



**HAM BİYODİZELDEKİ SUYUN UZAKLAŞTIRILMASI  
İÇİN AYÇİÇEĞİ ÇEKİRDEĞİ KABUĞUNUN  
BİYOADSORBENT OLARAK KULLANILMASI**

**Ayşe DIZMAN**

**Yüksek Lisans Tezi  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Proses ve Reaktör Tasarımı Bilim Dalı  
Doç. Dr. Hakan TEMUR**

**2018**

**Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAM BİYODİZELDEKİ SUYUN UZAKLAŞTIRILMASI İÇİN  
AYÇİÇEĞİ ÇEKİRDEĞİ KABUĞUNUN BİYOADSORBENT  
OLARAK KULLANILMASI**

**Ayşe DIZMAN**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Proses ve Reaktör Tasarımı Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2018**

**Her Hakkı Saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**HAM BİYODİZELDEKİ SUYUN UZAKLAŞTIRILMASI İÇİN AYÇİÇEĞİ  
ÇEKİRDEĞİ KABUĞUNUN BİYOADSORBENT OLARAK KULLANILMASI**

Doç. Dr. Hakan TEMUR danışmanlığında, Ayşe DIZMAN tarafından hazırlanan bu çalışma 14/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı-Proses ve Reaktör Tasarımı Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oyçokluğu (.../...)** kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Soner KUŞLU

İmza :

Üye : Doç. Dr. Hakan TEMUR

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Erbil KAVCI

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu **03.../01.../2019** tarih ve **01.../...07** ..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Mehmet KARAKAN**  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **HAM BİYODİZELDEKİ SUYUN UZAKLAŞTIRILMASI İÇİN AYÇİÇEĞİ ÇEKİRDEĞİ KABUĞUNUN BİYOADSORBENT OLARAK KULLANILMASI**

Ayşe DIZMAN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Proses ve Reaktör Tasarımı Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan TEMUR

Bazık katalizörlü biyodizel üretimi genellikle bitkisel yağların metanol ve NaOH veya KOH gibi bazık bir katalizör yardımıyla transesterifikasyonu ile gerçekleştirilir. Transesterifikasyon reaksiyonunun tamamlanmasının ardından biyodizel gravitasyonel çöktürme yoluyla gliserinden ayrılır. Daha sonra biyodizel katalizör, metanol ve sabun gibi safsızlıkları uzaklaştırmak amacıyla birkaç kez su ile yıkanır. Yıkama işlemi sırasında bir miktar su biyodizel içerisinde kalır. Biyodizeldeki bu su kalıntısı bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmadan önce uzaklaştırılmalıdır. Ham biyodizeldeki su ve metanol içeriğinin vakumla buharlaştırılarak uzaklaştırılması en yaygın yöntemdir. Bu ise aşırı enerji ve zaman gerektiren bir işlemdir.

Bu çalışmada ayçiçeği yağından elde edilen ve yıkama işlemine tabi tutulan biyodizeldeki su kalıntısını gidermek için, ayçiçeği kabukları bir biyoadsorbant olarak kullanılmıştır. Kabuklar öğütülmüş, boyutlarına göre ayrılmış ve önceden belirlenen şartlarda ham biyodizel ile karıştırılmıştır. Her hangi bir ön işlem görmemiş ayçiçeği kabuklarında atmosferik nemden dolayı %6.85 civarında nem bulunduğu gözlenmiştir. Adsorpsiyon kapasitesini arttırmak için ayçiçeği kabukları bir ön kurutma işlemiyle bu nem muhtevassından artırılmıştır. Kurutulmuş ayçiçeği kabuklarının ham biyodizel numuneleri için etkili bir adsorbant olarak kullanılabileceği gözlenmiştir. Sonuç olarak, uygun şartlarda ham biyodizelde yıkama işleminden kalan su içeriğinin %90'ı ayçiçeği kabuklarını bir adsorbant olarak kullanmak suretiyle uzaklaştırılmıştır.

**2018, 47 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, ayçiçeği çekirdeği kabukları, adsorpsiyon, transesterifikasyon

## **ABSTRACT**

MS Thesis

### **USE OF SUNFLOWER HULLS AS BIOADSORBENT FOR THE REMOVING OF WATER IN RAW BIODIESEL**

Ayşe DIZMAN

Atatürk University  
Graduate School of Natural And Applied Sciences  
Department of Chemical Engineering  
Process and Reactor Design

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan TEMUR

Basic catalytic biodiesel production is carried out by the reaction of vegetable oils with methanol and a basic catalyst such as NaOH and KOH. Following completion of transesterification reaction, biodiesel is separated from the glycerol by gravitational settling. Biodiesel is then washed with water a couple of times in order to remove the impurities such as catalyst, methanol and soap. On the other hand, water content of the biodiesel increases during these washing cycles, which should be removed before using it as a diesel fuel substituent in a diesel engine. Vacuum evaporation of the water and methanol content of this crude biodiesel is the most common route applied in its production. This is an excessive energy and time consuming step in the biodiesel production.

In this study, sunflower hulls (shells) were used to remove the water content of the raw biodiesel obtained from sunflower oil. Hulls were crushed, separated by size and mixed with raw biodiesel at specified experimental conditions. Sunflower hulls had already some water content as a result of open atmosphere by a ratio of 6.85%. In order to increase their water adsorption capacity sunflower hulls were pre-dried in an ordinary laboratory oven. Dried sunflower hulls behaved as an effective water adsorbent for the raw biodiesel samples. As a result, 90% of the water content of raw biodiesel sample could be removed by using pre-dried sunflower shells as a water adsorption agent.

**2018, 47 pages**

**Keywords:** Biodiesel, sunflower seed shells, adsorption, transesterification

## **TEŞEKKÜR**

Çalıőmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen ve çalışmanın her aşamasında değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaőan tez yöneticim Sayın Doç. Dr. Hakan TEMÜR'e sonsuz teőekkürlerimi sunuyorum.

**Ayşe DIZMAN**

**Kasım, 2018**



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Biyodizel .....	3
1.2. Biyodizelin Saflaştırılması .....	6
1.3. Biyodizelin Kurutulması .....	7
1.4. Adsorpsiyon.....	7
1.5. Bir alternatif bioadsorbant olarak ayçiçeği çekirdeği kabuğu.....	9
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>14</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>23</b>
3.1. Ayçiçeği Kabuğunun Hazırlanması.....	23
3.2. Biyodizel Üretimi .....	25
3.3. Ayırma.....	25
3.4. Biyodizelin Yıkanması .....	26
3.5. Adsorpsiyon Deneyleri.....	27
3.6. Su Tayini .....	28
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>30</b>
4.1. Ayçiçeği Çekirdeği Kabuğunun Adsorbant Olarak Kullanılması .....	30
4.2. Çekirdek Kabuğunun Kurutulması.....	31
4.3. Çekirdek Kabuğunun Yüzey Özellikleri .....	32
4.4. Tane Boyutunun Etkisi .....	33
4.5. Sıcaklığın Etkisi .....	38
4.6. Adsorbant Miktarı-Ham Biyodizel Oranının Adsorpsiyon Üzerine Etkisi .....	39
4.7. Ayçiçeği Kabuğu ile Tutulan Biyodizel Miktarı .....	40
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>41</b>

KAYNAKLAR .....	43
ÖZGEÇMİŞ .....	48





## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°C	Santigrat
µm	Mikrometre
Cal	Kalori
dm <sup>3</sup>	Desimetreküp
g	Gram
h	Saat
kg	Kilogram
L	Litre
Mg	Miligram
mL	Mililitre
mmol	Milimol

### Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CH <sub>3</sub> OH	Metanol
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
KOH	Potasyum hidroksit
NaOH	Sodyum Hidroksit
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TCP	Triklorofenol

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Baz katalizörlü biyodizel üretimi akış diyagramı .....	4
Şekil 1.2. Bir yağ (trigliserid) molekülü ( $C_{55}H_{98}O_6$ ) .....	4
Şekil 1.3. Baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu .....	5
Şekil 1.4. Sabunlaşma reaksiyonu .....	5
Şekil 3.1. Eleme işleminde kullanılan standart elekler. ....	24
Şekil 3.2. Farklı tane boyutlarına elenmiş ayçiçeği kabukları .....	24
Şekil 3.3. Biyodizel üretim düzeneği .....	25
Şekil 3.4. Ayırma hunisine alınan gliserinin biyodizelden ayrılması .....	26
Şekil 3.5. Yıkama işlemi .....	27
Şekil 3.6. Karıştırma sırasında (a) ve karıştırma sonunda (b) biyodizel/kabuk karışımı. ....	28
Şekil 3.7. Su analiz cihazı .....	29
Şekil 3.8. Adsorpsiyondan sonra süzülerek biyodizelden ayrılmış kabuklar .....	29
Şekil 4.1. Kurutulmayan kabuktaki su içeriğinin zamanla değişimi .....	31
Şekil 4.2. Kurutulan kabuklardaki su içeriğinin zamanla değişimi. ....	32
Şekil 4.3. Kabuk tane boyutunun su adsorpsiyonu üzerine etkisi.....	34
Şekil 4.4. Kabuk yüzeyindeki oval boşluklar .....	35
Şekil 4.5. Tomurcuklu kabuk yüzeyleri.....	36
Şekil 4.6. Kırık çekirdek kabuğu kesitleri .....	37
Şekil 4.7. Ham biyodizeldeki suyun çekirdek kabuğu ile adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi .....	38
Şekil 4.8. Katı-sıvı oranının adsorpsiyon üzerine etkisi .....	39

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Dünyada ayçiçeği çekirdeği üretimi. ....	10
Çizelge 1.2.a. Bölgelere göre Türkiye’de ayçiçeği çekirdeği üretimi. ....	10
Çizelge 1.2.b. Türkiye’de yağlık ayçiçeği çekirdeği üretimi.....	11
Çizelge 1.3. Ayçiçeği kabuğunun içeriği.....	12
Çizelge 3.1. Ayçiçeği kabuğu için tane boyutları.....	23
Çizelge 3.2. İncelenen ve sabit tutulan parametreler ve seviyeleri.....	27
Çizelge 4.1. Çekirdeğin tane boyutuna göre nem içeriği.....	30

## 1. GİRİŞ

Enerji, bir ülke için ekonomik ve sosyal kalkınma arasında bir bağ olup, üretimdeki en önemli faktörlerden biridir. Ekonomik ilerlemede refah artışıyla enerji tüketiminin arttığı görülmektedir (Koç ve Şenel 2013).

Enerji iş yapma kabiliyeti olarak bilinir (Levenspiel 1996). Ayrıca enerji herhangi bir nesne üzerinde çalışma veya nesneye aktarılması gereken ve dönüştürülebilen, ancak yaratılamayan ve yok edilemeyen özellik olarak tanımlanır (Lehrman 1973). Ölçülebilir bir büyüklüktür. Günlük hayatta her alanda kullanılan enerji; kimyasal, nükleer, mekanik (potansiyel ve kinetik), termal (ısı), jeotermal, hidrolik, rüzgâr, güneş, elektrik enerjisi gibi çeşitli türlerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle bir türden diğerine dönüştürülebilmektedir. Yenilenebilirliklerine göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki kısma ayrılır. Enerji kaynakları arasında oluşumu çok uzun süren enerji kaynaklarına yenilenemez enerji denilmektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarının bir süre sonra tükenebileceği düşünülmektedir. Bunlar fosil ve nükleer enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise kısa zaman süreleri içinde yenilenebilen kaynaklar olarak ifade edilmektedir. Dönüştürülebilirliklerine göre ise enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılmıştır. Birincil enerji kaynağı herhangi bir enerji dönüşümüne uğramamış enerjiye denir ve yenilenebilir ve yenilenemez enerjiyi kapsar. Örnek olarak kömür, petrol, doğalgaz, nükleer, biyokütle, hidrolik, güneş, rüzgâr, dalga, gel-git gibi enerji türleri verilebilir. İkincil enerji kaynağı ise birincil enerji dönüşüm yöntemleriyle daha elverişli enerji çeşitlerine çevrilen kaynaklara verilen addır. Örnek olarak elektrik, benzin, motorin, hava gazı, sıvılaştırılmış petrol gazı verilebilir (LPG) (Kydes and Andy 2006).

Teknolojik gelişmeler, piyasadaki yakıt çeşitliliğini artırırken bu çeşitliliğin bulunabilirliğini de artırmıştır. Dünya ölçeğinde CO<sub>2</sub> salınımında 2015 yılı itibariyle çok az bir artış olmuştur. Bunun nedeni küresel enerji tüketimindeki azalmanın yanı sıra farklı yakıtların kullanılmasıdır (Anonim 2016).

Doğal olarak oluşan fosil yakıtlar organik veya kovalent bağlı karbon ihtiva eden katı, sıvı veya gaz halindeki maddelerdir ve jeolojik zaman periyodu boyunca bitki ve hayvan kalıntılarının kimyasal ve fiziksel dönüşümleri sonucu oluşmuşlardır. Böylece tüm fosil yakıtlar, kimyasal potansiyel enerji depolarıdır. Doğru koşullar altında bu kimyasal potansiyel enerji faydalı amaçlar için kullanılabilir. Genellikle oksitlenme oksijen atomlarının oksidasyonunda olduğu gibi başka bir madde ile birleşmesine neden olan bir kimyasal reaksiyon olarak düşünülebilir. Yakıtların oksidasyonu hızlıdır ve reaksiyon sırasında başlıca ısı üretilirse, bu işlem yanma olarak adlandırılır. Yanmayı, yakıtın elektrokimyasal oksidasyonundan ayırt etmek için bu tanım kullanılır. Endüstriyel olarak kullanılan başlıca fosil yakıtlar kömür, doğal gaz ve petroldür. Günlük hayatta kullanılan yakıtların çoğu doğal olarak oluşan fosil yakıtlardan elde edilir. Benzin, dizel yakıtı, jet yakıtı ve fuel oil gibi fosil yakıtlar ise petrolden rafine edilirler. Kömür, elektrik üretmek için yakılmadan önce daha az istenen bileşenlerin fiziksel ayrımlarını gerçekleştirmek üzere yıkanır veya başka şekilde işleminden geçirilir. Kendi başına doğal bir temiz yakıt olan doğal gaz bile bazı işlemlerden geçirilir.

Fosil yakıtlar günlük hayatta yaygın olarak kullanılmasına rağmen çeşitli zararları mevcuttur. Fosil yakıtlar kullanıldığı zaman hava kirliliğine yol açar. Bu yakıtların kullanımı kaynaklı oluşan gazlar canlılarda çeşitli hastalıklara sebep olur. Fosil yakıtlar asit yağmurlarının oluşmasına sebep olur. Küresel ısınmanın başlıca kaynağı fosil yakıtlar olarak görülmektedir. Ülkelerin petrole rağbeti yüzünden ölüm ve göçlerle sonuçlanan değişik toplumsal problemlerin yanısıra fosil yakıtlar nedeniyle ekolojik dengenin bozulması da mümkündür (Uyar 2016). Ayrıca fosil yakıt kullanımının artması, yerel hava kirliliğini yoğunlaştırmaktadır (Krawczyk 1996).

Dünyada en fazla kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisidir.

Biyokütle, içerisinde karbonhidrat bileşikleri bulunan bitkisel ve hayvansal kökenli maddelerdir. Biyokütle katı, sıvı veya gaz olabilir. Biyoetanol, biyodizel ve biyogaz olmak üzere üç temel yakıt, ticari önem taşıyan biyokütle enerji kaynakları olarak

kullanılır. Bunlar içerisinde biyodizel ise en fazla kullanılan biyokütle esaslı yakıt (biyoyakıt) olarak dikkat çekmektedir.

