



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TALKIN FARKLI YAĞLAR İLE FLOKÜLASYONU

Vitaliy DUDNİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalını

Ekim-2013

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TALKIN FARKLI YAĞLAR İLE FLOKÜLASYONU

Vitaliy DUDNİK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Alper ÖZKAN

2013, 58 Sayfa

Jüri
Prof.Dr. Alper ÖZKAN
Yrd.Doç.Dr. Vildan ÖNEN
Yrd.Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY

Bu çalışmada, talk mineralinin farklı yağlar ile flokülasyon özellikleri araştırılmıştır. Hidrokarbon yağları olarak gazyağı, n-heptan ve n-hekzan flokülasyon deneylerinde kullanılmıştır. Talk süspansiyonunun flokülasyonu üzerine yağ konsantrasyonu, süspansiyon pH'ı, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve çökelme süresinin etkileri belirlenmiştir. Talk süpansiyonunun flokülasyonunda gazyağının daha etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca, yüzey aktif maddeler olarak sodyum oleat, Aero 801 ve sodyum dodesil sülfat varlığında, bu yağlar ile talk süspansiyonu için yüksek flokülasyon verimlerine ulaşılmıştır. Özellikle, sodyum oleat ve gazyağı varlığında, talk süspansiyonu %95'lik bir verimle floküle edilebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Talk, flokülasyon, gazyağı, n-heptan, n-hekzan, sodyum oleat.

ABSTRACT

MS THESIS

FLOCCULATION OF TALC WITH DIFFERENT OILS

Vitaliy DUDNIK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MINING ENGINEERING

Advisor: Prof.Dr. Alper ÖZKAN

2013, 58 Pages

Jury
Prof.Dr. Alper ÖZKAN
Asst.Prof.Dr. Vildan ÖNEN
Asst.Prof.Dr. Havvanur UÇBEYİAY

In this study, flocculation characteristics of talc mineral with different oils have been investigated. Kerosene, n-neptane and n-hexane were used as hydrocarbon oils in the flocculation experiments. Effects of oil concentration, suspension pH, stirring speed, stirring time and settling time on the flocculation of talc suspension were determined. It was found that kerosene was more effective in the flocculation of talc suspension. Also, in the presence of sodium oleate, Aero 801 and sodium dodecyl sulfate as surface active agents, high flocculation recoveries for the talc suspension with these oils were reached. Especially, in the presence of sodium oleate and kerosene, the talc suspension could be flocculated with a recovery of 95%.

Keywords: Talc, flocculation, kerosene, n-heptane, n-hexane, sodium oleate

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her bir aşamasında bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof.Dr. Alper ÖZKAN'a, ayrıca tüm laboratuvar çalışmalarımda bana yardımda bulunan İbrahim KÜÇÜK'e de sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Vitaliy DUDNİK
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **2**

2.1. Talk 2
2.1.1. Talkın fiziksel ve kimyasal özellikleri 3
2.1.2. Talkın ticari çeşitleri 4
2.1.3. Talk yataklarının jeolojisi 5
2.1.3.1. Steatit-kompakt talk yatakları 5
2.1.3.2. Yumuşak levhamsı talk yatakları 5
2.1.3.3. Tremolit talk yatakları 5
2.1.3.4. Karışık talk cevherleri 6
2.1.4. Talkın kullanım alanları 6
2.1.4.1. Seramik sanayi 7
2.1.4.2. Boya sektörü 7
2.1.4.3. Çatı kaplamasında 7
2.1.4.4. Haşerelere karşı 8
2.1.4.5. Kauçuk sanayi 8
2.1.4.6. Kağıt sanayi 8
2.1.4.7. Kozmetik ve farmakoloji 8
2.1.4.8. Plastik sektörü 9
2.1.5. Türkiye'de bilinen talk yatakları, rezervleri ve üretimi 9
2.1.6. Dünyadaki talk rezervi, üretimi ve tüketimi 10
2.2. Sedimantasyon 12
2.3. Koagülasyon 13
2.3.1. Elektriksel çift tabaka 14
2.3.2. Koagülasyonun genel mekanizması 15
2.3.2.1. Yük nötralizasyonu ile koağülasyon 15
2.3.2.2. Süpürme koagülasyonu (Sweep coagulation) 15
2.3.3. Koagülant türleri 16
2.3.3.1. Alüm 16
2.3.3.2. Polialüminyum klorür 16
2.3.3.3. Demir klorür ve demir sülfat 17
2.4. Flokülasyon 17
2.4.1. Flokülasyon genel mekanizması 18
2.4.2. Polimerlerin flokülasyon işlevi 19
2.4.2.1. Polimer köprü teşekkülü ile flokülasyon 19
2.4.2.2. Elektrostatik yük yamama yöntemi ile flokülasyon 20
2.4.3. Flokülantın tane yüzeyine adsorplanması 20

2.4.3.1. Elektrostatik adsorplanma....21
2.4.3.2. Hidrojen bağı oluşumu ile adsorplanma....21
2.4.3.3. Kovalent bağ oluşumu ile adsorplanma....22
2.4.4. Kullanılan flokülant tipleri....23
2.4.4.1. Flokülant kaynağına göre sınıflandırma....23
2.4.4.1.1. Doğal flokülantlar....23
2.4.4.1.2. Sentetik flokülantlar....24
2.4.4.2. İyonizasyon durumuna göre sınıflandırma....24
2.4.4.3. Flokülantların molekül ağırlıklarına göre sınıflandırması....27
2.4.5. Flokülasyonu etkileyen faktörler....28
2.4.5.1. Flokülant dozajının etkisi....28
2.4.5.2. Karıştırma ve kesme kuvvetlerin hızlarının etkisi....29
2.4.5.3. Karıştırma süresinin etkisi....29
2.4.5.4. Tane boyutunun etkisi....30
2.4.5.5. Flokülantın molekül ağırlığının etkisi....30
2.4.5.6. pH'ın etkisi....30
2.4.5.7. Sıcaklığın etkisi....31
2.4.5.8. Pülp yoğunluğunun etkisi....32
2.4.5.9. Flokülantın besleme metodunun etkisi....32
2.5. Makaslama Flokülasyonu....32
2.5.1. Tanelerarası etkileşim enerjisi....33

3. MATERYAL VE YÖNTEM....34

3.1. Materyal....35
3.2. Yöntem....36

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI....39

4.1. Talk Süspansiyonunun Gazyağı ile Flokülasyonu....39
4.1.1. Gazyağı derişiminin etkisi....39
4.1.2. pH değerinin etkisi....40
4.1.3. Karıştırma hızının etkisi....40
4.1.4. Karıştırma süresinin etkisi....41
4.1.5. Çökelme süresinin etkisi....42
4.2. Talk Süspansiyonunun N-Heptan ile Flokülasyonu....43
4.2.1. n-Heptan derişiminin etkisi....43
4.2.2. pH değerinin etkisi....43
4.2.3. Karıştırma hızının etkisi....44
4.2.4. Karıştırma süresinin etkisi....45
4.2.5. Çökelme süresinin etkisi....45
4.3. Talk Süspansiyonunun N-Hekzan ile Flokülasyonu....46
4.3.1. n-Hekzan derişiminin etkisi....46
4.3.2. pH değerinin etkisi....47
4.3.3. Karıştırma hızının etkisi....47
4.3.4. Karıştırma süresinin etkisi....48
4.3.5. Çökelme süresinin etkisi....49
4.4. Talkın Flokülasyonuna Yüzey Aktif Maddelerin Etkileri....50
4.4.1. Aero 801'in etkisi....50
4.4.2. Sodyum oleatın etkisi....51
4.4.3. Sodyum dodesil sülfatın (SDS) etkisi....52

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 54

5.1. Sonuçlar 54
5.2. Öneriler 54

KAYNAKLAR 55

ÖZGEÇMİŞ.....58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

pH : Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimidir.

^{0}C: Celsius sıcaklık ölçüm birimi

dak : dakika

dev/dak : devir/dakika

Ψ : Elektriksel potansiyel

$\psi_{(x)}$: Elektriksel potansiyeli eğrisi

^{0}F: Fahrenheit sıcaklık ölçüm birimi

g: gram

g/cm^3: gram/santimetreküp

g/dm^3 : gram/desimetreküp

g/mol : gram/mol

L : litre

µm: mikrometre

mV : milivolt

mg : miligram

mg/L : miligram/Litre

mL : mililitre

mm: milimetre

sn : saniye

cm^3: santimetreküp

ψ_o: Yüzey potansiyeli

ξ : Zeta potansiyeli

Kısaltmalar

PAA : Poliakrilamid

PAC : Polialüminyum klorür

PEO: Polietilen oksit

PVA: Polivinil alkol

SDS: Sodyum dodesil sülfat

VdW : Van der Waals

1. GİRİŞ

Talk sulu bir magnezyum silikat olup, teorik formülü $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$'dır. Talk ilk çağlarda insanlar tarafından bazı araç ve gereçlerin yapımında kullanılmıştır. Asurların mühürleri ve mısırlıların kullandıkları uğur taşları talktan yapılmıştır. Eski Çin'de ise yontu işlerinde kullanılıyordu. Görünüşünün sabuna benzemesi nedeniyle masif formdaki talka sabuntaşı da (soapstone) denilmektedir. 1940 yılından beri bilinmesine rağmen, sanayi alanına nispeten yeni girmiş ve şu anda aranılan bir hammadde konumuna gelmiştir.

Günümüzde talk birçok mineral yerine tercih edilmektedir. Seramik sanayinde feldispat, vollastonit ve nefelinli siyenit yerine; çatı malzemelerinde mika yerine; dolgu malzemesi olarak titanyum dioksit yerine tercih edilebilmektedir. Ayrıca talk lifsi mineral özelliği nedeniyle başta, kağıt sanayi olmak üzere bir çok alanda da tercih edilmektedir (Fırat ve Gürkan, 2012).

Amaç:

Bu tez çalışmasında, doğal hidrofobik (havasever) bir mineral olan talkın farklı nötr hidrokarbon yağları ile flokülasyon özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Talkın doğal hidrofobikliği nedeniyle çoğunlukla doğrudan nötr hidrokarbon yağları ile flokülasyonu mümkün olup, bu durumda kullanılan yağ türüne göre flokülasyonun oluşum durumu ve diğer çalışma parametrelerinin etkilerinin bilinmesi önemlidir. Çalışmada, farklı yağlar kullanılarak flokülasyonu etkileyen önemli parametrelerin etkisinin belirlenmesi ile bu alanda kısıtlı olan literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca, yürütülecek çalışmalar ile talk mineraline dair sağlanacak bilgiler, bu mineralin diğer yüzey kimyasına dayanan işlemlerine de katkı sağlayacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Talk

Talk, arapça kökenli bir kelime olup farklı alanlarda tüketilen önemli bir doğal mineraldır. Talk, serpantin, tremolit, piroksenit, manyezit ya da dolomitin bozunması sonucu oluşmuş ikincil bir üründür. Talka magnezyum hidro-silikat denilmektedir. Yaklaşık 60 endüstri kolunda kullanım alanı bulmaktadır. Genellikle toz granül (-0.208+0.001 mm) boyut aralığında üretilmekte ve dolgu maddesi olarak en çok kağıt, kauçuk, sabun ve boya endüstrisinde tüketilmektedir. Kozmetik endüstrisinde ise absorban olarak kullanılmaktadır. Çatı kaplama maddelerinin üretiminde ve çimentoda kullanılmaktadır.

Bazı cevherlerden talk konsantresinin elde edilmesi çoğunlukla flotasyon, bazen de demir oksit minerallerinin manyetik ayırma işlemleri ile ayrılması ile gerçekleşmektedir. Flotasyon özellikle tercih edilen bir yöntemdir. Çünkü talk minerali taneciklerinin doğal yüzebilirlik özellikleri vardır ve genellikle sadece bir köpürtücü ayırım için yeterli olabilmektedir (Chase, 1963; Yıldırım, 2002).

Endüstride talk kullanımının en büyük avantajı opaklık ve poroziteyi iyileştirmesi ile birlikte pürüzsüzlük sağlaması, kağıt üretiminde ise kağıdın sarılığını ortadan kaldırmasıdır. Talk aynı zamanda kullanılan bütün dolgu ve kaplama minerallerinin de en az aşındırıcı özelliğe sahip olanıdır. Talk kullanımlarındaki gelişmelere bakılarak, özellikle polipropilen (PP) plastik oto parçalarında dolgu madde olarak kullanılmaktadır. Otomotiv alt sektöründeki durgunluğa rağmen, birim araç başına düşen PP tüketimi ile PP talebinin yüzyılımızın sonuna kadar sürekli artacağı ve bu pazardaki talk telebinin % 7'lik bir yıllık büyüme göstereği tahmin edilmektedir. Daha ılımlı büyüme hızlarıyla da olsa, kağıt pazarında da talep artışı beklenmektedir. Talkın kağıt dolgusu olarak kullanımındaki artış, şimdilik Japonya'nın dışında mümkün görünmemektedir. Ancak, selüloz imalinde ziftin giderilmesi için talk kullanımı, özellikle ABD'de giderek artan bir ilgi odağı oluşturmaktadır. Sınai tesislerde atık su emisyonu denetimlerinin giderek daha sıkılaşması, zift tardı için, kimyasal reaktiflerden ziyade talk kullanımını cesaretlendirmektedir (Nuhoğlu ve Sarıiz, 1992; Gence ve Ark., 2003).

2.1.1. Talkın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Talk doğada bulunan en yumuşak minerallerden biridir. Tırnakla kolayca çizilir ve Mohs sertlik cetveline göre sertliği 1'dir. Talk, magnezyum açısından zengin olan düşük ve orta dereceli metamorfik kayaçların bir mineralidir. Talk fillosilikat ailesine ait ve $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ teorik kimyasal formülü ile sulu magnezyum levha silikatlardan oluşan çok yönlü bir mineraldir. İdeal bileşiminde % 63.5 SiO_2, % 31.7 MgO ve % 4.8 H_2O ihtiva eder. Talkın kullanımı kimyasal ve mineralojik bileşimi, tane boyutu ve şekli, özgül ağırlığı, sertliği ve rengi gibi değişkenler tarafından belirlenmektedir.

Talk terkibine bağlı olarak beyaz, elma yeşili, koyu yeşil ve kahverengi tonlarında olabilir. Talkın özgül ağırlığı yaklaşık olarak 2.75 g/cm^3'tür. Talk serpantinin bozunması ile oluşmaktadır. Elde edilen talk serpantine göre nispeten daha silisli magnezyum oksit ve su içerir. Ticari talk hem klorit ve serpantin gibi levha silikat yapıları, hem de magnezyum oksit, dolomit ve kalsit gibi karbonatlar içerebilir. Talk cevherlerinde en önemli gang mineralleri karbonat, manyezit, dolomit, serpantin, klorit ve kalsittir (Hassan ve Ark., 2011).

Parlaklık inci veya yağlımsıdır. Lamina yüzeylerinde incimsi parlaklıkta, masif olduğunda yağlımsı dokunum hissi verir. Tablamsı kristaller çok iyi dilinimlidir. Kristal sistemi monokliniktir. Kristal bakımından asla büyük basit kristallerde olamazlar, eğer bulunursa kesitli bir altıgen ile basık kütle şeklinde oluşmaktadırlar. Masif veya yapraklanmış lifli yığınlar halinde bulunurlar. Kompakt olanlarına sabuntaşı da denir (Arık ve Kurt, 2003; Arrifin, 2003).

Talk; su, alkali ve zayıf asitte neredeyse çözünmektedir. Talkın parlayıcı ve yanıcı özelliği bulunmamaktadır. Talk; hidrofobik (su itici), kimyasal olarak inert (atıl), organofilik, lifli, düşük elektriksel ve yüksek termal iletkenliğine sahiptir. 900^{0}C üzerinde iken talk devamlı olarak hidroksil grupları kaybeder, 1050 ^{0}C üzerindeyken ise enstatit (susuz magnezyum silikat) mineralinin farklı formlara yeniden kristalize eder. Talkın erime noktası 1500 ^{0}C'dir.

Talkın özel bir trombosit büyüklüğü (= birkaç bin basit levha) bulunduğu yere bağlı olarak 1 mikrometreden 100 mikrometreye kadar değişebilir. Özel bir trombosit büyüklüğü talkın levhamsı olmayanı ve ince tabakaları tespit edilmektedir. Son derece ince tabakalı talkta büyük özel trombosit vardır, oysa mikrokristalin talkın trombositi çok daha küçüktür. Basit levhalar lapa şeklinde birbiri üzerine yığılarak, bir basit levha ve komşuları arasındaki bağlayıcı güçleri (Van der Waals kuvvetleri olarak da bilinir)

çok zayıf olunca, trombositler en ufak bir dokunuşta ayrı kaydırılıp talkın kendi karakteristik yumuşaklığına gelmektedir (Ariffin, 2003; Hiçyılmaz ve Ark., 2004).

2.1.2. Talkın ticari çeşitleri

Talkın ticari olanları genellikle teorik saflıktan oldukça farklılıklar gösterir. Bu tür ürünler, saf talk minerali olduğu gibi talk ve talkın parajenezinde bulunan dolomit, kalsit, kuvars, diyopsit, serpantin, magnetit, pirit, tremolit-aktinolit ve mika gibi minerallerin değişik oranlarda karışımı halinde olabilirler (Nuhoğlu ve Sarıiz, 1992; Gence ve Ark., 2003; Görmezoğlu ve Üstündağ, 2009; Ağaçayak, 2011). Ticari talkın çeşitleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Talkın ticari şekilleri (Nuhoğlu ve Sarıiz, 1992; Gence ve Ark., 2003; Görmezoğlu ve Üstündağ, 2009; Ağaçayak, 2011)

Talk Çeşitleri	Açıklama
Sabuntaşı	Mineral talk içeren masif formun adlandırılmasıdır. En az % 50 talk minerali içerir. Elektriğe ve asitlere karşı dirençli, ısıya karşı dayanıklıdır.
Steatit	Yüksek saflıkta masif talklar için kullanılan bir terimdir. En çok kullanım alanı elektrik izolatörleri yapımıdır. Ancak steatit % 1.5 den az CaO ve Fe_2O_3 ve % 4' ten az Al_2O_3 ihtiva etmelidir.
Profillit	Fiziksel özellikleriyle talka çok benzer ancak kimyasal bileşiminde Mg yerine Al içeren bir sulu alüminyum silikattır.
Asbestin	Saf talk minerali kristal özelliklerinde nadiren lifsi görünümdedir. Asbestin ise daha ziyade levha, ince tabaka veya mikaya benzer şekillerdedir.
Fransız Tebeşiri	Yumuşaktır, talkın masif bir çesedi olup, boya ve kurşunkalem yapımında kullanılır.
Rensseleaerit	Talka benzeyen ancak yumuşak ve yağlı olmayan bir mineraldir.
Lava	Lava terimi ticarette sık sık blok talkları veya blok talklarından yapılan en son ürünleri ifade etmekte kullanılır.
Wonderstone	Güney Afrika Cumhuriyeti'nde bulunan bir masif profillit olup, rutil ve karbonlu bileşikler içeren kriptokristalen profillittir.

2.1.3. Talk yataklarının jeolojisi

Türkiye'de bilinen talk yatakları, ya metamorfizma sonucu ya da hidrotermal ayrışma ile bazik ve ultrabazik kayaçlarda oluşmuştur. Türkiye'de her kalitede talkın varlığı bilinmekte ancak saf olmayan talklar flotasyon ve benzeri selektif ayırıcı metotlarla temizlenerek yüksek saflıkta konsantreleri elde edilmeye çalışılmaktadır (Ğörmezoğlu ve Üstündağ, 2009).

Ekonomik öneme sahip olan talk yatakları dolomitik kayaçların bölgesel veya kontak metamorfizmaya uğramasıyla ya da magmatik kayaçların serpantinleşmesi ile oluşabilir. Talk oluşumu için en uygun alanlar magmatik kayaçlar ile sedimanter kayaç kontaktları, fay ve makaslama zonlarıdır. Talk yatakları başlıca 4 gruba ayrılabilir (Temur, 1994; Görmezoğlu ve Üstündağ, 2009).

2.1.3.1. Steatit-kompakt talk yatakları

Masif kriptokristalin, oyulabilir, kesilebilir veya istenilen şekil verilebilir. Steatit, 1800 ^{0}F'ta 6 saat ısıtılırsa kenetlenmiş klinoenstatit kristaline dönüşür (LAVA olarak isimlendirilir). Bu ürün iyi elektrik isolator özelliğine sahiptir (Anonim, 1996; Görmezoğlu ve Üstündağ, 2009).

2.1.3.2. Yumuşak levhamsı talk yatakları

Sedimanter magnezyum karbonat kayaçlarının bir alterasyon ürünüdür. Bu en önemli talk tipidir. Diğer talk materyallerinden daha fazla kullanım özelliklerine sahiptir (Anonim, 1996; Görmezoğlu ve Üstündağ, 2009).

2.1.3.3. Tremolit talk yatakları

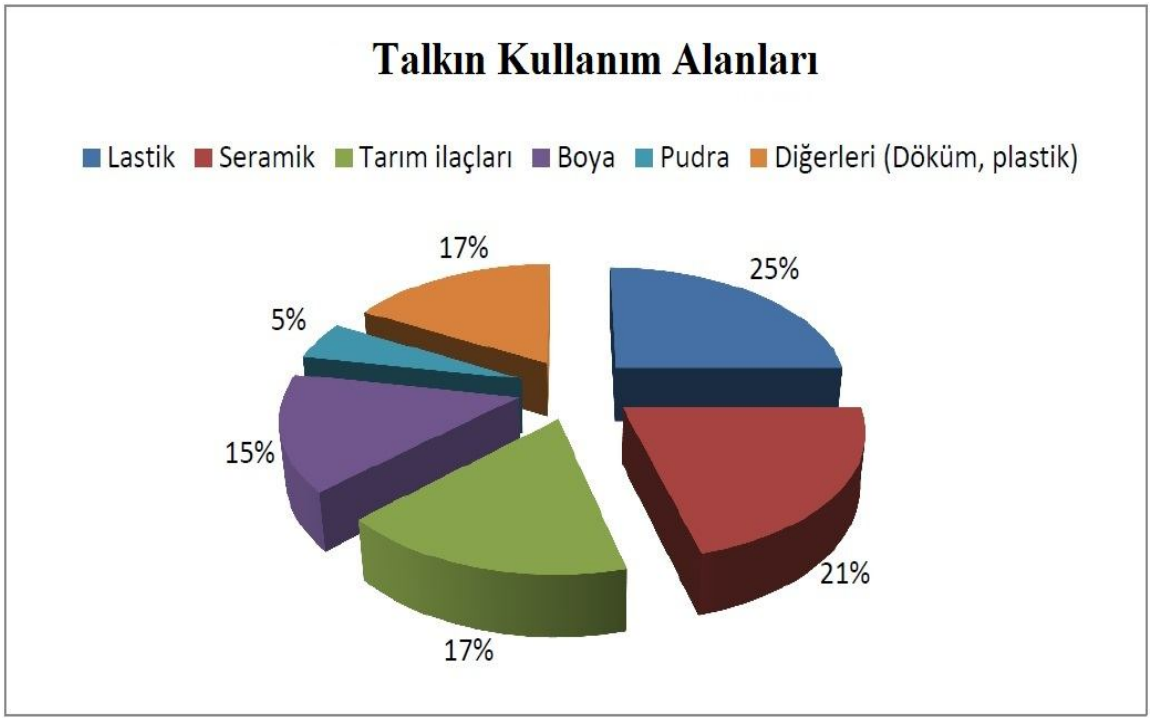
Bazen sert talk olarak da isimlendirilir. Değişen yüzde oranlarında tremolit, antofillit, kalsit, dolomit, serpantin ve hakiki yumuşak talktan oluşan masif veya laminalı kayaç halindedir. % 6-10 arasında değişen CaO içeriği ile karakteristiktir (Anonim, 1996; Görmezoğlu ve Üstündağ, 2009).

