün fiyatına etkisi % 60-70 civarındadır. Biyodizelin ekonomik olarak üretilebilmesi için düşük değerli hammaddeden üretilmesi, kalitesinin

arttırılması ve elde edilen yan ürünlerin yüksek değerinde olması gerekmektedir.

Üretimde en önemli kriterlerin verim artışı ve onun yanında maliyetlerin azaltılması olduğu düşünülürse, tarım sektöründe en pahalı girdilerden birisi, bu amaca yönelik mekanizasyon faaliyetleridir. Bir tarımsal işletmenin mekanizasyon faaliyetleri genelde enerji bilançoları ile yorumlanabilmektedir. Enerji bilançosu ise; bir sistemin yâda bir tarımsal işletmenin girdi ve çıktılar arasındaki ilişkilerin enerji birimleri yönüyle sayısal olarak karşılaştırılmasıdır.

Üretim tesisine ilişkin olarak işletme sermayesinin hesaplanmasında; hammadde alımı, üretimde kullanılacak metil alkol ve katalizör, personel giderleri, yakıt, elektrik, su giderleri ve işletmenin nakit ihtiyacı dikkate alınmıştır. Üretim tesisinde çalışacak personele ilişkin olarak yapılan hesaplamalarda; bekçi, üretim aşamasında çalışan geçici işçiler, mühendis ve montaj amaçlı geçici işçilerin ücretleri personel giderlerinin hesaplanmalarında dikkate alınmalıdır.

Biyodizel üretiminde elde edilen küspe ve gliserin gibi yan ürünlerin piyasa fiyatları dikkate alınarak hesaplamalar yapılmalı, elde edilen ekonomik değer işletmeye sağlanan yan ürün gelirleri olarak eklenmelidir.

Biyodizel enerji bilançosu açısından da avantajlıdır. Biyodizelin elde edildiği bitkinin yetiştirilmesi, yağ ve yakıt eldesi aşamaları dikkate alındığında, enerji bilançosunda 2.5:1'lik oran olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, biyodizelin sahip olduğu enerjinin, gübreleme, ilaç, ekstraksiyon (yağ eldesi), rafine, kimyasal işlem ve biyodizelin taşınması dâhil harcanan enerjiden 2.5 kat fazla olduğudur. Bu nedenle, biyodizel pozitif bir enerji bilançosuna sahiptir.

Günümüzde biyodizelle ilgili olarak en çok tartışılan konular, bitkisel yemeklik yağ açığı dolayısıyla hammadde yetersizliği ve maliyettir. Maliyeti düşürebilmek ve yağ bitkileri tarımını yaygınlaştırabilmek için çiftçinin kendi imkânları ile biyodizel üretebilmesi önemlidir.

Biyodizelin daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Dizel motorun yanma verimiyle birleştirildiğinde, 1 litre biyodizel, etanolün 2.25 litresinin ürettiği efektif enerjiyi sağlamaktadır. Ayrıca, yağ çıkarılacak ürünün daha fazla oluşu, biyodizelin enerji içeriğini daha da arttırmaktadır. Biyodizel, maliyeti yönüyle; enerji kaynağı olarak varolanı kullanılabilme olanaklarının getireceği yayılım kolaylığı ve yan ürünlerinin değerlendirilebilmesinin yanısıra;

- Tarımsal ürünü biyodizele işlemede (proses sırasında) kullanılan enerjinin yakıt eşdeğeri,
- Ham yağdan elde edilen yakıtın miktarı,



- Petrodizel karşısında biyodizelin bağıl maliyeti, açılarından da bakılarak değerlendirildiğinde enerji verimliliği yönüyle ön plana çıkmaktadır.

Biyodizel verimi, enerji içeriği (içebilmiş enerji düzeyi) ve ekonomik değerlendirmesi, ortalama ölçekli bir çiftlik örneğiyle irdelenirse; tek ürün olarak kolzanın yetiştirildiği bir tarımsal faaliyet süresince hektara yakıt tüketimi 82 litre olarak belirlenmiştir. Buna karşın kolza yetiştiriciliğiyle hektardan 1029 litre yağ elde edilmektedir ve rekolte yükseldiğinde bu değer 1356 litreye kadar çıkmaktadır. Bu durumda girdinin çıktıya oranı 1:12.5 ve 1:16.5 olmaktadır.

Biyodizel üretimi amacıyla, bitkisel ürün tarladan hasat edildikten sonra saplar tarlada bırakıldığında bile biyodizel üretiminin enerji bilançosu pozitif vermektedir. Her bir 0.561 GJ değerindeki enerji girdisi, (1.78'lik ürün/maliyet oranı için) 1 GJ biyodizel enerjisi üretimiyle sonuçlanmaktadır. Saplar da değerlendirildiğinde biyodizel üretimi için ürün/maliyet oranı 3.71'e yükselmektedir. Giriş enerjisi ile çıkış arasındaki 2.71 birimlik fark, güneşin fotosentez enerjisinden kaynaklanmaktadır. Bunun anlamı; biyodizelin sahip olduğu toplam enerjinin; gübreleme, ilaç, yağ eldesi, arıtma, kimyasal işlem ve biyodizelin taşınması dâhil harcanan enerjiden 2.7 kat yüksek olduğudur. Sonuçta; biyodizel üretimi için 1 birim enerji girdisi kullanımıyla 3.71 birim çıktı sağlanmaktadır.

Enerji Dengesi Amerika'da Tarım ve Enerji Daireleri'nin 1998 yılı ortak çalışmasında, biyodizel üretiminin içerdiği çeşitli maliyetler ayrıntılı olarak incelenmiş ve tüm üretim sürecinde, tüketilen her bir birim fosil yakıt için 3.2 birim yakıt enerjisi elde edildiği ortaya konulmuştur. Enerji içeriği değerlendirmesi kapsamında soya için yapılmış olan ve Minnesota Tarım Dairesi web sitesinde kıyaslama amaçlı olarak yer verilen bu rakamlarda; petrodizelin enerji içeriği 0.843 iken, bu değer; benzin için 0.805 ve biyoetanol için 1.34 olarak yer almaktadır.

Fosil yakıt enerjisi tüketimiyle elde edilen birim BTU (British Thermal Unit) ısı enerjisine karşılık, bir başka sıvı yakıtın kullanımıyla elde edilen BTU ısı enerjisi, yaşam döngüsü (life cycle) kavramının tanımında kullanılmaktadır. Amerika Enerji Dairesi'nin yayımladığı "Kentiçi ulaşım amaçlı kullanımda Biyodizel ve Petrodizel'in döngüleri" başlıklı çalışmada: "Biyodizel, kendi üretim döngüsü içinde, tarımsal ürün yetiştiriciliğinden yakıt üretimi için gerekli birim fosil yakıt tüketimi karşılığında 3.2 birim enerji çıktısı sağlar" bilgisi verilmektedir. Raporun devamında: "Bunun tersine, petrodizelin üretim döngüsünde 1 birim fosil yakıt tüketimiyle sağlanan yakıt enerjisi 0.843 birim olmaktadır" denmektedir. Bu çözümlenmeye bakıldığında biyodizelin enerji çıktısı :  $(3.2-0.843)*100/0.843$  oranından

hareketle petrodizele göre % 280 daha fazla olmaktadır. Çizelge 6.5’de Yakıtlar arasındaki karşılaştırmalı enerji dengesi verilmiştir.

Çizelge 6.5 Yakıtlar arasındaki karşılaştırmalı enerji dengesi

<b>Yakıt</b>	<b>Enerji İçeriği</b>	<b>“Net” Enerji (Kayıplar düşüldüğünde) Kazanımı (%)</b>
Benzin	0.805	19.5
Dizel	0.843	15.7
Etanol	1.34	34
Biyodizel	3.20	220

Çizelge 8.2 İncelendiğinde; çizelgedeki net enerji raporlamalarının, sıvı yakıtların spesifik talepleriyle ilişkili olarak günümüz tüketim hacimlerine ışık tuttuğu anlaşılmaktadır. Biyodizelin yakıt üretim verimliliğinin yüksek olmasının, üretim hacmindeki ekonomik getirilerini de olumlu yönde etkiliyor oluşunun yanısıra; bu, enerji envanterlerindeki gelişimle birlikte değerlendirildiğinde biyodizele yönelimi doğrular nitelikteki parametrelere işaret edilmiş olmaktadır (Yaşar, 2009).

## 7. BİYODİZEL TEKNOLOJİLERİ VE PROSESLER

### 7.1 Hammadde ve Teknoloji Seçiminde Önemli Noktalar

- Hammadde maliyeti,
- Hammadde kalitesi,
  - Serbest Yağ Asidi (SYA),
  - Nem, kirleticilerin varlığı, yağ asitlerine parçalanabilme özelliği,
  - Renk ve koku, sabunlaşmadır.

#### Teknoloji,

- Yatırım ve işletme maliyetleri,
- Gliserin kalitesi,
- Tarımsal ve geri dönüşüm teşvikleri,
- Yan ürünler ve üretim hedefleri,
- Deneyimli iş gücünün varlığı,
- Risk yönetimidir.

#### 7.1.1 Hammadde Kalitesi

Hammadde seçimi (Yağ asidi profili), standartlara uymayan biyodizel, trigliseridlerin reaksiyonlarının tamamlanamaması, saflaştırma problemleri (biyodizelde katalizör, sabun ve gliserin olması), yakıt besleme sisteminde tıkanmalar (enjeksiyon pompaları, enjektörler vs.) oluşmaktadır.

Kullanılmış kızartma yağları ve atık su geri kazanım tesislerinde elde edilen yağlar da hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu yağlar yüksek oranda katı maddeler, halojenler, vb. maddeler içerir. Ayrıca su miktarı da oldukça yüksek olup düşük oksidasyon stabilitesi (kısmi bozulma) gözlemlenir. Bu tür yağlar doymuş yağ asidi profiline eğilimli olup yüksek oranda serbest yağ asidi içerirler. Bu nedenlerle, atık yağlardan üretilen biyodizelin viskozitesi ve karbon kalıntı miktarı yüksektir ve soğuk akış özellikleri iyi değildir.

Yağ asidi profilinin biyodizel kalitesine etkileri, yüksek setan sayısı bileşenlerin varlığı bitkisel yağ türevlerinin setan sayısı değerini artırır. Düz zincirli doymuş hidrokarbonların setan sayıları yüksektir. Setan sayısı artarsa; zincir uzunluğu artar. Setan sayısı azalır; çift bağ sayısı artar. Çift bağın pozisyonu, setan sayısı artarsa; çift bağ uç kısma yaklaşır. Aromatik hidrokarbonlar var ise; setan sayısı azalır (Ulusoy, 2000).

Biyodizel üretiminde yağ kalitesi reaksiyonun temelini oluşturan transesterifikasyon

teknolojisi ile direk ilişkilidir. Yağların sahip oldukları serbest yağ asitlerine göre uygulanan teknolojiler farklıdır. Bu yüzden yağların kimyasal analizleri ile yağ asitlerinin kompozisyonu ve serbest yağ asitleri sabunlaşmayan madde miktarını yansıttığı için oldukça önemlidir. Yağlar uzun süreli depolandıkları takdirde SYA ve sediment içeriği artmakta yağ bozulabilmektedir.

## 7.2 Biyodizel Hammaddesi Yağlarda Ön İşlemleri

Hemen tüm hammaddeler işleme tabi tutulurlar. Bitkisel yağlar, rafinasyon ve hammaddede doğal olarak bulunan tüm yapışkan maddelerin hidrasyon ve mekanik veya fiziksel ayırtırmayla uzaklaştırılır.

Biyodizel üretiminden önce yağların ön işlemlerden geçirilmesi gerekir. Yağın başlangıçta iyi üretilmesi biyodizel kalitesini de etkileyecektir.

### 7.2.1 Ön İşlem Teknolojileri

Özellikle aşağıda verilen parametrelerin fonksiyonudur.

- SYA Yapısı,
- Hammaddenin içerdiği nem ve sabuna dönüşemeyen ya da gliserol ve yağ asitlerine parçalanamayan miktarlar,
- Esterifikasyon teknolojisine bağlıdır.

Başlıca Ön işlemler;

- Tüm yapışkan maddelerin hidrasyon ve mekanik veya fiziksel ayırtırmayla uzaklaştırılması,
- Deodorizasyon veya kokunun giderilmesi,
- SYA (Serbest yağ asidi) azaltılması: Buharla sökme (stripping), kostik sökme, çözücü (solvent) ekstraksiyonu, gliseroliz, asit esterifikasyonu,
- Hidroliz,
- Ağartmadır.

Bu ön işlemlerden bazıları biyodizel üretilmeden önce gerçekleştirilir.

#### 7.2.1.1 Yapışkan Maddelerin Uzaklaştırılması (Degumming)

- Özellikle bitkisel yağlar için normal bir işlemdir,
- Eğer hammadde önemli miktarda fosforlu madde içeriyorsa zorunlu,
- Fosforik asit ve buhar yapışkanları şişirir ve uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Yağ ısıtılır, fosforik asit ve su eklenerek yapışkan maddelerin çökmesi ve yağdan ayrılması sağlanır.

### 7.2.1.2 Ağartma İşlemi

- İz (eser) (nadir) metal, nem, çözünmeyen maddeler ve pigmentlerin adsorbsiyonu; klorofil, karoten gibi pigmentlerin ayrılmasıdır. Yağ ısıtılarak, ağartma toprağından (kil, aktif karbon) geçirilir,
- Peroksit gibi oksitlenmiş ürünlerin azaltılması,
- Yapışkan maddelerin uzaklaştırılması sürecinde yoğuşan fosfolipidlerin absorblanması,
- Yapışkan maddelerin uzaklaştırılması sürecinde kalan fosforik asidin absorblanmasıdır.

### 7.2.1.3 Kokuların Uzaklaştırılması (Deodorization) İşlemi

- Temelde vakum damıtma (distilasyon) süreci;
- % 30'a kadar SYA içeren hammaddelerde kullanılır;
- Sıcaklık ve basınç düzeyleri;
- 240 - 270 °C, 2-5 mm Hg (0.3 -0 .8 kPa);
- Enerji yoğun;
- Maliyetleri, tesisin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir.

Maliyeti arttırmasına rağmen “deodorizasyon” sürecinin uygulanması tercih edilmelidir. Bu tercihin başlıca nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

- Hammaddede bulunması olası kirleticilerin varlığı;
  - Aldehid, keton ve kokan ürünlerin uzaklaştırılması,
  - Karoten içeren maddeler veya karotene benzeyen maddelerin uzaklaştırılarak ürünün hafifleştirilmesi,
  - Pestisis, mantar ve ilaç kalıntılarının uzaklaştırılması,
  - Polsiklik hidrokarbonlar,
  - Poliklorlanmış çember hidrokarbonlar,
  - Eseri (iz) metalleri,
  - Aflotoksinler,
  - Perkloroetilen (PCE) veya poliklorlanmış bifenil (PCB),
  - Deterjanlar ve temizleyiciler.
- Yağ rafinasyonu, yukarıda söz konusu olan kirleticilerin yaklaşık yarısının uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.

Koku alma işleminin amacı istenmeyen koku ve tat maddelerinin yağdan uzaklaştırılmasıdır. Koku alma işlemini kısaca yağın tat ve kokusunu bozan bazı uçucu maddeleri, su buharı ile yağdan ayırmak şeklinde tanımlayabiliriz. Koku alma için; kurutma ve gazlan uçurma, ısıtma, koku alma, soğutma, boşaltma işlemleri uygulanır. Yağlarda koku alma işlemi kontinü ve diskontinü olarak yapılır.

Ülkemizde daha çok diskontinü yöntem uygulanmaktadır. Kokusu giderilecek yağ kazana alınır. Kazana alttan buhar verilerek sıcaklık, 3-5 mm'lik vakumda 180 °C'ye çıkarılır. Buhar kazana alttan verildiği için aynı zamanda yağ karıştırılmış olur. Bu sırada yağda istenmeyen

koku maddeleri buharla birlikte uzaklaştırılmış olur. Kokusu giderilmiş yağ yüksek vakum altında 100 °C'ye soğutulur. Oradan da plakalı soğutuculara gönderilerek sıcaklık 30-50 °C'ye soğutulur. Bu arada oksidasyonu önlemek amacıyla 1 kg. yağa 50 mg. sitrik asit çözeltisi verilmelidir. Zeytinyağı, kakao yağı gibi yağlarda bu işlemin yapılmasına gerek yoktur.

#### 7.2.1.4 Kostik Sökme İşlemi

Hammaddedeki SYA oranını düşürür. SYA aslında bazik bir katalizör (NaOH, KOH) ile reaksiyona girip sabun oluşturur. İşlemin sonunda yağ asidi tuzlarını (sabun) içeren sulu çözelti filtre veya santrifüjle ayrılır.

ASTM D 6751'e göre yağlarda bulunan sodyum, potasyum, magnezyum ve kalsiyum miktarları sabun ile doğrudan ilişkili kabul edilmektedir. Bunlar arasında sodyum en büyük öneme sahiptir. Element dönüşüm faktörleri verilmiştir (Çizelge 7.1).

Çizelge 7.1 Element dönüşüm faktörleri

Element	Dönüşüm Faktörü
Sodyum	13.2
Potasyum	8.2
Magnezyum	24.1
Kalsiyum	15

Yağlarda bulunan ppm düzeyindeki bu elementler bu dönüşüm faktörü ile çarpılarak sabun miktarı bulunur. (Örneğin en çok bulunan sodyum 5 ppm ve dönüşüm faktörü 13.2 ile çarpılarak 66 ppm bulunur). Bulunan 66 ppm en yüksek değerdir ve bu değer altına düşürülmesi gerekir. Literatürde ppm olarak bakılıyor. 5 ppm sodyum ve potasyum toplamı veya 5 ppm magnezyum ve kalsiyum toplam kombinasyonu olarak bakılır. Ayrıca sabun molekülleri SYA ve su tarafından oluşturuluyor (White vd., 2010).

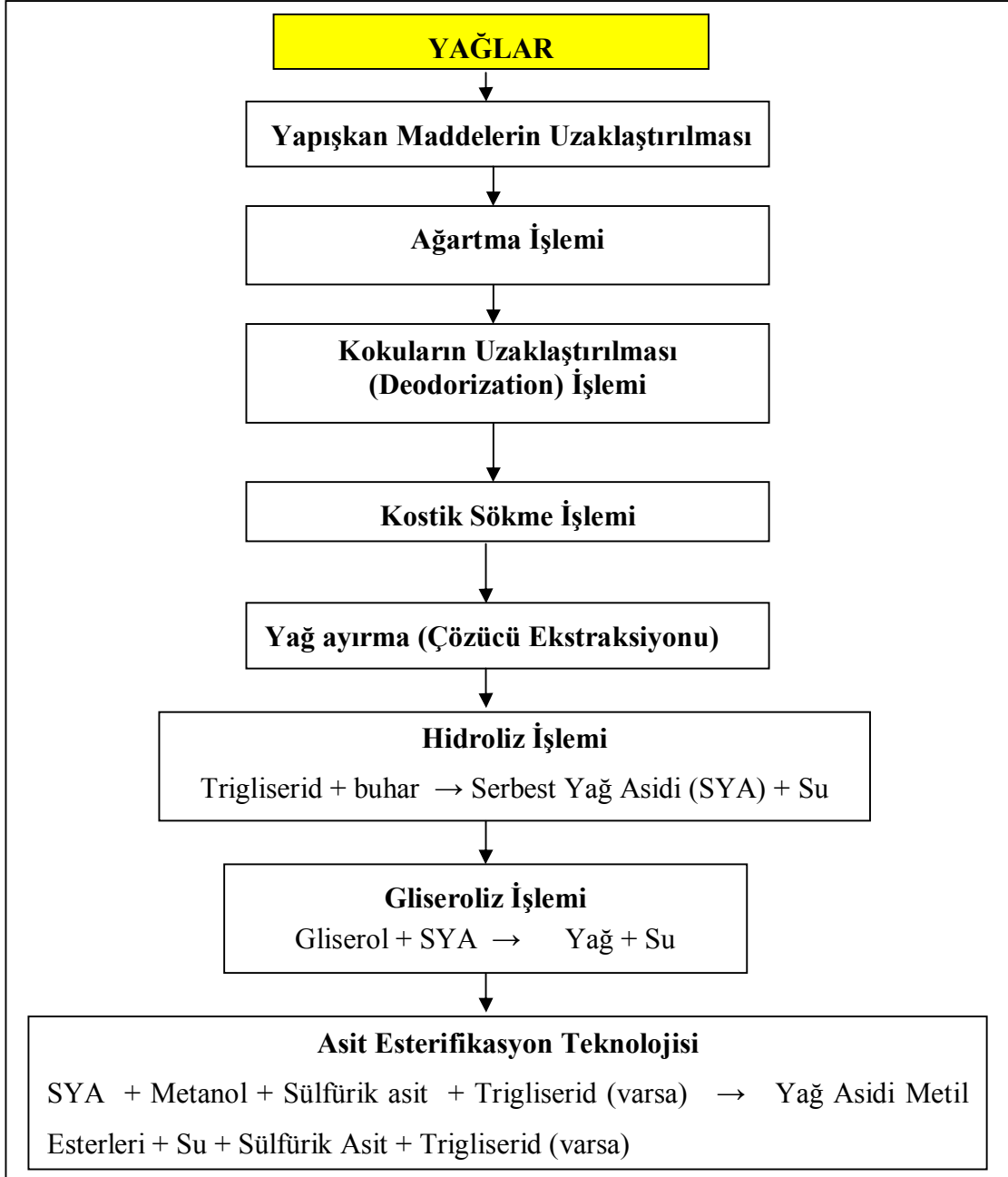
#### 7.2.1.5 Yağ ayırma (Çözücü Ekstraksiyonu)

- Etanol zeytinyağındaki SYA'yı %20'lerden, % 4'lere düşürür.
- Furfurol SYA ekstraksiyonunu sağlar.
  - Ayrıca doymuş ve doymamış gliseridlerin faz farklılığını oluşturur.
  - Soğuk akışı kontrol etmekte kullanılabilir.
- Şu ana kadar biyodizel içindeki SYA'yı kontrol etmek için hiç alkol kullanılmamıştır.
- Sıvı propan (Solexol süreci) trigliseridleri ayırır ve diğer her şeyi bırakır ve renkliliği azaltır.

### 7.2.1.6 Hidroliz İşlemi

- Hidroliz işlemi trigliseridleri SYA'ya dönüştürür.
- Trigliserid + Buhar  $\rightarrow$  Serbest Yağ Asidi + Su
- Sürekli veya kesikli üretim yapılabilir.
- Aside dayanıklı çelik malzemeye ihtiyaç duyulur.
- Karşıt akışlı sistemlerde dönüşüm % 99'lara kadar çıkabilir.

Yağlara uygulana ön işlemler uygulanma Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Yağlara uygulana ön işlemler

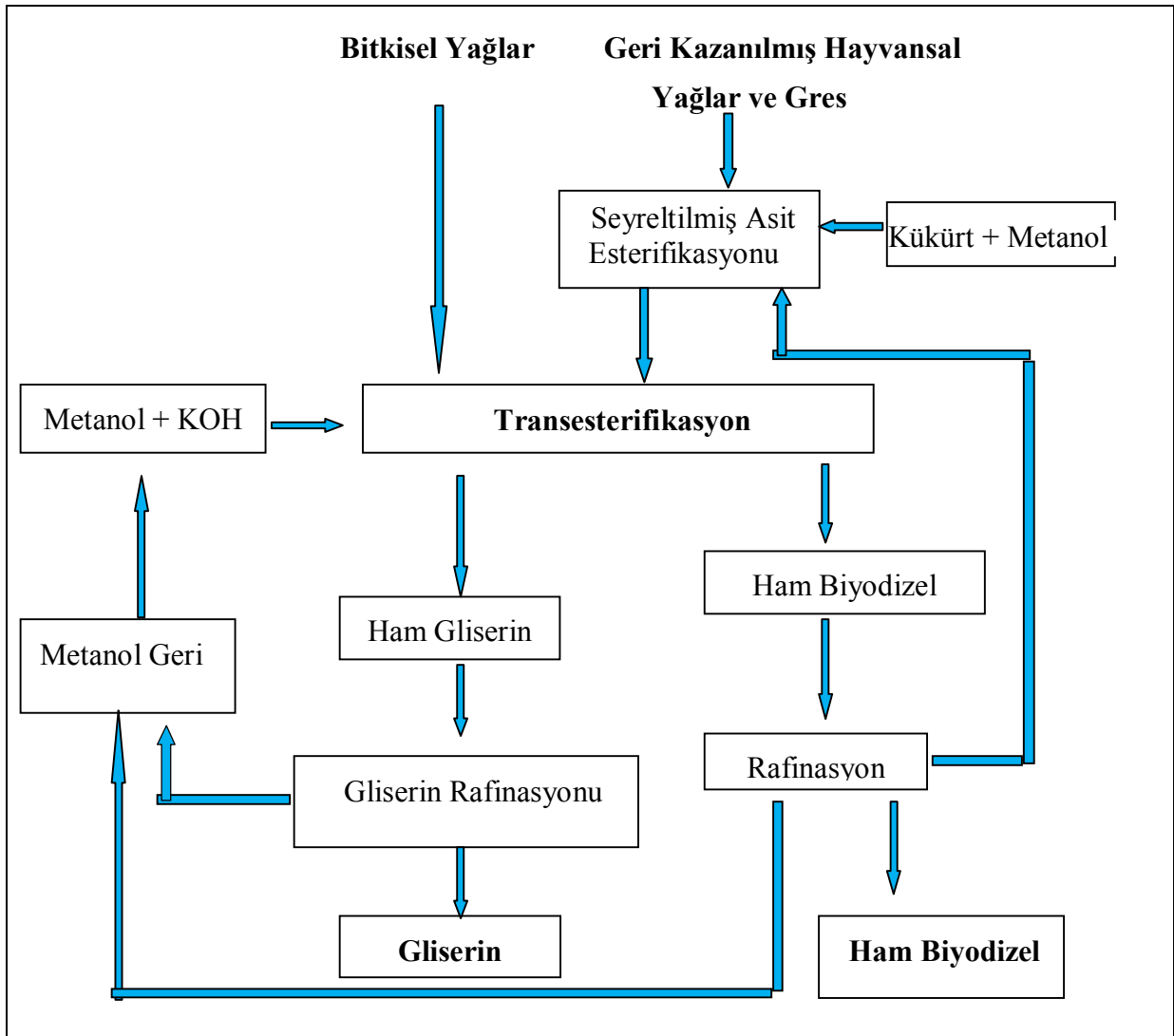
### 7.2.1.7 Gliseroliz İşlemi

- Gliseroliz işlemi SYA'ları monogliseridlere dönüştürür.
- Gliserol + SYA → Yağ + Su
- İşlem sıcaklık düzeyi 250-260 °C (çinko tozu veya çinko klorür katalizör olarak kullanıldığında sıcaklık düzeyi 220 °C 'ye kadar düşürülebilir).
- İşlem basıncı: 5-6 kPa'dır.

### 7.2.1.8 Asit Esterifikasyon Teknolojisi

- Asit esterifikasyon işlemi SYA'ları biyodizele dönüştürür.
- SYA + Metanol + Sülfürik asit + Trigliserid (varsa) → Yağ Asidi Metil Esterleri + Su + Sülfürik Asit + Trigliserid (varsa),
- Sürekli veya kesikli üretim yapılabilir.

Şekil 7.2'de Asidik ve bazik esterifikasyon teknoloji aşamaları verilmiştir.



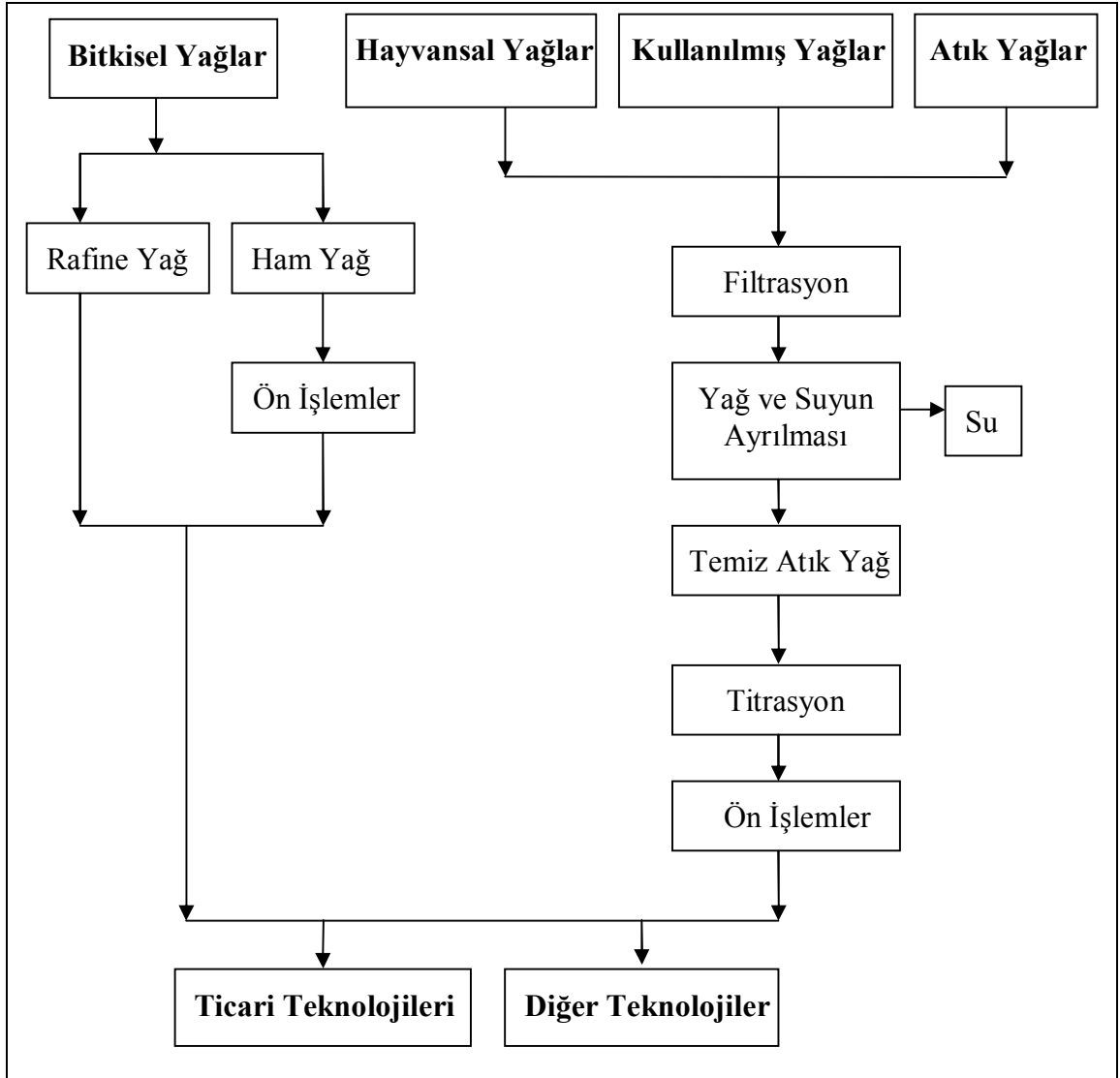
Şekil 7.2 Asidik ve bazik esterifikasyon teknoloji aşamaları (Tyson, 2003)



- İşletme parametreleri: 200-250 °C ve 1000 kPa basınç.
- Sürekli su çekilmesi gerekir; aksi takdirde katalizörler çalışmaz.
- Aside dayanıklı çelik malzemeye ihtiyaç duyulur.
- Karşıt akışlı sistemlerde dönüşüm % 99'lara kadar çıkabilir.

### 7.3 Yağlara Uygulanan Ticari Teknolojiler

Biyodizel üretim teknolojileri sürekli bir gelişim içindedir. En son biyodizel teknolojisinin genel akış şeması Şekil 7.3'de verilmektedir. Halen en yaygın olarak kullanılan ve ülkemizdeki biyodizel üretimi için kullanılabileceği belirlenen beş teknoloji bulunmaktadır.



Şekil 7.3 Yağlara uygulanan ticari teknolojiler

Teknolojilerin farklılıkları, bitkinin kimyasal özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Bu bağlamda teknolojileri birbirinden ayıran özelliklerin başında serbest yağ asidi gelir. Tüm teknolojilerde amaç en son aşamada SYA oranını %4'ün, mümkünse %1'in altına düşürmektir. Bu işlem tek

adımında veya çok adımda gerçekleştirilmektedir. Serbest yağ asidinden sonra ikinci olarak bakılan husus ise üründeki sabun miktarıdır. İmpüritelerle birlikte sabun miktarı teknoloji adımlarını yakından belirler. Son yapılan çalışmalar çerçevesinde sabun miktarının 66 ppm altına düşürülmesi gerektiği daha önce belirtilmişti. Ancak, aşağıda bilgi verilen ticari teknolojilerin sabun miktarı kontrolü bu değerle yapılmamaktadır ve bu husus büyük bir eksiklik olarak görülmektedir. Teknolojiler hakkında özet bilgi aşağıda verilmektedir.

### 7.3.1 Ticari Teknoloji: 1

SYA < % 1 ise;

- Genellikle yapışkan maddeden temizlenmiş rafine hammadde: Çoğunlukla soya yağı kullanılır.
- Transesterifikasyon,
- Varsa sabunlar ayrıştırılır,
- Asitle muameleye tabi tutularak SYA'ya dönüştürülür.
- Yan ürün olarak satılabilir.
- Veya küçük gruplar halinde metil esterlere dönüştürülür.
- Ham gliserin satılır veya rafine edilerek diğer ürünlere dönüştürülür.

### 7.3.2 Ticari Teknoloji: 2

%1 < SYA < % 4 ve (Kostik) yağ asidi tuzları (sabun) (66 ppm) ve su var ise;

- Kostik sökme işlemiyle hammaddeye sabunlar ve su uzaklaştırılır.
- Trigliseridler, büyük bir sorunla karşılaşmadan, transesterifikasyon işlemine tabi tutulur.
- Geri kazanılan sabunlar asitle reaksiyona girer ve kalan SYA'lar kazanılır.
- Küçük miktarlarda çalışılabilir ve sistemde kalan SYA varsa, nötralize edilerek hammaddeye geri yollanır.
- Gliserin biraz daha kalitelidir ve hiç sabun yoktur.

### 7.3.3 Ticari Teknoloji: 3

%1 < SYA < % 4 ise, (Yağ asidi tuzları yok)

- Transesterifikasyonla birlikte kostik sökme işlemi de gerçekleştirilir.
- Trigliseridler, transesterifikasyon işlemine tabi tutulur.
- Yüksek sabun düzeyleri köpüklemeye yol açabilir, emülsifikasyon üretimi etkiler ve soruna yol açabilir.
- Sabunlar gliserin içinde uzaklaştırılır.
- Sabunlar geri kazanılır ve yukarıda anlatılan 2 no'lu teknolojiye benzer yöntemle SYA'lar biyodizele dönüştürülür.

### 7.3.4 Ticari Teknoloji: 4

% 4 < SYA < % 20 ise,

- Bütün hammadde asit esterifikasyonuna tabi tutulur. Böylece;
- SYA'lar biyodizele dönüşür.
- Reaksiyon suyu uzaklaştırılır.
- Fazla asitler ve metanol uzaklaştırılır.
- Daha sonra tüm hammadde transesterifikasyon reaksiyonuna girer. Bu arada ilave katalizörler kullanılarak asitler ve kalan SYA'lar nötralize edilir.
- Kalan sabunlar ve SYA'lar, hammadde grubuna geri döndürülür.

### 7.3.5 Biyodizel Üretiminde Kullanılan Diğer 5. Teknolojiler

SYA >% 20 ise,

- Hammaddeler karıştırılarak istenilen SYA düzeyine ulaşılır.
- Yukarıda anlatılan 2 – 4 no'lu teknolojilerden birisi kullanılır.
- Çok adımlı kesikli işleme sonucu % 50'ye varan SYA dönüşümlerine ulaşılmıştır.
- Birbirini takip eden asit esterifikasyonu ve transesterifikasyon işlemi arasında su uzaklaştırılır. Su uzaklaştırılırken çok adımlı kostik sökme adımları bulunmaktadır.

### 7.3.6 Gelişmekte Olan Teknolojiler

#### 7.3.6.1 İki Solventli İşlemler: Biyox, Resoydyn

- Trigliseridlerin enzimatik dönüşümü,
- Yavaş ve düşük miktarda ürün eldesi ( biyodizel içinde yüksek trigliserid miktarı),
- SYA'ların enzimatik dönüşümü,
- Tohum içinde yağın dönüşümü ve böylece gliserin üretiminin engellenmesi.

