

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BENTONİT KİLİN MOTOR YAĞINI ADSORBE ETME
KAPASİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUJGAN BURHAN

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN**

BİNGÖL-2022

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli hocam Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKİRAN'a teşekkür ederim. Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne teşekkür ederim.

Son olarak bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen anneme, babama ve ablalarımın tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı, ayrıca manevi desteklerinden dolayı arkadaşım Esra VAN'a ve kuzenim Elif AYDOĞDU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Mujgan BURHAN

Bingöl 2022

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal.....	18
3.2. Yöntem.....	19
3.2.1. pH.....	19
3.2.2. Sıcaklık.....	19
3.2.3. Tane Boyutu.....	20
3.2.4. Ağırlık.....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Farklı Miktarlardaki Bentonitin Adsorpsiyonu.....	21
4.2. Farklı Boyutlardaki Bentonitin Adsorpsiyonu.....	23
4.3. Farklı Sıcaklıklardaki Bentonitin Adsorpsiyonu.....	24
4.4. Farklı pH’lardaki Bentonitin Adsorpsiyonu.....	26

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	29
KAYNAKLAR.....	30
ÖZGEÇMİŞ.....	36

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

kg	: kilogram
g	: gram
mg	: miligram
L	: litre
ml	: mililitre
cm	: santimetre
KDK	: katyon değişim kapasitesi
pH	: bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimidir.
HCl	: hidroklorik asit
PAC	: aktif karbon
Cu	: bakır
Zn	: çinko
Ca	: kalsiyum
P	: fosfor
K	: potasyum
Na	: sodyum
N	: azot
Mg	: magnezyum
Fe	: demir
Mn	: mangan
mm	: milimetre

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1.	Kil minerallerinin katyon değişim kapasiteleri(KDK).....	14
Tablo 2.2.	Adsorpsiyon türleri ve özelliklerinin karşılaştırılması.....	15
Tablo 3.1.	Bentonit kilinin genel kimyasal içerikleri ve yağ emme özelliği.....	18
Tablo 4.1.1.	Farklı ağırlıktaki bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (0,5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür).....	21
Tablo 4.1.2.	Farklı ağırlıktaki bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (1 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür).....	22
Tablo 4.1.3.	Farklı ağırlıktaki bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (2,5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür).....	22
Tablo 4.1.4.	Farklı ağırlıktaki bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür).....	23
Tablo 4.2.1.	Farklı parçacık boyutlarına göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (0,5 mm, 2,5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4tekerrür).....	23
Tablo 4.2.2.	Farklı parçacık boyutlarına göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (2 mm, 2,5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4tekerrür).....	24
Tablo 4.3.1.	Farklı sıcaklıklara göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (30°C de 2 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4tekerrür).....	25
Tablo 4.3.2.	Farklı sıcaklıklara göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (40°C de 2 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4tekerrür).....	25
Tablo 4.3.3.	Farklı sıcaklıklara göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (50°C de 2 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür).....	26

Tablo 4.4.1.	Farklı pH lara göre bentonitin atık motor yağı adsorplama düzeyi (5,04 pH da 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür).....	26
Tablo 4.4.2.	Farklı pH lara göre bentonitin atık motor yağı adsorplama düzeyi (7,02 pH da 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür).....	27
Tablo 4.4.3.	Farklı pH lara göre bentonitin atık motor yağı adsorplama düzeyi (9,14 pH da 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür).....	28

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bentonitin kristal yapısı.....	11
Şekil 2.2.	Bentonitin tabii şekli.....	12
Şekil 2.3.	Madeni yağ tipleri (a) düz parafin, (b) dallanmış parafin, (c) naften, (d) aromatik.....	16

BENTONİT KİLİN MOTOR YAĞINI ADSORBE ETME KAPASİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Araştırmada bentonit kilinin atık yağlardan motor yağının adsorbe etme kapasitesi araştırılmıştır. Kil ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarında; pH, sıcaklık, tane boyutu ve ağırlık değişkenleri incelenmiştir. pH çalışmasında; 30 g bentonit kili HCl çözeltisi ile karıştırılıp pH 5,04-7,02-9,14'e ayarlanmıştır. Sıcaklık çalışmasında; 2,5 g bentonit kilinin 10 ml motor yağını adsorbe etme kapasitesi 30, 40 ve 50°C'ye ayarlanan sıcaklık koşullarında yapılmıştır. Tane boyutu çalışmasında; 30 g bentonit ufalanmış ve 0,5 mm ve 2 mm'lik boyutları incelenmiştir. Ağırlık çalışmasında ise; kil 0,5-1-2,5-5 g şeklinde tartılarak 10 ml motor yağını tutma miktarları ölçülmüştür.

Sonuçlara göre bentonit kilinin motor yağını adsorbe etme kapasitesi %17-75 arasında değişim göstermiş olup, en fazla adsorpsiyonun tane boyutunun 0,5 mm boyutunda %75 olarak elde edilmiştir. Önemli diğer bir bulgu da adsorpsiyonun ortam sıcaklığının artmasıyla azalması olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bentonit, adsorpsiyon, motor yağı, kil.

INVESTIGATION OF ENGINE OIL ADSORBING CAPASITY OF BENTONITE CLAY

ABSTRACT

In the research, the adsorbing capacity of bentonite clay from motor oil was investigated, In adsorption studies with clay; pH, temperature, particle size and weight variables were investigated. In pH study, 30 g bentonite clay was mixed with HCL solution and adjusted to pH 5.04, 7.02 and 9.14. In temperature study, the adsorbing capacity of 2.5 g of bentonite clay to 10 ml of motor oil was made under temperature conditions set at 30, 40 and 50°C. In the grain size study, 30 g of bentonite clay was crushed, and 0.5 mm and 2 mm dimensions were investigated. In weight training, clay was weighed as 0.5, 1, 2.5, 5 g and the holding amount of 10 ml engine oil was measured.

According to the results, The adsorption capacity of bentonite clay was measured between 17 and 75%. The highest adsorption capacity of bentonite clay was measured as 75% at the 0.5 mm particle size. Additional an important data is that the decreasing of adsorption capacity was increasing with temperature of environment.

Keywords: Bentonite, adsorption, engine oil, clay.

1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişen teknoloji ve artan sanayileşmeye ek olarak çevre sorunları artış göstermiş ve ileri boyutlara ulaşmıştır. Çevre problemleri yaşadığımız dünyada sınır tanımaksızın canlı yaşamını tehdit eder hale gelmiştir. Çevre kirliliğine neden olan etmenlere bakıldığında; ağır metaller, petrol ve türevleri, plastikler, endüstri atıkları, radyoaktif atıklar tehlikeli atık grubundadır. Bu atıkların direkt olarak doğaya salınması ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu nedenle petrol ve türevleri, motor yağları doğru biçimde yönetilmelidir. Petrol üretilmesi ve taşınması sırasında oluşan kazalar petrol kaynaklı çevre kirliliğine neden olmaktadır. Özellikle su ortamlarına sızan yağlar geri dönüşü mümkün olmayan sonuçlara yol açmaktadır. Bu atıklarla kirlenen yeraltı suları, nehir, göl ve denizler gibi tüm ülkeler için büyük öneme sahip olan doğal kaynakları kullanılamayacak hale getirmektedir. Toprağa karışan petrol, toprağın fiziksel özelliklerini değiştirip biyolojik aktivitesini etkilemekte ve yapısını bozmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu ise yeni bitkilerin ekilip yetiştirilmesinin oldukça zor olduğu sonucuna varılmıştır. Çevre kirliliğinin giderilmesi için öncelikle çevre kirliliği oluşturmayan, maliyeti düşük uygun çözüm yollarının bulunması gerekmektedir. Atık motor yağlarının oluşturduğu çevre kirliliğinin giderilmesi için kurulacak tesislerin maliyetli olması ve işletmelerde sorunlara neden olması sebebiyle doğal adsorbentlere ilgi artmıştır. Doğal adsorbentler düşük maliyet, kolay temin edilmesi ve ilave bir çevre kirliliği oluşturmaması açısından araştırmacılar tarafından tercih edilmeye başlanmıştır.

Kil taneleri mikro boyutta olmalarına rağmen kümeler halinde bulunurlar. Killer negatif elektrik yüküne, çok geniş yüzey alanına sahip ve stabil agregat oluşumunda aktif rol aldıklarından oldukça sağlam yapısal özellikler göstermektedir. Killer, tanecik büyüklüğü 2 mikrondan küçük, hacim ağırlığı düşük bir yapıya sahiptirler. Bu durum killerin gözenek haciminin fazla olmasını ve bu özelliğinin yoğun kullanılmasını sağlamaktadır.

Killi toprakların porozite değerleri %65'e kadar çıkmaktadır. Kil mineralleri esasında silika, alümina ve suyun oluşturmuş olduğu sulu silikatlardır. Ayrıca yapılarında demir, alkali ve toprak alkalilerini oldukça bol miktarda bulundurlar. Kil minerallerinin ana yapısını oluşturan iki tip kafes vardır. Bunlardan birincisi oktahedral ikincisi ise tetrahedral kafes yapısıdır (Grim 1968). Kafes yapılarının tabakalar halinde bağlanmalarını ve düzenlenmelerini sağlayan kuvvetlere bağlı olarak kaolin, simektit ve illit olabilir (Cruz 2016; Zhang 2016; Chen and Peng 2018).

Volkanik kül ve lavların ayrışması sonucu oluşan ve içerisinde bol miktarda alüminyum ve magnezyum bulunduran hâkim olarak Montmorillonit barındıran killere bentonit denir (Orhun 2016). Bentonit oldukça ince yapılı bir kildir. Partikül boyutunun ince olması sebebiyle kullanım alanında ve kolloidal süspansiyonların oluşmasında önem arz etmektedir (Eruslu 1991). Bentonit partiküllerinin çok küçük olması ve temas yüzeyinin çok büyük olması su emme kapasitesini artırmaktadır. Bu bağlamda yağ ve gliserini de kolayca absorbe edebilmektedir (Eruslu 1993).