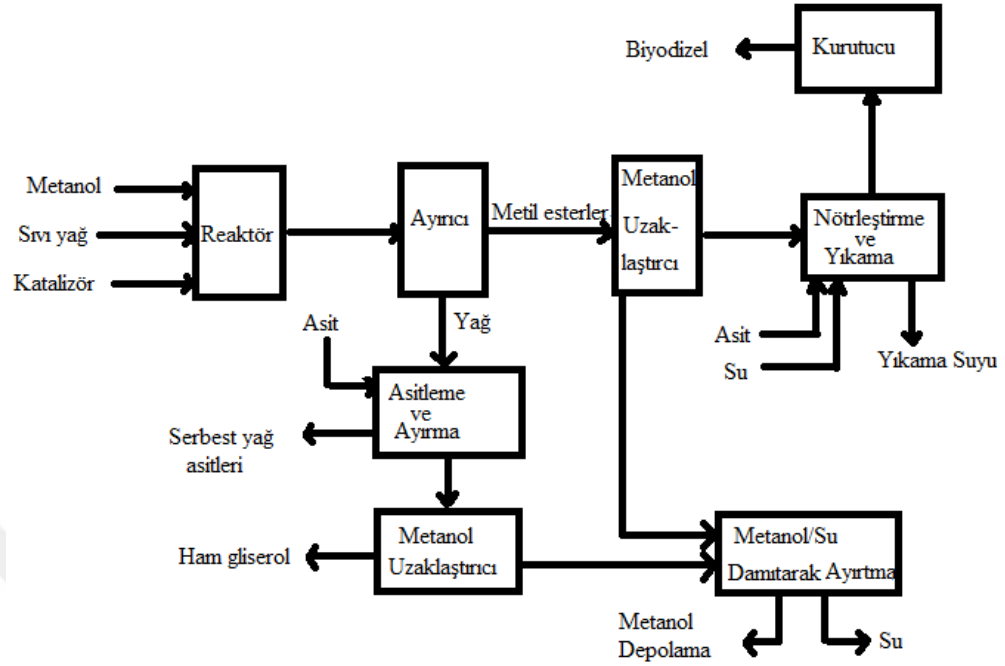
### 1.1. Biyodizel

Biyodizel, petrol dizel yakıtına alternatif olarak görülmüş ve kanıtlanmış bir yenilenebilir yakıttır. Dizel motorlarda çok az değişiklik yapılarak kullanılabilir. Çevreyi daha az kirlettiği belirlenmiştir. Dizel yakıtına alternatif olan biyodizel, bitkisel ve hayvansal yağlar gibi yenilenebilir, biyolojik kaynaklardan üretilmektedir. Biyolojik olarak parçalanabilir olup toksik değildir. Ayrıca düşük emisyon özelliklerine sahiptir ve dolayısıyla çevreye daha az zararlıdır (Krawczyk 1996; McCormick *et al.* 1998).

Biyodizel yenilenebilir olması ve çevresel faydalarından dolayı giderek daha fazla rağbet görmektedir. Biyodizelin dezavantajı ise maliyetinin yüksek ve yağ kaynaklarının sınırlı olmasıdır. Biyodizelin maliyeti, hammadde maliyetleri ve işletme maliyeti olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Hammadde maliyeti, biyodizel yakıtının toplam maliyetinin %60 ile %75'ini oluşturmaktadır (Krawczyk 1996). Biyodizel üretiminde atık yağın hammadde olarak kullanılması maliyeti önemli ölçüde düşürebilir. Bununla birlikte, atık kızartma yağlarından üretilen biyodizelin kalitesi daha düşük olabilir (Murayama 1994).

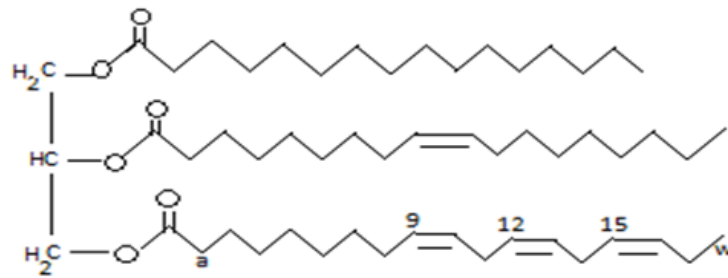
Biyodizel, daha düşük kirlilik seviyelerinin önemli olduğu madencilik ve deniz koşullarında özellikle yararlıdır (Ma and Milford 1998).

Biyodizel üretimi günümüzde yağlardan üç temel yöntemle gerçekleştirilir. Bunlar, baz katalizli olan yağ transesterifikasyonu, doğrudan asit katalizi ile yağın transesterifikasyonu, ve yağın enzimatik reaksiyonlarla biyodizele dönüştürülmesidir. Biyodizel genel olarak en ekonomik yöntem olan ve sadece düşük sıcaklık ve basınç gerektirip yüksek verim elde edilebilen baz katalizli transesterifikasyon yöntemi ile üretilmektedir. Üretimi için genel bir akış şeması Şekil 1.1 de görülmektedir.



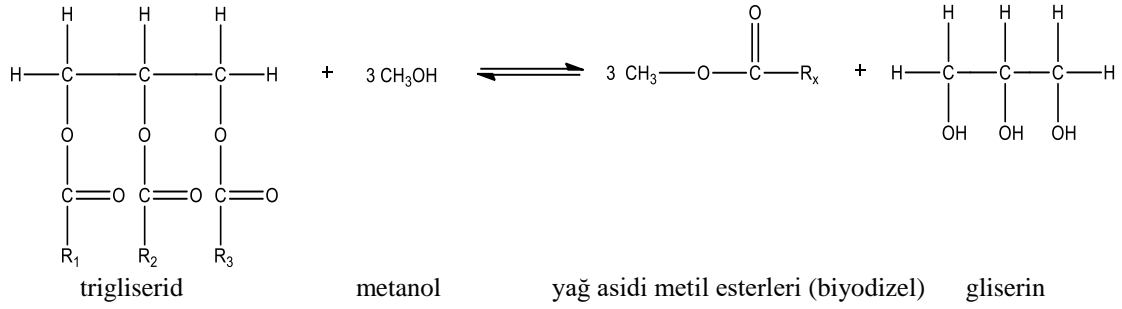
**Şekil 1.1.** Baz katalizörlü biyodizel üretimi akış diyagramı

Bitkisel ve hayvansal yağlar trigliserid olarak bilinen organik bileşiklerdir. Bir trigliseridin yapısını üç uzun zincirli yağ asidi bulunduran gliserin molekülleri oluşturmaktadır (Şekil 1.2).



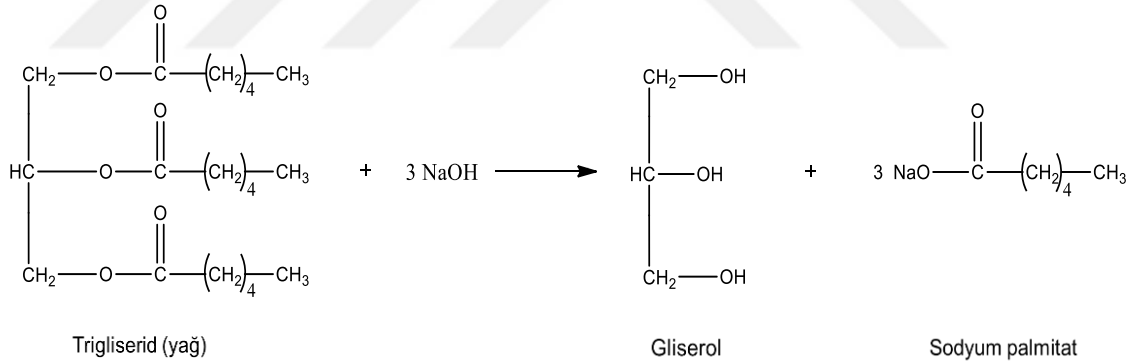
**Şekil 1.2.** Bir yağ (trigliserid) molekülü ( $C_{55}H_{98}O_6$ )

Yağların transesterifikasyonunda bir trigliserid molekülü bir alkol ile (çoğunlukla metanol) reaksiyona girerek daha küçük ester molekülleri ve gliserol oluşturur (Şekil 1.3). Yağın karakteristik özellikleri gliserine bağlı olan yağ asidinin yapısı ile belirlenir. Yağ asitlerinin bu yapısı aynı zamanda biyodizelin karakteristik özelliklerini de belirler.



**Şekil 1.3.** Baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu

Bazik katalizörlü biyodizel üretiminde, kullanılan yağ ile birlikte su ve serbest yağ asitlerinin fazla miktarda bulunması trigliseridin sabunlaşmasına yol açar ki bu, biyodizel verimini düşüren bir yan reaksiyondur (Şekil 1.4). Bu yüzden biyodizel üretimi için kullanılacak bitkisel yağda su ve serbest yağ asidi içeriğinin düşük seviyede olması gerekir.



**Şekil 1.4.** Sabunlaşma reaksiyonu

Bazik transesterifikasyon prosesinde bazik bir katalizör varlığında trigliserid ile alkol molekülleri reaksiyona girerler. Yağ asitleri ile alkolün reaksiyonu sonucunda mono alkil ester karışımı (biyodizel) ve ham gliserol oluşur. Reaksiyon için seçilen alkol genellikle metanol veya etanoldür. Katalizör olarak genellikle sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit gibi kuvvetli bazlar kullanılır. Yağ ve alkol arasında tersinir bir reaksiyon gerçekleşir. Bu nedenle veriminin artırılması için ortama alkolün aşırısının



konulması gerekir. Reaksiyon tamamlandıktan sonra gliserol ve ester tabakaları yer çekimi etkisiyle kısa sürede ayrılır (Acaroğlu, 2003).

## 1.2. Biyodizelin Saflaştırılması

Biyodizel gliserinden ayrıldıktan sonra içerisinde bir miktar, sabun, metanol, NaOH, KOH serbest yağ asitleri, mono ve di-gliseridler kalır. Gliserinden ayrılan ham biyodizelin içerdiği bu safsızlıklar kullanım ve depolama sırasında serbest yağ asitlerinin oluşması, düşük oksidasyon kararlılığı, korozyon, yüksek yoğunluk ve viskozite, enjektör birikimi ve kristalizasyon gibi problemlere yol açabilir (Berrios *et al.* 2008). Bu safsızlıkları uzaklaştırmak için uygulanan başlıca yöntem ham biyodizel ürününü yıkamaktır. Yıkama işlemi çoğu kez birden fazla defa yapılır. Su, gliserol, metanol ve katalizörü metil esterden daha fazla çözer. Metil esterin yoğunluğu sudan düşük olduğundan bu safsızlıkların çoğu su ile beraber alt kısımda toplanır (Di Felice *et al.* 2008). Ayrıca yıkama suyunun bir miktar asitlendirilmesi sabunun uzaklaştırılmasında olumlu etki yapar (Van Gerpen *et al.* 2003).

Diğer taraftan yıkama işlemi hem çok miktarda su gerektirir hem de yıkama işleminden sonra bu suyun bir buharlaştırma adımı ile uzaklaştırılmasına ihtiyaç duyulur. Ayrıca yıkama suyu çok miktarda organik madde içerdiği için doğrudan atık su sistemine verilemeyeceğinden arıtılması gerekmektedir (Lamers 2010).

Su ile yıkamanın yanı sıra membran ile filtrasyon, adsorbant ve iyon değiştirici reçine kullanımı gibi alternatif saflaştırma yöntemleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir (He *et al.* 2006; Kucek *et al.* 2007; Berrios *et al.* 2008; Wang *et al.* 2009). Bu yöntemlerde bile çoğu zaman işlemin ilk aşamasında su ile yıkama yapılmakta (Kucek *et al.* 2007) daha sonra alternatif ayırma işlemi uygulanmaktadır.

### **1.3. Yıkamadan Sonra Biyodizelin Kurutulması**

Suyla yıkama işlemiyle biyodizelde kalan pek çok safsızlık giderilebilmektedir. Ancak yukarıda da belirtildiği gibi yıkama işlemi safsızlıkların uzaklaştırılmasında etkili bir yöntem olmakla beraber, bir miktar yıkama suyunun biyodizelde kalması kaçınılmazdır. Bu su kalıntısının biyodizel yakıt olarak kullanılmadan önce uzaklaştırılması büyük önem taşımaktadır. TS EN 14214 standardına göre biyodizel içerisinde bulunabilecek suyun maksimum miktarı 500 mg/kg olarak belirlenmiştir. Bu yüzden yıkama işlemi sonunda biyodizel içerisinde kalan suyun uzaklaştırılması önemli bir husustur. Bu suyun uzaklaştırılması için uygulanan başlıca yöntemler biyodizeli vakum altında ısıtarak mevcut suyu buharlaştırmak veya ham biyodizeli bir kurutucu üzerinden geçirerek kurutmaktır (Yüce 2008; Öner 2011).

### **1.4. Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon, yüzeyde ya da ara kesitte başka bir maddenin tutunması ve maddenin konsantrasyonunun artması olarak tanımlanır. Sıvı, gaz, katı veya iki sıvı arasındaki temas yüzeyi tanımda bahsi geçen ara kesittir. Moleküllerin yüzeye tutunması adhezyon kuvvetleri sayesinde olur (Orbak 2009). Adsorpsiyon işleminde tutunan türlere adsorbat veya adsorplanan madde denir. Tutunan türler bir ya da daha fazla sayıda olabilir. Adsorbanın iyi bir adsorban olduğunun en iyi göstergesi birim kütle başına fazlaca yüzey alanına sahip olmasıdır. Adsorpsiyonun yüzeyinde gerçekleştiği maddeye adsorbent veya adsorban denir. Her maddenin adsorpsiyon özellikleri farklıdır (Alyüz ve Veli 2005).

Moleküller arasındaki kuvvetlerin maddenin yüzeyinde eşit olmaması durumunda adsorpsiyon gerçekleşir. Adsorpsiyon başlıca iki grupta incelenir: Fiziksel adsorpsiyonda adsorbe edilen maddenin, adsorbe eden madde yüzeyine temas etmesiyle atomlar arasında Van der Waals bağlarının oluşumu gerçekleşir (Pekin 1964).

Van der Waals etkileşimi ile oluşan bu bağlar zayıftır. Fiziksel adsorpsiyonda, yüzeye tutunan madde adsorbe edilen yüzeye bağlanmamıştır; yüzeyde hareketli durumdadır. Termodinamik bakımdan tersinirdir. Adsorpsiyon birden fazla tabakada gerçekleşebilir. Fiziksel adsorpsiyonun oluşması için ayrıca bir enerjiye ihtiyaç yoktur (Kayacan 2007).

Fiziksel adsorpsiyon fiziksel çekim kuvvetleri sonucu oluşan adsorpsiyon biçimidir. Bu çekim kuvvetleri zayıf olduğu için desorpsiyon kolay ve hızlı gerçekleşir. Fiziksel adsorpsiyon genellikle düşük sıcaklıkta gerçekleşir (Berkem ve Baykut 1994). Fiziksel adsorpsiyonda sıcaklık arttıkça; safsızlıkla çözücü arasındaki bağ güçlenir ve adsorpsiyon azalır. Fiziksel adsorpsiyon ısı veren bir tepkimedir. Bu sebeple sıcaklık azaldıkça adsorpsiyon miktarı artar (Berkem ve Baykut 1984). Bu adsorpsiyonda açığa çıkan ısı yoğunlaşma veya kristalizasyon ısıları mertebesinde (Obay 2005).

Adsorplama gücü, yüzey özellikleri ile bağlantılıdır. Yüzey alanı arttıkça adsorpsiyon miktarı artış göstermektedir. Bu sebeple küçük parçalara ayrılmış katılar veya gözenekli yapıların adsorpsiyon özellikleri daha fazladır (Çiçek 2012).

Kimyasal adsorpsiyonda ise iki yüzey arasında kimyasal bir bağ oluşur. Bu bağ genellikle kovalent bağdır. Fiziksel adsorpsiyondaki bağlardan daha güçlüdür. Genellikle tersinir değildir. Moleküllerin ayrılması yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak sağlanır. Kimyasal adsorpsiyon 'aktiflenmiş adsorpsiyon' olarak da adlandırılmaktadır (Harman, 2010).

Bir adsorpsiyon işleminde çözeltide kalan madde derişimi ile adsorplayıcının birim ağırlığı başına tuttuğu madde miktarı arasındaki bağıntı adsorpsiyon izotermi olarak ifade edilir. Adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde birikmiş madde derişimi ve çözeltide kalan madde derişimi arasında bir denge meydana gelene kadar sürer (Kayacan 2007).

Adsorpsiyon izotermi belirli miktardaki adsorban ile farklı derişimlerde adsorbat çözeltilerinin dengeye gelmesiyle elde edilir. Adsorpsiyon izotermi matematiksel

olarak uygun denklemlerle ifade etmek için üç yaklaşım önerilmiştir. Bunlar Langmuir, Freundlich ve Brunaur- Emmet- Teller (BET) izotermleridir (Kayacan 2007).

Bir adsorpsiyon prosesinin izotermlerden hangisiyle daha iyi ifade edildiğini bulmak için deneylerle elde edilen veriler tüm izoterm denklemlerine uygulanıp grafikleri çizilir. Çizilen grafikte, verilerin doğrusal bir grafik oluşturduğu, korelasyon katsayısı en büyük olduğu izoterm çeşidi o adsorpsiyon için en uygun izoterm kabul edilir (Kayacan 2007).