#### 7.3.6.2 Çift Solventli Teknolojiler

SYA < % 20 ise;

- Her ne kadar %50'lere kadar SYA'nında işlenebileceği söylenmekteyse de çok sayıda çalışma gerekli,
- Heksan, MTBE; THF ve diğer solventler kullanılarak SYA ve trigliseridlerin eş zamanlı dönüşümü,
- Tüm hammaddenin çift solvent, metanol ve katalizör ile reaksiyona girmesi,
- Mevcut teknolojilerden yararlanarak biyodizel, çift solvent, gliserin ve metanolün ayrıştırılması,
- Peroksitler gibi istenmeyen yan ürün sorunlarının çözülmesi gerekli.

### 7.3.6.3 Muhtemel Teknolojiler

- SYA'ları işlemek için ticari olarak mevcut olan ancak biyodizel kullanımında yararlanılmayan gliseroliz işlemini kullanmak ve SYA'ları önce monogliseride çevirip bilahare transesterifikasyona tabi tutmak;
- Ticari olarak kullanılmakta olan ve enerji yoğun kabul edilen yöntemle yüksek SYA'lı hammaddeyi önce hidrolize daha sonra asit esterifikasyona tabi tutmak;
- SYA'yı asit esterifikasyonla metil estere dönüştürmek, Yüksek miktarda ürün eldesi ve kalan SYA'nın kostik sökme ile dönüştürülmesi.

### 7.3.6.4 Solvent Ekstraksiyonu Teknolojisi

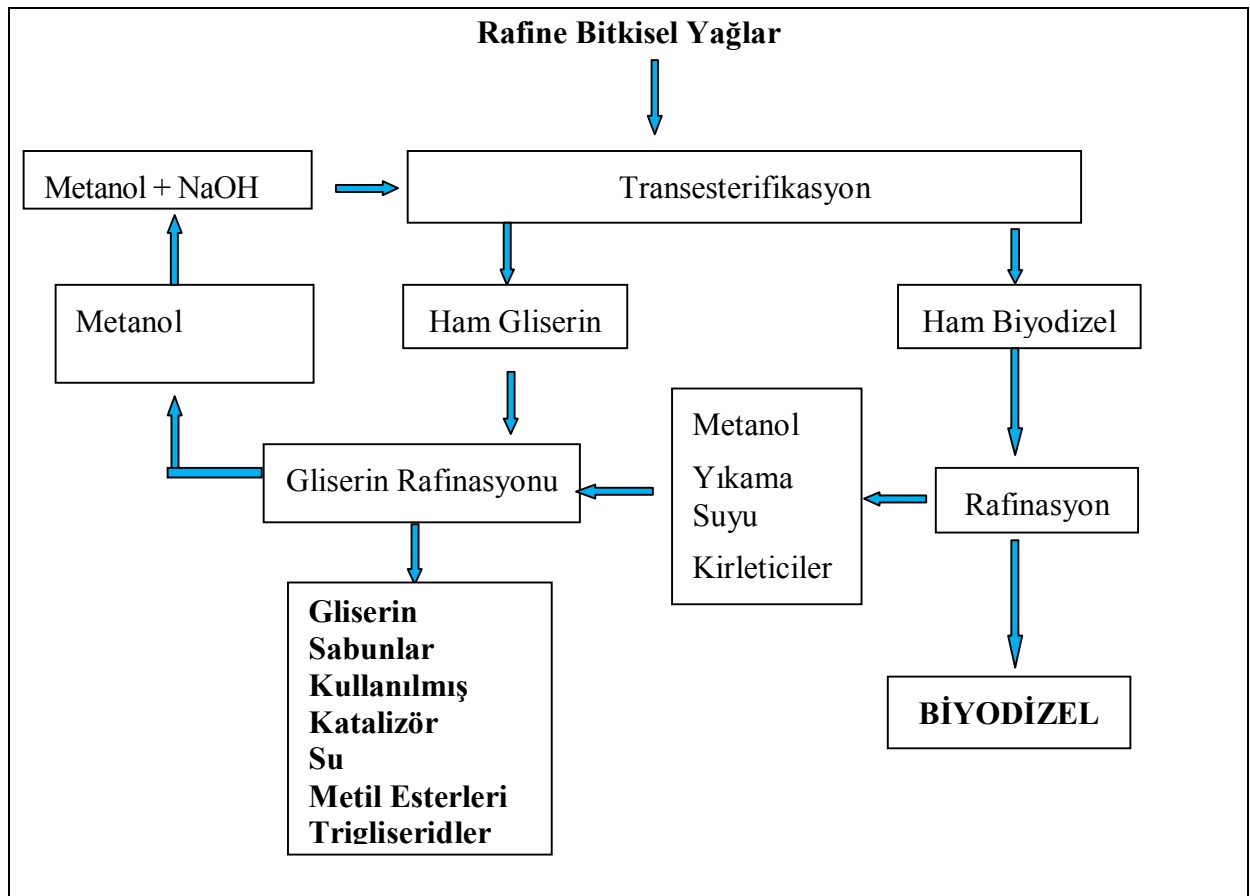
- SYA veya trigliseridleri ayırıp asidik veya bazik esterifikasyona tabi tutmaktır.

### 7.3.7 Transesterifikasyon Ticari Teknolojisi

- Transesterifikasyon süreci trigliseridleri biyodizele dönüştürür.

**Trigliserid + Metanol + SYA (Eğer varsa) + NaOH (Baz) → Yağ Asidi Metil Esterleri + Gliserin + NaOH + Sabun (Eğer varsa).**

Şekil 7.4'de Rafine bitkisel yağların transesterifikasyon aşamaları gösterilmiştir (Tyson, 2003).



Şekil 7.4 Rafine bitkisel yağların transesterifikasyon aşamaları (Tyson, 2003)

- Sıcaklık düzeyi 60-70 °C, atmosferik basınçta,
- Ham biyodizel ve ham gliserin ayrıştır,
- Biyodizel hafif asidik bir suyla yıkanır ve aşağıdaki kimyasal ham biyodizel ayrılır.
  - Nötralize edilmiş katalizörler,
  - Suda eriyen gliserin,
  - Sabunlar,
  - Metanol.
- Ham gliserin çeşitli derecelerde saflaştırılır.
- SYA (Serbest yağ asidi), hidroliz sonucu parçalanır. Kimyasallar, ısı enerjisi ve diğer etkenler trigliserid zincirinin kırılmasına yardımcı olur.

## 7.4 Elde Edilen Ürünlerle İlgili Sorunlar

### 7.4.1 Renk

- Renk teknik kalite için bir gösterge değildir.
- Biyodizel renksiz olabilir veya siyaha kadar çeşitli renkler alabilir.
- Müşteri memnuniyeti açısından renksiz veya açık renkli olması tercih edilmelidir.
- Ağartma işlemi ve karbon filtrasyonu gerekebilir.
- Bu işlemler yabancı maddelerin de uzaklaştırılmasına katkıda bulunabilir.

### 7.4.2 Koku;

- Konu teknik kalite için bir gösterge değildir.
- Deodorizasyon işlemi gerekebilir.
- Bu işlem yabancı maddelerin de uzaklaştırılmasına katkıda bulunabilir.

### 7.4.3 Gliserin Miktarı

- SYA miktarı yüksek hammaddelerde gliserin miktarı düşük olacaktır.
- Üretilen biyodizel bazında yan ürünler geliri düşük olacaktır.
- Genelde yabancı maddelerin gliserin içinde birikme eğilimi, gliserinin değerini düşürecektir ve gliserinin iyileştirilmesi işlemi de oldukça pahalı olduğundan gliserin elde kalabilir.

### 7.4.4 Gliserin kalitesi

- Gliserinin rengi ve kokusu değerini çok düşürecektir.
- Aynı şekilde gliserinde bulunabilecek tuz, metanol, metil esterleri, trigliseridler ve solventler de aynı şekilde değerini düşürmesine neden olacaktır (Tyson, 2003).

### 7.4.5 Biyodizelin Saflaştırılması

- Su ile yıkama ve kurutma,

- Katı adsorbent ile filtrasyon,
- İyon değiştirici reğineler,
- Nötralizasyon ve proses seçimi ile saflaştırmadır.

## **8. BİYODİZEL BİTKİLERİNDE ARANACAK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ**

Enerji konusunda sıkıntılar yaşayan ve dışarı bağımlı bir yapı gösteren ülkemizde, dünyadaki gelişmelere paralel olarak alternatif enerji kaynaklarına yönelmelerin olduğu görülmektedir. Özellikle çevresel sorunların enerji kaynaklarına bağlı olarak artış göstermesi ve sorunların küresel boyuta dönüşmesi, ülkeleri enerjide temiz, yenilenebilir ve çevreci kaynakların kullanımına yönlendirmiştir. Yukarıda da vurgulandığı üzere özellikle ülkemizde yetişmekte olan veya yetişebilecek bitkilerden yararlanılarak biyodizel üretimi, Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir seçenek oluşturmaktadır. Ancak, Türkiye'deki bitkilerin bu bağlamda değerlendirilmesi için entegre bir yaklaşım bulunmamaktadır. Entegre yaklaşım yapılabilmesi için Türkiye'deki zirai ortam ve üretim koşulları, bitkilerin diğer değerlendirme yolları ve ekonomisi ve teknolojik düzeydeki mevcut durumun ayrıntılı olarak bilinmesine bağlıdır. Bu nedenle, biyodizel ile ilgili bir SWOT (Kuvvet) analizi yapılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Daha önce yapılan SWOT analizlerinden de yararlanılarak geliştirilen analiz, aşağıda verilmektedir (Yaşar, 2009).

### **8.1 Biyodizelin Alternatif Ürün Olarak Üretilmesi Stratejik Açıdan Değerlendirmesi**

Türkiye biyodizel sektörü stratejik açıdan değerlendirilmesi SWOT (Kuvvet) analiz yöntemi uygulanmıştır. Kullanılan bu analiz tekniğinde sektörün güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditler birlikte dikkate alınarak sektör bir bütün olarak değerlendirilebilmektedir. Diğer bir ifadeyle SWOT analizi, sektörün güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditlerin ayrıntılı olarak incelenerek, çıkan sonuca göre stratejilerin belirlendiği bir yöntemdir. Analiz kapsamında sektörü oluşturan ana faktörler dikkate alınmış ve elde edilen sonuçlar ana başlıklar altında toplanmıştır (Çizelge 8.1).

#### **8.1.1 Güçlü Yönleri**

##### **8.1.1.1 Üretim Potansiyeli**

Ülkemiz Almanya'dan sonra biyodizelde üretim potansiyeli olarak ilk beş içerisinde yer almaktadır. Bununla birlikte yeterli tarımsal altyapıya ve üretim potansiyeline sahip olan ülkemizde, biyodizel konusunda istenilen noktaya gelinemediği görülmektedir. Yaklaşık olarak 1.1 milyon ton üretim potansiyeline sahip olan biyodizel sektörü, ülkemizde alternatif enerjinin gelişimi ve enerji arzı açısından önem arz etmektedir.

### 8.1.1.2 Tarımsal Potansiyel

Biyodizel üretiminde hammadde üretimi anahtar görevini üstlenmektedir. Biyodizel üretiminde standart hammadde olarak kullanılan kolza, ülkemizde farklı bölgelerde yazlık ve kışlık olarak yetiştirilebilmektedir.

Çizelge 8.1 Türkiye'deki biyodizel sektörünün analizi

<b>A. Güçlü yönler</b>	<b>B. Zayıf yönler</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Üretim potansiyeli</li> <li>2. Tarımsal potansiyel</li> <li>3. Maliyet avantajı</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Biyodizelle ilgili Entegre bir Plan ve Model olmaması</li> <li>2. Hammadde sorunu</li> <li>3. Yüksek ÖTV ve KDV</li> <li>4. Biyodizel mevzuatı</li> <li>5. Biyodizel standartları</li> </ol>
<b>C. Tehditler</b>	<b>D. Fırsatlar</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Petrol yarası</li> <li>2. Teknolojik gelişmeler</li> <li>3. Kayıt ve standart dışı üretim</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Biyodizel üretiminin enerji arzına sağlayacağı katkılar</li> <li>2. Tarımsal üretim potansiyeli</li> <li>3. AB'deki gelişmeler</li> <li>4. GAP</li> <li>5. Yağ üretimi</li> <li>6. Sözleşmeli üretim</li> <li>7. Atık yağların kullanımı</li> <li>8. Yan ürünler</li> <li>9. İstihdam katkısı</li> </ol>

Ülkemiz nadas alanlarının fazla olması ve bu amaçla değerlendirilebilme olanağının bulunması, kolzanın ekim nöbetine sokulabilecek bir ürün olması ve hâlihazırda sağlanan desteklerle dikkat çekmektedir. Bu avantajlarla birlikte ülkemiz, hammadde üretimi için



gerekli tarımsal potansiyele sahip, ekim alanlarını hammadde üretimine göre ayarlayabilecek ve bunu biyodizel üretiminde kullanabilecek yapıya sahip bir ülkedir. Biyodizel mevcut koşullar açısından incelendiğinde; ülkemiz özellikle gelişme eğilimi gösteren biyodizel pazarında kendisine uygun pazar imkânı yaratabilecek avantajlara sahiptir. Türkiye'nin arazi varlığı, ekim ve nadas alanları ile ilgili detaylı bilgi bölüm 5.3'de verilmiştir.

### **8.1.1.3 Maliyet Avantajı**

Ülkemizde üretilen biyodizelin, üretim maliyeti vergiler gözardı edildiğinde, AB'yle rekabet edebilecek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Biyodizel üretimine sağlanacak teşvik ve vergi indirimleriyle birlikte, biyodizel üretiminde önemli maliyet avantajı yakalayacak ülkemiz, dışarıyla ekonomik katkı sağlayabilecek altyapıya sahip konumdadır.

## **8.1.2 Zayıf Yönleri**

### **8.1.2.1 Biyodizelle ilgili Entegre Bir Plan ve Model Olmaması**

Biyodizel elde etmek için, yağ potansiyeli dikkate alınarak, yağ bitkisi ekilmesi ve yetiştirilmesinden başlayarak, biyodizel elde edilene kadarki safhalar ve biyodizel üretiminde entegre bir plan ve model olmaması, yağlı bitkiler envanterinin istenilenden zayıf olmasıdır.

### **8.1.2.2 Hammadde sorunu**

Biyodizel üretiminde kullanılan yağlı tohumlu bitkilerin üretiminin yetersiz ve düzensiz olması, hammaddede dışarı bağımlı bir yapının oluşması ve artan yağ fiyatları sektörün gelişimini olumsuz etkilemektedir. Gerekli tarımsal üretim potansiyeline sahip olunmasına rağmen, yağlı tohumlarda uygulanan politikaların etkisiz ve yetersiz kalması, hammadde üretiminin yeterince artırılamamasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, biyodizel üretiminde kullanılan metil alkol ve diğer üretim maddelerinin fiyatlarındaki artışlar da, üretim maliyetlerini olumsuz etkilemektedir.

### **8.1.2.3 Yüksek ÖTV ve KDV**

Sektördeki üreticilerden alınan yüksek vergiler, sektörü olumsuz etkilemekte ve üreticilerin kayıt dışı üretime yönelmelerine neden olabilmektedir. Bu şekilde vergi ve güven kaybına neden olan sektörde sıkıntılar yaşanmaktadır.

### **8.1.2.4 Biyodizel Mevzuatı**

Biyodizel üretimine ilişkin mevzuat sektördeki üretici firmaların sorunlar yaşamasına neden olmaktadır. Mevzuattaki ağır yükümlülükler sektörde faaliyet gösteren firmaları olumsuz

etkilemektedir. Tesisin kurulumundan başlanarak, üretim, dağıtım ve son tüketiciye ulaşana kadar olan süreçte, biyodizel ağır yasal yaptırımlara maruz kalmakta ve sektörün gelişimi olumsuz yönde etkilenmektedir.

#### **8.1.2.5 Biyodizel Standartları**

Ülkemizde halen uygulanmakta olan biyodizel standardının, mevcut ülkesel koşullarımız dikkate alınmaksızın AB tarafından uygulanan standardın aynen alınması uyum sorunlarına neden olabilmektedir. Özellikle standart hammadde olarak kolzanın belirlendiği EN 14214 standardı uygulamada sıkıntılar yaratmaktadır.

### **8.1.3 Tehditler**

#### **8.1.3.1 Petrol Yasası**

Üretilen biyodizelin petrol ürünü olarak tanımlanması ve yenilenebilir enerji kapsamında değerlendirilmemesi, sektörü ve biyodizel üretiminin gelişimini olumsuz etkilemektedir. Dünyada yenilenebilir enerji olarak kabul edilen ve yaygınlaşması için önemli araştırma-geliştirme destekleri sağlanan biyodizelin, ülkemizde yasal olarak petrol ürünü olarak değerlendirilmesi önemli bir sorun olarak görülmektedir.

#### **8.1.3.2 Teknolojik Gelişmeler**

Ülkemizde biyodizel sektöründe yaşanan sorunlar üretici firmaları sıkıntıya sokmakta, geleceğe yönelik yatırımlar ve yeterli miktarda AR-GE çalışmaları yapılamamaktadır. Bu gelişmelerin sonucu olarak, biyodizelle ilgili olarak dünyada yaşanan teknolojik gelişmeler yeterince takip edilememekte, biyodizel üretiminde teknolojik gelişmelere bağlı olarak maliyet avantajı ve alternatif hammadde olanakları da sağlanamamaktadır.

#### **8.1.3.3 Kayıt ve Standart Dışı Üretim**

Biyodizel üretiminde artan maliyet yükümlülüğünden kurtulmak isteyen üreticiler, kayıt ve standart dışı üretime yönelebilmektedir. Başta vergi kaybı olmak üzere, kalitesiz biyodizel kullanımının ortaya çıkardığı mekanik ve çevresel sorunlar da önemli sıkıntılar olarak karşımıza çıkmaktadır.

### **8.1.4 Üretilen Olan Yağ Bitkilerinin Sağlayacağı Olanaklar**

Ülkemizde, biyodizel ve diğer alternatif enerji kaynaklarının üretiminin artmasının enerji arzına önemli katkıları olacaktır. Bunun yanı sıra;

1. Biyodizel üretiminin enerji arzına sağlayacağı katkılar,
2. Tarımsal üretim potansiyeli,
3. GAP,
4. Yağ üretimi,
5. Sözleşmeli üretim,
6. Atık yağların kullanımı,
7. Yan ürünler,
8. İstihdam katkısıdır.

#### **8.1.4.1 Biyodizel Üretiminin Enerji Arzına Sağlayacağı Katkılar**

Petrolün yaklaşık % 92'sini ve toplam enerjisinin % 72'sini ithalatla karşılayan ülkemizde, biyodizel ve diğer alternatif enerji kaynaklarının üretiminin artmasının enerji arzına önemli katkıları olacaktır. Enerjide kendine yeterli olma ve dışa olan bağımlılığın azalması konusunda biyodizel önemli bir potansiyele sahiptir.

#### **8.1.4.2 Tarımsal Üretim Potansiyeli**

Biyodizel konusunda hammadde gereksinimini karşılamak amacıyla, tarımsal üretim amaçlı değerlendirilemeyen yaklaşık 2 milyon hektar alanda yağlı tohumlu bitkiler rahatlıkla üretilebilmektedir. Elde edilen enerji bitkileri üretimi başta gıda amaçlı olmak üzere ve biyodizel üretiminde de hammadde olarak kullanılabilir. Ayrıca bölüm 6.2'de Türkiye'deki (2003–2008) yılları yağlı tohum bitkilerinin ekiliş alanları, yağ oranları, verimleri ve miktarları verilmiştir. Yağlı tohumlu bitkilerin üretimi;

- Tarımsal üretimde çeşitliliği sağlayarak ekolojiye olumlu katkıda bulunması ve sürdürülebilir tarımsal yapı oluşturması,
- Organik tarımın gelişimini desteklemesi,
- Yağ bitkileri tarımını yaygınlaştırarak aynı zamanda gıdadaki yağ açığını kapatması,
- Ekim nöbetini yaygınlaştırarak toprak verimliliğini artırması ve polikültür tarıma imkân sağlaması,
- Çiftçilerin en büyük gideri enerji ihtiyacını kendisinin üretmesini sağlaması ve “Enerji Tarımı” kültürünü oluşturması,
- Yağlık tohumun yağlık çekirdeklerinin dışındaki kısmı ve biyoyakıt üretiminden geriye kalan organik karakterli atıkların hayvan yemi olarak kullanımı ile hayvancılığın gelişiminin temini,
- Tarımsal ürünlerin sanayi ve enerjiye entegrasyonu ile sözleşmeli tarıma yol açması

özellikleriyle ülkelerin tarımlarında çarpan etkisi yaratmıştır (Altınsoy, 2007).

#### **8.1.4.3 GAP**

Sulamaya açılacak alanlarla birlikte, kışlık ve yazlık olarak yetiştirilebilen yağlı tohumlu bitkilerin, Güneydoğu Anadolu Prosesi (GAP) kapsamında üreticilerin münavebe sistemlerine alınmasıyla birlikte, gelecekte ülkemizin yağlı tohumların üretimini artıracak potansiyel sağlanabilecektir. Böylece ülkemizde hammadde üretimi artırılarak biyodizel üretiminde kullanılmasına imkân yaratılacak ve ülkemizin enerji arzına katkı sağlanabilecektir. Bununla birlikte ihraç edilen biyodizelle dışarıya katkılar sağlanabileceği gibi, üretilen biyodizelle enerjide dışarı olan bağımlılık kısmen de olsa azaltılabilecektir.

#### **8.1.4.4 Yağ Üretimi**

Biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılan yağlı tohumlu bitkilerin, artan biyodizel üretimine paralel olarak artış eğilimi göstermesi, ham yağ ve yağlı tohumlarda arz sorunu yaşayan ülkemizde pozitif yönlü katkılar sağlayabilecektir.

#### **8.1.4.5 Sözleşmeli Üretim**

Biyodizel üretiminde düzenli ve sürdürülebilir hammadde üretiminin sağlanması, sözleşmeli yağlı tohumlu bitkilerin yaygınlaşmasıyla sağlanabilecektir. Sözleşmeli üretimle birlikte, arz ve talep cephesinde istikrar sağlanarak, biyodizel üretiminde hedefler tutturulabilecektir. Özellikle üreticilerin karşılaştıkları ürün zararları ve riskleri sözleşmeli üretim modellerinin uygulanmasıyla yönetilebilir düzeye getirilebilecektir.

#### **8.1.4.6 Atık Yağların Kullanımı**

Biyodizel üretimiyle birlikte ülkemizde içme sularına ve toprağa karışan atık yağlar da tekrar kullanılabilir, ekonomik ve çevresel katkılar sağlanabilecektir. Oldukça zararlı olan atık yağların tekrar üretimde kullanılması, üreticiler için ucuz hammadde ve maliyet avantajını da beraberinde getirmekte, diğer yandan çevre politikalarına yönelik amaçlar da sağlanmaktadır.

#### **8.1.4.7 Yan Ürünler**

Biyodizel üretimiyle birlikte küspe, metil alkol ve gliserin gibi elde edilen yan ürünlerin tekrar kullanılmasıyla ekonomik anlamda fayda sağlandığı görülmektedir. Küspe yem sanayinde, gliserin ise kozmetik sanayinde tekrar kullanılabilir ve ekonomik katkılar sağlanmaktadır.

#### **8.1.4.8 İstihdam Katkısı**

Tarım ve sanayi sektöründe yaratılacak ilave yatırımlarla ekonomik anlamda katma değer yaratılabileceği gibi, yeni istihdam olanakları sağlanabilecek, tarım ve sanayi sektörü arasında sağlıklı bir ilişki kurulmasına destek olunabilecektir. Özellikle kırsal kesimde yapılan biyodizel yatırımlarıyla kırsal alanlara yönelik istihdam olanakları sağlanabilecektir (Yaşar, 2009).

### **8.2 Biyodizel Üretiminde Yağlı Bitkilerin Belirlenmesinin Modellenmesi**

Stratejik öneme sahip biyodizel üretiminde başta yağlı tohumlar olmak üzere, bitkisel ve hayvansal kökenli yağların, her türlü atık bitkisel ve hayvansal yağlar ile sanayi kökenli atık yağların da biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılabilirdiği görülmektedir. Biyodizel üretiminde çok sayıda hammaddeden yararlanabilse de temel hammadde kaynağı yağlı tohumlardır. Ülkemizde biyodizel üretiminin ilk aşaması olan hammadde üretiminden başlanması hedeflenmiş ve ülkemiz genelinde biyodizelin yağ bitkilerin üretiminin gerçekleşmesi için aranılan özellikler ayrıntılı olarak araştırılmış ve sonuçların değerlendirilmiştir.

Biyodizel üretiminin hammaddesi olan yağlarla ilgili literatür taranmış ve bitkinin ekilmesi ve yetiştirilmesinden başlayarak, biyodizel elde edilene kadarki safhalar bir model haline getirilmiştir. Biyodizel üretimin etkileyen tüm parametreler teknoekonomik yaklaşımla 5 grup altında toplanmıştır:

1. Bitkinin yetiştirilmesi için gerekli olan zirai koşul parametreleri,
2. Bitki biyodizel dışındaki kullanım alanları,
3. Bitkinin biyodizele uygunluğun ölçülmesi amacıyla belirlenen fiziksel ve kimyasal koşullar;
4. Uygun ve optimum üretim teknolojileri,
5. Diğer hususlardır.

Geliştirilen modelin bu beş grubu aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

#### **8.2.1 Yağlı Bitkilerin Zirai Özelliklerinin Belirlenmesi**

Biyodizel üretiminde standart hammadde olarak kullanılan yağlı tohumlu bitkiler ülkemizde farklı bölgelerde yazlık ve kışlık olarak yetiştirilebilmektedir. Ülkemiz nadas alanlarının fazla olması ve bu amaçla değerlendirilebilme olanağının bulunması, yağlı tohumlu bitkilerin ekim

nöbetine sokulabilecek bir ürün olması ve hâlihazırda sağlanan desteklerle dikkat çekmektedir. Bu avantajlarla birlikte ülkemiz, hammadde üretimi için gerekli tarımsal potansiyele sahip, ekim alanlarını hammadde üretimine göre ayarlayabilecek ve bunu biyodizel üretiminde kullanabilecek yapıya sahip bir ülkedir. Biyodizel mevcut koşullar açısından incelendiğinde; ülkemiz özellikle gelişme eğilimi gösteren biyodizel pazarında kendisine uygun pazar imkânı yaratabilecek avantajlara sahiptir.

### **8.2.1.1 İklim Faktörünün Etkisi**

İklim, coğrafi çevrenin şekillenmesini ve canlı yaşamını çok yakından kontrol eden, cansız çevreyi de şekillendiren en büyük güçlerden biridir. İklim doğal bitki örtüsünün tür, miktar ve biçim yönünden dağılımını doğrudan doğruya etkisi altında bulundurur. Bir bölgede tarım işletmeciliğinin gelişmesi, tarımsal faaliyetlerde bu elemanların dikkate alınması ve bu elemanların etkisinden yararlanılabilecek şekilde tarımsal faaliyette bulunulmasıyla mümkün olacaktır. Tarımsal faaliyetlere, dolayısıyla tarım işletmeciliğine doğrudan etkisi olan iklim elemanlarından bazıları şunlardır:

İklim koşulları, sıcaklık, yağış, güneşlenme süresi, rüzgârlar, nemlilik gibi elemanların gösterdiği özellikleri ile etki eder.

#### **8.2.1.1.1 Sıcaklık**

Her bitki türünün ideal koşullarda gelişebileceği veya uyum sağlayabileceği bir sıcaklık ortamına ihtiyaç vardır. Bunun dışına çıktığında bitki türleri değişerek yerini diğer türlere bırakır.

Don faktörü diye tabir edilen olay sıcaklığın  $-0.1$  °C ve daha aşağı derecelere düşmesi ile başladığını söyleyebiliriz. Don başlangıcıyla birlikte protoplazmadan ayrılan ve aralarına toplanan su donmaktadır. Bu durumda yapraklar, yaprak sapları, bitki sapı hatta gövdesi de sertlenir. Don kuvvetliyse bitki eski hayatına dönemez ve ölüm gerçekleşir. Tahıllarda donun en tehlikeli olduğu zaman toprağa atılmış tanelerin çimlenme durumunda oldukları dönemdir. İlkbahar donlarında da toprak içindeki suyun donmasıyla toprak çatlar, kabarır ve kökler yerinden oynar. Dondan sonra dayanıksız kalan bitkiler devrilir ve ölürlür.

Bitkiler 8 °C sıcaklık büyüme dönemi başlangıcı için gerekli sıcaklıktır. Sıcaklığın bu derece üzerinde olduğu günler büyüme dönemidir. Bu süre ülkemizde farklı dağılış gösterir. Kuzeydoğu Anadolu'da 140 gün iken, İç Anadolu'da 180 günü, Kıyılarda 240 günü, Akdeniz kıyılarında 300 günü bulur.

#### **8.2.1.1.2 Nemlilik ve Yağış**

Tarım işletmeciliğinde en etkili faktörlerden biri de, su faktörüdür. Sıcaklık olmadan ya da sıcaklık belli derecelerin altına düştüğünde yaşamın olması mümkün olamayacağı gibi, su olmadan da canlı yaşamının düşünülmesi mümkün değildir. Bitkiler fotosentez yapmak için suya gereksinim duyarlar. Akarsuların ve su rezervinin çok olduğu, bölgelerde bitki gelişimi daha çok olur. Bitkiler, ihtiyaç duydukları suyu, yağış veya sulama sonucu karşılarlar. Tarımsal faaliyetlerde yağışlar kadar, yağışların biçimi ve zamanı da önemlidir.

Tarımsal faaliyetlerde ve tarım işletmeciliğinde etkili faktörlerden biri de nemdir. Nemli hava toprak geçirgen olmak kaydıyla tahıllarla içinde faydalıdır. Bazı yem bitkileri kurutulmak için tarlada bekletilmek durumundadırlar. Kurutma döneminde fazla nemli hava kesinlikle iyi değildir.

Bitkilerin su ve nem istekleri de birbirinden farklıdır. Bazı bitkiler su isteği az ve kuraklığa dayanıklıdırlar. Bazı bitkiler ise suyu çok seven ve sulu ortamlarda yaşayabilirler.

#### **8.2.1.1.3 Güneşlenme Süresi**

Bitkilerin fotosentez yapabilmeleri için ışığa güneş ışığına ihtiyacı vardır. Bu nedenle güneşlenme süresinin uzun olduğu alanlarda bitkilerin daha kısa sürede olgunlaşıp geliştiği görülür. Bitkilerin bazılarının güneş ışığı isteği fazla olmaktadır. Bazılarının ise direkt güneş ışığı isteği az olup gölge ortamları severler.

Örneğin yaz aylarında aynı tür tarım ürünlerinin 50–60 enlemleri arasında ülkemizden daha kısa zamanda olgunlaştıkları görülür.

Güneşi seven bitkiler güney yamaçlarda, nem, bulut ve serin havaları seven bitkiler ise genelde kuzey yamaçlarda yetişir.

#### **8.2.1.1.4 Rüzgârlar**

Rüzgârların bitkilerin fiziki özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlenir. Bunun yanında bitki tohumlarının sürüklenerek farklı bölgelere taşınmasında ve bitkilere ait çiçek tozlarının birbiriyle birleşerek döllenmesinde de rüzgârlar önemli bir etkiye sahiptir. Rüzgârlar buharlaşmayı artırır ve susuzluğa neden olarak olumsuz etki yapar.

#### **8.2.1.2 Yer Şekilleri**

Dağ kuşakları boyunca yükselti, bakı eğim, dağların uzanışı, arazinin yarıлма durumu, drenaj durumu vb. yatay ve dikey doğrultuda değişmesi farklı yerel koşulların oluşmasına neden

olarak farklı özellikte bitkilerin yetişmesine ortam hazırlamaktadır.

#### **8.2.1.2.1 Yükselti**

Yükselti yağışın artmasına, sıcaklığın azalmasına neden olur. Bu yüzden sıcaklık ve su isteği farklı olan bitkiler dağlar boyunca yükseltiye göre basamaklar oluşturur. Yükseklerle doğru çıkıldıkça yüksek enlemlere doğru gidiliyormuşçasına bitki örtüsü değişmektedir. Yani yüksek enlemlerin bitki örtüleri alçak enlemlerin yüksek sahalarında yaşam alanı bulabilmektedir.

#### **8.2.1.2.2 Bakı**

Dağlık sahalarda dağların kuzeye ve güneye bakan yamaçları ile denize ve içeri bakan yamaçları farklı sıcaklık ve yağış koşulları oluşturur.

#### **8.2.1.2.3 Arazinin Yarılma Durumu:**

Akarsuların araziye derin yarması, karstik erimeler, tektonik çöküntüler, bir dağ sırası içinde yerel alanlar oluşturur. Bu alanlar bazen bitkilerin dışarıya yayılmasını engelleyerek izole ederken, bir yandan da yağış, sıcaklık, gölgelik, güneşlenme yönünden özel alanları oluştururlar. Bu alanlarda bir yönden mikro klima tipleri oluşmaktadır. Bunlar endemik bitkilerin ve reliik bitkilerin yetişmesine ve artmasına ortam hazırlar. Ayrıca o bölgelerde köklü iklim değişimleri yaşanmış olsa bile bu arazi koşulları o alanda var olan bitkileri koruyarak tamamen yok olmasını engellemektedir.

#### **8.2.1.2.4 Drenaj durumu:**

Suların sızmadığı ve yeraltı sularının yüksek olduğu alanlarda suyu çok seven bitkilerin yetişmesi sağlar.

#### **8.2.1.3 Toprak İstekleri**

Bitkilerin yetiştirme koşulları ve istek ve ihtiyaçları birbirinden farklıdır. Bazı bitkileri beslenme ve kök gelişimi için özel toprak isterler. Bazıları kireçli, bazıları yumuşak kumlu, bazıları volkanik toprakları severler. Buna bağlı olarak; bitkilerin toprak istekleri de birbirinden farklıdır. Taban suyu yüksek ve devamlı su altında kalan alanlarda asidi k özellik taşıyan topraklar, sazlıklar, tuzlu topraklar, alüvyal topraklar, humuslu topraklar, kumlu ve su tutmayan kumlu vb. topraklardır. Ülkemizde yetişen çeşitli yağlı tohumlu bitkilerin toprak özellikleri verilmiştir (Çizelge 6.1).



#### 8.2.1.4 Biyotik Etken

İnsanların bitkiler üzerine yapmış oldukları etkiler, bitkilerin birbiri ile yapmış oldukları rekabetler, hayvanların etkileri de bitki dağılımını etkilemekte, bazen de bitki dağılımı kompozisyonunu değiştirmektedir.

#### 8.2.1.5 Türkiye’de Tarımı (Verimi) Etkileyen Faktörler

##### 8.2.1.5.1 Sulama

Türkiye tarımında en büyük sorun sulama sorunudur. Tarımda sulama ihtiyacının en fazla olduğu bölgemiz Güneydoğu Anadolu Bölgesi iken, bu sorunun en az olduğu bölgemiz Karadeniz Bölgesidir.

Akarsularımızın derin vadilerden akması ve rejimlerinin düzensiz olmasından dolayı sulamada yeterince faydalanamıyoruz. Bunun için mutlaka akarsular üzerindeki baraj sayısı artırılmalıdır. Sulama sorunu çözüldüğünde;

- Üretim artar.
- Nadas olayı ortadan kalkar.
- Tarımda iklime bağlılık büyük oranda azalır.
- Üretimde süreklilik sağlanır.
- Üretim dalgalanmaları önlenir.
- Yılda birden fazla ürün alınabilir.
- Bu konuda en şanslı bölgemiz Akdeniz, en şanssız bölgemiz Doğu Anadolu Bölgesidir.
- Daha önce sebze tarımı yapılmayan bir yerde sebze tarımı da yapılmaya başlanır.
- Tarım ürün çeşidi artar.
- Köyden kente göçler azalır.

##### 8.2.1.5.2 Gübreleme

Tarımda ürünün verim ve kalitesini etkileyen maddeleri içeren organik ve kimyasal bileşiklere veya karışımlara gübre, bunların bilimsel ilkelere uygun olarak toprağa veya bitkiye verilmesi işlemine de gübreleme denir. Bitki yetiştiriciliğinde daha fazla üretim ve kimi zaman da daha kaliteli ürün için gübre uygulaması vazgeçilemez yöntemlerdendir.

Gübrenin çevre kirliliği yaratması bilinçsiz kullanımından kaynaklanır. Bilinçli kullanımda gübre dozları; topraktaki besin maddeleri açığını kapatacak şekilde toprak ve bitki analizleri veya biyolojik denemelerle belirlenir.

Ülkemizde hayvancılığın gelişmiş olması tabii gübre imkânını oluşturmaktadır. Ancak yurdumuzda tabii gübrenin yakacak olarak kullanılması bu olumlu durumu ortadan kaldırmaktadır. Ülkemizde üretilen suni gübre yeterli olmadığı için ithal (Fas, Tunus, Cezayir gibi ülkelerden) etmekteyiz. Bu da maliyeti artırdığından çiftçilerimiz yeterince gübre kullanamamaktadır.