Bu çalışmada bentonit kilinin atık motor yağını adsorbe etme kapasitesi incelenmiş olup bazı parametreler ile ilişkisi değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Wang ve arkadaşları, kapok liflerini asetilleyerek sulu ortamdaki petrol sızıntısını temizlemeyi amaçlamışlardır. Yaptıkları çalışmalar neticesinde, asetillenmiş olan kapok liflerinin dizel ve soya fasülyesi yağını ham liflerden daha iyi emdiğini gözlemlemişlerdir. Asetillenmiş kapok liflerinin kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Wang et al. 2013).

Angelova ve arkadaşları kompozit C/SiO₂ içeren malzemeyi pirinç kabuklarının pirolizi ile (480°C sıcaklıkta) elde etmişlerdir. Kullanılan bu malzemeyi petrol ve petrol ürünlerinin sebep olduğu kirlilikleri iyileştirmek için absorban olarak incelemişlerdir. Pirolize edilmiş pirinç kabuklarının farklı yoğunluktaki su, yağ ve petrolün adsorpsiyon kapasiteleri araştırılmıştır ve bu malzemenin yüksek yağ emme kapasitesi ve yüksek hidrofobikliği sayesinde çok iyi bir yüzdürme özelliği gösterdiği görülmüştür. Oluşturulan bu malzemenin sulu ortamdan yağ ve yağ ürünlerinin adsorpsiyonunu etkin bir şekilde sağlaması yeni bir çevresel malzemenin geliştirilmesine öncülük edeceğini sağlamıştır (Angelova et al. 2011).

Endüstriyel büyüme ile petrol arama ve üretim faaliyetlerinin artması sonucu petrol kirliliği tehdit unsuru olmaya başlamıştır. Yağlı atık suların arıtımı petrol atık su arıtma tesislerinde problemlere sebep olduğu için çevre sorunu oluşturmuştur ve ilgili çalışmaların kritik bir öneme sahip olduğu anlaşılmıştır. Yağ partikülleri ileri teknolojilerle arıtılabilse de kullanılan yöntemlerin uygulanması pahalı ve zordur. Bu durum araştırmacıları alternatif yollar bulmaya zorlamıştır. Adsorpsiyon ve birleşme filtrasyonu uygun sorbent kullanıldığında kolay ve uygulanabilir olması sebebiyle umut verici bir yöntem olmuştur. Son makalelerde doğal lifli sorbentlerin kullanımına dair veriler incelenerek tartışılıyor. Kolay bulunabilmeleri açısından doğal lifli sorbentler kontamine olmuş suyun temizlenmesinde iyi bir alternatiftir (Wahi 2013).

Kapok liflerinin mazot, yemeklik yağ ve kullanılmış motor yağı gibi farklı yağlar üzerinde filtreleme yöntemi kullanılarak adsorpsiyon oranları incelenmiştir. Farklı yağların kapok lümenlerine fiberin düşük enerjisi ve yüksek hidrofobikliği nedeniyle nüfuz ettiği gözlemlenmiştir. Kloroform ile geliştirildikten sonra kapok emiliminde küçük farklılıklar oluşmuştur ancak bu yağların sorpsiyon katsayıları açık bir şekilde artmıştır. SEM kloroform işleminin kapok liflerinin yüzeyinde pürüzsüzlük oluşturması ile daha iyi bir emilim sağlayan yüzey elde edilmiştir (Dong et.al. 2015).

Petrol sızıntısının temizlenmesinde tercih edilen doğal adsorbanlar hem çevreye uyumlu hem de maliyet bakımından ekonomiktir. Bu çalışmada kullanılan Palm lifleri petrol sızıntısının arıtılması için kullanılmıştır. Bu çalışma dizel petrol, ham petrol ve bitkisel yağın modifiye edilmiş liflerin sorpsiyon verimini ve kapasitesini incelemiştir. Sonuçlar palmiye liflerinin yüksek emilim sağlaması ve verimlilik kapasitesinin iyi olması bakımından gelecek vadede bir yöntem olduğunu göstermiştir (Abdelwahab 2017).

Diğer bir çalışmada, Türkiye ve ABD clinoptilolite killerin otomobil yağlarını adsorbe etme kapasitesi araştırılmıştır. Bu killeri hidrate ve dehidrate olarak incelenmiştir. 5 tekerrürlü yapılan çalışmada dehidrate clinoptilolite killerin yağları adsorbe etme kapasitesinin daha fazla olduğu belirlenmiştir (Demirkıran et al. 2016).

Boya atıklarının modifiye edilmiş bentonit kili ile adsorpsiyonu incelenmiştir. Bentonitin bu boyaları adsorbe etme kapasitesi (300 mg/L, 30°C ve pH= 9-8); RhB boyası için 173,4 mg/g, asit red-1 için ise 157,4 mg/g olarak bulunmuştur (Huang 2017).

Nano gözenekli adsorbanlar başlangıçta doğal kilin asitle aktivasyonu sonucu üretilmiştir. Asit tipi, konsantrasyon ve kalış süresi gibi bazı

önemli faktörlerin adsorbanın gözenek yapısıyla birlikte incelenmiştir. Sülfirikasit ile etkileşimi sonucunda hidrojen iyonlarının yer değiştirmesi ile montmorillonit tabakalarının mesafesi yaklaşık 2,7Å'lık bir azalma olduğu gözlenmiştir. Kullanılmış motor yağındaki kontaminasyonların giderilmesi için tercih edilmiştir. Sonuçlar kullanılan yöntemin atık yağlayıcıların rejenerasyonunda umut verici bir yöntem olduğunu göstermiştir (Salem 2015).

Atık su içerisinde bulunan yağlar arıtılmadan doğaya salındığında ciddi çevre sorunu oluşturmaktadır. Petrolle kirlenmiş suyun arıtılmasında tercih edilen yöntemlerden biri adsorpsiyondur. Bu çalışmanın temel amacı bentonit-toz aktif karbon (PAC) ve çökelmiş karbon (DC) üzerine adsorpsiyon yöntemiyle yağ-su emülsiyonlarından yağın uzaklaştırılmasını incelemektir. Temas süresi, adsorban ağırlığı ve adsorbat konsantrasyonu yağ adsorpsiyonuna karşı etkileri incelenmiştir. Sonuçlar DC ve Bentonitin PAC'ye göre daha etkili adsorpsiyon özelliği gösterdiği gözlenmiştir (Khaled 2011).

Bir çalışmada, bentonit kilinin renk açma işleminde kullanılması incelenmiştir. Asitle uygun işlemler yapıldıktan sonra bentonitin yüksek renk giderme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir (Srasra 1989).

Yapılan bir çalışmada, aktif Ca-bentonit tozu ile atık motor yağının dönüşümü üzerine inceleme yapılmıştır. Adsorban olarak kullanılan kil malzemesi nitrik ve sülfirik asit ile asitlenmiştir. Çalışma sonucunda modifiye edilmiş olan kilin yüksek emilim sağladığı görülmüştür (Shiva 2015).

Bentonitlerin iyileştirme özelliği ile yağların geri kazanımı önerilmektedir. Atık yağdan metallerin uzaklaştırılması için bentonit konsantrasyonu belirlenmiştir. Atık yağın iyileştirilmesi, yakma tesisini koruyup ömrünün uzamasına ve kirlenici emisyonlarının azalmasını sağlamıştır (Dragne 2019).

Çevre kirliliğinin artması ile doğal adsorbanlara olan talep artmıştır. Bu çalışmada, ağır metal grubunda yer alan ve toksik özellik gösteren çinkonun sulu çözeltilerden bentonit (Ca-bentonit) yardımıyla uzaklaştırılması incelenmiştir. Sonuçlar, düşük pH değerlerinde bentonit adsorpsiyon hareketini yöneten mekanizmanın kristal yapının çözünmesi ve metal iyonlarının H^+ yönünde olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak bentonit kilinin sulu ortamdan çinkoyu uzaklaştırmasında etkili bir adsorban olduğu görülmüştür (Kalpaklı 2018).

Sular çeşitli toksik bileşenlerden, özellikle ağır metal, aromatik moleküller, yağlar ve boyalardan ötürü kimyasal kirliliğe neden olmaktadır. Bu kirlilikler potansiyel insan ölümlerine ve ekolojik sorunlara neden olmaktadır. Bu çalışmada bentonit kilinin adsorpsiyonu incelenmiştir. Bentonit kilinin yüksek adsorplama kapasitesi olduğu açıkça görülmüştür (Sadan and Pandey 2017).

Bentonitler hidrofilik özelliği ve ve negatif yüzey yükü sebebiyle katyonik kirliliklerin gideriminde etkin olmasına karşın anyonik ve hidrofobik kirlilik gideriminde modifiye edilerek kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Yıldız 2006).

Bu çalışmada hegzadesil piridinyum ile modifiye edilmiş Na-montmorillonit mineralinde perkloratın anyon değiştirme kapasitesi incelenmiştir. Yapılan çalışmada perklorat adsorpsiyonu Langmuir izoterm modeline uyduğu hem bazik hem de asidik çözeltilerde perklorat iyonlarının başarılı bir şekilde uzaklaştırıldığı görülmüştür (Chitrakar 2012).

Bu çalışmada adsorpsiyon yöntemi ile atık yağlardan nemi uzaklaştırmak için bentonit kili tercih edilmiştir. Enerji üretiminde tekrar kullanılabilirliği araştırılmıştır. Atık yağların nem ve viskozite, asitlik değerleri, sabunlaşma ve peroksit gibi içerikleri belirlenip

bentonitin adsorban olarak uygulama yöntemi tanımlanmıştır. Yapılan işlemler sonucunda kurutulmuş bentonit kilinin nemi yüksek seviyede adsorpladığı görülmüştür. Sonuçlar, bentonit kilinin hem ekonomik açıdan hem de uygulanabilirlik yönünden biyodizeller için uygun olduğunu göstermiştir (Dotto et al. 2021).

Nano yapıli bir malzeme olan bentonit kilinin adsorpsiyon yöntemi ile toksik bileşiklerin uzaklaştırılması araştırılmıştır. Farklı su kirliliklerini gidermede modifiye bentonit adsorpsiyon için iyi bir örnek oluşturmuştur. Organik ve inorganik kirleticilerin gideriminde adsorban üzerinde pH'nın etkisi tartışılmıştır. Sonuçlar sözde ikinci derece ve Langmuir modelleriyle incelenmiştir (Sadan and Pandey 2017).