2.1.3.4. Karışık talk cevherleri

Levhamsı talk, dolomit, kalsit, serpantin ve diğer birçok eser mineralden oluşan ve yumuşak talk olarak isimlendirilen gevrek, beyaz şisti kayacı içine alır. Talk-klorit karışımından oluşan düşük kalitede yataklar yaygındır (Anonim, 1996; Görmezoğlu ve Üstündağ, 2009).

2.1.4. Talkın kullanım alanları

Türkiye'de son yıllarda talk için artan bir talep söz konusudur. Özellikle seramik ve kozmetik sanayilerinde giderek artan bir talep vardır. Talk; seramikte, boya yapımında, çatı kaplamasında, haşarat ilacı üretiminde, kauçuk ve kağıt sanayilerinde, kozmetik ve farmakolojide, asphalt dolgu maddesi yapımında, hayvan yemi ve gübre üretiminde kullanılır. Kullanım amacına göre, yumuşaklığı, yağ absorbsiyonu, nem oranı, erime noktası, özgül ağırlığı, ısı ve elektrik iletkenliği, ayrıca kimyasal analiz de önemlidir (Anonim, 1996; Gence ve Ark., 2003; Görmezoğlu ve Üstündağ, 2009; Ağaçayak, 2011). Şekil 2.1'de talkın kullanım alanlarının yüzdeleri daha detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Talkın kullanım alanları (Fırat ve Gürkan, 2012)

Talkın kullanım alanları, rengine, saflığına ve diğer yapısal özelliklerine göre çok farklılık gösterir. Uzun vadeli projeksiyonlarda talkın elektronik ekipmanlar ve uzay araçlarının imalinde stratejik öneminin artacağını, zirai kimyasallardaki tüketimin de hızla yükseleceğini göstermektedir (Fırat ve Gürkan, 2012).

2.1.4.1. Seramik sanayi

Talkın ısı ile genleşme özelliğinin çok az olması banyo ve mutfak seramiklerinde, elektrik sobalarının plakalarında kullanılmasını sağlamaktadır. Seramik sanayinde kullanılacak talkta fiziksel ve kimyasal yapı bakımından homojenlik istenir. Ayrıca, tane iriliği ve dağılımı ile pişirme rengi de önemlidir. Bileşiminde manganez ve demir istenmeyen safsızlıklardır. CaO % 0.5, demir oksit % 1.5 ve Al_2O_3 % 4'ten fazla olmamalıdır. Elektro-seramik ve sırlamada kullanılan talk saf magnezyum silikattır. Ayrıca kloritsiz kompakt talkta (steatit) kullanılabilir (Anonim, 1996; Gence ve Ark., 2003).

2.1.4.2. Boya sektörü

Lifli ve dilinimli, yani yaprak özelliğine sahip talklar, yağ absorblama özelliğinden dolayı boya ve yağ yapımında kullanılmaktadır. Talkın boya sektöründe kuvvetlendirici bir etkisi vardır. Ayrıca vizkoziteyi kontrol eder, film boyalarının akmasını önler, askıda kalma karakteristiğini iyileştirir ve geniş yüzey alanı sayesinde parlaklık sağlar.

Boya sanayinde kullanılan talk öğütüldüğünde son derece beyaz ve tenörü yüksek olmalıdır (% 98.5). Ayrıca 325 mesh'lik (0.044 mm) elekten geçebilmelidir. Talk lifi boya taneciklerinin birbirine ve yüzeye kenetlenmesi sağlar. Ağır boya materyallerinin çökmesini önleyip, boyanın daha homojen olmasını sağlar (Anonim, 1996; Gence ve Ark., 2003; Fırat ve Gürkan, 2012).

2.1.4.3. Çatı kaplamasında

Bu iş için genellikle kalitesiz talklar kullanılır. Bu yüzden hammadde de beyazlık ve saflık aranmamaktadır. Aranan özellikler tane boyu ve dağılımı ile yağ emme özelliğidir. Talk, çatı yapımında erimiş asfaltı stabil duruma getirdiği için yangın

ve hava koşullarına karşı yüksek bir koruma sağlar. Talk ayrıca, yapım ve yerleştirme sırasında çakılların birbirlerine yapışmasını önler (Anonim, 1996; Gence ve Ark., 2003).

2.1.4.4. Haşerelere karşı

Talk ilaca toksik etki katması aşındırıcılık özelliklerini azaltması bakımından haşere öldürücü ilaç yapımında da kullanılmaktadır (Fırat ve Gürkan, 2012).

2.1.4.5. Kauçuk sanayi

Talk birçok sentetik lastik, plastik ve kauçuk üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılmasıyla maddeye sıkı bir doku kazandırmaktadır (Fırat ve Gürkan, 2012).

2.1.4.6. Kağıt sanayi

Talk; yumuşaklığı, tane boyu, mürekkep emme ve suda erime özelliği nedeni ile kağıt sanayisinde kullanılmaktadır. Ancak kullanılacak talkın $CaCO_3$ oranı % 2-5'ten fazla olmamalı ve başka mineral içermemelidir. Dolgu maddesi olarak kullanılır. Parlaklık, kontrollü en büyük tane boyutu 50 µm, ortalama tane boyutu 8-12 µm' dir (Anonim, 1996; Fırat ve Gürkan, 2012).

Yapışkan kontrolünde talkın kullanılmasında asıl sorun, bentonit ve birçok kimyasal dağıtıcıdan gelmektedir. Fakat talk halen pazar payını elinde bulundurmaktadır. Zift kontrolünü en iyi yapan mineralidir. Hidrofobik olması, düşük aşındırıcılık, pH ve ısıdan etkilenmeme, kimyasal durağanlık, elektriksel nötrlük gibi kağıt "üretiminin tüm" ihtiyaçlarının karşılayabilmektedir.

Çin kağıt endüstrisinde, talk üretiminin % 60'dan fazlası, Avrupa'da % 52'si, ABD'de % 14'ü, Japonya'da ise üretimin % 61'ı kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır (Erkan ve Malayoğlu, 2001).

2.1.4.7. Kozmetik ve farmakoloji

Talkın istenilen tane boyutunun elde edilmesi mümkün olduğundan kimyasal saflığı ve kayganlığından dolayı kozmetik ürünleri ve ilaç üretiminde kullanılmaktadır.

Bu sanayiide kullanılan talkta aranan özellikler, içerdiği lifsi ve sert minerallerin azlığı, arsenik ve demir miktarlarının düşük olmasıdır (Anonim, 1996; Gence ve Ark., 2003).

Yağlama ve süzülme özelliği ve güzel koku tutma özelliği (talk pudrası, treleme önleyiciler, sabunlar, kremler ve losyonlar) sayesinde de kozmetik sektöründe kullanılmaktadır (Fırat ve Gürkan, 2012).

2.1.4.8. Plastik sektörü

Plastik sektöründe, talkın kuvvetlendirici etkisi sayesinde ısıya karşı koruma sağlanır ve kalıp çekmesi azalır. Talk ayrıca bozuk film yüzeylerindeki bloklaşmanın önlenmesi amacıyla, soğuk kaynak yapılarak yüzeyin sertleşmesini sağlamaktadır (Fırat ve Gürkan, 2012).

2.1.5. Türkiye'de bilinen talk yatakları, rezervleri ve üretimi

Türkiye'de bilinen talk yatakları Aydın, Balıkesir, Bolu, Eskişehir, Sakarya ve Sivas illerinde bulunmaktadır. Ayrıca Kütahya ve Afyon'da da bazı yatakların işletildiği bilinmektedir (Gence ve Ark., 2003).

Türkiye'deki toplam rezerv, MTA kaynaklarına göre 106.546 ton'u görünür olmak üzere, 1.158.356 ton'dur. Bunun yaklaşık 480.000 tonu iyi kalite rezerv olarak verilmektedir. Ancak, bu kaynaklarda verilmeyen Türkiye'nin en büyük talk rezervi Balıkesir-İvrindi-Korucu-Güvenli köyü yakınında Madran dağında yeralan metamorfik kökenli talk yatağıdır. Görünür + muhtemel rezervi 7 milyon tona ulaşan bu sahadaki cevher kabaca % 50 talk, % 40 manyezit, % 10 hematit + manyetit karışımıdır. Bu cevher üzerinde MTA Enstitüsünde yapılan zenginleştirme çalışmalarında manyetik ayırıcı + flotasyon işlemleri sonucunda %66 verimle, %88 talk içeren ve sanayi talkı olarak kullanılabilecek konsantreler (Fe_eO_3 = % 0.7) elde edilmiştir (Fırat ve Gürkan, 2012). Türkiye'deki talk yatakları ve rezerv durumları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Balıkesir-Kepsut-Serçeören civarında bulunan küçük rezervli talk oluşumları geçmişte az da olsa işletilmiştir. Kütahya-Bilecik bölgesinde de serpantinlerin alterasyonu sonucu oluşmuş, yüksek demir içeren talk zuhurları bulunmaktadır. İyi kalitede olan kesimleri zaman zaman işletilmektedir (Çelik, 2009).

Çizelge 2.2. Türkiye'deki talk yatakları ve rezerv durumları (Gence ve Ark., 2003; Fırat ve Gürkan, 2012)

Bölgeler	Görünür Rezerv (ton)	Muhtemel Rezerv (ton)	Mümkün Rezerv (ton)	Toplam Rezerv (ton)
Aydın/Bozdoğan	50.000	200.000	250.000	500.000
Eskişehir/Mihalıççık	-	-	400.000	400.000
Sivas/Zara, Örencik	44.296	150.310	-	194.606
Balıkesir/Kepsut, Örenli	-	-	20.250	20.250
Balıkesir/Erdek, Kızaklı köyü	5.000	15.000	-	20.000
Eskişehir/Biçer	-	10.000	-	10.000
Sakarya/Sapanca, Nailiye	6.200	-	-	6.200
Balıkesir/Erdek, Yanüçifliği	800	5.000	-	5.800
Balıkesir/Erdek, Rahmi merası	-	1.000	-	1.000
Bolu/Mudurnu, Dereköy, Gözlübaşı	250	250	-	500
TOPLAM	106.546	381.560	670.250	1.158.356

Türkiye'de ve tüm dünyada talk üretimi hem açık, hem de kapalı işletmeler şeklinde yürütülmektedir. Ancak, kaliteli talk yataklarında damar boyunca galeri açılarak talk üretimi yapıldığı da bilinmektedir. Geleneksel patlama metodları da kullanılarak yapılan kazı işlemleri ile çıkarılan hammadde, kalifiye işçiler tarafından kaba bir ayırıma tabi tutularak stoklanıp parça cevher olarak satılır ya da ileri talk ürünler (mikronize veya ultra mikronize) eldesi yoluna gidilebilir.

2.1.6. Dünyadaki talk rezervi, üretimi ve tüketimi

Dünyada talk rezervleri Avusturya, Avustralya, Çin, Brezilya, Hindistan, Finlandiya, İtalya, Kuzey Kore, Japonya, Rusya ve ABD'de bulunmaktadır. Talk üretimi ve ticareti, profillit ve steatitin de dahil edilmesiyle güçleşmiştir. Yaklaşık olarak dünyada toplam talk üretimi 7.5 milyon ton civarındadır. Birçok ufak üretici ile beraber Çin ve ABD yüksek saflıkta talk üretiminde önde gelmektedir. Amerika'daki üç talk sahası ve Çin'deki bir saha dünyanın en büyük talk rezervlerine sahip olan ve aynı zamanda en fazla üretim yapılan yataklarıdır. Japonya ise dünyanın en büyük pirofillit

üreticisidir. Bazı ülkeler belirli ürünlerin üretimi yapmaktadır, örneğin İtalya, Fransa ve Avustralya önemli ölçüde kozmetik talkı üretirler. Avrupa ülkeleri dünya talk üretiminin % 25'ini karşılamaktadır. Finlandiya ve Fransa Avrupa'da en çok üretim yapan iki ülkedir. Finlandiya boya, kağıt, plastik, lastik sanayinda kullanılan talk üretmektedir. Fransa'da bulunan Luzenac şirketler grubu Avrupa talk üretiminin % 35'ini karşılamaktadır. İtalya'da yüksek kalite ve saflıkta talk üretilip, burada üretilen talk ilaç ve kozmetik sanayinde kullanılmaktadır.

Avrupa talk tüketiminin % 50'si kağıt sanayindedir. Bunu % 6'lık bir oranla seramik sanayi izlemektedir. Hayvan yemi üretimi için Avrupa'da talk tüketimi 56.000 ton/yıl kadardır. Bu miktar toplam talk tüketiminin %5'ini oluşturmaktadır. Boya ve vernik imalinde kullanılan talk miktarı 130.000 tondur. Bu miktar toplam tüketimin % 11'ini oluşturmaktadır. Plastik ve lastik ürünleri için Avrupanın talk tüketimi 65-70 bin ton/yıl ile toplam tüketimin % 7'sini oluşturmaktadır. Kozmetik sanayindeki talk üretimi ise 25-30 bin ton/yıl'dır. Bu miktar toplam tüketimin % 3'ünü oluşturmaktadır. Gübre üretiminde Avrupanın talk tüketimi 35-40 bin ton/yıl kadardır. Toplam tüketimin % 3'ünü oluşturmaktadır.

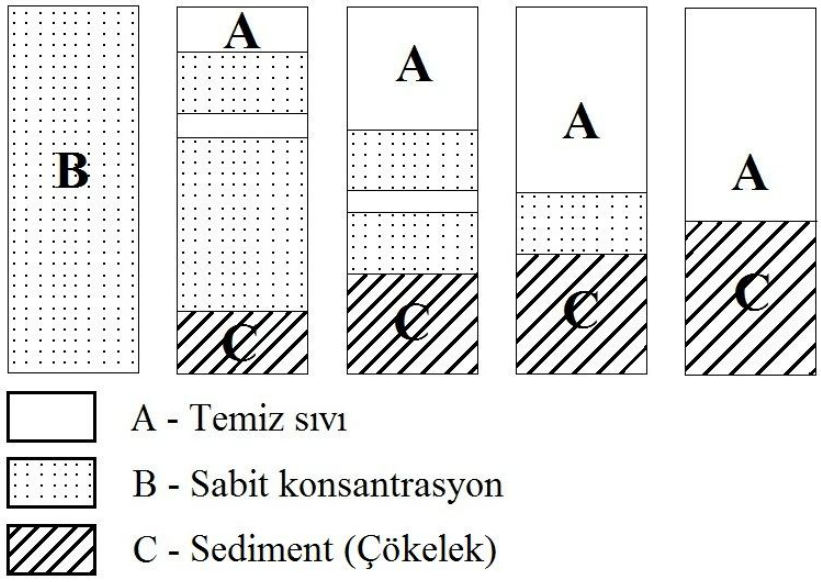
Çizelge 2.3. Dünyadaki talk rezervleri (Gence ve Ark., 2003)

Ülke	**Rezerv ($x10^6$ ton)**
Brezilya	14
Çin	200
Fransa	29
Finlandiya	15
Hindistan	58
İtalya	8
Japonya	132
Güney Kore	14
A.B.D.	136
Toplam	606
Avrupanın Toplamı	80
Diğer Avrupa Ülkeleri	1
Dünya Toplamı	700

ABD'nin 1989 yılı talk tüketimi 1 milyon ton civarındadır. 2000 yılında % 100'lük bir artışla 2 milyon ton olması beklenmektedir. ABD'de talk en çok seramik sanayinde tüketilmektedir. İkinci sırada boya sanayi gelmektedir. Talk tüketimi dünyada en fazla gerçekleştirilen ülke sadece ABD'de olmayıp Avrupa'da ve Japonya'da da gerçekleşmektedir (Fırat ve Gürkan, 2012). Yukarıda Çizelge 2.3'te dünyadaki talk rezervleri sunulmaktadır.

2.2. Sedimantasyon

Bir akışkan içerisinde bulunan katı maddelerin yerçekimi kuvveti veya santrifüj kuvveti ile çöktürülerek sudan arındırılması işlemine sedimantasyon denir. Çökelme işleminin amacı katı parçacıklardan arındırılmış temiz bir su ile kolay işlenebilecek veya taşınıp depolanabilecek pekişmiş bir çamur elde etmektir. Sedimantasyon işleminin verimliliğini arttırmak için çoğu kez suya katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bu durumda çökelme işlemi flokülasyon, koagülasyon gibi isimler alır. Sedimantasyon olayının şematik gösterimi Şekil 2.2'de gösterilmektedir.

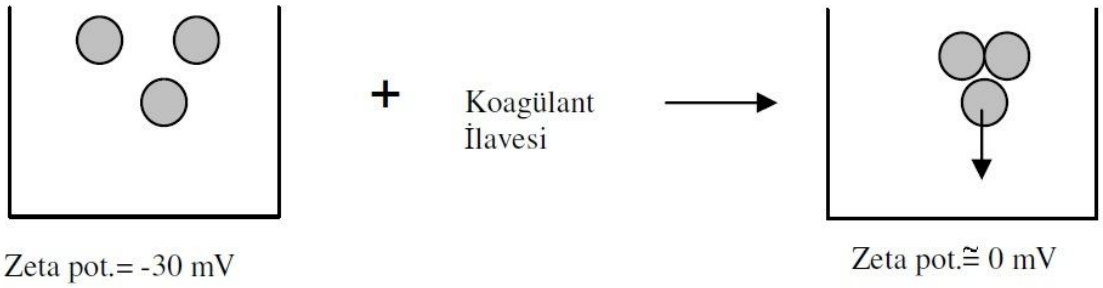


Şekil 2.2. Sedimantasyon olayının şematik gösterimi (Oğul, 2005; Beyazyüz, 2010)

2.3. Koagülasyon

Koagülasyon, elektrostatik kökenli olup, elektriksel çekim kuvvetleri ile kontrol edilen tanelerin salkımlaşması olayıdır. Koagülasyon, süspansiyona potansiyeli tayin eden iyonların veya inorganik tuzların (elektriksel çift tabakayı sıkıştırması) ilavesi ile şarj nötralizasyonu sonucu gerçekleştirilir. Süspansiyon içerisinde aynı elektrik yükünü taşıyan taneler, elektrostatik olarak birbirlerini itmekteler ve böylece çökmeden askıda durabilmektedirler. Tanelerin bir araya gelmesine diğer bir engel ise tanelerin yüzeylerine adsorplanmış su tabakasıdır. Bu su tabakası da tanelerin birbirlerine iyice yakınlaşmasına engel olmakta ve taneler arasındaki Van der Waals çekim kuvvetlerinin etkinliğini azaltmaktadır. Ortama ilave edilecek bir kısım inorganik elektrolitler, yani $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, $AlCl_3$, $FeCl_3$, $Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$ gibi koagülantlar yardımıyla katı tanelerinin zeta potansiyelleri sıfıra veya sıfıra yakın bir değere indirilerek aralarındaki elektriksel çift tabaka itme kuvvetleri (yani elektrostatik itme kuvvetleri) yok edilebilir veya azaltılabilir. Böylece taneler arasındaki Van der Waals çekim kuvvetleri egemen hale gelerek taneleri bir araya getirmektedir. Bu işleme koagülasyon denir (Gregory, 1989; Alptekin, 2006; Beyazyüz, 2010).

Koagüle olmuş, yani topaklanmış bu taneler ise yerçekimi kuvvetinin etkisiyle daha kolay çöktürülebilmektedir. Koagülasyon işlemi Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Bir süspansiyondaki disperse partiküllerin koagülasyonu (Çelik ve Ersoy, 2004; Alptekin, 2006)

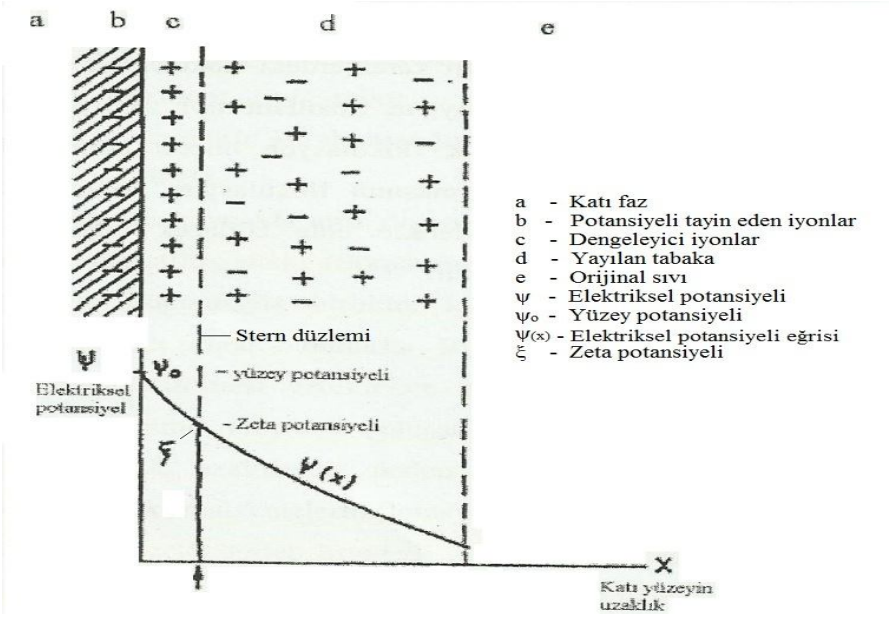
Bir katının su içerisindeki yüzey yükü ve dolayısıyla zeta potansiyeli şu sebeplerden kaynaklanabilir:

1- Tane yüzeylerindeki karboksil (-COOH), hidroksil (-OH), amin ($-NH_2$) gibi fonksiyonel grupların iyonizasyonundan (dissosiasyonundan).
2- Katının kristal yapısını oluşturan latis iyonlarının tercihli çözümesinden.