### **1.5. Alternatif bir bioadsorbant olarak ayçiçeği çekirdeği kabuğu**

Ayçiçeği dünyanın en popüler yaz çiçeklerinden biridir. Ayçiçeği az bakım isteyen ve hızlı büyüyen bir bitkidir. Taç yaprakları, sap, tohum olmak üzere bitkinin tüm kısımlarından faydalanılır (Lowry 2013). Ayçiçeği çekirdeği kabuğu genel olarak selülozdan oluşur. Çalışmanın bundan sonraki kısmında ayçiçeği çekirdeği kabuğu kısaca ayçiçeği kabuğu olarak isimlendirilecektir. Ekilen ayçiçeğinin (*Helianthus annuus*) kabukları, çimenler ve kültür bitkilerinin geneli için toksik madde olan allelopatik bileşen içerir (Anonim 2017). Allelopati, farklı bitki türlerinden salgılanan kimyasalların, yanındaki bitkinin gelişmesi ve yerleşmesine olan etkisidir (Gülsoy vd 2008).

Dünya ayçiçeği tohumu üretimi 2017 yılında 43,32 milyon tondur (Anonim 2017).

**Çizelge 1.1.** Dünyada ayçiçeği çekirdeği üretimi (Anonim 2017).

Ülke	Üretim (milyon ton) 2016-2017 yılı	Üretim(milyon ton) 2017-2018 yılı
Ukrayna	15,100	13,200
Rusya	11,600	10,600
AB-28	8,550	9,740
Arjantin	3,300	3,500
Çin	2,750	2,800
ABD	1,200	0,980
Türkiye	1,470	1,700
Güney Afrika	0,870	0,800

Ülkemizde en çok üretilen yağlı tohum ayçiçeği tohumudur. Genellikle gıda amaçlı yetiştirilir. Ülkemizin genel olarak her bölgesinde yetişebilen ve yüksek oranda kaliteli yağ içeren ayçiçeği, pamuk üretiminden sonra ikinci sıradadır. Bölgelere göre ayçiçeği üretimi Çizelge 1.2.a'da şehirlere göre üretim ise Çizelge 1.2.b'de verilmiştir (Anonim 2016).

**Çizelge 1.2.a.** Bölgelere göre Türkiye'de ayçiçeği çekirdeği üretimi.

Bölgeler	% Oran
Marmara	47,2
Orta Anadolu	29,2
Karadeniz	12
Akdeniz	8,7
Doğu ve Güney Doğu Anadolu	2,8

**Çizelge 1.2.b.** Türkiye’de yağlık ayçiçeği çekirdeği üretimi (Türkiye İstat. Kurumu 2017).

İller	% Oran
Tekirdağ	20,45
Konya	14,13
Edirne	13,59
Adana	10,85
Kırklareli	10,77
Çorum	4,01
Çanakkale	2,73
İstanbul	2,47

Dünya bitkisel ham yağ üretiminin %11’i ayçiçeğinden karşılanmaktadır. Türkiye’de ise ayçiçeği yağı tüketimi yıllık ortalama 900 bin tondur. Fakat ülke mahsulünden elde edilen ayçiçeği yağı ise yıllık ortalama olarak 400-450 bin ton olmaktadır (Anonim 2017).

Ayçiçeği çekirdeğinin kabuğu, taneyi içinde barındıran ve dış faktörlerden koruyan bir yapıdır. Ayçiçeği kabukları, toplam ağırlığın %21-50 kadarını oluşturur. Ayçiçeği çekirdeğinde kabuk oranı arttıkça yağ oranı azalır. Ayçiçeği çekirdek kabuğunda bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin %74-90 oranında olup, geri kalan kısmı ise mineral, protein ve lipittir (Dorrel and Vick 1997).

**Çizelge 1.3.** Ayçiçeği kabuğunun içeriği (Park *et al.* 1997)

<b>Bileşen</b>	<b>% (ağırlık)</b>
Hazmolunabilir Besin Maddesi	35-45
Ham Selüloz	40-50
Lignin	13-16
Ham Protein	3,5-9,0
Hazmolunabilir Protein	2,0-4,0
Kül	2,0-3,0
Kalsiyum	0,3-0,4
Magnezyum	0,15-0,25
Fosfor	0,10-0,15
Yağ	0,05-3,00

Ayçiçeği kabuğu ülkemizde başlıca küspe eldesinde kullanılırken, bazı tesislerde enerji gereksinimini karşılamak için kömür ile karıştırılarak yakılmaktadır. Yağlık ayçiçeği çekirdeği kabukları daha fazla miktarda protein ve yağ içerdiklerinden dolayı hayvan yemi katkısı olarak kullanılabilir. Ayçiçeği çekirdek kabukları, kereste sektöründe dolgu ve yalıtım amacıyla kullanılabilirdiği gibi başka sektörlerde biyoyakıt ve paketleme malzemesi olarakta kullanım alanı bulmuştur. Kanada’da çıra olarak, Rusya’da boya malzemesi üretiminde kullanılmaktadır (Doty 1978).

Ayçiçeği kabuğunun bazı türlerinde kabukta bulunan kırmızı boya maddesi gıdalarda doğal renklendirici boya olarak kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde kullanılan yapay renklendiricilerin zararları bilindiği için bazı ayçiçeği kabuklarında bulunan (kırmızı ve pembe renkli bir pigment olan) anthocyan kullanılmaya başlanmıştır (Park *et al.* 1997).

Ayçiçeği çekirdek kabuğu sığır ve dana besiciliğinde hayvanların hazım sıkıntısı yaşamalarına sebep olur. Bunu önlemek için besicilikte ayçiçeği çekirdek kabuğunun oran olarak %30’u aşmaması gerekir. Düşük besin içeren ayçiçeği kabukları yüksek miktarda selüloz bulundurur. Ayçiçeği çekirdek kabuklarının sindirimi zordur ve tadı beğenilmemektedir (Park *et al.* 1997).

Ayçiçeği çekirdek kabuğunun yakıt değeri 2100-2150 cal/g civarındadır. Bazı işletmeler ayçiçeği çekirdek kabuklarını yakıt olarak kullanmaktadır (Lilleboe 1991). Fırınlarda yakılan kabukların yüksek oranda kül bırakması olumsuz bir sonuçtur. Ayçiçeği çekirdek kabuğunun farklı alanlarda değerlendirilmesine yönelik çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Gñnlük hayattaki kullanımını çok yaygın olmamakla birlikte bir kısım kimyasalların üretiminde kullanılma potansiyeline sahiptir (Kaya 2014).

Bu çalışmada ayçiçeği kabuklarının bir biyoadsorbant olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Arıtım teknolojilerinde ayçiçeği kabuklarının adsorbant olarak kullanılması katma değerini artıran ve evre dostu olan alternatif uygulamalar olarak dikkate alınabilir.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Biyodizelin üretimi sonrasında saflaştırılması işlemi hem enerji tüketimi hem de çevresel etkileri bakımından alternatif bir dizel yakıt olarak biyodizel üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden bitkisel ve hayvansal yağlardan üretimi sonrasında biyodizelin saflaştırılması pek çok araştırmanın konusu olmuştur.

Van Gerpen (2017) biyodizelin saflaştırılmasında en çok kullanılan teknik olan su ile yıkama yöntemini diğer yöntemler ile karşılaştırmıştır. Buna göre damıtma hariç kullanılan tüm teknikler biyodizeldeki metil esterlerle kirleticiler arasındaki moleküler polarite farklılığına dayanmaktadır. Metanol, sabun ve gliserin polar maddelerdir ve bu nedenle bunlar birbiri tarafından ve su gibi polar çözücüler tarafından güçlü bir şekilde çekilir. Metil esterler hafif polardır ve bu nedenle suyu ve kirletici maddeleri sınırlı oranda çözerler. Biyodizele su eklendiğinde, genellikle ayrı bir su fazı oluşur ve metanol, sabun ve serbest gliserin su tarafından daha güçlü çekildiği için büyük oranda su fazında kalır. Su fazı uzaklaştırılarak safsızlıklar azaltılır. Kirletici maddelerin seviyelerini yeterince düşürmek için çoklu yıkama döngüleri gereklidir. Bazı üreticiler atık su tüketiminin aşırı olması, sabun ve monogliserit gibi doğal yüzey aktif maddelerin emülsiyon oluşturması ve suda çözünen metanolün geri döndürülmesindeki güçlükler gibi nedenlerden dolayı su ile yıkama işleminden kaçınmaktadırlar. Emülsiyonların oluşumunu asit ilavesiyle engellenebilir. Bu durumda oluşan ürün için tekrardan su ile yıkama işlemi uygulanır. Transesterifikasyon reaksiyonu esnasında sabun oluşumunu azaltarak su ile yıkamayı daha etkin yapabilmek için su ve serbest yağ asidi miktarının düşük olması gerekir. Su ile yıkama uygun şartlarda kullanıldığında, en ucuz ve etkili yöntemdir.

Alternatif biyodizel arıtım yöntemi ise safsızlıkları tutmak için katı adsorbanlar kullanmaktır. Bu amaçla kullanılan adsorbanlar genellikle polar bileşikleri çekmek üzere muamele edilen magnezyum silikat gibi yüksek gözenekli tozlardan oluşur. Adsorbentin yüzeyi, polar bileşiklerin yüzeyindeki aktif bölgeleri çeker. Toz üzerindeki

polar merkezler doldurulduğunda, adsorban artık kullanılamaz veya geri kazanılamaz. Metanol polar özelliği sayesinde adsorban üzerindeki aktif bölgeleri doldurur. Böylece diğer safsızlıklar yakıtta bırakılacağından, adsorbanlar kullanılmadan önce metanol ayrıştırılır. Metanol ayrıştırıldığında, sabun hızlı bir şekilde çöker ve sıvının daha fazla geçişini engeller. Adsorbanın yüzeyinde toplanır. Bu katı adsorbanlar, düşük sabun derişimi ve yüksek sıcaklıklarda etkilidir (Gerpen 2017).

Yakıt olarak kullanılabilmesi için biyodizelden su ve diğer safsızlıkların giderilmesi gerekir. Su, biyodizelde iki şekilde bulunur: Çözünmüş su veya serbest (askıda) su damlacıkları. Biyodizel genel olarak suda çözünmez olarak kabul görmüşken, dizel yakıt biyodizelden daha az su çözer. Dizel yakıtın 50 ppm suyu çözdüğü, biyodizelin ise 1500 ppm kadar çözünmüş su içerebileceği belirtilmiştir (Van Gerpen *et al.* 2004).

Biyodizelin özellikleri sırasıyla ASTM D975 ve ASTM D6751 standartlarıyla belirlenmiştir (Ferrari *et al.* 1997). Bu standartlarda dizel ve biyodizelde en fazla 500 ppm'e kadar su olabileceği ifade edilmiştir. Biyodizel susuz olmalıdır. Yakıtta suyun kalması depolama tankında ve yakıt enjeksiyon sisteminde arıza oluşturur ve korozyona sebep olur (Ma *et al.* 1998; Fregolente *et al.* 2014). Aynı zamanda su, yakıt içerisinde mikrobiyal artışa yol açar. Bu da yakıt filtrelerinde tıkanmaya yol açan bir çamur oluşturur.

Yakıtlar, üretim süreci, nakliye ve depolama sırasında su içerebilir (He *et al.* 2007; Shah *et al.* 2010). Yakıtlardaki su içeriği, serbest su ve çözünebilir su olarak sınıflandırılabilir. Suyun çözünürlüğü, sıcaklığa ve ayrıca yakıtın bileşimine bağlıdır. Bununla birlikte, biyodizelin higroskopik doğası, üretim ve depolama sırasında çözünebilir su içeriğinin artmasına yol açabilir (Oliveira *et al.* 2008; Fregolente *et al.* 2010).

Biyodizel üretimi sırasında, katalizörü, sabunu ve gliserol atıklarını gidermek için en yaygın yöntem su ile yıkamaktır. Birkaç kez tekrar edilen yıkama işleminden sonra oluşan sulu faz yer çekimi etkisiyle kabın alt kısmında toplanarak biyodizelden ayrılır.

Bu yıkama işlemi sonunda kalan su içeriği, bir buharlaştırıcı veya vakumlu kurutucu ile uzaklaştırılır.

Depolandıktan sonra, biyodizel, petrol esaslı dizelden daha fazla nemi emebilir çünkü yağ asidi metil esterleri (FAME'ler) higroskopik bileşiklerdir. Bu da biyodizelleri normal dizelden çok daha hidrofilik hale getirir (He *et al.* 2007). Biyodizel, kükürt, aromatik hidrokarbonlar, metaller veya ham petrol kalıntıları içermediğinden, çevresel, ticari ve performans açısından avantajlıdır. Bununla birlikte, biyoyakıtın performansının, nihai ürünün saflığına ve partiküllerin veya kirlenici maddelerin, örneğin suyun, tamamen uzaklaştırılmasına bağlı olduğu söylenebilir (Oliveira *et al.* 2008).

Biyodizel ve dizel yakıttaki serbest su muhtevası, depolama tanklarında biyolojik büyümeyi teşvik eder, bu da metallerin (bakır, demir, çelik ve diğerleri) korozyonuna ve çamurun oluşmasına ve dolayısıyla yakıt filtrelerinin ve yakıt hatlarının tıkanmasına neden olabilir. Araç yakıt enjeksiyon sistemlerine zarar verebilir (ASTM 2003; He *et al.* 2007; Bücken *et al.* 2011; Sørensen *et al.* 2011; Fazal *et al.* 2013). Serbest veya emülsifiye edilmiş su, özellikle dizel yakıtta türbiditeye neden olmakta, dizel yakıtı ticarileştirme için spesifikasyon dışında kalmaktadır. Benzer şekilde, depolama ve nakliye sırasında yakıtlarda suyun yoğunlaşması ve çökmesi durumu meydana gelebilir.

Benzer şekilde Hanna *et al.* (1998) sığır iç yağının transesterifikasyon reaksiyonunda serbest yağ asidi ve su olduğunda reaksiyonun bundan olumsuz etkilendiğini tespit etmişlerdir. Reaksiyonda suyun bulunması; transesterifikasyon üzerinde serbest yağ asitlerinin bulunmasından daha olumsuz etki göstermiştir. Su ve serbest yağ asitlerinin birlikte bulunması ise reaksiyon üzerinde sinerjistik bir olumsuz etkiye sahiptir Sığır iç yağındaki su içeriğinin ağırlıkça %0,0696'nin altında olması gerektiği tespit edilmiştir.

Aslında, suların yakıtlardan uzaklaştırılması güç bir işlemdir. Dizel yakıt için kullanılan su uzaklaştırma teknikleri, vakumla kurutma, tuzla işleme ve birleştirme (coalescing) filtrelerinin kullanılmasıdır (Leung *et al.* 2006). Biyodizel üretimi sırasında suyun uzaklaştırılması için ısıtma ya da vakum flaşı gibi enerji-pahalı süreçler kullanılmaktadır (Atadashi and Aroua 2012). Az sayıda çalışma, biyodizelde su içeriğinin saptanması için teknikler geliştirmeyi amaçlamaktadır (Bampi *et al.* 2013). İnfrared spektroskopi kullanarak endüstriyel biyodizelden hazırlanan su içeriğinin ve emülsiyonların ortalama damlacık büyüklüğü deneysel olarak tespit edilmiştir. ASTM standardı D6751'de belirtildiği gibi, biyodizelde izin verilen maksimum su içeriği 500 ppm'dir (ASTM 2003).

Gonzalo *et al.* (2010) kolza yağı ve atık kızartma yağından elde ettikleri biyodizelin suyla yıkama işlemindeki arıtım performansını incelemişlerdir. Suyla yıkama işlemi sırasında NaOH, metanol ve gliserin gibi polar bileşiklerin sadece tek bir su ile yıkama işleminde tamamen uzaklaştırıldığı gözlenmiştir (%30-90 su oranı ve 40-60°C'de). Ancak gliserid içeriğinde her hangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Yıkama suyu sıcaklığı artırıldığında daha az suyla aynı arıtım yapılabildiği rapor edilmiştir. Yıkama adımı sonunda biyodizelin asitliği, viskozitesi ve yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir. En etkin parametre olarak yıkama sıcaklığı bildirilmiştir.

Karaosmanoğlu vd (1996) kolza tohumu yağı ile elde edilen biyodizelin arıtılmasında saf distile su ile yıkama, petrol eteri içinde çözme ve daha sonra damıtılmış su ile yıkama ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1: 1) ile nötralizasyon yöntemlerini karşılaştırmışlardır. En iyi arıtma işlemi olarak 50°C'de sıcak distile su ile yıkama işlemi bulunmuştur. Bu yöntemde, biyodizelin arıtma verimi, su içeriği ve asit değeri sırasıyla %86.3, %0.095 (ağırlıkça) ve 0.40 olarak tespit edilmiştir.