Abak (2016) bentonitin yağ endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanıldığını belirterek, bentoniti HCl ile aktifleştirmiş ve aktifleştirilen bentoniti ham yağın ağartılmasında kullanmıştır. Aktifleştirme ve tabakalaştırmanın bentonitin adsorpsiyon yeteneğini arttırdığını bildirmiştir.

Ahmad et al. (2005) sentetik kauçuk ham maddesi tozu üzerine palmiye yağı adsorpsiyonunu inceledikleri bir çalışmada karıştırma hızının artması ile yağ adsorpsiyonu hızının ve yağ gideriminin arttığını belirtmişlerdir. Karıştırma hızının artması ile adsorpsiyon hızını yavaşlatan yüzey film kalınlığında azalma meydana geldiğini ve böylelikle yağın partikül yüzeyine daha kolay ulaştığı ifade edilmiştir.

Ertürk (1999) bentoniti yağların bitkisel ağartılmasında kullanmış, kilin %1-2,5 (ağırlıkça) ve 15-60 dakika 90°C'de yağların ağartılmasıyla sonuçta istenen renk ve serbest asitlik değerine ulaşıldığını bildirmiştir.

Sulu ortamda yağ ve petrol kirliliği son yıllarda çevreyi tehdit eder düzeylere ulaşmaktadır. Bu konuda çalışan Pasila (2004) sulu ortamdan yağları adsorbe edecek metotlar ve materyaller üzerinde çalışmış, adsorpsiyon filtrasyonu (AF) adı verilen yeni bir yağ adsorpsiyon yöntemi geliştirmiştir. Bitki materyallerinden (kamuş kanarya otu

(*Phalaris arundinacea*), keten (*Linum usitatissimum* L.), kenevir (*Cannabis sativa* L.) yapılmış bir filtreden su+yağ fazının geçirilerek yağ kalıntılarından suyun temizlenebildiği bildirilmiştir. Bunun sonucunda, uygun bitkiler ve parçalanma boyutları seçilerek suyu geçiren ancak yağı emen filtrelerin üretilebileceği açıklanmıştır. Araştırmacı çalışmada, 2-4 g yağ/g bitki materyali oranında adsorpsiyonun gerçekleştirildiğini bildirmektedir.

Bitki materyalleri değişik araştırmalarda yüzeylerden yağı emmek için kullanılmıştır. Bu materyallere örnek olarak; pamuk linterleri, ezilmiş mısır koçanı ve modifiye edilmiş kâğıt hamuru (Johnson et al. 1973; Young 1986; Sun et al. 2002, Silva-Tilak 2002), turba (Lee et al. 2001) değişik kirleticileri adsorbe etmekte kullanılmıştır. Bitki atıklarını yağ adsorpsiyonunda kullanan araştırmalar da mevcuttur (Viraraghavan and Mathavan 1988; Rankin et al. 1989). Bitkisel liflerin yağ adsorpsiyon kapasiteleri ölçülmüş (Tavisto et al. 2003), bunun için keten, kenevir lifleri ve talaş kullanılmıştır. Bu aşamada sıvının yüzeyi fiber malzemeyle temas ettirilmiş, belirli zaman aralıklarıyla yağ adsorpsiyonu tartılarak ölçülmüştür. Choi et al. (1993), pamuk liflerini (1 g) su+yağ fazında araştırmış, Rankin et al. (1989), farklı doğal organik materyal numuneleri (0,4 g) 100 ml'lik bir silindirde yağ ve su ile karıştırıp adsorpsiyonunu gravimetrik olarak ölçmüştür.

Polistiren (PS) liflerinden oluşan düşük maliyetli, yüksek yağ adsorpsiyonlu bir film araştırması yapan Wu et al. (2012), sonuçta dizel yağı, silikon yağı, yer fıstığı yağı ve motor yağı için küçük çaplı ve gözenekli yüzey yapısına sahip iyi bir yağ emici olan PS yağ emici filmin yağ adsorpsiyon kapasitesinin sırasıyla yaklaşık 7,13 g/g, 81,40 g/g, 112,30 g/g ve 131,63 g/g olduğunu göstermiştir.

Nano ölçekli karbonlu materyal içinde petrolün adsorpsiyon davranışını inceleyen Wang et al. (2015), model Bakken uygulamasıyla, yağın yaklaşık %13'ünün adsorbe fazda bulunduğunu göstermişlerdir.

Son yıllarda, petrol sızıntısı kirliliği, ciddi çevresel etkileri nedeniyle önemli bir endişe kaynağı olduğunu ifade eden Behnood et al. (2013), bu nedenle bu tür kirlilikleri ve bunların çevresel sonuçlarının önlenmesi veya azaltılması için gerekli önlemler ve çalışmaların yapılması gerektiğini vurgulamıştır. Bunun için doğal organik sorbentler,

bulunabilirlikleri, çevre dostu olmaları ve düşük maliyetleri nedeniyle petrol sızıntısının temizlenmesi için uygun seçenekler olarak ortaya çıkmaktadır.

Behnood et al. (2013) yağlı sistemlerdeki (kuru ve ham) çalışmasında, petrol emilimi için *Phragmites australis*, şeker kamışı yaprağı samanı ve şeker kamışı küspesi kullanmıştır. Sonuçlar, şeker kamışı küspesinin diğerlerine kıyasla daha yüksek bir yağ emme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Şeker kamışı küspesinin su üzerinde kuru ve ham petrol tabakası sistemlerinde sorbent özelliği (temas süresi ve partikül boyutunun yağ adsorpsiyon kapasitesi) değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kuru sistem ve ham petrol tabakası sistemi için ham şeker kamışı küspesinin maksimum adsorpsiyon kapasitesinin, sorbent gramı başına sırasıyla yaklaşık 8 ve 6,6 gram ham petrol olduğunu göstermiştir.

Songsaeng et al. (2019) doğal kauçuk (NR) ve doğal kauçuk+latekse indirgenmiş grafen oksit (rGO) motor yağını emme özelliği bakmışlar, NR'ye rGO eklenmesiyle elde edilen NR/rGO kompozitin petrol yağı adsorpsiyon kapasitesinin (12-21 g/g), saf NR'a göre (8-15 g/g) daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuçta, 30 kullanımdan sonra %70'in üzerinde yağ çıkarma verimliliğine sahip yeniden kullanılabilir bir malzemenin üretildiği bildirilmiştir.

Sanayi devriminden bu yana, petrol ürünlerine olan talep önemli ölçüde artmıştır. Bu durum da petrolün çıkarılması, taşınması, transferi ve depolanmasını ve dolayısıyla artan petrol sızıntısı problemini ortaya çıkarmıştır. Doğal ortamdaki bu petrol sızıntıları, çevre ve ekosistem üzerinde yıkıcı etkilere neden olabilmektedir (Zhu et al. 2011; Elkady et al. 2015; Yati et al. 2016). Bu ciddi sorunu çözmek için fiziksel (Ukotije-Ikwut et al. 2016; Saleem et al. 2018; Pagnucco and Phillips 2018; Shin et al. 2019), kimyasal (Bahry et al. 2013; Liu et al. 2015; Rongsayamanont et al. 2017) ve biyolojik (Singh et al. 2012; Guo et al. 2017; Hussain et al. 2019) gibi çeşitli yöntemler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bir adsorbanın fiziksel adsorpsiyon, basit, çevre dostu ve düşük maliyetli olması genellikle istenmektedir. Bu kapsamda genel olarak emici malzemeler; sentetik malzemeler (Li et al. 2015; Keshavarz et al. 2016; Santos et al. 2017), inorganik mineraller (Carmody et al. 2007; Karakasi and Moutsatsou 2010; Bandura et al. 2015) ve doğal ürünler (Radetic et al. 2003; Ali et al. 2012; Singh et al. 2013; Raj and Joy 2015) olarak üç gruba ayrılabilir.

Bentonit sözcüğü ilk olarak Knight tarafından 1898 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Wyoming'de Fort Benton yakınlarındaki kretase yaşlı yüksek koloidal yapılı plastik killer için kullanılmıştır (Akbulut 1996). Wyoming Eyaletinde yaşayanlar, bu adlandırmayı yapmadan önce ıslanan yatak yüzeylerinin yumuşamaya neden olmasından dolayı bu malzemeye 'sabun kili' adını vermişlerdir. Bu malzemeye, ilk dönemler "Taylorit" adı verilmiştir. Daha sonra, Ford Benton yakınında bulunmasından dolayı taylorit ismi değiştirilip yerine bentonit denilmiştir (Erdoğan 1976). 1847 yılında bentonit kiline benzer başka bir kil ise Fransa'nın Montmorillon bölgesinde bulunduğundan dolayı da bu kile de "montmorillonit" adı verilmiştir. Bu killer Semektit kili ile benzer özellikler gösterdiğinden Semektit grup adı ile bilinmektedirler (İşçi 2002).

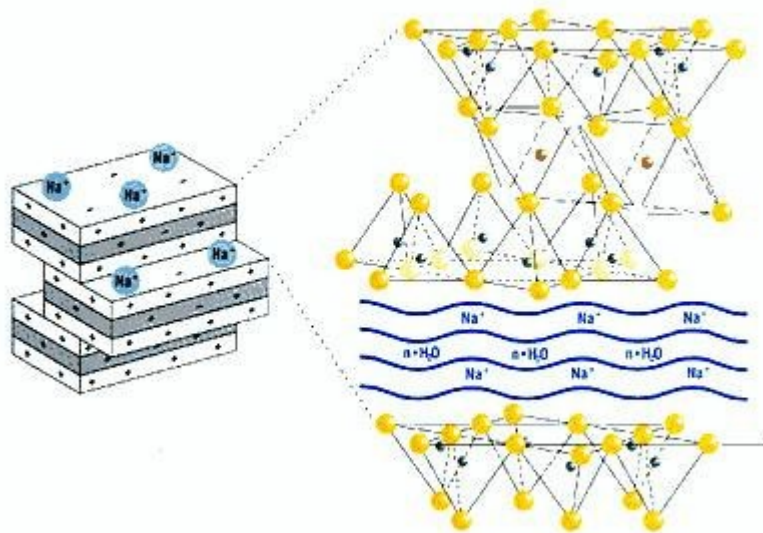
Heinrich 1920 yılında yaptığı çalışmalar ile kil mineralinin bazı karakteristik özelliklerini incelemiştir. Bu özellikler şunlardır; plastiklik, yanma ve çekilme gibi seramik özellikleridir (Grim 1990). X-ışını kırılma yöntemiyle Ross ve Kerr ilk kez 1923 yılında mikro boyuttaki kil partiküllerini araştırmışlardır. Hendricks 1930'da ve Kelly 1931'de yaptığı çalışmalarda kil minerallerinin mikro boyuttaki kristallerden oluştuğunu göstermişlerdir. Linus Pauling de 1930'da yapmış olduğu araştırmaları ile tabaka silikatların atomik yapısı ile ilgili birçok kil minerali yapısı hakkında bilgiler vermiştir (Eruslu 1993). Yine Shanon ve Ross 1925-1926 yıllarında bentonitlerin mineral boyutunu incelemişler, çalışmalarını petrografik mikroskopla gerçekleştirmişler ve kimyasal yöntemleri de kullanmışlardır.