#### **8.2.1.5.3 Tohum Islahı**

Sulama ve gübre sorunu çözüldükten sonra verimi daha da artırmak için kaliteli tohum kullanılmalıdır. Ülkemizde kalite tohum üretme konusunda devlet üretme çiftlikleri ve tohum ıslah istasyonları çalışmalar yapmaktadır. Ancak kaliteli tohum ithali devam etmektedir.

#### **8.2.1.5.4 Tarımsal Mekanizasyon**

Mekanizasyon son yüzyılda tarımı ve tarımsal üretimi belki de en fazla etkileyen ve gelişmesini sağlayan ve tarımsal faaliyetleri yönlendiren uygulamalardandır. Modern tarım mekanizasyon sayesinde oluşmuş ve gelişmiştir. Mekanizasyon modern tarımın vazgeçilemez temel direklerindedir. Çünkü bu sistemde üretimin her aşamasındaki uygulamalar ancak o alanda geliştirilen alet ve ekipmanlarla hızlı ve istenilen nitelikte yapılabilir. Ancak bazı alet ve makinelerle gerçekleşen uygulamalar çevre üzerinde olumsuz etkiler de yaratabilmektedir. Bu sakıncalar kimi zaman bilinçsiz kullanım ve veya alet ve makinelerin fazla ağırlığı, bunun toprak ve üzerindeki bitki ve canlılara olumsuz etkileri, ağır baskı, derin yırtma, aşırı gürültü ve egzoz gazları vb. özelliklerinden kaynaklanabilir.

Özellikle zamansız ve bilinçsiz (nemli toprakların ağır alet ve makinelerle sürümü) derin toprak islemeler tarım toprağının yapısının bozulmasına, toprağının su geçirgenliğinin dolayısıyla tutulan su miktarının azalmasına, canlıların yaşam koşullarının olumsuz yönde değişmesine sebep olmaktadır. Bu gibi olumsuzluklar nedeni ile son yıllarda en az düzeyde (minimum) toprak isleme ile tarımsal üretim, üzerinde en çok durulan uygulamalardandır.

Motor yeteneği bozuk ve bakımı sorunlu olan makinelerin çevrede gürültü kirliliğine, yakıt artıkları ile de atmosfer kirliliğine sebep olmaları nedeniyle tarım işlerinde kullanımında önemli sakıncaları ortaya çıkarmaktadır.

Ürünün zamanında ekimi, hasadı ve yüksek verim için makine kullanımı şarttır. Ancak makine kullanımı yurdumuzda yeterli ölçüde gelişmemiştir. Sebepleri:

- Makine kullanıma elverişsiz alanların varlığı,
- Makine kullanımının ekonomik olmadığı küçül alanların varlığı,

- İş gücünün bazı bölgelerde daha ucuz olması,
- Makine fiyatlarının çiftçinin alım gücünün üstünde olmasıdır.

#### **8.2.1.5.5 Zirai Mücadele**

Tarımdaki hastalıkların, yabancı otların ve haşerelerin meydana getireceği üretim düşüklüğünü önlemek için ilaçlı mücadele şarttır. Zirai mücadelede daha çok ilaç kullanılmaktadır.

#### **8.2.1.5.6 Toprak Bakımı**

Tarla yağışlardan önce sürülmeli, yabancı otlardan arındırılmalıdır. Erozyona karşı korunmalıdır.

#### **8.2.1.5.7 Toprak Analizi**

Toprak analizleri ile en iyi verim alınabilecek ürün belirlenir. Ayrıca toprağın ihtiyacı olan mineraller tespit edilerek kullanılacak gübre belirlenir.

#### **8.2.1.5.8 Destekleme Alımı ve Pazar**

Verimi etkilemez. Üretim miktarını etkiler. Çiftçi ürettiği malı pazarda zarar etmeden satabilmelidir. Çiftçinin elverişsiz piyasa koşullarından olumsuz etkilenmemesi için devlet bazı ürünlerde destekleme alımı yapmaktadır.

#### **8.2.1.5.9 Çiftçi Eğitilmeli ve Kredi Desteği**

Çok önemlidir. Eğitilmiş personelin gözetiminde yapılması şarttır. Kredi desteği, çiftçiyi zor duruma düşürmeyecek biçimde yapılmalıdır.

#### **8.2.1.5.10 Sürdürülebilir Tarım**

Tarımda sürdürülebilirlik kavramı yeni bir kavram değildir ve onlarca senedir tarım sistemlerinde göz önüne alınmıştır. Sürdürülebilirliğin anahtar bileşenleri Amerikan Kongresi tarafından 1990 Tarım Kanunu'nda bölgeye özgü uygulamalar içeren bir bitki ve hayvan üretimi uygulamaları entegre sistemi olarak özetlenmiştir, uzun vadede:

- İnsanlar için yiyecek ve lif ihtiyaçlarını karşılar,
- Çevre kalitesini ve tarım ekonomisinin dayandığı doğal kaynakları geliştirir,
- Yenilenemeyen kaynaklar ve çiftlik kaynaklarının en etkili kullanımını sağlar ve doğal biyolojik döngüleri ve kontrolleri uygun şekilde entegre eder,
- Çiftlik işlerinin ekonomik yaşam kabiliyetini sürdürmesini sağlar,

- Çiftçilerin ve toplumun bir bütün olarak yaşam kalitesini artırır.

Sürdürülebilir tarım, yeterli bakım yapılması veya çevre kalitesinin ve ekonomik karlılığın geliştirilmesiyle sonuçlanan üretim yöntemlerinin kullanılmasını öngörür. Başka bir deyişle, çevre için gerçekten sürdürülebilir görünen bir üretim sisteminin, sistemi kullanan üreticiler için karlı olması ve uzun vadede kullanılabilmesi gerekmektedir.

#### **8.2.1.6 Tarım İşletme Metotları**

##### **8.2.1.6.1 İntansif (Modern-Yoğun) Tarım Metodu**

Nüfusa göre ekili dikili alanların sınırlı olduğu ülkelerde uygulanır. Birim alandan alınan verim çok yüksektir. Ör. Hollanda, Danimarka, Japonya, İsveç ve İsrail gibi ülkelerde bu tür tarım metodu uygulanmaktadır. Yurdumuzda ise Akdeniz ve Ege Bölgelerinde uygulanan seracılık faaliyetleri intansif tarım metoduna örnektir.

##### **8.2.1.6.2 Ekstansif (İlkel-Kaba-Yaygın ) Tarım Metodu**

Nüfusa göre tarım alanlarının fazla olduğu ülkelerde uygulanan tarım metodudur. Birim alandan alınan verim düşüktür. Üretim miktarında iklimin etkisi vardır. Yurdumuzda uygulanan tarım metodu genelde bu şekildedir.

Not: İntansif tarım metodu ile ekstansif tarım metodu arasındaki en önemli fark birim alandan alınan verimdir.

##### **8.2.1.6.3 Nadaslı Tarım Metodu**

Nadas toprağın bir sene boş bırakılmasıdır. Sebep; yağışın yetersiz olmasından dolayı toprağın verimsiz olmasıdır. Amaç; toprağı bir yıl boş bırakarak, su ve mineralleri toplamasını sağlamaktır.

Nadaslı tarım, dağlık ve engebeli arazi yapısı tarım topraklarının dağınık ve küçük olmasına yol açmıştır. Bu nedenle, küçük işletmeler şeklinde tarımsal faaliyetler daha yoğundur. Topraktan alınan verimin artırılabilmesi için toprağın dinlenmeye bırakılması (nadas) gerekmektedir. Nadas, erimi en düşük tarım metodudur. Tamamen iklime bağlılık gösterir. Yağışın az, sulamanın yetersiz olduğu alanlarda uygulanır. Türkiye’de nadas tarımının en fazla uygulandığı bölge İç Anadolu Bölgesidir. Nadas olayı en az Karadeniz bölgesinde uygulanır.

Biyodizel üretilecek olan yağlı bitkinin ülkemiz iklim koşullarında özellikle karasal iklimlerde yetişebilecek olması ve nadasa bırakılan alanlarda ekilerek münavebeye uygun olması gerekir. Ülkemiz tarım arazisinin %18-22'lik kısmının nadasa bırakılmasını önlemek amacıyla yağlı tohumlu bitkilerin ekimine önem verilmelidir.

#### **8.2.1.6.4 Kuru Tarım**

Tamamen doğal koşullara bağlı olarak yapılan tarımdır. İklimde meydana gelen olumsuzluklar, tarımda verimliliği hemen etkiler. Sulu tarım verimi artırır.

#### **8.2.1.6.5 Plantasyon Tarım Metodu**

Tropikal kuşakta ticari amaçla çok geniş alanlarda bir veya bir kaç çeşit ürün yetiştirmeye dayalı tarım metodudur. Ör: Brezilya'da; çay, kahve ve muz, Seylan (Sri Lanka)'da; çay, Malezya'da; kauçuk üretimi vb.

#### **8.2.1.7 Zirai Yönden Değerlendirme**

Yağ bitkileri yetiştiriciliği için zirai yönden ideal koşullar belirlenmiş, ancak zorunlu koşullarında yerine getirip, getirmemesine göre değerlendirilmelidir (Çizelge 8.2). Belirlenen koşullar değerlendirilerek, biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerde zirai özellikler modülünün proses akım şeması (Çizelge 8.3) belirlenmiştir.

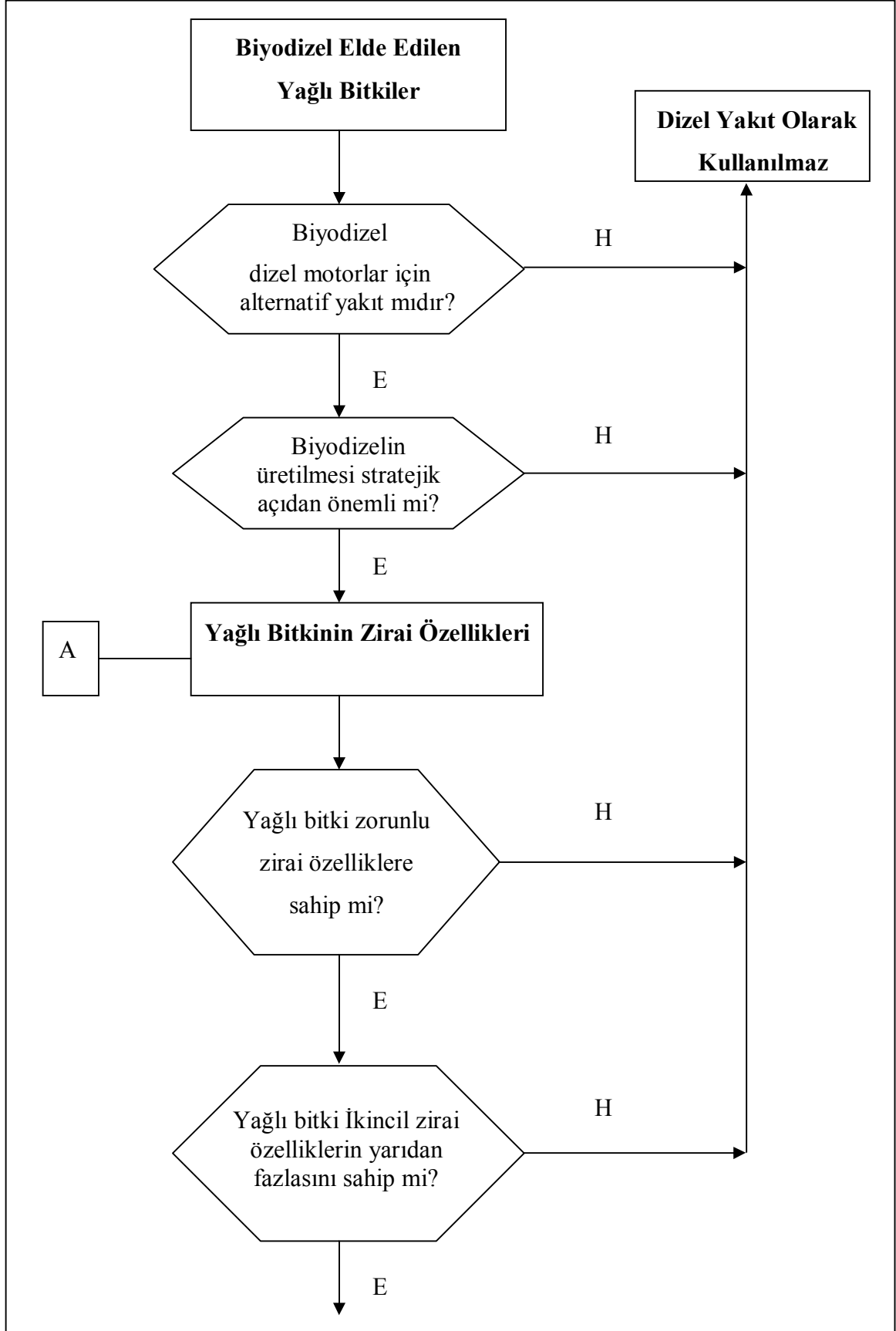
Yağ bitkilerinin Çizelge 8.3'de belirtilen biyodizelin dizele alternatif yakıt ve stratejik öneme sahip olması, gıda güvenliği ve ekonomiklik açısından büyük önem taşımaktadır. Zorunlu zirai özelliklerini sağlaması; ülkemiz toprak özelliklerinden (Çizelge 5.1)'deki 3. ve 4. sınıf topraklarda yetişmesi, depolanma (oksidasyona uğramadan) ve taşınabilmesi, saklama süresi, her yıl ürün veriyor olması ve tarımsal mekanizasyona uygunluğu yağlı bitkilerin yetiştirilmesinde ve teşvikinde önemli rol oynar.

İkincil zirai istekler olarak, yağın tohumlarından elde edilmesi, verimleri, bakım (çapalama, gübreleme, vb.) işleri, hasat zamanı, ekim nöbetine uygunluğu, yazlık, kışlık ve 2. ürün olarak ekilmesi, sulama, sürdürülebilir tarıma uygunluğu, ürünün işleme ve yağ çıkarmaya yatkınlığı, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığı, kendi tohumundan çoğaltılması, yağ bitkisinden beklenen özelliklerdir.

Çizelge 8.2 Biyodizel bitkilerinde zirai yönden aranacak özellikler

S.No	Özellikler	İdeal Yanıtlar	Evet	Hayır	Açıklama
<b>a) Zirai yönden zorunlu özellikler</b>					
1	Bitki karasal iklimlerde yetişir mi?	Evet	.....	.....	.....
2	3. ve 4. sınıf topraklarda yetişir?	Evet	.....	.....	.....
3	Depolanabilir, taşınabilir mi?	Evet	.....	.....	.....
4	Minimum saklanma süresi 3 aydan fazla mı?	Evet	.....	.....	.....
5	Her yıl ürün veriyor mu?	Evet	.....	.....	.....
6	Tarımsal mekanizasyona uygun mu?	Evet	.....	.....	.....
<b>b) Zirai yönden ikincil etkisi olan özellikler</b>					
1	Bitkinin tohumundan mı yağ elde ediliyor?	Evet	.....	.....	.....
2	Dekara verim minimum 200 kg mıdır?	Evet	.....	.....	.....
3	Bakım (Çapalama/Gübreleme) gerekir mi?	Hayır	.....	.....	.....
4	Ekim ve hasat zamanı?	Yaz	.....	.....	.....
5	Ekim nöbetine uygun mu?	Evet	.....	.....	.....
6	Yazlık, kışlık ve 2. ürün türleri var mı?	Evet	.....	.....	.....
7	Sulamak gerekir mi?	Hayır	.....	.....	.....
8	Sürdürülebilir (Ekonomik, çevresel, sosyal) tarıma uygun mu?	Evet	.....	.....	.....
9	Ürün işleme teknolojisi ve yağ çıkarmaya yatkın mı?	Evet	.....	.....	.....
10	Hastalık ve zararlılara karşı dayanıklı mı?	Evet	.....	.....	.....
11	Kendi tohumundan çoğaltılıyor mu?	Evet	.....	.....	.....

Çizelge 8.3 Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerde zirai özelliklerin akım şeması



## 8.2.2 Yağlı Bitkilerin Diğer Kullanma Olanakları

Gıda amaçlı yağ üretimi, yağlı tohum arzının yetersiz kalması ve biyodizel üretimiyle artan yağlı tohum talebi, ülkemizde yağlı tohumların gıda ve enerji kullanımına yönelik tartışmaları da artırmaktadır. Öncelikle gıda amaçlı üretim için yağlı tohumların kullanımı hedeflenmekle birlikte, artan biyodizel üretimi ve elde edilen gelir, biyodizel sektörünü bu amaçtan uzaklaştırmaya yönelik gelişmeleri beraberinde getirmektedir.

Örneğin kanola yağı; yemeklik, sabun, boya, aydınlatma ve diğer endüstri dallarında kullanılmaktadır. Kanola küspesi de değerli bir hayvan yemidir. Kanola bünyesinde bulundurduğu yağ miktarının yanısıra; %25 protein ve %20 oranında da karbonhidrat içeren ve çevre koşullarına göre yağ oranı değişiklik gösteren önemli bir yağ bitkisidir.

Dünyada tarımsal faaliyet artık sadece gıda amaçlı yapılmamakta, enerji bitkileri üretimi de talebe bağlı olarak artış göstermektedir. Biyodizel hammaddesi olabilecek bitkiler, özellikle gıda amaçlı bitkilerin yetiştirilemeyeceği tarımsal alanlarda da yetiştirilebilmekte, böylece bu alanlar tarımsal üretime de katılabilmektedir. Modern tarımsal planlamalarda, tarımsal üretim alanlarının yaklaşık %30'unun yem bitkilerine, % 20'sinin enerji bitkilerine ayrılması hedeflenmekte ve bu şekilde enerji bitkileri üretimi artırılmaya çalışılmaktadır (Eser vd., 2007). Yağlı bitkilerin kullanım alanları ile ilgili belirlenen özellikler (Çizelge 8.2) saptanmıştır.

### 8.2.2.1 Gıda Güvenliği

Gelecek senaristlerinin gıdaya ulaşımı savaş nedenleri arasında yer vermektedirler. "Biyobenzin üretiminde mısır, buğday, arpa, biyodizel üretiminde kanola, soya, ayçiçeği, aspir gibi insan ve hayvan beslemede önemli yer tutan bitkilerin kullanılması bir yandan açlık ve yoksulluğu artıracaktır. Diğer yandan da bu ürünlerin daha fazla üretilmesi amacıyla daha fazla gübre kullanımı, daha fazla ilaç kullanımı, daha fazla ve aşırı sulama gibi uygulamalarla çevre sorunlarını büyütecektir.

Bu nedenle, enerji elde etmek amacıyla gıda ve hayvan yemi olmayan bitkilerin kullanımı söz konusu olmaktadır. Yağ bitkilerinin ekim alanının genişlemesi diğer gıda bitkilerinin üretimini azaltabilecek ve fiyatların artmasına neden olacaktır.

Gıda amaçlı yağ üretimi için, yağlı tohum arzının yetersiz kalması ve biyodizel üretimiyle artan yağlı tohum talebi, ülkemizde yağlı tohumların gıda, enerji kullanımına yönelik tartışmaları da artırmaktadır. Öncelikle gıda amaçlı üretim için yağlı tohumların kullanımı hedeflenmekle birlikte, artan yağlı tohumların biyodizel üretimi ve ayrıca hammadde olarak



atık yağlardan da biyodizel üretimi yapılabilir, elde edilen gelir biyodizel sektörünü bu amaçtan uzaklaştırmaya yönelik gelişmeleri beraberinde getirmektedir.

Gıda güvenliğinin geleceği dört anahtar tarım kaynağının istikrarına dayanıyor:

- Tarım alanı,
- Su,
- Mera,
- Dünyanın iklim sistemidir.

Tarım alanlarını istikrarlı hale getirmek, onu hem toprak erozyonundan, hem de tarım dışı kullanıma dönüştürülmesinden korumak demektir.

Su kaynaklarını korumak su düzeylerinde istikrarı sağlamak demektir. Su düzeylerini düşürecek şekilde fazladan su çekmek, aynı zamanda su pompalamak için kullanılan enerjiyi de artırıyor.

Meraları korumak, gıda güvenliği formülünün bütünlüklü bir kısmıdır. Çünkü aşırı otlatma nedeniyle meralara verilen zarar sadece hayvan varlığını taşıma kapasitesini azaltmıyor, aynı zamanda arazi bitki örtüsünün yok edilmesini izleyen toz fırtınaları yüzlerce kilometre ötedeki ekonomik faaliyeti de engelleyebiliyor. Mera alanının çöle dönüşmesini izleyen kum sürüklenmeleri tarım alanlarını da işgal ediyor ve ekim yapılmasını imkânsız hale getiriyor.

En önemlisi iklim sistemini istikrarlı hale getirmemiz gerekiyor. Bildiğimiz gibi tarım, büyük oranda kayda değer bir iklim istikrarıyla 11 bin yılda evrimleşti. Yüksek sıcaklıkların tahıl verimindeki olumsuz etkisi, iklimi mümkün olan en kısa sürede istikrarlı hale getirmemizin önemini altını çiziyor. Bu kaynaklardan herhangi birini istikrara kavuşturmamız şarttır. Ama bizim kuşağımız bütün bu dört kaynağı da aynı zamanda istikrarlı hale getirme zorunluluğuyla yüz yüzeyiz. Bu, liderlik, zaman, enerji ve aynı zamanda da maliyet itibarıyla mutlaka yerine getirilmesi gereken bir yükümlülüktür.

#### **8.2.2.2 Yağlı Tohumlu Bitkilerin Toprak Verimliliğine Katkısı**

Yağlı tohumlu bitkilerden olan soya ve yerbıstığı baklagil bitkisi oldukları için, köklerinde yaşayan Rhizobium bakterileri sayesinde havanın serbest azotunu toprağa bağlarlar. Bu şekilde hem kendi gereksinimleri olan azot miktarını karşılarlar, hem de kendisinden sonra ekilecek bitkilere organik madde ve azotça zengin bir toprak bırakırlar (Arioğlu, 2007). Yapılan araştırmalara göre; soya bitkisi bir yetiştirme dönemi içerisinde yaklaşık olarak 25–30 kg/da azotu, yerbıstığı ise 20–25 kg/da azotu köklerinde yaşayan Rhizobium bakterileri sayesinde, havadan bitkiye transfer ederler. Biriktirilen bu azotun büyük bir kısmını kendileri

kullanır, bir kısmını da kendilerinden sonra ekilecek bitkilere bırakırlar. Bu şekilde toprak verimliliğinde süreklilik sağlanmış olur.

### **8.2.2.3 Yağlı Tohumlu Bitkilerin Yeşil Yem Olarak Kullanımı**

Soya ve yarfıstığı gibi, yağlı tohumlu bitkilerin hasat sonrası artıkları (sap kısımları), proteince zengin oldukları için, hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir. Buğday samanı ile karşılaştırıldıklarında, besleme değerlerinin daha yüksek olduğu ve hayvanlar tarafından daha bir iştahla tüketildikleri saptanmıştır. Bununla birlikte soya ve kolza bitkileri yeşil ot, yâda silaj yem olarak kullanılmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle de ülke hayvancılığına ayrı bir katkı sağlamaktadırlar.

### **8.2.2.4 Ekim Nöbeti Bitkisi Olarak Kullanımı**

Bitkilerin bazıları çok yıllık ve uzun ömürlü, bazıları ise tek yıllıktır. Mevsim sonunda hayat faaliyetleri sona erer. Tek yıllık olarak üretilen yağlı tohumlu bitkiler, birer çapa bitkisi oldukları için, yetiştirme süresi boyunca toprak çapalanarak havalandırılmakta ve yabancı otlar yok edilmektedir. Bu nedenle, yağlı tohumlu bitkiler kendilerinden sonra ekilecek bitkilere temiz ve havalanmış bir toprak bırakırlar. Diğer taraftan, bazı yağlı tohumlu bitkiler kazık köklü oldukları için, ön bitkiye verilen ve yağışlarla toprak derinliğine doğru yıkanan bitki besin maddelerinden kolaylıkla yararlanırlar. Bu sayede iyi bir ekim nöbeti bitkisi olarak üreticiler tarafından tercih edilirler.

### **8.2.2.5 Arı Yetiştiriciliğinde Kullanımı**

Yağlı tohumlu bitkilerden olan kolza ve ayçiçeği açık döllenme özelliğine sahip oldukları için arılar tarafından tercih edilen bitkilerin basında gelirler. Her iki bitkinin de çiçeklenme süreleri, diğer bitkilere göre daha uzundur. Bu nedenle bal arıları tarafından daha uzun süre nektar kaynağı olarak kullanılırlar. Diğer taraftan, kolza bitkisinin çiçeklendiği dönemde, bal arılarının nektar toplayacakları başka bitki türü bulunmadığı için, bal arısı yetiştiriciliği bakımından ayrı bir önem taşırlar. Kolza bitkisinin nektar verimi diğer bitkilerle karşılaştırıldığında oldukça yüksek oranda (Bazı kanola çeşitlerinde nektar miktarı 0.452 mg/çiçek/gün) olduğu saptanmıştır (Gizlenci vd., 2005).

### **8.2.2.6 Sanayide Hammadde Olarak Kullanımı**

Yağlı tohumlardan elde edilen yağlar, gıda dışında sanayide çok farklı amaçlarda kullanılmaktadır. Bitkisel yağların en yaygın olarak kullanıldığı sanayi kollarının basında; sabun, şampuan, deterjan, kumaş boyaları, kozmetik ürünleri, ilaç, inşaat malzemeleri, zirai

ilaç, dezenfektan, plastik, kâğıt, tutkal, matbaa mürekkebi ve cam macunu üretimi gibi sanayiler gelmektedir.

Ülkemizde olması gereken düzeylerde yağlı tohum üretimi gerçekleştirilememiştir. İklim ve toprak özellikleri dikkate alındığında, yağlı tohumlu bitkilerin üretimi bakımından ülkemizde büyük bir potansiyel mevcuttur. Ülkemizde yağlı tohum üretiminin yeterli olmamasının nedenleri;

- Öncelikli olarak, ülkemizin yağ ve protein gereksinimleri göz önüne alınarak, yağlı tohumlu bitkilerin, en az tahıllar kadar stratejik öneme sahip bir ürün olduğu her kesim tarafından kabul edilmesi gerekmektedir.
- Türkiye’de yağlı tohum üretimini yönlendirmek üzere, değişik kesimlerin temsilcilerinden oluşan “Yağlı Tohumlar Konseyi” kurulmalıdır.
- “Yağlı Tohumlu Bitkiler Araştırma Merkezi” kurulmalı ve Türkiye genelinde yapılan araştırmalar bu merkezden yönlendirilmelidir.
- Yağlı tohum alımları ile görevli birlikler yeniden yapılandırılmalıdır.
- Dünya Ticaret Örgütü ile yapılan anlaşmalar gereği, yağlı tohum ve ham yağ ithalatındaki sınırlamayı kaldıran vergi oranlarının ülkemiz lehine yeniden düzenlenmesi gerekir.
- İç piyasada sağlıklı bir fiyat oluşumunu sağlayabilmek için, yağlı tohum veya ham yağ ithalatı bir takvime bağlanmalıdır. Yani, üretim döneminde, ithalata kısıtlama getirilmelidir (fon konarak).
- Yağlı tohumların fiyatları serbest piyasa koşullarına göre oluşturulmalıdır. Müdahale fiyatı (Dünya fiyatı) ile hedef fiyat (Ürün maliyeti + üretici kârı) arasındaki farktır.
- Yağlı tohumlara ödenecek primler ekim öncesi açıklanmalı ve hasat sonrası hemen ödenmelidir.
- Yağlı tohumlu bitkilerin üretiminde kullanılan girdilere uygulanan dolaylı vergiler azaltılarak, ürün maliyetini, dış pazarlarla rekabet edebilecek düzeylere indirilmesi sağlanmalıdır.
- Ham yağ ithal eden sanayi kuruluşlarına, ithal ettikleri miktarın en az %10-20’sine es değer miktarda, yağlı tohum alım zorunluluğu getirilmelidir.
- Yağ bitkilerinin tohumluk sorunu çözülmeli, üreticiye daha kaliteli (hibrit) ve ucuz tohumluk verme yolları aranmalıdır.
- Seker Yasası nedeniyle, azalan şekerpancarı ekim sahalarına, “Alternatif Ürün Projesi” kapsamında, başta ayçiçeği olmak üzere diğer yağlı tohumlu bitkilerin üretimlerini artırabilmek için gerekli önlemler alınmalıdır.
- Taban fiyatları belirlenirken, ayçiçeği ile buğday fiyatları arasındaki denge, çok iyi düzenlenmelidir (Ayçiçeği fiyatı, buğday fiyatının 2.5–3 katı olmalıdır).
- GAP bölgesinde, “Master Programı” çerçevesinde, yağlı tohumlu bitkiler için ön görülen üretim hedeflerine ulaşabilmek için, basta soya olmak üzere, ayçiçeği, aspir, kolza, yarfıstığı ve susam gibi bitkilerin üretimleri planlı bir şekilde teşvik edilmelidir.
- Nadas alanlarında yetişebilecek basta aspir olmak üzere, uygun yağ bitkileri belirlenmeli ve bunların nadas yapılan bölgelerde yetiştirilmeleri için gerekli teşvikler sağlanmalıdır.

- Yağlı tohumların üretiminde birim alandan elde edilen verimin artırılabilmesi için, Tarım Bakanlığı elemanları tarafından etkin bir yayım hizmetinin sunulması sağlanmalıdır.

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki; palm ve Hindistan cevizi dışında kalan, yağlı tohumlu bitkilerin tümü, yazlık veya kışlık olarak ülkemizde yetişebilmektedir. Yağlı tohumlu bitkilerin üretimi açısından ülkemizdeki mevcut potansiyelin değerlendirilmesi halinde, hem ülkemizin gereksinim duyduğu yağ ihtiyacı karşılanmış olacak ve hem de %40 atıl kapasite ile çalışan yağ sektörüne, büyük katkılar sağlanmış olacaktır.

Son yıllarda yağlı tohum üretiminin yetersiz olması nedeniyle, büyük boyutlara ulasan ham yağ açığını kapatabilmek, ithal yoluyla döviz kaybını önleyebilmek, işlenmiş yağ ihraç ederek, ülkemize döviz kazandırmak ve Türk çiftçisinin gelir seviyesini yükseltebilmek için, yağlı tohumların üretimi konusunda, su önlemlerin acilen alınması gerekmektedir (Arioğlu ve Güllüoğlu, 2009).

Ülkemiz topraklarında rahatlıkla üretimi yapılabilecek önemli biyodizel kaynaklarından ikisi kanola (kolza) ve aspir yağlı tohum bitkileridir. Örnek olması bakımından bu iki bitki biraz daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

### **Kolza (Kanola);**

Kolzanın yemeklik yağ sanayinde ve hayvan yemi olarak kullanılmasının yansıra, enerji üretimi amacıyla da kullanılabilmesi kolzaya olan talebi artırmaktadır. Özellikle 2000'li yıllardan sonra artan kolza üretimi, biyodizel sektöründe yaşanan gelişmelere paralel olarak artışlar göstermiştir. Ülkemizde 2008 yılı itibariyle, kolza yaklaşık 281 bin dekar ekiliş alanına ve yaklaşık 84 bin ton üretim değerine ulaşmıştır (TÜİK, 2010).

Kanola biyodizel üretiminde en önemli yer tutar. Bunun başlıca nedenleri aşağıda özetlenmektedir:

- Adaptasyon yeteneğinin iyi olması,
- Yazlık-kışlık formlarının bulunması,
- Yetişme devresinin kısa olması,
- Birim alandan yüksek yağ elde edilmesi,
- Ekiminden hasadına kadar yetiştirme tekniğinin mekanizasyona uygun olması,
- Hasat zamanının diğer yağ bitkilerinden 1–2 ay, buğdaydan 3–4 hafta erken olması,
- Yağ fabrikalarının çalışma kapasitesini yükseltmesi,
- Uygun bölgelerde ikinci ürün tarımına imkân sağlaması,
- Ayrıca ilkbaharda erken açan çiçekleri sayesinde arıcılığa uzun süre nektar sağlaması,
- İhtiva ettiği yüksek proteinli kütlesi ile kanatlılara ve büyük baş hayvanlara kaliteli kesif

yem sağlaması üstün özellikleri olarak göze çarpmaktadır.

Kanola yetiştiriciliğinden yüksek verim alabilmek için mutlaka münavebe yapılmalıdır. Kanolanın gireceği bazı münavebe modelleri şu şekilde olabilir;

1. Model: Ayçiçeği + Kanola + Buğday + Mısır,
2. Model: Buğday + Kanola + Baklagil + Ayçiçeği,
3. Model: Buğday + Kanola + Şekerpancarı + Kavun-Karpuz,
4. Model: Ayçiçeği + Kanola + Buğday ekimi sırasıyla uygulanabilir.

Kanolanın biyodizelin temel hammaddesi olması kanola tarımının önemini daha da arttıracaktır. Buğday tarımına uygun topraklar genellikle kanola tarımı için de uygundur.

#### **Aspir için;**

Kolzayla birlikte biyodizel için standart hammadde olarak gösterilen aspir, özellikle 2000’li yıllardan sonra artış eğilimine girmiştir. 2008 yılı itibariyle 54 bin dekar ekiliş alanına sahip olan aspir, 7 bin ton üretim rakamı ile dikkatleri çeken diğer bir yağlı tohum çeşidi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kolzaya oranla yaygın olarak üretimi yapılmayan aspirin, gelişmesine yönelik çalışmalar yapılmakla birlikte, aspir üretiminin yaygınlaşmasının zaman alacağı tahmin edilmektedir. Aspirin başlıca özellikleri;

- Hububatın yetiştiği her türlü iklim ve toprak koşullarında yetişebilir,
- Kurağa dayanıklı oluşu ve sulanmadan yetiştirilmesi kurak bölgelerde özellikle Orta Anadolu’da önerilebilir,
- Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri’nde, Çukurova ve Akdeniz Bölgesi’nin susuz, kısmen fakir, meyilli arazilerinde buğday ile ekim nöbetine girilebilir,
- Aspir tarımındaki en önemli avantaj, hububat tarımındaki bütün alet ve ekipmanları kullanılabilmesidir. Belki de bu özelliğinden dolayı, üreticiler tarafından benimsenmesi daha kolay ve çabuk olacaktır.
- Toprak istekleri bakımından fazla seçici değildir,
- Kıraç alanlarda da başarılı bir şekilde yetişebilmektedir,
- Ekim zamanı ilkbahardır.

Çiçeklerinin içerdiği “carthamin” maddesinden dolayı ipliklerin, kozmetiklerin, alkollü, alkolsüz içeceklerin boyanmasında, renk vermek amacıyla yemeklerde, küspesi ve tüm tohumu süt inekleri beslemede, kuşyemi olarak, kuru sapları yakacak ve barınak örtüsü olarak, sarı-kırmızı-turuncu renkteki çiçekleri günümüzde pek çok ülkede kuru ve kesme çiçek olarak kullanılmaktadır. Aspir ayrıca, tarımda su ve gübre isteğinin az olması nedeniyle

de girdi masrafları yüksek olmayan bir bitkidir. Bu sebeple buğdaya göre 1.5–2 kat fiyat ve gereken alım desteği verilmesi durumunda üretici açısından karlı olacağı belirtilmektedir.

Ülkemizde biyodizel kaynaklarından yağlı tohum bitkilerinin iklim ve toprak istekleri Çizelge 6.1 'de verilmiştir.

#### **8.2.2.7 Yağ bitkilerinin Diğer Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi**

Yağlı bitkilerin kullanım alanları ile ilgili belirlenen özellikler (Çizelge 8.4) belirlenmiş ve biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin diğer kullanma alanlarının değerlendirildiği modülün proses şeması verilmiştir (Çizelge 8.5).

