

**ÇEŞİTLİ MİNERALLERİN VE KİLLERİN
FLOKÜLAN VE YÜZEY AKTİF MADDE
VARLIĞINDAKİ FİLTRASYON DAVRANIŞLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Müh. Ertan ÇALIŞKAN

Anabilim Dalı: Kimya Mühendisliği

Programı: Kimya Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Özgül ÖZCAN

OCAK 2005

**ÇEŞİTLİ MİNERALLERİN VE KİLLERİN
FLOKÜLAN VE YÜZEY AKTİF MADDE
VARLIĞINDAKİ FİLTRASYON DAVRANIŞLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kimya Müh. Ertan ÇALIŞKAN
506011008**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Ocak 2005**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Özgül ÖZCAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Nusret BULUTÇU (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Ali GÜNEY (İ.T.Ü.)**

OCAK 2005

ÖZGEÇMİŞ

Ertan Çalışkan 07.11.1977 tarihinde Razgrad-Bulgaristan’da doğdu. İlk okul eğitimini Bulgaristan’da tamamladıktan sonra 1989 yılında Türkiye’ye göç etti. Orta okul ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1996-1997 döneminde İngilizce Hazırlık okuduktan sonra 2001 yılında Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Yüksek Lisans Programına girmeye hak kazandı.

ÖNSÖZ

Boraks dekahidrat ve pentahidrat üretimindeki en büyük problemlerden biri killerin filtrasyonudur. Flokülan ve yüzey aktif maddelerin ayrı ayrı ve aynı anda mineral ve killerin filtrasyon hızı üzerindeki etkileri incelenen bu çalışma, killerin filtrasyonunun iyileştirilmesi için yapılan önemli çalışmalardan biri olacak ve literatürde büyük bir zenginlik oluşturacaktır.

Bu çalışmaya beni yönelten ve bu konuyu sevdiren değerli hocalarım Doç. Dr. Özgül Özcan ve Dr. Birgül Benli-Gönül'e çalışmalarım boyunca gösterdikleri tüm destek ve çabaları için teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmalarım sırasında bana destek ve yardımcı olan Ar. Gör. Abdullah Ceyhan, Begüm Tokay ve laboratuardaki arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmayı hayatım boyunca her an yanımda olan anneme ve babama ithaf ediyorum.

OCAK, 2005

Ertan ÇALIŞKAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2 TEORİK KISIM	2
2.1 Filtrasyon Tanımı	2
2.2 Filtrasyon Teorisi	3
2.3 Filtre Kekini Tanımlayan Özellikler	5
2.3.1 Porözite, ε	5
2.3.2 Boşluk oranı, e	5
2.3.3 Nem içeriği, RM	6
2.3.4 Doygunluk derecesi, S	6
2.3.5 Temas açısı, δ	6
2.3.6 Kapiler Basınç, P_K	7
2.4 Filtrasyon Hızını Artıcı Olarak Kullanılan Reaktifler: Yüzey Aktif Maddeler	9
2.4.1 Yüzey Aktif Maddelerin Yapısı	9
2.4.2 Kritik Misel Konsantrasyonu (CMC)	10
2.4.3 Yüzey Aktif Maddelerin Sınıflandırılması	11
2.4.3.1 Noniyonik Yüzey Aktif Maddeler	12
2.4.3.2 Anyonik Yüzey Aktif Maddeler	13
2.4.3.3 Katyonik Yüzey Aktif Maddeler	14
2.4.3.4 Amfoterik Yüzey Aktif Maddeler	15

2.5 Yüzey Aktif Madde İlaveli Filtrasyon	16
2.5.1 Yüzey Aktif Maddelerin Süspansiyon İçerisindeki Davranımı	16
2.5.2 Yüzey Aktif Madde İlaveli Filtrasyon Konusunda Yapılmış Çalışmalar	18
2.6 Flokülasyon	20
2.6.1 Van der Waals Etkileşimi	21
2.6.2 Elektrostatik kuvvetler	22
2.6.3 Hidratasyon Etkisi	25
2.6.4 Hidrofobik Etkileşim	26
2.6.5 Sterik etkileşim	26
3.DENEYSEL BÖLÜM	28
3.1 Deneyde Kullanılan Hammaddeler	28
3.1.1 Mineral ve Killer	28
3.1.1.1 Dolomit	29
3.1.1.2 Kuvars	29
3.1.1.3 Kalsit	30
3.1.1.4 Killer	31
3.1.2 Boraks Dekahidrat	33
3.1.3 Yüzey Aktif Maddeler	33
3.1.4 Flokülün	33
3.2 Süspansiyonların Hazırlanması	34
3.3 Filtrasyon Deneyleri	35
3.3.1 Filtrasyonda Kullanılan Deney Üniteleri	35
3.3.2 Filtrasyon Deneylerinin Yapılışı	36
3.4 Yüzey Gerilimi Ölçümleri	37
3.5 Zeta Potansiyel Ölçümleri	38
3.6 Flokülasyon Deneyleri	39
3.7 Bulanıklık Ölçümleri	40
4. DENEYLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	42
4.1 Dolomit, Kuvars, Kalsit ve Kaolin Mineralleri Filtrasyon Deneylerinin Sonuçları ve Değerlendirmeler	42

4.1.1 Minerallerin Saf Ortamdaki (Yüzey Aktif Madde ve %3 boraks ilavesi olmadan) Filtrasyon Hızı ve Nem İçeriği Ölçümleri	42
4.1.2 Minerallerin %3 Borakslı Ortamda Filtrasyon Hızı ve Nem İçeriği Ölçümleri	45
4.1.3 Minerallerin Saf Ortamda Yüzey Aktif Madde İlaveli Filtrasyon Hızı ve Nem İçeriği Ölçümleri	48
4.1.4 Minerallerin %3 Borakslı Ortamda, Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonunun Filtrasyon Hızı ve Nem İçeriği Ölçümleri	55
4.1.4.1 Noniyonik Yüzey Aktif Madde İlaveli Ölçümler	55
4.1.4.2 Anyonik Yüzey Aktif Madde İlaveli Ölçümler	58
4.1.4.3 Katyonik Yüzey Aktif Madde İlaveli Ölçümler	60
4.1.4.4 Amfoterik Yüzey Aktif Madde İlaveli Ölçümler	62
4.2 Dolomit, Kuvars, Kalsit ve Kaolin Minerallerinin Flokulanlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Davranışları	64
4.2.1 Dolomit Mineralinin Flokulanlı ve Yüzey Aktif Madde İlaveli Ortamdaki Deneyleri	64
4.2.2 Kalsit Mineralinin Flokulanlı ve Yüzey Aktif Madde İlaveli Ortamdaki Deneyleri	66
4.2.3 Kaolin Mineralinin Flokulanlı ve Yüzey Aktif Madde İlaveli Ortamdaki Deneyleri	68
4.3 Killerin Filtrasyonu ile İlgili Deneyler	70
4.4 Killerin Flokulanlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Davranışları	73
4.4.1 Mavi Kilin Flokulanlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Deneyleri	73
4.4.2 Yeşil Kilin Flokulanlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Deneyleri	74
4.4.3 Gri Kilin Flokulanlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Deneyleri	76
4.5 Minerallerin Yüzey Gerilmesi ile İlgili Deneyler	79
4.6 Zeta Potansiyeli Ölçümleri	84
4.6.1 Minerallerin Zeta Potansiyeli Ölçümleri	84
4.6.2 Killerin Zeta Potansiyeli Ölçümleri	88
5. SONUÇLAR	91
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	97

KISALTMALAR

YAM	: Yüzey Aktif Madde
CMC	: Critical Micelle Concentration
PAM	: Poliakrilamid
TOT	: Time Of Transition
D.L.V.O.	: Derjaguin, Landau, Vervey, Overbeek
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Mineral ve killere ait ortalama partikül çapları.....	28
Tablo 3.2. Deneylerde kullanılan yüzey aktif maddeler	33
Tablo 3.3. Poliakrilamid'in (PAM) özellikleri	34
Tablo 4.1. Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin saf ortamda 1, 2, 4 ve 6 bar basınçta filtrasyon hızı sonuçları.....	43
Tablo 4.2. Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin saf ortamda 1, 2, 4 ve 6 bar basınçta filtre keklerinin nem içerikleri	44
Tablo 4.3. Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin %3 borakslı ortamda 1, 2, 4 ve 6 bar basınçta filtrasyon hızı sonuçları	45
Tablo 4.4. Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin %3 borakslı ortamda 1, 2, 4 ve 6 bar basınçta filtre keklerinin nem içerikleri ...	47
Tablo 4.5. 20 ve 50g/t Saf ortamda YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızları.....	49
Tablo 4.6. 20 ve 50g/t Saf ortamda YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içerikleri.....	52
Tablo 4.7. %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5, 10, 20, 50 g/t noniyonik YAM'li ortamda filtrasyon hızı sonuçları.....	56
Tablo 4.8. %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5,10,20 ve 50 g/t noniyonik YAM'li ortamda filtre keklerin nem değerleri.....	57
Tablo 4.9. %3 Boraks ilaveli ve 5, 10, 20, 50 g/t anyonik YAM'li ortamda filtrasyon hızı sonuçları.....	58
Tablo 4.10 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5,10,20 ve 50 g/t anyonik YAM'li ortamda filtre keklerin nem değerleri.....	59
Tablo 4.11 %3 Boraks ilaveli ve 5, 10, 20, 50 g/t katyonik YAM'li ortamda 6 bar basınçta, filtrasyon hızı sonuçları.....	60
Tablo 4.12 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5,10,20 ve 50 g/t katyonik YAM'li ortamda filtre keklerin nem değerleri.....	61
Tablo 4.13 %3 Borakslı ve 5, 10, 20, 50 g/t amfoterik YAM'li ortamda filtrasyon hızı sonuçları.....	62
Tablo 4.14 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5,10,20 ve 50 g/t amfoterik YAM'li ortamda filtre keklerin nem değerleri.....	63
Tablo 4.15 Dolomit mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri.....	64
Tablo 4.16 4.16 Dolomit mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri.....	65
Tablo 4.17 Kalsit mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri.....	66
Tablo 4.18 Kalsit mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri.....	67
Tablo 4.19 Kaolin mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri.....	68
Tablo 4.20 Kaolin mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli	

	flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri.....	69
Tablo 4.21	Killerin %3 Boraks ilaveli süspansiyonlarının 1,2,4 ve 6 bar basınçta filtrasyon hızı değerleri.....	71
Tablo 4.22	4.22 Killerin %3 Boraks ilaveli süspansiyonlarının 1,2,4 ve 6 bar basınçta filtre keklerinin nem içerikleri.....	72
Tablo 4.23	Mavi kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri.....	73
Tablo 4.24	Mavi kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri.....	74
Tablo 4.25	Yeşil kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri.....	75
Tablo 4.26	Yeşil kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri.....	75
Tablo 4.27	Gri kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri.....	76
Tablo 4.28	Gri kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri.....	77
Tablo 4.29	YAM'ın flokülanlı ortamda mineral ve killere etkisi.....	78
Tablo 4.30	Dolomit mineralinin %3 Boraks ve 5,10,20,50 g/t YAM ilaveli süspansiyonlarının yüzey gerilimi.....	80
Tablo 4.31	Kuvars mineralinin %3 Boraks ve 5,10,20,50 g/t YAM ilaveli süspansiyonlarının yüzey gerilimi.....	81
Tablo 4.32	Kalsit mineralinin %3 Boraks ve 5,10,20,50 g/t YAM ilaveli süspansiyonlarının yüzey gerilimi.....	82
Tablo 4.33	Kaolin mineralinin %3 Boraks ve 5,10,20,50 g/t YAM ilaveli süspansiyonlarının yüzey gerilimi.....	83
Tablo 4.34	Minerallerin saf su ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli ölçümleri.....	84
Tablo 4.35	Minerallerin %3 boraks ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli ölçümleri.....	85
Tablo 4.36	4.37 Killerin saf su ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli ölçümleri.....	87
Tablo 4.37	Killerin saf su ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli ölçümleri.....	88

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Filtrasyon işlemi sırasında kek oluşumu.....	2
Şekil 2.2 : Doğru denklemi.....	5
Şekil 2.3 : Temas açısı.....	7
Şekil 2.4 : Filtre kekinde bulunan sıvının dağılımı.....	7
Şekil 2.5 : Kapiler basınç-doygunluk eğrisi.....	8
Şekil 2.6 : Yüzey Aktif Madde'nin molekül yapısı.....	10
Şekil 2.7 : Misel.....	11
Şekil 2.8 : Hidrofob gruba etilen oksit eklenmesi (Etoksilasyon).....	12
Şekil 2.9 : Alil poli alkilen oksit.....	12
Şekil 2.10 : Anyonik Yüzey Aktif Maddelerin Genel Yapısı.....	13
Şekil 2.11 : Sülfonat.....	14
Şekil 2.12 : Benzalkonyum klorür - kuaterner amonyum bileşiği.....	15
Şekil 2.13 : Amfoterik Yüzey Aktif Maddelerin Sulu Çözeltilerinin Davranışı.....	16
Şekil 2.14 : İmidazolin.....	16
Şekil 2.15 : Sıvı-Hava Ara Yüzeyinde Yüzey Aktif Madde Adsorpsiyonu ve Yüzey Geriliminin Düşürülmesi.....	17
Şekil 2.16 : Bir Süspansiyondaki Adsorpsiyon Dengesi.....	18
Şekil 2.17 : Yüzey Aktif Maddeli Filtrasyon ve Diğer Susuzlaştırma İşlemleri.....	19
Şekil 2.18 : D.L.V.O. Teorisi.....	21
Şekil 2.19 : Partiküller arasındaki mesafe ve çekme kuvvetleri.....	22
Şekil 2.20 : Partikül boyutu ve adhezyon kuvvetleri.....	22
Şekil 2.21 : Elektriksel Çift Tabaka ve Zeta Potansiyeli.....	23
Şekil 2.22 : Dispersiyon stabilitesi.....	24
Şekil 2.23 : Zeta Potansiyeli – pH grafiği.....	25
Şekil 2.24 : Polielektrolit ilavesi ile mineral tanelerinin etkileşimi.....	27
Şekil 3.1 : Ankersmid CIS 100 Tane boyutu ölçüm cihazı.....	29
Şekil 3.2 : Kuvars mineraline su adsorplanma tipleri.....	30
Şekil 3.3 : Kaolinin kimyasal yapısı.....	32
Şekil 3.4 : Montmorillonit grubunun kimyasal yapısı.....	32
Şekil 3.5 : Jar test cihazı.....	34
Şekil 3.6 : Basınçlı Filtrasyon Cihazı ve Hücre Alt Kapağı.....	35
Şekil 3.7 : Bokela Filtratest cihazı.....	36
Şekil 3.8 : Dolomit filtre keki.....	37
Şekil 3.9 : Krüss Tensiometer K9.....	48
Şekil 3.10 : Zetasizer 3000 HSA.....	39
Şekil 3.11 : Flokülasyon Ünitesi.....	40
Şekil 3.12 : HACH Ratio Turbidimeter.....	41