Bentonitler su ile temas ettiklerinde şişme özelliği gösterirler. Bentonitler şişme özelliklerine göre az, orta ve fazla şişen bentonitler olmak üzere üçe ayrılırlar. Şişme kapasitelerinin yanında, kullanım alanlarına göre de sınıflandırılmaktadır (Akbulut 1996).

Bentonitler bulundukları değişebilir özellikteki sodyum ve kalsiyum iyonlarına göre de ayrılırlar. Buna göre, sodyum bentonit (Na bentonit,

yüksek şişme özelliğinde), karışık bentonit, (Na+Ca bentonit, sodyumlu ve kalsiyumlu bentonit, orta şişme özelliğinde) ve kalsiyum bentonit (Ca bentonit, düşük şişme özelliğinde) olarak 3 grupta incelenmektedir (Akbulut 1996; Çinku ve Bilge 2001). Sodyum bentonitler (fazla şişen bentonitler) aynı zamanda Wyoming tipi bentonit olarak da adlandırılmaktadır. Sodyum+kalsiyum bentonitler ara tipler veya karma tipler olarak, kalsiyum bentonitler da 'ağartma toprağı' gibi adlarla da adlandırılmaktadır. Bentonitler doğal olarak yukarıdaki gibi gruplandırılmalarının yanında, istenen özelliklerini arttırmak için asit, soda, polimer ve katkı maddeleriyle tepkimeye sokularak "katkılı bentonit" veya "aktif bentonit" şeklinde de gruplandırılabilir. Aktifleştirme veya katkı maddesinin özelliğine göre de "sodyum aktif bentonit", "aktif ağartma toprağı" veya "polimer katkılı bentonit" şeklinde adlandırılmaktadır (Akbulut 1996).

Kil mineralleri başlangıçta amorf yapıda olarak kabul görmekteydi. Ancak yaptıkları çalışmalarla kil minerallerinin kristal bir yapıya sahip olduğunu ilk olarak Hendricks ve Fry 1930'da, Walter et al. 1931'de keşfetmişlerdir (Fahn 1965). Şekil 2.1'de bentonitin kristal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Bentonitin kristal yapısı

Kil mineralleri yapısı itibariyle iki tip atomik kristalden, yani oktahedral ve tetrahedral yapıdan oluşurlar. Oktahedral yapıda olanın kristal özelliği üçer oksijen ya da hidroksilden oluşmuş iki tabaka arasına sıkıca paketlenmiş katyon (alüminyum, demir ya da magnezyum) atom modelidir. Bu kristal yapı modeline “gibsit” denir. Tetrahedral yapı ise kenarlarda oksijen atomu bulunan bir düzgün dörtyüzlünün ortasına bir silikon atomunun yerleşmesi ile oluşmuştur ve SiO_2 şeklinde gösterilir (İşçi 2002).

Doğal ve işlenmemiş bentonit; oldukça yumuşak, kaolin özelliğinde bir kayadır. Kırılmaya uygun olup elle hissedildiğinde yağlı ve yumuşak bir his vermektedir (Eruslu 1993). Şekil 2.2’de bentonitin tabii şekli gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Bentonitin tabii şekli

Mineral özelliklerine göre işlenmemiş bentonitlerin renkleri farklı olabilmektedir. Bu renkler daha çok gri, beyaz, yeşil, gri-beyaz, gri-

yeşil, pembe ve kahverengi ile bunların değişik tonlarında olabilmektedir. Bentonitlerin görünümlerini birbirinden farklı olmasının sebebi montmorillonitlerin içeriğindeki demir miktarıdır. Demir iyonunun valans özelliğine göre renk değişimi olur. Bentonit ortamın nemliliğine göre de renk değiştirir ve daha koyu bir renge bürünür (Fahn 1965).

Kuru bentonitin özgül ağırlığı kalite kökenine göre 2,7- 2,8 değişiklik gösterir. Toz haline getirilen aynı özellikteki killere ise 1,6-1,8'e kadar düşüş gösterir (Kahya 1988).

Bentonitin en önemli özelliklerinden biri de su ile temas ettikten sonra şişme özelliği göstermesi ve yağlı bir hal almasıdır. Bir kilin bentonit olabilmesi için kendi hacminden en az 5 kat şişmesi gerekmektedir (Eruslu 1991). Bentonitin ticari anlamda iyi olarak nitelendirilebilmesi için ağırlığının 5-6 katı kadar suyu absorbe etmesi ve hacminin 12-15 kat artış göstermesi gerekmektedir. Bentonitler istenildiği kadar su ile işlem görüp kurutulabilirler bu işlemler onların özelliklerini kaybetmesine neden olmaz, ancak kullanılan su saf su olmalı ve kurutma işlemi yüksek ısıda yapılmamalıdır (Eruslu 1991).

Kimyasal analizler genellikle maddelerin mineral bileşimleri, primer minerallerin ve içinde barındıkları diğer minerallerin yapısı ve miktarı hakkında bilgi vermektedir. Bentonitler oluşum aşamalarına göre ve oluştukları bölgelere göre farklılık göstermektedir. Sonuç olarak bentonitlerin benzer olma olasılıkları azdır. Farklı yollarla elde edilen bulgular birbirini tamamlayarak kullanım yerine göre kullanma şeklini ortaya çıkarır. Bu sebeple bentonitlerin kimyasal sonuçları, X-Işınları Difraksiyonu (XRD) ve Diferansiyel Termik analiz sonuçları ile diğer fiziksel deney sonuçlarıyla ele alınarak incelenmektedir (Erdoğan 1976).

Kil mineralleri, yapısındaki adsorbe etmiş olduğu bazı katyon ve anyonları, suda veya çözeltideki diğer katyon ve anyonlarla yer değiştirme özelliğine sahiptir. Montmorillonitlerden oluşmuş bentonitlerde bu durum çok açık görülmektedir. Bu durum kilin silis-alümin yapısal ünitesinin dışında olduğu için iyon değiştirme reaksiyonu sonucunda kilde yapısal değişiklik oluşturmaz. Killerle alakalı yapılan çalışmalarda iyon değişimi büyük önem taşımaktadır. Örneğin tarım alanında bitkilerin gelişiminde, jeolojide killerin çeşitlerinin oluşmasında, kilin işlenmeden kullanıldığı alanlar da iyon değişimi ile alakalıdır. Kilin bazı fiziksel özellikleri, bulundurduğu değişebilir iyonun miktarı ve cinsine göre farklılık gösterir. Değişebilir katyon Ca veya Na olabilir (Erdoğan 1976).

Katyon değişim kapasitesi (KDK) kilin özelliğine göre değişiklik gösterir. Bir kilin herhangi bir katyondan tutacağı maksimum değeri sabittir. Tamponlanma kapasitesinin göstergesi olarak kabul edilen katyon değişim kapasitesi; kilin adsorbe edeceği katyon miktarına o kilin katyon değişim kapasitesi denir. Farklı katyon değişim kapasitesine sahip killerin kristal yapılarındaki kırık bağlardan kaynaklanmaktadır. Örneğin montmorillonit kilinin KDK değeri en yüksek iken aşırı derecede ayrılmış kaolinit kilin en düşüktür. Bazı killerin katyon değişim kapasiteleri Tablo 2.1' de gösterilmiştir (Erdoğan 1976).

Tablo 2.1. Kil minerallerinin katyon değişim kapasiteleri (KDK)

Kil mineralleri	(meq/100 g)
Kaolinit	3-5
Halloysit-2H ₂ O	5-10
Paligorskit	20-30

Klorit	10-40
İllit	10-40
Halloysit-4H ₂ O	40-50
Montmorillonit	80-150
Vermikülit	100-150

Bentonitin değişik ve geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri şunlardır: Temizlik maddelerinde, petrol rafinasyon işleminde, kâğıt sanayiinde, ilaç sanayiinde, lastik sanayiinde, gübre sanayiinde, yangın söndürme sanayiinde, boya sanayiinde, yağlı zeminlerin temizlenmesi işleminde, çimento sanayiinde, inşaat mühendisliğinde, gıda sanayiinde, rutubet kontrolü faaliyetlerinde gibi kullanım alanları bulunmaktadır.

Yağlı zeminlerin temizlenmesinde bentonit kilinin kullanımı oldukça önemlidir. Yağlı yüzeylerin adsorpsiyonunda ve sıvıda dağılmalarını engellemek için emme kapasitesi yüksek olan bentonit kullanılabilir. Bu aşamada bentonitlerin adsorpsiyon kapasitesini artırmak için 10-60 mesh (2 mm-250 mikron) boyutundaki bentonitler 200-500°C’de yakılarak kullanılabilir (Akbulut 1996).

Adsorpsiyon, bir fazdaki atom, iyon ya da moleküllerin diğer bir fazın yüzeyine bünyesine geçtiği veya tutunduğu bir kimyasal olaydır. Konsantre olan maddeye adsorbat ve adsorbe eden katı ise adsorban (adsorbent) olarak adlandırılmaktadır. 3 tip adsorpsiyon vardır. Bunlar; fiziksel, kimyasal ve değişim adsorpsiyonlarıdır. Fiziksel adsorpsiyon moleküller arası zayıf çekim kuvveti olan van der Waals bağlarından meydana gelmiştir. Burada, adsorplanan madde katı yüzey üzerinde belirli bir bölgeye tutunmaz ve yüzey üzerinde serbest hareket edebilmektedir. Fiziksel adsorpsiyon tersinir özellik gösterir. Başka bir deyişle çözelti içerisinde bulunan maddenin konsantrasyonu azaldıkça adsorplanan maddeyle benzer oranda madde yüzeyden ayrılır.