3- Kristal yapının oluşumu sırasında yüksek valanslı (Si^{+4} gibi) katyonlar yerine düşük valanslı (Al^{+3} gibi) katyonların geçmesinden.
4- Boyut küçültme işlemleri (kırma-öğütme) sırasında meydana gelen bağ kırılmalarından ve kristal yapı kusurlarından.
5- Süspansiyondaki bir kısım iyonların tercihli adsorpsiyonundan (spesifik adsorpsiyonundan) (Çelik ve Ersoy, 2004).

2.3.1. Elektriksel çift tabaka

Su veya bir çözelti içine konulan katı madde yüzeyinin elektriksel bir yük kazanması, potansiyeli tayin eden iyonlar dolayısıyla meydana gelmektedir. Yüzey ile zıt işaretli iyonlar, yüzey yakınında toplanarak, yüzey elektrik yükünü dengelemeye çalışacaktır. Yüzey yakınında, yani katı-sıvı ara yüzeyinde toplanan bu iyonlara, dengeleyici iyonlar (counter ions) adı verilmektedir. Dengeleyici iyonların, yüzey civarında artan konsantrasyonları, yüzeyden uzaklaştıkça azalarak, çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir. Kimyasal dengeye erişildiğinde, katı yüzeyindeki elektrik yükü dağılmış iyonların meydana getirdiği elektrik yükü ile dengelenmiş olacaktır. Yani mineral yüzeyi potansiyeli sıfıra inecektir. Bu durum, bir kondansatörün zıt elektrik yüklü levhalarına benzetilerek, elektriksel çift tabaka (electrical double layer) adını almıştır (Atak, 1982).



Şekil 2.4. Elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyeli (Atak, 1982; İpekoğlu, 1997)

Katı yüzeyinin ölçülebilen potansiyeline elektrokinetik potansiyel (zeta potansiyeli) denir. Zeta potansiyelinin azaltılması flokülasyona (koagülasyona), arttırılması ise dispersiyona neden olmaktadır. Şekil 2.4'te elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyeli gösterilmektedir.

2.3.2. Koagülasyonun genel mekanizması

Koagülasyonun genel mekanizması iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar:

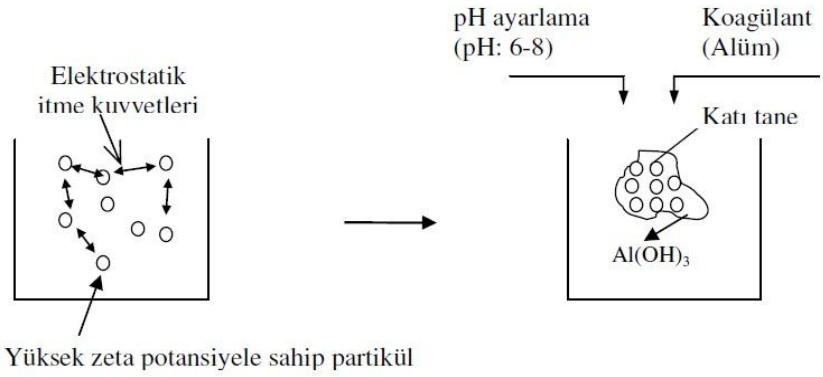
1- Yük nötralizasyonu ile koagülasyon
2- Süpürme koagülasyonu (Sweep coagulation)

2.3.2.2. Yük nötralizasyonu ile koagülasyon

Süspansiyon içerisinde negatif zeta potansiyeline sahip olan mineral taneleri söz konusu olduğunda ve süspansiyona koagülantlar yardımıyla katyon ilavesi yapıldığında, katyonlar negatif şarj taşıyan tane yüzeylerine adsorplanır ve tanenin elektriksel çift tabakasını bastırarak zeta potansiyelini düşürür. Böylece taneler arası itme kuvvetleri azalacağından taneler arasındaki Van der Waals çekim kuvvetleri baskın hale gelerek taneler topaklanabilmekte ve yük nötralizasyonu ile koagülasyon gerçekleşmektedir.

2.3.2.2. Süpürme koagülasyonu (Sweep coagulation)

Süspansiyon içerisinde yüksek zeta potansiyeline sahip mineral taneleri birbirlerine yüksek elektrostatik itme kuvvetleri uygulamaktadırlar. Süspansiyonun pH'ı bazik ve nötral olduğu durumlarda süspansiyon içerisine ilave edilen koagülantlar özellikle çözünmeyen çökelekler oluşturur. Bu çökelekler oluşurken taneleri de beraberinde tutarak bir arada çökelmektedirler. Buna sıyırma veya süpürme manasına gelen "sweep" koagülasyon denilmektedir. Şekil 2.5'te süpürme koagülasyonu gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Süpürme koagülasyon (Sweep coagulation) (Gregory, 1989; Alptekin, 2006)

2.3.3. Koagülant türleri

Koagülant türlerinden en yaygın olarak kullanılanlar: Demir klorür ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), alüminyum klorür ($AlCl_3$) ve alüm ($Al(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$) olup bunlardan başka sönmüş kireç $Ca(OH)_2$, Mg_2CO_3, $Mg(OH)_2$, sodyum alüminat ($NaAlO_2$) ve $FeSO_4$'dır. Bunlardan en yaygın kullanılanları aşağıda tanıtılmaktadır.

2.3.3.1. Alüm

Alüm, kimyasal formülü $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ olan yüksek verimli bir arıtma kimyasalıdır. Suda çok kolay çözünebilen bir koagülanttır. Alüm ile koagülasyon düşük pH'larda (pH<4) genellikle yük nötralizasyonu ile gerçekleşirken, nötral pH'larda (pH: 6-8) sıyırma (sweep) mekanizması ile gerçekleşmektedir. Çünkü düşük pH'larda süspansiyonda bol miktarda serbest Al^{+3} iyonları bulunurken orta ve yüksek pH'larda hidroksilli Al bileşiği olan $Al(OH)_3$ çökeleceği oluşur. Diğer yandan süspansiyona giren alüm dozajının da süspansiyon pH'sı üzerinde ve dolayısıyla da çökelek oluşumunda etkili olduğu ve 30 mg/dm^3'den daha yüksek dozajlarda genellikle sıyırma mekanizmasının etkili olduğu ifade edilmektedir (Alptekin, 2006).

2.3.3.2. Polialüminyum klorür

Polialüminyum klorür (PAC) alüminyum kloritin kontrollü şartlar altında kısmı nötralizasyonu ve polimerizasyonu ile elde edilmektedir. PAC genellikle pH ayarı ve yardımcı koagülant gerektirmeyen, hacimce % 25-75 daha az çamur oluşturan süpürme

ve köprüleme mekanizmasında daha etkili olup aynı zamanda organik madde tutabilen bir koagülanttır.

Polialüminyum klorür toz formda ve sıvı formda bulunmaktadır. Sıvı formu % 10 ve % 17'lik çözeltilerdir. Katı formu sarı PAC ve beyaz PAC olarak bilinmektedir (Anonim, 2013d).

Polialüminyum klorür Al_2O_3 formülü ile gösterilip, PAC absorbsiyon veriminin yüksek olması ve suda kolay çözünebilen kimyasal yapısından dolayı sıvı veya katı formlarda bulunabilmektedir (Anonim, 2010).

2.3.3.3. Demir klorür ve demir sülfat

Klorürlü bileşikleri $FeCl_3$ veya $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ve sülfatlı olanları ise $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ kimyasal formülüne sahiptir. Genellikle granül halde üretilir. Alüm'e oran ile kullanımı daha azdır.

$FeCl_3$ formülü ile gösterilen demir 3 klorür, endüstriyel atıksu ve içme suyu arıtımında kullanılan bir koagülant (pıhtılaştırıcı) kimyasaldır. Demir 3 klorür % 40'lık çözelti formdadır. Su ile etkin reaksiyonu pH 6-9 aralığında sağlanmaktadır. Çözelti formu korozif özellikte olduğu için plastik veya paslanmaz çelik tanklarda stoklanmalıdır. Koyu kahve renklidir (Anonim, 2013c).

Arıtma proseslerinin kimyasal reaksiyonlarının en önemli parçası olan koagülasyon (pıhtılaştırma) aşamasında en yaygın kullanılan iki kimyasaldan biri demir sülfattır. Yüksek verimli bir arıtma kimyasalıdır. Demir sülfatın çalışma aralığı atıksuyun bulanıklık vb. değerlerine bağlı olarak pH 5 – 10 aralığı olarak kabul edilir.

Demir sülfat Türkiye'de sanayi işlemleri sayesinde kolayca ulaşılabilecek bir kimyasaldır. En önemli özelliği geniş pH aralığında çalışmasıdır. $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ kimyasal formülünü ile gösterilen demir sülfat atıksuyun niteliklerine dayalı olması haricinde pH 5-10 aralığında yüksek verim vermektedir.

Türkiye'de deşarj edilen atıksuların niteliğine bağlı olarak, atık su arıtma tesislerinin % 85'inde demir sülfat ile verimli sonuçlar elde edilebilir (Anonim, 2013a).

2.4. Flokülasyon

Flokülasyon işlemi, ortama katılan yüksek molekül ağırlıklı organik polimerler kullanılarak, tanecikler arasında fiziksel bir köprü oluşturulması ile meydana getirilen

bir salkımlaşma işlemidir. Flokülasyon sonucu oluşan salkımsı yapılara da "flok" denilmektedir (Ersoy, 2003; Beyazyüz, 2010; Öner, 2011).

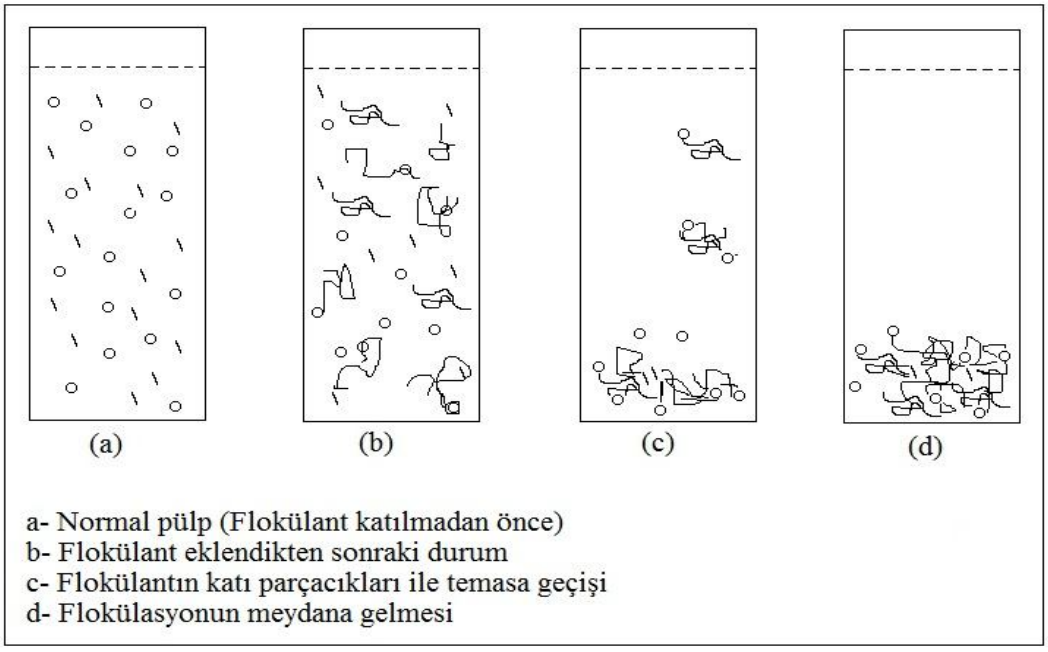
Süspansiyon içeresindeki mineral tanelerinin dengesini kontrol eden iki tür kuvvet vardır. Bunlar:

1-Çekim kuvveti: Çekim kuvvetleri moleküller içindeki dipol veya farklı şarjlardan meydana gelmektedir. Bu kuvvetin en önemlisi "London Van der Waals" kuvvetidir. Bu kuvvet süspansiyon içindeki katı yüzeyleri birbirlerine yeterli derecede yaklaştıkları zaman (0.01 mikrometre veya daha az) itme kuvvetlerinden daha etkin hale geçmektedirler.

2-İtme kuvveti: Tane yüzeylerindeki elektriksel şarjlar itme kuvvetlerini oluşturan en önemli etkenlerdir.

2.4.1. Flokülasyon genel mekanizması

Flokülantlar yüksek molekül ağırlıklı polimerler olup, katı parçacıkların yüzeylerine yakınlık gösterirler. Bu yakınlıklarından doğan sonuç; katı parçaların bir araya gelmesi ve bir salkım oluşturmasıdır. Şekil 2.6'dan görüldüğü gibi; flokülantlar taneciklerin birbirine bağlanmasına neden olur. Daha sonra bir araya gelen parçacıklar dibe kısa sürede çökme eğilimi gösterir.



Şekil 2.6. Flokülasyon oluşum şekli (Oğul, 2005; Beyazyüz, 2010)

2.4.2. Polimerlerin flokülasyon işlevi

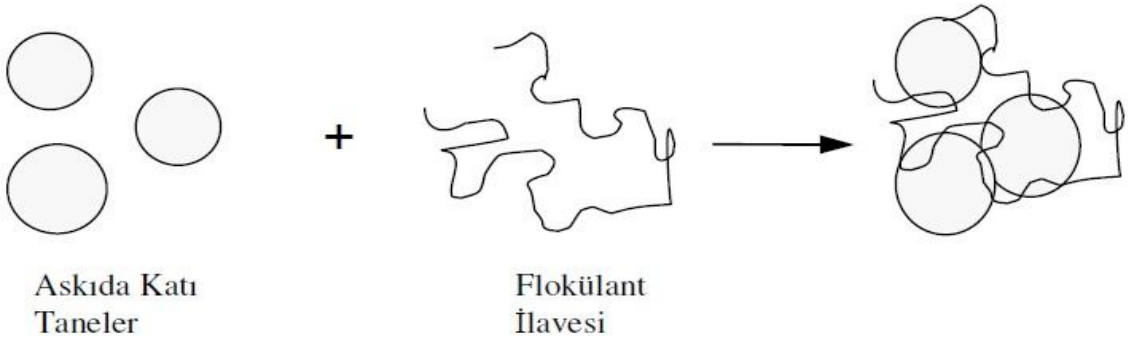
Polimer adsorpsiyonu ve sonrasında gerçekleşen salkımlaşmanın arkasındaki mekanizmalar oldukça karışıktır ve bazı durumlar hala anlaşılamamıştır. Flokülasyonda en çok kabul gören iki genel mekanizma mevcuttur. Bunlar;

1- Polimer köprü teşekkülü ile flokülasyon (köprülenme flokülasyon)
2- Elektrostatik yük yamama (electrostatic charge patch) yöntemi ile flokülasyondur (Ya da elektriksel şarjların azaltılması olarak bilinmektedir).

2.4.2.1. Polimer köprü teşekkülü ile flokülasyon

Flokülasyonda polimer köprüsü teşekkülü fikri ilk kez 1952 yılında Ruehrwein ve Ward tarafından ortaya atılmış ve bu tarihten sonra da büyük kabul görmüştür.

Flokülasyon işleminin ağırlıklı olarak polimer köprü teşekkülü mekanizması ile gerçekleşebileceği söylenebilir. Polimer köprü teşekkülü ile flokülasyon, suda çözünebilen çok yüksek molekül ağırlıklı sentetik organik polimer ile yapılmaktadır. Uzun zincirli (yüksek molekül ağırlıklı) polimerler, bu zincirleri sayesinde birden fazla tane üzerine adsorplanabilmekte ve böylece taneler arasında bir köprü teşekkül ettirerek taneleri birbirlerine bağlayabilmektedirler. Dolayısıyla flok oluşturmaktadırlar (Friend ve Kitchener, 1973; Yarar, 2001; Alptekin, 2006; Beyazyüz, 2010; Öner, 2011). Şekil 2.7'de polimer köprü teşekkülü ile askıdaki katı tanelerin flokülasyonunu göstermektedir.



Şekil 2.7. Polimer köprü teşekkülü ile askıda katı tanelerin flokülasyonu (Alptekin, 2006; İpekoğlu, 2007)

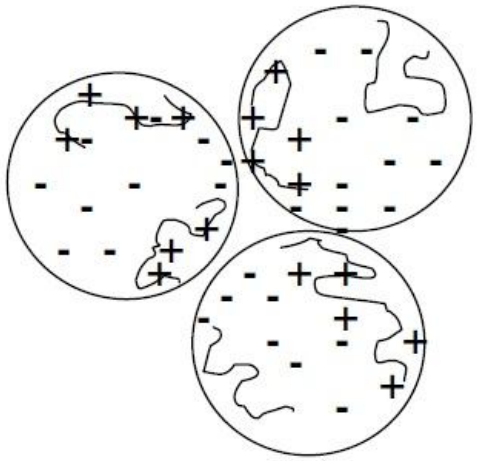
Köprü teşekkülü ile flokülasyon oluşumu için polimerlerin oldukça yüksek molekül ağırlıklarında (genellikle birkaç milyon değerinde) olmaları gerekir. Bu yüksek

molekül ağırlığı sebebiyle bir tane üzerine birkaç noktadan adsorplana bilmektedir. Bu yöntem ile elde edilen floklar büyük boyutlu olup çökelme hızları yüksektir (Gregory, 1989; Alptekin, 2006).

2.4.2.2. Elektrostatik yük yamama yöntemi ile flokülasyon

Polimerlerin kullanıldığı flokülasyon proseslerinde yukarıda açıklanan polimer teşekkülü ile flokülasyondan başka bir mekanizma daha ortaya konmuş ve buna da "Elektrostatik yük yamama (electrostatic charge patch)" mekanizması denilmiştir.

Bir süspansiyon içerisinde negatif şarj taşıyan tane yüzeyleri üzerine adsorbe olan bir katyonik polimerin olduğu düşünüldüğünde, elektrostatik yük yamama yöntemine göre katyonik polimer elektrostatik çekim kuvvetleri ile tane yüzeyinin sadece bir bölümü üzerine adsorplanarak (yani tane üzerine adeta yamanmış olarak) o kısmın yüzey yükünü tersine çevirir ve pozitif yapar. Sonra tanenin bu pozitif kısmı ile bir başka tanenin negatif kısmı arasındaki elektrostatik çekim kuvvetiyle taneler bir araya gelerek flok oluştururlar (Gregory, 1973; Ersoy, 2003; Alptekin, 2006; Öner, 2011). Elektrostatik yük yamaması yöntemiyle flokülasyon Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Elektrostatik yük yamaması yöntemiyle flokülasyon (Ersoy, 2003; Alptekin, 2006)

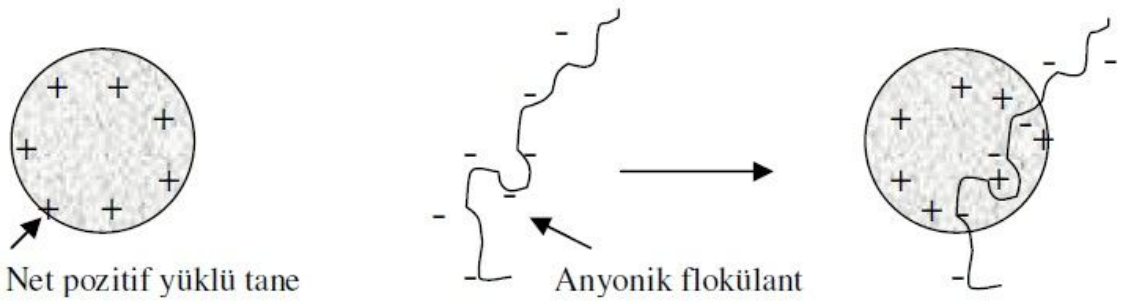
2.4.3. Flokülantın tane yüzeyine adsorplanması

Bir polimer molekülünün süspansiyondaki herhangi bir katı yüzeyine adsorpsiyonu şartlara bağlı olarak şu üç bağ yapma mekanizmasından biri veya birkaçı ile gerçekleşmektedir. Bu üç bağ yapma mekanizmalar aşağıda sunulmuştur;

1- Elektrostatik bağ (elektrostatik adsorplanma)
2- Hidrojen bağı (hidrojen bağı oluşumu ile adsorplanma)
3- Kovalent bağ (kovalent bağ oluşumu ile adsorplanma)

2.4.3.1. Elektrostatik adsorplanma

Özellikle iyonik (katyonik veya anyonik) polimerlerin kendisine zıt yüklü taneler arasındaki elektrostatik çekim kuvvetleri aracılığıyla meydana gelen bir bağ türüdür olup, Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Anyonik flokülantın pozitif yüklü katı yüzeyine elektrostatik çekim kuvvetleri yardımıyla adsorplanması (Ersoy, 2003; Alptekin, 2006)

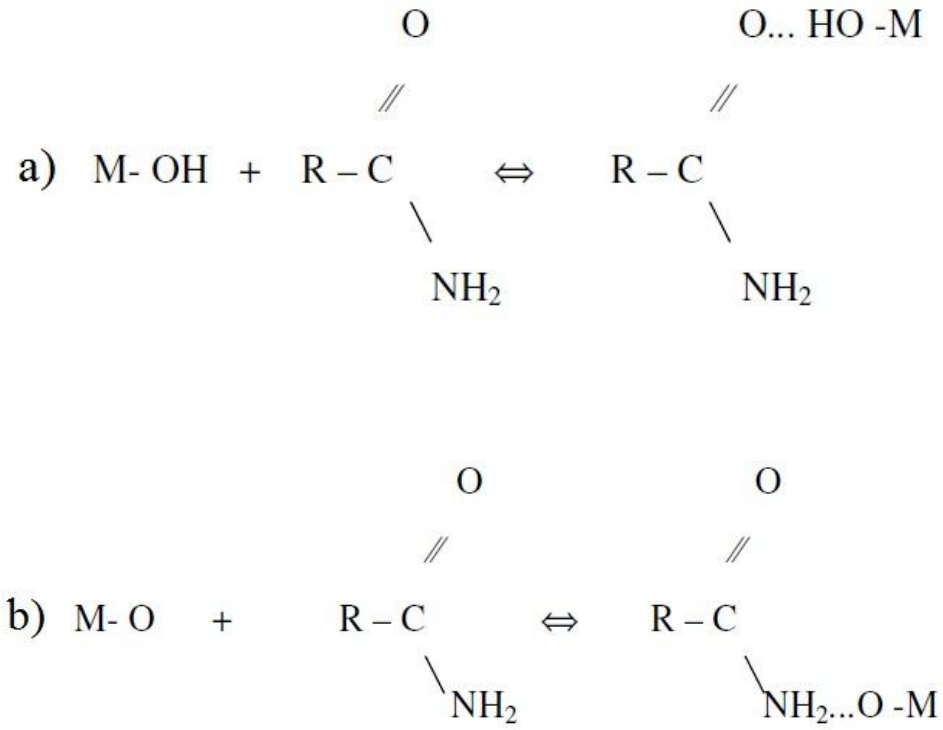
Yani katyonik polimerlerin negatif şarj taşıyan mineral yüzeylerini adsorpsiyonu veya anyonik polimerlerin pozitif şarj taşıyan mineraller üzerine adsorpsiyonu bu yolla olabilir. Bunun yanında süspansiyon pH'ına bağlı olarak (düşük ve yüksek pH'larda) iyonik olamayan (non-iyonik) polimerlerin yapısında da, hidroliz reaksiyonları sonucu iyonizasyon meydana gelebilmektedir. Bu sebeple orijinal haliyle non-iyonik formdaki polimer ile tane yüzeyi arasında da elektrostatik etkileşim mümkün olabilir. (Ateşok, 1988; Gregory, 1989; Ersoy, 2003; Alptekin, 2006; Öner 2011).