Şekil 4.1	: Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin saf ortamda basıncın filtrasyon hızına etkisi.....	43
Şekil 4.2	: Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin saf ortamda basıncın filtre keki nem içeriklerine olan etkisi.....	44
Şekil 4.3	: Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin %3 borakslı ortamda basıncın filtrasyon hızına etkisi.....	45
Şekil 4.4	: Minerallerin saf ortam ve %3 Borakslı ortamda filtrasyon hızlarının karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.5	: Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin %3 borakslı ortamda basıncın filtre keki nem içeriklerine olan etkisi	47
Şekil 4.6	: Minerallerin saf ortam ve %3 borakslı ortamda, filtre keki nem değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 4.7	: Dolomit mineralinin saf ortamda 20 ve 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızlarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.8	: Kuvars mineralinin saf ortamda 20 ve 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 4.9	: Kalsit mineralinin saf ortamda 20 ve 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızlarının karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.10	: Kaolin mineralinin YAM ilavesiz ile 20 ve 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızlarının karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.11	: Dolomit mineralinin saf ortamda 20 ile 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içeriklerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.12	: Kuvars mineralinin saf ortamda 20 ile 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içeriklerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.13	: Kalsit mineralinin saf ortamda 20 ile 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içeriklerinin karşılaştırılması.....	54
Şekil 4.14	: Kaolin mineralinin saf ortamda 20 ile 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içeriklerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.15	: %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızının, noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi.....	56
Şekil 4.16	: %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtre keki nem değerlerinin, noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi.....	57
Şekil 4.17	: %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızının, anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi.....	58
Şekil 4.18	: %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtre keki nem değerlerinin, anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi.....	59
Şekil 4.19	: %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızının, katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi.....	60
Şekil 4.20	: %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtre keki nem değerlerinin, katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi.....	61
Şekil 4.21	: %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızının, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi.....	62
Şekil 4.22	: %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtre keki nem değerlerinin, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi.....	63
Şekil 4.23	: Dolomitin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun bulanıklığa etkisi.....	65

Şekil 4.24 : Dolomitin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun berrak sıvı yüksekliğine etkisi.....	66
Şekil 4.25 : Kalsitin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun bulanıklığa etkisi.....	67
Şekil 4.26 : Kalsitin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun berrak sıvı yüksekliğine etkisi.....	68
Şekil 4.27 : Kaolin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun bulanıklığa etkisi.....	69
Şekil 4.28 : Kaolinin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun berrak sıvı yüksekliğine etkisi.....	70
Şekil 4.29 : %3 Boraks ilaveli kil süspansiyonların filtrasyon hızına basıncın etkisi.....	71
Şekil 4.30 : Killerin %3 Boraks ilaveli süspansiyonlarının filtre keklerinin nem içeriklerine basıncın etkisi.....	72
Şekil 4.31 : Mavi kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun bulanıklığa etkisi.....	73
Şekil 4.32 : Mavi kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun berrak sıvı yüksekliğine etkisi.....	74
Şekil 4.33 : Yeşil kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun bulanıklığa etkisi.....	75
Şekil 4.34 : Yeşil kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun berrak sıvı yüksekliğine etkisi.....	76
Şekil 4.35 : Gri kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun bulanıklığa etkisi.....	77
Şekil 4.36 : Gri kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun berrak sıvı yüksekliğine etkisi.....	78
Şekil 4.37 : %3 Boraks ilaveli dolomit süspansiyonlarının, yüzey gerilimine YAM konsantrasyonun etkisi.....	80
Şekil 4.38 : %3 Boraks ilaveli kuvars süspansiyonlarının, yüzey gerilimine YAM konsantrasyonun etkisi.....	81
Şekil 4.39 : %3 Boraks ilaveli kalsit süspansiyonlarının, yüzey gerilimine YAM konsantrasyonun etkisi.....	82
Şekil 4.40 : Boraks ilaveli kaolin süspansiyonlarının, yüzey gerilimine YAM konsantrasyonun etkisi.....	83
Şekil 4.41 : Minerallerin saf su ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli.....	84
Şekil 4.42 : Minerallerin %3 boraks ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli.....	85
Şekil 4.43 : Killerin saf su ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli ölçümleri.....	88

SEMBOL LİSTESİ

A	: Yüzey alanı, cm^2
c_v	: Katı madde hacim konsantrasyonu, %
D_K	: Kek çapı, mm
e	: Boşluk oranı
f	: Şekil faktörü
F	:Uygulanan kuvvet, μN
F_H	: Adhezyon Kuvveti, μN
h_c	: Kek yüksekliği,mm
K_c	: t/v- v grafiğinde doğrunun eğimi
m_k	: Katının kütlesi, g
m_s	: Sıvının kütlesi, g
P_K	: Kapiler basınç, N/cm^2
$P_{K,E}$	: Başlangıç kapiler basıncı, N/cm^2
P_G	: Gaz basıncı, N/cm^2
P_L	: Sıvı basıncı, N/cm^2
ΔP	: Basınç farkı, bar
r_1, r_2	: Küre çapları, μm
r_c	: Özgül kek direnci
R	: Poröz tabaka direnci
RM	: Artık nem, %
R_M	: Filtre ortamı direnci
S	: Doygunluk, %
V_B	: Boşluk hacmi
V_L	: Sıvı Hacmi
V_S	: Katı hacmi
V_T	: Toplam hacim
dV/dt	: Filtrasyon hızı ya da hacimsel debi
δ	: Temas açısı
ϵ	: Porözite
γ_{SK}	: Katı sıvı ara yüzey enerjisi, N/m
γ_{KG}	: Katı gaz ara yüzey enerjisi, N/m
γ_{SG}	: Sıvı gaz ara yüzey enerjisi, N/m
κ	: Konsantrasyon sabiti
ρ_K	: Katının yoğunluğu, g/cm^3
ρ_L	: Sıvının yoğunluğu, g/cm^3

ÇEŞİTLİ MİNERALLERİN VE KİLLERİN FLOKÜLAN VE YÜZEY AKTİF MADDE VARLIĞINDAKİ FİLTASYON DAVRANIŞLARI

ÖZET

Bu çalışmada, çeşitli minerallerin ve killerin filtrasyon davranışına yüzey aktif madde (YAM) ve flokülün ilavesinin etkileri incelenmiştir. Etkili bir katı - sıvı ayırımı için çeşitli yüzey aktif maddelerin filtrasyonda kullanıldığı bilinmektedir.

Kullanılan yüzey aktif maddeler filtrasyon hızını artırırken filtre kekindeki nemi de düşürmektedir. Bu nedenle de filtrasyonda, çalışma basıncı, filtrasyon yüzey alanı, tane boyutu ve şekli kadar önemli bir parametredir. Killerin filtrasyonu ise flokülansız ortamda mümkün olmamaktadır. Flokülün varlığında ise yüzey aktif madde ilavesinin filtrasyon hızı üzerindeki etkileri çok bilinmemektedir. Bu çalışmada, bu etki mekanizmasını ortaya koymak üzere deneyler yapılmıştır.

Deneyler dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin mineralleri ile renklerine göre sınıflandırılan mavi, yeşil, gri ve beyaz killeri ile yapılmıştır. Kullanılan yüzey aktif maddeler noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik olmak üzere 4 farklı tiptedir. Flokülün ise poliakrilamid'tir (PAM).

Çalışma iki ana kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısımda, ince öğütülmüş dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin saf ortamda ve %3 boraks ilaveli ortamda, basınçlı filtrasyon davranışları incelenmiş ve yüzey aktif madde ilavesinin filtrasyon hızı ve filtre keklerinin nem içeriği üzerindeki etkileri belirlenmiştir. İkinci bölümde ise flokülün ve yüzey aktif madde birlikte kullanılarak flokülasyon deneyleri ve bulanıklık ile berrak sıvı yüksekliği ölçümleri yapılmıştır.

Basınçlı filtrasyon deneyleri Bokela (Almanya) firmasından temin edilmiş olan Filtratest cihazında yapılmıştır. Cihazdan alınan filtre kekleri 10 mm yüksekliğinde ve 50 mm genişliğinde disk şeklindedirler. Yoğunluğu hacmen %10 olan mineral süspansiyonların filtrasyon hızları ölçülmüş ve oluşan filtre keklerinin % nem içeriği saptanmıştır. Flokülasyon deneyleri için 500 ml'lik bir mezür kullanılmış olup bulanıklık ölçümleri Hach turbidimeter ile yapılmış ve berrak sıvı yüksekliği cetvelle ölçülmüştür.

Flokülün ve yüzey aktif maddelerin birlikte kullanıldığı deneylerde tüm mineral ve killeri için filtrasyon hızının düştüğü bulanıklık ve berrak sıvı yüksekliği ölçümleriyle saptanmıştır. Killer flokülün olmadan filtre edilemedikleri için bunların filtrasyonunda, yüzey aktif maddeler flokülün ile birlikte kullanılmış aynı deneyler diğer minerallere de uygulanmıştır.

Flokülansız ortamda noniyonik yüzey aktif madde dolomitin filtrasyon hızını 6 barda yaklaşık 10 kat arttırırken ortama flokülün ilavesi ile de en bulanık süspansiyon elde edilmiştir. Yani noniyonik yüzey aktif madde flokülün varlığında filtrasyonu

kötüleştirmektedir. Benzer sonuçlar kalsit ve kaolin için de diğer reaktifler için elde edilmiştir. Yüzey aktif madde varlığında filtrasyon ortamına flokülün girmesi, yüzey aktif maddenin etkisini negatife çevirmekte ve filtrasyonu bozmaktadır.

Killerde de flokülün ve yüzey aktif maddenin birlikte kullanılması filtrasyonu negatif yönde etkilemektedir. Flokülün varlığında yüzey aktif madde ilavesinin filtrasyonu bozmasının muhtemel nedeni flokülünün mineral ve kil taneciklerinin yüzeyini sararak yüksüzleştirmesi ve böylece yüzey aktif maddenin taneciğın yüzeyine yaklaşamamasıdır. Bunun sonucunda tek başına kullanıldığı zaman, tanecikler arasında elektrostatik itme ve kapiler basıncı düşürme yoluyla filtrasyon hızını artıran yüzey aktif madde etkisiz hale gelmektedir.

THE FILTRATION BEHAVIOR OF VARIOUS MINERALS AND CLAYS IN THE PRESENCE OF FLOCCULANTS AND SURFACE ACTIVE AGENTS

SUMMARY

In this study, the effects of surface active agents (surfactants) and flocculant addition on the filtration behavior of various minerals and clays were investigated. It's known that surfactants are largely used for an effective solid-liquid separation. The surfactants used increase the filtration rate, while decreasing the moisture content of the filter cakes. Therefore the usage of surfactants is an important parameter as filtration pressure, filter surface area, particle size and shape in the filtration process.

The filtration of clays is not possible without flocculants in the filtration medium. However, the effects of surfactant addition on the filtration rate in the presence of flocculant in the medium is unknown. In this study, experiments have been conducted in order to determine this interaction mechanism.

The experiments have been conducted by using the dolomite, quartz, calcite and kaoline minerals and the blue, green, grey and white clays, which were classified by their colors. The surfactants used are of four different types, which are nonionic, anionic, cationic and amphoteric. The flocculant is polyacrylamide (PAM).

The study is composed of two parts. In the first part, the pressure filtration behavior of finely ground dolomite, quartz, calcite and kaoline minerals in the pure medium (water) and in the medium with presence of 3% borax was investigated and the effects of surfactant addition on the filtration rate and the moisture content of the filter cakes were examined. In the second part of the study, by using the flocculant and the surfactants together the flocculation experiments and the turbidity and clear liquid height measurements were conducted.

The pressure filtration experiments were done in the Filtratest apparatus manufactured by Bokela Company (Germany). The filter cakes produced by using this apparatus were 10 mm high disk with a 50 mm diameter. The filtration rates of mineral suspensions with 10% volume ratio were measured and the moisture content of the cakes were determined. In the flocculation experiments, a 500 ml graduated cylinder was used. The turbidity measurements were done using a Hach brand turbidimeter and clear liquid height was measured with a ruler.

In the experiments conducted by using both flocculants and surfactants, the filtration rate decreased for all minerals and clays. This was determined by turbidity and clear liquid height measurements. Due to the impossibility of the filtration of clays, the surfactants were used with flocculants in their filtration. The same conditions were applied in the filtration experiments for the other minerals.

In the absence of the flocculant in the medium, the addition of the nonionic surfactant increased the filtration rate of dolomite by approximately 10 times under 6 bars of pressure. The addition of nonionic surfactant into the flocculant-containing suspension, resulted in the formation of most turbid suspension. As a result, the nonionic surfactant failed filtration in the presence of the flocculant. Similar results were obtained for calcite and kaoline with other types of surfactants. It is possible to say that the addition of the surfactant into the flocculant-containing filtration medium negatively effects the filtration rate and filtration fails.

In the case of clays, it was also observed that the co-usage of the flocculant and surfactants negatively effected the filtration. The probable reason of the failure of the filtration by the addition of the surfactant into the flocculant containing suspension is the charge neutralization on the particle surface by flocculant which surrounds to surface. That's why the surfactant can not approach the particle surface. The surfactant increases the filtration rate significantly when it is used alone by electrostatic reduction and capillary pressure decreasing mechanisms. However it fails the filtration when it is used together with flocculant.

1.GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Emet ve Kırka'da (Eskişehir) yer alan kolemanit ve tinkal cevherleşmeleri başta olmak üzere ülkemiz dünyanın en büyük bor rezervlerine sahiptir. Tinkal cevherinden önce konsantre tinkal ve ardından boraks deka ve penta hidrat üretilmektedir. Tinkal cevheri ana bileşeni boraks dekahidratın yanı sıra yatağın yerine bağlı olarak %20- 40 civarında dolomit ve montmorillonit içermektedir.

Tinkalden boraks dekahidrat ve penta hidrat üretiminde en önemli işlemi çözme ünitesinde killerin çözeltiden ayrılması kademesi oluşturmaktadır. Tane boyutu çok küçük olan kil mineralleri, filtrasyonda çok ciddi problemler oluşturmaktadır. Bu nedenle flokülasyon sonucu dekantasyon yapılarak boraks çözeltisinden ayrılmaktadır. Flokülünler çöktürme (sedimentasyon) yoluyla katı-sıvı ayrımını kolaylaştırırken yüzey aktif maddelerin de filtrasyon hızını artırdığı ve filtre kekinin nem içeriğini düşürdüğü bilinmektedir.