Kimyasal adsorpsiyon güçlü çekim kuvveti olan valens bağlardan oluşmuştur. Kimyasal adsorpsiyon, çok kısmen tersinir özellik gösterir. Adsorplanan madde adsorban yüzeyinde tek tabaka oluşturur bu da moleküllerin adsorban yüzeyindeki hareketini kısıtlamaktadır. Değişim adsorpsiyonu ise, adsorbant ile yüzey arasındaki elektrostatik çekim kuvveti tarafından oluşturulmuştur. Bu durum adsorpsiyon iyon değişimi için önemli bir belirleyicidir.

Tablo 2.2. Adsorpsiyon türleri ve özelliklerinin karşılaştırılması

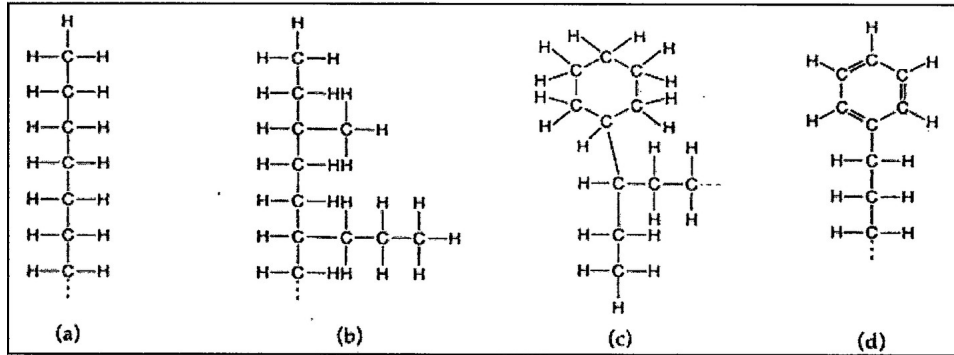
Fiziksel adsorpsiyon	Kimyasal adsorpsiyon
Van der Waals zayıf kuvvetleriyle bağlıdır	Daha güçlü olan Valens kuvvetleriyle bağlıdır
Tersinirdir	Tersinmezdir
Adsorban molekülleri yüzeyde serbest hareket ederler	Adsorban molekülleri yüzeyde serbest hareket edemezler
Aktivasyon enerjisi gerekmez	Aktivasyon enerjisine ihtiyaç vardır
Sıcaklık ile azalır	Sıcaklık ile artar

Adsorplayıcı maddeler, gaz veya sıvı fazdaki maddeleri adsorplayabilen katı maddelerdir. Bunlar doğal veya sentetik olabilirler. Doğal adsorban olan killer, zeolitler ve ağartma toprakları en önemlileridir. Sentetik olan adsorbanlar içerisinde de en önemlileri aktif karbon, aktif alimüna, silika jel ve iyon değiştirici reçinelerdir. Bunlar neredeyse bütün sıvı ve gazları adsorbe ederler (Pattersen 1970). Adsorpsiyon işleminde adsorbentlerin rolü oldukça önemlidir. Yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve yüksek seçicilik arzu edilen özelliklerdendir (Günan ve Yücel 2017). Dolayısıyla bu özellikler hem reaktör seçiminde hem de tesis maliyeti açısından önemli unsurlardır. Yüksek kapasiteli adsorbentlerin oluşturulmasında çoğunlukla mikro gözenek boyutlu malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca önemli bir hususta adsorpsiyon\desorpsiyon hız değerleri gözeneklerin arasındaki difüzyonla belirlendiği için bahsedilen özelliklerin, adsorbent seçilmesiyle işletim şartlarının belirlenmesinde dikkat edilmelidir (Pollard et al. 1992).

Katı cisimleri birbirinden ayırmak ve sürtünme kuvvetini en az indirerek rahat hareket etmelerini sağlamak amacıyla kullanılan maddelere

“yağ” denir. Yağlar elde edilme şekillerine göre 2 sınıfa ayrılır. Bunlardan biri “madeni yağlar” diğeri ise “sentetik yağlar”dır.

Madeni yağlar petrol türevi olup endüstride en çok tercih edilen yağlardır. Bu yağlar daha çok cisimlerin sürtünmesini azaltmak için yağlama işleminde kullanılır. Sentetik yağlar ise yapay olarak üretilerek madeni yağlara göre daha iyi özelliktedirler. Madeni yağlar ham petrol sonucu oluşturulmuş yağlardır. Petrol; bitki ve hayvan kalıntılarının uzun yıllar boyunca yüksek basınç altında kalması sonucu oluşur. Madeni yağlar üretildikleri ham petrolün kaynağına ve rafinasyon prosesine göre farklı özellikler gösterebilirler. Bu farklılıklar petrolün kükürt içeriğine, viskozite değerine ve kimyasal yapısına göre değişiklik gösterir.



Şekil 2.3. Madeni yağ tipleri (a) düz parafin, (b) dallanmış parafin, (c) naften, (d) aromatik

Sentetik yağlar, kimyasal bileşiklerin tepkimesi sonucu oluşan yağlardır. Madeni yağ temin edilmesinde sıkıntı yaşanması üzerine sentetik yağlar geliştirilmiştir.

Motor yağları motorları yağlamak, motor basıncını ayarlamak, temizlemek ve motorun aşırı ısınmasını engellemek için kullanılan yağlardır.

Kullanılmış yağlar ise, kullanım sonucu ortaya çıkan ve çevreye olan etkisini en aza indirmek için bertaraf edilmesi, iyileştirilmesi ve tekrar kullanımını sağlamak için birtakım işlemlerin uygulanması gereken yağlardır. Yağlama yağı olarak da bilinen yağlardır. Bu yağlar; atık taşıt yağları, endüstriyel yağlar, özel malzemeleri ve kirlenmiş yağ ürünlerini kapsar.

Kullanılmış yağlar; endüstriyel kaynak birincil metaller, işlenmiş metalden yapılmış malzemeler, makine sanayi, elektrik malzemeleri, kimyasal ürünler, otomobillerde kullanılan yağlar sonuçta hem atık yağ hem de kullanılmış yağları oluştururlar. Tersanelerde, garajlarda, soğutma ünitelerinde, oto sanayilerinde kullanılan yağarlardan da atık yağların çıkması söz konusudur.

Yapılan hesaplara göre ülkemizde yaklaşık 400-450 bin ton madeni yağ tüketimi üzerinden, kullanım sonrasında 200-250 bin ton atık madeni yağ oluşmuş olması beklenmektedir. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine göre Türkiye’de 45-50 bin ton atık yağın toplanarak kayıt altına alınabildiği bildiği, geri kalan yaklaşık 200 bin ton atık yağın ise kayıt altına alınamadığı görülmektedir. Kayıt altına alınamayan atık yağ miktarının bu kadar yüksek olması, atık madeni yağların ülkemizde ağırlıklı olarak ısınma amaçlı olarak kontrolsüz ortamlarda yakılması, yakıtı karıştırılması, gelişigüzel bertaraf gibi kayıt dışı uygulamalara konu edilmesi ve 10 numara yağ gibi sahte akaryakıt faaliyetlerine konu edilmesinin bir sonucudur. Toplanan atık yağ miktarı üzerinden yapılan değerlendirmede; atık yağların %32’si enerji geri kazanım amaçlı olarak çimento, kireç, demir çelik tesislerinde, %64’ü hammadde olarak geri kazanım amaçlı olarak Rafinasyon&Rejenerasyon Tesislerinde, %4’ü ise bertaraf tesislerinde kullanılmaktadır (Anonim 2012).

Atık yağları tekrar kullanmak için de değişik prosesler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; Asit-kil metodu, Cep prosesi, Mohawk prosesi, Hylube prosesi, Revivoil prosesi, Avista oil solvent ekstraksiyon prosesi, Cyclon prosesi, İnterline prosesi, Relube prosesi, Meinken prosesi, Prop prosesi, Snamprogetti prosesi, Sotulub prosesi, Entra prosesi, Atomik vakum prosesi, Matthys-Garap prosesi, Rose prosesi, Proterra prosesi, Femd-

Tech prosesi, Sequoida prosesi, Twfe prosesi, Stp prosesi, Recyclon prosesidir. Bunların çoğunda killer kullanılmaktadır. Örneğin Asit-kil metodunda aktif kil yağdaki renk ve kokuyu gidermede kullanılır. İnterline prosesinde kilin adsorpsiyon özelliğinden yararlanılır. Meinken yönteminde yağ aktif kil ile filtre edilir. Prop işleminde de yağlar killerden yapılmış yataklardan geçirilir. Entra prosesinde ise yağlar %1 kil ile arıtılmaktadır. Atomik vakum prosesinde de yağların istenilen viskoziteye getirilebilmesi ve renk ve koku özelliklerinin geliştirilmesi için kil-filtreler (4 L yağ için 180 g kil) kullanılır. Matthys-Garap yönteminde yine killer filtre edilmede kullanılır. Twfe prosesinde kil filtreler atık yağların arıtılmasının son aşamasında kullanılır. Bu kilin de genellikle bentonit olduğu vurgulanmıştır. Yağlardaki bentonit kilinin kullanım oranını da %1-5 arasında olduğu bildirilmiştir. Burada kilin kullanım oranının sabit olmadığı belirtilmekte olup, kilin ve yağın özelliklerine göre ön çalışmaların ve laboratuvar araştırmalarının gerektiği vurgulanmıştır (Anonim 2012).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Adsorpsiyon için bentonit kili ticari olarak bir firmadan satın alınıp, kullanılmıştır. Bentonit kilinin genel kimyasal özellikleri (Serezli ve Tabak 2013) Tablo 3.1’de verilmiştir. Atık Motor yağı ise Bingöl Oto Sanayi’nden temin edilmiştir. Laboratuvarında kullanılan cihaz ve malzemeler ise şunlardır: Mezür (10 ml), süzme hunisi, beher (200, 100 ml), filtre kağıdı (Whatman 42), etüv, terazi, havan, elek (2 mm, 0,5 mm), pipet (5 ml, 10 ml), saf su, pH metre ve termometre.