Kusdiana *et al.* (2004)'a göre yağlardan biyodizel üretilirken transesterifikasyon reaksiyonunda, serbest yağ asitleri ve su her zaman olumsuz bir etki oluşturmuştur. Çünkü serbest yağ asitleri ve suyun mevcudiyeti sabun oluşumuna neden olurken katalizörün tükenmesine ve katalizör etkinliğinin azalmasına yol açar. Araştırmacılar

biyodizelin katalizör içermeyen süper kritik metanol ile üretiminde suyun etkisini incelemişlerdir. Bu yöntemde suyun bulunmasının verim üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir. Çünkü su içeriği ne olursa olsun tam dönüşümler her zaman sağlanmıştır. Aslında belirli bir miktarda suyun bulunması metil esterlerin oluşumunu artırabilir. Sonuçlar, asit ve alkali katalizör yöntemleriyle karşılaştırılmış olup sonuç olarak; süper kritik bir metanol yaklaşımı ile ham bitkisel yağın ve atıklarının basit bir şekilde biyodizel yakıt üretimi için kolayca kullanılabileceğini göstermiştir.

Fregolentel *et al.* (2015) biyodizel ve dizel yakıtlarda hidrofilik hidrojel kullanarak su muhtevasını gidermeyi amaçlanmışlardır. Hidrojeller, içinde büyük miktarda su tutabilen üç boyutlu polimer zincir ağlarıdır. Kullanılan hidrofilik hidrojellerin serbest su içeriğini ve çözünen su muhtevasını önemli ölçüde giderdiği gözlenmiştir. Biyodizeldeki toplam su içeriğinin %53,3'nün giderildiği rapor edilmiştir. Dizel numuneler için ise 2160 ppm ve 240 ppm su içeren örneklerde su içeriğinin %32 azaltıldığı gözlenmiştir. Biyodizeldeki su muhtevasını azaltmak için değişik hidrofilik maddeler denenmiştir (Qunwei *et al.* 2008; Bassil *et al.* 2008; Nur vd 2009; Deligkaris *et al.* 2010).

Aydemir (2010) pamuk tohumundan elde edilen yağın alkali katalizörle ürettiği biyodizelin saflaştırılmasında farklı yıkama yöntemlerinden karşılaştırmıştır. Elde edilen biyodizelde oluşan kirlilikleri uzaklaştırmak için su kullanılmış, ayrıca magnesol ve zeolit adsorbanları ile kuru yıkama yapılmıştır. Sonuç olarak magnesolle yapılan yıkama işleminde suyun daha az kullanıldığı, işlemin daha hızlı tamamlandığı, enerji kaybının azaldığı ve verimin arttığı tespit edilmiştir.

Atadashi (2015); biyodizel arıtma yöntemleri üzerine mevcut literatürü derlediği çalışmada kuru yıkama teknolojilerini ve yeni membran saflaştırma proseslerini incelemiştir. Magnesol ve iyon değiştirici reçinelerin kullanıldığı kuru yıkama prosesleri yüksek kalitede biyodizel ürünü vermekle beraber son yıllarda membran tekniğini kullanan saflaştırma işlemlerinin önemli bir potansiyel olarak görüldüğünü ve bu

yöntemle en az atık su üretimine karşılık yüksek kalitede biyodizel veriminin sağlanabildiğini ifade etmiştir.

Transesterifikasyondan sonra reaksiyona girmemiş (aşırı) alkol miktarını azaltmak için yıkama işleminden önce uzaklaştırılmalıdır. Ayrıca Van Gerpen vd. fazla alkolün ıslak yıkama ile uzaklaştırılmasını önermiştir. Bu araştırmacılar 50-60°C'deki suyu kullanarak doymuş yağ asiti esterlerinin çökmesini engellemişlerdir. Emülsiyon oluşumu yavaş su yıkaması ile geciktirilmiştir. Sıcak distile su ile yıkama sonucu %99 oranında biyodizel saflığı elde edilmiştir. Ticari biyodizel üretiminde hem kuru hem de ıslak yıkama yöntemleri kullanılmaktadır, ancak sadece ıslak yıkama işleminin damıtılmış biyodizeli istenen seviyede arındırdığı ve saflaştırılmış biyodizelin EN14214 standartlarını karşıladığı ifade edilmiştir.

Islak yıkama avantajlarının yanı sıra, Low vd. bu yöntemin, uzun ayırma süresi ve ürün verimi kaybı gibi bazı dezavantajları olduğunu beyan etmişlerdir. Durulama suyunda biyodizel veriminin kaybı, kirli sıvı atık oluşumunu artırır. Ayrıca, ıslak yıkama işleminden sonra oluşan büyük miktarda biyodizel atıksuyu, biyoyakıt endüstrisi ve çevre için büyük bir soruna neden olmaktadır. Veljkovi'nin *et al.* dünyada 2011 yılında üretilen biyodizel atık suyunun yaklaşık 28 milyon  $m^3$  olduğunu bildirmiştir.

Kuru yıkamada ise emici maddelerin kullanılması ham biyodizel işlemin için başka bir yöntemdir. Kuru yıkama tekniği genellikle adsorbant olarak iyon değiştirici veya magnezyum silikat tozu kullanır (Berrios *et al.* 2008). Bu malzemeler, safsızlıkları gidermek ve ham esterleri saflaştırmak için damıtılmış su yerine kullanılır. Kuru yıkamanın sonunda, işlemin verimliliğini arttırmak için filtrasyon normal olarak yürütülür. Kuru yıkamanın avantajları şu şekilde tanımlanabilir: atık su üretilmemesi, biyodizel işleme tesisine kolay montaj, yıkama süresinin önemli ölçüde azaltılması, katı atıkların çeşitli şekillerde kullanılabilmesi ve yer tasarrufu sağlaması. Biyodizel üretiminde ana tercih edilen adsorbantlar, magnesol, iyon değişim reçenesi, aktif karbon, aktif lif vb. olarak tanımlanmaktadır (Atadashi *et al.* 2011).

Atadashi (2015) kuru yıkama teknolojileri ve en yeni membran biyodizel arıtma işlemlerini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Magnesol ve iyon değiştirici reçineleri içeren kuru yıkama prosesi kullanılarak biyodizelin saflaştırılması, yüksek kaliteli biyodizel yakıtı temin etmesine rağmen, önemli miktarda adsorbent kaydedilmiştir. Yeni bulgular, membran tekniğini kullanan biyodizel arıtmanın, daha az atık su deşarjı ile yüksek kaliteli biyodizel yakıtı üretilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, membranlarla biyodizel arıtmanın çevre dostu olduğu görülmüştür. Bu nedenlerden ötürü, ham biyodizeli saflaştırmak için membran teknolojisini araştırmak ve kullanmak önemlidir.

Foccini *et al.* (2011) çalışmalarında, soya fasülyesi yağının (metanol/ KOH) alkalın transesterifikasyonu ile üretilen biyodizelin saflaştırılmasında farklı adsorbanların verimini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar adsorbant olarak magnesol<sup>®</sup>, silika, Amberlite BD10 DRY<sup>®</sup> ve Purolite PD 206<sup>®</sup> kullanılmışlar her bir adsorbanın performansını saflaştırılmış biyodizelde kalan potasyum, alkol, su ve sabun kalıntıları aracılığıyla ölçmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, inorganik matrisler olan magnesol ve silikanın (esas olarak %1 magnesol ve %2 silika) serbest ve bağlı gliserol gibi diğer istenmeyen organik kirletici maddelerin yanı sıra inorganik safsızlıkların giderilmesinde de etkin bir şekilde kullanılabilceği gözlenmiştir.

Abbaszadeh *et al.* (2014); ıslak yıkama yoluyla biyodizel arıtma üzerinde etkili parametreler araştırılmıştır. Yıkama suyu olarak distile su, fosforik asit ile (%3) asitlendirilmiş ve su musluk suyu kullanılmış olup farklı sıcaklık ve su-biyodizel oranlarında bu su çeşitlerini etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak katalizör ve sabun giderimi üzerinde asitli su en iyi etkiye sahipken, su kalıntısı durumunda musluk suyu daha iyi sonuçlar göstermiştir. Daha yüksek bir yıkama sıcaklığı uygulandığında katalizör, sabun ve su atığı miktarlarında düşüş gözlenmiştir ve son saflaştırılmış biyodizelde sabun kalıntısı olumsuz bir etki gözlemlenirken. Daha fazla yıkama suyu kullanıldığında su artıkları üzerinde gözlemlenmiştir. Su durumu 60°C sıcaklıkta %3 fosforik asit ve 1,5 kg biyodizele kadar su ile (v/v), daha düşük miktarda katalizör ve sabun kalıntısına yol açtığı bulunmuştu. Son ıslak yıkamada 60°C sıcaklık ve 0,5 (v/v) su oranında su kalıntısının en düşük seviyede olduğu (ASTM ve EN standartlarına uygun) tespit edilmiştir.

Osma *et al.* (2006) bir çalışmada ayçiçeği çekirdeği kabuğu ve mandalina kabuğunu sentetik anyonik bir boya olan Reaktif Black 5'in (RB5) sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için bir adsorbant olarak kullanmışlardır. Gıda endüstrisinde atık madde olarak atılan ayçiçeği çekirdeği kabuğu düşük maliyetinden dolayı tercih edilmiştir. Ayçiçeği çekirdek kabuğunun, mandalina kabuğundan daha yüksek boya tutma yüzdesine sahip olduğu gözlenmiştir. Adsorpsiyon veriminin ayçiçeği kabuğu için %85'e kadar çıktığı gözlenmiştir. Sonuç olarak ayçiçeği çekirdeği kabuğunun anyonik boyar maddenin uzaklaştırılmasında etkin bir adsorbant olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.

Li *et al.* (2011) ayçiçeği çekirdeği kabuğunu bir aktivasyon işlemi sonrasında elektrokimyasal çift katmanlı kondansatör (EDLC) için elektrot malzemesi olarak kullanmışlardır. Ayçiçeği çekirdeği kabuğunun yoğun makroskobik por yapısı ve düşük seviyedeki iç mikropor yapısı nedeniyle daha iyi kapasitif davranış ve yüksek kapasitans tutma oranı gösterdiği tespit edilmiştir. Bu karbonik yapıların kapasitif performansları ticari aktif karbonlardan daha yüksek ölçülmüştür.

Özdemir (2015) boyar maddenin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için biyosorpsiyon yöntemi uygulamıştır. Bu yöntemde boyar madde olarak Viktorya Mavisi (VMR) kullanılırken biyosorban olarak kitosan (kitosan:  $(C_6H_{11}NO_4)_n (C_8H_{13}NO_4)_m$  ; kitinin ( $\beta$ - 1,4- poli-N-asetil-D-glukozanın bir kısmı ya da tamamının deastilasyonu ile üretilen antimikrobiyal yapıda bir hetero polisakkarittir), immobilize edilmiş kemik unu ve immobilize edilmiş ayçiçeği çekirdeği kabuğu kullanılmıştır. Bu çalışmada ayçiçeği çekirdek kabukları öğütülmüş ve belirli tane boyutunun altında olacak şekilde elenmiştir. Ayçiçeği çekirdek kabuğu kitosan ile (0,5:0,5 - 0,5:1 ve 1:1,5) (g çekirdek/ g kitosan) oranında karıştırılmıştır. Elde edilen bu karışımdan 100 mL %5'lik  $CH_3COOH$  ile polimerleştirme işlemi yapılmıştır. Doğal kirletilmiş sudan, kitosan ile immobilize edilmiş ayçiçeği çekirdek kabuğu ile VMR boyar maddesinin giderilmesinde %89,99 oranında giderim sağlanmıştır. Bu oran doğal kirletilmiş su ortamında kitosan ile immobilize edilmiş ayçiçeği çekirdeği kabuğunun biyosorban olarak kullanılabilceğini göstermiştir.



Hameed (2007) bitkisel atık olan ayçiçeği çekirdeği kabuğunun metil menekşeyi sulu çözeltilerden uzaklaştırma özelliği açısından incelenmiştir. Gıda endüstrisinde atık madde olarak kullanılan ayçiçeği çekirdeği kabuklarının metil menekşenin sulu çözeltilerden uzaklaştırılmasında etkili bir sorbent olduğu gözlenmiştir. Günlük hayatımızda bol miktarda atık olarak bulunan ayçiçeği çekirdek kabuğu bazik boyanın sulu ortamdan uzaklaştırılması için ekonomik olarak kullanılabilir ve uygun bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmaya Freundlich izoterm modeli uygun görülmüştür. Maksimum ayçiçeği tohumu kabuğu adsorpsiyon kapasitesi 30°C'de 92,59 mg/L olarak bulunmuştur.

Kusmırek (2017) sulu çözeltilerden 2,4,6- triklorofenolün (TCP) uzaklaştırılması için düşük maliyetli adsorban olarak ayçiçeği çekirdeği ve kabak çekirdeği kabuklarının yanı sıra ceviz ve fıstık kabukları kullanılmıştır. Su kaynaklarının kirlenmesi çevreye verilen zararlardan biridir. İnsanların sağlığını olumsuz etkilemiştir. Bu nedenle sudaki organik maddelerin uzaklaştırılması kirliliklerin giderilmesi önemli ve acil bir sorundur. Çok sayıda teknoloji organik kirletici maddelerin sudan uzaklaştırılması için önerilmiştir. Onların arasında en iyi, en etkili ve kullanılabilirliği olarak fiziksel adsorpsiyon uygun görülmüştür. Su kirleticilerin giderilmesi için düşük maliyetli malzemeleri adsorban olarak kullanarak kalıntılarının bertaraf edilmesini sağlamıştır. Sonuç olarak adsorbentte artış olmuştur. Artışın 5 ile 25 g/  $dm^3$  arasındaki artış, TCP adsorpsiyon verimini önemli ölçüde artırmıştır. 0,1-0,5 mmol /  $dm^3$  miktarında TCP içeren çözelti adsorpsiyonla ayrılmıştır. Adsorpsiyon süreci hızlı gerçekleşmiş olup yaklaşık 45 dakikada tamamlanmıştır. TCP'nin adsorpsiyonla azalma dizilimi kabak çekirdeği kabukları > fıstık kabukları > ayçiçeği tohumu kabukları > ceviz kabukları şeklindedir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada biyoadsorbant olarak ayçiçeği kabukları kullanılmıştır. Biyodizel üretimi ise bazik katalizörlü transesterifikasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiş olup reaktif olarak metanol katalizör olarak potasyum hidroksit kullanılmıştır. Aşağıda kullanılan materyaller ve yöntem ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

#### 3.1. Ayçiçeği Kabuğunun Hazırlanması

Her hangi bir ön işlemden geçmemiş doğal ayçiçeği kabukları iki gün süre ile atmosfer şartlarında kurutulmuştur. Kabuklar daha sonra Retsch SK 100 marka laboratuvar tipi rotorlu öğütücü ile öğütülmüştür. Öğütülen ayçiçeği kabukları Şekil 3.1’de görülen Haver-Boecker marka laboratuvar tipi standart eleklerle Çizelge 3.1’de verilen elek boyutlarında elle elenmiştir. Çizelge 3.1’de her bir fraksiyonun geçtiği ve geçemediği elek boyutları ve bu iki sınır boyutun aritmetik ortalaması (ortalama tane boyutu) verilmiştir.