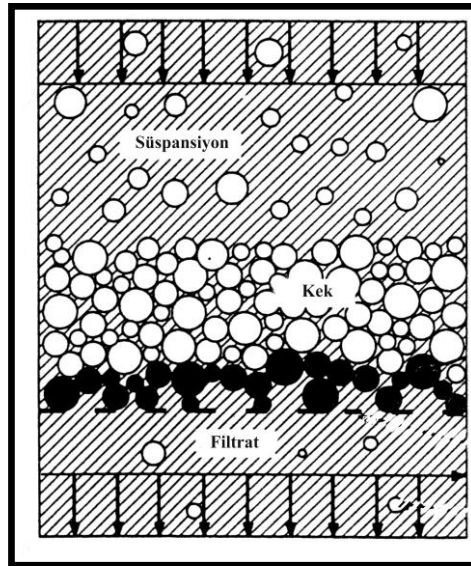
Yüzey aktif maddelerin tinkal cevheri killeri üzerindeki etkileri beklenenin tersine farklı olmaktadır. Killerin floküle edilmeden süzülmesi mümkün değildir. Yüzey aktif madde ilavesi de tek başına, killerin filtrasyonu için yetersizdir. Oysa dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin gibi minerallerin yüzey aktif madde ilavesi ile filtrasyon hızlarında büyük artışlar saptanmıştır. Yüzey aktif maddelerin flokülanlı ortamlarda kullanılması ise beklenenin aksine filtrasyonu kötüleştirmektedir.

Bu çalışmada yüzey aktif madde ile flokülünün ayrı ayrı ve aynı anda ortamda bulunmalarının çeşitli mineral ve killerin filtrasyon hızını nasıl etkilediklerinin saptanması amaçlanmıştır.

2 TEORİK KISIM

2.1 Filtrasyon Tanımı

Filtrasyon, bir süspansiyondaki katı taneciklerin poröz bir yüzey veya elek tarafından tutulduğu ve sıvının da ortamdan geçtiği, katı-sıvı ayırımının sağlandığı bir mekanik ayırma işlemidir (Coulson, 1987, Mc. Cabe, 1993). Filtrasyondaki amaç katı-sıvı karışımının nem içeriğini azaltmaktır. Suyu uzaklaştırmak için harcanan enerji evaporasyon ve kurutmaya nazaran daha azdır (Wakemann, 1975). Filtrasyon temel olarak iki ana kademedен oluşur. Bunlar, kekin oluştuğu birinci kademe ve oluşan kekin susuzlaştırıldığı ikinci kademedir (Benli, 2001). Filtrasyonun başlangıcında süspansiyondaki bazı katı tanecikler filtre ortamından geçerek bulanık bir filtrat oluşur. Çok kısa bir süre sonra filtre ortamı üzerinde biriken katı tanecikler katı köprüleri oluşturarak kek meydana getirmektedir. Bu aşamadan itibaren berrak bir süzüntünün elde edildiği filtrasyon işlemi kek tarafından yapılmaktadır. Kek oluşumu Şekil2.1 şematik olarak gösterilmektedir (Anlauf, 1991a).



Şekil 2.1. Filtrasyon işlemi sırasında kek oluşumu

2.2 Filtrasyon Teorisi

Kek filtrasyonu ile ilgili teoriler oldukça eskidir. Ancak temel teori 1856'da Darcy'nin, Fransa'nın Dijon şehrinin yerel çeşmelerinden akan suyun çeşitli kalınlıktaki kum yataklarından geçişi sırasında akış hızının değişimi üzerine yaptığı araştırmalara dayanmakta olup aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir (Reed, 1995).

$$\frac{dV_L}{dt} = \frac{A}{\eta} \cdot \frac{\Delta P}{R} \quad (2.1)$$

Darcy yasası olarak bilinen bu temel eşitlik, Newtonian bir sıvının laminar akış durumunda filtrasyon hızı veya hacimsel debinin dV_L/dt , basınç değişimi ΔP ile doğru, sıvının viskozitesi η ve poröz tabaka direnci R ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Darcy eşitliğinin geçerli olduğu durumlarda şu kabuller yapılmaktadır (Anlauf, 1991b):

- Süspansiyon içeriği ve filtre kekinin yapısı zamanla ve bölgesel olarak değişmemektedir (İzotropik kek),
- Filtre kekinin porözitesi zamanla ve bölgesel olarak değişmemektedir (Sıkıştırılmaz kekler),
- Yerçekimi veya başka bir kütle çekimin etkisi yoktur.

Kek filtrasyonunda meydana gelen direnç, poröz tabaka direnci olup kekin ve filtre ortamının gösterdiği dirençlerin toplamıdır (Anlauf, 1994).

$$R = r_c \cdot h_c + R_M \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2'den de anlaşıldığı gibi, kek yüksekliği h_c arttıkça toplam kek direnci de artar. Kek porözitesinin zamanla değişmediği varsayılarak zamana bağlı olarak değişen filtrat hacmi V_L ile kek yüksekliği h_c arasında aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır.

$$h_c = \frac{\kappa}{A} \cdot V_L \quad (2.3)$$

κ konsantrasyon sabiti, katı madde hacim konsantrasyonu c_v ve kek porözitesi ε ile aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\kappa = \frac{c_v}{(1 - \varepsilon - c_v)} \quad (2.4)$$

(2.1), (2.2), (2.3) ve (2.4) denklemleri düzenlenerek eşitlik (2.5) elde edilir (Anlauf, 1994).

$$\frac{dt}{dV_L} = \left[\frac{\eta \cdot r_c \cdot \kappa}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta P} \right] \cdot V_L + \left[\frac{\eta \cdot R_M}{A \cdot \Delta P} \right] \quad (2.5)$$

Sabit basınçta gerçekleşen sürekli bir filtrasyon işlemi $t=0$ için $V=0$ ve $t=t$ için $V=V$ sınır koşullarında yukarıdaki diferansiyel denklem entegre edilerek Eşitlik 2.7 elde edilir.

$$\int_0^t dt = \int_0^V \left(\left[\frac{\eta \cdot r_c \cdot \kappa}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta P} \right] \cdot V_L + \left[\frac{\eta \cdot R_M}{A \cdot \Delta P} \right] \right) dV \quad (2.6)$$

$$\frac{t}{V} = \left[\frac{\eta \cdot r_c \cdot \kappa}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta P} \right] \cdot V + \left[\frac{\eta \cdot R_M}{A \cdot \Delta P} \right] \quad (2.7)$$

Yukarıdaki eşitliği daha basite indirmek amacıyla K_c ve B cinsinden ifade edilerek aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

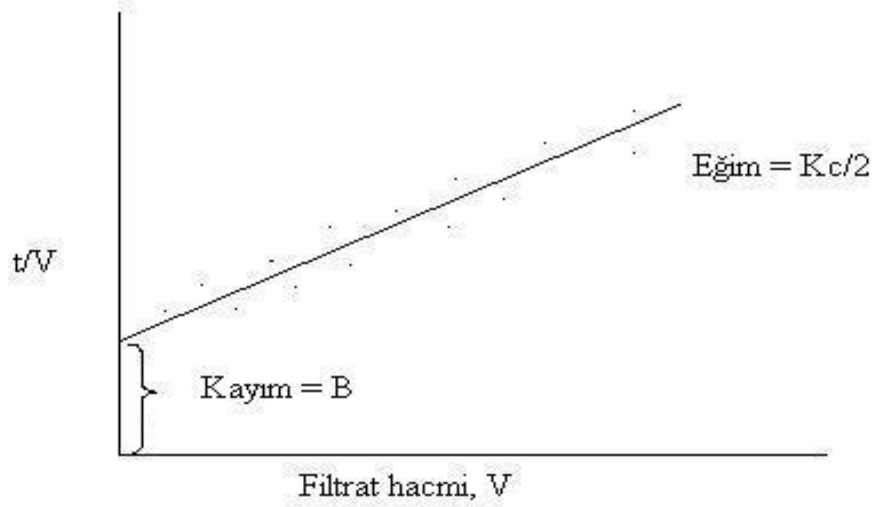
$$K_c = \frac{\eta \cdot r_c \cdot \kappa}{A^2 \cdot \Delta P} \quad (2.8)$$

$$B = \frac{\eta \cdot R_M}{A \cdot \Delta P} \quad (2.9)$$

Bu durumda filtrasyon eşitliği:

$$\frac{t}{V} = \frac{K_c}{2} \cdot V + B \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade Şekil 2.2’de görüldüğü gibi t/V ye karşı çizilen V grafiğinde, eğimi $\frac{K_c}{2}$ ve kayımı B olan doğrunun denklemidir.



Şekil 2.2 Doğru denklemi

Denklemin eğiminden Eşitlik 2.8 kullanılarak özgül kek direnci r_c ve kayımından Eşitlik 2.9 kullanılarak filtre ortam direnci R_M hesaplanır.

Filtrasyon hızını en çok etkileyen faktörler filtrasyonda uygulanan basınç, filtre alanı, kek direnci, filtre ortam direnci ve filtrat viskozitesidir (Coulson ve diğ., 1978).

2.3 Filtre Kekini Tanımlayan Özellikler

2.3.1 Porözite, ε

Porözite, kek içindeki boşluk fraksiyonu olup filtre keki içindeki toplam boşluk hacminin kekin tüm hacmine oranıdır. Silindirik katılar için porözite Eşitlik 2.11'deki gibi tanımlanmıştır (Benli, 2001).

$$\varepsilon = 1 - \frac{m_K}{\rho_K \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_K^2 \cdot h_K} \quad (2.11)$$

2.3.2 Boşluk oranı, e

Boşluk oranı, filtre keki içindeki toplam boşluk hacminin kekin katı hacmine oranıdır ve Eşitlik 2.12'deki gibi tanımlanır.

$$e = \frac{V_B}{V_T - V_B} \quad (2.12)$$

Boşluk hacmi, esasen uygulanabilecek maksimum sıkıştırma basıncı hakkında bilgi verir. Sıkıştırma basıncının logaritması ile boşluk oranı ters orantılıdır (Wiedemann, 1995). Porözite ile boşluk oranı arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikte ifade edilmiştir.

$$e = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad (2.13)$$

2.3.3 Nem içeriği, RM

Nem içeriği, kekin tuttuğu sıvının kekin tüm kütlesine oranıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$RM = \left(\frac{m_s}{m_s + m_K} \right) \cdot 100 \quad (2.14)$$

2.3.4 Doygunluk derecesi, S

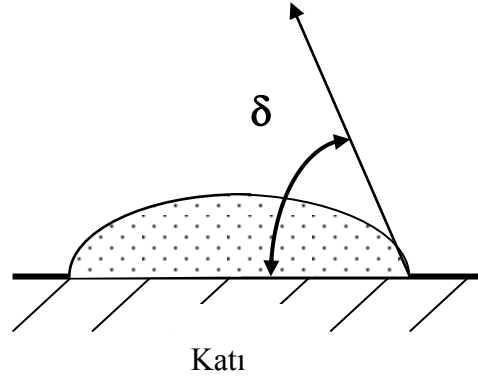
Kek içerisindeki su hacminin, boşlukların hacmine oranıdır ve Eşitlik 2.15'deki gibi ifade edilir.

$$S = \frac{V_L}{V_B} = \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \right) \left(\frac{RM}{1 - RM} \right) \left(\frac{\rho_K}{\rho_L} \right) \quad (2.15)$$

2.3.5 Temas açısı, δ

Katı yüzeyine bir sıvı damlacığının yerleşmesi sonucu oluşan katı-sıvı ara yüzeyi ile sıvı-hava ara yüzeyi arasındaki açıya temas açısı denir. Temas açısı Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Katı partikülün sıvı tarafından ıslatılması için gerekli koşul temas açısıyla ilgilidir. Katı yüzeyinde sıvının kapladığı alan nedeniyle olan azalma ve serbest yüzey enerjisindeki değişim, Young ve Dupre tarafından geliştirilen Eşitlik 2.13 ile ifade edilmektedir (Adamson, 1967)

$$\gamma_{SK} = \gamma_{KG} - \gamma_{SG} \cdot \cos \delta \quad (2.16)$$

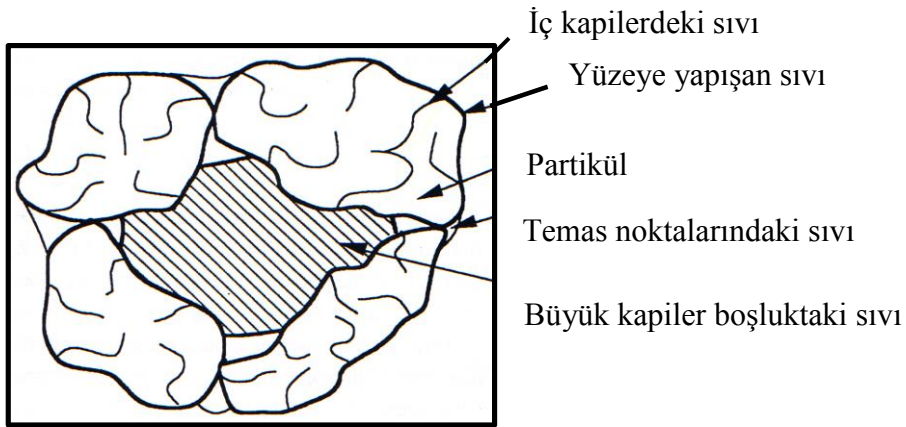


Şekil 2.3 Temas açısı

Temas açısı 90^0 'den küçükse katı yüzeyi sıvı tarafından ıslatılabilir, büyükse ıslatılamaz.

2.3.6 Kapiler Basınç, P_k

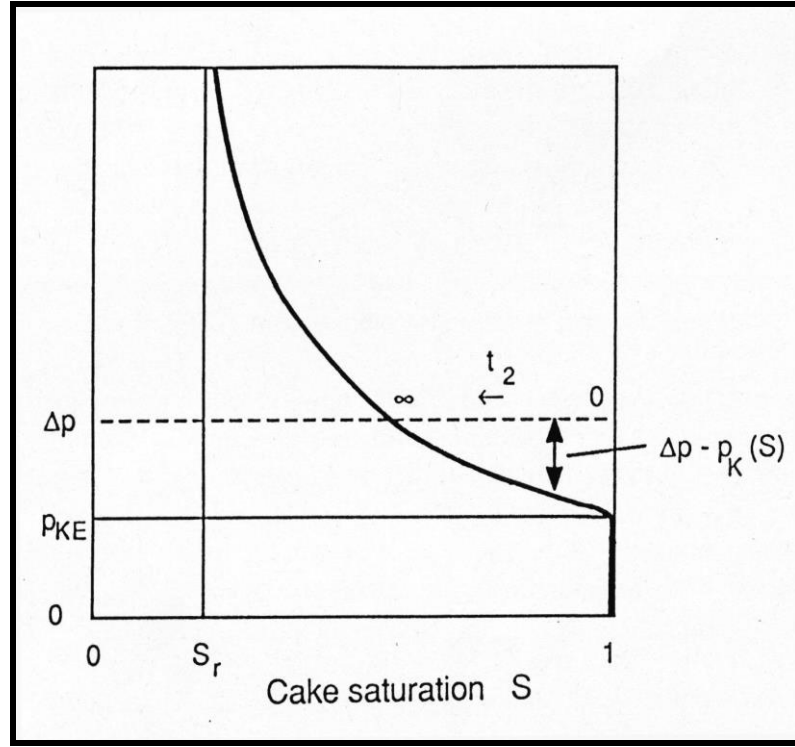
Kapiler basınç, filtre kekinde bulunan porlar ya da kapiler boşluktaki sıvının oluşturduğu basınçtır. Kapiler basınç yenilerek porlardaki sıvı dışarı alınmasıyla susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 2.4 Filtre kekinde bulunan sıvının dağılımı

Filtre kekindeki por sistemi, basit olarak değişik çapta bir kapiler yığını şeklinde düşünülebilir. Por sistemindeki basınç farkı arttırılırsa belirli bir basınç farkının üzerindeki değerlerde en büyük çaptaki kapiler boşluklar kurutulabilir. Basınç farkı daha da arttırılmaya devam edilirse daha dar çaplı kapiler boşluklar da kurutulur. Daha gerçekçi bir modelde tek tek porlar arasındaki bağlantılar da hesaba katılmalıdır. Bu nedenle suyun uzaklaştırılması en büyük çaptaki kapilerler arasında dolambaçlı bir yol izleyerek gerçekleşir (Schubert, 1986).