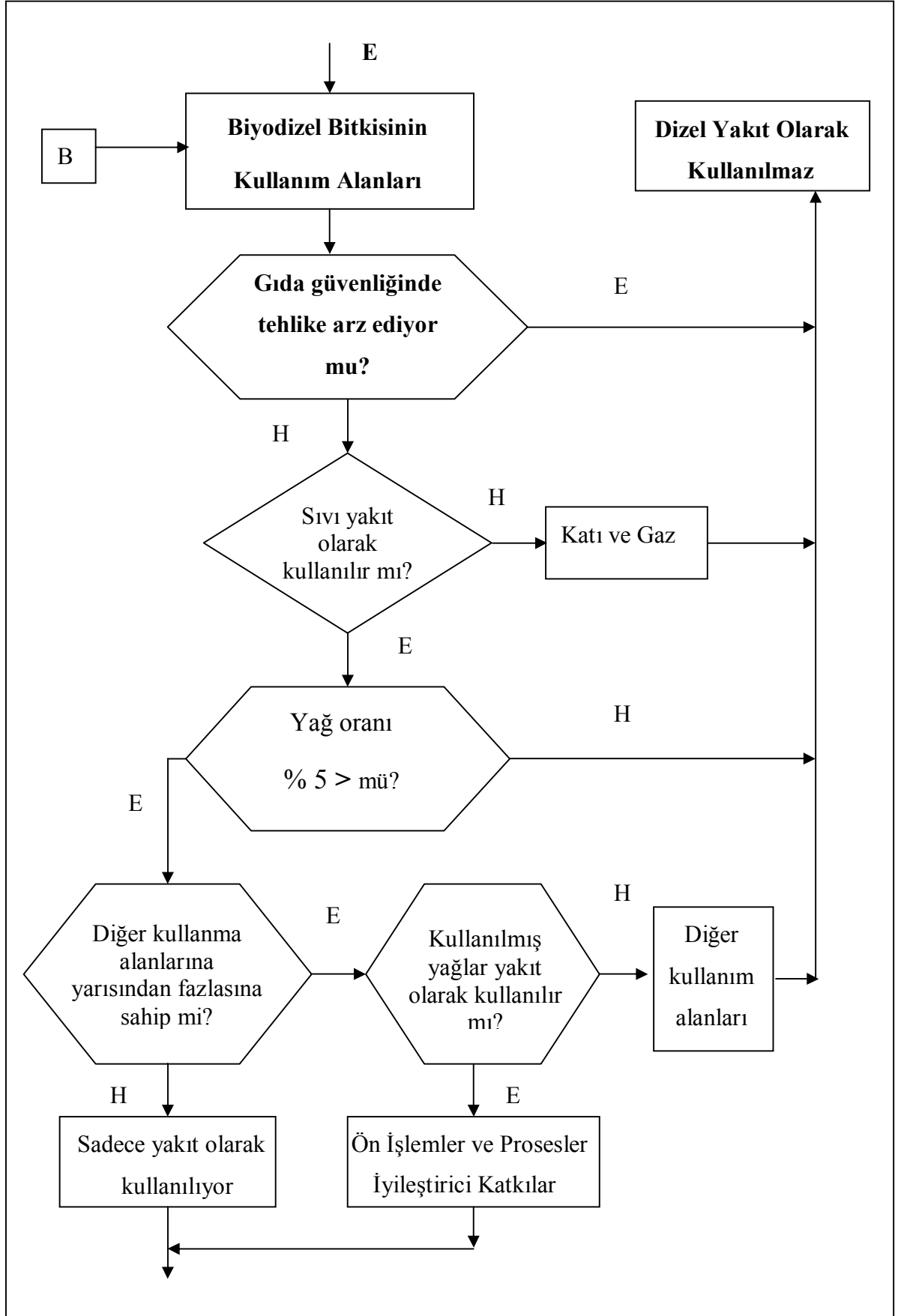
Yağ bitkileri sadece biyodizel üretimi amaçlı değil, gıda, hayvan yemi, gübre, ilaç sanayi, tekstil, temizlik ve inşaat malzemesi, kozmetik ve diğer vb. diğer alanlarda da kullanılabilir. Böylelikle yağ oranının %5'den az olduğu durumlarda diğer kısımlarında yararlanılarak ekonomikliği sağlanabilir.

Üretilen yağlı bitki gıda güvenliğini tehlikeye atacak yapıda olmamalıdır. Öncelikle gıda amaçlı üretim için yağlı tohumların kullanımı hedeflenmekle birlikte, artan yağlı tohumların biyodizel üretimi ve ayrıca hammadde olarak atık yağlardan da ön işlemlerden geçirilerek biyodizel üretimi yapılabilir.

Çizelge 8.4 Biyodizel bitkiler kullanma olanakları yönünden aranacak özellikler

S.No	Özellikler	İdeal Yanıt	Evet	Hayır	Açıklama
<b>a) Zorunlu kullanma ve olması gereken özellikler</b>					
1	Sıvı yakıt olarak kullanılabilir mi?	Evet	.....	.....	.....
2	Yağ oranı minimum % 5'den fazla mıdır?	Evet	.....	.....	.....
<b>b) Kullanma olanakları yönünden ikincil etkisi olan özellikler</b>					
1	Gıda olarak kullanılabilir mi?	-	.....	.....	.....
2	Hayvan yemi olarak kullanılabilir mi?	-	.....	.....	.....
3	Gübre olarak kullanılır mı?	-	.....	.....	.....
4	Tekstil hammaddesi olur mu?	Hayır	.....	.....	.....
5	Temizlik hammaddesi olur mu?	-	.....	.....	.....
6	İlaç sanayinde kullanılır mı?	-	.....	.....	.....
7	Kozmetik sanayinde kullanılabilir mi?	-	.....	.....	.....
8	İnşaat hammaddesi olarak kullanılabilir mi?	-	.....	.....	.....
9	Diğer etkiler (Arı yetiştiriciliği, toprak verimine etkisi vb.) sahip mi?	-	.....	.....	.....

Çizelge 8.5 Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin diğer kullanım alanları proses şeması





### 8.2.3 Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağ bitkilerinin özellikleri; yağ asitleri, sıcaklık, enlem ve boylam lokasyonu, ekim zamanı, kuraklık, toprak yapısı, genetik vb. faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri bölüm 4.4’de açıklanmıştır.

#### 8.2.3.1 Doymuş Doymamış Yağ Oranları ve Hammadde Kalitesi

Biyodizelin bazı özellikleri elde edildiği hammaddeye bağlı olmaktadır. Biyodizel üretiminde kullanılan yağ asitleri doymuş, tekli ve çoklu doymamış olarak gruplandırılır. Ancak ideal bir biyodizel ancak tekli doymamış yağ asitlerinden yapılabilir. Bu nedenle biyodizel üretilen yağın bünyesindeki tekli doymamış yağ oranının yüksek olması arzu edilir.

Kimyasal yapı olarak uzun, dallanmış ve tek çift bağlı yağ asitlerini içeren yağların uygun dizel alternatifi olduğunu ve artan doymamışlık derecesinin setan sayısını olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum, oleik asitçe zengin yağları ön plana çıkarmaktadır.

Yüksek oleik asitli bitkisel yağlarda oksitlenme direnci daha iyidir. Her bir yağda yağ asidi zincirinin farklı tiplerinin oranı olarak yaygın bitkisel yağların kompozisyonu değişir. Bu zincirlerin oranları her bir akışkanın fiziksel özellikleri için anahtardır. Monodoymamış zincirler oksitlenme direnci için iyidir. Polidoymamış zincirler fakir oksitlenme direnci verir, fakat düşük sıcaklıkta davranış özelliğini iyileştirmektedir. Doymuş yağ asidi zincirinin düşük sıcaklık direnci çok azdır. Bu yüzden istenen yağ çoğunlukla monodoymamış ve polidoymamış zincirler ve minimum doymuş zincirlerin karışımına sahip olacaktır.

Kolza % 58 monodoymamış, % 36 polidoymamış ve % 6 doymuş zincire sahip bu tipte bir yağdır. Bunlar yağa, kabul edilebilir oksitlenme direnci ve düşük sıcaklık performansı sağlarlar. Soya yağı aksine diğer mevcut yağlara göre önemli derecede daha az oksitlenme direnci sağlayan % 61’lik polidoymamış zincire sahiptir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Yüksek oleik asitli ayçiçeği yağı gibi bir yağ, oksitlenme direncini artırmak için kullanılabilir. Yüksek oleik asitli ayçiçeği yağı kolza yağından daha çok oksitlenme direncine sahiptir. Yağ hammaddeleri, yağda bozulmayı başlatıcı etkenler yanında bozulma tepkimelerini önleyici veya yavaşlatıcı bileşenleri de içerirler. Hava oksijeni gibi dış etkenler nedeni ile yağda oksidasyon oluşumunu engelleyen bu maddeler doğal antioksidanlar olarak bilinirler. Oksidatif reaksiyonlarda bünyeye giren oksijen ana unsurlarla reaksiyona girmeden antioksidanlara bağlanarak bozulma engellenmiş olur.

Bitkisel yağlarda en yaygın olarak bulunan antioksidan tokoferollerdir. Fındık yağında da oleik yağ asidi miktarı yüksektir. Ayrıca içerisinde bulunan yüksek miktardaki tokoferol

maddesi uzun süre depolanabilmesine imkân sağlamaktadır (Gümüskesen, 1999).

Kaliteli hammadde ye gelince sürekli değişkenlik arz eder. Çünkü hammadde olarak yağ üretildiği yerin;

- Coğrafyasına, menşesine,
- Ekolojisine,
- Toprak yapısına, arazinin yönüne, eğimine ve hâkim rüzgâr yönüne,
- Rakımına,
- Kullanılan tohumun çeşidine,
- Gübreleme yöntemine,
- Ekim zamanına,
- Yağış rejimine,
- Sulama zamanı ve şekline,
- Uygulanan tarım teknolojisine,
- Hasat zamanı ve saklanma şekli ve süresine,
- Yağın sıkım şeklinin teknolojisine bağlıdır.
- Yukarıdaki kriterlere göre değişiklik arz etmektedir. Bu kriterlerin hepsi dikkatle incelenmeli ve en uygun nitelikte ekim yapılmalıdır.

Yağ oranı yüksek olmayıp da içinde % 5 oranında yağ içeren ve yağ bulunduran bitkiler de vardır. Mısır özü yağı bunlardan birisidir. Mısır bitkisinden nişasta ve şeker elde edilirken özü (endospermi) ayrılır ve bu öz kendi bünyesinde yüksek yağ ihtiva eder.

Çizelge 8.6'de Mısırın doymamış yağ oranı % 4.5 iken, doymuş yağ oranı % 0.6'dır. Burada doymuş ve doymamış yağ oranlarında belirli bir oran mevcut ve bunlar değerlendirilerek biyodizel bitkisi olup olmayacağına karar verilir.

### **8.2.3.2 Atık Yağların Kullanımı**

Biyodizelin fiyatını belirleyen en önemli parametre hammadde olduğuna göre, daha ucuz hammadde biyodizelin maliyetini de düşürecektir. Bu nedenle de atık yağlar en önemli kaynak olarak ortaya çıkmaktadır. Atık yağlar, bedava veya düşük fiyatlarla elde edilebilir.

Bu yağlar yüksek oranda katı maddeler, halojenler, vb. maddeler içerir. Ayrıca su miktarı da oldukça yüksek olup düşük oksidasyon stabilitesi (kısmi bozulma) gözlemlenir. Bu tür yağlar doymuş yağ asidi profiline eğilimli olup yüksek oranda serbest yağ asidi içerirler. Bu nedenlerle, atık yağlardan üretilen biyodizelin viskozitesi ve karbon kalıntı miktarı yüksektir ve soğuk akış özellikleri iyi değildir.

Çizelge 8.6 Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin doymuş ve doymamış yağ oranı yüzdeleri

	Soya Yağı	Aspir	Kanola (Düşük Linolenik/ Yüksek Oleik)	Mısır	Ayçiçeği	Susam	Kenevir	Yer fıstığı	Keten	Pamuk Tohumu (Çiğit) Yağı	Haşhaş Tohumu
Maksimum Doymuş Yağ Oranı %	20	10	9.5	10	14.2	14	10	16	17	35	35
Maksimum Yağ İçeriği %	26	37	40	6	40	50	35	50	38	20	50
<b>Doymuş Yağ Oranı</b>	<b>5.2</b>	<b>3.7</b>	<b>3.8</b>	<b>0.6</b>	<b>5.68</b>	<b>7</b>	<b>3.5</b>	<b>8</b>	<b>6.46</b>	<b>7</b>	<b>17.5</b>
Minimum Doymamış Yağ Oranı %	83	90	90.5	90	85	86	90	86	83	65	65
Minimum Yağ İçeriği %	17	25	33	5	35	50	30	36	38	20	40
<b>Doymamış Yağ Oranı</b>	<b>14.11</b>	<b>22.5</b>	<b>29.865</b>	<b>4.5</b>	<b>29.75</b>	<b>43</b>	<b>27</b>	<b>30.96</b>	<b>31.54</b>	<b>13</b>	<b>26</b>
<b>Toplam Doymuş ve Doymamış Yağ Oranları</b>	<b>19.31</b>	<b>26.2</b>	<b>33.665</b>	<b>5.1</b>	<b>35.43</b>	<b>50</b>	<b>30.5</b>	<b>38.96</b>	<b>38</b>	<b>20</b>	<b>43.5</b>

Eğer atık yağlar biyodizel yakıt olarak kullanılacaksa biyodizele dönüştürülmeden önce filtre edilmesi, suyun ayrılması, titrasyon ve ön işlemlere tabi tutularak atıkların temizlenmesi gerekecektir. Atık yağların kullanımındaki zorluk ise, atık yağların toplanması ve farklı kaynaklardan gelen yağların ayrılarak işlem görmesidir. Sonuç olarak, atık yağlardan elde edilecek olan biyodizel, petrol kökenli dizel (fosil dizel) ile rekabet edebilir.

### **8.2.3.3 Bitkisel Yağların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerin Değerlendirilmesi**

Biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağlı bitkilerden elde edilen yağların fiziksel ve kimyasal olarak belirli özelliklere sahip olması gerekir (Çizelge 8.7). Çizelge 8.6'de biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin doymuş ve doymamış yağ oranı yüzdeleri dikkate alınarak biyodizel bitkisi belirlenmelidir. Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikler proses şeması verilmiştir (Çizelge 8.8).

Biyodizel yağ bitkisi olması için, zorunlu fiziksel özelliklerinden, alevlenme noktası, kinematik viskozite, setan sayısı, bulutlanma sayısı, akma noktası gibi zorunlu değerlere sahip olmalıdır. Aynı zamanda kimyasal olarak, doymuş yağ asitleri, tekli doymuş yağ asitleri, çoklu doymuş yağ asitleri ve sabunlaşma sayısı belirli değerlerde olmalıdır.

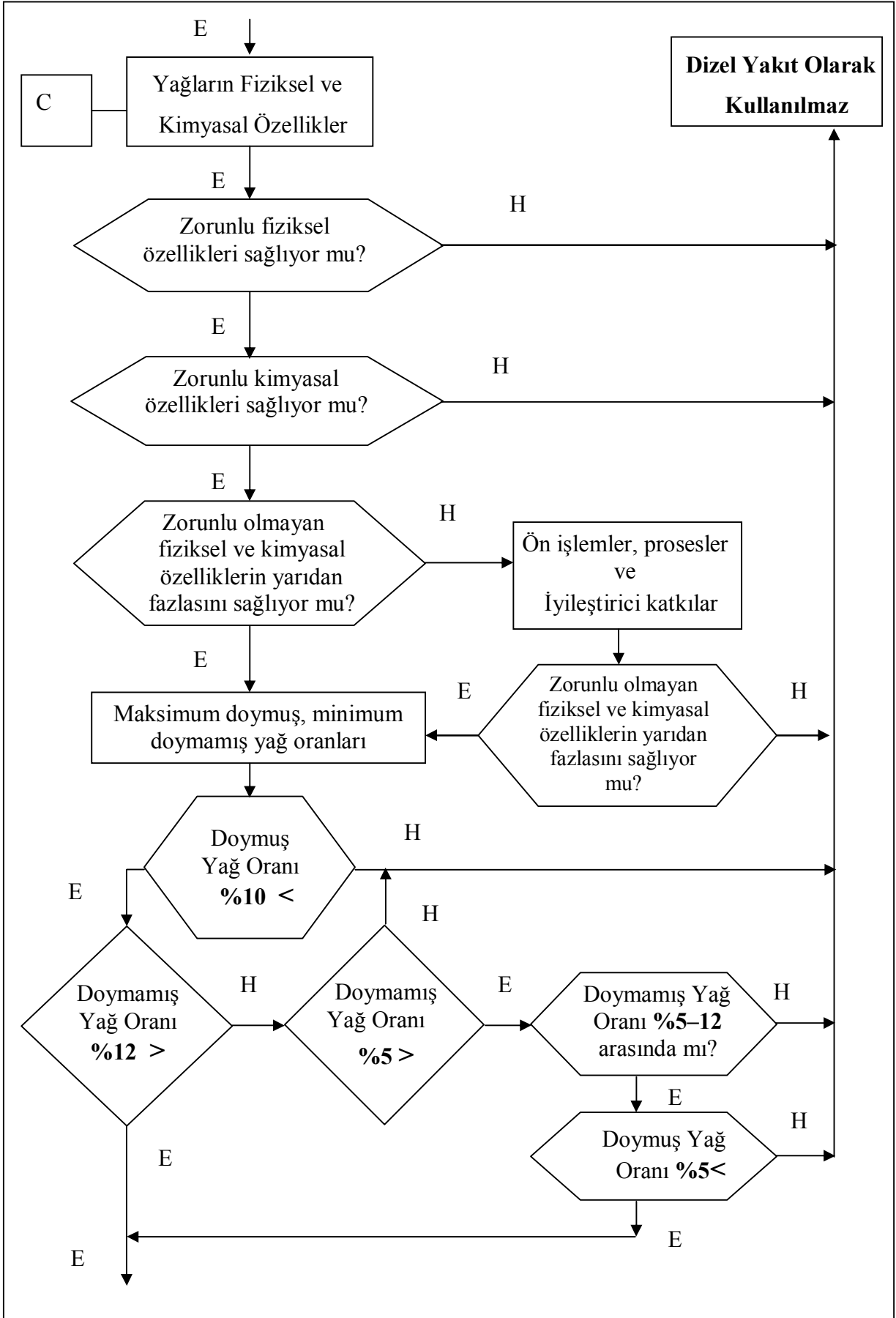
Diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerden yoğunluk, oksidasyon karalılığı, titer, iyot sayısı, kalorifik değer, sabunlaşmayan madde, serbest yağ asidi, kükürt içeriği, asit oranı ve fosfor içeriği belirli değerler arasında hammadde kalitesi yönünden önem taşır. Bunlarda çeşitli katkı maddeleri ve ön işlemlere tabi tutularak iyileştirmeye gidilir.

Yağların doymuş ve doymamışlıklarına göre değerlendirme yapılır. Yağ oranı %5'den büyük olmalıdır. Doymamış yağ oranı %12'den büyük, doymuş yağ oranı %10 küçük olmalıdır. Eğer doymamış yağ oranı % 5 ile 12 arasında ise, doymuş yağ oranı %5'den küçük olmalıdır. Doymamış yağ oranı % 5'den küçük ise SYA oranı fazla olması nedeniyle biyodizel üretimi ekonomik değildir.

Çizelge 8.7 Bitkisel yağın fiziksel ve kimyasal özellikler

S. No	Özellikler	Birim	Sınırlar		Açıklama
			En az	En çok	
<b>a) Zorunlu Fiziksel Özellikler</b>					
1	Alevlenme Noktası	° C	100	-	.....
2	Kinematik Viskozite	mm <sup>2</sup> /s	-	80	.....
3	Setan sayısı	-	40	-	.....
4	Bulutlanma Noktası	°C	-	12	.....
5	Akma Noktası	°C	-	10	.....
<b>b) Zorunlu Kimyasal Özellikler</b>					
1	Doymuş Yağ Asitleri	% Kütle	-	25	.....
2	Tekli Doymamış Yağ Asidi	% Kütle	20	80	.....
3	Çoklu Doymamış Yağ Asidi	% Kütle	15	75	.....
4	Sabunlaşma Sayısı	mg KOH/ g yağ	170	210	.....
<b>c) İkincil Fiziksel ve Kimyasal Özellikler</b>					
1	Yoğunluk (15 °C)	kg/m <sup>3</sup>	830	940	.....
2	Su İçeriği	% Kütle	-	0.75	.....
3	Oksidasyon Kararlılığı (110 ° C)	h	5	-	.....
4	Titer	°C	10	50	.....
5	İyot Sayısı	100 g/ g	40	180	.....
6	Kalorifik Değeri	kJ/kg	34 000	-	.....
7	Sabunlaşmayan Madde	% g/kg	0.5	3	.....
8	Serbest Yağ Asidi	% Kütle	0.05	4	.....
9	Kükürt İçeriği (%)	mg/kg	0.01	0.05	.....
10	Asit oranı	mg KOH/g	-	2	.....
11	Fosfor İçeriği	mg/kg	-	15	.....

Çizelge 8.8 Yağlı bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri proses şeması



### 8.2.4 Uygun ve Optimum Üretim Teknoloji Seçimi

Bitkisel yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu (alkoliz) ile biyodizel elde edilmektedir. Bitkisel yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu (alkoliz) ile biyodizel elde edilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak di- ve monogliseridler, reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur.

Biyodizel üretiminde yağ kalitesi reaksiyonun temelini oluşturan transesterifikasyon teknolojisi ile direkt ilişkilidir. Yağların sahip oldukları serbest yağ asitlerine (SYA) göre yapılacak muamele farklıdır. Bu yüzden yağların kimyasal analizleriyle yağ asitlerinin kompozisyonu ve serbest yağ asitleri sabunlaşmayan madde miktarını yansıttığı için oldukça önemlidir. Yağlar uzun zaman periyodunda depolanması durumunda SYA ve sediment içeriği artmakta yağ bozulabilmektedir.

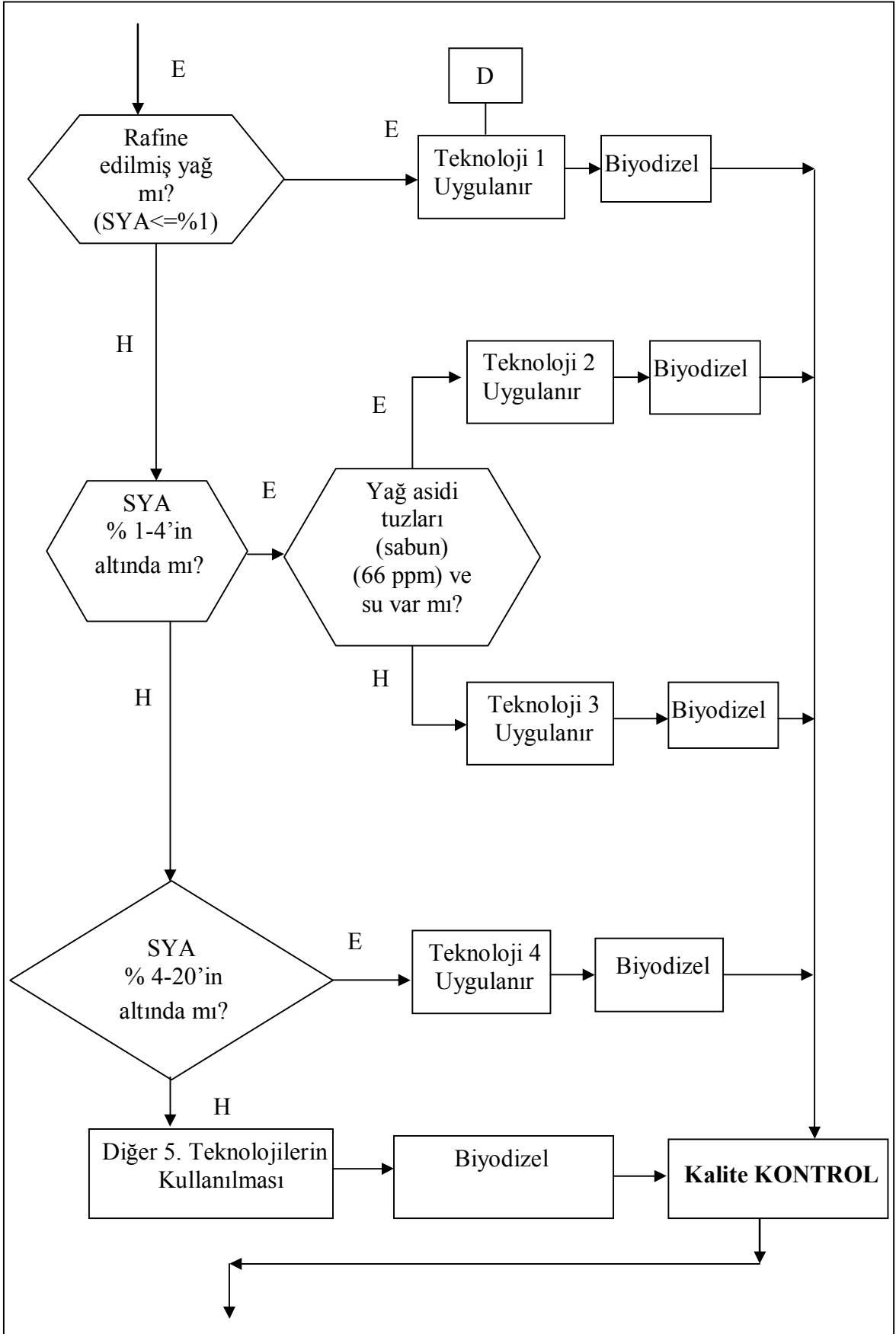
Yağlardan biyodizel elde etmek için uygulana ön işlemler bölüm 7.2 ve ticari teknolojiler ve diğer teknolojiler bölüm 7.3'de açıklanmıştır.

#### 8.2.4.1 Değerlendirme

Ticari uygulamalarda en çok transesterifikasyon teknolojisi kullanılmaktadır. Tüm yağlardan bir ester yapılabilir, ancak her ester biyodizel değildir. Bu nedenle biyodizel seçiminde ön işlemler ve teknoloji seçimine dikkat edilmeli SYA'ne (Serbest Yağ Asidi) göre teknoloji uygulanmalıdır.

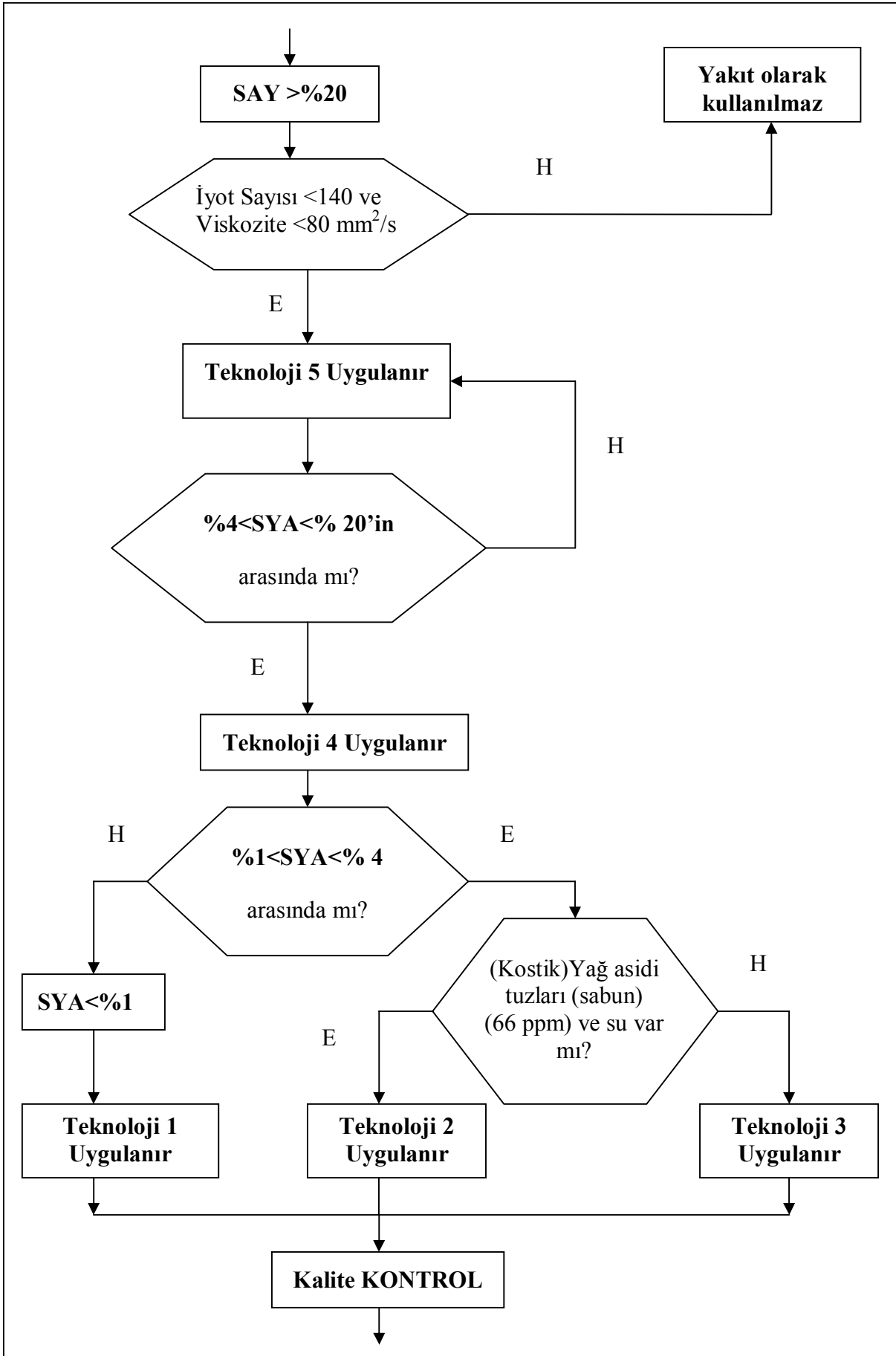
Bölüm 7'de belirtilen teknolojilerden SYA oranı %1'in altında (rafine yağ) ise 1. Ticari Teknoloji uygulanır. SYA oranı %1-4'in arasında ise ve yağ asidi tuzları (sabun) (66 ppm) ve su varsa 2. Ticari teknoloji, yoksa 3. Ticari Teknoloji uygulanır. SYA oranı %4–20 arasında ise 4. Ticari Teknoloji uygulanır. SYA oranı %20'den büyükse Diğer 5. Ticari Teknolojiler kullanılır. Biyodizel üretiminde bitkisel yağlara uygulana ticari teknoloji prosesleri akım şeması verilmiştir (Çizelge 8.9). Seçilmiş bir bitki için teknoloji akış diyagramı verilmiştir. (Çizelge 8.10).

Çizelge 8.9 Biyodizel üretiminde ticari teknoloji akım şeması





Çizelge 8.10 Seçilmiş bir bitki için teknoloji akış diyagramı



## 8.2.5 Diğer Hususlar

### 8.2.5.1 Biyodizel Kalitesi

Ülkemizde biyodizel üretimi için TSE tarafından belirlenen TS EN 14214 oto biyodizel ve TS EN 14213 yakıt biyodizel standartları kullanılmaktadır. Belirlenen bu standartlar AB tarafından kullanılan üretim standartlarıyla aynı olup, AB'nden aynen alınmıştır. AB tarafından kanolanın hammadde olarak kullanılmasıyla üretilen biyodizelde, iyot indisi değerinin optimum olduğu belirlenmiş ve kanolanın hammadde olarak kullanımı AB içerisinde kabul edilmiştir.

Biyodizel üretiminde AB'nin kullandığı biyodizel standardının kullanılması ve bu standardın kanolayı hammadde olarak kabul etme zorunluluğuna da alternatifler aranmalıdır. ABD'de biyodizel üretiminde soyaya dayalı, ASTM (American Society for Testing and Materials) D6751 Amerikan D Standardını kullanması, Yunanistan'da pamuk yağının, Almanya ve Avusturya kanola kökenli biyodizel üretiminde lider ülkelerdir. Ayçiçek yağı Güney Fransa ve İtalya'da, palm yağı Malezya'da biyodizel üretiminde yaygın kullanılmaktadır. ABD, Avusturya ve İngiltere kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyodizel üretimini gerçekleştiren lider ülkelerdir. Biyodizel üretimindeki en önemli sorun hammaddenin düzenli ve sürekli sağlanmasıdır.

Ülkemizde de biyodizel üretimde paçal olarak kullanılması gibi örnekler incelenerek, uygun hammadde olanakları oluşturulmamasıdır. Biyodizel üretime ve ülkemiz koşullarına uygun biyodizel bitkisinin de oluşturulmasına yönelik çalışmalar hızla yapılmalı ve biyodizel üretiminde tüm yağların kullanımına imkân sağlayacak yasal ortam hazırlanmalıdır.

Ülkemizde de kanolayı hammadde olarak kabul eden bu standardın, bölgesel ve ülkesel kaynaklar incelenmeden doğrudan kullanımı, beraberinde önemli sorunların yaşanmasına neden olmuştur. Dizel ve Biyodizel Standartları bölüm 4.4'de ilgili ayrıntılı olarak incelenmiştir.

### 8.2.5.2 Ülkemizde 'de Biyodizel Üretim Maliyeti

Türkiye biyodizel üretim potansiyeli açısından Almanya'dan sonra önemli üretici ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkemizde modern biyodizel tesisleri olduğu gibi, yağ fabrikalarına eklemeler yapılarak biyodizel üretim tesislerine dönüştürülen üretim tesisleriyle de karşılaşılmaktadır. Bununla birlikte, özellikle küçük ölçekli işletmelerin kullanımı için dizayn edilen esterleşme makinelerinin de piyasadan temin edilip, biyodizel üretiminde kullanıldığı görülmektedir.

Biyodizel üretiminde ham yağ kullanılarak üretimin gerçekleştirilmesi durumunda; litre fiyat 1.89 TL/l olarak hesaplanmıştır. Bu maliyetin üzerine ÖTV eklendiğinde 2.61 TL/l olan maliyet, KDV ile birlikte de 3.08 TL/l değerine ulaşmaktadır. Firmanın kar payını eklemesiyle birlikte, ham yağdan üretilen biyodizelin litre fiyatı 3.39 TL/l olarak hesaplanmıştır. Biyodizel üretiminde kolza yağının alınıp kullanılmasıyla üretilen biyodizel maliyetinin, üretim tesislerinde kolza islenmesiyle elde edilen yağdan üretimle kıyaslandığında, daha düşük maliyetli olduğu yapılan önemli tespitler arasındadır.

Atık yağdan üretilen biyodizelin litre fiyatı 0.82 TL/l olarak hesaplanmış ve üretim maliyetinin üzerine ÖTV'nin eklenmesiyle 1.54 TL/l olan maliyet, KDV ile birlikte 1.82 TL/l değerine ulaşmıştır. Üretici firmanın kar oranıyla birlikte, atık yağdan biyodizel üretim maliyeti 2.0 TL/l olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde üretilen biyodizelin maliyeti ÖTV ve KDV hariç 2 TL/l civarında olup, AB ortalamasının altındadır. AB üyeleri içerisinde biyodizel fiyatı farklılıklar göstermekle birlikte, ortalama olarak 0.95–1–1.5 Euro/l dolaylarındadır [1]. Ülkemizde sektöre yönelik özel düzenlemeler ve biyodizel konusunda sürdürülebilir üretimin sağlanmasıyla, AB'nin iyi bir pazar olacağı söylenebilir. Biyodizel üretim maliyeti yüksek olan bir yakıttır. Yağlı bitki tohumundan üretim yapan tesislerde biyodizel maliyetindeki en büyük pay tohumuna aittir. Atık yağı hammadde olarak kullanan işletmelerde üretim maliyeti göreceli olarak daha azdır. Üretim maliyetini düşüren unsurlar, üretim sırasında elde edilen yan ürünlerin (küspe ve gliserin) değerlendirilmesidir. Özellikle gliserin biyodizel üretim maliyetini belirleyen ve tesisin mali faydasını direkt etkileyen bir yan üründür. Gliserinin saflaştırılarak pazarlanması işletmenin kar payını artırır. Ayrıca saflaştırma sırasında elde edilen gübrenin de ekonomik değeri vardır.

Ülkemizde 2.01 TL/l olarak hesaplanan üretim maliyetinin üzerine, 0.72 TL/l ÖTV eklendiğinde biyodizel fiyatı 2.73 TL/l'te ulaşmaktadır. ÖTV'li biyodizel fiyatına % 18 KDV'nin eklenmesiyle birlikte biyodizel fiyatı litrede 3.22 TL'yi bulmaktadır. Akaryakıt dağıtım istasyonları ve biyodizel üretim tesisleriyle yapılan görüşmeler sonrasında sektördeki kar payı oranları incelenerek, bulunan bu değere firma kar payı da eklenmiş (% 10) ve biyodizel satış fiyatı 3.54 TL/l'ye ulaşmıştır (Yaşar, 2009).

### **8.2.5.3 Diğer Hususları Değerlendirme**

Biyodizelin yasalarda belirtilen standartlara uygun olup olmadıkları tespit edilmelidir. Biyodizelde ABD Standardı ASTM 6571 ve Avrupa Standardı EN 14214 standartları uygulanmaktadır. Isıtma amaçlı olarak biyodizelde Avrupa Standardı En 14213 standardına uygun olmalıdır.