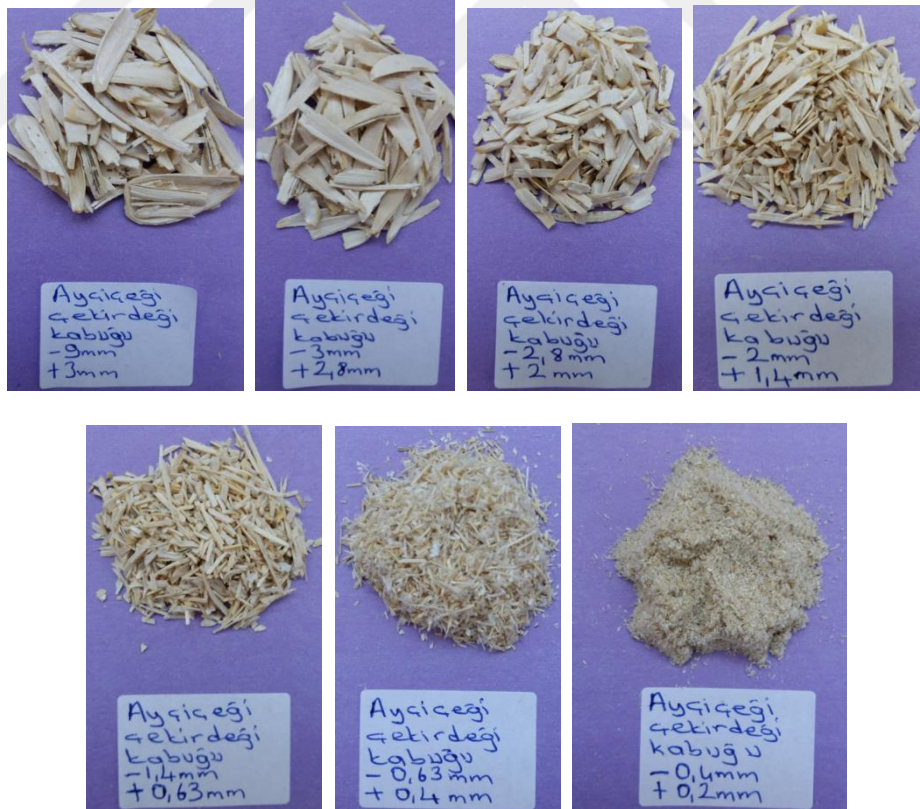
**Çizelge 3.1.** Ayçiçeği kabuğu için tane boyutları

Elek boyutları (mm)	Ortalama tanecik büyüklüğü (mm)
-9,0+3,0	6,0
-3,0+2,8	2,9
2,8+2,0	2,4
-2,0+1,4	1,7
-1,4+0,63	1,015
-0,63+0,4	0,515
-0,4+0,2	0,3



**Şekil 3.1.** Eleme işleminde kullanılan standart elekler.

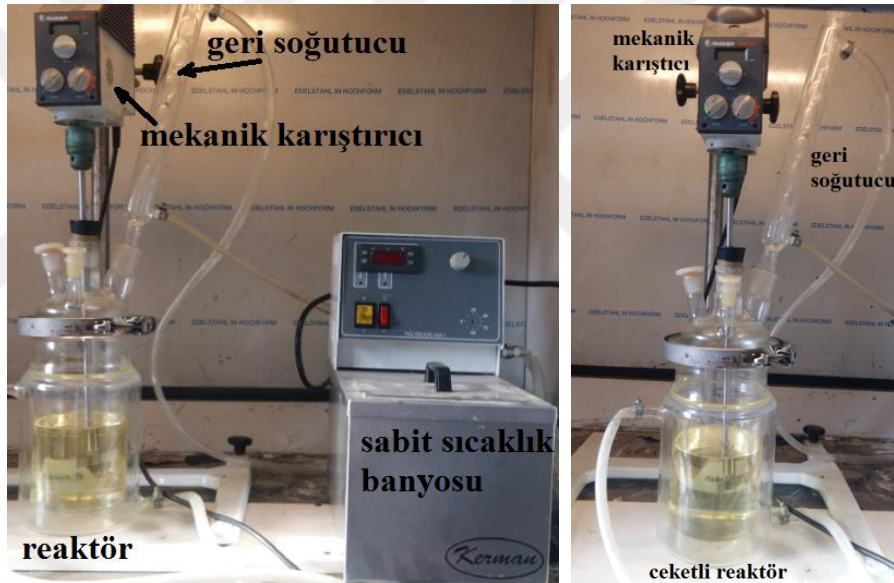
Eleme işlemi sonucunda elde edilen ayçiçeği kabuğu fraksiyonlarına ait fotoğraflar Şekil 3.2’de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Farklı tane boyutlarına elenmiş ayçiçeği kabukları

### 3.2. Biyodizel Üretimi

Çalışmada kullanılan biyodizel bazik transesterifikasyon yöntemi ile ayçiçeği yağından üretilmiştir. Ayçiçeği yağı lokal bir marketten sağlanmış olup rafine ve vintelize yemeklik ayçiçek yağıdır. Üretim 300 devir/dakika hızla karıştırılan 1 litrelik ceketli cam bir laboratuvar reaktöründe 55°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Katalizör olarak LACHEMA markalı %98 üzeri saflıkta potasyum hidroksit, alkol olarak ise birpa marka %95 saflıkta metil alkol kullanılmıştır. Karıştırma işlemine 2 saat devam edilmiştir. Biyodizel üretimi için kullanılan reaktör sistemi Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Biyodizel üretim düzeneği

### 3.3. Ayırma

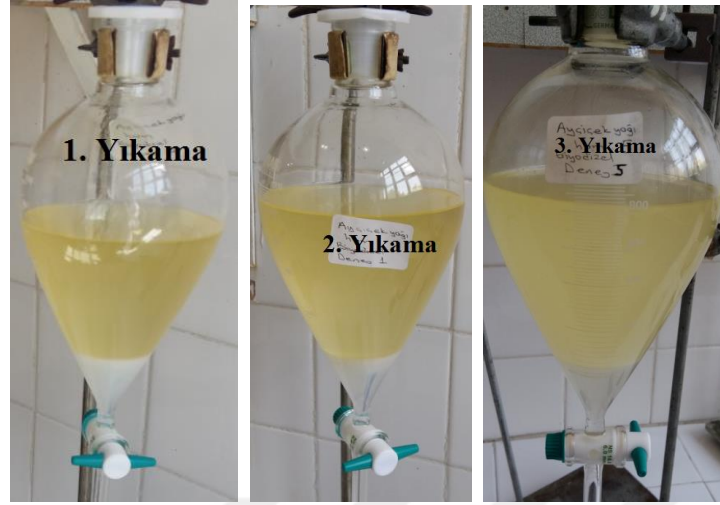
Reaksiyon süresinin tamamlanmasıyla reaktör durdurulmuş ve beklenmeden reaktör muhtevası bir ayırma hunisine alınmıştır. Kısa süre içerisinde gliserinin ayırma hunisinin alt kısmına çökerek metil ester karışımından ayrıldığı gözlenmiştir (Şekil 3.4).



**Şekil 3.4.** Ayırma hunisine alınan gliserinin biyodizelden ayrılması

### **3.4. Biyodizelin Yıkama**

Gliserin ayrıldıktan sonra metil ester fazında bulunan safsızlıkların giderilmesi için ılık saf su ile yıkama yapılmıştır. 30°C'ye ısıtılmış 40 mL saf su ayırma hunisine eklenmiş ve 5 dakika kadar hafifçe bir bagetle karıştırıldıktan sonra karışım sekiz saat süre ile dinlenmeye bırakılmıştır. Bu süre içerisinde sulu faz yoğunluk farkı sebebiyle ayırma kabının alt kısmında toplanmış ve daha sonraki yıkama işlemine geçmeden önce ayrılmıştır. Bu işlem üç kez yapılmıştır. Su ile yıkama yapılırken ayırma hunisindeki metil ester ve safsızlıklar Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Yıkama sayısı arttıkça su fazındaki sabun miktarının azaldığı, su fazındaki rengin berraklaşmasından da görülebilmektedir.



Şekil 3.5. Yıkama işlemi

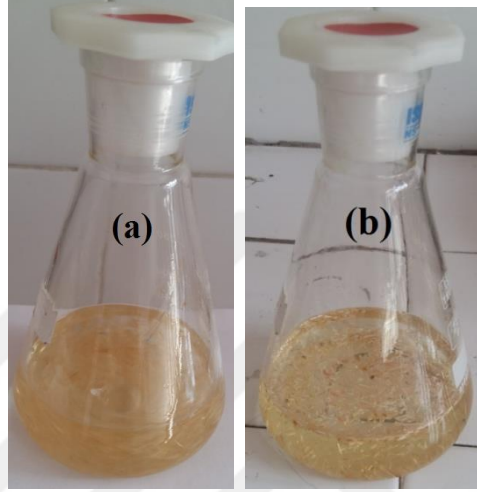
### 3.5. Adsorpsiyon Deneyleri

Adsorpsiyon deneylerinde her bir denemede katı-sıvı oranına göre daha önceden belirlenmiş miktardaki çekirdek kabuğu 100 mL biyodizel içersine alınmış ve karışım bir manyetik karıştırıcı ile sabit hızda karıştırılmıştır. Karıştırma işlemine sıcaklık parametresi incelenirken 3 saat diğer parametrelerde ise 7 saat kadar devam edilmiştir. Sıcaklık parametresi dışındaki denemelerde karıştırma sıcaklığı yaklaşık oda sıcaklığı olan 27°C'de sabit tutulmuştur. İncelenen parametreler ve sabit tutulan parametrelerin seviyeleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. İncelenen ve sabit tutulan parametreler ve seviyeleri.

Parametre türü	Parametre	Seviye
İncelenen	sıcaklık (°C)	15, 27, 40, 50
Sabit tutulan	tane boyutu (ort. tane boyutu, mm)	1,05
	katı/sıvı oranı (g <sub>kabuk</sub> /mL <sub>biyodizel</sub> )	12/100
İncelenen	tane boyutu (ort. tane boyutu, mm)	6, - 2,9, - 2,4, - 1,7, 1,015, - 0,515, - 0,3
Sabit tutulan	sıcaklık (°C)	27
	katı/sıvı oranı (g <sub>kabuk</sub> /mL <sub>biyodizel</sub> )	12/100
İncelenen	katı/sıvı oranı (g <sub>kabuk</sub> /100 mL <sub>biyodizel</sub> )	2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20
Sabit tutulan	tane boyutu (ort. tane boyutu, mm)	1,05
	sıcaklık (°C)	27

Her bir adsorpsiyon deneyinde, deney devam ederken 30. dakikada ve ondan sonraki her bir saat başında bir pipet yardımıyla biyodizel numunesinden 1 mL alınarak bu örnekte su analizi yapılmıştır. Karıştırma sırasında (a) ve karıştırma sonunda (b) biyodizel/ayçiçeği kabuğu karışımına ait birer fotoğraf Şekil 3.6'da verilmiştir.



**Şekil 3.6.** Karıştırma sırasında (a) ve karıştırma sonunda (b) biyodizel/kabuk karışımı.

### 3.6. Su Tayini

Adsorpsiyon işlemi devam ederken belli süreler sonunda alınan birer mililitrelik örneklerdeki su içeriği Cou-Lo Aquamax marka kulometrik su tayin cihazı ile tayin edilmiştir. Bu işlem için cihaz kararlı hale geldikten sonra alınan biyodizel numunesi tartılmakta ve bir enjektörle cihazın anot bölmesine aktarılmaktadır. Cihaz okuma yaptıktan sonra sonucu % ağırlıkça (veya ppm olarak) ekranda vermektedir (Şekil 3.7).



**Şekil 3.7.** Su analiz cihazı

Adsorpsiyon işlemi sonunda biyodizeldeki suyu adsorplayan çekirdek kabuğu biyodizelden süzülerek ayrılmış ve geriye kalan kabuğa ait bazı fotoğraflar Şekil 3.8’de verilmiştir.



**Şekil 3.8.** Adsorpsiyondan sonra süzülerek biyodizelden ayrılmış kabuklar



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Ayçiçeği Çekirdeği Kabuğunun Adsorbant Olarak Kullanılması

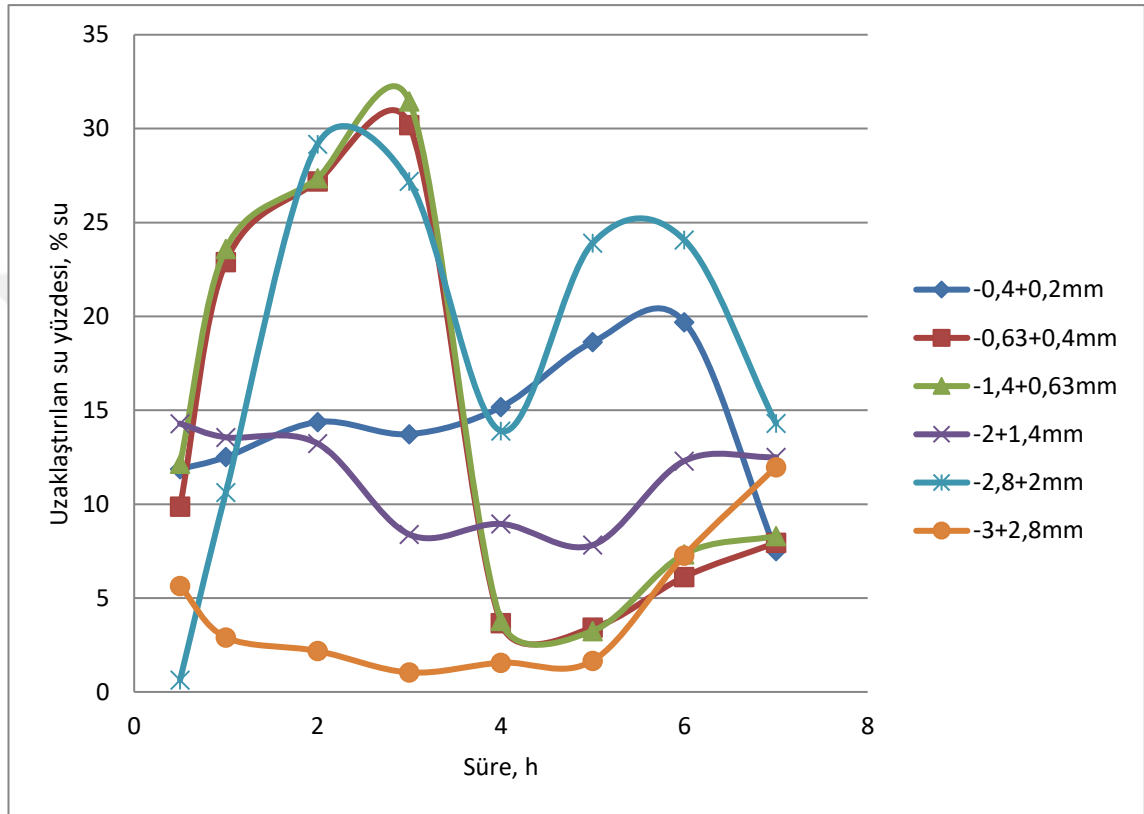
İlk olarak öğütülerek farklı tane boyutlarına ayrılan ayçiçeği çekirdeği kabuğu her hangi bir ön kurutma işlemine tabi tutulmaksızın ham biyodizeldeki suyun tutulması için adsorbant olarak kullanılmıştır. Bu çekirdekler hasat öncesinde ve sonrasında atmosferik neme maruz kaldıkları için tane boyutuna göre %6-7 civarında değişen miktarlarda nem içermektedir. Bu numunelerin tane boyutuna göre nem muhtevaları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Çekirdeğin tane boyutuna göre nem içeriği.