Kekin doygunluğu ile kapiler basınç arasındaki bağlantı Şekil 2.5'teki grafikte açıklanabilir.



Şekil 2.5 Kapiler basınç-doygunluk eğrisi (Heßner, 1992)

$P_{K,E}$ başlangıç kapiler basıncıdır ve en geniş boşluktaki sıvıyı gidermek için uygulanması gereken minimum basınç farkını ifade etmektedir. Kek içindeki nemi azaltmak için itici potansiyel, maksimum basınç farkı $\Delta P - P_{K,E}$ 'dir. S_r , basınç farkı ile sağlanan mekanik susuzlaştırmanın alt sınırını ve genellikle temas noktalarındaki sıvı, yüzeye yapışan sıvı ve iç kapilerdeki sıvıyı kapsamaktadır. Mekanik filtrasyon ile bu sıvının uzaklaştırılması mümkün değildir (Heßner, 1992).

Kapiler basınç, Young ve Laplace eşitlikleri ile ifade edilebilir. Bu ifade Eşitlik 2.17'deki gibi kapiler basınç, gaz basıncı P_G ile sıvı basıncı P_L arasındaki farktır ve yüzey gerilmesi γ ile r_1 ve r_2 çaplarındaki iki küre için geliştirilmiştir (Adamson, 1967).

$$P_K = \Delta P = P_G - P_S = \gamma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.17)$$

Kapiler basınç, sadece filtre kekini fiziksel parametrelerine bağlı olmayıp sıvının yüzey gerilimi γ , temas açısı δ , boşluk yapısı porözite gibi fizikokimyasal

büyükliklerine de bağlıdır. Bu ifadeler kullanılarak Eşitlik 2.18 geliştirilmiştir (Ströh, 1992).

$$P_K = \gamma \cdot f(\delta) \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right) \left(\frac{K}{X_{1,2}} \right) \quad (2.18)$$

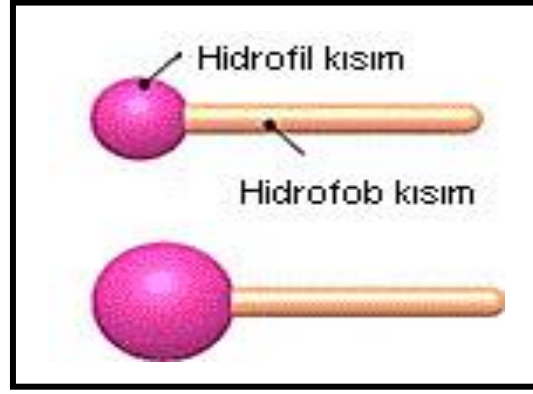
2.4 Filtrasyon Hızını Artıcı Olarak Kullanılan Reaktifler: Yüzey Aktif Maddeler (YAM)

Yüzey aktif maddeler kimya endüstrisinde kullanılan çok yönlü maddelerden biridir. Motor yağlarında, eczacılıkta, deterjanlarda, petrol ve maden sektörünün yanı sıra elektronik, biyoteknoloji gibi ileri teknoloji gerektiren alanlarda da kullanılmaktadır (Rosen, 1989). Filtrasyon işleminde de filtrasyon hızını artırıcı etkileri nedeniyle kullanılmaktadırlar.

2.4.1 Yüzey Aktif Maddelerin Yapısı

Yüzey aktif maddeler isminden de anlaşılacağı üzere yüzeyde aktif olan maddelerdir (Porter, 1991). Yüzey aktif maddeler, bir sistem içerisinde düşük konsantrasyonda bulundukları zaman, yüzeylere ya da ara yüzeylere adsorplanarak bu yüzey ve ara yüzeylerin serbest enerjilerini değiştiren maddelerdir. Yüzey aktif maddeler, faz sınır ara yüzeyinin hacme göre çok büyük olduğu sistemlerde yani toplam kütlenin esas kısmı ara yüzeylerde bulunduğu sistemlerde (emülsiyonlar, katı dispersiyonlar, köpükler) büyük rol üstlenirler (Rosen, 1989). Yüzey aktif maddelerin başlıca özelliği yüzeydeki konsantrasyonunun çözelti içerisindeki konsantrasyonundan yüksek olmasıdır. Böylece yüzey aktif maddelerin yüzeyde yoğunlaştığı görülür (Porter, 1991).

Yüzeyde bulunan moleküller, iç kısımlarda bulunan moleküllerden daha yüksek bir potansiyel enerjiye sahiptir. Bunun sebebi yüzeydeki moleküllerin, üzerinde bulunan gaz moleküllerinden daha çok iç kısımlardaki moleküllerle etkileşmesidir. Böylece bir molekülü iç kısımdan yüzeye taşımak için bir iş yapılması gereklidir.



Şekil 2.6 Yüzey Aktif Madde'nin molekül yapısı

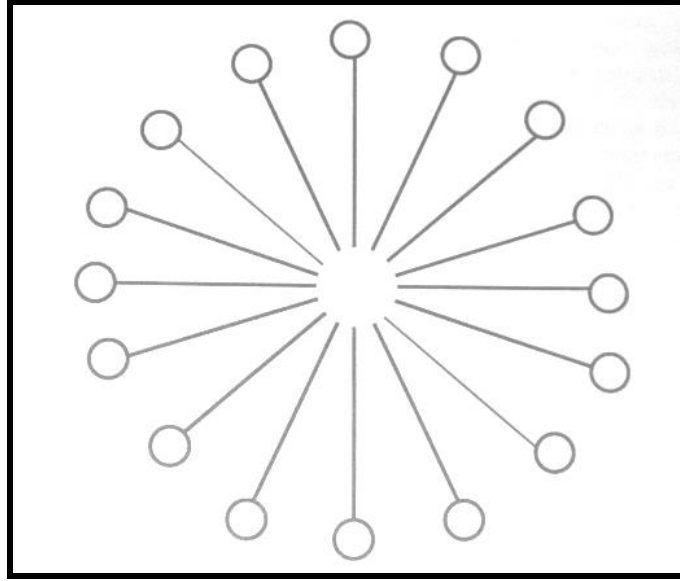
Yüzey aktif maddeler, çözücü seven hidrofilik (liyofobik) ve çözücü sevmeyen hidrofobik (liyofilik) olmak üzere iki grubu bir arada barındıran karakteristik heteropolar bir molekül yapısına sahiptir. Bu yapı amfipatik yapı olarak adlandırılır. Hidrofilik grup hem yüzey aktif maddenin yüzeyde konsantre olmasını ve suyun yüzey geriliminin azalmasını hem de hidrofobik grupla sudan uzaklaşarak molekülün oryantasyonunu (surface orientation) sağlar (Rosen, 1989).

2.4.2 Kritik Misel Konsantrasyonu (CMC)

Düşük konsantrasyonda yüzey aktif maddenin hava-su ara yüzeyinde adsorplandığını düşünün. Eğer daha fazla yüzey aktif madde ilave edilirse doygunluk sağlanıncaya kadar yüzeyde adsorplanır ve sonrasında yüzey gerilimi artan konsantrasyonla sabit kalır. Yüzey aktif madde ilavesine devam edilirse, yüzey aktif madde molekülleri çözelti içerisinde kalır fakat hidrofobik gruplar hala su tarafından itilirler. Bu moleküller kendi aralarında birleşerek misel adı verilen küresel yapılar oluştururlar. Miselin görünüşü Şekil 2.7'deki gibidir.

Miselin oluşmaya başladığı konsantrasyon, kritik misel konsantrasyonu olarak adlandırılır (CMC). Miseller büyük moleküller gibi davranarak iki önemli özelliğe etki ederler:

- Organik hidrokarbonların ve yağların sulu çözeltilerdeki çözünürlüğü
- Viskozite (Porter, 1991)



Şekil 2.7 Misel

2.4.3 Yüzey Aktif Maddelerin Sınıflandırılması

Yüzey aktif maddeler hidrofil ve hidrofob olmak üzere iki farklı grubu aynı anda içerirler ve bu nedenle de “heteropolar” olarak tanımlanırlar. Hidrofilik genelde iyonik ve polar yapıda olup grubun yapısına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Noniyonik
- Anyonik
- Katyonik
- Amfoterik

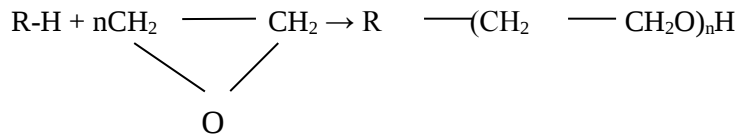
Hidrofobik grup uzun hidrokarbon zinciridir. Bunun dışında aşağıdaki yapıları da içerebilir (Rosen, 1989):

- Düz zincirli, uzun alkil gruplar (C_8 - C_{20})
- Dallanmış zincirli, uzun alkil gruplar (C_8 - C_{20})
- Uzun zincirli (C_8 - C_{15}) alkil benzen
- Alkilnaftalen (C_3 ve daha uzun alkil grupları)
- Rosin türevleri
- Yüksek molekül ağırlığa sahip propilen oksit polimerler (polioksipropilen glikol türevleri)
- Uzun zincirli perfloroalkil grupları
- Polisiloksan grupları
- Lignin türevleri

2.4.3.1 Noniyonik Yüzey Aktif Maddeler

Noniyonik yüzey aktif maddeler herhangi bir yüke sahip olmayan, yüksüz grubu olan yüzey aktif maddelerdir. Hidrofilik grup suda çözünebilen ancak iyonlaşmayan bir gruptur. En bilinenler hidroksiller (R-OH) ve eterlerdir (R-O-R'). Diğerleri ise oksitler (amin oksitler) ve doymamış bağ içeren alkollerdir (Porter, 1991).

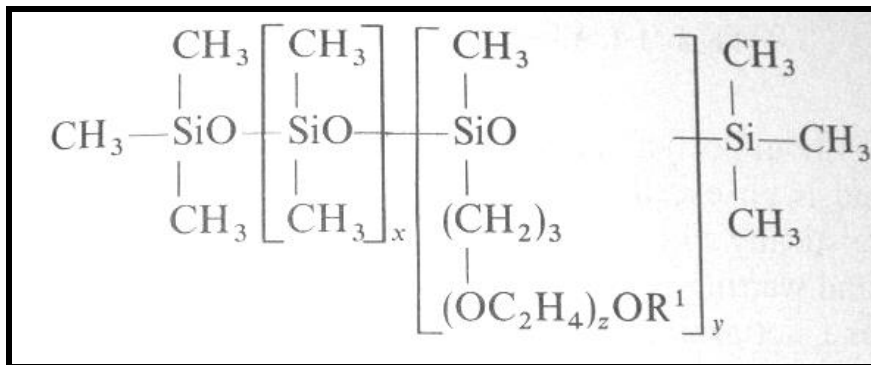
Hidroksil ve eter grupların sülfat ve sülfonatlara göre suda çözünürlükleri daha azdır. Suda çözünürlüğün artması için multi hidroksil ve multi eter grupları kullanılır. Eter gruplarının en çok kullanılan yolu hidrofob gruba etilen oksit eklenmesidir. Etilen oksit hidrofob gruba bağlı hidrojen atomuyla reaksiyona girer. Etilen oksidin miktarı arttıkça ürün suda daha fazla çözünür.



Şekil 2.8 Hidrofob gruba etilen oksit eklenmesi (Etoksilasyon)

Bazı etoksilatlar (hidrofob grupla etilenin reaksiyonu sonucu oluşan ürünler şunlardır (Porter, 1991) :

- Alkol etoksilatlar
- Mono alkanolamid etoksilatlar
- Yağ amin etoksilatlar
- Yağ asit etoksilatlar
- Etilen oksit / propilen oksit kopolimerler
- Alkil fenol etoksilatlar



Şekil 2.9 Alil poli alkilen oksit

Multi hidroksil ürünleri (esterleşme ile oluşan multi hidroksil ürünlerin hidrofob grupla reaksiyonu) :

- Glukositler
- Gliserit
- Glikol esterler
- Gliserol esterler
- Poligliserol esterler ve poligliseritler
- Poliglikositler
- Sorbitan esterler ve sorbitan etoksilatlar
- Sakkaroz esterler

Noniyonik yüzey aktif maddeler her tür yüzey aktif maddelerle uyumludur. Elektrolitten bağımsızdır. Sert sulara karşı, polivalent metalik katyonlara ve yüksek konsantrasyonda elektrolitlere karşı dirençlidir. Organik çözücülerde ve suda çözünür. Buna karşın bazı dezavantajları da vardır. Ürünleri sıvı, pastamsı veya nadiren yapışkan olmayan katı kıvamdadır. Kötü köpürtücüdür (bazen avantaj olabilir) ve elektriksel etkiye sahip değildir (yükli yüzeylere güçlü adsorbe olmaz) (Rosen, 1989).