2.4.3.2. Hidrojen bağı oluşumu ile adsorplanma

Polimer molekülü ile mineral yüzeyi arasında oluşan hidrojen bağı (H-bağı) iki şekilde gerçekleşebilir. Bunlar;

1- Polimerin karbonil (-C=O) grubundaki oksijen ile mineralin yüzey hidroksilleri (OH) veya yüzeydeki su molekülleri arasında oluşan H bağıdır. Şekil 2.10a'da gösterilmiştir.

2- Polimerin "-NH_2" (amin) grubundaki H ile mineral yüzeyindeki oksijenler arasında oluşan H bağıdır. Şekil 2.10b'de gösterilmiştir.

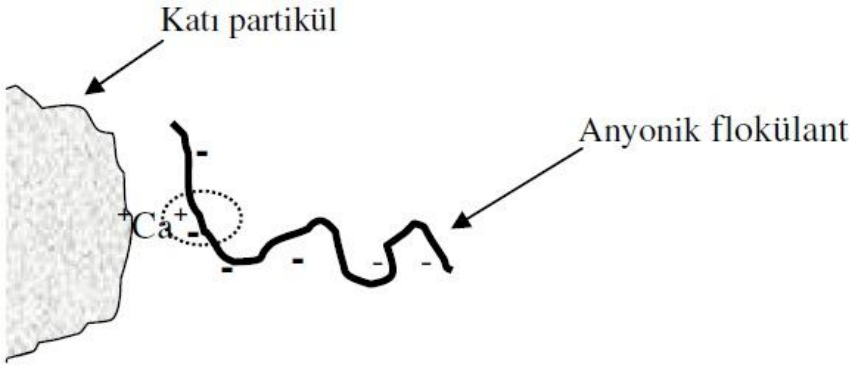


Şekil 2.10. Polimer molekülü ile mineral arasında H-bağı oluşumu (Ateşok, 1988; Öner, 2011)

Hidrojen bağı özellikle non-iyonik polimerlerin adsorpsiyonunda ve polimer tane arasındaki elektrostatik itme kuvvetlerinin çok yüksek olmadığı ortamlarda daha etkin olarak ortaya çıkmaktadır (Ateşok, 1988; Stutzmann ve Siffert, 1997; Alptekin, 2006; Öner 2011).

2.4.3.3. Kovalent bağ oluşumu ile adsorplanma

Mineral (veya katı tane) yüzeyindeki çok valanslı metal iyonları ile polimer zincirindeki negatif şarj taşıyan (ya da negatif yüke sahip) aktif gruplar arasında güçlü bir kovalent bağı oluşumu ile polimer adsorpsiyonu gerçekleşebilir. Literatürde özellikle kaolenin poliakrilamid (PAA) ile flokülasyonunun izahatında PAA ile kaolenin yüzeyindeki Ca^{+2} iyonları arasında böyle bir bağ oluşumu ifade edilmektedir (Şekil 2.11) (Stutzmann ve Siffert, 1997).



Şekil 2.11. Süspansiyondaki katı partikül (mineral) yüzeyindeki Ca^{+2} iyonu ile anyonik flokülant arasındaki kovalent bağ (katyonik köprü) oluşumu (Yarar, 2001; Alptekin, 2006)

2.4.4. Kullanılan flokülant tipleri

Flokülantlar organik esaslı polimerler veya polielektrolitlerdir. En önemli özellikleri çok yüksek molekül ağırlıklarına sahip olmalarıdır (molekül ağırlıkları 20.000.000 g/mol'a kadar çıkabilmektedir):

Flokülantlar genel olarak 3 şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar;

1- Flokülant kaynağına göre sınıflandırma
2- İyonizasyon durumuna göre sınıflandırma
3- Molekül ağırlığına göre sınıflandırma

2.4.4.1. Flokülant kaynağına göre sınıflandırma

Flokülant kaynağına göre 2 sınıfa ayrılır. Bunlar;

1- Doğal flokülantlar
2- Sentetik Flokülantlar

2.4.4.1.1. Doğal flokülantlar

Nişasta, reçine, aljinat (deniz yosunu) veya çeşitli bitki ve sebze tohumlarından elde edilen doğal organik maddelerdir. Örneğin, nişasta içme suyu elde edilmesinde, sodyum aljinat ise içme sularının temizlenmesinde kullanılmaktadır.

Doğal flokülantların molekül ağırlıkları sentetik polimer flokülantlara nazaran çok düşüktür ve buna bağlı olarak flokülasyon (floküle etme) kabiliyetleri daha zayıftır. Ayrıca yüksek dozajlarda kullanılmaları, dengesiz süspansiyonlar meydana getirmeleri

ve meydana getirdikleri salkımların kolay parçalanabilirliği de doğal flokülantların dezavantajları arasındadır. Bu yüzden praktikte en çok kullanılanlar aşağıda anlatılan sentetik flokülantlardır (Gregory, 1989; İpekoğlu, 1997; Alptekin, 2006; Beyazyüz, 2010; Öner, 2011).

2.4.4.1.2. Sentetik flokülantlar

Taneler arasında köprü oluşturan, suda çözünebilen yüksek molekül ağırlıklı organik polimerlerdir. Bu tip flokülantların molekül ağırlığı arttıkça floküle etme kabiliyetleri de artmaktadır. Sentetik flokülantlar sıvı, emülsiyon veya katı (granül) olarak üç farklı fiziksel formda üretilebilmektedir.

Sentetik olarak elde edilen en önemli ve en yaygın flokülant poliakrilamid (PAA) ve onun türevleridir. PAA akrilamidin sulu polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Poliakrilamidin iyonik karakteri yoktur. Poliakrilamid bazik ortamda (NaOH ile) hidrolize uğrayarak % 100 anyonik karakteri olan bir poliakrilamid olabilir. Hidroliz şartlarına bağlı olarak, çeşitli derecelerde anyonik özellik gösterir. Salkımlaşma yönteminde kullanılan polimerlerin molekül ağırlığının salkımlaşmaya etkisi oldukça önemlidir (Gregory, 1989; Ersoy, 2003).

2.4.4.2. İyonizasyon durumuna göre sınıflandırma

Flokülantlar iyonizasyon durumuna göre 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

1- Non-iyonik flokülantlar
2- Anyonik flokülantlar
3- Katyonik flokülantlar

<u>Non-iyonik flokülantlar</u>

Non-iyonik ya da iyonik olmayan homopolimerler (% 100 akrilamid) etkili flokülantlardır. İyonik olmayan flokülantlardan en önemli ve en yaygın kullanılanı PAA esaslı flokülantlardır. Bundan başka kullanılabilecek diğer tür iyonik olmayan flokülantlar da Polivinil alkol (PVA), Polietilen oksitlerdir (PEO).

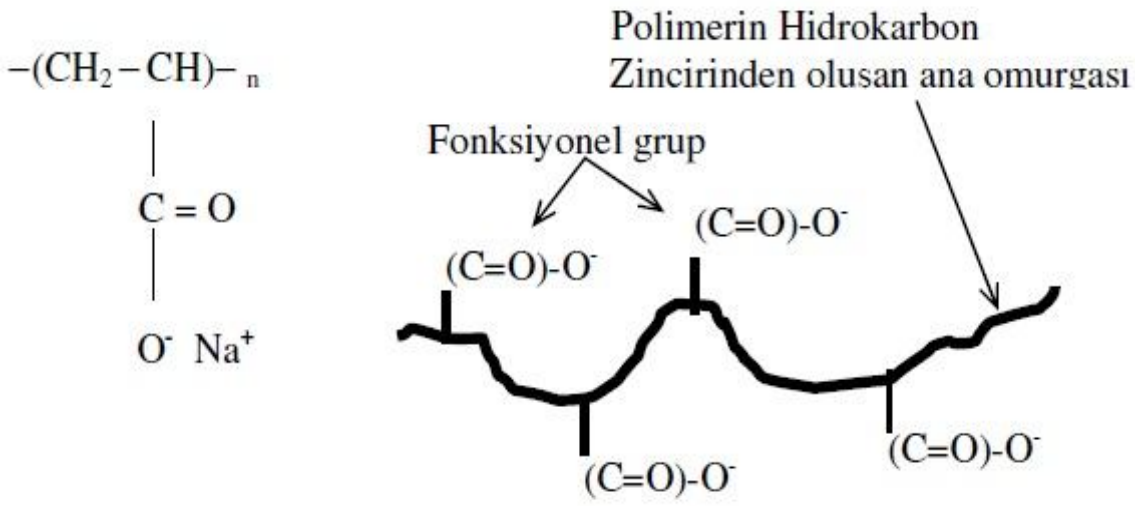
Non-iyonik flokülantlar herhangi bir elektriksel şarj taşımazlar ve süspansiyonun pH değişiminden fazla etkilenmezler. Bu tip flokülantların köprüleme kabiliyetleri de

yüksektir. İyonik yapıda olmayan polimerler geniş bir pH aralığında kullanılabilirler (Gregory, 1989; Alptekin, 2006).

Anyonik flokülantlar

Günümüzde en çok kullanılan sentetik flokülantlar anyonik flokülantlardır. Negatif şarj taşıyan anyonik flokülantlar nötr-alkali pH aralığında daha etkindirler. Bu flokülantların köprüleme kabiliyetleri yüksektir. Yüksek molekül ağırlığına sahip anyonik polimerlerin genellikle alkali ortamlarda kullanılması uygundur.

En çok kullanılan flokülant olan poliakrilamid esas itibariyle iyonik olmayan (yani non-iyonik) bir flokülant olup anyonik tip flokülantlar (mesela sodyum poliakrilat) bu poliakrilamidin bazı amid gruplarının ($-NH_2$) bazik ortamda (mesela NaOH ile) hidroliziyle veya akrilik asit (CH_2=CHOOH) ile kopolimerizasyonu (bir arada polimerleşmesi) sonucu elde edilebilmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. PAA esaslı anyonik flokülantın (Na-Poliakrilat) yapısı (Gregory, 1989; Alptekin, 2006)

Gerek hidroliz ve gerek ise kopolimerizasyon reaksiyonları kontrol edilebilmekte olup, bu sayede istenilen anyoniklik derecesinde (negatif yük yoğunluğunda) ve istenilen molekül ağırlığında flokülant elde edilebilmektedir.

Anyonik flokülantlar anyoniklik derecesine göre üç sınıfa ayrılabilirler. Bunlar;

1- Zayıf anyonik flokülantlar
2- Orta anyonik flokülantlar
3- Güçlü anyonik flokülantlar

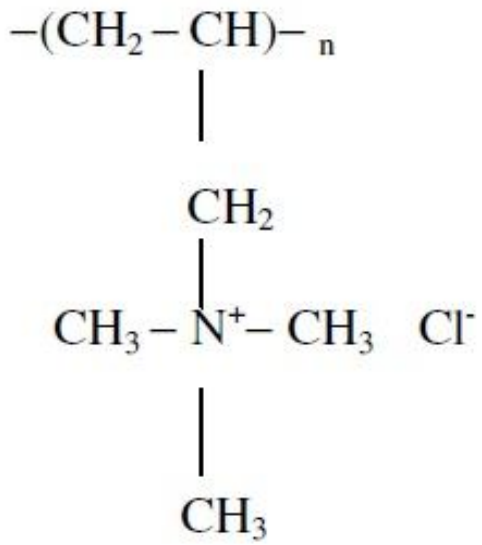
Poliakrilamid esaslı bu anyonik flokülantlardan başka kullanılabilecek anyonik flokülantlar ise şöyle sıralanabilir; sodyum polyestren sülfonat, akrilamido-metilpropan ve sülfonik asitin kopolimerizasyonundan elde edilen ürünlerdir (Gregory, 1989; Alptekin, 2006).

Katyonik flokülantlar

Pozitif şarj taşıyan katyonik polimerlerin yapısı oldukça çeşitlidir. Bu polimerler için uygun pH aralığı çok değişken olmakla beraber çoğunlukla hafif asidik pH seviyeleridir.

Katyonik polimerlerin molekül ağırlıklarının düşük olması sebebi ile köprüleme kabiliyetleri de düşüktür. Maliyetlerinin yüksek olması ve köprüleme kabiliyetlerinin düşük olması nedeniyle en az kullanılan flokülant tipidir (Klimpel, 1997; Öner, 2011).

Poliakrilamid'den anyonik flokülant türetildiği gibi uygun bir katyonik monomer (genellikle dimetil-aminoetil akrilat veya metil akrilat gibi akrilamidin amin türevleri) ile kopolimerizasyonu sonucu katyonik PAA yani katyonik tür flokülant elde edilebilir. Flokülantın yapısına giren bu amin türevleri polimerizasyon sonucu kuaterner amin formuna dönüşmektedir. PAA esaslı katyonik bir flokülant olan kuaterneraminli poliakrilamid'in kimyasal formülü Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13. PAA esaslı katyonik bir flokülant olan kuaterneraminli poliakrilamid'in yapısı (Gregory, 1989; Alptekin, 2006)

Anyonik poliakrilamid de olduğu gibi katyoniklerde de polimerizasyon reaksiyonları kontrol edilerek istenilen katyoniklik derecesinde ve molekül ağırlığında PAA elde edilebilir. Poliakrilamid esaslı bu flokülantlardan başka kullanılabileek katyonikler vardır. Bunlar; polietilen emin, polidialydimetilamonyum klorit'tir (Catfloc). Katyonik flokülantlar katyoniklik derecesine göre üç sınıfa ayrılabilirler (Gregory, 1989; Alptekin, 2006). Bunlar;

1- Zayıf katyonik flokülantlar
2- Orta katyonik flokülantlar
3- Güçlü katyonik flokülantlar

2.4.4.3. Flokülantların molekül ağırlıklarına göre sınıflandırması

Flokülasyon prosesleri polimer moleküllerinin çözünme özelliklerinden önemli ölçüde etkilenir. Flokülant adsorpsiyonu ve köprüleme mekanizması yalnız yüzey ile fonksiyonel etkileşimlere bağlı değildir. Aynı zamanda polimer zincirlerinin çözünme miktarına ve dolayısıyla polimerin molekül ağırlığına da bağlıdır. Molekül ağırlığı yüksek flokülantlar daha büyük boyutlu fakat poroz yapıda flokların oluşumunu sağlar iken düşük molekül ağırlıklı flokülantlar nispeten daha küçük boyutlu fakat daha sağlam floklar oluşturur (Farrow ve Ark., 2002; Beyazyüz, 2010). Flokülantların molekül ağırlıklarına göre sınıflandırılması Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Flokülantların molekül ağırlıklarına göre sınıflandırılması (Ersoy, 2003; Beyazyüz, 2010)

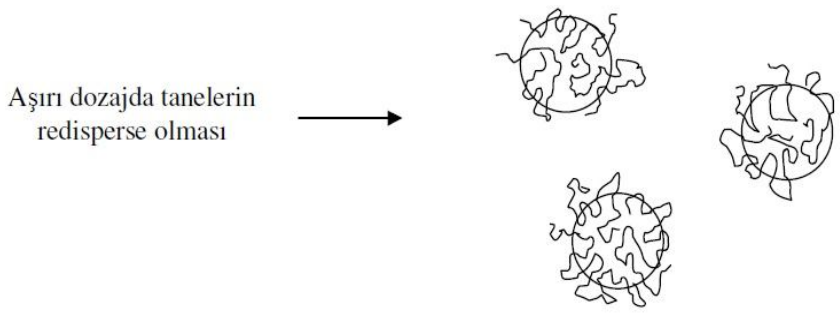
Molekül Ağırlığı (g/mol)	**Genel Tanımlama**
10 milyon ve üstü	Çok yüksek
1-10 milyon	Yüksek
200.000 -1 milyon	Orta
100.000 – 200.000	Düşük
50.000 – 100.000	Çok düşük
50.000'den az	Çok çok düşük

2.4.5. Flokülasyonu etkileyen faktörler

İnce tane süspansiyonlarının flokülasyonu, tane boyutu ve dağılımı, katı konsantrasyonu, pH, süspansiyon ortamının iyonik kuvveti, flokülantların molekül ağırlıkları ve şarj yoğunlukları, adsorbe edilen flokülantların adsorpsiyon yoğunluğu, nasıl uygulandıkları gibi pek çok fizikokimyasal faktörlere bağlıdır. Bu fizikokimyasal faktörler arasındaki karşılıklı kompleks etkileşim farklı numunelerle yapılan çalışmalarda detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar devam etmektedir (Farrow ve Ark., 2002; Oğul, 2005; Beyazyüz, 2010).

2.4.5.1. Flokülant dozajının etkisi

Literatürde, bir süspansiyondaki disperse olmuş katı partiküllerin en iyi şekilde flokülasyonunu sağlamak için gerekli flokülant dozajının (optimum dozaj), katının yüzey alanının yarısını kaplayacak miktardaki dozaj olduğu ifade edilmektedir. Şayet ortama bu dozajdan daha fazla miktarda flokülant verilir ise, yani taneler üzerine fazla miktarda flokülant adsorplanırsa, o zaman taneler arasında köprü oluşumu engellenir. Çünkü Şekil 2.14'te görüldüğü gibi tanelerin yüzeyinde, bir başka tane yüzeyine adsorplanmış flokülant zincirinin bir kısmının bu tane üzerine de tutunabilmesi (adsorplanabilmesi) için yeterince boşluk kalmamakta ve bu da flokülasyonu engellemektedir. Bu durum flokülantların aşırı dozajda sterik engeli olarak da bilinmektedir. Diğer yandan süspansiyona optimum dozajdan daha düşük miktarda flokülant verilmesi de yine flokülasyon işlemini olumsuz yönde etkileyecektir (Somasunduran ve Das, 1998; Ersoy, 2003; Alptekin, 2006; Öner, 2011).



Şekil 2.14. Aşırı flokülant dozajında tanelerin yeniden disperse hale gelmesi (flokülantların sterik engel oluşturması) (Ersoy, 2003; Alptekin, 2006; Öner, 2011)

2.4.5.2. Karıştırma ve kesme kuvvetlerin hızlarının etkisi

Karıştırma hızı ve kesme kuvvetleri flokülasyon performansını etkileyen en önemli parametrelerdendir. Karıştırma, süspansiyondaki tanelerin homojen bir şekilde dağılmasını ve süspansiyona ilave edilen flokülantın bütün partiküller ile temasını sağlayarak uygun boyutta floklar oluşmasında etkendir. Oluşan bu flokların bozulması veya kırılması yine karıştırma hızı ile ilgili bir husustur. Süspansiyona ilave edilen doğal veya sentetik flokülantlar ile partiküller arasındaki etkileşim sonucu meydana gelen floklar, fazla ve/veya yüksek hızlarda karıştırma sonucunda ortaya çıkan kesme kuvvetleri nedeniyle parçalanabilir ve bundan sonra da tekrar floküle olamazlar. Süspansiyonda iri boyutlu taneciklerin bulunması durumunda karıştırma hızı, çok düşük kesme kuvvetlerinde bile belirleyicidir (Hogg, 2000).

Flokülasyon sırasında uzun zincirli yüksek molekül ağırlıklı polimerlere fazla gerilim uygulanması zincirlerin kopmasına sebep olabilir. Bunun sonucu olarak da köprüleme kapasitesi azalır.

Tane boyutu karıştırma hızına etki eden önemli bir faktördür. İnce tanelerin salkımlaştırması için gereken hız, daha büyük tanelerin salkımlaşması için gereken hızdan daha fazladır. Ayrıca ince tanelerin iri taneler ile salkımlaşması için gereken hız daha düşüktür (Farrow ve Ark., 2002; Beyazyüz 2010).

2.4.5.3. Karıştırma süresinin etkisi

En uygun karıştırma süresi optimum flokülant dozajının elde edilebilmesi için, diğer bir ifade ile tane yüzey alanının yarısının flokülant ile kaplanabilmesi için gerekli olan süredir. Bu sürenin fazla tutulması flokülantların tane yüzeyinde artmasını ve dolayısıyla sterik engel nedeniyle flokülasyonu engellemektedir. Bu sürenin gereğinden az olması da flokülant moleküllerinin süspansiyondaki tüm katı tanelerine ulaşabilme şansını azaltacağından flokülasyonu olumsuz yönde etkileyecektir.

Karıştırma süresinin bir önemi de süspansiyondaki tanelerin birbiri ile yeterince çarpışmasına imkan vermesidir (Somasunduran ve Das, 1998; Ersoy, 2003).

2.4.5.4. Tane boyutunun etkisi

Çeşitli mineral süspansiyonları ile yapılan deneyler sonucunda partikül tane ebadının azalması (katı yüzey alanının artması) ile kullanılan optimum flokülant miktarının arttığı saptanmıştır.

Örneğin, ince silika tanecikleri üzerinde, optimum polimer miktarının katı yüzey alanı ile doğrudan orantılı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, tane boyutunda bir azalma flokülant talebinde artış anlamına gelir (Forbes, 2013).