Tane boyutu aralığı (mm)	Nem içeriği (% nem)
-0,4+0,2	6,776
-0,63+0,4	6,394
-1,4+0,63	6,220
-2+1,4	6,284
-2,8+2	6,299
-3+2,8	6,142

Ham biyodizeldeki suyun uzaklaştırılmasında ilk olarak bu nemli (her hangi bir ön işlem görmemiş) kabuklar adsorbant olarak kullanılmıştır. Bu amaçla farklı tane boyutlarında elenmiş olan kabuktan her defasında 1 gram örnek tartılarak 100 mL biyodizele eklenmiş ve grafikte görülen sürelerde karıştırma işlemi yapılmıştır. Bu nemli kabuklar ait nem tutma kapasitesi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu ve daha sonraki şekillerin dikey koordinatlarında yıkama işleminden sonra elde edilen ham biyodizelde bulunan su miktarının ilgili parametrenin etkisiyle uzaklaştırılan yüzdesi gösterilmiştir. Şekil 4.1’den de görüleceği gibi her hangi bir ön kurutma işlemine tabi tutulmayan ayçiçeği kabukları anlamlı bir eğilim izlememekte, her tane boyutu için zamanla değişen farklı bir su tutma kapasitesi gözlenmektedir. Küçük tane boyutlarında tutulan

su miktarı başta artmakta ancak zamanla azalmaktadır. Bu gözlemlerden hareketle doğal ayçiçeği kabuğunun kurutulmaması durumunda ham biyodizeldeki suyu uzaklaştırmak için etkin bir adsorbant olarak görev yapmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.1. Kurutulmayan kabuktaki su içeriğinin zamanla değişimi

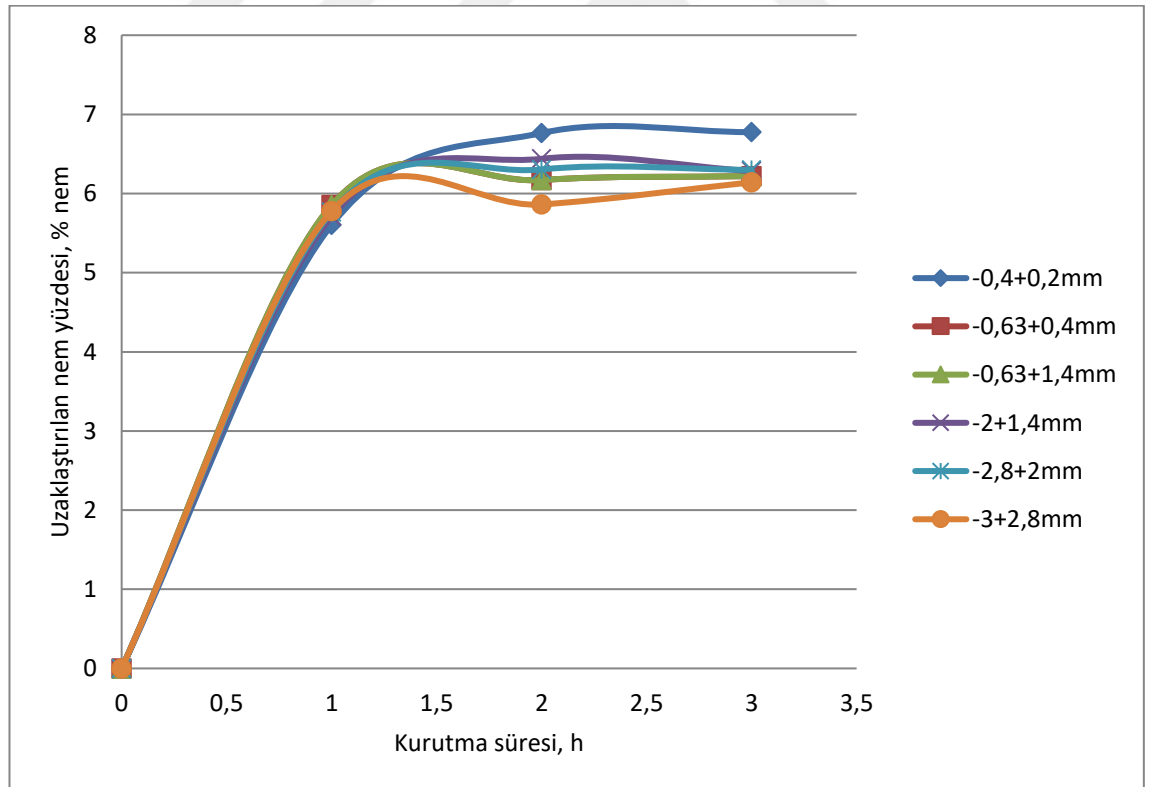
#### 4.2. Çekirdek Kabuğunun Kurutulması

Nemli iken iyi bir performans göstermediği anlaşılan çekirdek kabukları atmosfer basıncında bir laboratuvar etüvünde  $100\pm 4^\circ\text{C}$ 'de 3 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutma sırasında çekirdeklerin zamanla ağırlık değişimi Şekil 4.2'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 3 saatlik kurutma sonunda kabukların ağırlığı sabitlenmektedir. Bu nedenle 3 saatlik bir kurutma süresinin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmanın daha sonraki adımlarında kurutma işlemi sonunda elde edilen çekirdek kabukları kapalı kaplarda muhafaza edilmiş ve kurutulmuş kabukların suyun uzaklaştırılmasında adsorbant olarak performansı üzerine sıcaklık, tane boyutu ve katı-sıvı oranı

faktörlerinin etkisi incelenmiştir. Kurutma esnasında çekirdek kabuğunda bir kısım kimyasal değişimlerin gerçekleşmiş olabileceği ve kabukta bulunan uçucu maddelerin de uzaklaşacağı yani kabuk kompozisyonunun değişeceği muhtemel olmakla birlikte bu çalışmada kurutma sırasında ne gibi değişimlerin gerçekleştiğine yönelik bir araştırma yapılmamıştır.

### 4.3. Çekirdek Kabuğunun İçeriği

Çekirdek kabuğu başlıca selüloz, lignin ve pentosandan oluşan bir doğal mikrofiberdir. (Das *et al.* 1996). Çekirdek kabukları sert yapılıdır. Alaca, gri veya siyah renklere bulunmaktadır (İşler 2018). Kabukta hemiselüloz, selüloz ve lignin dışında bir miktar lipid, mineral ve protein bulunur (Özyurt 2006).



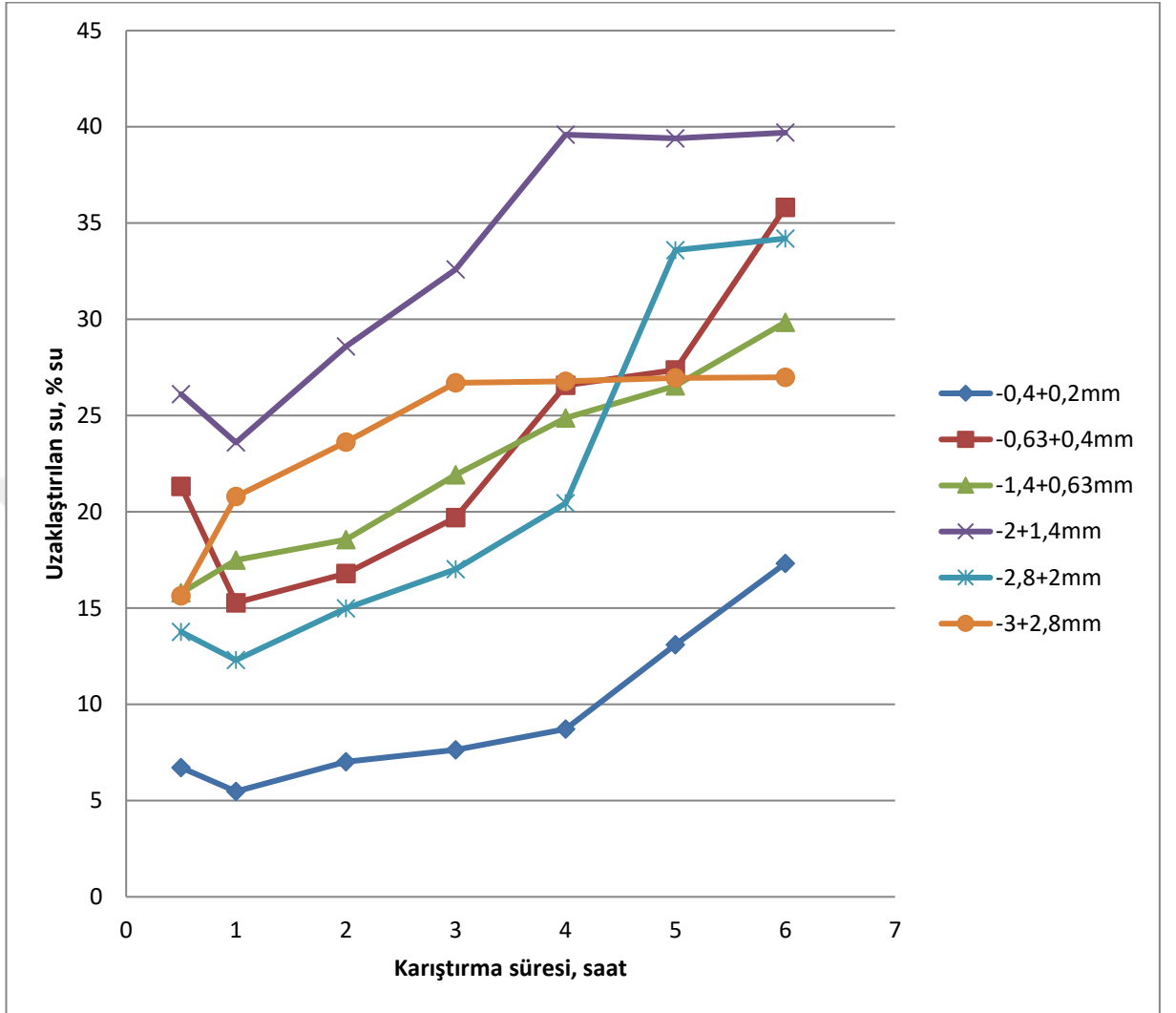
Şekil 4.2. Kurutulan kabuklardaki su içeriğinin zamanla değişimi.

Kurutma işleminin neticesinde ayçiçeği kabuklarında atmosferik nemden dolayı bulunan nem büyük ölçüde uzaklaştırılmıştır. Kurutulan kabuklar havadan tekrar nem almamaları için kapaklı kaplar içerisinde tutulmuştur. Çalışmada kurutulmuş kabuklarla adsorpsiyon işleminde kabuğun tane boyutu, sıcaklık ve katı-sıvı oranı gibi adsorpsiyon parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

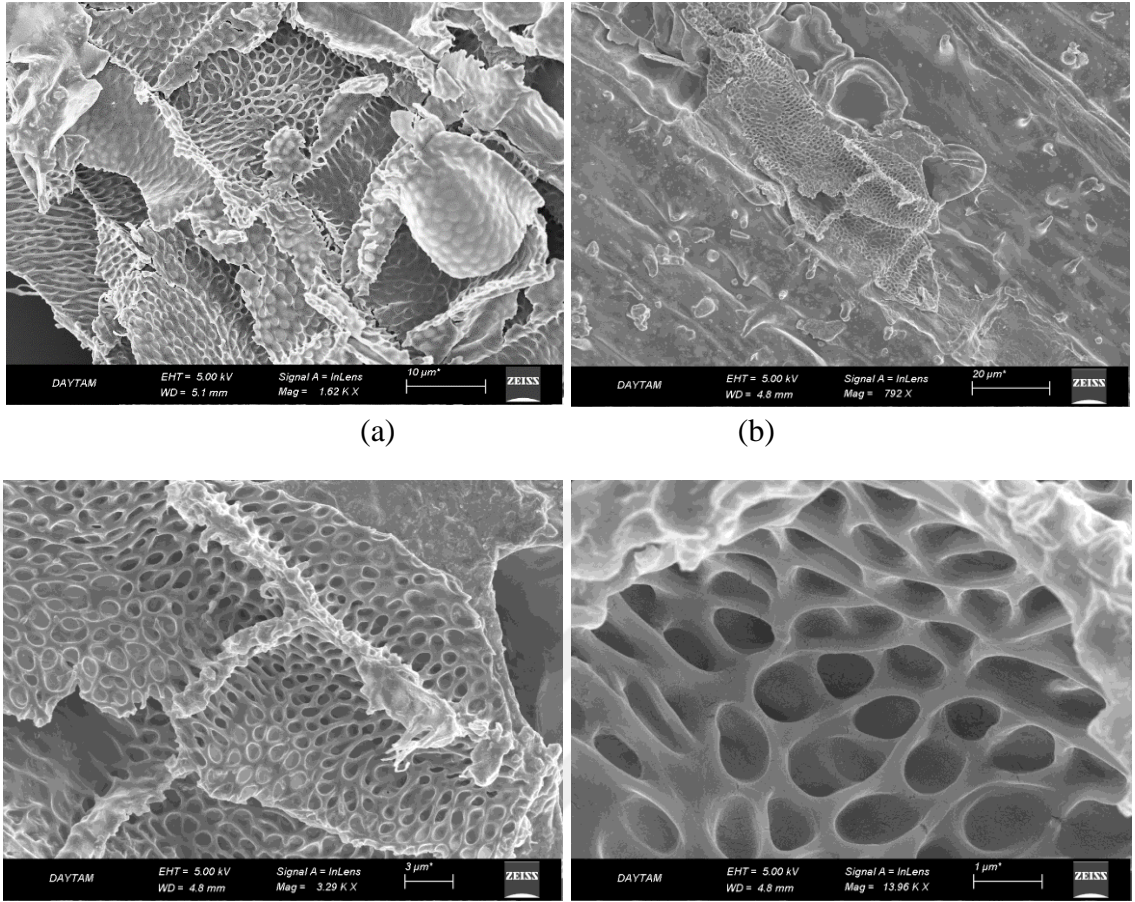
#### **4.4. Tane Boyutunun Etkisi**

İncelenen ayçiçeği kabuklarının tane boyutu küçüldükçe adsorbant ile ham (sulu) biyodizelin temas yüzeyi artacağından daha iyi bir adsorpsiyon performansının gözleneceği beklenmekte idi. Ancak Şekil 4.3 dikkatle incelendiğinde daha büyük tane boyutuna sahip olan elek fraksiyonunun (-2,0+1,4 mm) en yüksek su tutma kapasitesi gösterdiği görülmektedir. Diğer taraftan en küçük tane boyutuna sahip olan elek fraksiyonu (-0,4+0,2 mm) en düşük su tutma kapasitesine sahiptir. Diğer tane boyutları da incelendiğinde genel olarak tane boyutu küçüldükçe su tutma kapasitesinin giderek azaldığı anlaşılmaktadır. Bu durum beklenin tersine bir sonuç olup açıklanması gerekmektedir.

Çekirdek kabuklarına ait Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) fotoğrafları incelendiğinde kabukların üç farklı türden adsorbant yüzeyine sahip olduğu gözlenmiştir. Bunlardan birincisi yaklaşık 1 µm çapında oval porlar şeklinde bulunan yüzey çukurları olup bunlar Şekil 4.4'de görülmektedir. Kabuk yüzeylerinin bir kısmı bu boşluklardan oluşmaktadır.

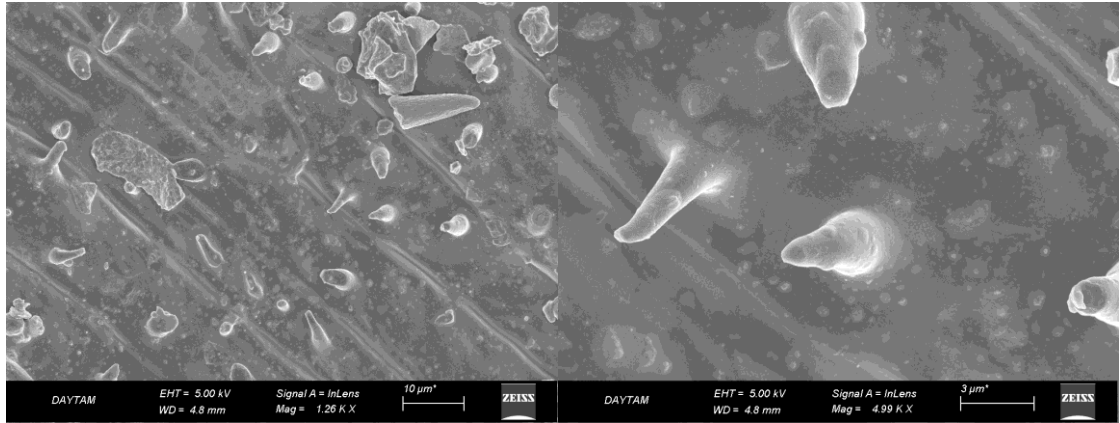


Şekil 4.3. Kabuk tane boyutunun su adsorpsiyonu üzerine etkisi



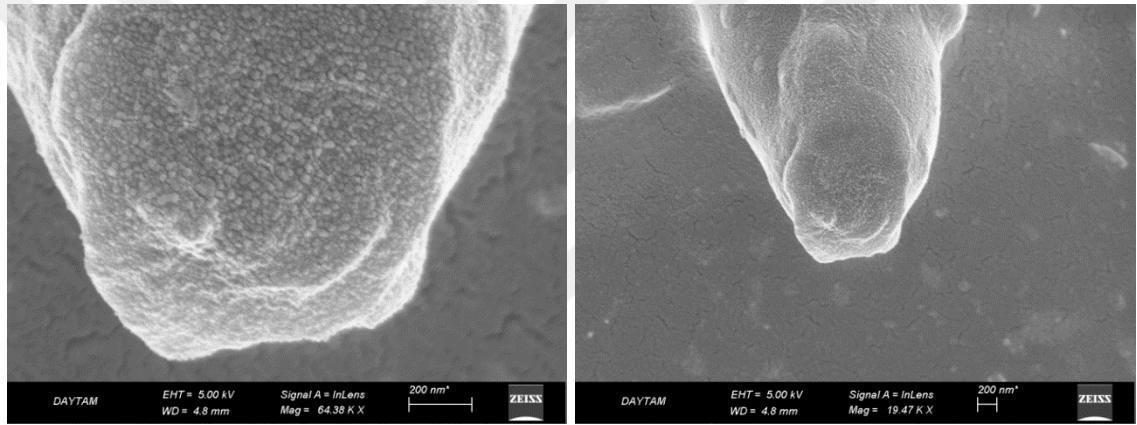
**Şekil 4.4.** Kabuk yüzeyindeki oval boşluklar

İkinci tür boşluklar ise kabuk yüzeyinin büyük bir kısmını kaplamakta olup SEM görüntüleri Şekil 4.5’de verilmiştir. Şekiller dikkatle incelendiğinde yüzeylerin üzerinde sarkıtlara benzer çıkıntılar bulunduğu fark edilmektedir. Fotoğraf daha da büyütüldüğünde bu çıkıntıların üzerinde çok sayıda küçük yuvarlak tomurcuklar gözlenmektedir. Bu tomurcuklu yapının adsorpsiyon yüzeyini önemli ölçüde artırabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca çekirdek kabuğunun büyük ölçüde polar özellik gösteren selüloz ve ligninden (>%50) oluştuğu değerlendirildiğinde bu oval çukurlu boşluk ve tomurcuklu yüzeylerin nispeten daha yüksek oranlarda lignin ve selüloz içerdiği ve su adsorpsiyonunun daha çok bu yüzeylerde gerçekleşmiş olabileceği düşünülmüştür.