2.4.3.2 Anyonik Yüzey Aktif Maddeler

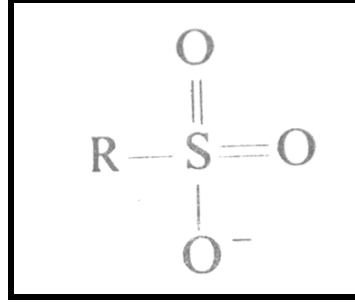
Anyonik yüzey aktif maddeler diğer yüzey aktif maddelerden daha büyük miktarda üretilir ve kullanılırlar. Çünkü üretimi ucuz ve kolaydır. Tüm deterjan türlerinde kullanılırlar. Optimum deterjan için hidrofobik grup C_{12} ile C_{16} arasında karbona sahip lineer alkil zinciridir ve polar grup bu zincirin bir ucundadır. Molekülün yüzey aktif kısmı negatif yüke sahiptir. Büyük çoğunluğu aşağıdaki yapıdadır (Porter, 1991):



Şekil 2.10 Anyonik Yüzey Aktif Maddelerin Genel Yapısı

X hidrofilik grup olup aşağıdakilerden biri olabilir:

- Karboksilat (sabun) : RCOO^-
- Sülfonat : RSO_3^-
- Sülfat : ROS O_3^-
- Fosfat : ROPO(OH)O^-



Şekil 2.11 Sülfonat

Ticari olarak bulunan anyonik yüzey aktif maddelerden başlıcaları aşağıdaki gibidir:

-Karboksilatlar: sabunlar, etoksi karboksilatlar, ester karboksilatlar

-Isotionatlar

-Fosfatlar (etoksilatlar, alkoller, amitler)

-Sarkosinatlar (amid sarkosinatlar)

-Sülfatlar: alkol, alkol eter, alkanoamit etoksilatlar, natürel yağlar, nonil fenol eterler

-Sülfonatlar: alkol eter (etan) ya da alkil fenil eter, parafin, alkil benzen, yağ asitleri ve esterler, naftalen türevleri, olefin sülfonatlar, petrol sülfonatlar

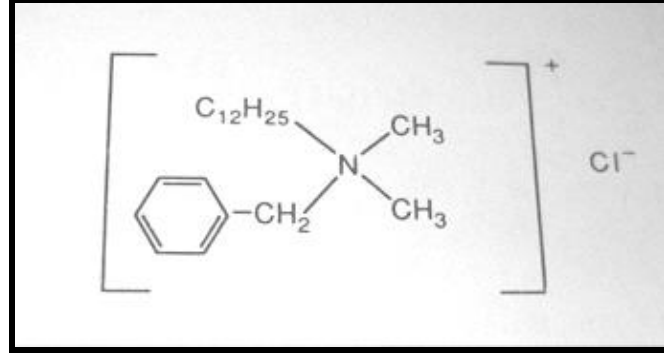
-Sülfoksinatlar ve sülfoksinamidler

2.4.3.3 Katyonik Yüzey Aktif Maddeler

Molekülün yüzey aktif kısmının pozitif yüke sahip olduğu yüzey aktif maddelerdir. Birkaç istisna dışında ticari kationik yüzey aktif maddeler, azot atomun pozitif yükü taşıması temeline dayanmaktadır. Diğer ürünler ise fosfor ve sülfüre dayanmaktadır. $C_{12}H_{25}NH_2$ birincil amin olup nötr çözeltide yüksüzdür. Bu nedenle bu yüzey aktif maddeler tam olarak kationik değildir. Fakat tuz olarak, örneğin asetik asitte $C_{12}H_{25}NH_3^+CH_3COO^-$ amin artık kationiktir. Kationik yüzey aktif maddelerin büyük kısmı ev kullanımı için çamaşır yumuşatıcılarında kullanılmaktadır. Bunlar kuaterner amonyum tuzlarıdır (distearilmetilamin veya ditallov imidazolin gibi). Kationik yüzey aktif maddelerle, hidrofilik bir katıyı hidrofobikmiş gibi ya da hidrofobik bir katının hidrofilikmiş gibi davranması sağlanabilir. Böylece katıların yüzey özellikleri değiştirilebilir.

Uzun zincirli yağ aminler ve tuzları (kuaterner ve imidazolinler) mikroorganizmaları öldürür veya çoğalmalarını önler. Kationik reaktifler anyonik reaktiflerle suda çözünmeyen kompleksler oluştururlar ve köpürme ve ıslatma gibi kendi yüzey aktif

özelliklerini kaybedebilirler. Fakat organik çözücülerde ve maden yağlarında kullanılan katyonik/anyonik yüzey aktif madde kompleksleri dayanıklılık, ıslatma ve korozyona karşı direnç gösterebilirler.



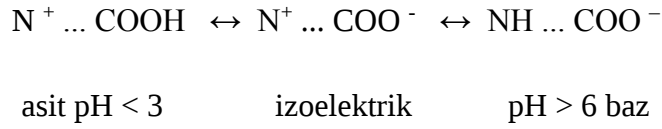
Şekil 2.12 Benzalkonyum klorür - kuaterner amonyum bileşiği

Katyonik yüzey aktif maddelerin dezavantajları ise anyoniklere göre pahalı olması, zayıf deterjan özelliği ve zayıf dispersiyonlama özelliğidir. Katyonik yüzey aktif maddeler tekstil sanayiinde, yumuşatıcılarda, gübrelerde, katran kaplamalarda, yağ ürünlerinde korozyon yavaşlatıcılarda, pigmentlerde, dispersiyon sistemlerinde ve flotasyonda kullanılırlar (Porter,1991).

2.4.3.4 Amfoterik Yüzey Aktif Maddeler

Amfoterik kelimesi Yunan amphi kelimesinden türemiştir ve “her ikisi” anlamındadır. Hem pozitif (katyonik) hem de negatif (anyonik) grup taşıyan yüzey aktif maddeler için kullanılır. Sulu çözeltinin pH değeri değiştirilerek amfoterik yüzey aktif maddenin katyonik ya da anyonik karakteri değiştirilebilir. Nötr pH değerlerinde her iki iyonik grup eşit iyonlaşma gösterir. Buna izoelektrik noktası (ya da alanı) denir. Bu tip molekül zwitterion olarak tarif edilir.

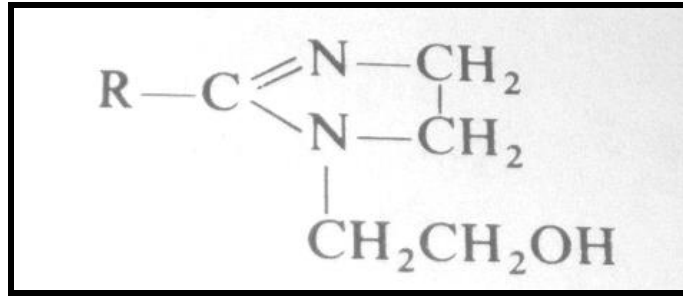
İzoelektrik noktası kesin bir nokta değildir ve anyonik ve katyonik grupların doğasına bağlıdır. En yaygın anyonik grup karboksil (COOH) ve en yaygın katyonik grup ta amin grubudur (NH₂). İzoelektrik nokta amfoterik reaktiflerin, yüzey aktif madde özelliğinin en düşük olduğu noktadır (minimum köpürme, minimum ıslatma, minimum deterjan özelliği). İzoelektrik noktada çözünebilen amfoterik reaktifler, her pH’da çözünebilir. İzoelektrik noktanın altında veya üstünde amfoterik reaktifler, çok nadiren tamamıyla anyonik veya katyonik olabilirler (Porter, 1991).



Şekil 2.13 Amfoterik Yüzey Aktif Maddelerin Sulu Çözeltilerinin Davranışı

En önemli amfoterik yüzey aktif maddeler şunlardır:

- N-alkil betainler
- N-alkilaminopropionatlar veya N-aminodipropionatlar
- N-alkil glisinatlar
- Karboksi glisinatlar
- Alkil imidazolin bazlı ürünler
- Alkil poliamino karboksilatlar veya poliamfokarboksi glisinatlar
- Amin oksitler



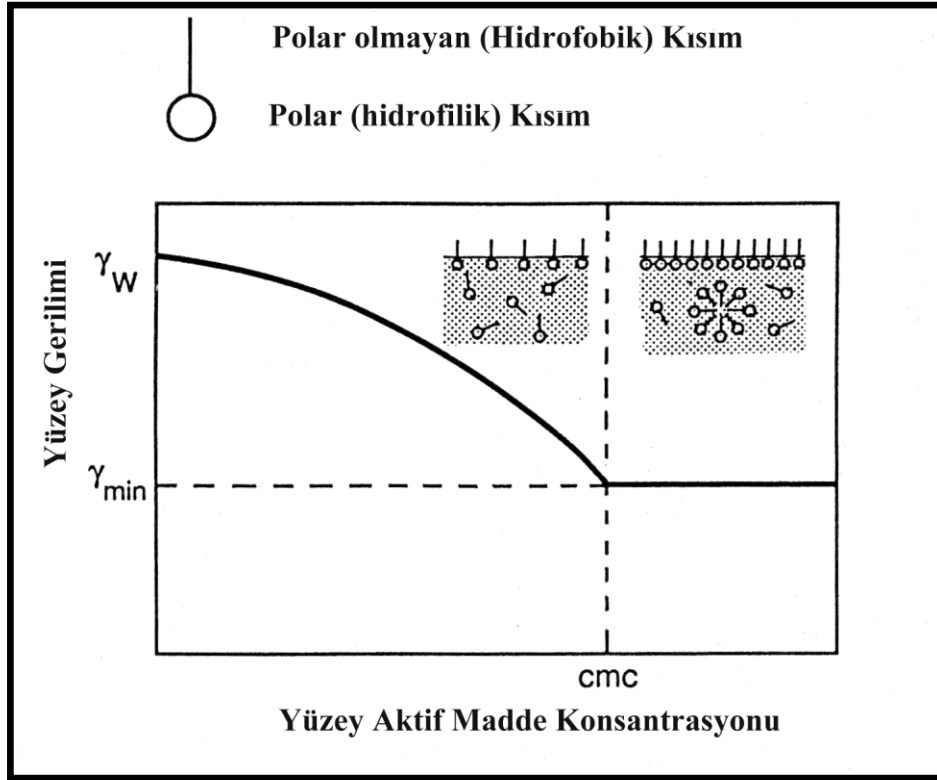
Şekil 2.14 İmidazolin

Amfoterik reaktifler, tüm yüzey aktif maddelerle uyumludur. Pozitif ve negatif yüklü yüzeylere hidrofobik film oluşturmada adsorplanabilir. Fakat etanol dahil ,organik çözücülerin çoğunda çözünemezler (Rosen, 1989).

2.5 Yüzey Aktif Madde İlaveli Filtrasyon

2.5.1 Yüzey Aktif Maddelerin Süspansiyon İçerisindeki Davranımı

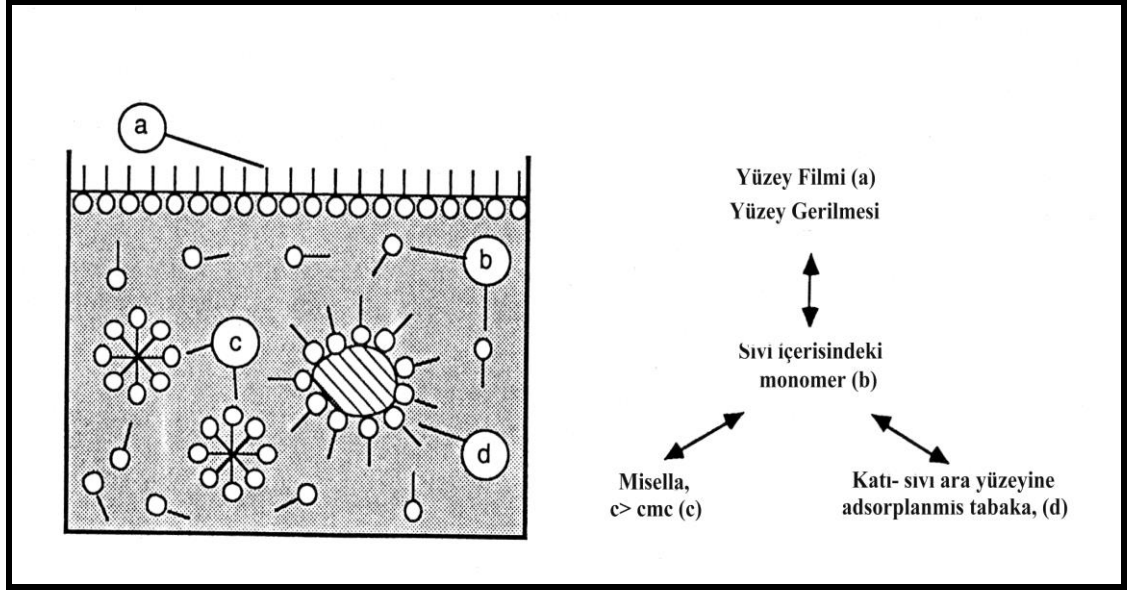
Yüzey aktif maddeler sıvının yüzey gerilimini düşürürler. Sulu bir çözeltideki yüzey aktif maddelerin davranımı Şekil 2.15'te gösterilmektedir (Stroh ve Stahl, 1990)



Şekil 2.15 Sıvı-Hava Ara Yüzeyinde Yüzey Aktif Madde Adsorpsiyonu ve Yüzey Geriliminin Düşürülmesi

Yüzey aktif madde konsantrasyonunun kritik misel konsantrasyonundan daha küçük olduğu bölgelerdeki konsantrasyonlarda ($c < cmc$) sıvı-hava ara yüzeyinde yüzey geriliminin düşmesinin nedeni hidrokarbon zincirleri arasındaki etkileşimlerin daha düşük olmasıdır (Stroh ve Stahl, 1991).

Katı- sıvı ayırma işlemleri öncesinde, yüzey aktif maddelerin süspansiyonda bir adsorpsiyon dengesi meydana getirdikleri düşünülür. Bu denge Şekil 2.16'da gösterilmektedir. Bu dengenin yanı sıra süspansiyondaki yüzey aktif madde monomer konsantrasyonu, yüzey gerilimi, özellikle misel oluşumu, yüzey aktif madde adsorpsiyonu büyük rol oynar. Çok ince öğütülmüş katı içeren bir katı- sıvı süspansiyonuna yüzey aktif maddelerin ilavesi ve yüzey aktif maddelerin katı-sıvı ara yüzeyindeki adsorpsiyonu serbest ara yüzey enerjisinin (yüzey gerilimi) azalması ile olur (Stahl ve Stroh, 1990).

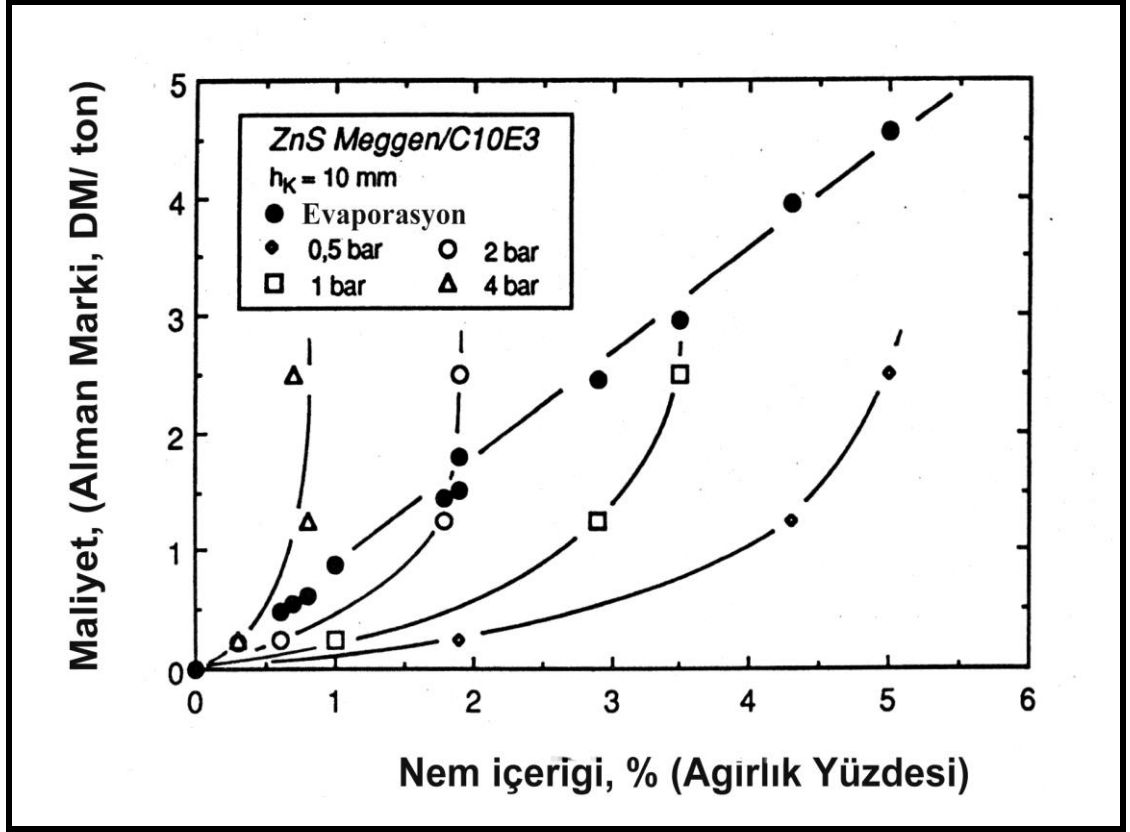


Şekil 2.16. Bir Süspansiyondaki Adsorpsiyon Dengesi

Katı- sıvı ara yüzeyinde yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonunun sadece yüzey gerilimini düşürmekle kalmaz. Süspansiyonların stabilitesi ve ıslatma karakteristikleri üzerine de etkileri bulunmaktadır. İyonik yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonu, elektriksel itme kuvvetlerinin etkisinin (elektrostatik itme – elektriksel çift tabaka, zeta potansiyeli) artması nedeni ile süspansiyon stabilitesini arttırmaktadır. Islatma karakteristikleri üzerine etkisi ise Bölüm 2.3.5’te belirtildiği gibi Young eşitliği ile açıklanabilir. Katı yüzeyindeki adsorpsiyon sonucu spesifik ıslatma enerjisindeki ($\gamma_K - \gamma_{KS}$) azalma, temas açısını artırır. Diğer yandan, yüzey geriliminin düşmesi ile buna bağlı olarak temas açısı azalır (Stahl ve Stroh, 1992.b).