Tablo 3.1. Bentonit kilinin genel kimyasal içerikleri ve yağ emme özelliği

Kimyasal içerikler	Yağ emme özelliği
Silisyum oksit (SiO_2), %	74,9
Alüminyum oksit (Al_2O_3), %	14,0
Demir oksit (Fe_2O_3), %	1,1
Titanyum oksit (TiO_2), %	0,2
Kalsiyum oksit (CaO), %	1,7
Magnezyum oksit (MgO), %	1,9
Sodyum oksit (Na_2O), %	0,6
Potasyum oksit (K_2O), %	0,8
Yağ emme oranı, %	35,0

3.2. Yöntem

Bentonit kili ile yapılan motor yağı adsorpsiyon çalışmalarında; farklı pH, sıcaklık, tane boyutu, ağırlıklarda adsorpsiyon çalışmaları aşağıda gösterilen formül dikkate alınarak sonuçlar elde edilmiştir:

$$Ab = MY - (Af + SY)$$

A: Adsorpsiyon

Ab: Bentonitin adsorbe ettiği yağ miktarı (ml)

Af: Filtre kağıdının adsorbe ettiği yağ miktarı (ml)

MY: İlave edilen motor yağı (ml)

SY: Mezürde süzülen yağ miktarı (ml)

3.2.1. pH

Normal bentonitin pH'sı 7,02 olarak ölçülmüştür. 30 g bentonit suyla doymun hale getirip, 0,05 N HCl çözelti damlatılarak pH 5,04'e getirilmiştir. Daha sonra 0,01 N NaOH çözeltisi ile pH 9,14'e ayarlanmıştır. Değişik pH'larda hazırlanan killer cam petrilere konularak laboratuvar ortamında kurutulup, daha sonra laboratuvar havanında dövülerek öğütülmüş ve adsorpsiyon çalışmalarında 4 tekerrürlü olarak kullanılmıştır. pH çalışmasında 10 ml'lik cam mezürlere cam huniler içerisine filtre kâğıdı (Whatman 42) yerleştirilmiştir. 2,5 g bentonit kili tartılarak filtre kâğıtlarına yerleştirilmiştir. Farklı pH'larda (5,04-7,02-9,14) hazırlanan bentonit kili üzerine 10 ml motor yağı dökülüp farklı zamanlarda adsorbe edilen yağ (süzülen yağdan çıkarılarak) okumaları volumetrik olarak yapılmıştır.

3.2.2. Sıcaklık

Bentonit kilinin sıcaklığa dayalı yapılan adsorpsiyon çalışmaları yine 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Sıcaklık çalışmasında 10 ml'lik cam mezürlere cam huniler içerisine filtre kâğıdı (Whatman 42) yerleştirilmiştir. 2,5 g bentonit kili tartılarak filtre kağıtlarına yerleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda (30, 40,50°C) sabitlenen etüv ortamında bentonit kili üzerine 10 ml motor yağı dökülüp farklı zamanlarda adsorbe edilen yağ (süzülen yağdan

çıkarılarak) okumaları volumetrik olarak yapıp, yukarıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.3. Tane boyutu

Kil olarak ele alınan 30 g bentonit 100 ml saf su ile karıştırılıp, ince bir tabaka halinde plastik bir yüzeye serilmiştir. Bu numuneler önce 1 gün laboratuvar oda koşullarında kurutulmaya bırakılmış, ardından 35°C'ye ayarlanan etüvde 24 saat bekletilmiştir. Kuruyan kil örnekleri 0,5 mm ve 2 mm'lik tane boyutlarına çelik toprak elekleriyle elenerek adsorpsiyon işlemi için hazır hale getirilmiştir.

3.2.4. Ağırlık

Farklı miktarlarda ele alınan bentonit kilinin adsorpsiyon çalışmaları yine 4 tekerrürlü olarak yürütülmüş olup, ağırlık olarak 0,5 g, 1 g, 2,5 g ve 5 g'lık miktarlarda çalışılmıştır. Aynı şekilde farklı ağırlıklardaki bentonitin adsorpsiyonu çalışmasında da 10 ml'lik cam mezürlere yerleştirilen cam huniler içerisine filtre kağıdı (Whatman 42) yerleştirilmiştir. Daha sonra, filtre kağıdının içerisine konulan bentonit kili üzerine 10 ml motor yağı dökülüp farklı zamanlarda adsorbe edilen yağ (süzülen yağdan çıkarılarak) okumaları volumetrik olarak yapıp, yukarıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Farklı Miktarlardaki Bentonitin Adsorpsiyonu

10 ml motor yağının farklı miktarlardaki bentonit (0,5-1-2,5-5 g) kiline uygulanması ile elde edilen adsorpsiyon sonuçları belirlenmiş olup, aşağıda çizelgeler halinde verilmiştir. Bentonitin 0,5 g olarak alınıp, üzerine 10 ml motor yağı eklenip, adsorpsiyon çalışmalarına tabi tutulduğunda elde edilen sonuçlar Tablo 4.1.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1.1. Farklı ağırlıktaki bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (0,5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrerr)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	7,20	0,00	0,00	7,20	7,20	72
240	4,70	0,58	0,29	4,20	5,20	52
360	3,30	0,12	0,06	3,20	3,40	34
480	3,30	0,12	0,06	3,20	3,40	34
600	2,28	0,22	0,11	2,10	2,60	26

Tablo 4.1.1’de gösterildiği gibi, 0,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 2,10-2,60 ml arasında olmuştur. Bu da adsorpsiyonun %21-26 arasında olduğunu ifade etmektedir. Maksimum adsorpsiyon oranı 0,5 g bentonitte 360 ile 480 dakika arasında sabit olduğu bulunmuştur. Adsorpsiyon hızının 480. dakikadan sonra tekrar hızlandığı anlaşılmıştır.

Tablo 4.1.2’de 20°C laboratuvarında 1 g kile 10 ml motor yağı ilave edilerek adsorplanma miktarı aşağıda verilen dakikalara göre alındı.

Tablo 4.1.2. Farklı ağırlıktaki bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (1 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrerrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	6,20	0,00	0,00	6,20	6,20	62
240	4,95	0,50	0,25	4,20	5,20	52
360	3,80	0,49	0,24	3,20	4,20	42
480	3,08	0,55	0,28	2,30	3,60	36
600	2,05	0,13	0,06	1,90	2,20	22

Tablo 4.1.2’de gösterildiği gibi, 1 g bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 1,90-2,20 ml arasında olmuştur. Maksimum adsorplama hızı zaman açısından 480. dakikadan sonra hızlanmıştır. Maksimum adsorpsiyon miktarı % olarak hesaplandığında, %22 oranı elde edilmiştir.

Tablo 4.1.3’te 20°C laboratuvarında 2,5 g kile 10 ml motor yağı ilave edilerek adsorplanma miktarı aşağıda verilen dakikalara göre alındı.

Tablo 4.1.3. Farklı ağırlıktaki bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (2,5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrerrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	7,20	0,00	0,00	7,20	7,20	72
240	5,90	0,35	0,17	5,60	6,20	62
360	5,20	0,28	0,14	4,80	5,40	54
480	4,48	0,32	0,16	4,00	4,70	47
600	4,00	0,14	0,07	3,90	4,20	42

Tablo 4.1.3’te gösterildiği gibi, 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 3,90-4,20 ml arasında olmuştur. Bu maksimum adsorplama miktarı yüzde olarak dönüştürüldüğünde %42 etmektedir. Süre arttıkça adsorpsiyon hızı düşmüştür.

Tablo 4.1.4’te 20°C laboratuvarında 5 g kile 10 ml motor yağı ilave edilerek adsorplanma miktarı aşağıda verilen dakikalara göre alındı.

Tablo 4.1.4. Farklı ağırlıktaki bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	7,98	0,05	0,03	7,90	8,00	80
240	7,48	0,05	0,03	7,40	7,50	75
360	7,38	0,13	0,06	7,20	7,50	75
480	7,38	0,13	0,06	7,20	7,50	75
600	7,38	0,13	0,06	7,20	7,50	75

Tablo 4.1.4'te gösterildiği gibi, 5 g bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 7,20-7,50 ml arasında olmuştur. Bu maksimum adsorplanma değeri 240. dakikadan sonra sabitlenmiştir. Bu maksimum adsorplama miktarı yüzde olarak dönüştürüldüğünde %75 etmektedir.

4.2. Farklı Boyutlardaki Bentonitin Adsorpsiyonu

Farklı boyutlardaki (0,5 ve 2 mm) bentonit kilinin 10 ml motor yağı ilavesiyle tespit edilen adsorpsiyon sonuçları aşağıda çizelgeler halinde verilmiştir. Bentonitin tane boyutunun 0,5 mm olarak alınıp, üzerine 10 ml motor yağı eklenmesiyle farklı sürelerde adsorpsiyon çalışmalarına tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.2.1'de verilmiştir.

Tablo 4.2.1. Farklı parçacık boyutlarına göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (0,5 mm, 2,5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	6,35	0,30	0,15	6,20	6,80	68
240	4,75	0,44	0,22	4,40	5,40	54
360	3,50	0,50	0,25	3,00	4,20	42
480	2,13	0,13	0,06	2,00	2,30	23
600	2,10	0,16	0,08	1,90	2,30	23

Tablo 4.2.1’de gösterildiği gibi, 0,5 mm bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 1,9-2,3 ml arasında olmuştur. Bu maksimum adsorplama miktarı yüzde olarak dönüştürüldüğünde %23 etmektedir. Bu maksimum adsorpsiyon oranı 0,5 mm bentonitte 480 dakikada sabit olduğu bulunmuştur. Adsorpsiyonun hızının 360. dakika hızlandığı ve sonra sabitlendiği anlaşılmıştır.

Bentonitin tane boyutunun 2 mm olduğu ve üzerine yine aynı miktarda olarak 10 ml motor yağı eklenmesiyle farklı sürelerde adsorpsiyon çalışmaları yapılmış, elde edilen sonuçlar Tablo 4.2.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2.2. Farklı parçacık boyutlarına göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (2 mm, 2,5 g bentonit, 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrerr)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	5,30	0,12	0,06	5,20	5,40	54
240	3,35	0,10	0,05	3,20	3,40	34
360	2,13	0,10	0,05	2,00	2,20	22
480	1,83	0,13	0,06	1,70	2,00	20
600	1,83	0,13	0,06	1,70	2,00	20

Tablo 4.2.2’de gösterildiği gibi, 2 mm bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 1,7-2 ml arasında olmuştur. Bu maksimum adsorplama miktarı yüzde olarak dönüştürüldüğünde %20’ye tekabül etmektedir. Bu maksimum adsorpsiyon oranı 2 mm bentonitte adsorpsiyonun hızının 240. dakikadan sonra hızlandığı ve 480. dakikadan sonra sabitlendiği anlaşılmıştır.