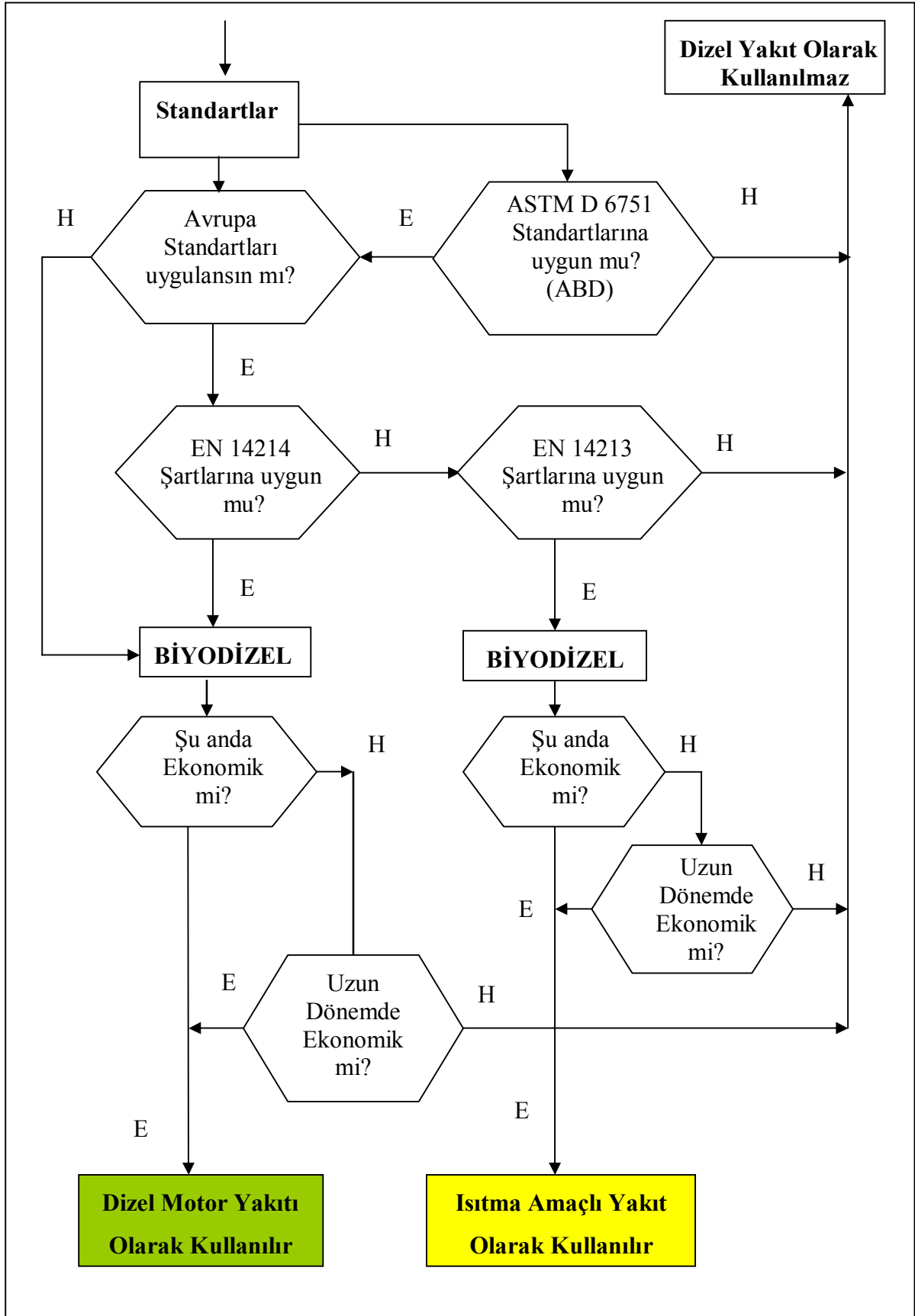
Yağ ve enerji bitkileri potansiyeli dikkate alınmadan ve özellikle kanolanın hammadde olarak kullanımını öngören biyodizel standardının kabul edilmesinin sonuçlarının önceden düşünülmemesi, biyodizel üretiminde hammadde üretiminde sıkıntılar yaşamamıza neden olmuştur.

Ülkemizde biyodizel üretiminde standart hammadde olarak kanolanın kullanımında ısrarcı olunması ve diğer hammaddelerin kullanımıyla yapılan üretimlerin yasaklanması anlaşılammaktadır. Standart üretilen biyodizel içerisinde, diğer hammaddelerden üretilen biyodizelin paçal olarak katıldığı ülke örneklerinin olduğu bilinmekle birlikte, ülkemizde sadece kanolaya bağlı olarak üretime yönelik yasal yaptırımların düzenlenmesi sektörü sıkıntıya sokmaktadır.

Yağ bitkisinden üretilen biyodizelin, Petrodizeline göre enerji dengesi çıkartılarak, ekonomikliğine bakılmalı ona göre üretime geçilmelidir. Biyodizel; üretimin tamamen yerli olması sebebiyle ithal bağımlılığı ortadan kalkacaktır. Uzun dönemde ekonomikliği sağlayacak, aynı zamanda yenilenebilir ve stratejik bir enerji kaynağıdır.

Biyodizel üretiminde standartlar ve ekonomikliği ile ilgili prosesi akım şeması verilmiştir (Çizelge 8.11).

Çizelge 8.11 Biyodizel üretiminde standartlar ve ekonomikliği prosesi akım şeması



## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizdeki üretim potansiyelinin büyüklüğü, tarımsal potansiyelimizin varlığı, biyodizel üretiminde kullanılan bitkilerin yetiştirilmesi büyük avantaj sağlayabilir. Biyodizelde kullanılan bitkilerin üretimi; enerji arzına katkı, tarımsal potansiyelimiz, teknolojik gelişmelerin ülkemize sağlayacağı katkılar, yağ ve sözleşmeli üretimin sağlayacağı avantajlar, atık yağın değerlendirilmesi, biyodizel üretimi sonrasında elde edilen yan ürünler şeklinde özetlenebilir.

Ülkemizde yağlı tohumlara yönelik olarak yapılan desteklemeler ve yayım çalışmalarına rağmen ekiliş alanları ve üretim miktarı istenilen düzeyin altında kalmaktadır. Yağlı tohumlarla ilgili tartışmalar devam etmekle birlikte, bu noktada özellikle vurgulanması gereken konu, yağlı tohum üretiminin arttıramama nedeninin arazi miktarı kısıtından kaynaklanmamasıdır.

Sekizinci bölüm tezin en önemli bölümünü oluşturmakta olup geliştirilen model ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Enerji konusunda sıkıntılar yaşayan ve dışarı bağımlı bir yapı gösteren ülkemizde, dünyadaki gelişmelere paralel olarak alternatif enerji kaynaklarına yönelmelerin gerekliliği ve özellikle ülkemizde yetişmekte olan veya yetiştirebilecek bitkilerden yararlanılarak biyodizel üretiminin Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir seçenek oluşturduğu vurgulanmaktadır. Bu bağlamda modele esas teşkil edecek bir Swot (Kuvvet) analizi yapılmıştır.

Tüm yenilenebilir kaynaklarında olduğu gibi, biyodizel içinde geliştirilmiş bir ulusal plan veya model bulunmamaktadır. Genellikle konuyla ilgili uzmanlar, Türkiye'nin biyodizel potansiyeli olduğunda hem fikir olmakla birlikte bununla ilgili hiçbir düzenleme bulunmamaktadır. Bu husus Swot (Kuvvet) analizindeki en zayıf nokta olarak kabul edilmiştir. Swot analizinde ülkemizle ilgili olarak güçlü yönler; üretim potansiyeli, tarımsal potansiyel ekonomik üretim olasılığının yüksekliğidir. En zayıf yönler ise daha öncede vurgulandığı gibi biyodizelle ilgili entegre bir plan ve model olmaması, yağlı bitkiler envanterinin istenilenden zayıf olması ve yüksek ÖTV ve KDV olarak sıralanabilir.

SWOT (Kuvvet) analizi sonuçlarından hareketle Türkiye'deki biyodizel potansiyelinin saptanması ve bu değerlendirmede biyodizel üretiminde önemli rol oynayacak bitkilerin belirlenmesi için bir model geliştirilmiştir. Teknoekonomik yaklaşımla elde edilen modelde 5 modül bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla;

1. Bitkinin yetiştirilmesi için gerekli olan zirai koşul parametreleri,
2. Bitkinin biyodizel dışındaki kullanım alanları,
3. Bitkinin biyodizele uygunluğunun belirlenmesi için aranılacak fiziksel ve kimyasal özellikler,
4. Uygun ve optimum üretim teknolojileri,
5. Diğer hususlardır.

Ülkemizin biyodizel hammaddesini karşılamak üzere, üretilecek yağlı bitkiler için gerekli tarımsal potansiyele sahip olduğu, ekim alanlarını bitki üretimine göre ayarlayabilecek ve biyodizel üretimin alanında yoğunlaştırabileceği bir yapıya sahip olduğu zaten bilinmektedir. Ancak, öncelikler konusu çok belirgin değildir.

Bu amaçla biyodizel elde etmede belirlenen öncelikli koşullar ve model detaylandırıldı. Örnek olarak yağlı tohumlu bitkilerden kanola ve mısır modelde karşılaştırıldı.

#### 1) Zirai koşullar;

Türkiye'deki ve ekim alanları kıyaslandıktan sonra, biyodizel üretiminde kullanılacak yağlı bitkinin yetiştirilmesi için gerekli olan zirai koşul parametrelerini sağlaması (Çizelge 9.1), gıda güvenliği ve ekonomiklik açısından büyük önem taşımaktadır. Zorunlu zirai özelliklerin sağlanabiliyor olması biyodizel yatırımlarının planlanmasında ilk adımı oluşturur.

Yağ bitkilerinin Çizelge 9.1'de belirtilen zorunlu zirai özellik; 3. ve 4. sınıf topraklarda yetişmesi, depolanma (oksidasyona uğramadan) ve taşınabilmesi, saklama süresi, her yıl ürün veriyor olması ve tarımsal mekanizasyona uygunluğu gibi özellikler belirlendi. Bu özellikler yağlı bitkilerin yetiştirilmesinde ve teşvikinde önemli rol oynamaktadır.

İkincil zirai istekler; yağın tohumlarından elde edilmesi, verimleri, bakım (çapalama, gübreleme vb.) işleri, hasat zamanı, ekim nöbetine uygunluğu, yazlık, kışlık ve 2. ürün olarak ekilmesi, sulama, sürdürülebilir tarıma uygunluğu, ürünün işleme ve yağ çıkarmaya yatkınlığı, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığı, kendi tohumundan çoğaltılması vb. yağ bitkisinden beklenen özelliklerdir. İkincil zirai özelliklerin yarıdan fazlasını yağlı bitkinin taşıması gerekir.

Çizelge 6.1'de Ülkemizde yetişen çeşitli yağlı tohumlu bitkilerin toprak ve iklim özellikleri ve Çizelge 6.2 Bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri gözüne alınarak; kanola ve mısır yağlı bitkilerinin zirai koşullar karşılaştırılmıştır (Çizelge 9.1). Modelin zirai koşullar yönünden her aşamasında karşılaştırarak modelin uygulanabilirliği ortaya konulmuştur

(Çizelge 9.5). Kanolanın tüm zirai özellikleri taşımaktadır. Ancak mısırı; zorunlu zirai koşullarda, karasal iklimlerde ve 3. ve 4. sınıf topraklarda yetişmemesi, ikincil zirai özelliklerden çapalama, yazlık ekim ve sulama gerekliliği oluşturulan modelin zirai özelliklerine uymamaktadır. Modelde diğer aşamalarda göz önünde bulundurularak, 8. bölümde anlatılan ülkemizde karasal iklim dahi olsa bölgeye has mikro klima gibi spesifik zirai koşullarda yazlık ve 2. ürün olarak yetiştirilmesine karar verilebilir.

Çizelge 9.1 Biyodizel bitkilerinden kanola ve mısırın zirai yönden aranacak özelliklerin karşılaştırılması

S.No	Özellikler	İdeal Yanıtlar	Kanola	Mısır	Açıklama
<b>a) Zirai yönden zorunlu özellikler</b>					
1	Bitki karasal iklimlerde yetişir mi?	Evet	Evet	Hayır	2. Ürün, Yaz
2	3. ve 4. sınıf topraklarda yetişir?	Evet	Evet	Hayır	1. ve 2.
3	Depolanabilir, taşınabilir mi?	Evet	Evet	Evet	
4	Minimum saklanma süresi 3 aydan fazla mı?	Evet	Evet	Evet	
5	Her yıl ürün veriyor mu?	Evet	Evet	Evet	
6	Tarımsal mekanizasyona uygun mu?	Evet	Evet	Evet	
<b>b) Zirai yönden ikincil etkisi olan özellikler</b>					
1	Bitkinin tohumundan mı yağ elde ediliyor?	Evet	Evet	Evet	
2	Dekara verim minimum 200 kg mıdır?	Evet	Evet	Evet	
3	Bakım (Çapalama/Gübreleme) gerekir mi?	Hayır	Hayır	Evet	Çapalama
4	Ekim ve hasat zamanı?	Yaz	Evet	Evet	
5	Ekim nöbetine uygun mu?	Evet	Evet	Evet	
6	Yazlık, kışlık ve 2. ürün türleri var mı?	Evet	Evet	Hayır	Yazlık
7	Sulamak gerekir mi?	Hayır	Hayır	Evet	3–4 Kez
8	Sürdürülebilir (Ekonomik, çevresel, sosyal) tarıma uygun mu?	Evet	Evet	Evet	
9	Ürün işleme teknolojisi ve yağ çıkarmaya yatkın mı?	Evet	Evet	Evet	
10	Hastalık ve zararlılara karşı dayanıklı mı?	Evet	Evet	Evet	
11	Kendi tohumundan yetişiyor mu?	Evet	Evet	Evet	Tercih edilir



## 2) Kullanım Alanları;

Yağlı bitkiler gıda ve hayvan beslenmesinin sanayide çok farklı amaçlarda kullanılmaktadır. Bitkisel yağların en yaygın olarak kullanıldığı sanayi kollarının başında; sabun, şampuan, deterjan, kumaş boyaları, kozmetik ürünleri, ilaç, inşaat malzemeleri, zirai ilaç, dezenfektan, plastik, kâğıt, tutkal, matbaa mürekkebi ve cam macunu üretimi gibi sanayiler gelmektedir.

Çizelge 9.2’de yağlı tohum bitkilerinden kanola ve mısır ele alınmış, veriler doğrultusunda modelin yağlı bitkilerin kullanım alanları ile ilgili belirlenen özellikleri (Çizelge 9.6) incelenmiştir.

Çizelge 9.2 Biyodizel bitkiler kullanma olanakları yönünden aranacak özellikler

S.No	Özellikler	İdeal Yanıt	Kanola	Mısır	Açıklama
<b>a) Zorunlu kullanma ve olması gereken özellikler</b>					
1	Sıvı yakıt olarak kullanılabilir mi?	Evet	Evet	Evet	
2	Yağ oranı minimum % 5’den fazla mıdır?	Evet	Evet	Evet	
<b>b) Kullanma olanakları yönünden ikincil etkisi olan özellikler</b>					
1	Gıda olarak kullanılabilir mi?	-	Evet	Evet	
2	Hayvan yemi olarak kullanılabilir mi?	-	Evet	Evet	
3	Gübre olarak kullanılır mı?	-	Evet	Evet	Atıklardan
4	Tekstil hammaddesi olur mu?	Hayır	Hayır	Hayır	
5	Temizlik hammaddesi olur mu?	-	Evet	Evet	Sabun vb.
6	İlaç sanayinde kullanılır mı?	-	Evet	Evet	
7	Kozmetik sanayinde kullanılabilir mi?	-	Evet	Evet	
8	İnşaat hammaddesi olarak kullanılabilir mi?	-	Evet	Evet	
9	Diğer etkiler (Arı yetiştiriciliği, toprak verimine etkisi vb.) sahip mi?	Evet	Evet	Evet	

Yukarıdaki örnekte verilen kanola ve mısırın kullanım alanları bakımından; zorunlu kullanma

alanlarına sahip oldukları, kullanma olanakları yönünden ikincil etkisi olan özelliklerin yarından fazla özellikleri taşıdıkları ve modele uygunluğu tespit edilmiştir (Çizelge 9.6).

Örneğin kanola yağı; yemeklik, sabun, boya, aydınlatma ve diğer endüstri dallarında kullanılmaktadır. Kanola küspesi de değerli bir hayvan yemidir. Kanola bünyesinde bulundurduğu yağ miktarının yanı sıra; %25 protein ve %20 oranında da karbonhidrat içeren ve çevre koşullarına göre yağ oranı değişiklik gösteren önemli bir yağ bitkisidir.

Mısır, insan gıdası, hayvan yemi ve endüstride çok sayıda üretimin hammaddesidir. Bir mısır tanesinin yaklaşık %70'i nişasta, %10'u protein, %5-6'i yağ ve %2'si şeker ve minerallerdir. Mısırın %5'lik yağ oranına rağmen, yağının kaliteli özellikleri dolayısıyla yemeklik yağlar içinde önemli bir yer tutar. Mısırın yağının dışındaki kısımlarından da yararlanılarak ekonomikliği sağlamaktadır.

### 3) Yağ bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri;

Biyodizel üretiminde kullanılacak olan bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri; yağ asitleri, sıcaklık, enlem ve boylam lokasyonu, ekim zamanı, kuraklık, toprak yapısı, genetik vb. faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Yağ bitkisinin biyodizel üretiminde kullanılması için, zorunlu fiziksel özelliklerinden; alevlenme noktası, kinematik viskozite, setan sayısı, bulutlanma sayısı, akma noktası ve zorunlu kimyasal özelliklerden; doymuş yağ asitleri, tekli doymuş yağ asitleri, çoklu doymuş yağ asitleri ve sabunlaşma sayısı belirli değerlerde olmalıdır.

Diğer fiziksel ve kimyasal özellikler; yoğunluk, oksidasyon karalılığı, titer, iyot sayısı, kalorifik değer, sabunlaşmayan madde, serbest yağ asidi, kükürt içeriği, asit oranı ve fosfor içeriğinin belirli değerler arasında olması, hammadde kalitesi yönünden önem taşır. Biyodizel bitkisinin diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerin yarından fazlasını taşıması gerekir. Diğer özellikler çeşitli katkı maddeleri ve ön işlemlere tabi tutularak iyileştirmeye gidilebilir.

Biyodizel üretiminde kullanılacak olan kanola ve mısırdan elde edilen yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 9.3). Çizelge 9.4'de de doymuş ve doymamış yağ oranı yüzdeleri dikkate alınarak özellikleri belirlenmiştir.

Yağların doymuş ve doymamışlıklarına göre değerlendirme yapılır. Yağ oranı %5'den büyük olmalıdır. Doymuş yağ oranı %10 küçük ise, doymamış yağ oranı %12'den büyük olmalıdır. Eğer doymamış yağ oranı % 5 ile 12 arasında ise, doymuş yağ oranı %5'den küçük olmalıdır. Doymamış yağ oranı % 5'den küçük ise SYA oranı fazla olması nedeniyle biyodizel üretimi ekonomik değildir.

Çizelge 9.3 Bitkisel yağlardan kanola ve mısırın fiziksel ve kimyasal özellikleri

S. No	Özellikler	Birim	Sınırlar		Kanola	Mısır
			En az	En çok		
<b>a) Zorunlu Fiziksel Özellikler</b>						
1	Alevlenme Noktası	° C	100	-	246	277
2	Kinematik Viskozite (40°C)	mm <sup>2</sup> /s	-	80	38	32
3	Setan sayısı	-	40	-	55	53
4	Bulutlanma Noktası	°C	-	12	-4	-14,-11
5	Akma Noktası	°C	-	10	10	-11,-8
<b>b) Zorunlu Kimyasal Özellikler</b>						
1	Doymuş Yağ Asitleri	% Kütle	-	25	1.4-2.8	2
2	Tekli Doymamış Yağ Asidi	% Kütle	20	80	13-16.8	0-41
3	Çoklu Doymamış Yağ Asidi	% Kütle	15	75	74-78.5	57
4	Sabunlaşma Sayısı	mg KOH/ g yağ	170	210	170-180	187-193
<b>c) İkincil Fiziksel ve Kimyasal Özellikler</b>						
1	Yoğunluk (15 °C)	kg/m <sup>3</sup>	830	940	900-930	910-940
2	Su İçeriği	% Kütle	-	0.1	0.075	0.1
3	Oksidasyon Kararlılığı (110 ° C)	h	5	-	5	4
4	Titer	°C	10	50	11.5-15	14-20
5	İyot Sayısı	100 g/g	40	180	100-120	110-130
6	Kalorifik Değeri	kJ/kg	34 000	-	39700	39500
7	Sabunlaşmayan Madde	% g/kg	0.5	3	2	2
8	Serbest Yağ Asidi	% Kütle	0.05	4	0.45	0.45
9	Kükürt İçeriği %	mg/kg	0.01	0.05	0.01	0.01
10	Asit oranı	mg KOH/g	-	2	2	0.3-0.6
11	Fosfor İçeriği	mg/kg	-	15	10	10

Kanola ve mısır yağı Çizelge 9.3'deki fiziksel ve kimyasal özellikleri sağlamakta fakat Çizelge 9.4'de mısırın doymamış yağ oranı % 4.5 iken, doymuş yağ oranı % 0.6'dır. Ancak yağlı bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri prosesi (Çizelge 9.7) uygulandığında, doymuş ve doymamış yağ oranları sınır değerdedir. Bunlar değerlendirilerek biyodizel bitkisi olup olmayacağına karar verilir.

Çizelge 9.4 Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin doymuş ve doymamış yağ oranı yüzdeleri

Doymuş ve Doymamış yağ oranları	<b>Kanola (Düşük Linolenik/ Yüksek Oleik)</b>	<b>Mısır</b>
Maksimum Doymuş Yağ Oranı %	9.5	10
Maksimum Yağ İçeriği %	40	6
<b>Doymuş Yağ Oranı</b>	<b>3.8</b>	<b>0.6</b>
Minimum Doymamış Yağ Oranı %	90.5	90
Minimum Yağ İçeriği %	33	5
<b>Doymamış Yağ Oranı</b>	<b>29.865</b>	<b>4.5</b>
<b>Toplam Doymuş ve Doymamış Yağ Oranları</b>	<b>33.665</b>	<b>5.1</b>

#### 4) Uygun ve optimum üretim teknolojileri;

Ticari uygulamalarda en çok transesterifikasyon teknolojisi kullanılmaktadır. Tüm yağlardan bir ester yapılabilir, ancak her ester biyodizel değildir. Bu nedenle biyodizel seçiminde ön işlemler ve teknoloji seçimine dikkat edilmeli SYA'ne (Serbest Yağ Asidi) göre teknoloji uygulanmalıdır.

Kanola ve mısırın serbest yağ asidi (SYA) oranları %4 altındadır. Fakat ülkemiz yetişme koşullarında yağ asidi tuzları (sabun) (66 ppm) ve su var olması sebebiyle bölüm 7.3'de açıklanan üretim teknolojilerinden 2. Ticari teknolojinin uygun ve optimum üretim teknoloji olduğu kanaati oluşmuştur. Biyodizel üretiminde bitkisel yağlara uygulanan ticari teknoloji prosesleri model akım şeması verilmiştir (Çizelge 9.8).

#### 5) Diğer hususlar;

Biyodizel kalitesi, biyodizelin yasalarda belirtilen standartlara uygun olup olmadıkları tespit edilmelidir. Biyodizelde standartlar bölüm 4.4'de ABD Standardı ASTM 6571, Avrupa Standardı EN 14214 ve ısıtma amaçlı olarak biyodizelde Avrupa Standardı EN 14213 uygunluğu araştırılmıştır.

Kanola ve mısırdan elde edilen biyodizelin her ikisinde ABD Standardı ASTM 6571 standardını sağlamakta, fakat kanola hariç ülkemizde yetişen diğer yağlı bitkiler Avrupa Standardı EN 14214'e uygun değildir.

Biyodizel standardında sorun iyot indisinden kaynaklanıyor. Metil esterlerin dizel motorlarda kullanımı yakıtın motor yağını inceltmesine sebep olabilir. Esterdeki yüksek doymamış asit miktarı, yüksek iyot numarası ile açıklanır ve motor yağının polimerleşme tehlikesini yükseltir. Motor yağının incilmesi viskozitenin düşmesine öncülük eder. Yakıtın doymamışlığının oksidasyonu ve polimerizasyonunu, takip ettiği yakıtın incilmesi ve yağın bozulmasını destekler.

EPDK tarafından "Motorin Türlerinin Üretimi, Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasaya Arzına İlişkin Teknik Düzenleme Tebliği (Akaryakıt Seri No: 1)" 30.12.2005 tarihli 26039 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Bu tebliğle birlikte, biyodizelin %5 oranında motorinle harmanlanmasına imkân sağlanmıştır. 5 Ocak 2006 tarihli ve 26044 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan, "Oto biyodizelin Üretimi, Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasa Arzına İlişkin Teknik Düzenleme Tebliği (Akaryakıt Seri No: 2)" ile oto biyodizel standardı olan TS EN 14214 standardı aynen kabul edilmiştir. Oto biyodizelden sonra yakıt biyodizel üretimi, "Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasaya Arzına İlişkin Teknik Düzenleme Tebliği" ile de TS EN 14213 standardı da iyot sayısı 120 değerinden 140 değerine yükseltilerek kabul edilmiştir. Bu tebliğle birlikte, ayrıca yakıt biyodizelinin kırmızıyla işaretlenmesi ve bu şekilde piyasaya sunulması da kabul edilmiştir. Amerikan Biyodizel standardı olan ASTM D 6751'de iyot sayısına yer verilmemektedir.

Almanya ve Avusturya kanola kökenli biyodizel üretiminde lider ülkelerdir. Ayçiçeği yağı Güney Fransa ve İtalya'da, soya yağı ABD'de, palm yağı Malezya'da biyodizel üretiminde yaygın kullanılmaktadır. ABD, Avusturya ve İngiltere kullanılmış yemeklik yağ kökenli biyodizel üretimini gerçekleştiren lider ülkelerdir. Ülkemizde biyodizel üretiminde standart hammadde olarak kanola kullanılmaktadır.

**Sonuç;** yağın iyot sayısı azaldıkça setan sayısında artış olmaktadır. Ancak, iyot sayısının azalmasıyla da biyodizelin akma özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Yakıtın akışkanlık özelliğindeki azalma istenilen bir özellik değildir. Standartlara göre setan sayısı minimum 47 olmalıdır. Bu nedenle iyot indisi çok düşük olan yağlar, setan sayılarının yüksek olmasına rağmen biyodizel üretimi için çok uygun görülmemektedir. Bununla beraber bu tür yağlar, diğer yüksek iyot indisli yağlarla karışık olarak kullanılabilir gibi, bunlardan yapılan biyodizel Petrodizele karıştırılarak da kullanılabilir. Çok yüksek iyot indisine sahip olan

keten tohumu yağı gibi yağlar ise, polimerleşme sonucu viskozite artışına neden olabilecekleri gibi, yüksek fiyatları nedeniyle de biyodizel üretimi için uygun değildirler.

“Teknik Düzenleme Tebliği” ile TS EN 14213 standardı iyot sayısı 120 değerinden 140 değerine yükseltilmesine rağmen, TS EN 14214 standardı iyot değeri (120) aynen kabul edilmiştir. Kanola yağı dikkate alınarak hazırlanan AB biyodizel standardında iyot sayısı maksimum 120 olarak öngörülürken, pamuk, soya, aspir, ayçiçeği ve mısır gibi ürünlerden elde edilen biyodizelde iyot indisinin 140'ın üzerine çıkabilmektedir.

Türkiye'de kanola üretiminin çok düşük olması nedeniyle, yerli ürünler olan pamuk, soya, aspir, ayçiçeği ve mısırdan biyodizel üretmelerinin mümkün olmayacağını, dolayısıyla kolzaya yönelik uygulanan tarımsal desteklerin tekrar gözden geçirilmesi, arazi tasarruf şekillerinden kaynaklanan sıkıntıların giderilerek kolzanın yaygınlaşması sağlanmalıdır.

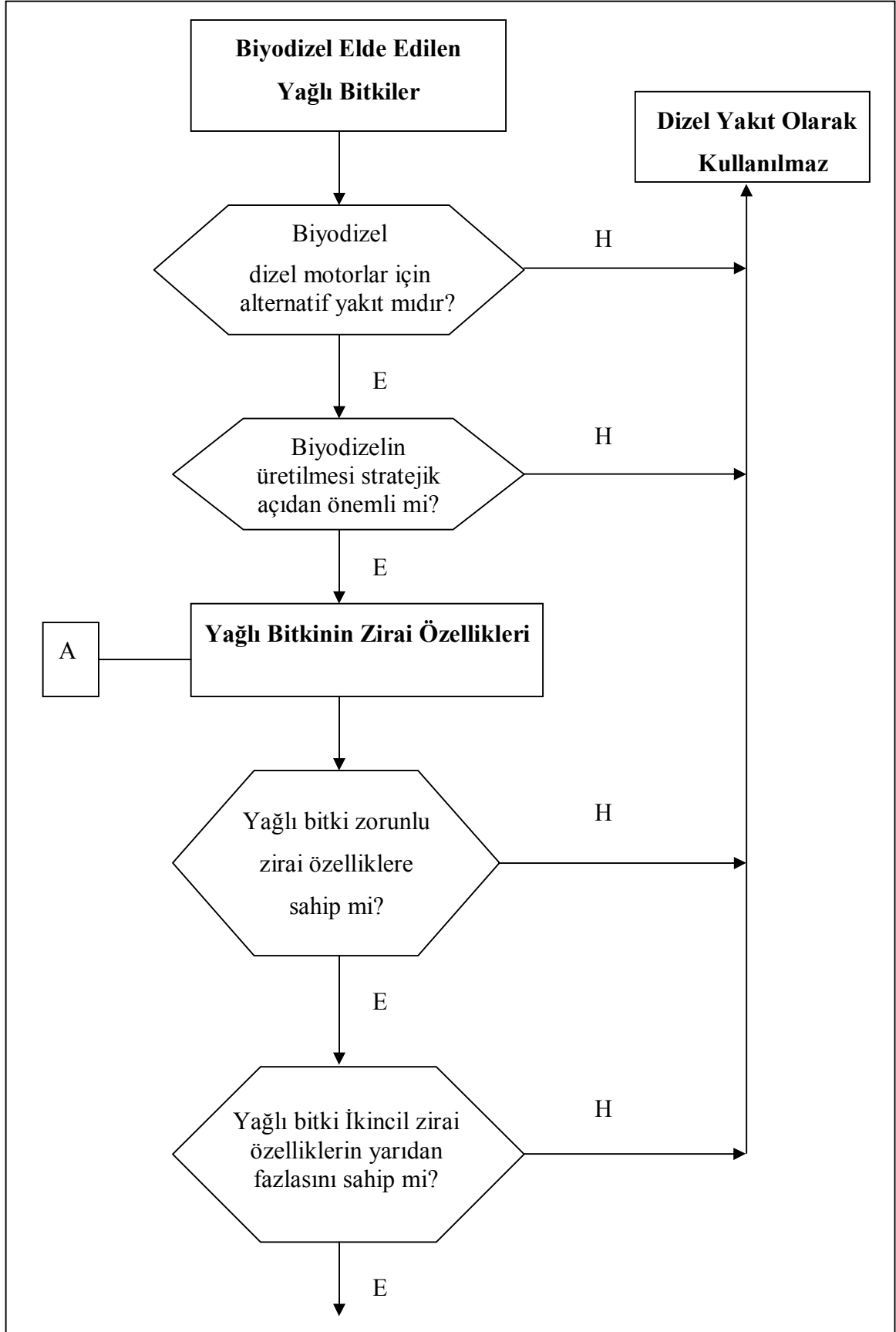
Ülkemizde de biyodizel üretimde paçal olarak kullanılması gibi örnekler incelenerek, uygun hammadde olanakları oluşturulmalıdır. Biyodizel üretimine ve ülkemiz koşullarına uygun biyodizel bitkisinin de oluşturulmasına yönelik çalışmalar hızla yapılmalı ve biyodizel üretiminde tüm yağların kullanımına imkân sağlayacak yasal ortam hazırlanmalıdır.

Biyodizele yönelik uygulamalarda; tarım, sanayi ve çevre entegrasyonunu sağlayan, uzun süreli ve istikrarlı politikaların planlı, günün koşullarına göre değişiklik gösteren ve ülke çıkarları dikkate alınarak uygulanması gerekmektedir.

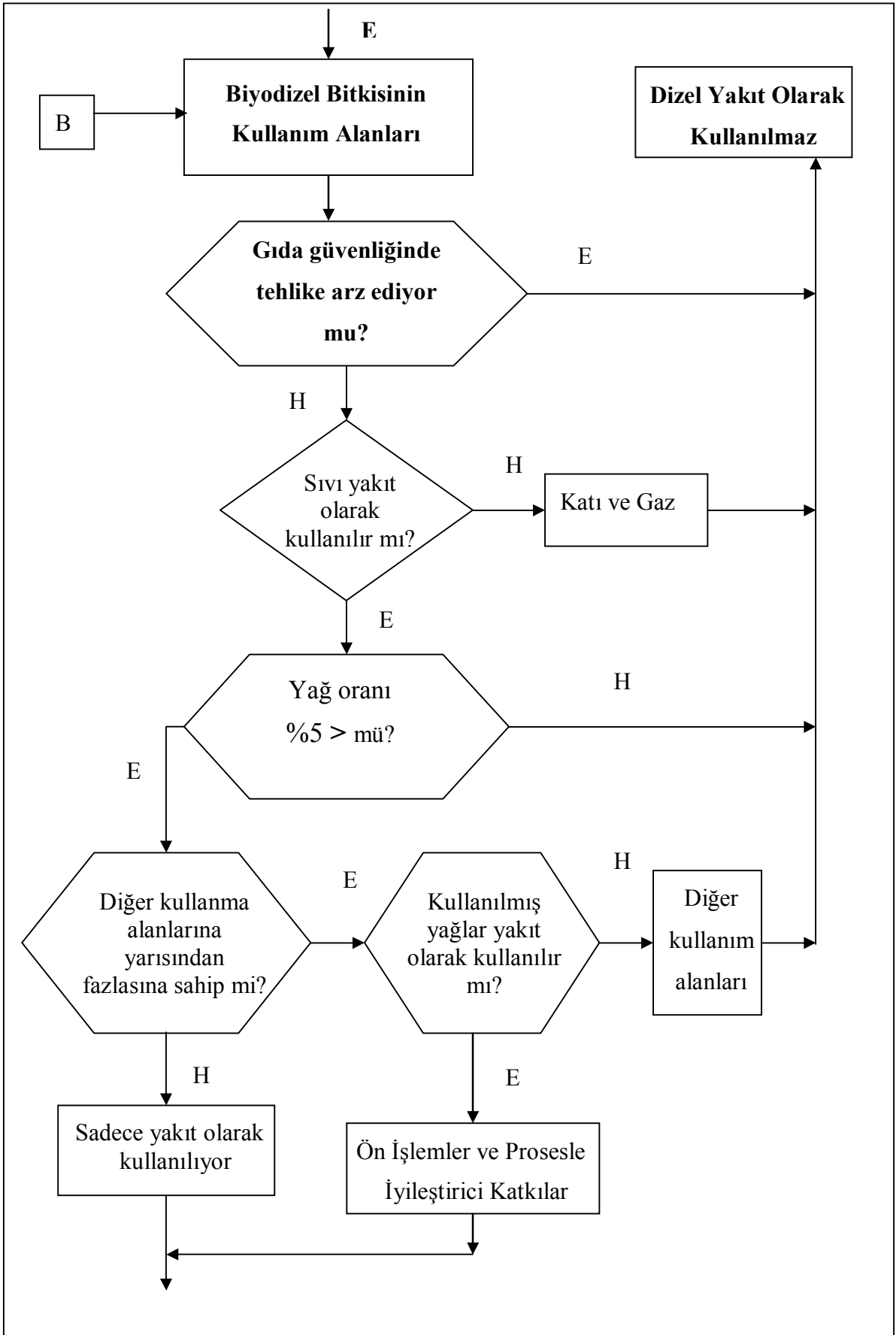
Biyodizel, üretimin tamamen yerli olması sebebiyle yenilenebilir ve stratejik bir enerji kaynağını oluşturmakta ve uzun dönemde ekonomikliği sağlayacak niteliktedir.

Biyodizel üretiminde, bölüm 8'de geliştirilen model entegre olarak (Şekil 9.5, Şekil 9.6, Şekil 9.7, Şekil 9.8, Şekil 9.9 ve Şekil 9.10) görülebilir.