2.5.2 Yüzey Aktif Madde İlaveli Filtrasyon Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Yüzey aktif maddelerin filtre kekleri üzerindeki etkisi, süspansiyonun yüzey gerilimini düşürmeleri nedeniyle filtre kekinin kapiler basıncını düşürmeleridir. Kapiler basıncın düşürülmesi kekin nem içeriğini azaltarak filtrasyon işlemine yardımcı olmaktadır. Yüzey aktif maddeli susuzlaştırma işlemi, filtre keklerinin termal kurutma ile susuzlaştırma işlemine göre daha ekonomiktir. Stroh ve Stahl, 1992, a. ince öğütülmüş ZnS- Flotasyon konsantresi ve ticari numune C-10 oxoalkol, 3mol etilenoksit $C_{10}E_3$ az köpük yapıcı noniyonik yüzey aktif madde ilavesi ile yapılan basınçlı filtrasyon işleminin Şekil 2.17’de evaporasyon ile karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 2.17. Yüzey Aktif Maddeli Filtrasyon ve Diğer Susuzlaştırma İşlemleri.

Özellikle vakum ve hiperbarik filtrasyon işlemine göre susuzlaştırıcı maddelerin ilavesinin daha tercih edilebilir olduğu daha net görülmektedir. Ayrıca, basınçlı filtrasyon ve yüzey aktif madde kullanımı ile susuzlaştırma kademesinde de sıvının sıkıştırılması için gerekli gücü azaltmaktadır

Yüzey aktif maddelerin filtrasyon hızı üzerindeki etkileri dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin mineralleri için Özcan ve arkadaşları tarafından incelenmiştir (Özcan ve diğ., 2000a). Filtrasyon hızının yüzey aktif madde ilavesi ile oldukça arttığı ve filtre keklerinin nem içeriğinin önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. Ayrıca filtrasyon hızının yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz durumlarda mineral tipi ve şekline bağlı olduğu görülmüştür (Benli-Gönül ve Özcan, 2002). Basınçlı filtrasyon deneylerinde yüzey aktif madde etkisinin yanı sıra minerallerin tane boyutunun filtrasyon hızı üzerinde çok etkili olduğu bilinmektedir (Benli, 2001). Yüzey aktif maddelerin kullanımı üzerine killerin filtrasyonunda çalışmalar sürmektedir (Özcan ve diğ., 2000b WFC8).

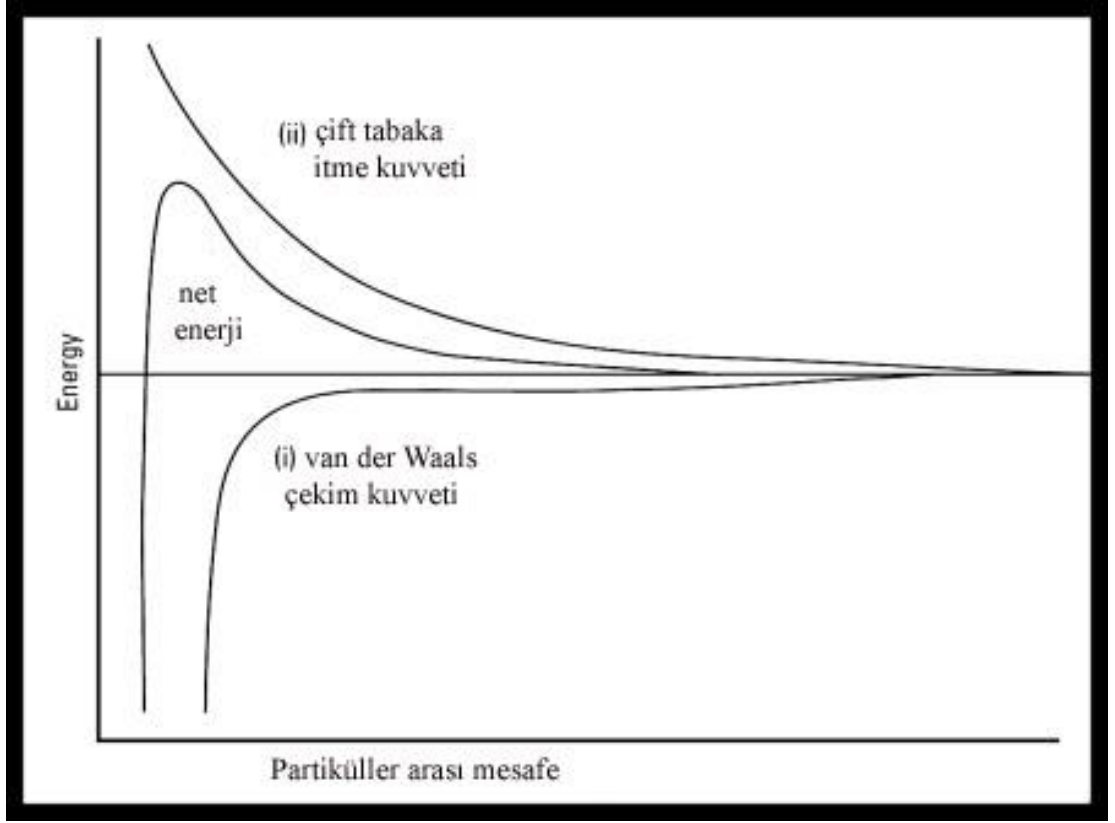
2.6 Flokülasyon

Sıvı içindeki küçük taneciklerin, çökebilecek veya süzölebilecek büyüklükte flok oluşturmak üzere agregasyonu, pek çok endüstriyel üretimde, su ve atık su işlenmesinde çok kullanılan temel bir işlemdir. Bir kimyasal madde ilavesi ile gerçekleştirilen bu agregasyon işlemi için, eskiden koagülasyon ve flokülasyon terimleri aynı anlamda kullanılırdı (Gregory, 1989). Bir kolloid kimyacısı olan La Mer, koagülasyonu katı-sıvı ara yüzeyindeki elektriksel itme kuvvetlerini azaltan iyonların ilavesi ile kolloid dispersiyonlarının destabilizasyonu; flökülasyonu ise şarj nötralizasyonundan farklı bir mekanizma üzerinden ve polimerlerin yardımıyla kolloidal süspansiyonların agregasyonu olarak tanımlamıştır (Akers, 1975).

Floküle olan tanecikler, genelde kolloid boyutlarda olduklarında (1nm ile 1µm arasında), daha çok difüzyondan (Brownian hareketi) dolayı çok yavaş çökerler. Bu durumda tanecikler arasındaki kuvvetler kolloid stabilitesinde çok önemli rol oynarlar. Agregasyona direnç gösteren kolloidal tanecikler kararlı (stabil), kolaylıkla agregate olanlar ise kararsız (non stabil) olarak isimlendirilir. 1µm'den büyük tanecikler için yer çekimi gibi dış kuvvetler, tanecikler arası kuvvetlere göre daha büyük önem kazanırlar. Bununla birlikte kolloidal tanecikler arasındaki tüm etkileşim kuvvetleri daha büyük tanecikler için de geçerlidir ve pratikte boyutu 1mm'ye kadar olan tanecikler de flokülasyon işlemi içinde göz önüne alınırlar (Gregory, 1989).

İki tanecik birbirine yaklaştığında flokülasyona etki eden çeşitli etkileşimler olabilir. Bunlardan en önemlileri van der Waals çekimi ve elektriksel itmedir. Derjaguin, Landau, Verve ve Overbeek tarafından geliştirilen D.L.V.O. kolloid stabilitesi teorisine göre, her iki etkileşim, toplam etkileşimi vermek üzere toplanabilirler ve sonuçlar bir potansiyel enerji / uzaklık grafiğinde bir enerji engeline ve itmeye tekabül eden bir pozitif sonuç eğrisi ile çekim ve destabilizasyona tekabül eden bir negatif eğri olarak ifade edilebilir (Akers, 1975).

D.L.V.O. teorisi ile birçok flokülasyon datalarını açıklamak mümkün olmakla birlikte bunların dışında kalan farklı birçok etkileşim de mevcuttur. Bunların arasında, taneciğe adsorplanan bir polimerin bir köprüleme veya itme yaratabilmesi, hidrofobik etkilerin tanecikler arasında çekim ve tanecik yüzeyindeki iyonların hidratasyonlarının itmeye sebep olabileceği gibi durumlar göz ardı edilemez.

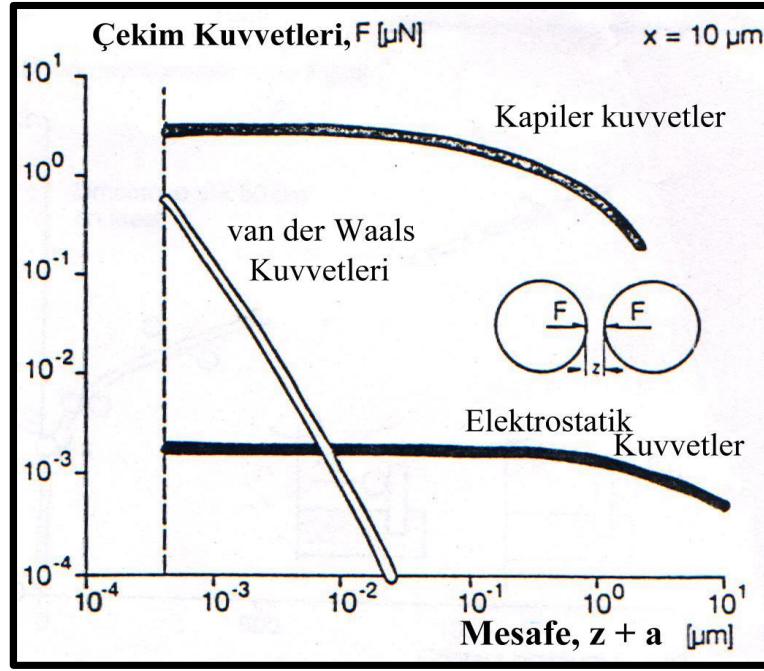


Şekil 2.18 D.L.V.O. Teorisi

2.6.1 Van der Waals Etkileşimi

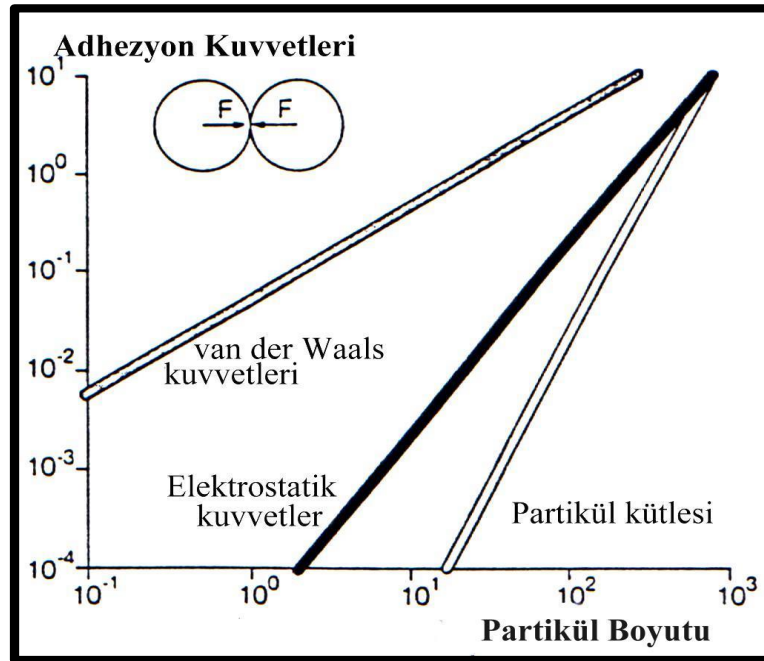
Van der Waals kuvvetleri kararsız dipollerdeki elektron akışı nedeni ile oluşan dipoller arası etkileşimin sonucudur (Rumpf, 1977). Atom ve moleküller arasındaki çekim kuvvetleri, yani van der Waals kuvvetleri makroskopik maddeler arasında da vardır. Bu etki additiftir, yani ilk kolloidin bir molekülü ikinci kolloidin her bir molekülü arasında bir van der Waals çekimi vardır. Bu çekim her bir molekül için aynı şekilde tekrar edildiğinden, iki kolloid arasında çekim kuvveti, tüm moleküler çekim kuvvetlerinin toplamıdır (Gregory, 1989).

Van der Waals kuvvetlerini etkileyen en önemli parametreler partiküller arası mesafe ve partiküllerin boyutudur. Van der Waals kuvvetleri diğer çekim kuvvetleri olan elektrostatik çekim ve kapiler kuvvetler ile karşılaştırıldığında Van der Waals kuvvetleri mesafenin altıncı kuvveti ile ters orantılı iken kapiler kuvvetler ve elektrostatik kuvvetler daha uzun mesafede etkilerini sürdürürler. Kapiler kuvvetler, partikülleri birbirine bağlayan sıvı köprülerinin kırılmasıyla etkilerini elektrostatik kuvvetler kadar sürdüremezler ve hızla azalır (Sommer, 1992, Rumpf ve Schubert, 1975).