4.3. Farklı Sıcaklıklarda Bentonitin Motor Yağı Adsorpsiyonu

Etüv ortamında sabitlenen farklı sıcaklıklarda (30, 40 ve 50°C) bentonitin motor yağı adsorbe etme kapasitesi ölçülmüştür. 2 g bentonit kiline 10 ml motor yağı ilave edilerek 30°C’de adsorplanma miktarları belirlenmiştir ve Tablo 4.3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3.1. Farklı sıcaklıklara göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (30°C de 2 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrerrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	6,25	0,47	0,24	5,60	6,60	66
240	4,85	0,90	0,45	3,80	5,60	56
360	4,45	0,93	0,46	3,60	5,60	56
480	4,05	0,47	0,23	3,60	4,50	45
600	3,80	0,23	0,12	3,60	4,00	40

Tablo 4.3.1’de gösterildiği gibi, 30°C’de 2 g bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 3,60-4 ml arasında olmuştur. Bu maksimum adsorplama miktarı yüzde olarak dönüştürüldüğünde %40 etmektedir. Bu maksimum adsorpsiyon oranı 30°C 2 g bentonitte adsorpsiyon hızının 240 ile 360. dakikada sabitlendiği 360. dakikadan sonra ise hızlandığı anlaşılmıştır.

2 g bentonit kiline 10 ml motor yağı ilave edilerek 40°C’de yağ adsorplanma oranı ölçülmüştür ve sonuçlar Tablo 4.3.2’de verilmiştir.

Tablo 4.3.2. Farklı sıcaklıklara göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (40°C de 2 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrerrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon(%)
120	4,45	0,50	0,25	4,20	5,20	52
240	3,58	0,35	0,18	3,40	4,10	41
360	3,55	0,30	0,15	3,40	4,00	40
480	3,45	0,10	0,05	3,40	3,60	36
600	3,43	0,05	0,03	3,40	3,50	35

Tablo 4.3.2’de gösterildiği gibi, 40°C’de 2 g bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 3,4-3,5 ml arasında olmuştur. Bu maksimum adsorplama miktarı yüzde olarak dönüştürüldüğünde %35 etmektedir. Bu minumum adsorpsiyon hızı 240. dakikadan sonra sabitlenmiştir. Maksimum adsorpsiyon hızı ise 120-240. dakika arasında olduğu belirlenmiştir.

2 g kile 10 ml motor yağı ilave edilerek 50°C de bentonit kilinin motor yağını adsorplama miktarı ölçülmüştür ve sonuçlar Tablo 4.3.3'te verilen dakikalara göre alınmıştır.

Tablo 4.3.3. Farklı sıcaklıklara göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (50°C de 2 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon(%)
120	3,85	0,10	0,05	3,80	4,00	40
240	3,58	0,21	0,10	3,30	3,80	38
360	3,58	0,21	0,10	3,30	3,80	38
480	3,45	0,17	0,09	3,30	3,60	36
600	3,45	0,17	0,09	3,30	3,60	36

Tablo 4.3.3'te gösterildiği gibi, 50°C 2 g bentonit kilinin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 3,3-3,6 ml arasında olmuştur. Bu maksimum adsorplama miktarı yüzde olarak dönüştürüldüğünde %36 etmektedir. Bu maksimum adsorpsiyon oranı 240 ve 480. dakikadan sonra sabitlendiği anlaşılmıştır.

4.4.1. Farklı pH'larda Bentonitin Motor Yağı Adsorpsiyonu

Farklı pH lardaki (5,04, 7,02 ve 9,14) bentonit kili üzerinde çalışmalar yapılmıştır. 2,5 g bentonit kiline 10 ml motor yağı ilave edilerek adsorplanma miktarı Tablo 4.4.1'de verilen dakikalara göre alınmıştır.

Tablo 4.4.1. Farklı pH lara göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (5,04 pH da 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekerrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	6,38	0,17	0,09	6,20	6,60	66
240	4,65	0,10	0,05	4,60	4,80	48
360	3,35	0,30	0,15	3,00	3,60	36
480	2,03	0,13	0,06	1,90	2,20	22
600	1,58	0,10	0,05	1,50	1,70	17

Tablo 4.4.1’de gösterildiği gibi, 5,04 pH 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 1,5-1,7 ml arasında olmuştur. Adsorpsiyon oranlarının yüzdeye dönüştürüldüğünde %15-17 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu maksimum adsorpsiyon oranı maksimum adsorplama hızı 120 ile 240. dakika arasında olmuştur.

2,5 g bentonit kiline 10 ml motor yağı ilave edilerek 7,02 pH da bentonitin adsorplanma miktarı ölçülmüştür. Tablo 4.4.2’de verilen dakikalara göre alındı.

Tablo 4.4.2. Farklı pH lara göre bentonitin atık motor yağını adsorplama düzeyi (7,02 pH da 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrerrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	6,15	0,19	0,10	6,00	6,40	64
240	4,40	0,16	0,08	4,20	4,60	46
360	3,20	0,00	0,00	3,20	3,20	32
480	2,15	0,48	0,24	1,70	2,80	28
600	1,58	0,24	0,12	1,40	1,90	19

Tablo 4.4.2’de gösterildiği gibi, 7,02 pH 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağını adsorplama miktarı 1,4-1,9 ml arasında olmuştur. Bu adsorpsiyon oranları yüzdeye dönüştürüldüğünde %14-19 oranı elde edilmiştir. Adsorpsiyonun 120 ile 240. dakikalar arasında daha hızlı olduğu tespit edilmiştir.

2,5 g kile 10 ml motor yağı ilave edilerek 9,14 pH’da bentonitin adsorplanma miktarı ölçülmüş ve dakikalara göre Tablo 4.4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.4.3. Farklı pH lara göre bentonitin atık motor yağı adsorplama düzeyi (9,14 pH da 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağı, 600 dakika, 4 tekrür)

Süre (dakika)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum adsorpsiyon (ml)	Maximum adsorpsiyon (ml)	Adsorpsiyon (%)
120	6,03	0,05	0,02	6,00	6,10	61
240	4,65	0,10	0,05	4,60	4,80	48
360	3,30	0,26	0,13	3,00	3,60	36
480	3,20	0,16	0,08	3,00	3,40	34
600	1,93	0,13	0,06	1,80	2,10	21

Tablo 4.4.3'te gösterildiği gibi, 9,14 pH 2,5 g bentonitin 10 ml atık motor yağı adsorplama miktarı 1,8-2,1 ml arasında olmuştur. Adsorpsiyon miktarları yüzdeye dönüştürüldüğünde %18-21 oranları elde edilmiş, maksimum adsorpsiyon %21 bulunmuştur. Adsorpsiyonun artan süreler dikkate alındığında genellikle benzer olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bentonit kilinin motor yağını adsorbe etme kapasitesini belirlemek amaçlı yapılan bu çalışmada aşağıdaki belirlenen genel sonuçlar elde edilmiştir

Buna göre bentonit kilinin miktarının artmasıyla adsorpsiyon kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Buna ilaveten, miktarın artması maksimum adsorpsiyon süresi kısaltmıştır. Tane boyutu dikkate alındığında, tane boyutunun küçülmesiyle adsorpsiyon kapasitesi artmıştır. Farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon oranlarına bakıldığında, en fazla adsorpsiyonun 30°C’de olduğu gözlenmiş, sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyon oranının azaldığı belirlenmiştir. Bentonitin farklı pH’lara getirilerek yapılan adsorpsiyon çalışmasında ise, pH’nın artmasıyla birlikte adsorbe olunan motor yağının da arttığı tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışma neticesinde, kullanılan bentonit kili miktarının artırılması ve tane boyutunun daha da küçültülmesiyle elde edilen %75’lik adsorpsiyon oranının da artabileceği düşünülmektedir. Sıcaklığın artmasının adsorpsiyonu arttırmadığı gözlemlendiğinden, bu nedenle düşük maliyetli yani sıcaklığın yükseltilmesine ihtiyaç duyulmayan bir adsorpsiyon çalışması olarak düşünülebilir. Çalışma sonucunda, bentonit kilinin pH değerinin alkali hale dönüştürülerek adsorsorpsiyon oranının arttırabileceği de bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

Abak O (2016) Doğal ve işlenmiş killerin bitkisel yağların rafinasyonunda kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Çorum, s. 65

Abdelwahab O, Nasr SM, Thobet WM (2017) Palm fibers and modified palm fibers adsorbents for different oils. Alexandria Engineering Journal 56: 749-755

Ahmad AL, Bhatia S, Ibrahim N, Sumathi S (2005) Adsorption of residual oil from palm oil mill effluent using rubber powder. Braz J, Chem. Eng. 22(3): 371-9

Akbulut A (1996) Bentonit MTA Yayınları, Ankara, s. 78-79

Al-Bahry S, Al-Wahaibi Y, Elshafie A, Al-Bemani A, Joshi S, Al-Makhmari H (2013) Biosurfactant production by *Bacillus subtilis* B20 using date molasses and its possible application in enhanced oil recovery. Int Biodeterior Biodegrad 81: 141-146

Ali N, El-Harbawi M, Jabal AA, Yin CY (2012) Characteristics and oil sorption effectiveness of kapok fibre, sugarcane bagasse and rice husks: oil removal suitability matrix. Environ Technol 33(4): 481-486

Angelova D, Uzuncu I, Uzunova S, Gigova A, Minchev L (2011) Kinetics of oil and oil products adsorption by carbonized rice husks. Chemical Engineering Journal 172: 360-311

Anonim (2012) Teknik Araştırma Raporu: Atık madeni yağ rafinasyonu için en uygun teknoloji seçimi projesi. PETDER (Petrol Sanayi Derneği), İstanbul Kalkınma Ajansı, s. 5

Behnood R, Anvaripour B, Jaafarzade Haghighi Fard N, Farasati M (2013) Application of natural sorbents in crude oil adsorption. Iranian Journal of Oil and Gas Science and Technology 2(4): 1-11