Çizelge 9.5 Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerde zirai özelliklerin akım şeması

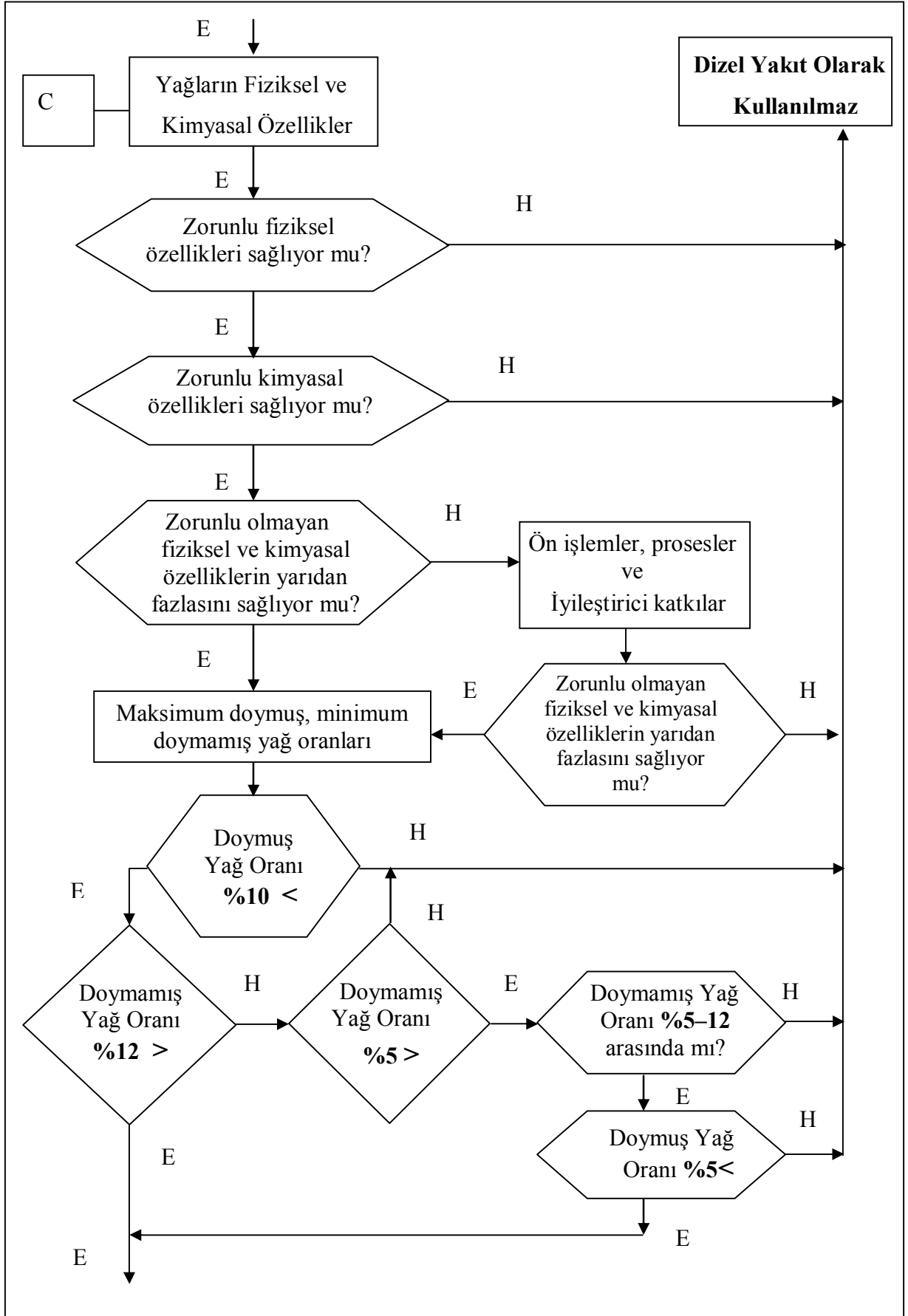


Çizelge 9.6 Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkilerin diğer kullanım alanları proses şeması

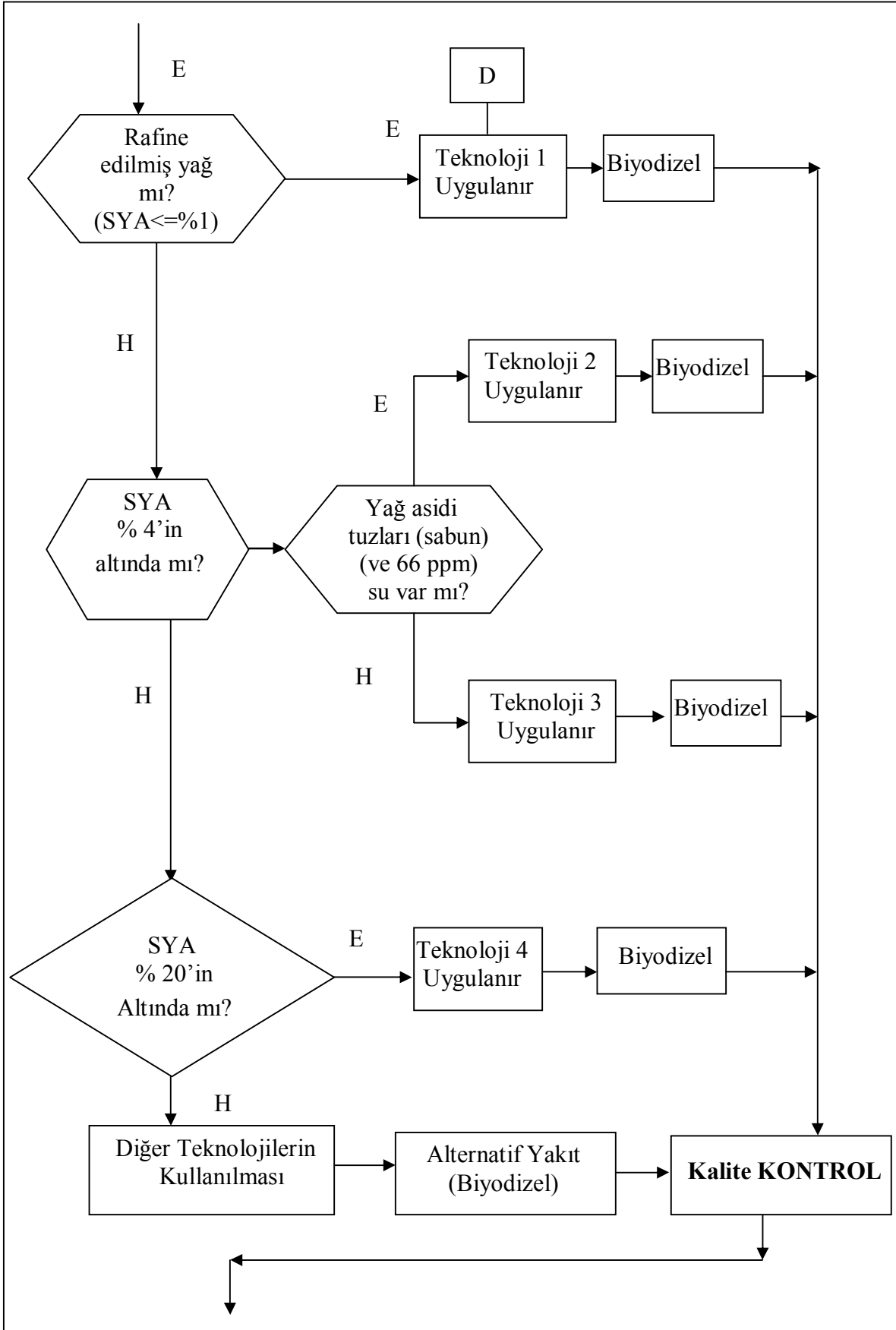




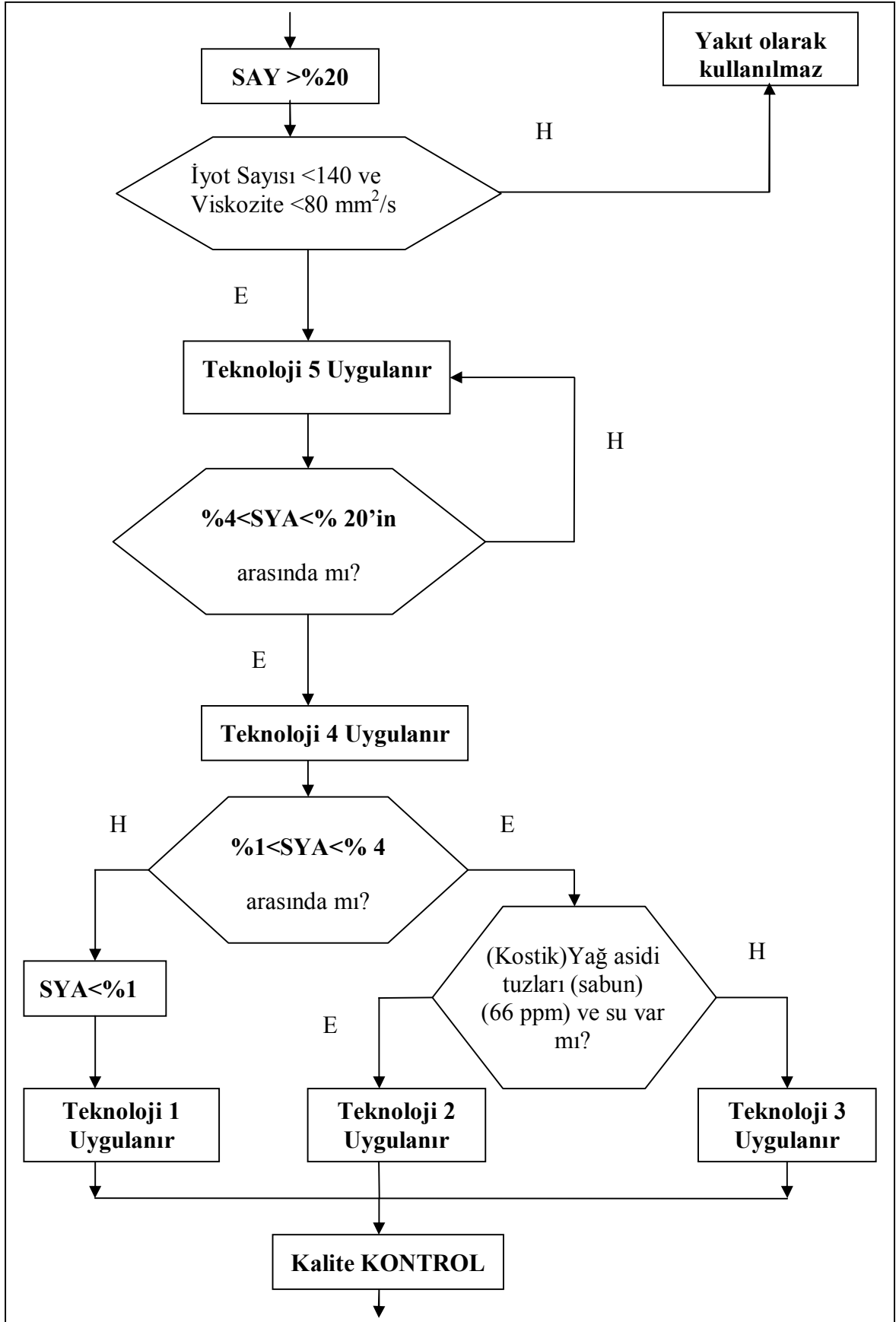
Çizelge 9.7 Yağlı bitkilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri proses şeması



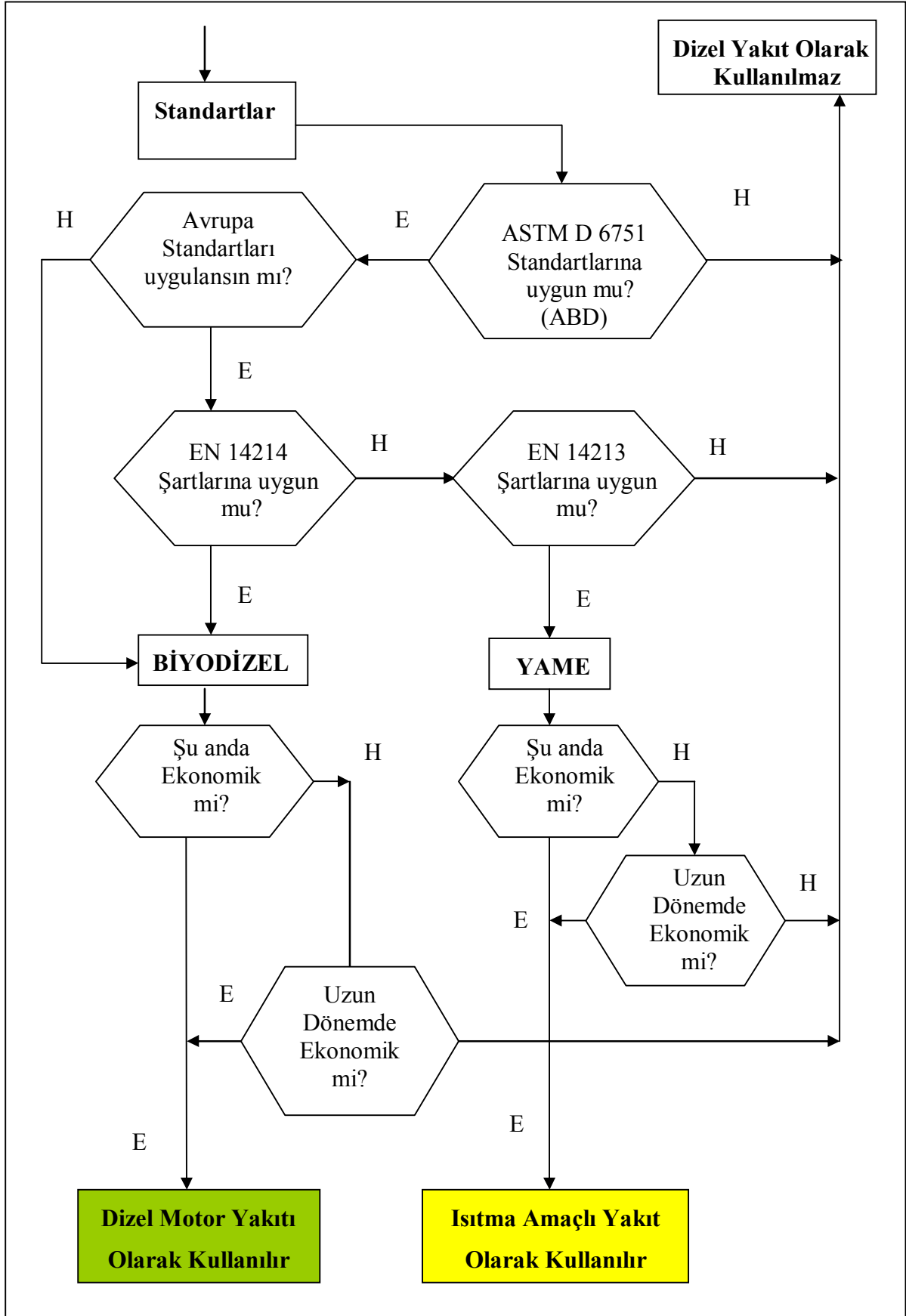
Çizelge 9.8 Biyodizel üretiminde ticari teknoloji akım şeması



Çizelge 9.9 Seçilmiş bir bitki için teknoloji akış diyagramı



Çizelge 9.10 Biyodizel üretiminde standartlar ve ekonomikliği prosesi akım şeması



Türkiye'nin biyodizel potansiyeli olduğu ve yenilenebilir enerji kaynakları ve teknolojileri alanında ön sıralarda geldiği bilinmekle birlikte ortaya konulmuş somut bir ulusal biyodizel programı yoktur ve hangi bitkilerin bu bağlamda ele alınması gerektiği konusunda da yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada biyodizel üretimi için yararlanılabilecek bitkilerin belirlenmesi ve belirlenen bitkilerden üretim teknolojilerinin saptanması ile ayrıntılı bir model geliştirilmiş bulunmaktadır.

Bu aşamadan sonra yapılması gerekli olan diğer çalışmalara bu bölümde kısaca değinilmektedir.

### **1- Biyodizel Üretimine Uygun Yağlı Bitki Yetiştirme Önceliklerinin Belirlenmesi, Bölgelere Dağılımı ve Uygun Üretim Teknolojilerinin Saptanması:**

Ülkemizde biyodizel üretiminde hammadde olarak yağlı bitkilerin florasını biyodizel sektörüyle bağlantılı olarak analiz edilerek, özellikle hangi bölgelerde (İç Anadolu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu vb.) yetişebileceği biyodizel üretiminde ilk basamak olan hammaddeye yönelik durumunun ortaya konulması gerekmektedir.

Türkiye'deki mevcut yağlı bitkilerin özelliklerine göre teknolojilere tabi tutularak bir biyodizel elde edilip veriler oluşturulmalıdır.

Ülkemizde hemen her türlü yağ bitkisi yetişebilmektedir. Yağlı tohum üretiminin istenen düzeyde arttırılamaması, kapsamlı ve planlı bir çalışma yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Yapılan araştırmalar bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabilceğini göstermiştir. Ancak, motorin ile çalışmaya göre tasarlanmış mevcut dizel motorlarda bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanımı sırasında bitkisel yağların bazı yakıt özelliklerinden dolayı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak; bitkisel yağların pahalı olması, mevcut motorların tasarımı ve bitkisel yağların fiziksel özellikleri dikkate alındığında kısa vadede dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanılacakları görülmemektedir. Son yıllarda birçok dünya ülkesinde bitkisel yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu (alkoliz) ile elde edilen biyodizelin üretimi ve yakıt olarak kullanılması yaygınlaşmaktadır. Biyodizel yakıtının sahip olduğu özellikler bakımından dizel motorunda kullanımının son derece uygundur. Biyodizelin yaygınlaşmasının ile ilgili olarak yaşanan en önemli çekince, ham madde yetersizliğiyle beraber, üretim maliyeti olarak görünmektedir.

Biyodizel elde etmek için yağlı tohumlu bitkilere bölüm 7'de açıklanan ön işlemler ve ticari teknolojiler uygulanarak sonuçlar elde edilmelidir. Bu sonuçlara göre bir standart

oluşturularak üretim yapılmalıdır. Biyodizel sektöründe yeni teknoloji uygulamalarıyla incelenmiş ve bu yeni teknolojilerin temel enerji dengelerinin uygulanabilirliği açısından ülkemizde uygulanabilecek üretim teknolojileri yağların özelliklerine göre değişmektedir.

Bunlar;

### **Ticari Teknoloji: 1**

SYA < % 1 ise;

- Genellikle yapışkan maddeden temizlenmiş rafine hammadde: Çoğunlukla soya yağı kullanılır.
- Transesterifikasyon,
- Varsa sabunlar ayrıştırılır,
- Asitle muameleye tabi tutularak SYA'ya dönüştürülür.
- Yan ürün olarak satılabilir.
- Veya küçük gruplar halinde metil esterlere dönüştürülür.
- Ham gliserin satılır veya rafine edilerek diğer ürünlere dönüştürülür.

Teknolojik proseslerden rafine yağlar için; Lurgi Prosesi, Noba Prosesi, Henkel, CD Prosesi, Crown Prosesi, Desemet Ballestra Prosesleri uygulanır.

### **Ticari Teknoloji: 2**

% 1 < SYA < % 4 ve yağ asidi tuzları (sabun) (66 ppm) ve su var ise;

- Kostik sökme işlemiyle hammaddedeki sabunlar ve su uzaklaştırılır.
- Trigliseridler, büyük bir sorunla karşılaşmadan, transesterifikasyon işlemine tabi tutulur.
- Geri kazanılan sabunlar asitle reaksiyona girer ve kalan SYA'lar kazanılır.
- Küçük miktarlarda çalışılabilir ve sistemde kalan SYA varsa, nötralize edilerek hammaddeye geri yollanır.
- Gliserin biraz daha kalitelidir ve hiç sabun yoktur.

SYA yüksek olan yağlar için; Energea Prosesi, Lurgi Prosesi, Noba Prosesi, Desemet Ballestra Prosesleri uygulanır.

### **Ticari Teknoloji: 3**

%1 < SYA < % 4 ise, (Yağ asidi tuzları yok);

- Transesterifikasyonla birlikte kostik sökme işlemi de gerçekleştirilir.
- Trigliseridler, transesterifikasyon işlemine tabi tutulur.
- Yüksek sabun düzeyleri köpükleşmeye yol açabilir, emülsifikasyon üretimi etkiler ve soruna yol açabilir.

- Sabunlar gliserin içinde uzaklaştırılır.
- Sabunlar geri kazanılır ve yukarıda anlatılan 2. teknolojiye benzer yöntemle SYA'lar biyodizele dönüştürülür.

SYA yüksek olan yağlar için; Energea Prosesi, Lurgi Prosesi, Noba Prosesi, Desemet Ballestra Prosesleri uygulanır.

NOBA, ülkemizde Gebze İleri teknoloji Enstitüsü'nde (GYTE)'de geliştirilen kesikli veya yarı sürekli homojen alkali kataliz yöntemini kullanarak, alkil ester üretimini; çok yüksek yağ asidi (%5,5) ve lipit (600 ppm) içeren yağları bile rahatlıkla işlemektedir.

#### **Ticari Teknoloji: 4**

% 4 < SYA < % 20 ise,

- Bütün hammadde asit esterifikasyonuna tabi tutulur. Böylece;
- SYA'lar biyodizele dönüşür.
- Reaksiyon suyu uzaklaştırılır.
- Fazla asitler ve metanol uzaklaştırılır.
- Daha sonra tüm hammadde transesterifikasyon reaksiyonuna girer. Bu arada ilave katalizörler kullanılarak asitler ve kalan SYA'lar nötralize edilir.
- Kalan sabunlar ve SYA'lar, hammadde grubuna geri döndürülür.

SYA yüksek olan yağlar için; BASF Prosesi, Energea Prosesi, Desemet Ballestra Prosesleri uygulanır.

#### **Biyodizel Üretiminde Kullanılan Diğer 5. Teknolojiler**

SYA >% 20 ise,

- Hammaddeler karıştırılarak istenilen SYA düzeyine ulaşılır.
- Yukarıda anlatılan 2. ve 4. teknolojilerden birisi kullanılır.
- Çok adımlı kesikli işleme sonucu % 50'ye varan SYA dönüşümlerine ulaşılmıştır.
- Birbirini takip eden asit esterifikasyonu ve transesterifikasyon işlemi arasında su uzaklaştırılır. Su uzaklaştırılırken çok adımlı kostik sökme adımları bulunmaktadır.

Biyodizel üretim miktarına göre prosesi kurmak gerekir. Biyodizel üretim prosesleri kapasitelerine göre; Kesikli (500–10000 ton/yıl), Yarı Kesikli (10000–30000 ton/yıl), Sürekli (>30000 ton/yıl) prosesler şeklinde ayrılır.

Ülkemizde de biyodizel üretimde paçal olarak kullanılması incelenerek, uygun hammadde olanakları oluşturulmalıdır. Biyodizel üretime ve ülkemiz koşullarına uygun biyodizel

bitkisinin de oluşturulmasına yönelik çalışmalar hızla yapılmalı ve biyodizel üretiminde tüm yağların kullanımına imkân sağlayacak yasal ortam hazırlanmalıdır.

## **2- Biyodizel Maliyetlerine Etkiyen Parametrelerin Saptanması ve Maliyetlerin Düşürülmesi İçin Gerekli Çalışmaların Başlatılması;**

Biyodizel üretiminin hammaddesi olan yağlı bitkinin ekilmesi ve yetiştirilmesinden başlayarak, biyodizel elde edilene kadarki maliyet analizleri yapılmalıdır.

1. Yağ bitkilerinin yetiştirilmesi (kiralama, ekim, dikim, toprak işleme, bakım, sulama, gübreleme, ilaçlama, mekanizasyon, taşıma, depolama vb.)
2. Yağ elde etme maliyeti (yatırım, rafine vb.)
3. Biyodizel üretim maliyetleri (yatırım, işletme, üretim vb.)
4. Diğer hususlardır.

Ülkemizde yetişen tüm yağlı bitkilerin maliyet analizleri yapılarak, biyodizelin alternatif ürün olarak üretilmesi stratejik açıdan model oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenle biyodizel maliyeti büyük önem taşımaktadır.

Biyodizel üretim maliyetleri büyük oranda hammadde fiyatına bağlıdır. Çünkü kullanılan bitkisel yağın son ürünün fiyatına etkisi % 60–70 civarındadır. Biyodizelin ekonomik olarak üretilebilmesi için düşük değerli hammaddeden üretilmesi, kalitesinin arttırılması ve elde edilen yan ürünlerin yüksek değerde olması gerekmektedir.

Üretimde en önemli kriterlerin verim artışı ve onun yanında maliyetlerin azaltılması olduğu düşünülürse, tarım sektöründe en pahalı girdilerden birisi, bu amaca yönelik mekanizasyon faaliyetleridir. Bir tarımsal işletmenin mekanizasyon faaliyetleri genelde enerji bilânçoları ile yorumlanabilmektedir. Enerji bilânçosu ise; bir sistemin yâda bir tarımsal işletmenin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkilerin enerji birimleri yönüyle sayısal olarak karşılaştırılmalıdır.

Üretim tesisine ilişkin olarak işletme sermayesinin hesaplanmasında; hammadde alımı, üretimde kullanılacak metil alkol ve katalizör, personel giderleri, yakıt, elektrik, su giderleri ve işletmenin nakit ihtiyacı dikkate alınmalıdır. Üretim tesisinde çalışacak personele ilişkin olarak yapılan hesaplamalarda; bekçi, üretim aşamasında çalışan geçici işçiler, mühendis ve montaj amaçlı geçici işçilerin ücretleri personel giderlerinin hesaplanmalıdır.

Biyodizel üretiminde elde edilen küspe ve gliserin gibi yan ürünlerin piyasa fiyatları dikkate alınarak hesaplamalar yapılmalı, elde edilen ekonomik değer işletmeye sağlanan yan ürün gelirleri olarak eklenmelidir.



Biyodizelin daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Biyodizel, maliyeti yönüyle; enerji kaynağı olarak varolanı kullanılabilme olanaklarının getireceği yayılım kolaylığı ve yan ürünlerinin de değerlendirilebilmesinin yanısıra;

- Tarımsal ürünü biyodizele işlemede (proses sırasında) kullanılan enerjinin yakıt eşdeğeri,
- Ham yağdan elde edilen yakıtın miktarı,
- Petrol dizel karşısında biyodizelin bağlı maliyeti, açılardan da bakılarak değerlendirilmelidir.

**KAYNAKLAR**

- Acaroğlu, M., (2003), Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, Konya.
- Acaroğlu, M., (2007), Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Yayınevi, Konya.
- Akçay, H.T., (2006), “Bazı Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akın, E., (2005), Türkiye Biyoyakıt (Biyodizel-Biyoetanol) Raporu, Ankara.
- Akünel, T. ve Tolay, M., (2003), “Biyomotorin Avusturya ve Türkiye”, Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Alfelbeck, R., (1986), “Production And Processing Of Plant Oils And By-Products To Fuels”, Biomass Conversion For Energy Thermo Chemical Conversion, Proceedings of The First Technical Consultation Cf CNRE, 14-17 October 1986, Germany.
- Altınsoy, A. S., (2007), “Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye’deki Kaynakların İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arioğlu, H. H., (2007), Yag Bitkileri Yetistirme ve Islahı, Ders Kitapları Yayın No:A-70, 204, Adana.
- Arioğlu, H.H. ve Güllüoğlu, L., (2009), “Yağlı Tohumlu Bitkilerin Üretiminin Önemi ve Alternatif Enerji Kaynağı Biyodizel”, Türk Tarım Dergisi, 185:74-80.
- Artukoğlu, B.D., (2006), “Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Özelliklerini Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bacovsky, D., Körbitz, W., Mittelbach, M. ve Wörgetter, M., (2007), “Liquid Biofuels From Biomass”, Biodiesel Production Technologies and European Providers IEA Report, T39-B6, 104.
- Bayar, R., (2004), “Cumhuriyet Döneminde Türkiye’nin Arazi Bölünüşü ve Tarım Alanlarındaki Değişmeler”, Coğrafi Bilimler Dergisi, 41-55.
- Bulut, C., (2008), “Atık Bitkisel Yağ Metil Esteri Kullanılan Dizel Motorunda Aşırı Doldurma Uygulamasının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Çanakçı, M. ve Gerpen, J.H.V., (1999), “Biodiesel Production Via Acid Catalysis”, Transesterification of the ASAE, 42(5): 1203-1210.
- Çildir, O. ve Çanakçı, M., (2006), “Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(2): 367-372.
- Çildir, O., (2003), “Bitkisel Yağ Metil Esterlerinden Dizel Motorlar İçin Yakıt Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Çubuk, M.H.ve Heperkan, H.A., (2010), “Orhaneli Linyit-Biyokütle Karışımının Akışkan Yatakta Yakılmasında Kirletici Emisyonların İncelenmesi ve Çevreye Etkileri”, Orman Biyokütlesi ve Biyoenerji Çalıştayı, 25-26 Şubat 2010, Kastamonu.
- Demirbaş, A., (2003), “Biodiesel Fuels From Vegetable Oils Via Catalytic And Non-Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications And Other Methods: A Survey”, Energy Conversion and Management, 44: 2093-2109.

- Demirbaş, A., (2008), "Comparison Of Transesterification Methods For Production Of Biodiesel From Vegetable Oils And Fats", *Energy Conversion and Management*, 49: 125-130.
- Dengiz, T., (1990), "Ağır Yakıtlarının Dizel Motorlarında Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eker, S., (2007), "Biyodizel Üretimi ve Katkı Maddelerinin Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erdoğan, D., (1991), "Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması", Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi, 25-27 Eylül 1991, Konya.
- Fangrui, M. ve Milford, A.H., (1999), "Biodiesel Production, A Review", *Bioresource Technology*, 70:1-15.
- Fukuda, H., Kondo, A. ve Noda, H., (2001), "Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5): 405-416.
- Gerpen, J.V., (2005), "Biodiesel processing and production", *Fuel Processing Technology*, 86: 1097-1107.
- Gerpen, J. V., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D. ve Knothe, G., (2004), "Biodiesel Production Technology", August 2002-January 2004 Subcontractor Report, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 22-27.
- Gizlenci, S., Korkmaz, A., Acar, M. ve Seyis F., (2005), "Kolza (Kanola) Tarımı", Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Yayınları, 80, Samsun.
- Gümüşkesen, A. S., (1999), "Bitkisel Yağ Teknolojisi", Asyatıp Yayıncılık Ltd. Şti, ISBN:975-94208-0-5: 182, İzmir.
- İşcan, N E., (2006), "Süperkritik Ortamda Biyodizel Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kann, J., Rang, H. ve Kriis, J., (2002), "Advances In Biodiesel Fuel Research", *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.*, 51 (2) : 75-117.
- Kaplan, C., (2001), "Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Karaca, E. ve Aytaç S., (2007), "Yağ Bitkilerinde Yağ Asitleri Kompozisyonu Üzerine Etki Eden Faktörler", *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1):123-131, Samsun.
- Karahan, Ş., (2006), "Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi", *Ulusal Biyodizel Sunuşayı*, 18-20, 49, Ankara.
- Kardaşlar, D., (2000), "Biyomotorin", Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kaufman, K. R., Ziejewski, M., Pratt, G.L. ve Goettler, H.J., (1986), "Fuel Injection Anomalies Observed During Long-Term Engine Performance Tests on Alternative Fuels", Society of Automotive Engineers, 852089, USA.
- Kayahan, M., (2006), Yağlı Tohumlardan Ham Yağ Üretim Teknolojisi, Mimarlar ve Mühendisler Odası Birliği Gıda Mühendisliği Odası, Ankara.
- Kitani, O., (1998), "CIGR Handbook Of Agricultural Engineering Energy And Biomass Engineering", 5: 182, ASAE, USA.
- Kleber, M., (2004), "Lurgi Biodiesel Capabilities" Lurgi Biodiesel Info and References, LPSI

Copyright, 2:2.

Knothe, G., Jurgen, K. ve Garpen, J.V., (2005), " The Biodiesel Handbook", AOCS Pres, ISBN 1-893997-79-0, İllinois, USA.

Körbitz, W., (2007), "Survey of Biodiesel Process Technologies" UNIDO United Nations Industrial Development Organisation Cavtat-Croatia, 12-13 November, Austrian Biofuels Institute.

Kumar, V., Rani, A., Solanki, S. ve Hussain, S.M., (2006), "Influence Of Growing Environment On The Biochemical Composition And Physical Characteristics Of Soybean Seed" Journal of Food Composition and Analysis, 19:188-195.

Meher, L. C., Vidya, D. ve Naik, S. M., (2006), "Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification", Renewable And Sustainable Energy Reviews, 10:248-268.

Moore, A., (1997), "Environmentally Sound Production of Liquid Biofuels: The View of the European Commission", Proceedings of the International Workshop on Environmental Aspects of Energy Crop Production, Brasimone, 9-10 October 1997, Italy.

Mutlu, L., Yavuz, H. ve Bayrakçeken, H., (2006), "Biyodizel Yakıtların Performanslarının Karşılatılması", 9. Yanma Sempozyumu, 40-49, Kırıkkale.

Nas, S., Gökalp, H.Y. ve Ünsal M., (2001), Bitkisel Yağ Teknolojisi, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ders Kitapları Yayın No:005, Denizli.

NREL, (2009), "Innovation for Our Energy Future", Biodiesel Handling and Use Guide, NREL/TP-540-43672 Revised, USA.

Nişancı, S., (2007), "Biyodizel Yakıt Karışımlarının Performans ve Emisyon Üzerine Etkilerinin Deneysel Araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öğüt, H. ve Oğuz, H., (2006), Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Ölçüm, T., (2006), "Biyodizel Teknolojisi" Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özçimen, D., (2001), "Kolza Küspesinin Sabit Yatak Pirolyzi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özil, E. Şişbot, S., Özpnar, A. ve Olgun, B., (2011), "Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği", Türkiye Elektrik Sanayicileri Birliği- TESAB, 2011(1), (Basım aşamasında).

Öztürk, Ö., (2007), "Dizel Motorlarında Karışimsız Olarak Kullanılan Biyodizellerin Motor Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Quintana, E. E. B., (2002), "Optimisation Studies For The Alkaline Transesterification Biodieselreaction Using Ultrasound Mixing", Master Of Science İn Chemical Engineering, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus.

Rosillo-Calle, F., (2004), As Perspectivas de Combustíveis Líquidos Alternativos no Mundo Seminário "Perspectivas Energéticas para América Latina" 18 de Outubro de 2004 (UNICAMP) Imperial College London (University of London), U.K.

Saka, S. ve Kusdiana, D., (2001), "Biodiesel Fuel From Rapeseed Oil As Prepared İn Supercritical Methanol", Fuel, 80:225-231.

Sarı, M., (1998), Çevre ve İnsan, Aadolu Üniversitesi Açıköğretim Öğretim Fakültesi Yayın

No:560, Eskişehir.

Schumacher, L.G., (1997), 6V-92TA DDC Engine Exhaust Emission Tests Using Metyili Ester, National Soydiesel Development Board, USA.

Skoog, D., Holler, F.J. ve Nieman, A.T., (1998), Enstrümantal Analiz İlkeleri, Bilim Yayıncılık, Ankara.

Süzer, S., (2008), Kanola (Kolza) Tarımı, Hasat Yayıncılık, İstanbul.

Tickell, J., (2000), From the Fryer to the Fuel Tank The Complete Guide To Using Vegetable Oil As An Alternative Fuel, Tickell Energy Consulting, USA.

Tillem, İ., (2005), “Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

TÜİK, (2010), 2008 Yılı Tarım İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu.

Türkay, S., (2005), “Biyodizel Üretim Teknolojileri”, Türkiye’de Biyodizel Üretimindeki Mevcut Durum Sorunlar ve Öneriler Çalıştayı, 2 Aralık, Ankara.

Tüzün, C., (1996), Organik Kimya, Palme Yayın Dağıtım, Ankara.

Tyson, K. S., (2001), Biodiesel Handlind and Use Guidelines, NREL September, USA.

Tyson, K. S., (2003), “Biodiesel Technology and Feedstocks”, Biodiesel for New England Eastern Connecticut State Univ., USA.

Tyson, K. S., (2004), “Biodiesel Handling and Use Guidelines”, Energy Efficiency and Renewable Energy, 102004-1999:1-26, DOE, USA.

Ulusoy, Y. ve Alibaş, K., (1999), “Using Various Vegetable Oils As Alternative Fuel İn Diesel Engine”, 7 th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, 26-27 Mayıs, 297-301.

Ulusoy Y. ve Alibaş K., (2002), “Dizel Motorlarda Biodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi”, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16: 37-50.

Ulusoy, Y., (2000), “Kullanılmış Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak Kullanım Olanağı”, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 15-17 Kasım, İstanbul.

Vermeersch, G., (2000), “Development of a Biyodizel Activity”, International Congress and Expo Lipids, Fats and Oils, Würzburg, Almanya.