Şekil 2.19 Partiküller arasındaki mesafe ve çekme kuvvetleri

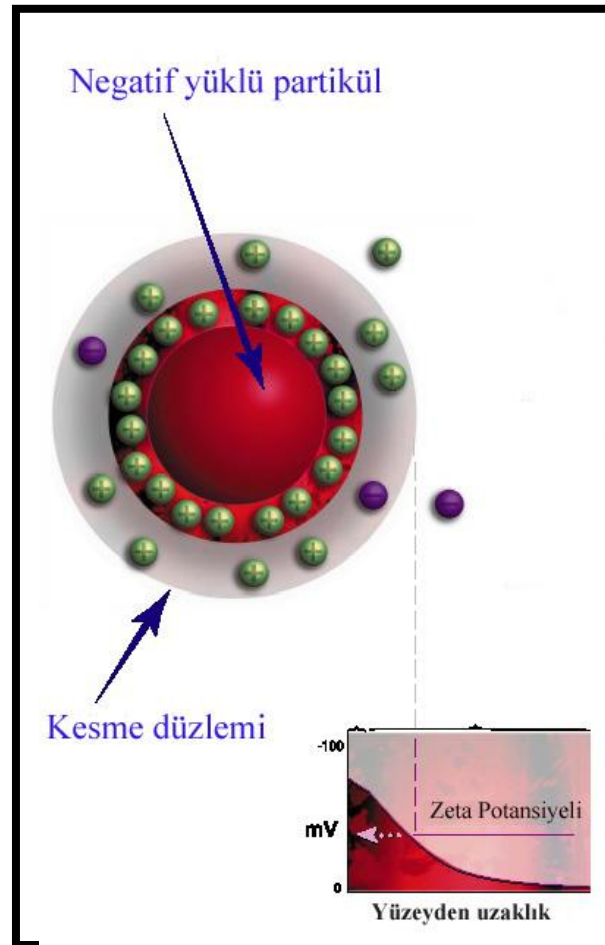
Partikül boyutu ve kütesinin azalmasıyla van der Waals kuvvetlerinin etkisi elektrostatik kuvvetlere göre daha yüksek olmaktadır (Sommer, 1992)



Şekil 2.20 Partikül boyutu ve adhezyon kuvvetleri

2.6.2 Elektrostatik kuvvetler

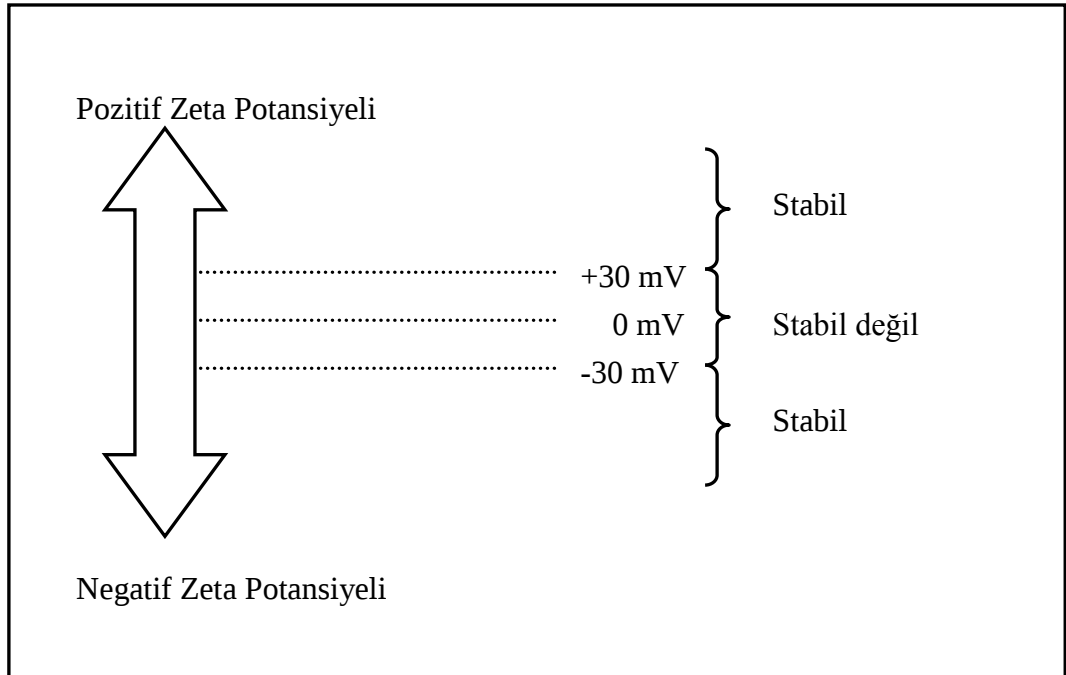
Sulu ortamda taneciklerin çoğu, yüzey gruplarının iyonizasyonu, iyonların spesifik adsorpsiyonu gibi çeşitli nedenlerden dolayı yüklüdürler. Bir elektrolit çözeltisinde, yüklü partikül etrafındaki iyonların dağılımı homojen olmadığından, bir elektriksel çift tabaka oluşumuna neden olurlar (Gregory, 1989). Çözeltideki pozitif yüklü iyonlar elektrostatik kuvvetlerle negatif yüklü kolloid tarafından çekilirler ve kolloid yüzeyi etrafında Stern tabakası olarak adlandırılan sıkıca sarılmış bir tabaka oluştururlar. Negatif kolloid tarafından çekilen başka pozitif iyonlar da hem Stern tabakası hem de kolloide yaklaştıkça giderek azalır ve çözeltideki zıt iyon konsantrasyonuna ulaşır. Negatif kolloid tarafından itilen negatif iyonların konsantrasyonu da yüzeyden uzaklaştıkça artar ve denge konsantrasyonuna ulaşır.



Şekil 2.21 Elektriksel Çift Tabaka ve Zeta Potansiyeli

Difüz tabaka kolloidin etrafını saran bir yüklü atmosfer gibi düşünülebilir. Yüzeyden itibaren herhangi bir mesafedeki yük yoğunluğu, o noktadaki pozitif ve negatif iyonlarının farkına eşittir. Stern tabakasındaki zıt iyonlar ve difüz tabakasındaki yüklü atmosfer, çift tabakayı oluştururlar. Bu tabakanın kalınlığı, çözeltideki iyonların konsantrasyonuna ve cinsine bağlıdır (Anon, 1991).

Zeta potansiyeli partikülün ortamdan kazandığı toplam yüküdür. Zeta potansiyelinin büyüklüğü kolloid sistemin potansiyel stabilitesini göstermektedir. Bütün partiküller, büyük pozitif ya da negatif zeta potansiyeline sahipse birbirini iterler, yani bu durumda dispersiyon stabilitesinden söz edilebilir. Eğer partiküller düşük zeta potansiyeline sahipse, bu durumda partiküllerin bir araya gelmesine engel olacak bir kuvvet yoktur ve dispersiyon stabilitesinden söz edilemez. Stabil ve stabil olmayan sulu dispersiyonlar arasındaki sınır $+30$ ve -30 mV civarındadır (www.silver-colloids.com).

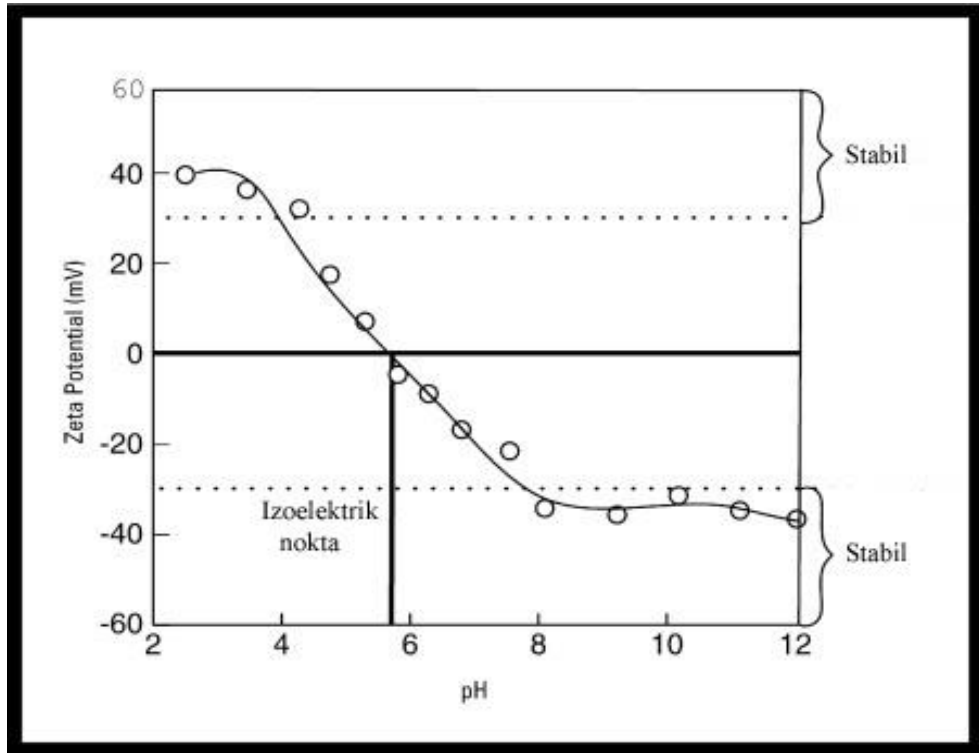


Şekil 2.22 Dispersiyon stabilitesi

Yüzey potansiyeli iki şekilde modifiye edilebilir. Birinci yöntemde, ki bu yöntem bağımsız elektrolit olarak isimlendirilen herhangi bir tuz ilavesi ile sağlanır, iyonik kuvvetin artırılarak Stern tabakası boyunca önemli miktarda bir potansiyel düşüşü sağlanır. İkincisi ve çok daha etkili olan yöntem ise, spesifik olarak adsorplanan zıt iyon içeren tuzların ilavesidir. Bu iyonlar zeta potansiyelinin işaretini değiştirecek

kadar adsorplanabilmektedirler. Çok değerlikli zıt iyonlar daha kuvvetli adsorplanırlar. Birçok oksit mineral, asidik ve bazik gruplarının iyonizasyonundan dolayı yüzey yükü taşırlar. Bu nedenle yüzey yükleri H^+ , OH^- iyonlarına ve pH'a bağlıdır (Gregory, 1989).

Zeta potansiyelini etkileyen en büyük faktör pH'dır. Zeta potansiyelinin değeri, ortam şartları (pH, yüzey yükü, konsantrasyon) bilinmeden anlamsız bir sayıdan başka bir şey değildir. Negatif zeta potansiyeline sahip bir süspansiyona alkali ilavesinde, partiküller daha fazla negatif yük kazanır. Asit ilavesinde belli bir noktada yük nötrlenir, devamında ise süspansiyon pozitif yüklenir. Bu genelleştirilecek olursa, zeta potansiyele karşı çizilen pH grafiğinde eğri, düşük pH değerlerinde pozitif, yüksek pH değerlerinde ise negatif değer alır. Eğrinin sıfır zeta potansiyel noktasından geçtiği pH değeri pratikte çok önemlidir. Bu nokta izoelektrik noktasıdır ve bu noktada kolloid sistemin en kararsız olduğu noktadır. Şekil 2.23'te görüldüğü gibi dispersiyon pH 4'ten küçük ve pH 8'den büyük değerlerde stabil olacak kadar yüklüdür. Fakat sistem pH 4 ve 8 arasında ise dispersiyon stabil olmayabilir. Bu durum pH 6 civarında görülebilir (izoelektrik noktası) (www.silver-colloids.com).



Şekil 2.23 Zeta Potansiyeli – pH grafiği

2.6.3 Hidratasyon Etkisi

Kolloidler, yüzeydeki iyonik gruplardan veya adsorbe iyonlardan kaynaklanan bir yüzey yükü ile birlikte Stern tabakasındaki zıt iyonlardan dolayı stabilize olabilir. Sulu çözeltilerdeki iyonlar hidrate olabildikleri gibi, yüzey iyonları da bir miktar “bağlı su” ile birleşerek hidrate olabilirler. Tanecik yüzeyindeki hidratasyonun sonucunda tanecikler arasındaki itme artmaktadır. Çünkü taneciklerin teması için iyonların hidratasyon sularını kaybetmeleri gerekmektedir. Bu ek itme kuvveti, hidratasyonun derecesinin artması ile artar ($Li^+ \cong Na^+ > K^+ > Cs^+$) (Gregory, 1989).

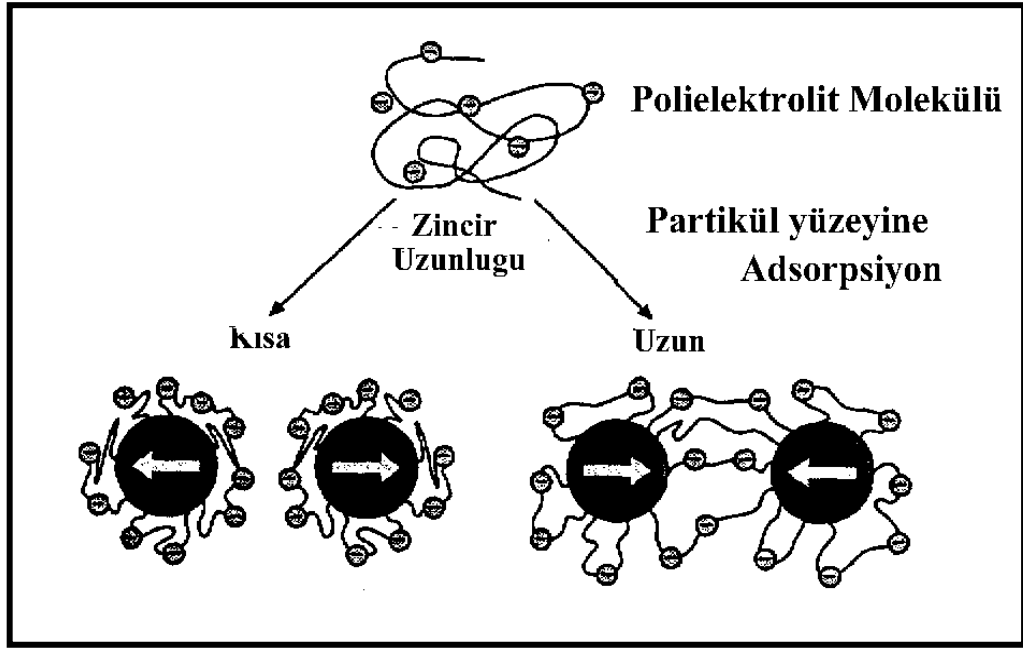
2.6.4 Hidrofobik Etkileşim

Sulu sistemlerde kolloidler bilindiği üzere hidrofilik veya hidrofobik yapıda olabilirler. Hidrofilik kolloidler suda çözünür, hidrofobikler ise suda çözünürlüğü az olan maddelerden oluşur. Bazen, hidrofobik taneciklerin su ile ıslanabilen hidrofilik yüzeyleri olabilir. Bazen de yüzeylerde, ıslanamayan, hidrofobik karakterli bölgeler olabilir. Bu durumda tanecikler arasında çekime neden olan hidrofobik etkileşim ortaya çıkar. Bir hidrofobik yüzeyin hidrojen bağı veya iyon hidratasyonu yapma olanağı olmadığından suya afinitesi (ilgisi) yoktur. Bu nedenle su bu bölgelere temastan kaçınır. Sulu çözeltilerde hidrofobik kısımları olan moleküller, hidrofobik kısımların su ile temasını azaltmak için, birbirleriyle birleşirler. Hidrofobik etkileşim flokülasyonda çok önemlidir (Gregory, 1989).