2.4.5.5. Flokülantın molekül ağırlığının etkisi

Molekül ağırlığı yüksek (polimer zincir uzunluğu fazla olan) flokülantlar daha büyük boyutlu fakat daha poroz yapıda flokların oluşmasını sağlarken, düşük molekül ağırlıklı flokülantlar nispeten daha küçük boyutlu fakat daha sağlam (daha az poroz) floklar oluşturur. İyonik flokülantlar için sahip oldukları anyonik ve katyoniklik dereceleri, yani yük yoğunlukları dolaylı olarak flokülantların aktivasyonunda önemli rol oynamaktadır (Stutzmann ve Siffert, 1997; Öner, 2011).

Genel olarak molekül ağırlığı etkin bir flokülasyon için tek başına bir kriter değildir. Aynı molekül ağırlığında iki ürün farklı moleküler ağırlık dağılımına sahip ve dolayısıyla farklı performansta olabilir. Ele alınan herhangi bir pülpün flokülasyon verimi polimerin özelliklerine olduğu kadar pülpün karakteristik özelliklerine de bağlı olmaktadır (Forbes, 2013).

2.4.5.6. pH'ın etkisi

Flokülasyon yönteminde önemli bir adım olan adsorpsiyon olayı, ortam pH'ına bağlı olarak önemli değişiklikler gösterebilmektedir. Ortam pH değeri, gerek pülp içinde bulunan katılara ve gerekse pülpe ilave edilen polimere etki etmekte ve doğal özelliklerini değiştirmektedir.

pH değerinin flokülasyon işleminde önemli bir yeri vardır. Ortam pH'ına bağlı olarak, pülp içerisinde meydana gelen salkımların özellikleri de değişmektedir. Düşük pH değerinde (asidik ortam) oluşan salkımlar genellikle küçük boyutlu ve sağlam bir yapıda olmalarına karşın, yüksek pH değerinde (bazik ortam) büyük boyutlu ve gevşek-

kırılgan bir yapı özelliği gösterirler. Salkımların ortam pH'ına bağlı olarak göstermiş olduğu bu yapısal özellikleri, flotasyon ve filtrasyon işlemlerinde büyük önem taşır.

Süspansiyon pH'ının iki yönden önemi vardır. Birincisi, pH flokülantın ortamdaki aktivasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Daha önce belirtildiği gibi, non-iyonik (yani iyonik olmayan) formdaki bir polimer bile asidik ve bazik pH'larda pozitif (+) veya negatif (-) yükler kazanabilir. Yani iyonik (yüklü) forma dönüşebilir. Bu da polimer ile katı tane arasında elektrostatik etkileşimi artırabilir. İkincisi, pH süspansiyondaki katı tanelerin hangi tür yüzey elektrik yükü kazanıp kazanmayacağı üzerinde belirleyicidir (Formül 2.1) (Gregory, 1973; Ateşok, 1988; Alptekin, 2006; Öner, 2011).

Özellikle tane yüzeylerindeki metal oksitler H^+ ve OH^- iyonları ile reaksiyona girmekte ve böylece tanelerin yüzey yükleri veya zeta potansiyelleri bu reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır. Örneğin, kuvars taneleri sulu ortamda doğal halde negatif yüke ve zeta potansiyele sahiptir. Eğer ortamın pH'sı azaltılıp H^+ iyonları artırılırsa mesela pH=2 civarına getirilir ise bu H^+ iyonları ile kuvarsın arasındaki etkileşimden dolayı kuvars tanelerinin zeta potansiyeli sıfır olabilir. Bu da taneler arasındaki itme kuvvetlerinin ortadan kalkması ve flokülasyonun daha kolay hale gelmesi demektir.

2.4.5.7. Sıcaklığın etkisi

Sıcaklığın flokülasyona etkisi doğrudan tayin etmek oldukça güç bir konudur. Süspansiyon sıcaklığının sıvıda meydana getirdiği vizkozite farklı olmaktadır.

Genel olarak sıcaklığın artmasının flokülasyonu olumlu yönde etkileyeceği düşünülür ise de bunun her zaman doğru olduğu söylenemez. Çünkü sıcaklıktaki değişimler çeşitli sistemleri farklı şekillerde etkilemektedir. Flokülantın süspansiyon içinde yayılma hızı ve tanelerin çarpışma hızları artan sıcaklık ile artmalıdır. Fakat flokülantın mineral yüzeylerine adsorplanması ekzotermik bir reaksiyon olduğu için artan sıcaklık ile olumsuz yönde etkilenmelidir.

Polimerin katı tane üzerine adsorpsiyonu sırasında ortam sıcaklığı bazen olumlu bazen de olumsuz etki yaptığı ifade edilmektedir (Ateşok, 1988; İpekoğlu, 1997; Alptekin, 2006; Beyazyüz 2010; Öner, 2011).

2.4.5.8. Pülp yoğunluğunun etkisi

Pülp yoğunluğu arttığı zaman tanelerin birbirlerine yapışma (çarpışma) olasılığı da artar. Bu da kolay ve hızlı bir flokülasyon anlamına gelmektedir. Salkımların karıştırmaya karşı gösterdikleri direnç de pülp yoğunluğu ile artmaktadır.

Karıştırma sonunda parçalanan bir salkımın tekrar meydana gelmesi bir tanenin diğer bir taneye değmesi için geçen süreye bağlı olmaktadır. Düşük pülp yoğunluğunda bu süre uzun olmakta ve polimer flokülant tekrar aynı tane üzerinde yapışmaya çalışmaktadır. Böylece, sistem içinde köprü sayısı eksilerek flokülasyonun başarısı azalmaktadır (İpekoğlu, 1997; Beyazyüz, 2010; Öner, 2011).

2.4.5.9. Flokülantın besleme metodunun etkisi

Besleme noktaları hafif türbülans olan yerlerde seçilmelidir. Flokülant solüsyonları seyreltik olduğu sürece daha üniform bir dağılma söz konusudur. Beslemenin çökelme işleminin yapılacağı yere mümkün olduğu kadar yakın olması istenir. Besleme noktalarının belirli aralıklar ile seçilmesi daima iyi bir köprüleşme ve daha kuvvetli salkımlar meydana gelmesine yardımcı olur. Karıştırma flokülantın beslenmesi sırasında ve sonrasında çok önemlidir. Flokülasyonun gerçekleşmesi sırasında sürekli fakat hafifçe bir karıştırma köprü oluşumunu faydalı yönde etkilemektedir. Düzensiz karıştırma bazı bölgelerde flokülant konsantrasyonun artmasına ve süspansiyonun geri kalan kısmının disperse durumda kalmasına neden olur. Salkımların formasyonu tamamladıktan sonra karıştırma ise parçalanmalara yol açabilir. Şiddetli karıştırma dispersiyon hali yaratabilir (İpekoğlu, 1997; Beyazyüz, 2010).

2.5. Makaslama Flokülasyonu

Süspansiyondaki ince tanelerin bir araya getirilmesi, polimerik flokülasyon ve koagülasyon yöntemlerinin dışında “makaslama flokülasyonu” ile de sağlanabilir. Bu yöntem ilk olarak Warren tarafından ortaya atılmıştır. Makaslama flokülasyonunda, flotasyonda toplayıcı olarak da kullanılan yüzey aktif maddelerle tane yüzeylerinin hidrofobizasyonu sağlanmakta ve süspansiyonun uygun bir karıştırma hızında karıştırılması ile taneler floküle edilebilmektedir. Bu işlemde, taneler arasındaki

hidrofobik çekim ve tanelerin birbirine teması sırasında yüzeylere adsorplanan yüzey aktif maddelerin hidrokarbon zincirlerinin birleşmesi söz konusudur (Warren, 1975).

Temiz hidrofobik yüzeylerde, ince su filminden dolayı taneler birbirlerine yaklaştıkları zaman itici kuvvetler etkili olmakta ve bu sebeple flokülasyon mümkün olmamaktadır. Toplayıcı ilave edildiğinde ise bu sıvı filminin yerini toplayıcıyı oluşturan iyonların hidrokarbon uçları almaktadır. Bu uçlar arasında hidrofobik bir bağ oluşmakta ve makaslama flokülasyonu gerçekleşmektedir. Hidrofobik yapılan tanelerin bir araya getirilmesi için gereken enerji, itici kuvvetlerin sağladığı enerjiden daha büyük olmalıdır. Bu da süspansiyonun karıştırılması ile mümkün olmaktadır. Karıştırma sırasında oluşan kinetik enerjisi, itici kuvvetlerin meydana getirdiği enerji bariyerini aşmakta ve tanelerin bir araya gelmesini sağlamaktadır.

İyi bir flokülasyon için gerekli koşullar şunlardır:

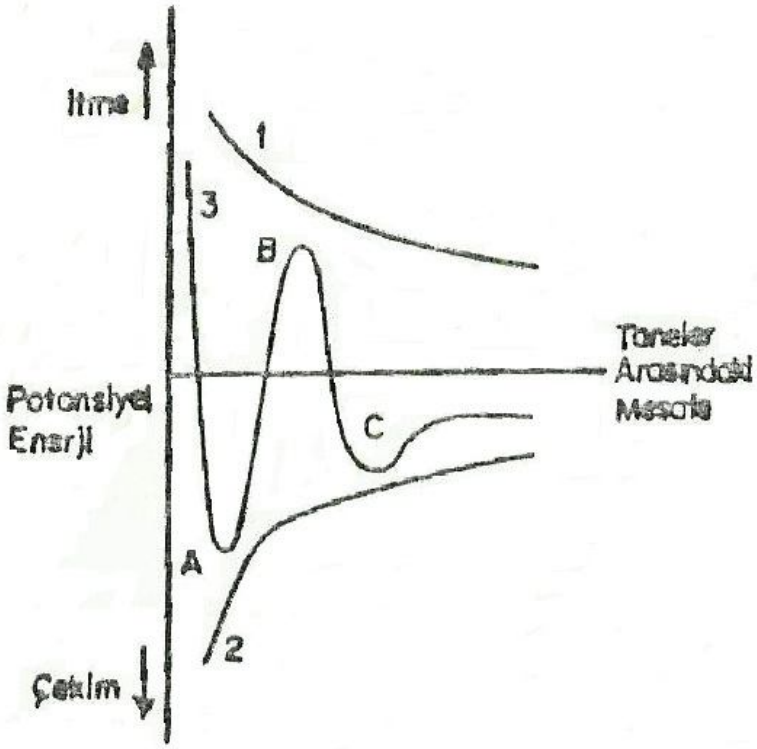
- Gang minerallerinin dağıtılması ya da bastırılması süretiyle değerli minerallerle beraber flokülasyonunun önlenmesi;
- Uygun toplayıcılarla değerli minerallerin yüzeyinin hidrofobik yapılması;
- Flokülasyonun olabilmesi için pülpün yeterli bir hızla karıştırılması;
- Karıştırma sırasında pülp içinde girdap ve buna bağlı olarak hava kabarcıklarının oluşmasının önlenmesidir.

İnce tanelerin kazanılması açısından makaslama flokülasyonunun avantajları şöyle sıralanabilir:

- Salkımlar zenginleştirme işlemleri süresince dağılmayacak kadar dayanıklıdırlar;
- Polimerle flokülasyonda hidrofilik salkımlar elde edilirken makaslama flokülasyonunda floklar hidrofobik olduğu için doğrudan flotasyonla kazanılmaya uygundur (Bilgen, 1993).

2.5.1. Taneleraras ı etkileşim enerjisi

Makaslama flokülasyonunun en önemli özelliği yüksek yüzey yüküne sahip tanelerin salkımlaştırılabilmesidir. Elektrostatik itme, Van der Waals çekim kuvvetleri ve bazı etkileşimler taneler arasında bir enerji bariyerinin oluşmasına neden olur. Pülpteki tanelerin dağılması (dispersiyon) ya da salkımlaşması (koagülasyon) bu bariyerlerin büyüklüğüne bağlıdır. Taneler arasındaki enerji bariyeri DLVO diye bilinen teoriyle hesaplanmaktadır. Bu teoride çift tabaka itme kuvveti ile Van der Waals çekim kuvveti gözönüne alınmaktadır. Tipik bir DLVO enerjisi Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



1. Çift tabaka itme kuvveti
2. Van der Waals çekim kuvveti
3. Sonuç
A. Birincil minimum
B. Birincil maksimum
C. İkincil minimum

Şekil 2.15. DLVO eğrisi (Bilgen, 1993)

Kararlı bir dağılım için yaklaşık 20 kT'dan (ısıl enerji) fazla bir enerji bariyerinin olması gerektiği varsayılmaktadır. Bu da, tane boyuna ve elektriksel çift tabakanın kalınlığına bağlı olarak 20-30 mV'tan fazla bir yüzey potansiyeline karşılık gelmektedir. Eğer birincil maksimum 15 kT'den az olursa çekim kuvvetinin taneleri birincil minimuma çekmesiyle koagülasyon oluşur (Bilgen, 1993).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda kullanılan yüksek saflıktaki talk numunesi Kale Maden Şirketi'nden temin edilmiştir. Temin edilen numune seramik bilyalı değirmende öğütülmüştür. Öğütülmüş numunenin % 47'si 38 µm'nin altındadır.

Talkın flokülasyonu deneylerinde gazyağı, n-heptan ve n-hekzan yağları kullanılmıştır. N-heptan ve n-hekzan yağlarının özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. N-heptan ve n-hekzan yağlarının özellikleri

Kimyasal Adı	N-heptan	N-hekzan
Kimyasal Formülü	C_7H_{16}	C_6H_{14}
Molekül Ağırlığı	100.21 g/mol	86.18 g/mol
Yoğunluk	0.68 g/cm^3	0.66 g/cm^3

İstenilen süspansiyon pH değerlerini ayarlamak amacıyla sodyum hidroksit (NaOH) ve hidroklorik asit (HCl) kullanılmıştır. Bu kimyasalların % 10 HCl, % 1 HCl, % 1 NaOH ve % 10 NaOH derişimlerindeki çözeltileri kullanılmıştır.

Ayrıca, yüzey aktif madde olarak sodyum dodesil sülfat, sodyum oleat ve Aero-801 deneylerde flokülasyon verimlerini artırmak amacıyla kullanılmıştır.

Karıştırma düzeneği olarak Heidolph RZR 2021 (Şekil 3.1) marka karıştırma hızı ayarlanabilir mekanik bir karıştırıcı, Piramid U150 ya da ETÜ marka etüv (Şekil 3.2) ve pH ayarlamalarında ise dijital bir pH metre kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Flokülasyon deneylerinde kullanılan mekanik karıştırıcı



Şekil 3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan etüvler

3.2. Yöntem

Talkın farklı yağlar ile flokülasyon karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler 400 cm^3'lük ve içerisinde dört adet bariyer bulunan bir cam beherde yapılmıştır. Deneylerde 1 g daha önce hazırlanmış olan talk numunesi ve 300 cm^3 distile su kullanılarak süspansiyonlar hazırlanmıştır.

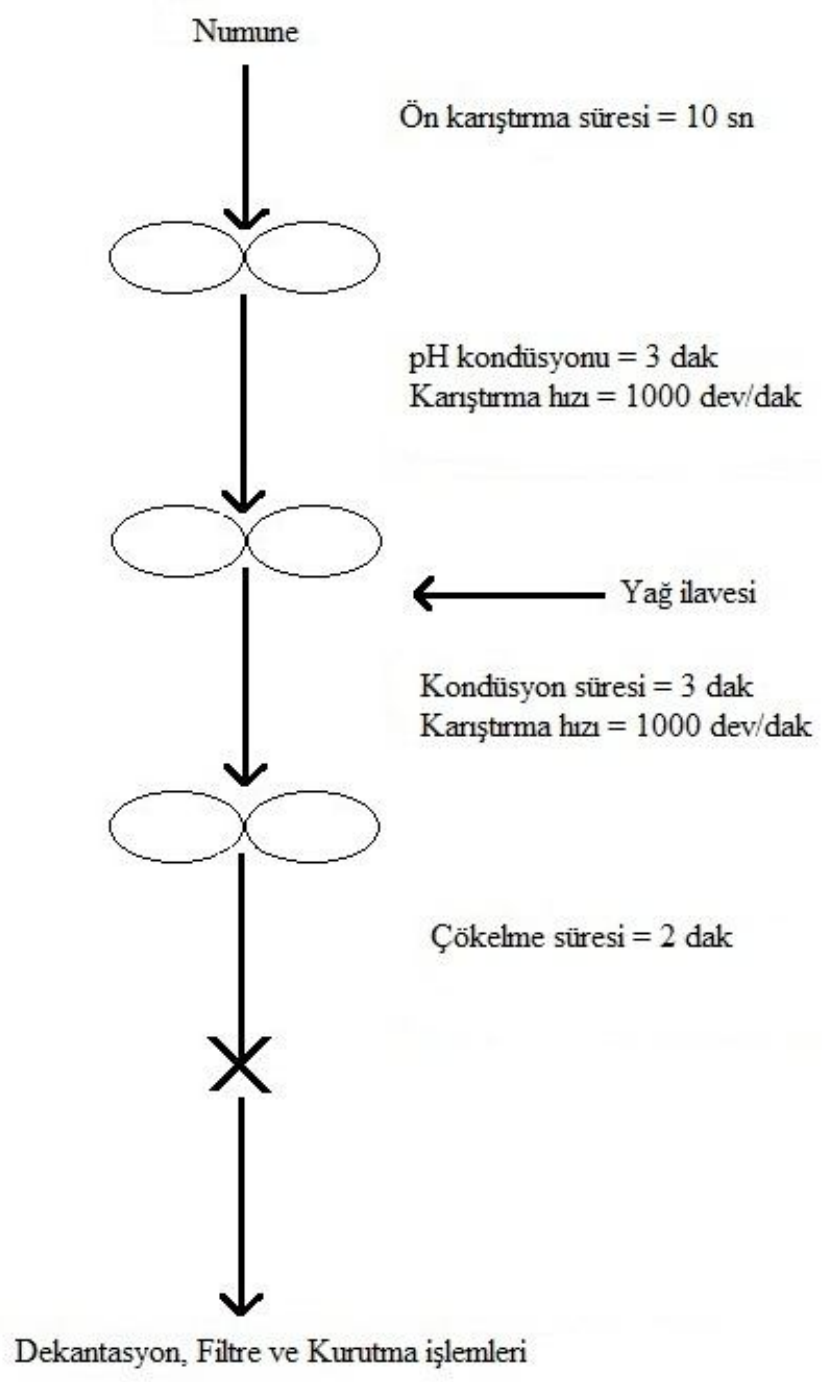
Ön bir karıştırma ile iyice disperse edilen süspansiyon, istenilen pH'a ayarlandıktan sonra 3 dakika kondisyon verilmiştir. Sonrasında süspansiyona yağ ilavesi yapılarak 3 dakika daha kondüsyon verilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan flokülasyon hücresi

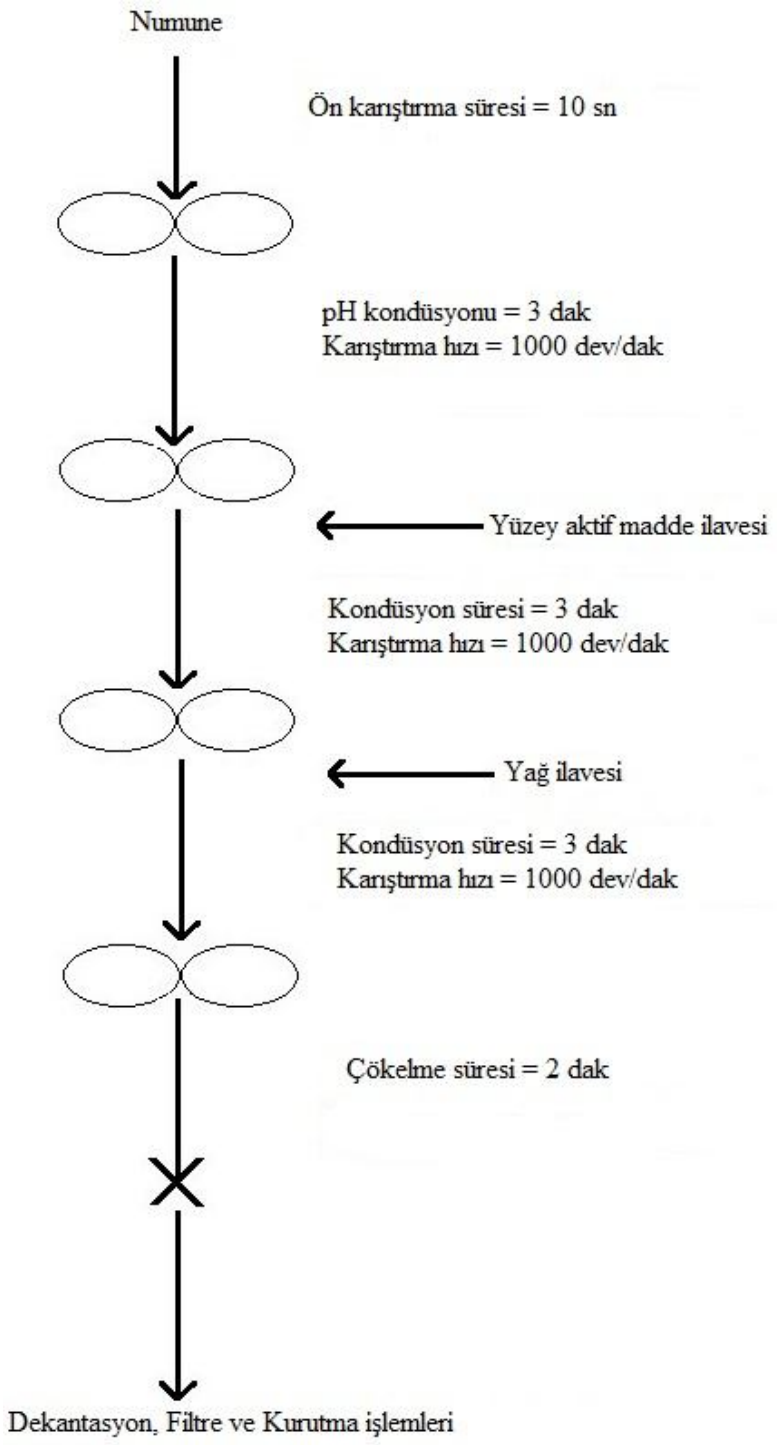
Daha sonra sistem durdurulmuş ve süspansiyona 2 dakikalık çökelme süresi verilmiştir. Bu süre sonunda, 4.5 cm derinlikten dekantasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Beher tabanına çökelen malzemenin filtrasyon ve kurutma işlemi sonrasında ağırlığı belirlenerek flokülasyon deneyinin verimi tespit edilmiştir.