(a)

(b)

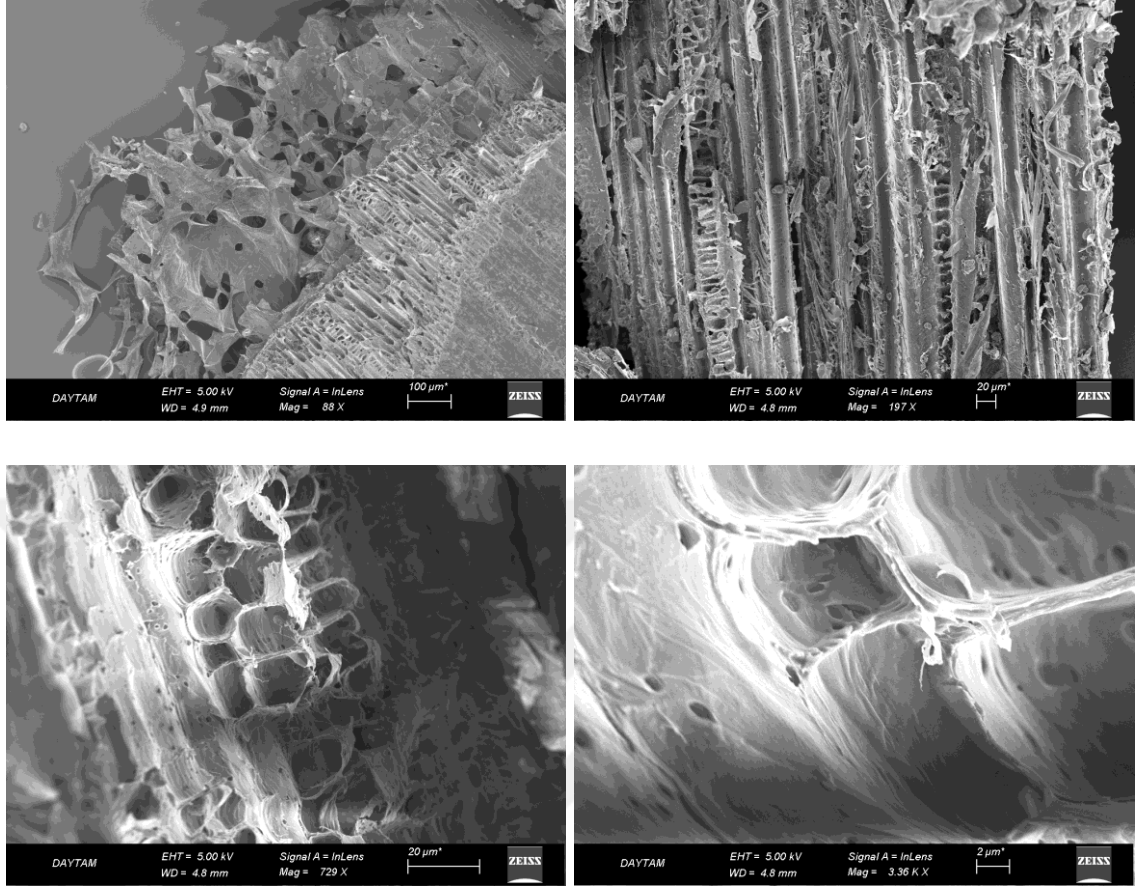


(c)

(d)

#### Şekil 4.5. Tomurcuklu kabuk yüzeyleri

Üçüncü tür boşlukların ise tane boyutunun küçültülmesi sırasında kırılan çekirdek kabuklarının kırık kesitlerinden ibaret olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.6). Bu kısımlar büyük tane boyutundaki kabuk fraksiyonları için toplam kabuk yüzeyinin nispeten az bir yüzdesini oluştururken daha küçük tane boyutundaki kabuklar için toplam yüzeyin daha yüksek bir yüzdesine sahip oldukları söylenebilir.



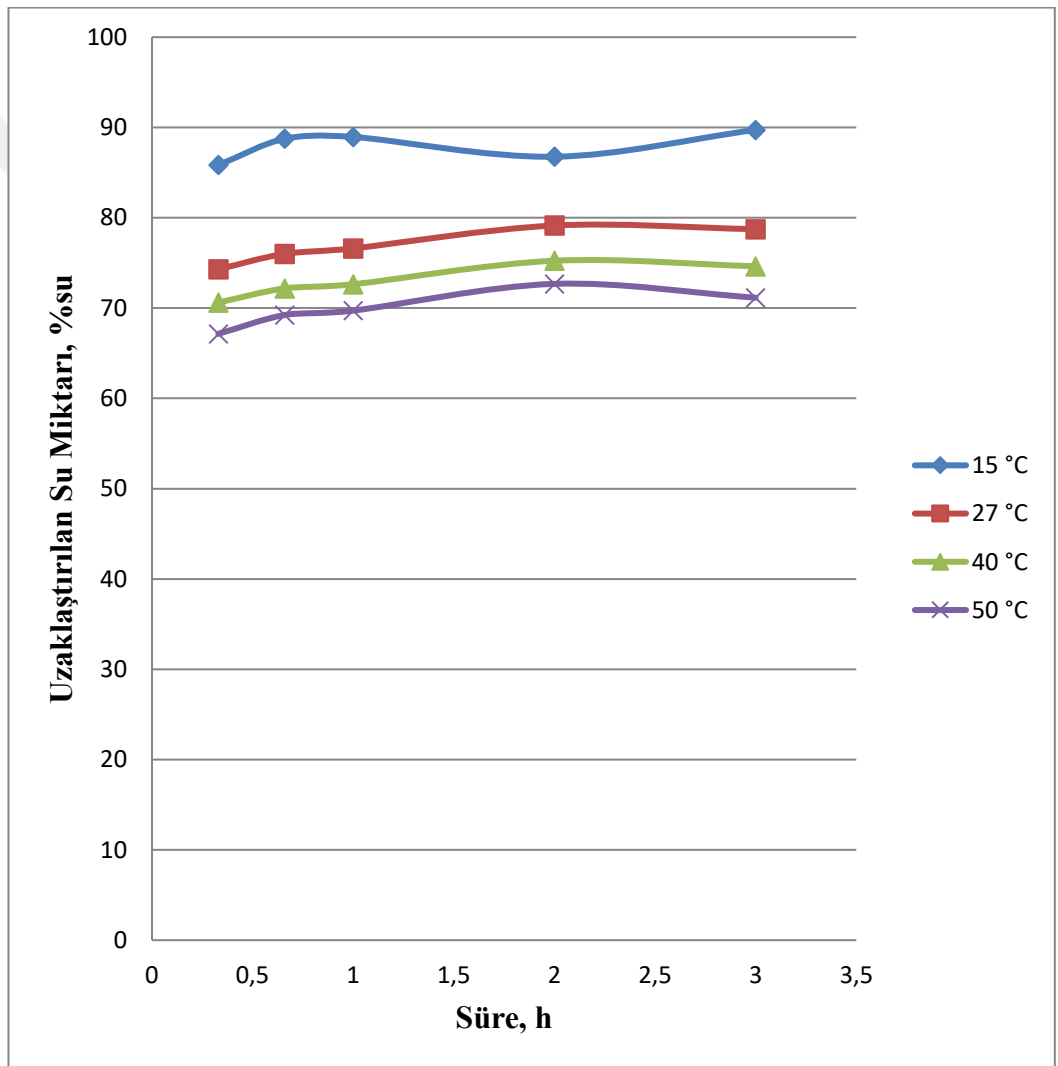
**Şekil 4.6.** Kırık çekirdek kabuğu kesitleri

Kırık kabuk kesitleri incelendiğinde kırılma sonucunda 10-15 mikron uzunluğunda yanal boyutlara sahip dikdörtgen prizma şeklindeki mikro tüplerden oluşan küçük hücrelerin ortaya çıktığı görülmektedir. Tane boyutu küçüldüğünde kırık segmentlerde oluşan bu mükrotüplerin sayıca arttığı ve toplam kabuk yüzey alanında önemli bir yüzdeye ulaştığı gözlenmektedir. Ham biyodizeldeki su, bu kırık tanecikler tarafından daha az adsorplandığı için tane boyutunun küçültülmesinin adsorpsiyona negatif bir etki yapmış olabileceği değerlendirilmiştir. Kırılma sonucunda oluşan bu mikro tüplerin suya göre daha apolar özellikteki bileşenler açısından zengin olabileceği ve bu yüzden ham biyodizelde bulunan polar yapıdaki suyu adsorplamada daha az aktif olabilecekleri düşünülmüştür.



#### 4.5. Sıcaklığın Etkisi

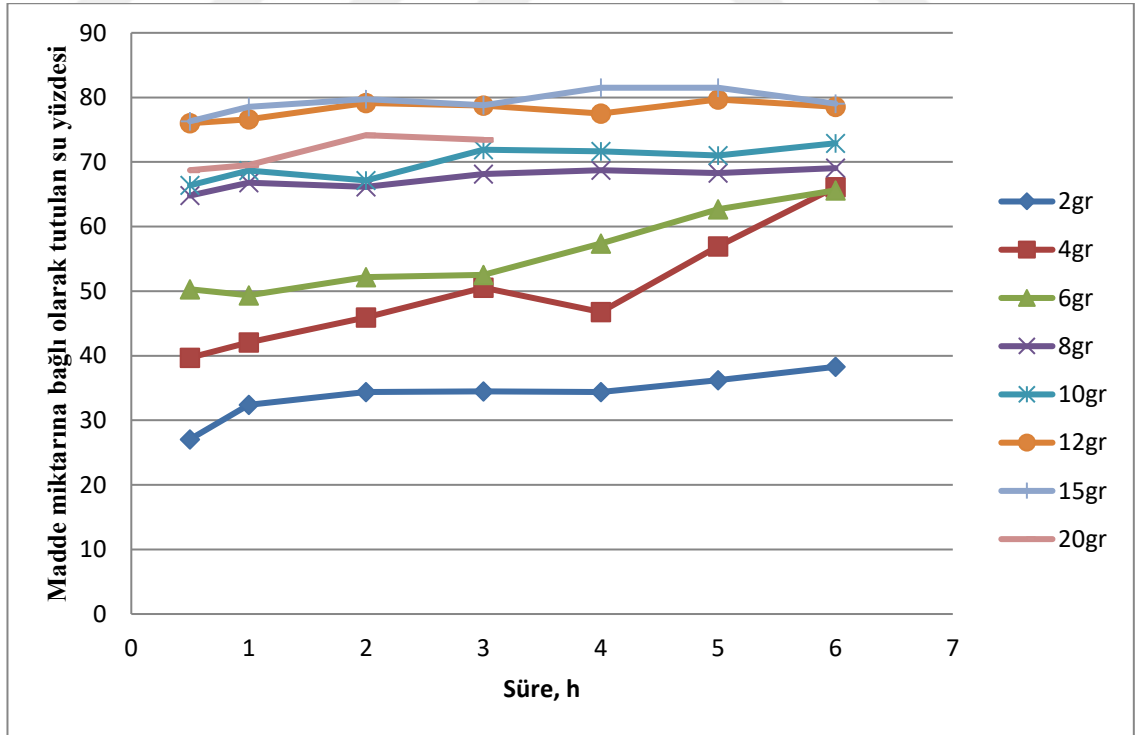
Ham biyodizeldeki suyun ayçiçeği kabuğu tarafından adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi 15-50°C aralığında incelenmiştir. Şekil 4.7’de görüleceği gibi sıcaklık arttığında adsorbe edilen su miktarı azalmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesine en düşük çalışma sıcaklığı olan 15°C’de ulaşılmıştır.



Şekil 4.7. Ham biyodizeldeki suyun çekirdek kabuğu ile adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi

#### 4.6. Adsorbant Miktarı-Ham Biyodizel Oranının Adsorpsiyon Üzerine Etkisi

Adsorbant miktarının ham biyodizeldeki suyu tutma kapasitesi 2 ila 20 gram<sub>katı</sub>/100 mL<sub>sıvı</sub> aralığında farklı katı-sıvı oranlarında incelenmiştir. Şekil 4.8’de görüleceği gibi çekirdek kabuğu miktarı arttıkça ham biyodizelden adsorbe edilen su miktarı da artmıştır. Ancak 15 ve 20 gram katı ile yapılan denemelerde etkili bir karıştırma işlemi yapıldığı halde adsorbe edilen su miktarının artmadığı, hatta azaldığı gözlenmiştir. Bu durumda çekirdek kabuğu ile ham biyodizel yeterli sürede temas edemediği için %15’den daha yüksek katı-sıvı oranlarında çekirdek kabuğunun adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü değerlendirilmiştir. Çekirdek kabuğunun daha az miktarda kullanılması hem karıştırma ve süzme gibi fiziksel işlemlerin kolaylaşmasına hem de daha az atık oluşumuna yol açacağı için tercih sebebi olacaktır. Bu durumda %12 katı-sıvı oranı en uygun oran olarak görülmektedir. Bu yüzden diğer parametreler incelenirken katı-sıvı oranı 12 gram katı/100 mL biyodizel olarak alınmıştır.



Şekil 4.8. Katı-sıvı oranının adsorpsiyon üzerine etkisi

#### 4.7. Ayçiçeği Kabuğu ile Tutulan Biyodizel Miktarı

Adsorpsiyon işlemi sırasında ham biyodizeldeki suyun yanısıra bir miktar biyodizel ürünü de çekirdek kabuğu tarafından adsorbe edilmektedir. Bu şekilde bir miktar biyodizelin çekirdek taneciklerine tutunarak kaybedilmesi ihtimal dâhilindedir. Bu kaybın büyüklüğu hakkında bir fikir sahibi olabilmek için farklı tane boyutlarında 1'er gramlık çekirdek kabukları alınmış ve ham biyodizelle 1 saat karıştırıldıktan sonra 12 saat boyunca adi bir hunide yer çekimi etkisiyle süzölmüştür. Süzme işlemi sonucunda 1,00 gram çekirdek kabuğu tarafından yaklaşık 0,67 gram kadar biyodizelin tutulduğu gözlenmiştir. Bu süzme işlemi sadece yer çekimi etkisiyle adi süzgeç kâğıdı ve laboratuvar hunisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her hangi bir presleme, santrifüj vb. gibi hızlandırıcı bir işleme başvurulmamıştır.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde Yağ asidi metil esterleri yanında oluşan ya da reaksiyona girmeden kalan atık maddelerin uzaklaştırılması için en uygun yol yağ yıkama yöntemi olarak görülmektedir. Yağ yıkama ile bazik katalizör, metanol gibi atıklar büyük oranda biyodizelden uzaklaştırılabilmektedir. Ancak bu durumda biyodizelin nispeten higroskopik yapısından dolayı ortamda bir miktar yıkama suyu kalmaktadır. Bu çalışma ortamda kalan bu su kalıntısının uzaklaştırılması için ayçiçeği çekirdeği kabuklarının bir biyoadsorbent olarak kullanılma kapasitesini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Ayçiçeği çekirdeği kabuğunun kullanılmasında amaç suyu uzaklaştırmak için daha ekonomik bir adsorbant alternatifi bulmak olduğu için maliyeti artırmamak için çekirdek kabuğuna her hangi bir aktivasyon işlemi uygulanmamış, çekirdek sadece bir miktar kurutulduktan sonra doğrudan bir adsorbant olarak kullanılmıştır. Bu şekilde ilave enerji ve kimyasal kullanımının en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.

Sonuç olarak ayçiçek çekirdeği kabukları 12/100 katı-sıvı oranı 1,7 mm ortalama tane boyutunda 27°C sıcaklıkta yıkama işleminden sonra biyodizel içerisine eklendiğinde biyodizeldeki suyun yaklaşık %80'ini adsorbe etmektedir. Sıcaklık 15°C'ye düşürüldüğünde bu oran %90'a ulaşmaktadır. Buna göre ayçiçeği kabuğunun ham biyodizelde bulunan suyu uzaklaştırmak için etkili bir adsorbent olarak kullanılabileceği söylenebilir.