White, J. M., Shah, P., Sanford, S., Valverde M. ve Meier, G., (2010), “Feasibility Study to Determine Soap Concentration in Biodiesel from Alkali Metal Content”, Renewable Energy Group, Inc., January 25, 2010.

Yaşar, B., (2009), “Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim ve Kullanım Olanaklarının Türkiye Tarımı ve AB Uyum Süreci Açısından Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Adana.

Zadra, R., (2005), “BASF High Performance Catalysts for Biodiesel Production” Marketing and Sales - Industrial Chemicals – BASF III Brazilian-German Workshop on Biodiesel, Fortaleza.

Zhou, W., (2000), “Production Of Sunflower Oil Ethyl Ester For Use As A Biodiesel Fuel”, Master Thesis Of Applied Science Graduate Department Of Chemical Engineering And Applied, Chemistry University Of Toronto.

**İnternet Kaynakları:**

- [1] [www.biofuelsplatformch/en/home/](http://www.biofuelsplatformch/en/home/)
- [2] [www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html](http://www.biyomotorin-biodiesel.com/biomoto.html)
- [3] [www.chemstations.net/documents/BiodieselWhitePaper.pdf](http://www.chemstations.net/documents/BiodieselWhitePaper.pdf)
- [4] [www.homepage.uludag.edu.tr/~yahyau/calismalar.htm](http://www.homepage.uludag.edu.tr/~yahyau/calismalar.htm)
- [5] [www.lurgi.com](http://www.lurgi.com)
- [6] [www.ziraatci.com/](http://www.ziraatci.com/)

**EKLER**

- Ek 1 Lrgi Prosesleri
- Ek 2 Noba Prosesi
- Ek 3 Henkel Prosesi
- Ek 4 Energea Proses
- Ek 5 Desemet Ballestra Prosesi 1/Yağ Asidi Metil Ester Üretimi Genel Akış Diyagramı
- Ek 6 Desemet Ballestra Prosesi 2
- Ek 7 BASF Biyodizel Üretimi SYA Giderimi için asit katalizli sistem
- Ek 8 ROWN Prosesi
- Ek 9 Ticari Biyodizel Üretimi-1
- Ek 10 Ticari Biyodizel Üretimi-2
- Ek 11 Yenilenebilir Enerji Ulaşım Yakıt Zinciri
- Ek 12 Yağların Doymuş ve Doymamış Yağ Asitleri
- Ek 13 Yağlı tohum bitkilerinden alternatif yakıtlara geçişleri

## Ek 1 Lurgi Prosesleri

Lurgi prosesinin günümüzde birçok yağda uygulamaları mevcuttur. Bunlar;

- Mısır
- Aspir / Ayçiçeği
- Soya
- Hardal
- Kanola / Kolza
- Pamuk tohumu
- Palm tohumu / Palm çekirdeği
- Hindistan cevizi
- Sığır don yağı
- Kullanılmış yağlardır (Şekil Ek 1.1).

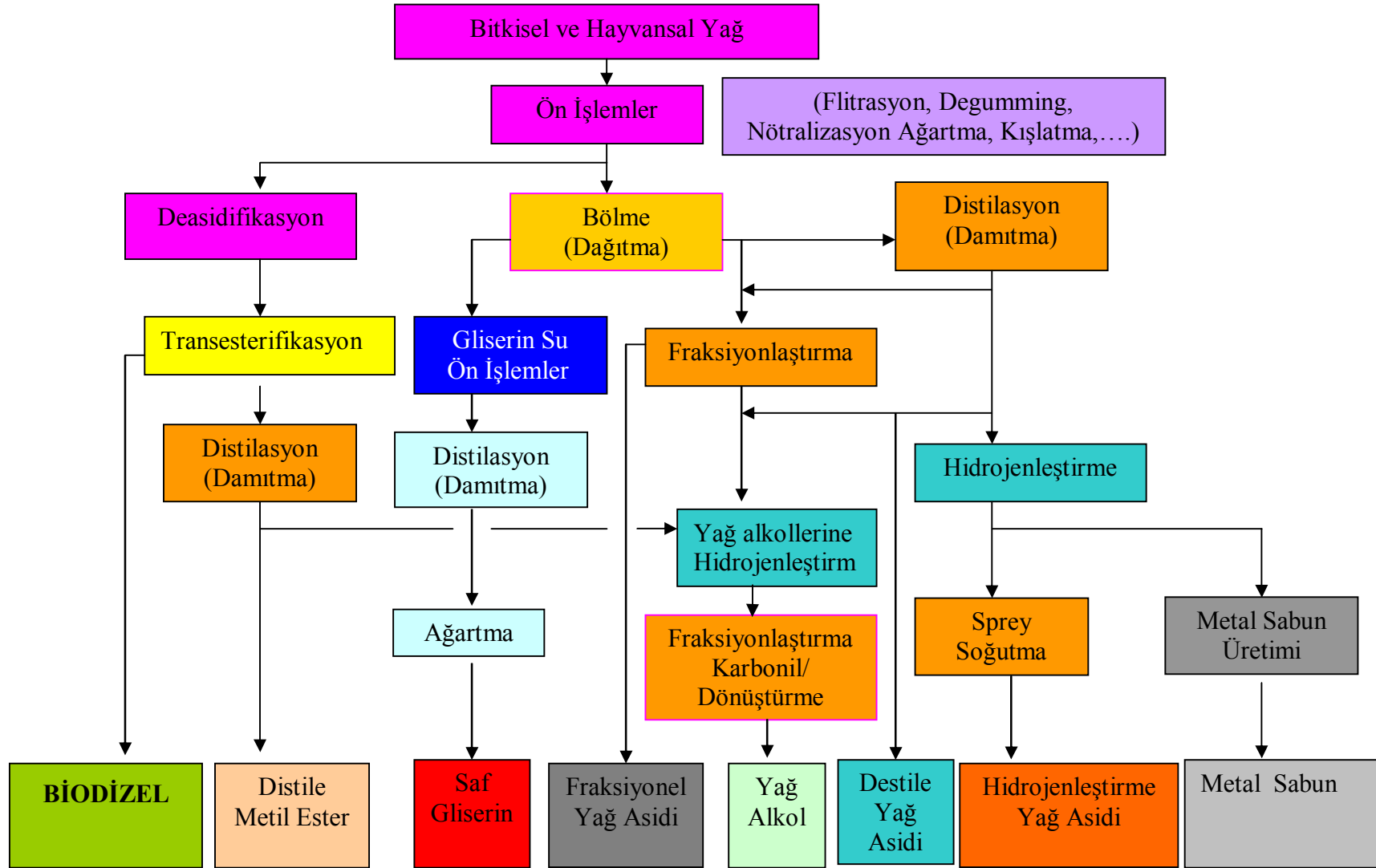
Lurgi prosesi biyodizel üretiminde de son yıllarda aşağıda belirtilen özelliklerden dolayı tercih edilmektedir;

- Teknoloji birçok gıda sistemine uygundur.
- Sürekli prosestir (Atmosferik basınç ve  $\pm 60$  °C).
- Yüksek verimli prosestir.
- Düşük katalizör / kimyasal tüketimi azdır.
- Santrifüj gerekli değildir.
- Düşük işlem ve bakım masrafı söz konusudur.
- Biyodizel kalitesi ASTM D-6751 / DİN 51606 / EN 14214'e uygundur.
- Ham gliserin kalitesi BS 2621 'e uygundur.

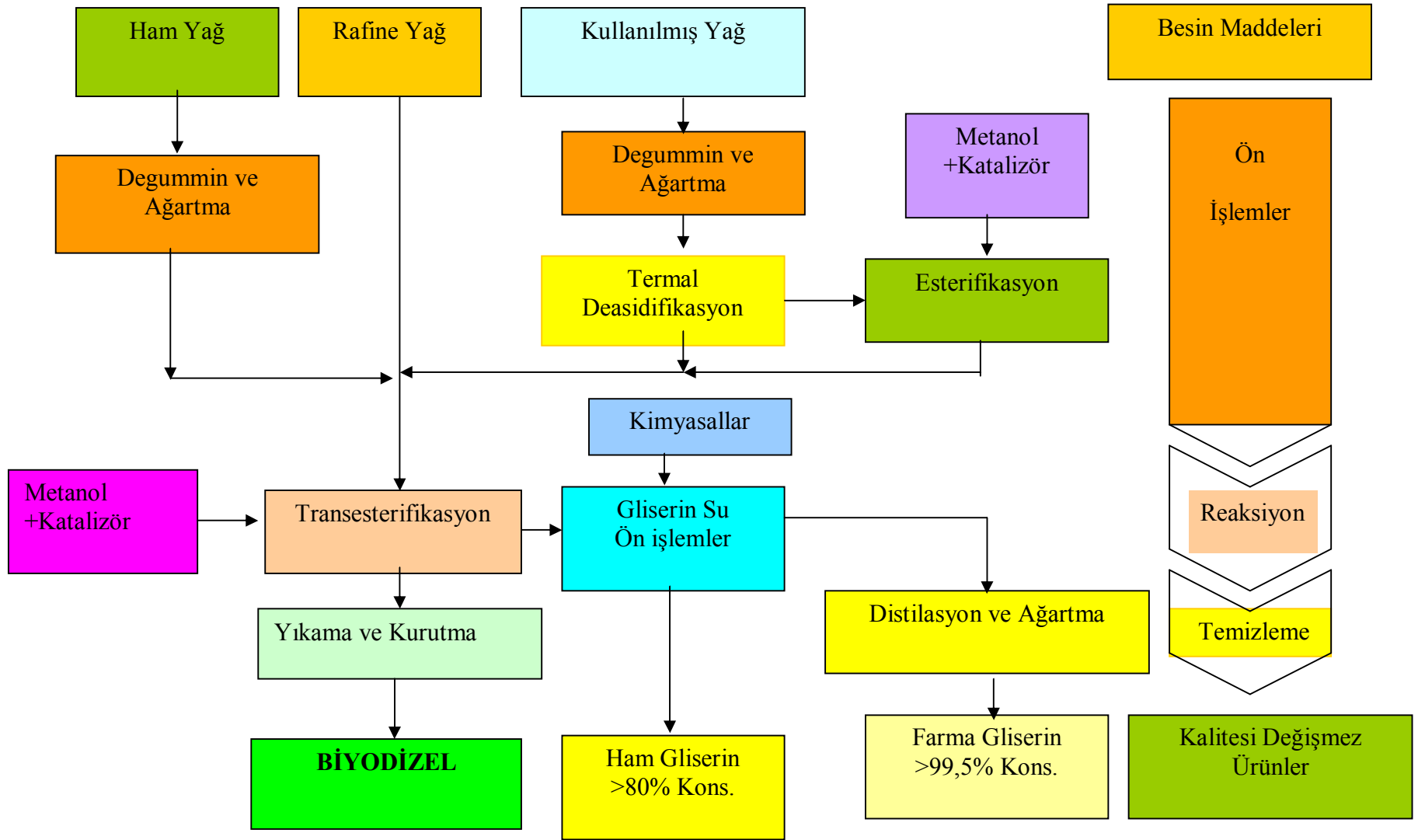
Farma Gliserin EP 99.5 (Kosher hayvansal/bitkisel orijinli yağlar)'e uygundur ([5] ve Kleber, 2004)

Biyodizel üretiminde Lurgi prosesi Şekil Ek 1.2, Şekil Ek 1.3 ve Şekil Ek 1.4'de verilmiştir (Kleber, 2004).

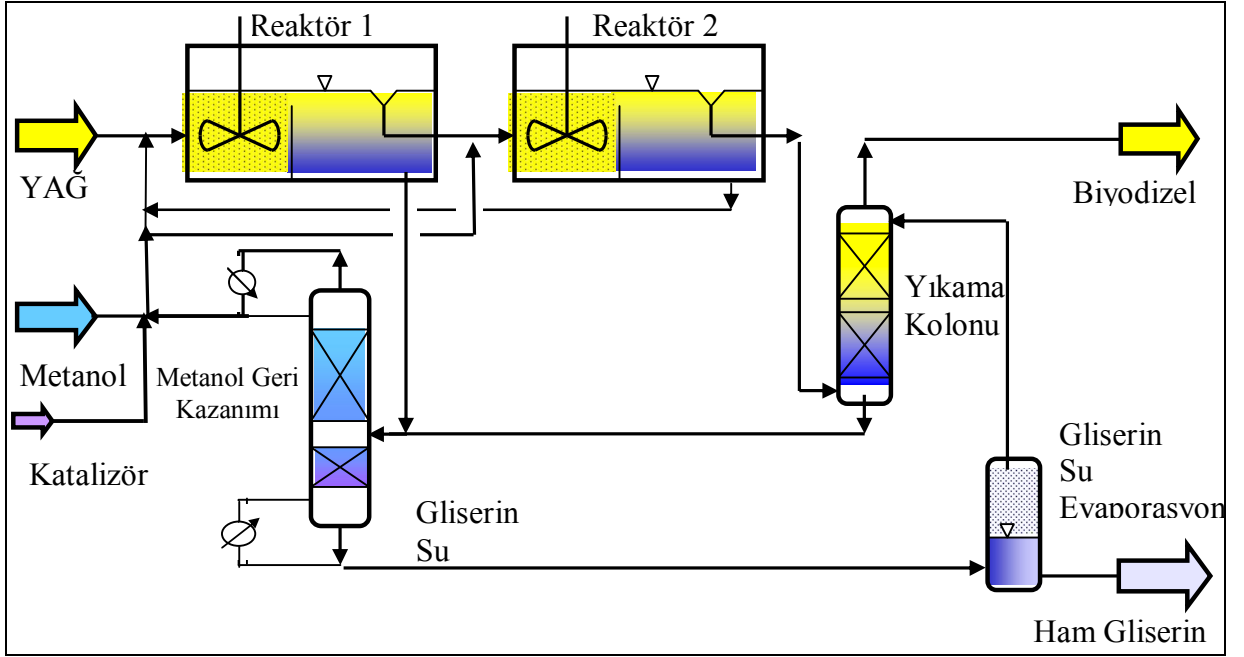




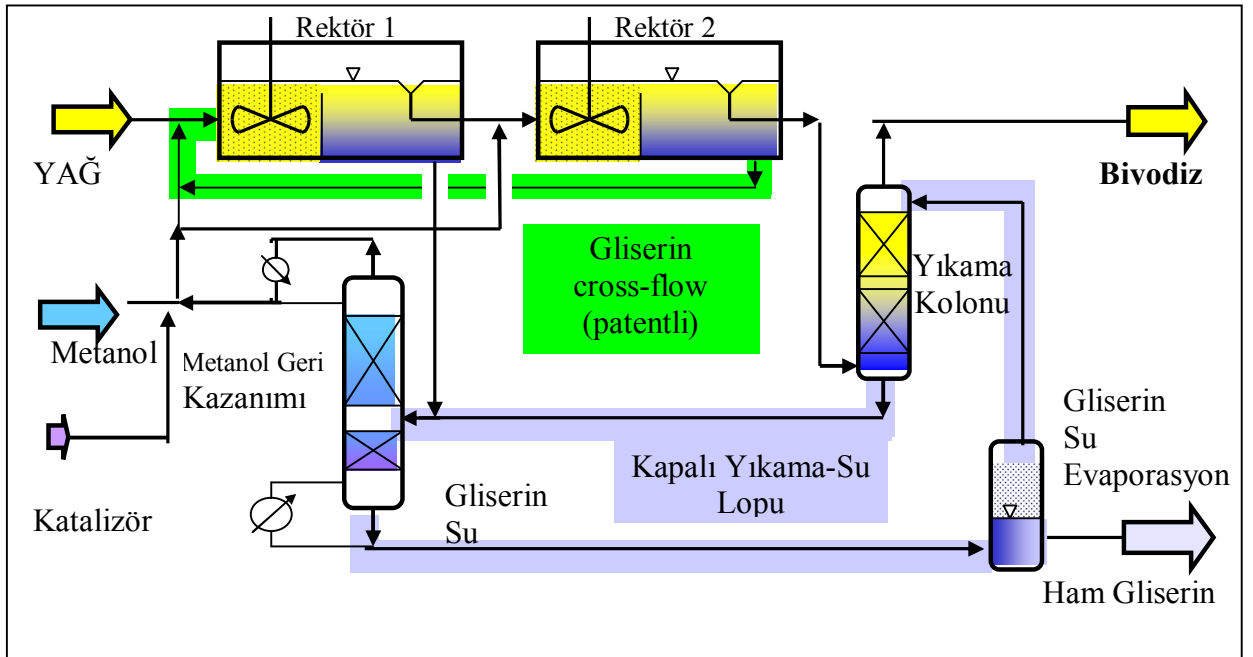
Şekil Ek1.1 Lurgi yağ kimyasında lurgi prosesi akış şeması (Kleber, 2004)



Şekil Ek 1.2 Lurgi bitkisel yağlardan biyodizel üretim prosesi (Kleber, 2004)



Şekil Ek 1.3 Lurgi prosesi maksimum dönüşüm için iki aşamalı transesterifikasyon



Şekil Ek 1.4 Lurgi prosesi transesterifikasyon (Kleber, 2004)

Lurgi prosesinden elde edilen biyodizel değerlerinin ASTM - DIN değerleri ile karşılaştırması Çizelge Ek 1.1 de verilmiştir (Kleber, 2004).

Çizelge Ek 1.1 Lurgi prosesinden elde edilen biyodizelin özellikleri (Kleber, 2004)

	<b>ASTMD-6751</b>	<b>E DIN 51606</b>	<b>Lurgi Prosesi*</b>
<b>Yoğunluk @15°C</b>	0.875-0.9 g/ml	0.875-0.9 g/ml	0.88 g/ml
<b>Viskozite @ 40°C</b>	1.9-6.0 mnr <sup>2</sup> /s	3.5-5.0 mm <sup>2</sup> /s	4.4 mm <sup>2</sup> /s
<b>Parlama noktası</b>	130°C	110°C	175°C
<b>Su ve Sediment % Hacim</b>	0.050 maks.	0.030 maks.	0.020
<b>Asit Sayısı</b>	0.8	0.5	0.2
<b>Serbest Gliserin</b>	0.02	0.02	0.007
<b>Toplam Gliserin</b>	0.24	0.25	0.13
<b>Setan Sayısı</b>	47 min.	49 min.	56 min.
<b>Karbon Artığı</b>	0.05 % maks.	0.05 % maks.	0.01 %
<b>Bulutlanma Noktası</b>	----	-20°C Kasım 16 -Şubat 2 8	-22°C Kasım 16- Şubat 28
* Analizler F. Almanya 'da yapılmıştır.			

## Ek 2 Noba Prosesi

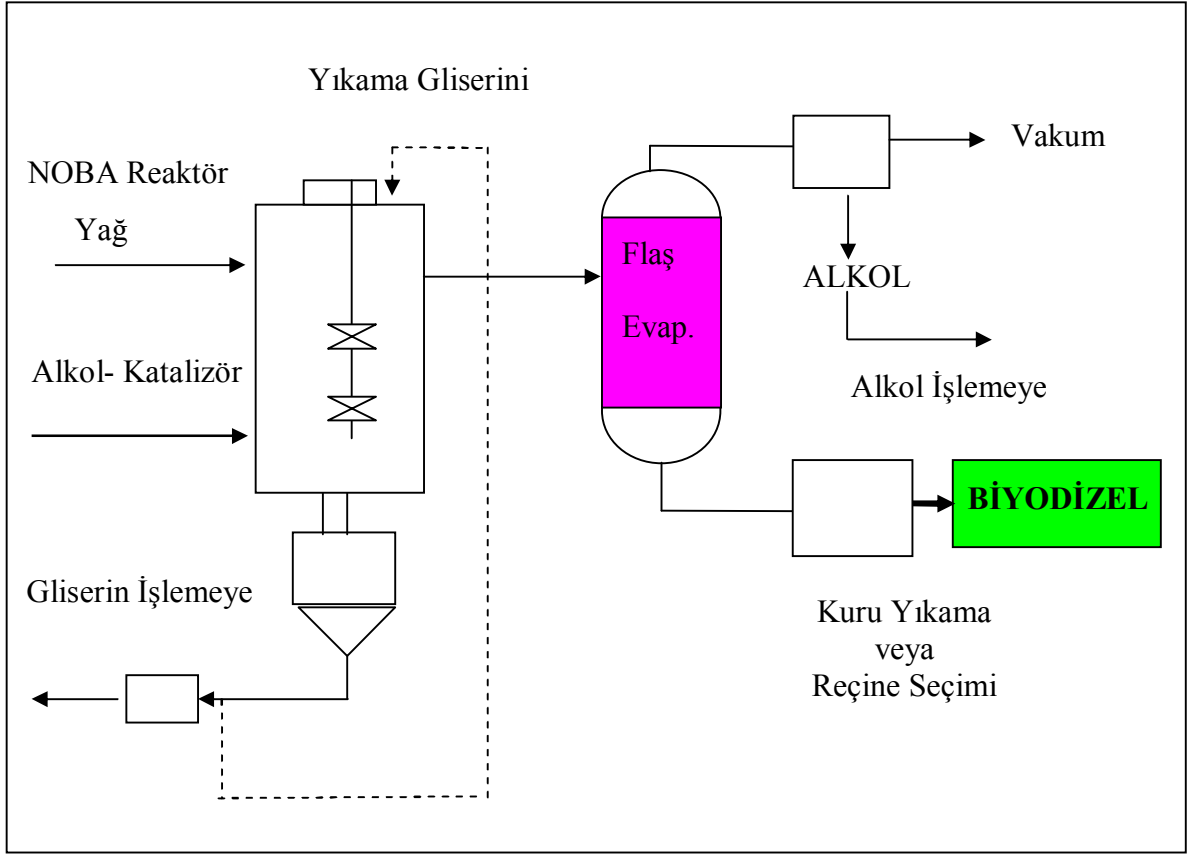
NOBA prosesi Gebze İleri teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilen kesikli veya yarı sürekli işletilebilen, homojen alkali katalizli biyodizel üretim prosesidir. Bu prosesin konvansiyonel proseslerden ana farkı yüksek asit sayısına sahip yağların kolaylıkla işlenebilmesidir. Bu amaçla kullanılan transesterleşme reaktörü 2 bölmeden oluşmaktadır (Şekil Ek 2.1). Şekil Ek 2.1'den görüldüğü gibi reaktörün alt bölümü reaksiyon başlangıcında standart biyodizelle doldurulur ve vana kapatılır. Reaktörün ana bölümüne yağ alınır ve birinci alkol ilavesi yapılır. Birinci reaksiyon tamamlandıktan sonra (15-20 dakika) karıştırma yavaş pozisyona alınarak aradaki vana açılır ve gliserinin alt bölmedeki standart biyodizelle yer değişimi sağlanır. Gliserinin standart biyodizel içinden aşağı bölmeye akması, gliserin ile birlikte sürüklenen biyodizelin ester fazına geçmesine neden olur. Bu işlem verim kayıplarının azaltılması yanında gliserinin çökeltme hızlarının artmasına da neden olur. Bu işlemden sonra aradaki vana kapatılarak ikinci alkol ilavesi yapılır ve reaksiyondan sonra vana açılarak gliserinin alt bölmeye geçmesi sağlanır. Yer değiştirme işlemi gerçekleştirildikten sonra vana kapatılır ve gliserin işlenmek üzere sistemden uzaklaştırılır. Reaktörün üst bölümündeki biyodizel, katalizör ve sabunun alınması için 1. kademe işlenmiş gliserinle yıkanır. Bu işlemden sonra flaş evaporasyon ile alkol uzaklaştırılır ve alkolü alınmış biyodizel eser miktardaki gliserol ve sabunun uzaklaşması için işlem görür. NOBA sistemi, bu amaçla uygulamadaki iki farklı metodu kullanmaktadır. Bunlardan bir tanesi katı yıkama (magnesol), diğeri ise gliserin ve sabuna affinitesi yüksek reçine kullanımındadır. Katı yıkamada katı atık oluşurken, reçine kullanımında bir atık söz konusu olmamaktadır.

NOBA sistemi uygun çalıştırma prensibine göre asit yağlardan metil ester üretiminde de başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Noba Prosesi; GYTE'de geliştirilen kesikli veya yarı sürekli homojen alkali kataliz yöntemini kullanarak, alkil ester üretimini;

Noba Prosesinin Avantajları;

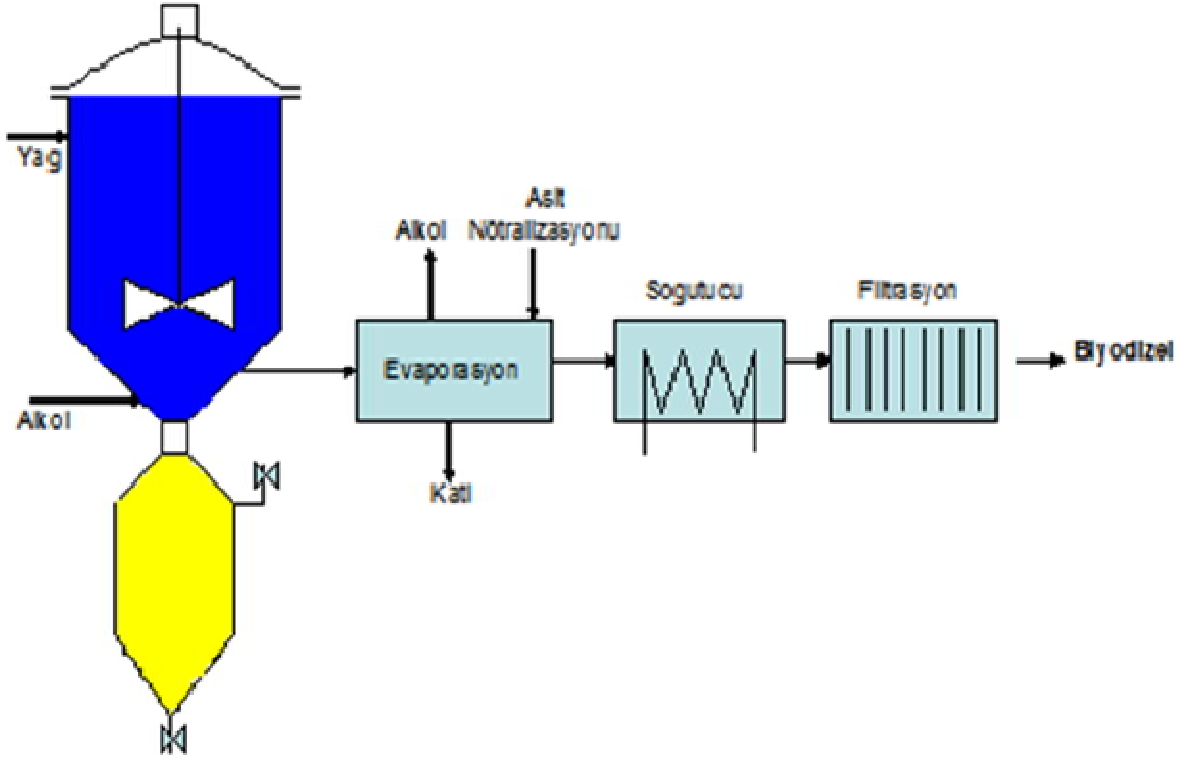
- Proses çok kademeli alkol ilavesi için ideal kullanım potansiyeline sahiptir.
- Her türlü yağ ve atık yağı kullanabilir.
- Hızlı, proses süresi 10 ton'luk reaktör için 2 saat'tir. Toplam üretim süresi 3 veya 5 saat'tir.
- Çok yüksek yağ asidi (%5,5) ve lipit (600 ppm) içeren yağları bile rahatlıkla işlemektedir.
- Uygun şekilde üretildiğinde yıkama yapılmadan EN 14214 standartlarında üretim yapmak mümkündür. Yüksek saflıkta ürün elde edilebilir.
- Mono ve diacil gliserid miktarları reaksiyon ve sıcaklıkla kontrol edilebilir.



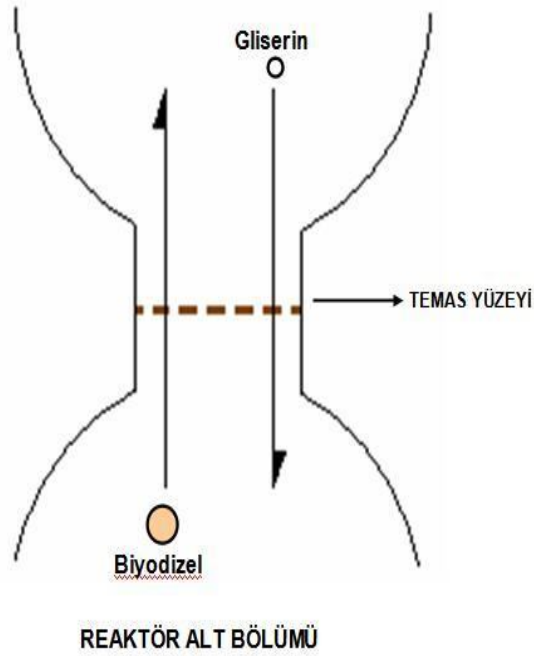
Şekil Ek 2.1 Noba reaktörlü biyodizel tesisi (Keskinler, 2006)

- Kademeli alkol ilavesi nedeniyle sabun etkili bir şekilde uzaklaştırılır.
- Minimum alkol kullanımı sağlar (%75-85). Klasik yöntemlere nazaran daha az alkol tüketerek üretim yapabilen bir prosestir.
- Minimum yatırım ve işletme maliyeti gerektirir.
- İşletimi kolay ve otomasyona elverişlidir.

Şekil Ek 2.2 Noba reaktörlü biyodizel üretimi ve Şekil Ek 2.3'de reaktör görülmektedir (Keskinler, 2006).



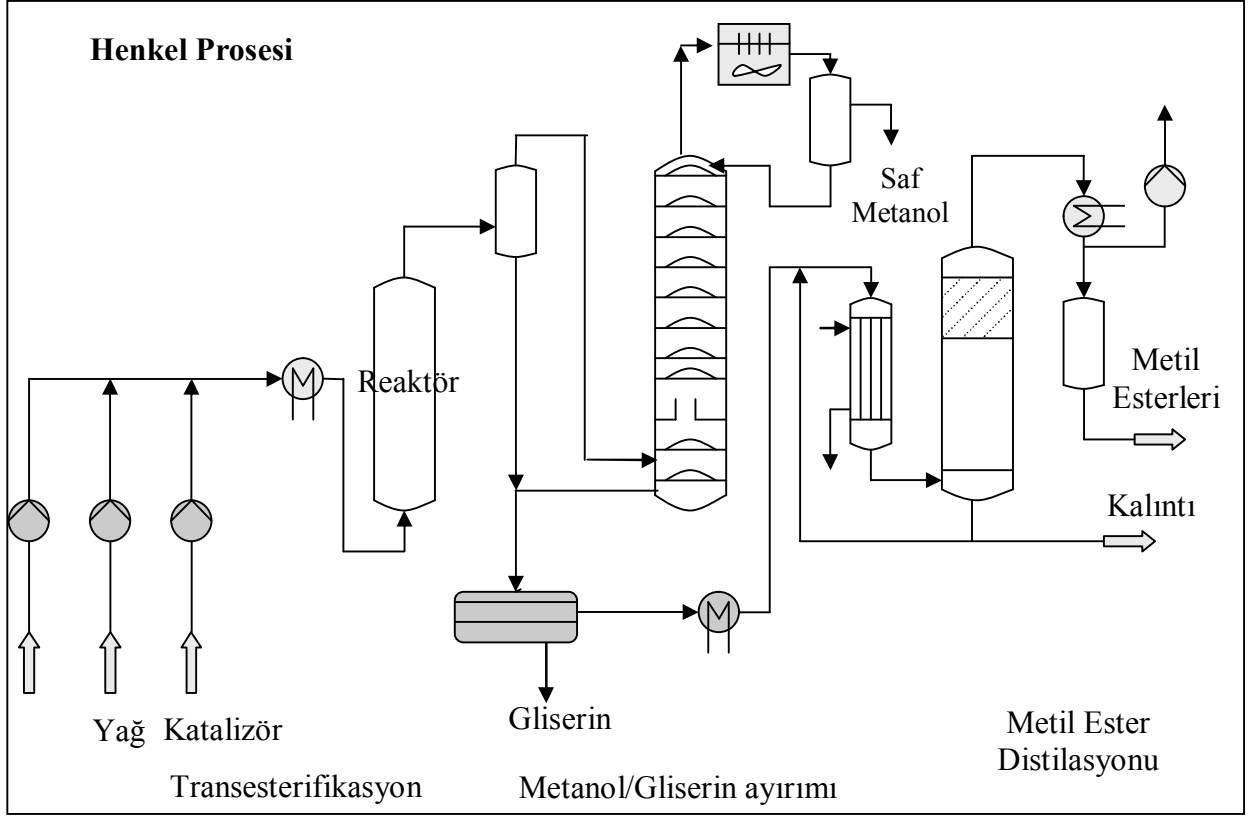
Şekil Ek 2.2 Noba reaktörlü biyodizel üretimi (Keskinler, 2006)



Şekil Ek 2.3 Noba reaktörlü (Keskinler, 2006)

### Ek 3 Henkel Prosesi

Yine tercih edilen bir diğer proseste (Şekil Ek 3.1).