Sadece yağ kullanılan flokülasyon deneylerinde izlenen akım şeması Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Yağ kullanılan flokülasyon deneylerinde izlenen akım şeması

Yüzey aktif madde ve yağ kullanılan flokülasyon deneylerinde izlenen akım şeması ise Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Yüzey aktif madde ve yağ kullanılan flokülasyon deneylerinde izlenen akım şeması

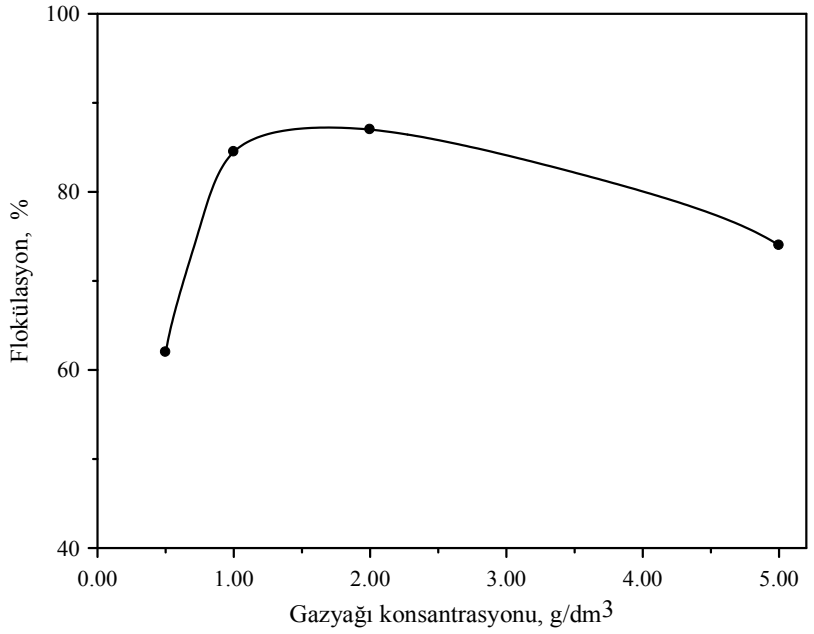
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Talk süspansiyonunun farklı yağlar ile flokülasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla hidrokarbon yağları olarak gazyağı, n-heptan ve n-hekzan kullanılmıştır. Bu yağlar ile talkın flokülasyonu üzerine yağ derişimi, süspansiyon pH'ı, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve çökelme süresinin etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, talk süspansiyonunun flokülasyon verimini artırmak amacıyla yüzey aktif madde olarak sodyum oleat, sodyum dodesil sülfat ve Aero 801 kullanılarak, bu reaktiflerin de etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1. Talk Süspansiyonunun Gazyağı ile Flokülasyonu

4.1.1. Gazyağı derişiminin etkisi

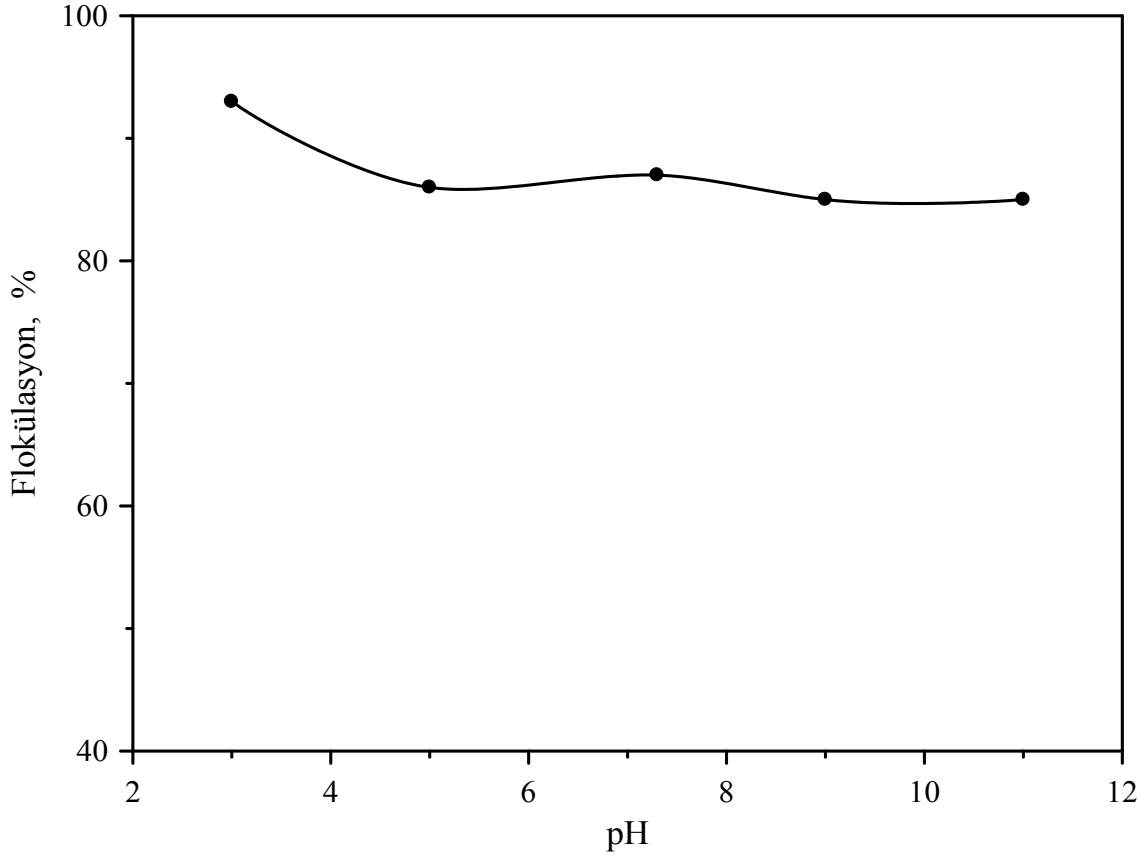
Gazyağı derişiminin talk süspansiyonunun flokülasyonuna etkisini belirleyebilmek için yapılan deneyler, süspansiyonun doğal pH değeri olan pH 7.3'de yürütülmüştür. Şekil 4.1 talk süspansiyonun flokülasyonuna gazyağı konsantrasyonunun etkisini göstermektedir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, artan gazyağı konsantrasyonu ile talk süspansiyonunun flokülasyon başarısı 2 g/dm^3'lük konsantrasyona kadar artış göstermekte, sonrasında ise azalmaktadır.



Şekil 4.1. Gazyağı konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi.

4.1.2. pH değerinin etkisi

Gazyağı ile talkın flokülasyonu üzerine pH'ın etkisi Şekil 4.2'de verilmiştir. Literatürde iyonik olmayan reaktiflerin, süspansiyonun pH değişiminden fazla etkilenmediği bilinmektedir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, talk süspansiyonunun gazyağı ile flokülasyonu da pH değişiminden fazla etkilenmemektedir.

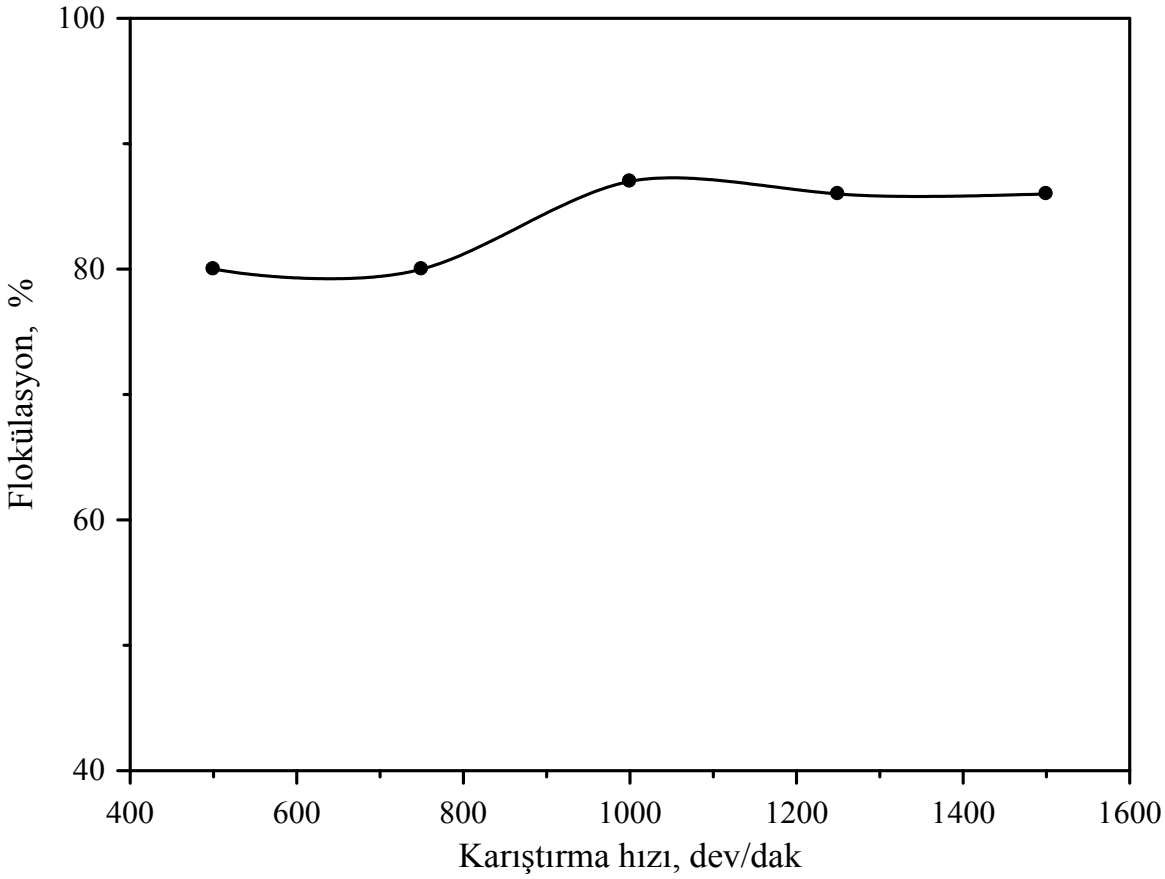


Şekil 4.2. Gazyağı ile talkın flokülasyonu üzerine pH'ın etkisi.

4.1.3. Karıştırma hızının etkisi

Karıştırma hızının flokülasyona etkisini belirleyebilmek amacıyla, süspansiyonun doğal pH değerinde (pH 7.3) ve 2 gr/dm^3 gazyağı derişiminde yürütülen deneylerden elde sonuçlar Şekil 4.3'te sunulmuştur. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, gazyağı ile talk süspansiyonunun flokülasyon başarısı 1000 dev/dak'lık karıştırma hızında %87'lik bir değere ulaşmaktadır. Bu karıştırma hızından daha düşük hızlarda flokülasyon veriminin düşüklüğü, taneler arasındaki yetersiz çarpışmaya ve gazyağı damlacıklarının yetersiz dispersiyonuna bağlanabilir. Diğer taraftan, daha yüksek

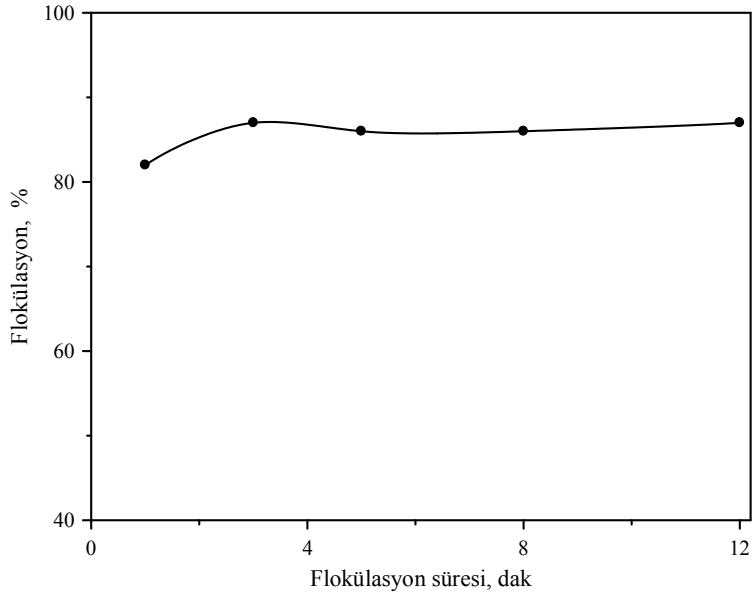
hızlarda ise flokülasyonun başarısında flokların parçalanması neticesinde oluşabilecek kayda değer bir azalma tespit edilmemiştir.



Şekil 4.3. Gazyağı ile talkın flokülasyonu üzerine karıştırma hızının etkisi.

4.1.4. Karıştırma süresinin etkisi

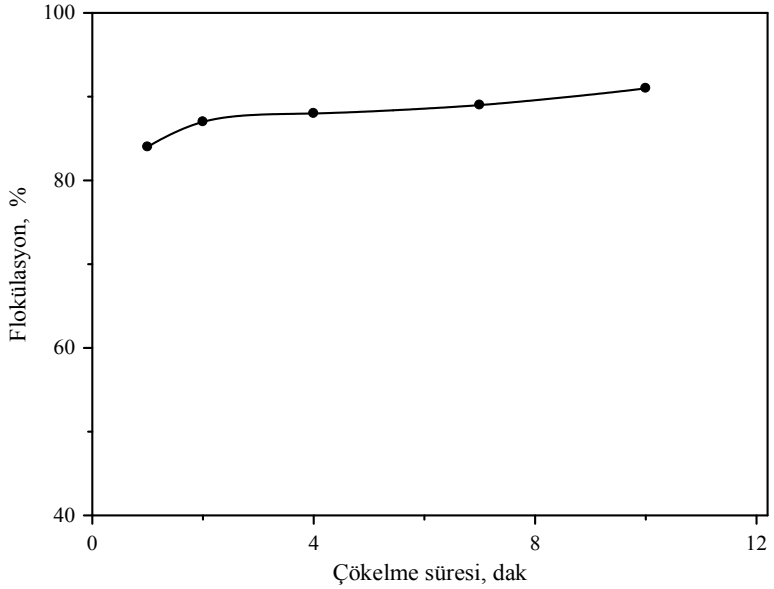
Karıştırma süresinin gazyağı ile talkın flokülasyonuna etkisini belirleyebilmek amacıyla yapılan deneyler 2 g/dm^3'lük gazyağı derişiminde ve süspansiyonun doğal pH değerinde yürütülmüştür. Farklı karıştırma sürelerinde (1 dak, 3 dak, 5 dak, 8 dak ve 12 dak) gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.4'ten, 3 dakikalık karıştırma süresinde en yüksek flokülasyon başarısına ulaşılmakla beraber, gazyağı ile talkın flokülasyon veriminin flokülasyon süresi ile çok fazla değişmediği anlaşılmaktadır. Yine, artan flokülasyon süresinin flokların parçalanmasına neden olmadığı ifade edilebilir.



Şekil 4.4. Gazyağı ile talkın flokülasyonu üzerine flokülasyon süresinin etkisi.

4.1.5. Çökelme süresinin etkisi

Bekleme süresinin ya da çökelme süresinin talk süspansiyonunun flokülasyonuna etkisini belirleyebilmek için yürütülen deneyler yine 2 g/dm^3'lük gazyağı derişiminde ve süspansiyonun doğal pH'ında gerçekleştirilmiştir. 1 dak, 2 dak, 4 dak, 7 dak ve 10 dakikalık çökelme sürelerinde yapılan flokülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.5'te sunulmuştur. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, artan çökelme süresi ile talkın flokülasyon veriminde düşük olsa da bir artış görülmektedir.

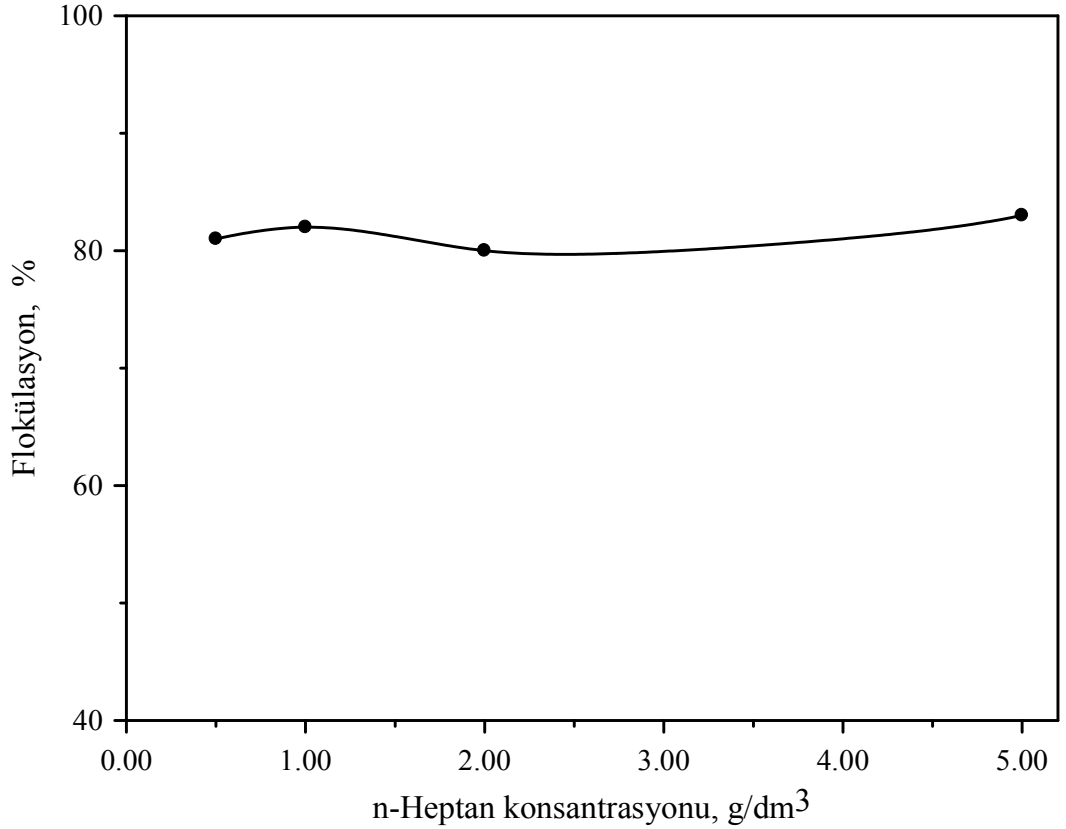


Şekil 4.5. Gazyağı ile talkın flokülasyonu üzerine çökelme süresinin etkisi.

4.2. Talk Süspansiyonunun N-Heptan ile Flokülasyonu

4.2.1. n-Heptan derişiminin etkisi

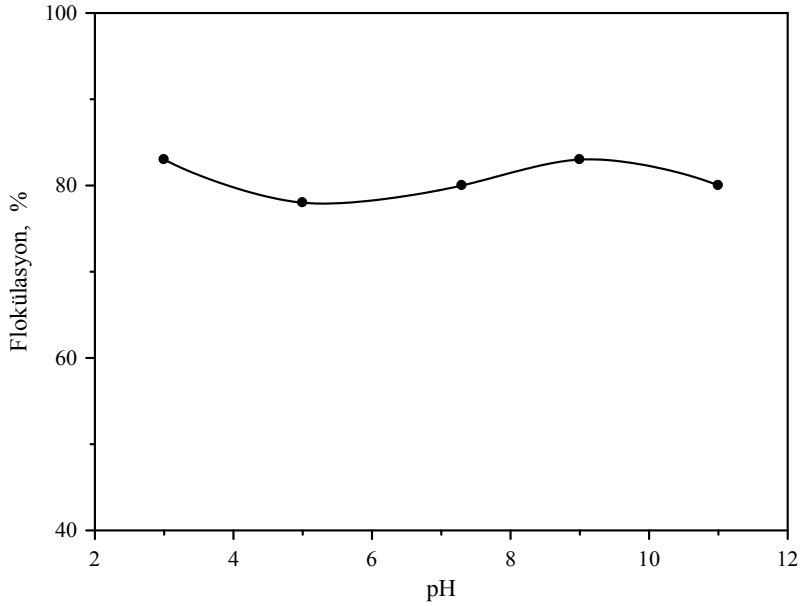
n-Heptanın ve derişiminin talkın flokülasyona etkisini belirleyebilmek amacıyla farklı dozajlarda deneyler yürütülmüş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, talk süspansiyonunun flokülasyonu n-heptan konsantrasyonu değişiminden fazla etkilenmemiştir.



Şekil 4.6. n-Heptan konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi.

4.2.2. pH değerinin etkisi

2 g/dm^3 n-heptan konsantrasyonunda talkın süspansiyonunun flokülasyonu üzerine pH değişiminin etkisi Şekil 4.7'de sunulmuştur. Şekil 4.7'den talk süspansiyonunun n-heptan ile flokülasyonunun pH değişimine çok duyarlı olmadığı anlaşılmaktadır.

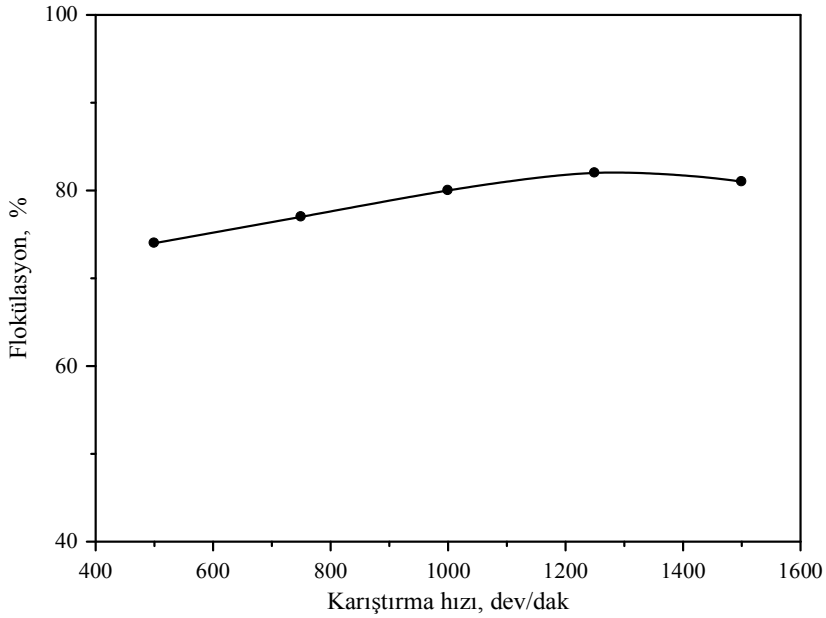


Şekil 4.7. n-Heptan ile talkın flokülasyonu üzerine pH'ın etkisi

4.2.3. Karıştırma hızının etkisi

Karıştırma hızının flokülasyona etkisini belirleyebilmek amacıyla, süspansiyonun doğal pH değerinde (pH 7.3) ve 2 gr/dm^3 n-heptan derişiminde yürütülen deneylerden elde sonuçlar Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, n-heptan ile talk süspansiyonunun flokülasyonu artan karıştırma hızı ile artmış ve 1250 dev/dak'lık karıştırma hızında en yüksek değere ulaşmıştır.