Adsorbsiyon işlemi sırasında biyoadsorbant olarak kullanılan ayçiçeği kabukları suyun yanında bir miktar da biyodizel tutabilir. Bu şekilde kabuk tarafından tutulan biyodizel bir presleme veya santrijüj işleminden geçirilirse büyük ölçüde geri kazanılabilir. Geri kalan çok az miktardaki biyodizel ise hekzan gibi bir kimyasal tarafından ekstrakte edilerek uzaklaştırılabilir veya yakıt olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada ayçiçeği çekirdeği kabuklarının ham biyodizeldeki yalnızca suyun uzaklaştırılmasında bir biyoadsorbent olarak performansı incelenmiştir. Diğer taraftan, bu kabukların ham biyodizelde eser miktarda da olsa kalmış bulunan metanol, katalizör (NaOH, KOH vb.) ve gliserin gibi diğer safsızlıkların uzaklaştırılmasına da olumlu etkisinin gözlenmesi muhtemeldir. Bu yüzden bu çalışmanın bir devamı olarak suyun adsorpsiyonu için yapılan analizler başka çalışmalarda diğer safsızlıklar için de yapılabilir ve elde edilen biyodizelin saflığı diğer parametreler açısından da incelenebilir.



## KAYNAKLAR

- Acaroğlu M., 2003, Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Kitabevi, İstanbul.
- Abbaszadeh A., Ghobadian B., Najafi G. And Yusaf T., (2014), An experimental investigation of the effective parameters on wet washing of biodiesel purification, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 9 (1). 1525-1537.
- Alyüz B., Veli S.,2005, Ağır Metal İçeren Atıksu Arıtımında Kullanılan Düşük Maliyetli Adsorbentler, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3, 94-105 .
- Anonim, 2016 Yılı Ayçiçeği Raporu, T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2017, 2017 Yılı Ayçiçeği Raporu. T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 2016, BP Statistical Review of World Energy, June 2016, 5 <http://bp.com/statisticalreview> (25.09.2018)
- ASTM standards, 2003, D6751-03a, Specification for biodiesel fuel (B100) blend stock for distillate fuels. West Conshohocken, Penn, ASTM (2003).
- Atadashi I.M., 2015, Purification of crude biodiesel using dry washing and membrane technologies, Alexandria Engineering Journal, vol.54, Issue 4, Pages 1265-1272.
- Atadashi I.M., Aroua M.K., Abdul Aziz, 2011, Biodiesel separation and purification: a review, Renewable Energy, 36(2). p.437-443.
- Atadashi, I.M., Aroua, M.K., 2012, The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 3456-3470.
- Aydemir,T.B.,2010, Pamuk Yağı Metil Esterinde Farklı Yıkama Yöntemlerinin Biyodizel Kalitesine Etkisi Üzerine Bir Çalışma, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Bampi, M., Scheer, A.P., Castilhos, F., 2013, Application of Near Infrared Spectroscopy to Predict the Average Droplet Size and Water Content in Biodiesel Emulsions. Fuel, 113, 546-552(2013).
- Bassil, M., Davenas, J., Tahchi, M. E.,2008, Electrochemical properties and actuation mechanisms of polyacrylamide hydrogel for artificial muscle application. Sensors and Actuators B, 134, 496-501.
- Berrios M., Skelton R.L., 2008, Comparison of Purification Methods for Biodiesel, Chemical Engineering Journal, 144 (3).p. 459-465.
- Berkem, A.R. ve Baykut, S. 1984. Fizikokimya- Adsorpsiyon, İstanbul Üniversitesi Kimya Fakültesi, İstanbul.
- Berkem, A.R., Baykut, S. and Berkem, M.L., 1994. Fizikokimya, İ.Ü. İletişim Fakültesi Basımevi ve Fakültesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul.
- Bücker, F., Santestevan, A. N., Roesch, L.F., Jacques, R. J.S., Peralba, M.C. R. , Camargo, F. A. O., Bento, F.M., 2011, Impact of biodiesel on biodeterioration of stored Brazilian diesel oil. Int. Biodet. Biodegradation, 65, 172-178.
- Çiçek H., 2012, Fizikokimya laboratuvarı-II deney föyü, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Muğla.

- Das S. K., Gupta R.K., 1996, Physical Properties of Sunflower Seeds, Department of Agricultural and Food Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur-721302, India
- Deligkaris, K., Shiferaw, T., Olthuis, W., van der Berg, A., 2010, Hydrogel-based devices for biomedical applications. *Sensors and Actuators, B*, 147, 765-774.
- Dinçyürek Ö., 2006, Termik Santral Uçucu Kül Tiplerinin Atıksulardaki Fenolün Adsorpsiyon Yöntemi ile Giderim Etkinliklerinin Karşılaştırılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniv., Adana.
- Dorrel, B.A. Vick 1997, Properties and Processing of Oilseed Sunflower. In A.A. Schneiter (Ed). *Sunflower Technology and Production*. Agronomy Monogram 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madisan, WI. USA P. 709-764.
- Doty, H.O.,1978, Future of Sunflower as an Economic Crop in Nort America and the World. In J.F.Carter(Ed). *Sunflower Science and Technology*. Agronomy Monogram 19. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, USA.
- Faccini C. S., Cunha M. E. Da, Moraes M. S. A., Krause L.C., Manique M. C., Rodrigues M., 2011, Comparative Study of Adsorbents, The Brazilian Chemical Society, Print version ISSN 0103- 5053, J. Braz. Chem. Soc. Vol.22 no.3 São Paulo Mar. [http:// dx. doi.org/ 10.1590/ S0103- 50532011000300021](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532011000300021).
- Fazal, M.A., Haseeb, A.S.M.A., Masjuki, H. H., 2013, Corrosion mechanism of copper in palm biodiesel. *Corrosion Science*, 67, 50-59.
- Ferrari Roseli Ap., Pighinelli Turtelli Anna L.M. and Park Kil Jin, 1997, Biodiesel Production and Quality, Campinas State University, Food Techology Institute.Brazil.
- Fregolente P.B.L., Maciel W. M.W., Oliveira L.S. , 2015 Removal of Water Content From Biodiesel and Diesel Fuel Using Hydrogel Adsorbents, *Brazilian Journal of Chemical Engineering* vol.32 no.4 São Paulo Oct.
- Gonzalo A., Garcia M., Sánchez J. L., Arauzo J., and Peña J. Á., 2010, Water C leaning of Biodiesel. Effect of Catalyst Concentration, Water Amount, and Washing Temperatur on Biodiesel Obtained from Rapeseed Oil and Used Oil, Thermochemical Processes Research Group and Catalysis, Molecular Separations and Reactor Engineering Group, Aragón Institute of Engineering Research (13A), Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, Ed. 1+D. 50018 Zaragoza, Spain.
- Gülsoy S, Özkan K. ,Mert A. , Eser Y., 2008 Biological Diversity and Conservation ½ (2008) BIODICON 105-107 ([www.biodicon.com](http://www.biodicon.com).)
- Hameed B. H., 2007, Equilibrium and kinetic studies of methyl violet sorption by agricultural waste, *Journal of Hazardous Materials*, 154(2008), 204-212.
- Hanna M., Clements L.D., Ma F., 1998. The Effects of Catalyst, Free Fatty Acids, and water on Transesterification of Beef Tallow. *Industrial Agricultural Products Center- Publications- Information Industrial Agricultural Products Center. Universty of Nebraska- Lincoln*
- Ha, H.Y. *et al.* 2006. Comparison of Membrane Extraction with Traditional Extraction Methods for Biodiesel Production. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 83(5): 457-460.
- Harman H., 2010, Hidrometalurjik Yöntemlerle Bakır Kimyasalları Üreten Tesislerden Çıkan Bakır İçerikli Atık Suların İyon Değişimi Metodu ile Temizlenmesi,Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- He, B., B., Thompson, J. C., Routt, D. W., Van Gerpen, J. H., 2007, Humidity adsorption in biodiesel and its petro-diesel blends. *Appl. Eng. Agric*, 23, 7176(2007).
- İşler N., Türkiye Ziraat Odaları Ayçiçeği, Ülkemiz Ekonomisi Açısından, [www.mku.edu.tr/files/898](http://www.mku.edu.tr/files/898) Karaosmanoğlu F., Cıgızizoğlu K. B., Tüter M. V., Ertekin S., 1996, *Enerji & Fuels*, Investigation of the Refining Step of Biodiesel Production, Department of Chemical Engineering, 10,890-895.
- Kayacan S.,2007, Kömür ve Koklarla Sulu Çözeltilerden Boyar Maddelerin Uzaklaştırılması, Y. Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Kaya Y. 2014. Ayçiçeği Kabuğunun Besin Maddesi Kapsamı, Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü.
- Koç E., Şenel M. Can, 2013, Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Durumu, Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makine, Cilt 54 Sayı 639.
- Krawczyk, T., 1996, Biodiesel- Alternativefuel makes inroads but hurdles remain. *INFORM 7*, 801-829.
- Kucek, K.T. 2007. Ethanolysis of Refined Soybean Oil Assisted by Sodium and Potassium Hydroxides. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 84: 385-392.
- Kuśmierk K., Światkowski A., Dabek L., 2017, Removal of 2,4,6- Trichlorophenol from Aqueous Solutions Using Agricultural Waste as Low-cost Adsorbents, *Environment Protection Engineering*, vol.43, Doi:10.5277/epe170412, no.4.
- Kusdiana D., Saka S., 2004, Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment, *Bioresour Technol*, 2004 Feb 91(3): 289-95.
- Kydes, Andy, 2006, Primary energy, In: *Encyclopedia of Earth*. Eds. Cutler J. Cleveland, Published in the *Encyclopedia of Earth* June 1, 2006.
- Lamers A.,2010, The characterization of biodiesel wash water and the potential for microbial remediation, In partial fulfillment of requirements for the degree of master of applied science, A Thesis Presented to the faculty of graduate studies of the university of guelph.
- Leung, D. Y., Koo, B. C. P., Guo, Y., 2006. Degradation of biodiesel under different storage conditions. *Bioresour Technol*, 97, 250-256.
- Lehrman, Robert, L., 1973. Enerji iş yapabilme yeteneği değil, *Fizik öğretmeni*, 11(1): 15-18
- Levenspiel O., 1996, *Understanding Engineering Thermo*.
- Li X., Xing W., Zhuo S., Zhuo J., Li F., Qiao S-Z., Lu G-Q, 2011, Preparation of capacitor’s electrode from sunflower seed shell, *Bioresour Technol* Contents lists available at ScienceDirect, 102 (2011) 1118-1123. [www.elsevier.com/locate/biortech](http://www.elsevier.com/locate/biortech).
- Lilleboe, D. 1991. *Sunflower Handbook*. National Sunflower Association. Bismarck, ND. USA. Sayfa 35.
- Low S., Gan G. And Cheong K., 2011, Separation of methyl ester from water in a wet neutralization process, *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 2(1).
- Lowry C. ,2013. *Grower Direct Fresh Cut Flowers Presents. 12 Uses for Sunflower*. [http:// funflowersfacts.com/2013/07/04/12- uses- for- sunflower](http://funflowersfacts.com/2013/07/04/12-uses-for-sunflower)
- Ma, F., Clements, L.D.& Hanna, M.A.1998, Biodiesel fuel from animal fat. Ancillary studies on transesterification of beef tallow. *Industrial Engineering Chemistry Research*, Vol.37, pp. 3768-3771, ISSN 1520-5045.



- Ma F., Clements L.D., Hanna M.A.;1998, The Effect of Catalyst, Free Fatty Acids and Water on Transesterification of Beef Tallow, Universty of Nebraska- Lincoln, [http:// digital commons. Unl.edu./iapcpubs](http://digitalcommons.Unl.edu/iapcpubs).
- Ma F., Hanna M. A., 1998, Biodiesel production: a review, *Bioresource Technology* 70 (1999) 1-15.
- McCormick, R.L. and Graboski, M.S. 1998. Emission Data on 2-stroke and 4 stroke Engines-Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engines. *Prog. Energy Combust. Sci.* 24: 125-164.
- Murayama, T., 1994. Evaluating vegetable oils as a diesel fuel. *INFORM* 5, 1138-1145.
- Nur, H., Sowden, M. J. Corneliu, V.J. Mitchell, J.C., Harvey, P.J., Binee, L.S., Colloidal microgel in removal of water from biodiesel. *Colloids and Surfaces A: Phyicochem. Eng. Aspects*, 335, 133-137 (2009).
- Obay F., 2005, Aliminyum ile Modifiye Edilmiş Kil Yüzeyinde Asit Boyaların ve Karışımlarının Tutulması, Y.Lisans Tezi, İstanbul Üniv., Fen Bilimleri Ens. İstanbul.
- Olivera, M. B., Varanda, F. R., Marrucho, I. M., Queimada, A. J., Coutinho, A.P., Prediction of water solubility in biodiesel with the CPA equation of state. *Ind. Eng. Chem. Res.*,47, 42784285 (2008).
- Orbak İ., 2009, Aktif Karbon ile Çevre Kirletici Bazı Unsurların Giderilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Osma J.F., Saravia V., Toca- Herrera J L, Couto S.R, 2006, Sunflower seed shells: A novel and effefive low-cost adsorbent for the removal of the diazo dye Reactive Black 5 from aqueous solutions., *ScienceDirect Journal of Hazardous Materials* 147 (2007) 900- 905, Department of Chemical Engineering, Rovira i Virgili University, Av. Paisos Catalans 26, 43007 Tarragona, Spain.
- Öner Z., 2011, Biyodizel Üretiminde Adsorban Maddelerin Rolünün İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özdemir N., 2015, immobilize Formda Kemik ve Ayçiçeği Kabuğu Biyokütleri Üzerine Viktorya Mavisi R (VMR) Biyosorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Özyurt İ. 2006, Biyokütle Atık Madde Olarak Ayçiçeği Çekirdek Kabuklarının Sıvılaştırılması ve Elde Edilen Ürünlerin Analizi, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., İstanbul.
- Park, C.S., G.D. Marx, Y.S. Moon, D. Wiesenborn, K.W. Chang, ve V.L. Hofman. *Alternative Uses of Sunflower*. 1997. In A. A. Schneiter(Ed). *Sunflower Technology and Production*. Agronomy Monogram 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. P. 765-807.
- Pekin, B., 1964, *Modern Fizikokimyaya Giriş*, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi Kitaplar Serisi No:8, Ege Üniversitesi Matbaası. İzmir.
- Qunwei, T., Jihuai, M., Hui, S., Jianming, L.,Shiun, F. H., 2008, Polyaniline/polyacrylamide conducting composite hydrogel with a porous structure. *Carbohydrate Polymers*, 74,215-219.
- Shah, P., Wee, C., White, J.M., Sanford, S., Meier, G., 2010,Experimental determination and thermodynamic modelling of water content in biodiesel-diesel blends. *Renewable Energy Group*.
- Sørensen, G., Pedersen, D. V., Nørgaard, A. K., Sørensen, K. B., Nygaard, S. D., 2011 Microbial Growth studies in biodiesel blends. *Biores. Technol.*, 102, 5259-5264.

- Şahan A., 2007, Farmosetik Maddelerin Aktif Çamur Arıtma Prosesinde Abiyotik Gideriminin İncelenmesi ,Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniv.Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Uyar F., 2016, Fosil Nedir? Fosil Yakıtlar Nedir? Faydaları Zararları Nelerdir?, Enerji Beş Temiz Enerji Portalı
- Van Gerpen, J.H.; Hammond, E.H.; Yu, L.& Monyem, A. ,1997,Determining the influence of contaminants on biodiesel properties. Society of Automotive Engineers Technical Paper Series, Paper No.971685, SAE, Warrendale, PA, USA.
- Van Gerpen, J and Canakci, M. 2003. A Pilot Plant to Produce Biodiesel from High Free Fatty Acid Feedstocks. Transactions of the ASABE 46(4): 945-954.
- Van Gerpen J.H., 2017 ,The Advantages of Water Washing Biodiesel, Biodiesel Tech Notes Issue TN # 25, (208) 885-6182. [http:// www. Biodiesel Education. Org.](http://www.BiodieselEducation.Org)
- Wang, Y. *et al.* 2009. Refining of Biodiesel by Ceramic Membrane Separation. Fuel Processing Technology. 90:422-427.
- Yüce İ.,2008, Alternatif Yakıt Olarak Biyodizelin Türkiye'deki ve Almanya'daki Durumu ile Taşıtlarda Kullanımının İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Erzurum'da doğdu. İlk Orta ve Lise tahsilini Erzurum'da tamamladı. 1993 yılında Atatürk Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümüne başladı. 1998 yılından itibaren Erzurum'da öğretmen olarak çalışmaktadır.