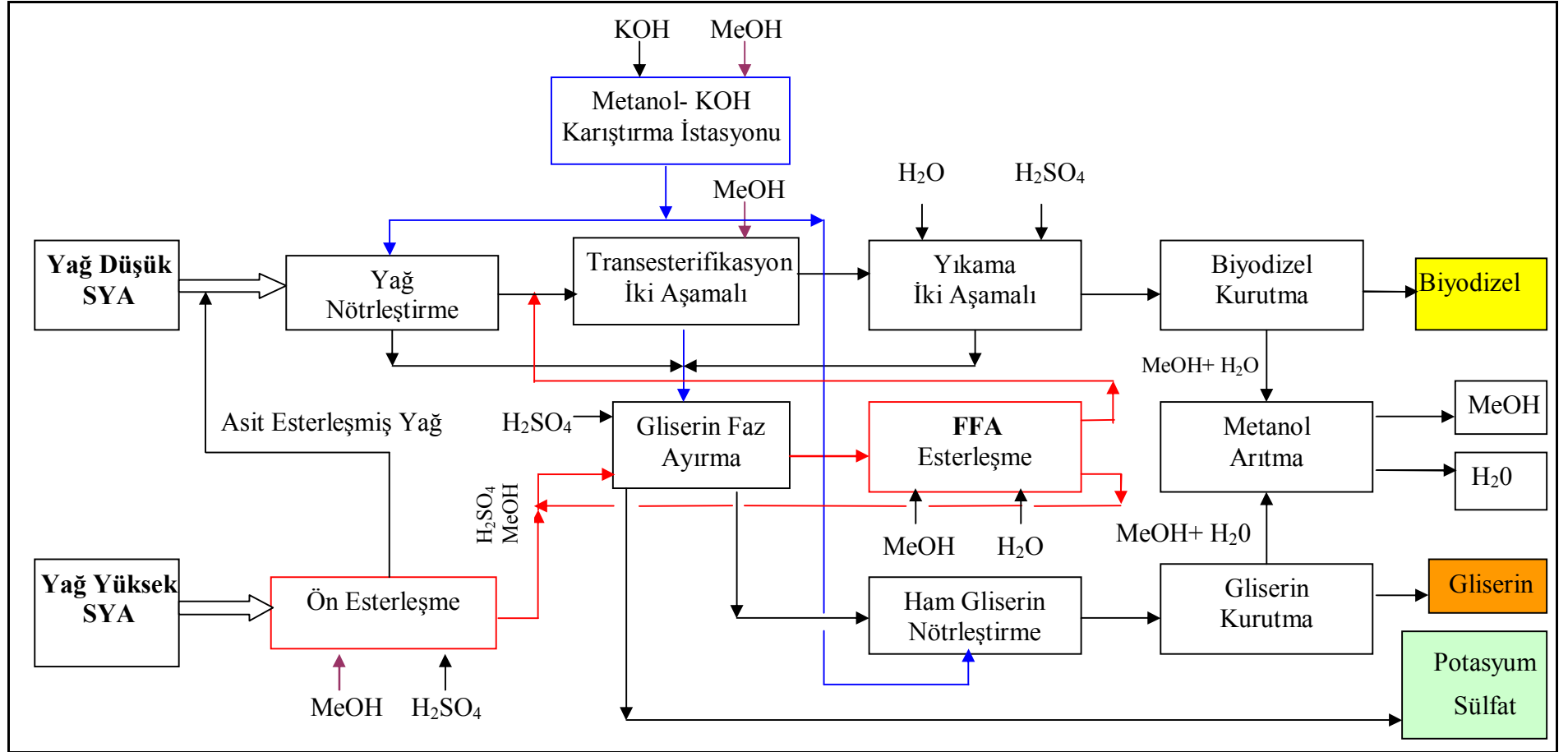


Şekil Ek 3 Biyodizel üretiminde henkel prosesi (Türkay, 2005)



#### Ek 4 Energea Proses

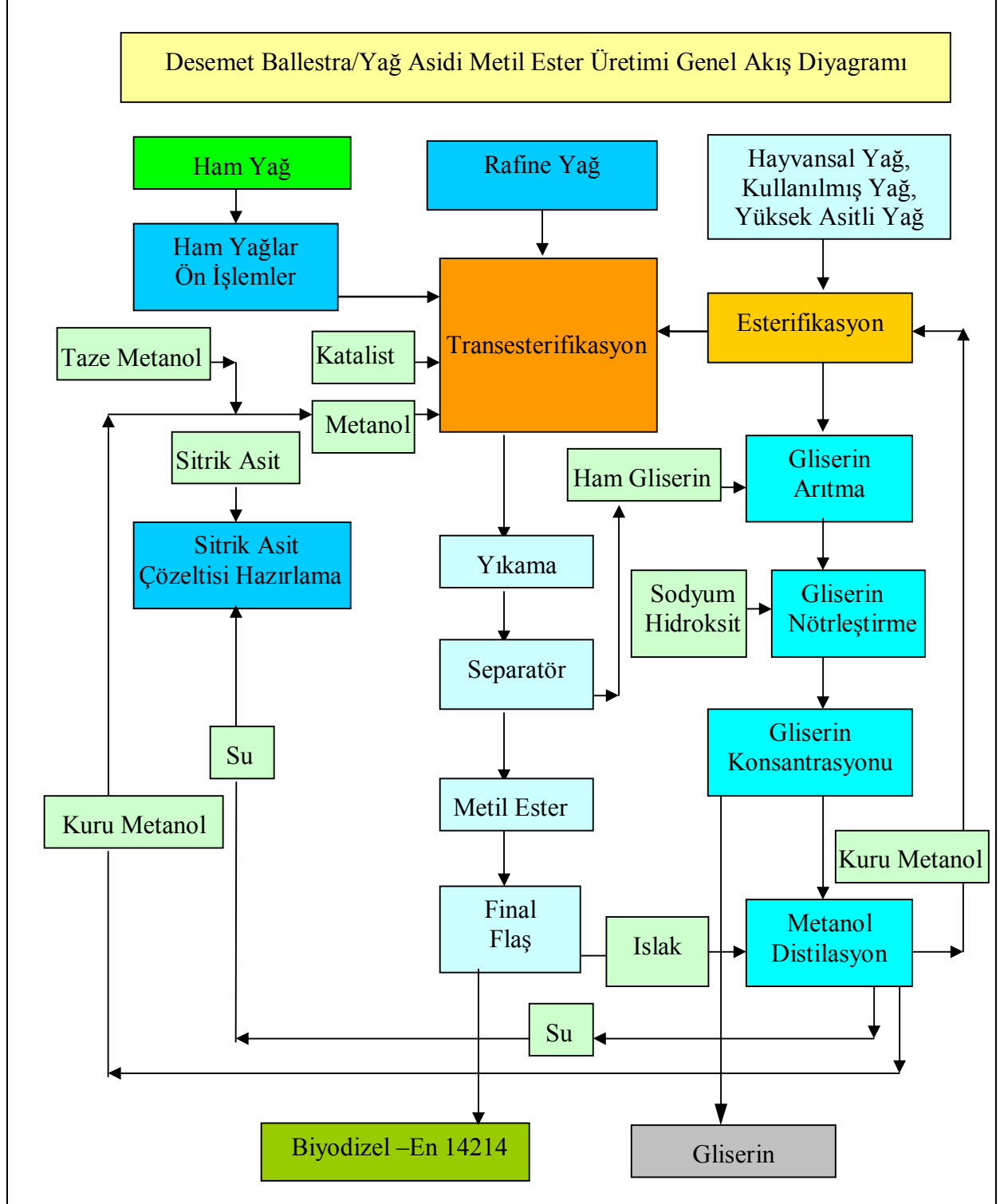
Şekil Ek 4.1 Energea biyodizel prosesi akış şeması verilmiştir.



Şekil Ek 4 Energea biyodizel prosesi akış şeması (Bacovsky vd., 2007)

### Ek 5 Desemet Ballestra Prosesi 1/Yağ Asidi Metil Ester Üretimi Genel Akış Diyagramı

Şekil Ek 5.1 Desemet ballestra prosesi 1 /yağ asidi metil ester üretimi genel akış diyagramı verilmiştir (Körbitz, 2007).



Şekil Ek 5 Desemet ballestra prosesi 1/yağ asidi metil ester üretimi genel akış diyagramı



## Ek 7 BASF Biyodizel Üretimi SYA Giderimi için asit katalizli sistem

1- Yüksek SYA için önerilen metot: Asit katalizini takip eden bazik kataliziz kullanılır.

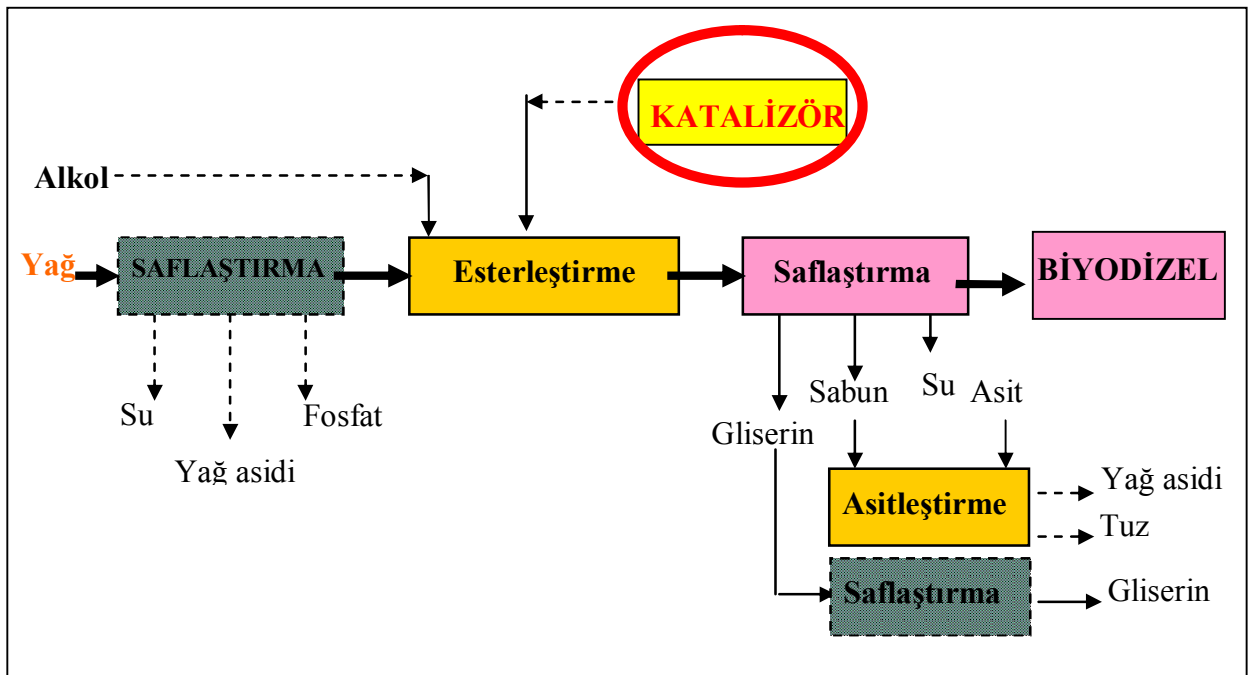
SYA < 0.5% olana kadar SYA' nin metil esterlerine dönüşümü için asit katalizör kullanılır, SYA'nin asit esterifikasyonu hızlı (1 saat) fakat asit katalizli transesterifikasyon yavaştır (60°C'de 2 gün).

Su oluşumu;

SYA + metanol ==> metil ester + su

Su problem olabilir.

2- Daha sonra, ilave metanol eklenir ve trigliseridleri transesterifiye etmek için baz katalizör ilave edilir. Şekil Ek 7.1 BASF SYA Giderimi için asit katalizli sistemi verilmiştir.



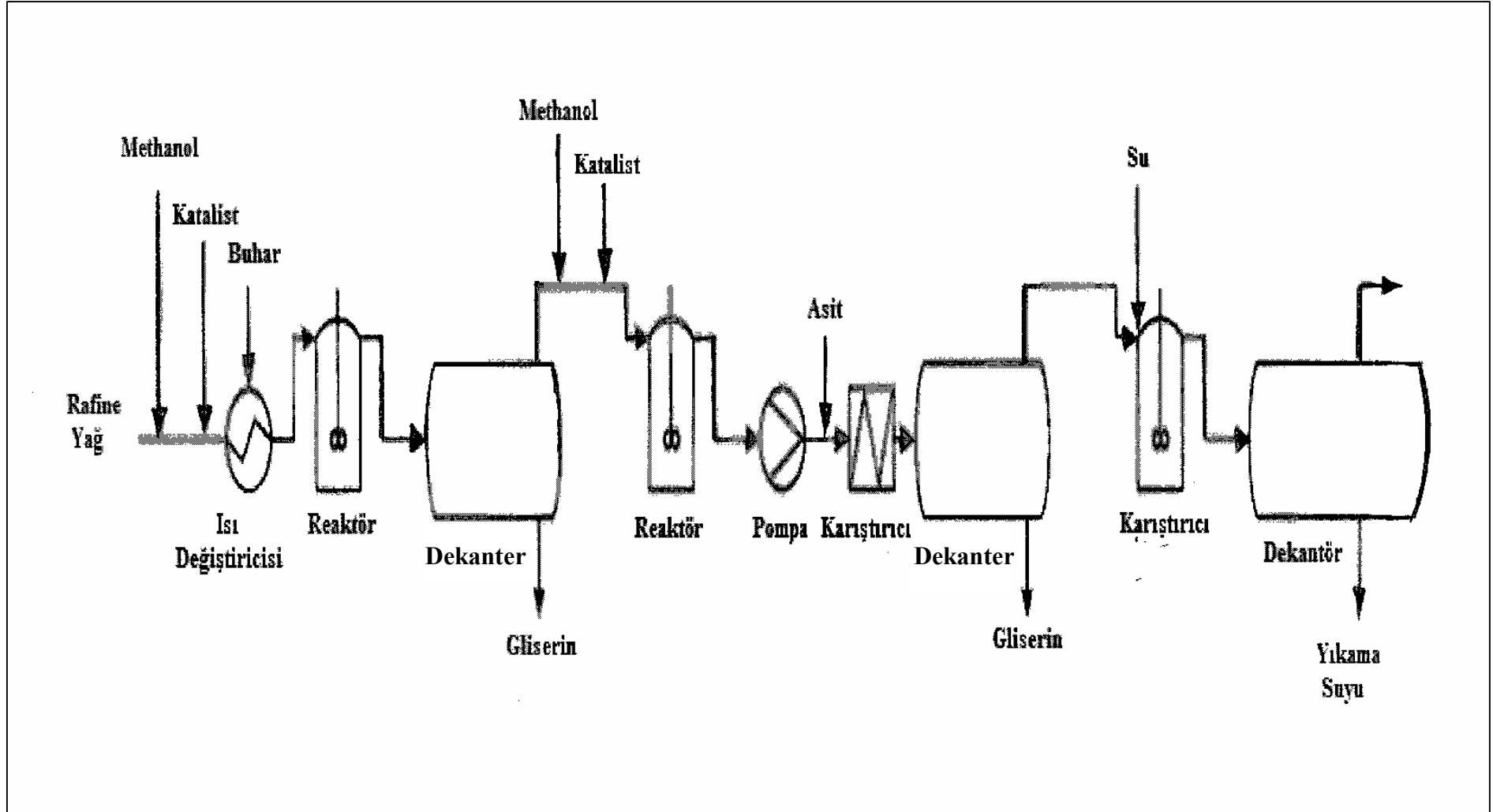
Şekil Ek 7 BASF SYA Giderimi için asit katalizli sistemi (Zadra, 2005)

**Ek 8 CROWN Prosesi**

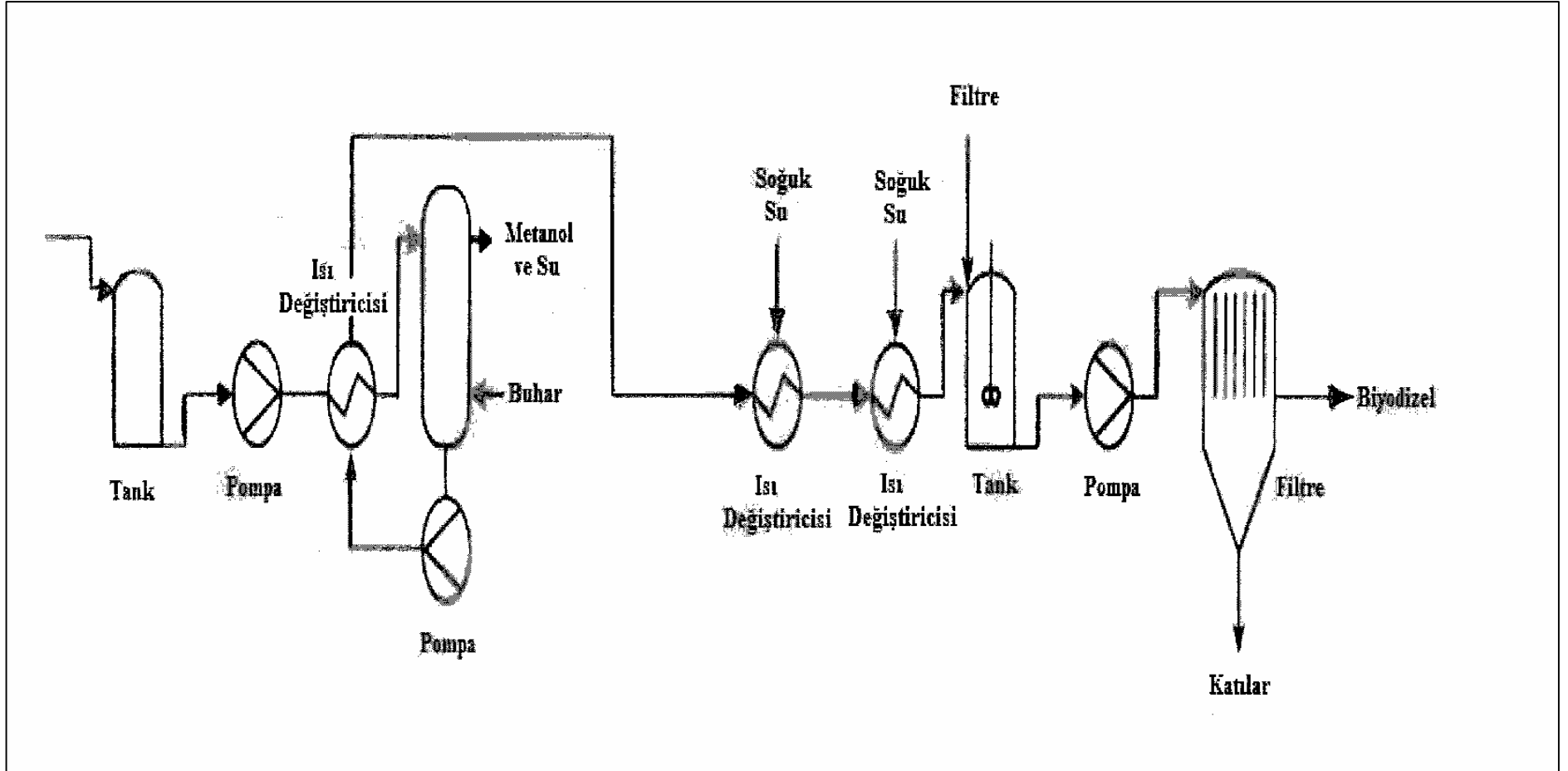
CROWN prosesi için önerilenler;

- Serbest asit ve fosfor için rafine edilmiş yağ önerilmektedir.
  - Özellikleri;
  - 0.05 % SYA,
  - < 2 ppm P,
  - 0.05 % su,
- Safsızlıkların transesterifikasyon prosesinden önce giderilme maliyeti prosesten sonra gidermekten daha ucuzdur.
- Minimum kapasite: 100 t/gün veya 35.000 t/yıl.

Şekil Ek 8.1 a) b)'de CROWN prosesi verilmiştir (Keskinler, 2006).



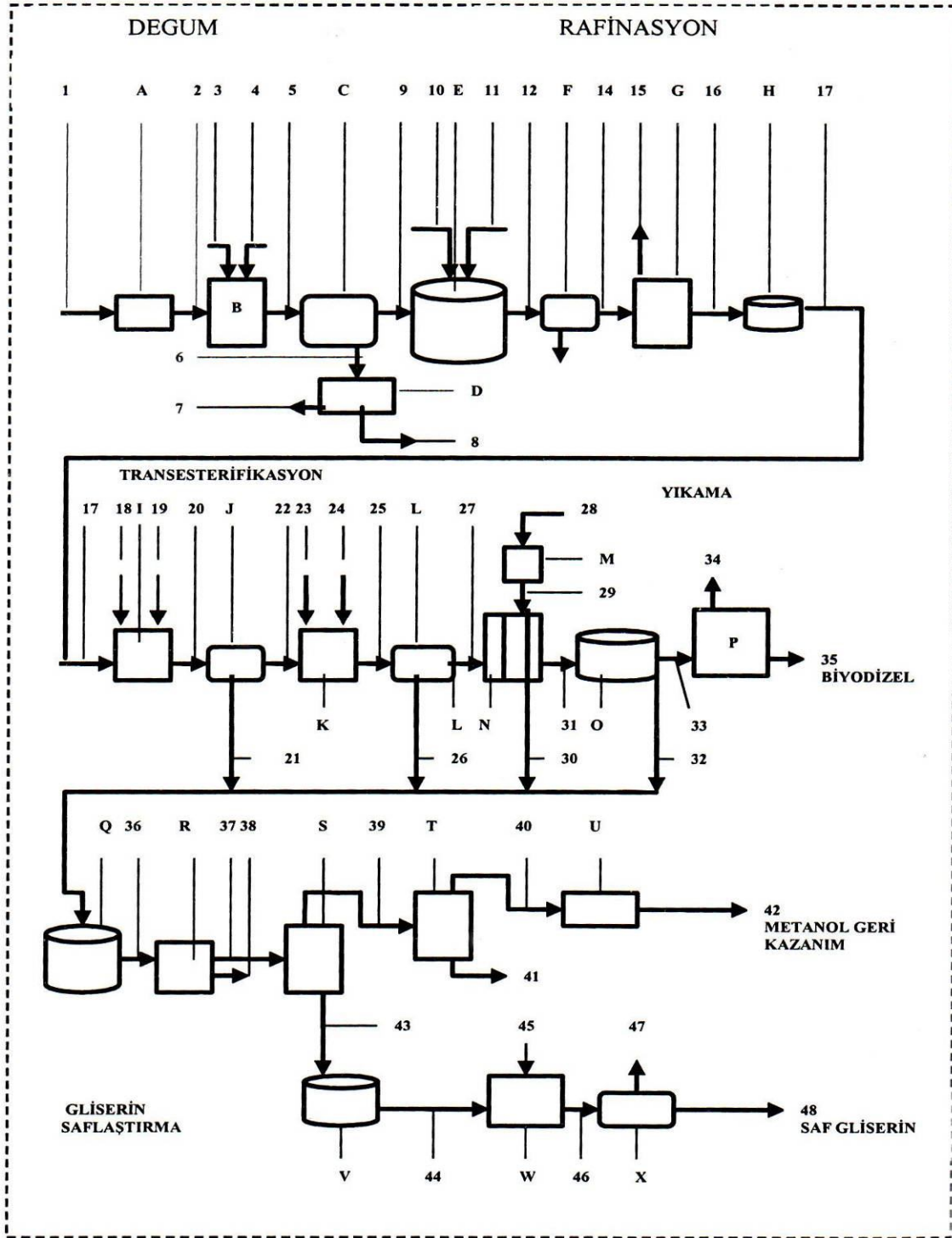
Şekil Ek 8 a) CROWN prosesi (Keskinler, 2006)



Şekil Ek 8 b) CROWN prosesi (Keskinler, 2006)

### Ek 9 Ticari Biyodizel Üretimi-1

Günümüzde biyodizel atık ticari olarak üretilmektedir. Bu nedenle bu amaca hizmet eden kompakt tesisler geliştirilmiştir. Doğal olarak bu tesislerin kapasiteleri saatlik, 200-1000 litre arasında değişebilmektedir. Böyle bir tesisin şematik görünüşü Şekil Ek 9'de verilmiştir



Şekil Ek 9 Ticari biyodizel üretimi-1 (Öğüt ve Oğuz, 2006)



Şekil üzerinde;

A: Isıtıcı

B: Karıştırma tankı

C: Santrifüj

D: Gum/su ayrışması

E: Rafinasyon tankı

F: Santrifüj

G: Vakumlu kurutucu

H: Rafine yağ tankı

I: Reaktör (1)

J: Dekanter

K: Reaktör (2)

M: Isıtıcı

N: Yıkama kolonu

O: Ayırma tankı

P: Vakumlu kurutucu

Q: Toplama tankı

R: Isıtıcı

S: Gliserin-alkol

T: Damıtma kolonu

U: Kondansör

V: Gliserin tankı

W: Tank

X: Dekanter

1: Ham yağ

2: Ham yağın ısıtılması 3: Fosforik asit

4: Yumuşak su

5: Karıştırma

6: Gum-su karışımı

7: Güm

8: Su

9: Degumlu yağ

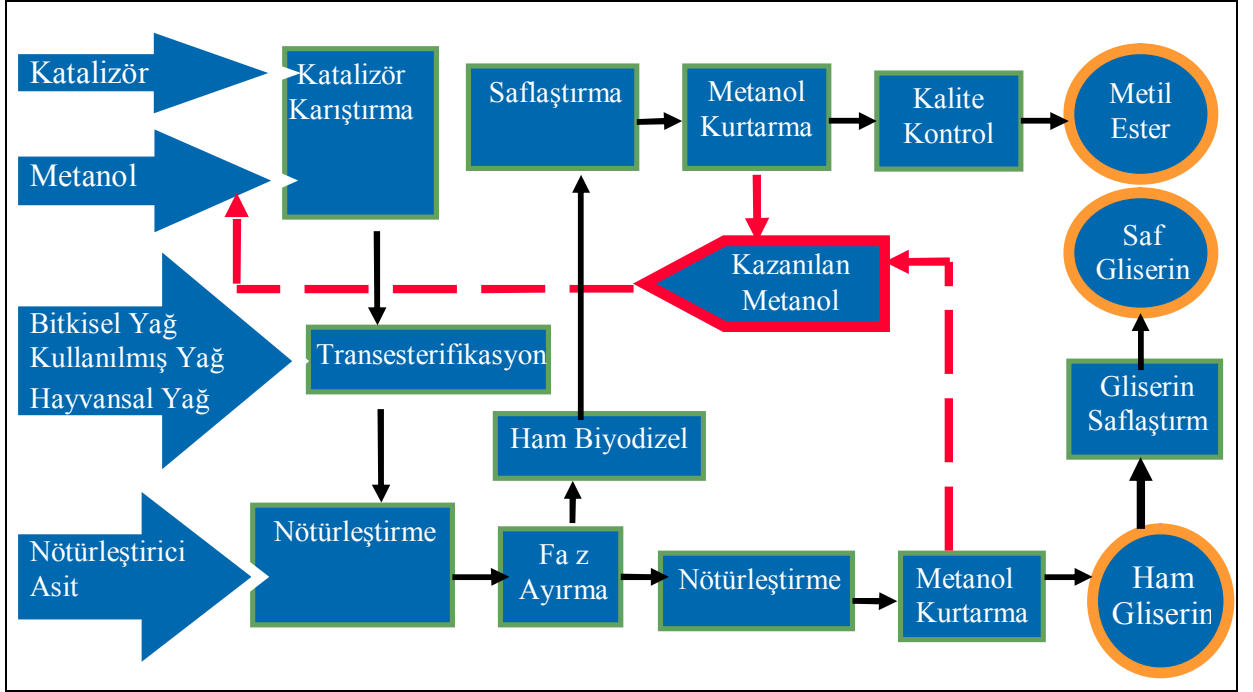
10: NaOH çözeltisi

- 11:Yıkamasuyu
- 12:Rafinasyon tankına akım
- 13: Soap stock 14: Rafine yağ
- 15: Buhar 16: Sıcak yağ
- 17: Kurutulmuş rafine yağ
- 18: Sodyum metoksit
- 19: Metil alkol
- 20: 1. Reaktöre akım
- 21: Gliserin fazı 22: Ester fazı
- 23: Sodyum metoksit
- 24: Metil alkol 25: 2.Reaktöre akım 26: Gliserin fazı 27: Ester fazı
- 28: Yıkama suyu 29: Sıcak su 30: Atık akımı
- 31: Yıkanmış ester 32: Sulu faz
- 33: Ester
- 34: Su buharı 35: Biyodizel
- 36: Gliserin/sulu faz karışımı
- 37: Isıtma
- 38: Süper ısıtma
- 39: Methanol ve su buharı
- 40: Metanol buharı
- 41: Damıtma kolonu
- 42: Metanol geri kazanım
- 43: Sıcak gliserin çözeltisi
- 44: Ham gliserin
- 45: HCl çözeltisi
- 46: Gliserin saflaştırma reaktörü
- 47: Atık
- 48: Saflaştırılmış gliserin

Biyolojik yağların içerisinde az miktarda serbest yağ asidi (SYA) ve su vardır. Serbest yağ asidi gliserine bağlanmamış uzun karbon zincirinden (karboksilik asid) oluşur. Rafine edilmemiş yağlarda SYA oranı rafine edilmiş yağa göre daha yüksektir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

## Ek 10 Ticari Biyodizel Üretimi-2

Biyodizel atık, kullanılmış yağlardan da üretilmektedir. Şekil Ek10'de verilmiştir

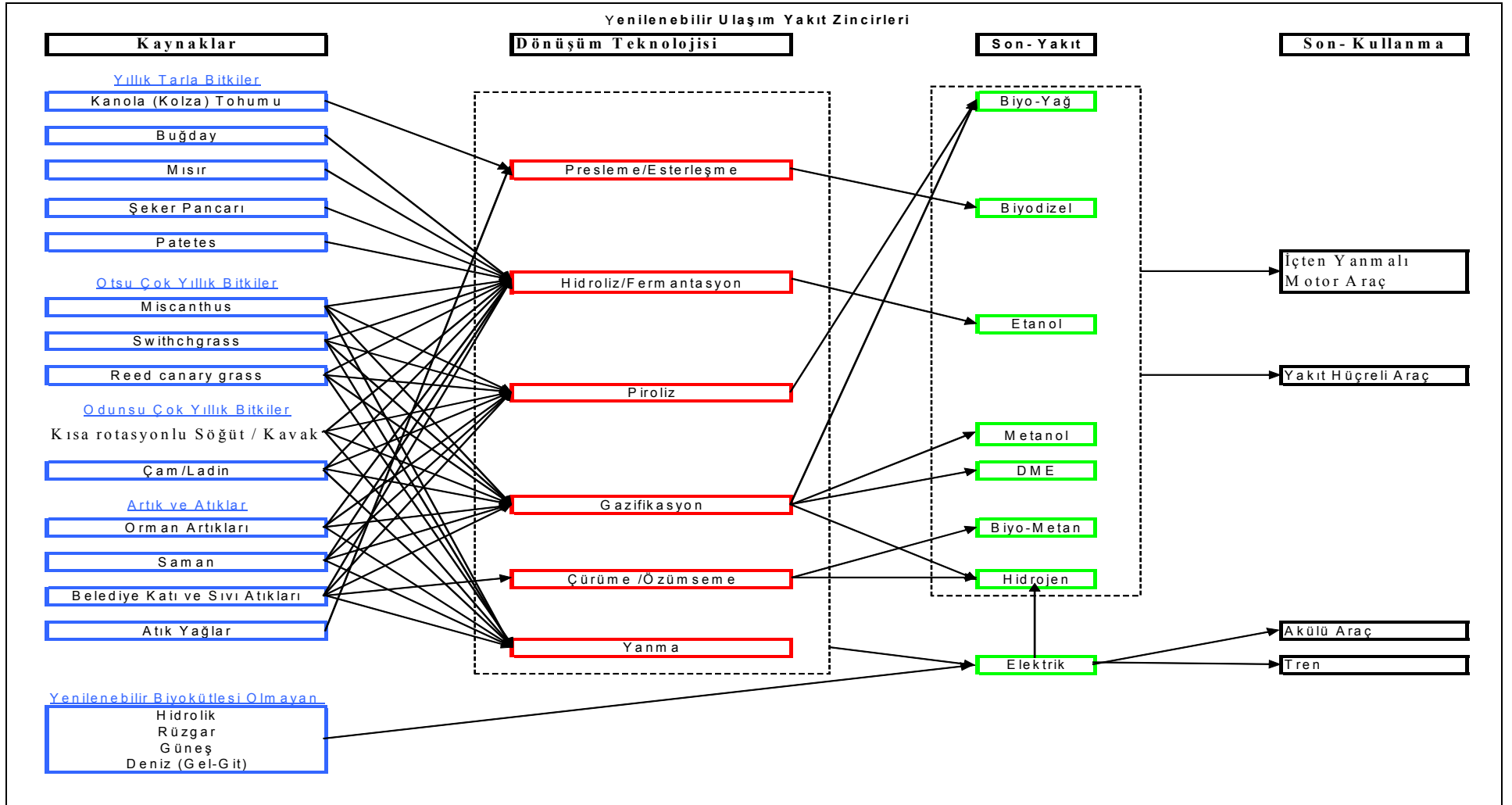


Şekil Ek 10 Ticari biyodizel üretimi-2

Çizelge Ek- 11 Yenilenebilir enerji ulaşım yakıt zinciri ve Çizelge Ek- 12 Yağların doymuş ve doymamış yağ asitleri çizelgeleri verilmiştir.

## Ek 11 Yenilenebilir Enerji Ulaşım Yakıt Zinciri

Çizelge Ek 11 Yenilenebilir enerji ulaşım yakıt zinciri çizelgesi (Rosillo-Calle, 2004)

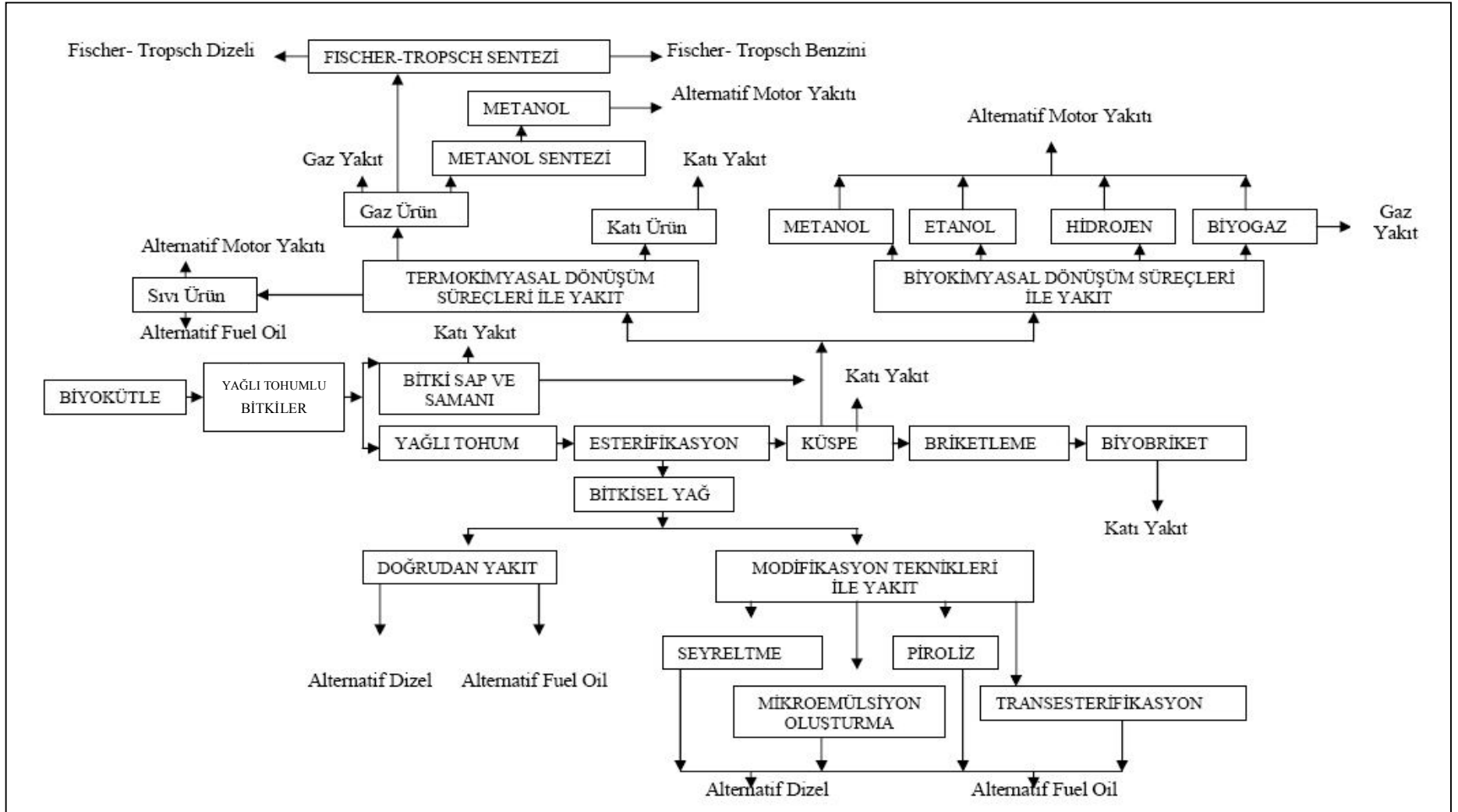


## Ek 12 Yağların Doymuş ve Doymamış Yağ Asitleri

Çizelge Ek 12 Yağların doymuş ve doymamış yağ asitleri [3]

	Doymuş									Tekli Doymamış		Çoklu Doymamış	
	Kaprilik Asid	Kaprik Asid	Laurik Asid	Miristik Asid	Palmitik Asid	Stearik Asid	Araşhidik Asid	Behenik Asid	Lignokerik Asid	Oleik Asid	Erusik Asid	Linoleik Asid	Alfa Linolenik Asid
Yağ ve Yağ Türü	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C20:0	C22:0	C24:0	C18:1	C22:1	C18:2	C18:3
Badem					7	2				69		17	
Sığır Yağı		0.1	0.1	3.3	25.2	19.2				48.9		2.7	0.5
Tereyağı	5.5	3	3.6	11.6	33.4	11.4				27.8		3.1	0.6
Kanola				0.1	3.9	3.1				60.2	0.5	21.1	11.1
Kakao Yağı					25	38				32		3	
Hindistan Cevizi	8.3	6	46.7	18.3	9.2	2.9				6.9		1.7	
Balık Yağı				8	17					22		5	
Mısır					9.9	3.1				29.1		56.8	11.1
Çiğit				0.8	22.9	3.1				18.5		54.2	0.5
Kramba					2.07	0.7	2.09	0.8	1.12	18.86	58.51	9	6.85
Bezir Yağı					3	7				21		16	53
Üzüm Tohumu					8	4				15		73	
Y.O. Aspir				0.34	5.46	1.75	0.23			79.36		12.86	
Domuz Yağı		0.1	0.2	1.4	25.5	15.8				47.1		8.9	1.1
Keten Tohumu					4.92	2.41				19.7		18.03	54.94
Zeytin					11	3.6				75.3		9.5	0.6
Hurma	0.1	0.1	0.9	1.3	43.9	4.9				39		9.5	0.3
Hurma Çiğidi		4	48	16	8	3				15		2	
Palm Olein Yağı				1	37	4				46		11	
Fıstık					10.4	8.9				47.1	0.2	32.9	0.5
Kolza Tohumu					2.7	2.8				21.9	50.9	13.1	8.6
Aspir				0.1	6.6	3.3				14.4		75.5	0.1
Susam					13.1	3.92				52.84		30.14	
Soya				0.1	10.3	4.7				22.5		54.1	8.3
Ayçiçeği				0.1	6	5.9				16		71.4	0.6
Sunola					3	4.4				88.2		4.3	0.1
Ceviz					11	5				28		51	5

### Ek 13 Yağlı tohum bitkilerinden alternatif yakıtlara geçişleri



Şekil Ek 11 Yağlı tohum bitkilerinden biyoyakıtlara geçiş (Kardaşlar, 2000)

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 15.04.1972

Doğum yeri Tokat

Lise 1986-1990 Söke Ziraat Teknik Lisesi

Lisans 1990-1994 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.  
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1995-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Doktora 2003-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

**Çalıştığı Kurumlar**

1994-1995 Kepsan Mühendislik Ltd. Şti.

1995-Devam ediyor T.K.B. İstanbul İl Tarım Müdürlüğü