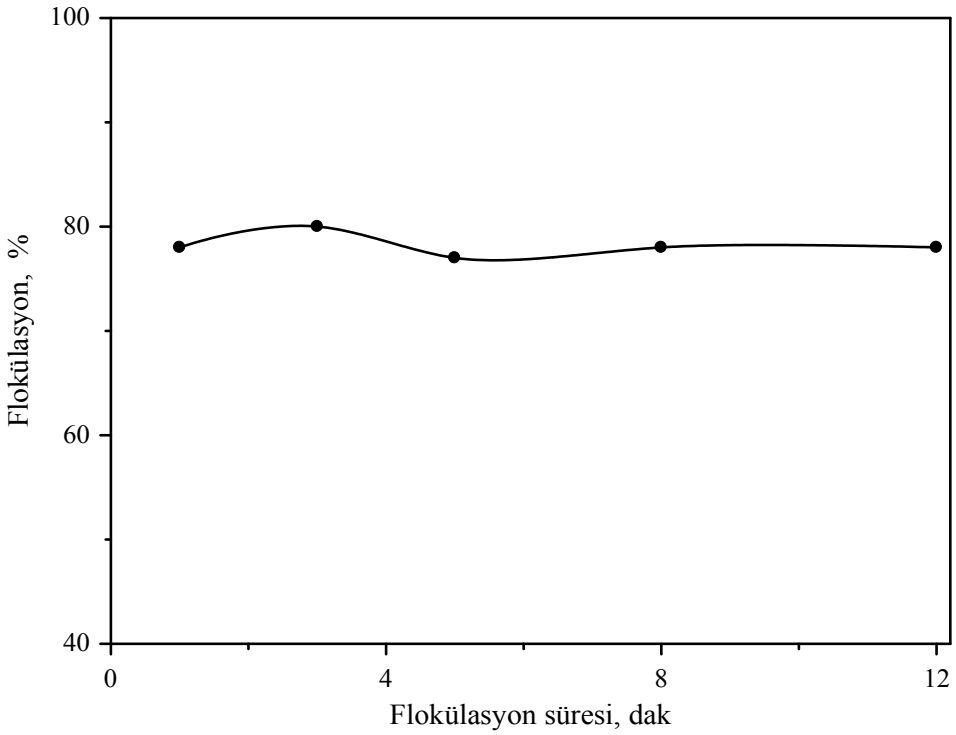
.



Şekil 4.8. n-Heptan ile talkın flokülasyonu üzerine karıştırma hızının etkisi.

4.2.4. Karıştırma süresinin etkisi

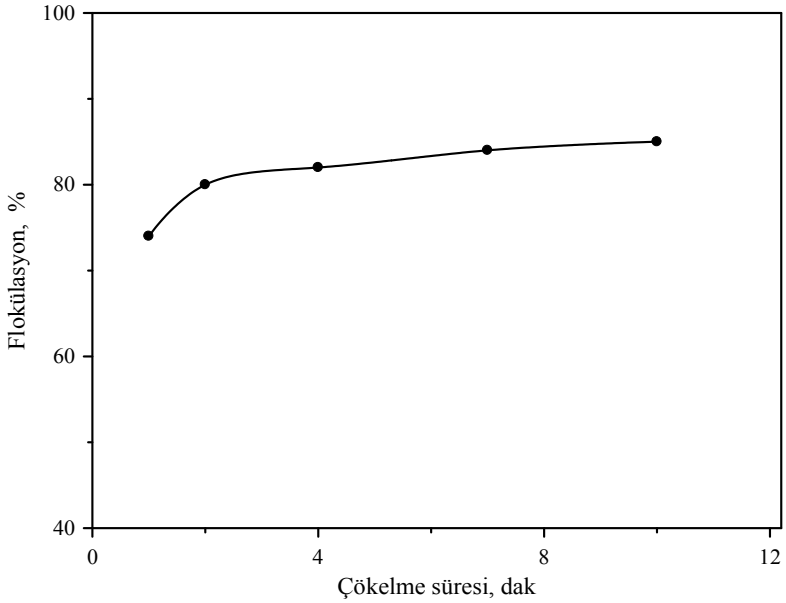
Karıştırma süresinin n-heptan ile talkın flokülasyonuna etkisini belirleyebilmek amacıyla 1000 dev/dak'lık karıştırma hızında yapılan deneyler 2 g/dm^3'lük n-heptan derişiminde ve süspansiyonun doğal pH değerinde yürütülmüştür. Farklı karıştırma sürelerinde gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, 3 dakikalık bir karıştırma süresinin uygun olduğu görülmektedir. Artan flokülasyon süresi ile talkın flokülasyon başarısında önemli bir değişim olmamaktadır.



Şekil 4.9.. n-Heptan ile talkın flokülasyonu üzerine flokülasyon süresinin etkisi.

4.2.5. Çökelme süresinin etkisi

Çökelme süresinin n-heptan ile talkın flokülasyonuna etkisini belirleyebilmek için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.10'da sunulmuştur. Deneyler 1000 dev/dak'lık karıştırma hızında, 2 g/dm^3'lük n-heptan derişiminde ve süspansiyonun doğal pH değerinde yürütülmüştür. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, artan bekleme süresi ile talkın flokülasyon veriminde artış meydana gelmektedir. Ancak, 2 dakikalık bekleme süresinin üzeri için flokülasyon veriminde gözlenen artış nispeten düşüktür.

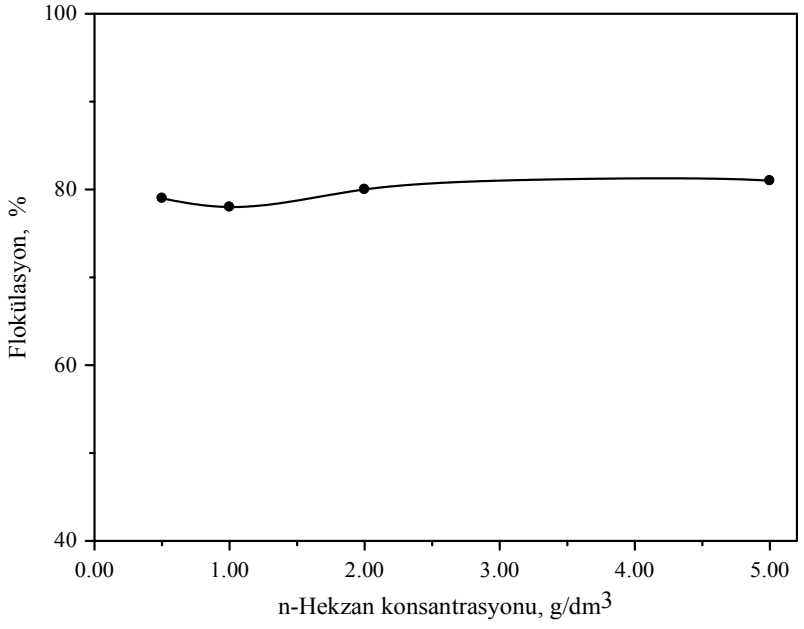


Şekil 4.10. n-Heptan ile talkın flokülasyonu üzerine çökelme süresinin etkisi.

4.3. Talk Süspansiyonunun N-Hekzan ile Flokülasyonu

4.3.1. n-Hekzan derişiminin etkisi

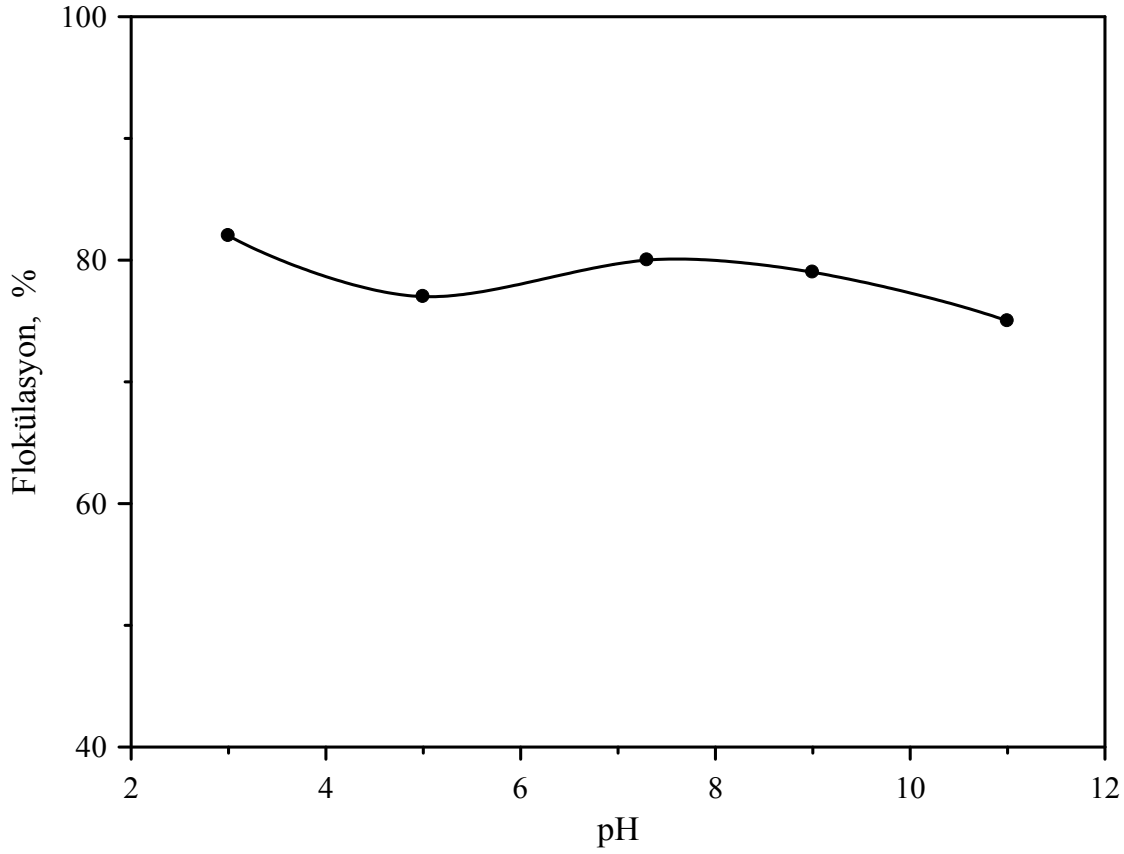
Şekil 4.11 talkın flokülasyonu üzerine n-hekzan konsantrasyonunun etkisini göstermektedir. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi, kullanılan yağın derişiminin artmasıyla flokülasyonda önemli bir değişim gürülmemektedir.



Şekil 4.11. n-Hekzan konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi.

4.3.2. pH değerinin etkisi

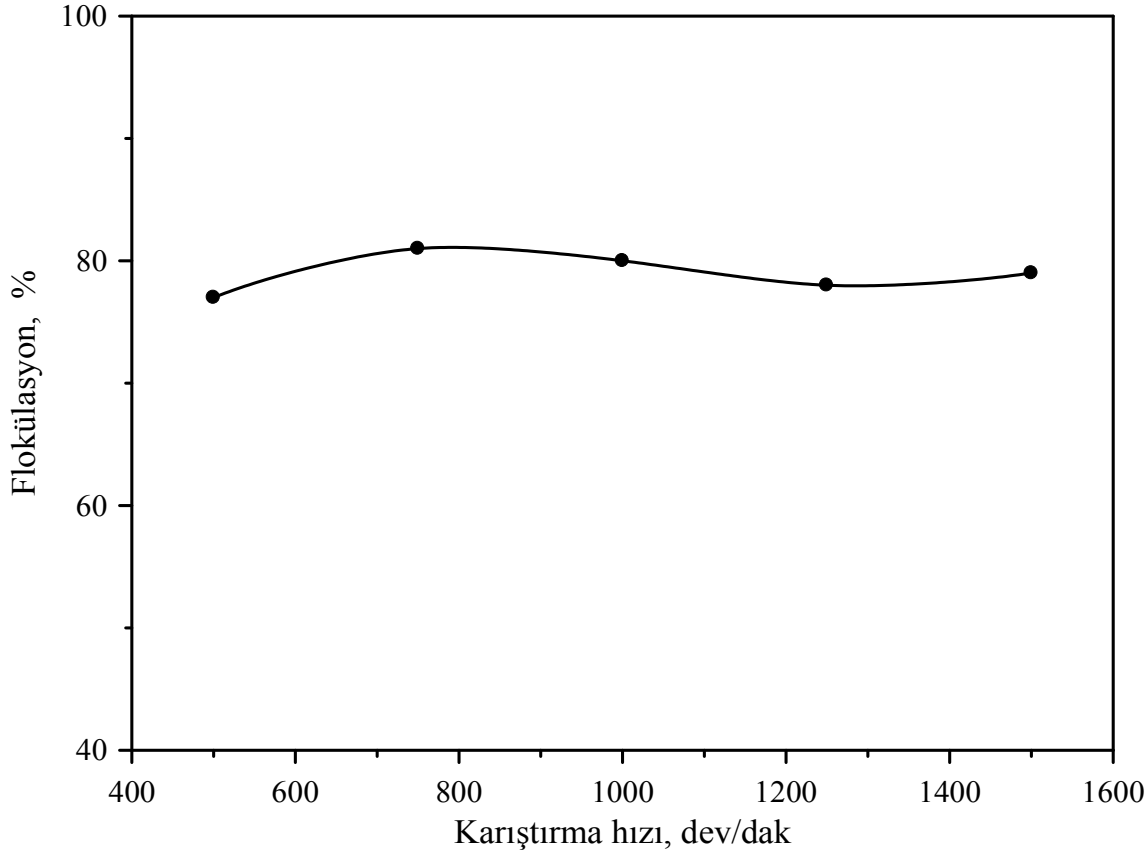
2 g/dm^3'lük n-hekzan derişiminde talk süspansiyonunun flokülasyonu üzerine pH'ın etkisini belirleyebilmek amacıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 12'de sunulmuştur. Gazyağı ve n-heptanın kullanıldığı deneylere benzer olarak, n-hekzan ile talk süspansiyonunun flokülasyonu da yine pH değişiminden çok fazla etkilenmemektedir.



Şekil 4.12. n-Hekzan ile talkın flokülasyonu üzerine pH'ın etkisi.

4.3.3. Karıştırma hızının etkisi

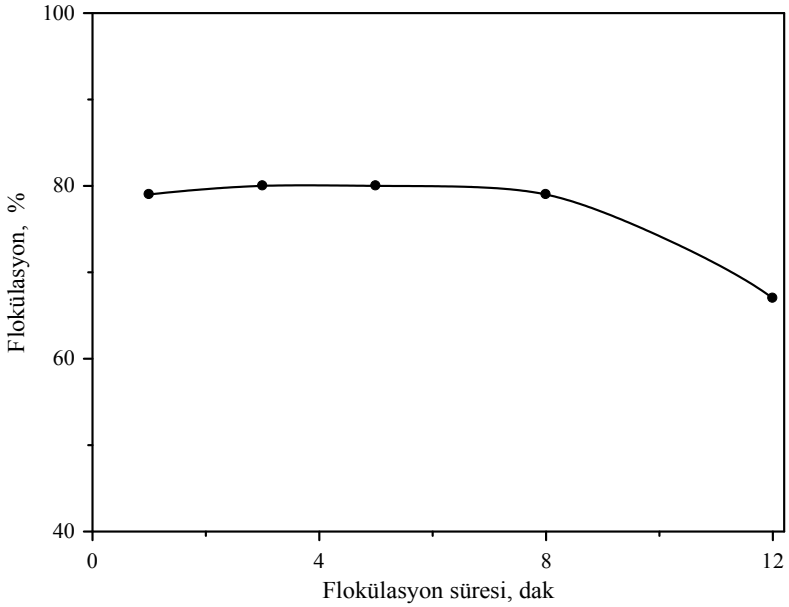
Karıştırma hızının n-hekzan ile talk flokülasyonuna etkisini belirleyebilmek amacıyla, süspansiyonun doğal pH değerinde ve 2 g/dm^3'lük n-hekzan derişiminde yürütülen deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Karıştırma hızının değişiminden talk süspansiyonunun flokülasyon başarısı önemli bir değişim göstermemektedir.



Şekil 4.13. n-Hekzan ile talkın flokülasyonu üzerine karıştırma hızının etkisi.

4.3.4. Karıştırma süresinin etkisi

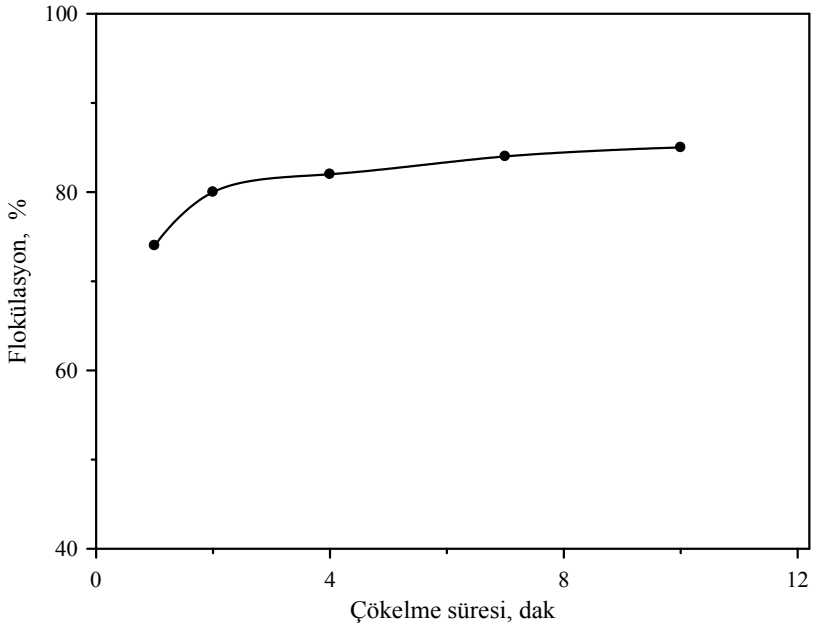
Karıştırma süresinin n-hekzan ile talkın flokülasyonuna etkisini belirleyebilmek amacıyla yapılan deneyler 2 g/dm^3'lük n-hekzan derişiminde ve süspansiyonun doğal pH değerinde yürütülmüştür. Farklı karıştırma sürelerinde (1 dak, 3 dak, 5 dak, 8 dak ve 12 dak) gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Şekil 4.14'de görüldüğü gibi, 8 dakikalık karıştırma süresinin üzerinde talk süspansiyonun flokülasyon başarısında azalma meydana gelmektedir. Yani, bu sürenin üzerindeki flokülasyon süresinin flokların parçalanmasına neden olduğu ifade edilebilir.



Şekil 4.14. n-Hekzan ile talkın flokülasyonu üzerine flokülasyon süresinin etkisi.

4.3.5. Çökelme süresinin etkisi

Çökelme ya da bekleme süresinin flokülasyona etkisini belirleyebilmek için farklı çökelme sürelerinde (1 dak; 2 dak, 4 dak; 7 dak ve 10 dak) yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.15'de sunulmuştur. Beklendiği gibi, artan çökelme süresi ile flokülasyon verimi de artmaktadır. Ancak, 2 dakikalık çökelme süresinin üzerinde gözlenen flokülasyon verimindeki artışın nispeten düşük olduğu ifade edilebilir.



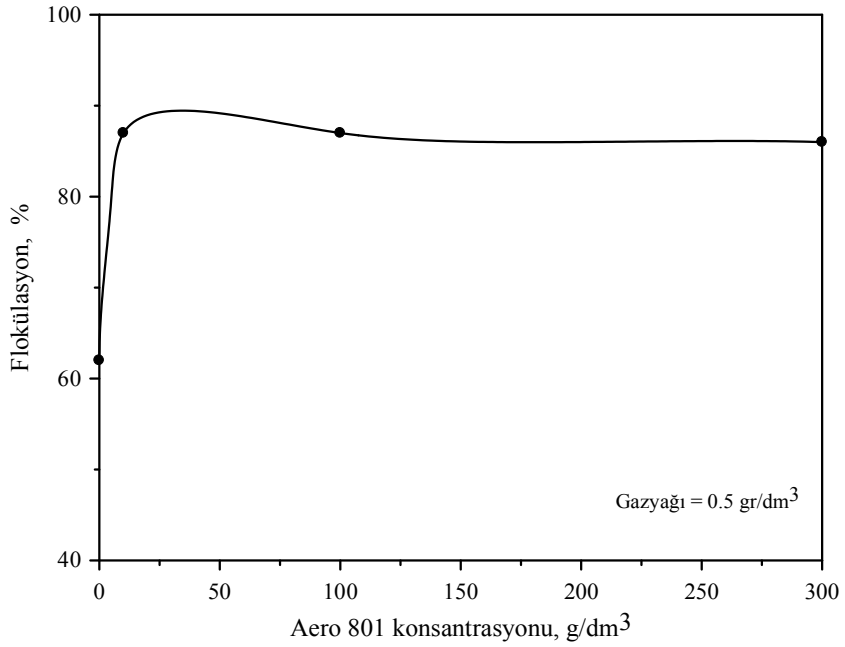
Şekil 4.15. n-Hekzan ile talkın flokülasyonu üzerine çökelme süresinin etkisi.