Bandura L, Franus M, Józefaciuk G, Franus W (2015) Synthetic zeolites from fly ash as effective mineral sorbents for land-based petroleum spills cleanup. Fuel 147: 100-107

Carmody O, Frost R, Xi Y, Kokot S (2007) Adsorption of hydrocarbons on organo-clays implications for oil spill remediation. *J Colloid Interface* 305(1): 17-24

Çinku K, Bilge Y (2001) Bentonit Aktivasyon Yöntemleri, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Konya, s. 19-22

Cojocaru C, Mocoveanu M, Cretescu I (2011) Peat-based sorbents for the removal of oil spills from water surface: Application of artificial neural network modeling. *Colloids and Surfaces A: Physicachemical and Engineering Aspects* 384: 675-684

Choi HM, Kwon HJ, Moreau JP (1993) Cotton nonwovens as oil spill cleanup sorbents textile. *Research Journal* 63(4): 211-218

Demirkıran AR, Fullen MA, Williams D (2016) Comprative analysis of the physicochemical and oil adsorption characteristics of clinoptilolites from Turkey and USA. *Oxidation Communications* 39(1-11): 787-804

Dong T, Wang F, Guangbiao X (2015) Sorption kinetics and mechanism of various oils into kapok assembly. *Marine Pollution Bulletin* 91(1): 230-237

Dotto J, Espinoza-Quiñones FR, Milinsk MC & Alves H J (2021) High performance on the moisture reduction in waste oils by a bentonite-based adsorption process. *Environmental Technology* 42(21): 3338-3347

Elkady M, Hussien M, Abou-rady R (2015) Equilibrium and kinetics behavior of oil spill process onto synthesized nano-activated carbon. *Am J Appl Chem* 3(3-1): 22-30

Erdoğan SS (1976) Bentonitlerin metalurjideki uygulamaları yönünden araştırılması ve Resadiye bentonitlerinin bu açıdan incelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, s. 210

Ertürk H (1999) Yerli killerin bitkisel yağların rafinasyonunda ağartma toprağı olarak kullanılması. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 14-15 Ekim 1999, İzmir, Türkiye, s. 67-72

Eruslu N (1991) Döküm kumunda kullanılan bentonit ve diğer katkı maddeleri, Demir-Çelik Sanayiciler Derneği Semineri, Tepebaşı, s. 63

Eruslu N (1993) Türkiye bentonitleri ve döküm kumları araştırma projesi, MTA, s. 93

Foletto EL, Colazzo GC, VolzoneC, Porto LM (2011) Sunflower oil bleaching by adsorption onto acid-activated bentonite. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 28(1): 169-174

Guo M, Gong Z, Miao R, Rookes J, Cahill D, Zhuang J (2017) Microbial mechanisms controlling the rhizosphere effect of ryegrass on degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in an aged-contaminated agricultural soil. *Soil Biol Biochem* 113: 130-14

Günan Yücel H (2017) Lityum(I) adsorpsiyonu için *Pichia stipitis* mayası ile yeni bir hibrit adsorbent geliştirilmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 175

Grim RE (1968) Clay mineralogy. 2nd Ed., Mc Graw Hill, New York, s. 78

Huang Z, Li Y, Chen W, Shi J, Zhang N, Wang X, Li Z, Gao L, Zhang Y (2017) Modified bentonite adsorption of organic pollutants of dye wastewater. *Materials Chemistry and Physics* 202: 266-276

Hussain I, Puschenreiter M, Gerhard S, Schöftner P, Yousaf S, Wang A (2018) Rhizoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils: Improvement opportunities and field applications. *Environ Exp Bot* 147: 202-219

İşçi S (2002) Bentonit dispersiyonlarına organik ve anorganik katkıların adsorpsiyonun reolojik özellikleri üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 76

Jammal NA, Juzsakova T (2016) Review on the effectiveness of adsorbent materials in oil spills clean up. 7th International Conference of ICEEE 17-19

Johnson RF, Manjreker TG, Halligan JE (1973) Removal of oil from water surfaces by sorption on unstructured fibers. *Environmental Science & Technology* 7(5): 439-443

Kahya Ç (1988) Ünye Fatsa arası bentonit oluşumlarının jeolojik incelenmesi, Bitirme Ödevi, İTÜ. Maden Fakültesi, İstanbul, s. 171

Karakasi O, Moutsatsou A (2010) Surface modification of high calcium fly ash for its application in oil spill clean up. *Fuel* 89(12): 3966-3970

Keshavarz A, Zilouei H, Abdolmaleki A, Asadinezhad A, Nikkhah A (2016) Impregnation of polyurethane foam with activated carbon for enhancing oil removal from water. *Int J Environ Sci Technol* 13(2): 699-710

Lee VKC, Porter JF, McKay G (2001) Modified design model for the adsorption of dye onto peat. *Transactions in Chemical Engineering* 79: 21-26

Li B, Liu X, Zhang X, Zou J, Chai W, Lou Y (2015) Rapid adsorption for oil using

superhydrophobic and superoleophilic polyurethane sponge. *J Chem Technol Biotechnol* 90(11): 2106-2112

Liu JF, Mbadinga S, Yang SZ, Gu JD, Mu BZ (2015) Chemical structure, property and potential applications of biosurfactants produced by *Bacillus subtilis* in petroleum recovery and spill mitigation. *Int J Mol Sci* 16(3): 4814-4837

Pagnucco R, Phillips ML (2018) Comparative effectiveness of natural by-products and synthetic sorbents in oil spill booms. *J Environ Manage* 225: 10-16

Pasila A (2004) A biological oil adsorption filter. *Marine Pollution Bulletin* 49(11-12): 1006-1012

Patterson S, Murray H (1970) *Clays industrial minerals and rocks*, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineering 1: 185-200

Pollard STJ, Fowler GD, Sollars CJ, Perry R (1992) Low-cost adsorbents for waste and wastewater treatment a review. *Science of the Total Environment* 116: 31-52

Radetić MM, Jocić DM, Jovančić PM, Petrović ZL, Thomas HF (2003) Recycled wool-based nonwoven material as an oil sorbent. *Environ Sci Technol* 37(5): 1008-1012

Raj KG, Joy PA (2015) Coconut shell based activated carbon-iron oxide magnetic nanocomposite for fast and efficient removal of oil spills. *J Environ Chem Eng* 3(3): 2068-2075

Rongsayamanont W, Soonglerdsongpha S, Khondee N, Pinyakong O, Tongcumpou C, Sabatini DA (2017) Formulation of crude oil spill dispersants based on the HLD concept and using a lipopeptide biosurfactant. *J Hazard Mater* 334: 168-177

Salem S, Salem A, Baboei AA (2015) Application of Iranion nano-porous ca-bentonite for recovery of waste lubricant oil by distillation and adsorption techniques. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 23: 154-162

Saleem J, Riaz MA, Gordon M (2018) Oil sorbents from plastic wastes and polymers: a review. *J Hazard Mater* 341: 424-437

Santos O, Silva MC, Silva V, Mussel W, Yoshida M (2017) Polyurethane foam impregnated with lignin as a filler for the removal of crude oil from contaminated water. *J Hazard Mater* 324: 406-413

Serezli R, Tabak A (2013) Ünye bentoniti ile sulu ortamdan amonyum (NH_4^+) adsorpsiyonu. *Ekoloji* 22(87): 35-42

Silva-Tilak V (2002) Method of oil cleanup using coconut coir pith. US Patent and Trade mark office. Patent no. US6391120B1

Singh B, Bhattacharya A, Channashettar VA, Jeyaseelan CP, Gupta S, Sarma SPM (2012) Biodegradation of oil spill by petroleum refineries using consortia of novel bacterial strains. *Bull Environ Contam Toxicol* 89(2): 257-262

Singh V, Kendall RJ, Hake K, Ramkumar S (2013) Crude oil sorption by raw cotton. *Int Eng Chem Res* 52(18): 6277-6281

Shin JH, Heo JH, Jeon S, Park JH, Kim S, Kang HW (2019) Bio-inspired hollow PDMS sponge for enhanced oil–water separation. *J Hazard Mater* 365: 494-501

Songsaeng S, Thamyongkit P, Poompradub S (2019) Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: Morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills. *Journal of Advanced Research* 20: 79-89

Tavisto M, Kuisma R, Pasila A, Hautala M (2003) Wetting and wicking of fibre plant straw fractions. *Industrial Crops and Products* 18: 25-35

Ukotije-Ikwut PR, Idogun AK, Iriakuma CT, Aseminaso A, Obomanu T (2016) A novel method for adsorption using human hair as a natural oil spill sorbent. *Int J Sci Eng Res* 7: 1754-1765

Xiao-Feng Sun, Cang Sun-Run, Sun-Jing-Xia (2002) Acetylation of rice straw with or without catalysts and its characterization as a natural sorbent in oil spill cleanup. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(22): 6428-6433

Wahi R, Chuah LA, Choong TSY, Ngaini Z, Nourouzi MM (2013) Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. *Separation and Purification Technology* 113: 51-53

Wang J, Zheng Y, Wang A (2013) Investigation of acetylated kapok fibers on the sorption of oil in water. *Journal on Environmental Sciences* 25(2): 246-253

Wang S, Feng Q, Javadpour F, Xia T, Li Z (2015) Oil adsorption in shale nanopores and its effect on recoverable oil-in-place. *International Journal of Coal Geology* 147: 9-24

Wu J, Wang N, Wang L, Dong H, Zhao Y, Jiang L (2012) Electrospun porous structure fibrous film with high oil adsorption capacity. *ACS Applied Materials and Interfaces* 4(6): 3207-3212

Viraraghavan T, Mathavan GN (1988) Treatment of oil-in-water emulsion using peat. *Oil & Chemical Pollution* 4(4): 261-280

Yati I, Aydin GO, Sonmez HB (2016) Cross-linked poly(tetrahydrofuran) as promising sorbent for organic solvent/oil spill. *J Hazard Mater* 309: 210-218

Young RA (1986) Structure. Swelling and bonding of cellulose fibres. In: Young RA, Rowell RM (Eds.), *Cellulose structure. Modification and hydrolysis*, p. 379

Zhu H, Qiu S, Jiang W, Wu D, Zhang C (2011) Evaluation of electrospun polyvinyl chloride/polystyrene fibers as sorbent materials for oil spill cleanup. *Environ Sci Technol* 45(10): 4527-4531