4.4. Talkın Flokülasyonuna Yüzey Aktif Maddelerin Etkileri

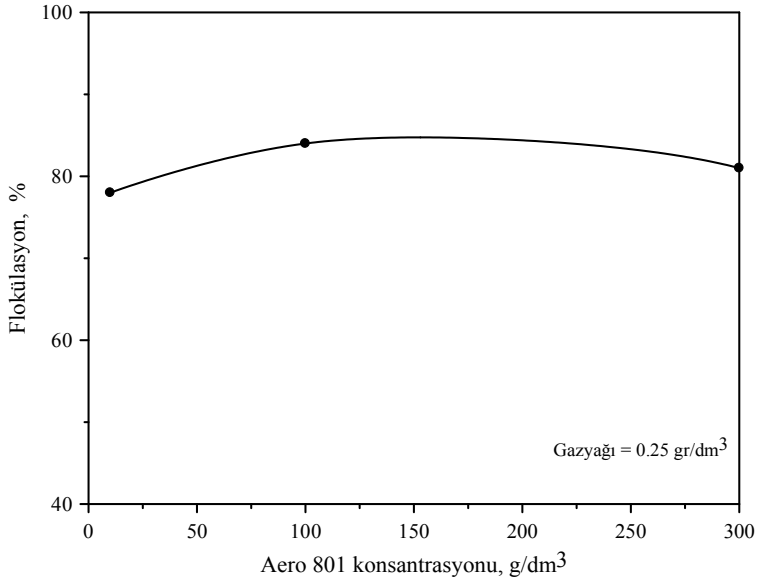
Talk mineralinin hidrofobikliğinin yüzey aktif maddeler kullanılarak artırılması ile süspansiyonun flokülasyon başarısındaki değişim araştırılmıştır. Bu amaçla, yüzey aktif maddeler olarak Aero-801, sodyum oleat ve sodyum dodesil sülfat (SDS) kullanılmıştır. Bu grup deneylerde, yağ olarak ise gazyağı talk süspansiyonunun flokülasyonu için tercih edilmiştir.

4.4.1. Aero 801'in etkisi

Aero 801 konsantrasyonunun etkisinin araştırıldığı deneyler gazyağının iki farklı derişiminde gerçekleştirilmiştir. 0.5 g/dm^3 gazyağı derişiminde Aero 801 konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi Şekil 4.16'da, 0.25 g/dm^3 gazyağı derişiminde Aero 801 konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi ise Şekil 4.17'de verilmiştir. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi, artan Aero-801 konsantrasyonu ile talk süspansiyonunun flokülasyonu keskin bir şekilde artmış, ancak belirli bir konsantrasyondan sonra flokülasyon verimi çok fazla değişmemiştir. Süspansiyonda düşük miktarda (0.25 g/dm^3) gazyağı varlığında (Şekil 4.17) ise artan Aero 801 miktarı ile yine flokülasyonda artış gözlenmekle beraber, bu artış oranı Şekil 4.16 ile karşılaştırıldığında düşük miktarda kalmaktadır.



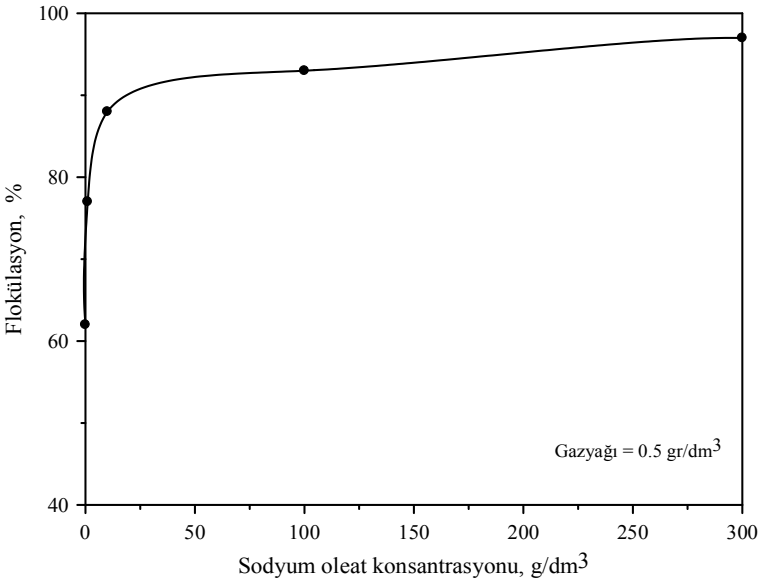
Şekil 4.16. 0.5 g/dm^3 gazyağı miktarında Aero 801 konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi.



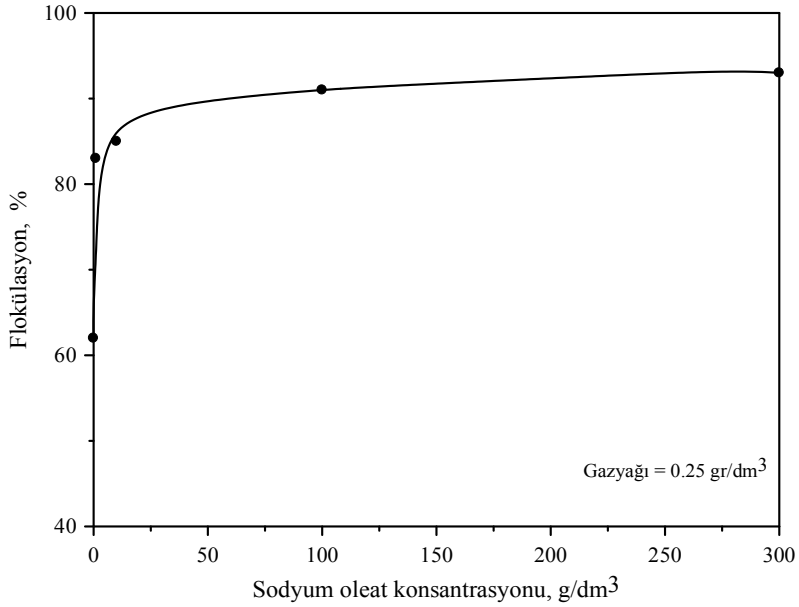
Şekil 4.17. 0.25 g/dm^3 gazyağı miktarında Aero 801 konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi.

4.4.2. Sodyum oleatın etkisi

0.5 g/dm^3 gazyağı derişiminde sodyum oleat konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi Şekil 4.18'de, 0.25 g/dm^3 gazyağı derişiminde sodyum oleat konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi ise Şekil 4.19'da verilmiştir. Şekil 4.18 ve 4.19'da görüldüğü gibi, artan sodyum oleat miktarı ile talk süspansiyonunun flokülasyonu keskin bir şekilde artış göstermiş, belirli bir konsantrasyondan sonra ise flokülasyon veriminde önemli bir değişim gözlenmemiştir.



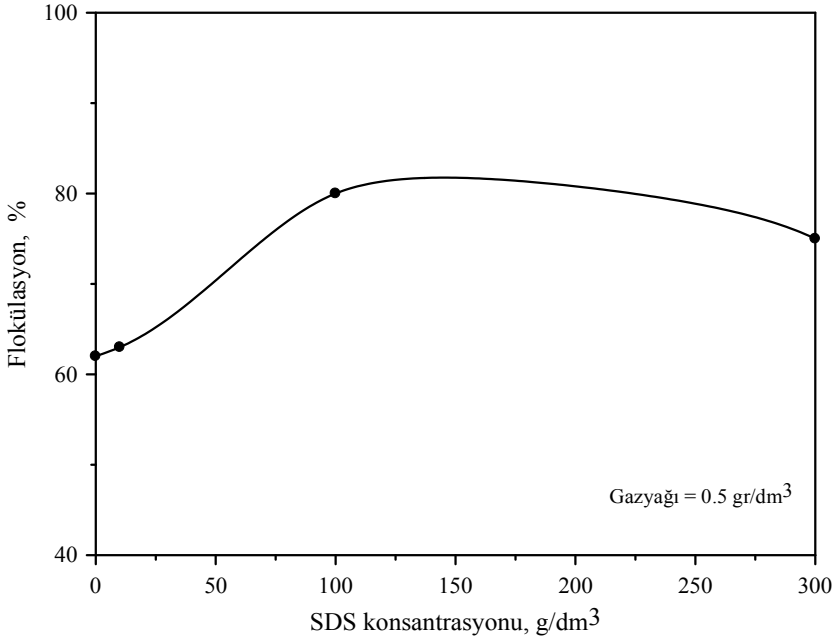
Şekil 4.18. 0.5 g/dm^3 gazyağı miktarında sodyum oleat konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi.



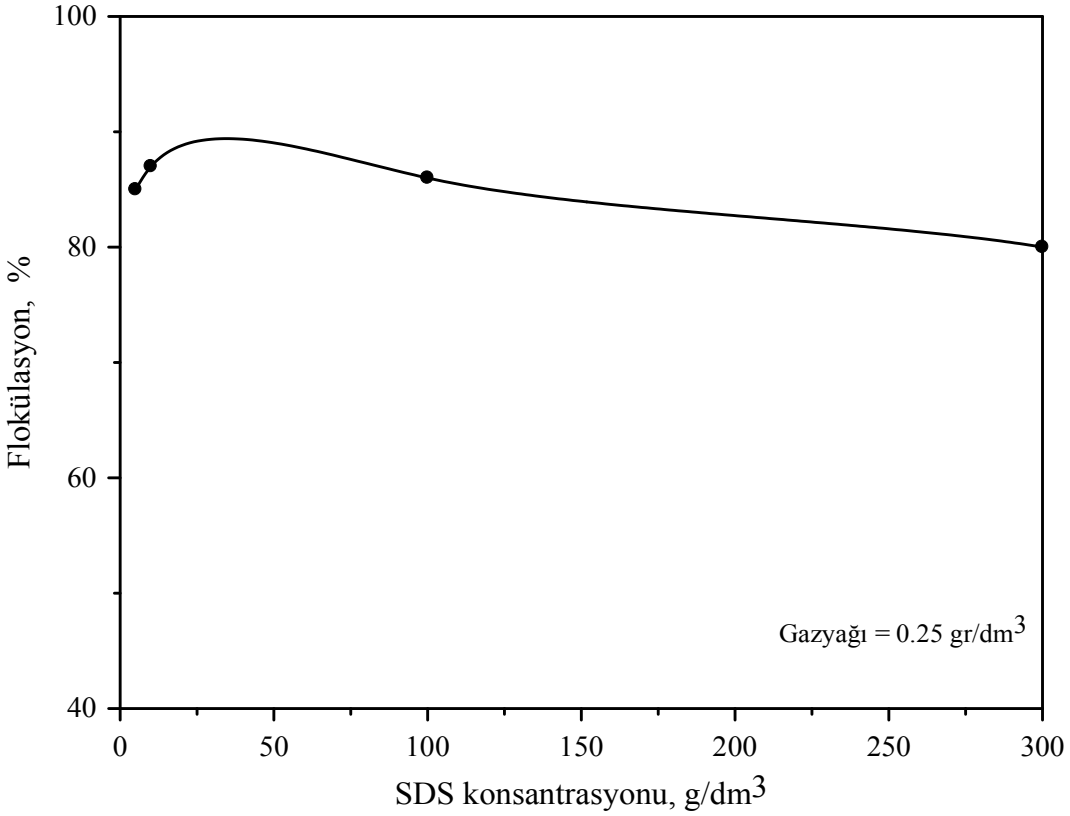
Şekil 4.19. 0.25 g/dm^3 gazyağı miktarında sodyum oleat konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi.

4.4.3. Sodyum dodesil sülfatın (SDS) etkisi

Gazyağının iki farklı derişimde sodyum dodesil sülfat konsantrasyonunun etkisinin araştırıldığı deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.20 ve 4.21'de verilmiştir. Aero 801 kullanılarak elde edilen deney sonuçlarına benzer olarak, gazyağının 0.5 gr/dm^3'lük derişiminde, artan SDS miktarı ile talkın flokülasyonunda daha belirgin bir artış gözlenmektedir.



Şekil 4.20. 0.5 g/dm^3 gazyağı miktarında SDS konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi.



Şekil 4.21. 0.25 g/dm^3 gazyağı miktarında SDS konsantrasyonunun talkın flokülasyonuna etkisi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, doğal hidrofobik olan talk mineralinin farklı yağlar ile flokülasyon özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Nötr hidrokarbon yağları olarak gazyağı, n-heptan ve n-hekzan kullanılmıştır. Bu yağlar ile yağ derişimi, süspansiyon pH'ı, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve çökelme süresinin talk süspansiyonunun flokülasyonu üzerine etkileri araştırılmıştır.

N-heptan ve n-hekzan ile karşılaştırıldığında gazyağı ile nispeten daha yüksek flokülasyon verim değerlerine ulaşılmıştır. İyonik karakterleri olmadığı için her üç yağ ile de talk süspansiyonunun flokülasyonunun pH değişimden çok fazla etkilenmediği tespit edilmiştir. Ayrıca, 1000 dev/dak'lık karıştırma hızı ve 3 dak'lık bir karıştırma süresinin genellikle her üç yağ ile flokülasyon için yeterli olduğu ifade edilebilir. Artan çökelme süresi ile flokülasyon veriminin zayıf bir artış göstermesi nedeniyle 2 dak'lık bir çökelme süresinin yeterli olduğu söylenebilir.

Talk mineralinin hidrofobikliğinin yüzey aktif maddeler kullanılarak iyileştirilmesi ile süspansiyonun flokülasyon başarısındaki değişimin araştırılması amacıyla Aero 801, sodyum oleat ve sodyum dodesil sülfat (SDS) kullanılmıştır. Gazyağı ile talk süspansiyonunun flokülasyonu öncesinde süspansiyona bu yüzey aktif maddelerin ilavesi flokülasyonda kayda değer artışlar sağlamıştır. Bununla birlikte, sodyum oleatın Aero 801 ve sodyum dodesil sülfat ile karşılaştırıldığında, talk flokülasyonunda daha etkili olduğu belirlenmiştir. Sodyum oleat ve gazyağı varlığında, talk süspansiyonu %95'lerin üzerindeki verimlerle floküle edilebilmiştir.

5.2. Öneriler

Talk mineralinin flokülasyonunda gazyağının diğer yağlara göre ekonomikliğinin yanı sıra daha etkili olması, bu mineralin flokülasyonu için gazyağını ön plana çıkarmaktadır. Yüksek flokülasyon verimlerinin istendiği durumlarda ise yüzey aktif madde olarak sodyum oleatın gazyağı ile birlikte kullanılması önerilebilir. Hidrokarbon yağlarının çalışma parametrelerinden fazla etkilenmemesi, endüstriyel bakımdan talkın flokülasyonunda bir avantaj da sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Ağaçayak, T., 2011, Seramik hammaddeler, Ders notu, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü*, Konya, 100-121.

Alptekin, A. Mine, 2006, Doğal taş atıksularının flokülasyon/koagülasyon yöntemiyle arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı,* Afyon, 4-18.

Anonim, 1996, Diğer endüstri mineralleri çalışma grubu raporu, *DPT:2421-ÖİK:480*, *Ankara*, 131-152.

Anonim, 2004, N-Heptane, Hazardous substance fact sheet, *New Jersey Department of Health and Senior Services*, New Jersey, USA, 1.

Anonim, 2005, Hekzan, *Güvenlik bilgi formu*, Tekkim Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti., Bursa, 1-5.

Anonim, 2010, Poli Alüminyum Klorür [online], Çevre Kimyasal Arıtma Kimyasalları, İstanbul, http://www.cevrekimyasal.com/poli-aluminyum-klorur_kategorisi.php [Ziyaret Tarihi: 4 Temmuz 2013]

Anonim, 2013a, Demir Sülfat [online], AS Kimya Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, İstanbul, http://www.askimya.com/demir_sulfat-792_tr_cd.html [Ziyaret Tarihi: 4 Temmuz 2013]

Anonim, 2013c, PAC - Poli Alüminyum Klorür [online], City Kimya Arıtma Kimyasalları, İstanbul, http://www.citykimya.com/demir-3-klorur_kimyasali.php [Ziyaret Tarihi: 4 Temmuz 2013]

Anonim, 2013d, PAC - Poli Alüminyum Klorür [online], City Kimya Arıtma Kimyasalları, İstanbul, http://www.citykimya.com/poli-aluminyum-klorur_kimyasali.php [Ziyaret Tarihi: 4 Temmuz 2013]

Arık, F. ve Kurt, H., 2003, Mineraloji, *Atlas yayın dağıtım*, İstanbul, 152-153.

Ariffin, S., K., 2003, Talc and pyrophylite group, *Mineral Perindustrian,* Malaysia, 1-9.

Atak, S., 1982, Flotasyon ilkeleri ve uygulaması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi,* İstanbul, 35-39.

Ateşok, G., 1988, Adsorption of polymers, *Bulletin of The Technical University of İstanbul*, 41, İstanbul, 13-32.

Bayat., O. ve Cebeci, Y., 2004, Effect of flotation reagents on the wet grinding of celestite concantrate, *Indian Journal of Chemical Technology,* 1, 383-386.

Beyazyüz, P., 2010, Traverten işleme tesisi atıksularındaki bulanıklığın fizikokimyasal yöntemlerle giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 12-26.

Bilgen, S., 1993, Makaslama salkımlaşması, *Türkiye XIII. Madencilik kongresi*, Ankara, 667-670.

Chase, W. E., 1963, Platy talc beneficiation, *U.S. patent*, Columbus, Ohio-USA, 1-10.

Çelik, E., 2009, Türkiye madenciliğinde endüstriyel hammaddeler ve kuzeybatı anadolu bölge müdürlüğü endüstriyel hammadde kaynakları, Jeoloji mühendisi, Ankara, 106-107.

Çelik, M.S. ve Ersoy, B., 2004, Uptake of aniline and nitrobenzene from aqueous by organo-zeolite, *Environmental technology*, 25 (3), İstanbul, 341-348.

Erkan, Z., E. ve Malayoğlu, U., 2001, Kağıt-karton sanayiinde kullanılan endüstriyel hammaddeler ve özellikleri, *4. Endüstriyel hammaddeler sempozyumu*, İzmir, 252-253.

Ersoy, B., 2003, Mermer işleme tesisi atık su arıtımında kullanılan flokülantların tanıtımı, *Türkiye IV. mermer sempozyumu*, Afyon, 449-462.

Fırat, C. ve Gürkan, V., 2012, Talk, *Madencilik rehberi,* İTÜ Maden Fakültesi, Maslak, İstanbul, 1-4.

Friend, J.P. and Kitchener, J.A., 1973, Some physico-chemical aspects of the separation of finely divided minerals by selective flocculation, *Chemical Engineering Science*, 28 (4), London, England, 1071-1080.

Forbes, D., 2013, Theory of flocculation, Technical publication, *World Environmental Technologies*, Streamwood, Illinois-USA, 1-4.

Gence, N., Özbay, N. ve Yerel, S., 2003, Talk ve kullanım alanları, *Anadolu Universitesi Bozüyük MYO,* Bozüyük, Bilecik, 1-8.

Görmezoğlu, B. ve Üstündağ, F., 2009, Talk, Çalışma notu, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 1-9.

Gregory, J., 1973, Rates of flocculation of latex particles by cationic polymer, *J.Colloid İnterface Sci.*, 42 (2), London, England, 448-459.

Gregory, J., 1989, Fundamentals of flocculation, *Critical reviews in environmental control*, 19 (3), London, England, 185-230.

Hassan, M. M. A., Ibrahim, G. A. ve Mahmoud M. A., 2011, Beneficiation of Talc Ore, *Earth and Environmental Sciences*, Ed. Imran Ahmad Dar, Rijeka, Croatia, 241-245.

Hiçyılmaz, C., Ulusoy, U. ve Yekeler, M., 2004, Farklı değirmenlerde öğütülmüş talk mineralinin tane şekli ile ıslanabilirliğinin değişimi, *5. Endüstriyel hammaddeler sempozyumu*, İzmir, 57.

Hogg, R., 2000, Flocculation and dewatering, *International Journal of Mineral Processing*, 58, Pennsylvania-USA, 223-236.

İpekoğlu, Ü., 1997, Susuzlandırma ve yöntemleri, Dokuz Eylül Üniversitesi, *Mühendislik Fakültesi yayınları*, İzmir, 179.

İpekoğlu, Ü., 2007, Susuzlandırma ve yöntemleri, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü*, İzmir, 34-50.

Klimpel, R., 1997, Introduction to chemicals used in particle systems, *ERC particle science and technology*, Florida-USA, 10-13.

Nuhoğlu, İ. ve Sarıiz, K., 1992, Endüstriyel hammadde yatakları ve madenciliği, *Anadolu Üniversitesi*, Eskişehir, 351-361.

Oğul, K., 2005, Mermer ince atıklarının koagülasyonu ve flokülasyonu, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Eskişehir, 92.

Öner, B., 2011, Konya-Ilgın kömürünün polimerik flokülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 3-16.

Farrow, J.B., Fawell, P.D., Owen, A.T. and Swift, J.D., 2002, The impact of polyacrylamidem flocculant solution age on flocculation performance, *International Journal of Mineral Processing*, 67 (1), Australia, 123-144.

Stutzmann, T. and Siffert, B., 1997, Contribution to the adsorption mechanism of acetamide and polacrylamide on to Clays, *Clays and Clay Minerals*, 25 (6), Mulhouse, Franse, 392-406.

Temur, S., 1994, Endüstriyel hammaddeler, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü*, Konya, 105-111.

Warren, L.J., 1975, Shear flocculation of ultrafine scheelite in sodium oleate solutions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 50 (2), Melbourne, Australia, 307-318.

Yarar, B., 2001, Evaluation of flocculation and filtration procedures applied to WSRC sludge, *DE-AC09-96SR18500*, *Colorado school of mines*, *Colorado-USA*, 20-34.

Yıldırım, M., 2002, Yalazı/Balıkesir talk cevherinin zenginleştirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü*, Madencilik/Mart 2002, Adana, 17.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Vitaliy DUDNİK
Uyruğu	**:**	Kazakistan
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Kostanay, Kazakistan/20.05.1987
Telefon	**:**	05556622504
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	dudnikvitaliy@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Kostanay kazak-türk lisesi, Kostanay, KAZAKİSTAN	2005
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği, Selçuklu, KONYA	2010
Yüksek Lisans	:	Selcuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuklu, KONYA	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2007	GELİ- Güney Ege Linyit İşletmesi, Açık İşletme	Stajyer
2008	GLİ- Tunçbilek Linyit Kömürü, Kapalı İşletme	Stajyer
2009	Güncem Madencilik İnşaat Sanayı ve Ticaret Ltd. şirketi, Cevher Hazırlama	Stajyer

UZMANLIK ALANI Cevher Hazırlama

YABANCI DİLLER Rusça, İngilizce, Kazakça

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER Sorumluluk sahibi, analitik becerileri, dürüstlülük sahibi, uyumlu, insanlarla kolay iletişim kurabilme.

YAYINLAR