2.6.5 Sterik etkileşim

Süspansiyonda çözünmüş elektrolit konsantrasyonunun artması ile polimer zincirinin bir kısmı sulu faza ulaşacak şekilde elektrolitler mineral yüzeyine adsorplanırlar. Ortamdaki hidrokarbon grubunun iki partikül arasında itmeye sebep olması nedeniyle yaklaşamama dispersiyonu meydana getirir.

Adsorbe olan tabakanın kalınlığı, stabilizasyonda etkili olmaktadır. Adsorpsiyon kalınlığı ne kadar fazla ise sterik etkileşim o kadar artarak tanecikleri van der Waals kuvvetlerinin etkili olamayacağı mesafeye iter. Uzun zincirli elektrolitlerin kullanılması ile toplam yüzey alanındaki azalma tanelerin birbirine bağlanarak flokülasyon durumunu meydana getirmektedir. Dispersiyon ve flokülasyon Şekil 2.24’te gösterilmektedir (Gregory, 1989, Ruhland, 1999).



Şekil 2.24 Polielektrolit ilavesi ile mineral tanelerinin etkileşimi

3.DENEYSEL SİSTEMLER VE KARAKTERİZASYON

3.1 Deneyde Kullanılan Hammaddeler

3.1.1 Mineral ve Killer

Filtrasyon deneylerinde dolomit, kuvars, kalsit, kaolin ve mavi, yeşil, gri, beyaz olmak üzere dört ayrı kil kullanılmıştır. Mineral ve killere ait ortalama partikül çapları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Mineral ve killere ait ortalama partikül çapları

Mineral ve Kil	Tane Boyutu, D50,µm	Tane Boyutu, D100,µm	Kaynak
Dolomit	34,43	73	Kale Maden, Çanakkale
Kuvars	20,54	51,6	Kale Maden, Çanakkale
Kalsit	30,97	66,2	Kale Maden, Çanakkale
Kaolin	3,55	17,4	Kale Maden, Çanakkale
Mavi Kil	4,22	11,5	Etibank, Kırka
Yeşil Kil	3,13	11	Etibank, Kırka
Gri Kil	2,64	7	Etibank, Kırka
Beyaz Kil	5,69	15	Etibank, Kırka

Mineral ve killeri tane boyut ölçümleri CIS 100 (Ankersmid Ltd., Hollanda-İsrail) cihazıyla yapılmıştır. CIS 100 0,5-3600 mikron aralığında partikül boyut dağılımı (PSD, Particle Size Distribution) ve dinamik şekil karakterizasyonunu (DSC, Dynamic Shape Characterization) lazer ve video ölçüm kanallarıyla

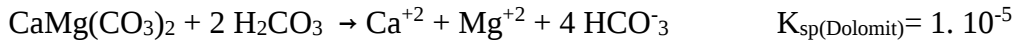
gerçekleştirmektedir. Lazer ölçümleri geçiş zamanı teorisine (TOT, Time Of Transition Theory) göre yapılmaktadır. Video kamera ölçümleri ise görüntü analiz tekniği ile yapılmaktadır (www.ankersmid.com).



Şekil 3.1 Ankersmid CIS 100 Tane boyutu ölçüm cihazı

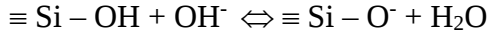
3.1.1.1 Dolomit

Dolomit minerali, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ yapısına sahip olup sulu çözeltiler ile temasta olduğunda kristal kafesinde tuttuğu Ca ve Mg iyonları çözeltideki iyonlar ile iyon değişimi meydana getirebilir. Dolomitin sulu ortamdaki çözünme reaksiyonu aşağıdaki gibidir (Stumm, 1972).



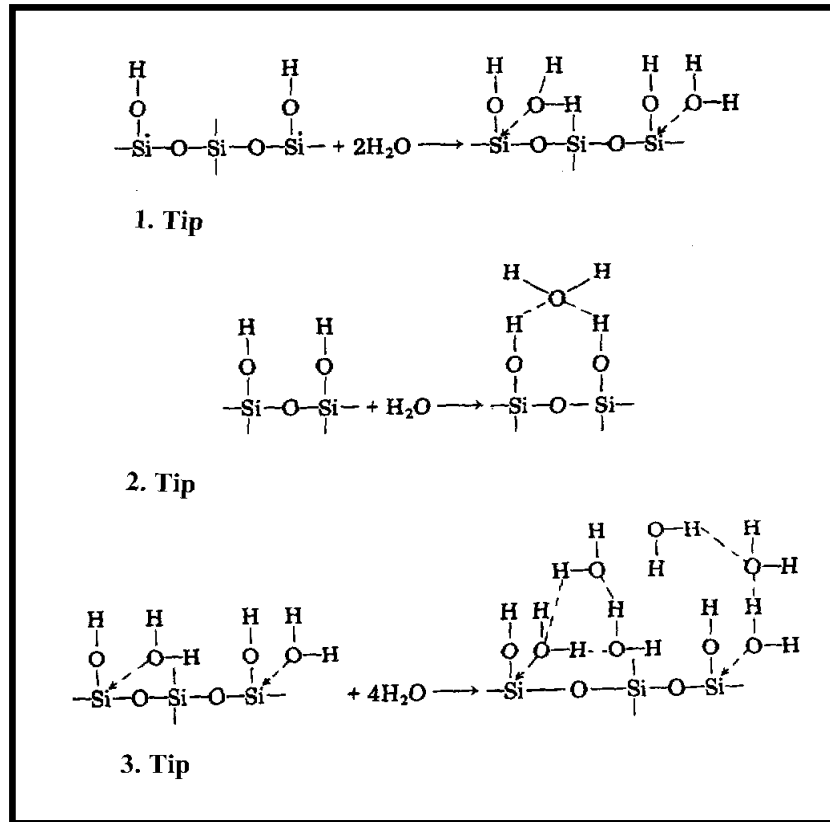
3.1.1.2 Kuvars

Kuvars minerali hem asidik ve hem de bazik çözeltilerde suya karşı kimyasal stabilitesi olan bir mineraldir. Silanol gruplarının hidratasyonu sebebi ile kuvars kırık yüzeylerinde asidik ve bazik ortamlarda meydana gelen farklı davranımlar aşağıdaki gibidir. Bu davranımlar kısaca; asidik ortamda pozitif veya tersine bazik ortamda negatif yük taşımaları şeklindedir.



SiO₂ yapısındaki kuvars minerali hidrate olarak su molekülünün adsorpsiyon merkezlerine hidrojen köprüleri ve van der Waals etkileşimleri ile bağlanır. Bağlanma tipleri, Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Ruhland, 1999).

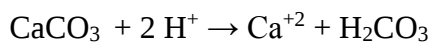
Kuvars mineralleri arasında hidrojen köprülerinin fazlalaşması, bağlanan su miktarını arttırmakta ve van der Waals kuvvetlerinin yaklaşık 5 kat azalmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.2 Kuvars mineraline su adsorplanma tipleri

3.1.1.3 Kalsit

Kalsit minerali, CaCO₃ yapısı ile dolomit minerali ile aynı grup içinde anılmakta olup benzer özellikler göstermektedir. Kalsitin sulu çözeltideki çözünme reaksiyonu aşağıdaki gibidir (Stumm, 1972).



$$K_{\text{sp}}(\text{Kalsit}) = 1 \cdot 10^{-8}$$

Suda her iki mineral de 10^{-3} mg/l çözünürlüğe sahiptirler ve polardırlar. Kalsit mineralinin sudaki çözünürlüğü sonucunda iki etki meydana gelmektedir (Ruhland, 1999). Bunlar:

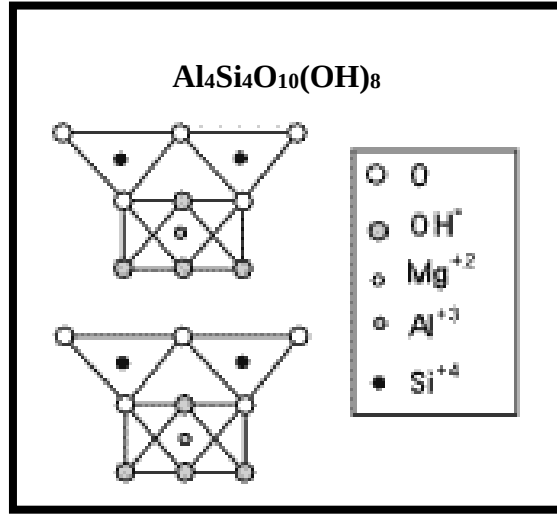
- a. Ortamda bulunan çözünmüş Ca^{+2} iyonları partikül çevresindeki çift tabaka kalınlığını azaltır.
- b. Çözünmüş Ca tuzlarının özellikle filtre keklerinin temas noktalarında tekrar kristallenmesi katı köprülerini artırır.

3.1.1.4 Killer

Killer volkanik kütlelerin çeşitli doğa olayları sonucu ayrışıp, suların etkisi ile sürüklenerek belirli bölgelere biriken, belirli bir miktar su ile karıştırıldığında plastik özellik kazanan ince taneli katı minerallerdir. Saf kil beyaz olup bu renk, kilin ana maddesi olan SiO_2 ve Al_2O_3 'ten gelmektedir. Silika ve alümina yanı sıra demir oksitler ve alkaliler de bulunur ki kilin kırmızımtırak rengini bu demir oksitler verir (Şenel, 1987).

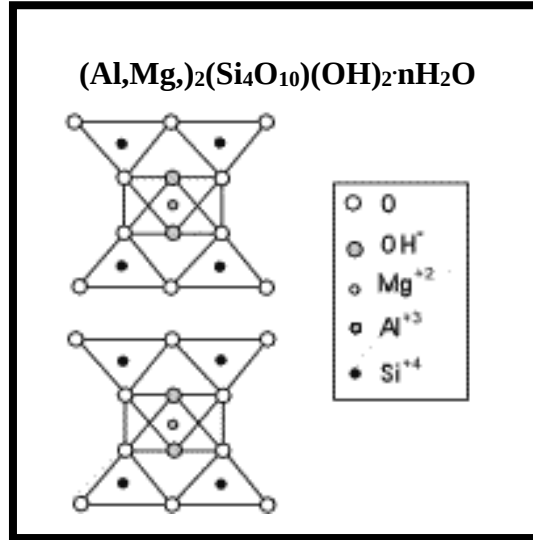
Killer, yapısında hidroksil barındıran plaka tipi alümino silikatların özel bir grubu olan minerallerdir. Killer filosilikat genel sınıfındadırlar. Genelde kolloid boyutlarda olan partiküller veya kristallerdir. Bundan dolayı kolloidlerin yüzey özelliklerine sahiptirler. Plastik, şişme (kafes genleşmesi), iyon değişimi, büyük spesifik yüzey alanı ve organik ve inorganik maddelerin adsorpsiyonu gibi temel özelliklerinden dolayı killer birçok üretim prosesinde ve endüstriyel ürünlerde kullanılmaktadırlar (Delgado, 2002).

Yapısına ve kimyasal bileşimine göre killer 3 temel gruba ayrılırlar. Kanditler, smektitler ve illitler. Kanditlerin en önemli üyesi kaolindir. Kaolin iki tabakalı killerden olup tabakalardan biri $\text{Al}(\text{OH})_3$ oktahedrali, diğeri de SiO_2 tetrahedraları oluşturur. Genel formülü ise $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ şeklindedir. Kaolin, alüminosilikat minerallerin tabiat olayları sonucu aşınması ve hidrotermal değişimi sonucu oluşmaktadır. Feldispat açısından zengin kayalar aşınarak kaolin oluştururlar. Granit kayaları feldispat açısından zengin olduklarından kaolinit için en önemli kaynaklardan biridir (www.ntnu.no).



Şekil 3.3 Kaolinin kimyasal yapısı (www.ntnu.no)

Smektitlerin en önemli üyesi montmorillonit grubudur. Deneylerde kullanılan mavi, yeşil, beyaz ve gri killer de montmorillonit grubundandır. Montmorillonit grubu üç tabakalı olup burada Al_2O_3 tabakasının her iki yanında birer silis tabakası bulunur. Genel formülleri $(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2\text{nH}_2\text{O}$ şeklindedir. Montmorillonit grubu volkanik küllerin aşınmasıyla oluşmuştur. Su ile temas ettiğinde kendi hacmini birkaç kat arttırabilir. Bu nedenle sondaj çamuru olarak kullanılmaktadır (matkap deliklerini açık tutmak için). Ayrıca toprakta, kayalarda ve barajlarda çatlakları tıkamada da kullanılmaktadırlar. Ancak tünellerde ve yoldaki çatlaklarda ciddi sorunlara yol açabilir (www.ntnu.no).



Şekil 3.4 Montmorillonit grubunun kimyasal yapısı (www.ntnu.no)

3.1.2 Boraks Dekahidrat

Filtrasyon ve flokülasyon deneylerinde kullanılan %3 Borakslı çözeltileri Etibank-Kırka tesislerinde üretilen boraks dekahidratın iki kere kristalize edilmesi sonucu saflaştırılan boraks dekahidrattan hazırlanmıştır.

3.1.3 Yüzey Aktif Maddeler

Deneylerde noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik olmak üzere dört farklı tipte yüzey aktif maddelerden birer örnek kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yüzey aktif maddelerin isimleri, tipleri ve nereden temin edildikleri Tablo 3.2’de belirtilmektedir.

Noniyonik yüzey aktif maddeler, diğerlerinden daha az köpürmesi nedeniyle endüstride sıkça kullanılmaktadır. Bu nedenle, Lutensol TO12, Pluronic PE 6200, Plurofac LF22, Plurofac LF431 noniyonik yüzey aktif maddeler arasından en az köpüren Plurofac LF431 deneylerde kullanılmak üzere seçilmiştir.

Tablo 3.2 Deneylerde kullanılan yüzey aktif maddeler

Yüzey Aktif Madde Tipi	Yüzey Aktif Madde İsmi	Kaynak
Noniyonik	Plurofac LF431	BASF
Anyonik	Sodyum Laoril Eter Sülfat, %70	BASF
Katyonik	Alkildimetilbenzil amonyum, %50	BASF
Amfoterik	Kokoamidopropil bütan, %30	BASF

3.1.4 Flokülün

Deneyde flokülün olarak iyonik olmayan poliakrilamid (PAM) kullanılmıştır. Flokülünün önce destile su ile %0.2’lik stok çözeltileri hazırlanmıştır. İşletmelerde kullanılan flokülünler ise boraks çözeltileri içerisinde hazırlanmaktadır. Boraks çözeltisi ile bazik ortamda oluşabilecek hidrolizlenmeyi önlemek amacıyla bu işlemlerden kaçınılmıştır. Stok çözeltilerden de deneylerde kullanılmak üzere destile su ile %0.05’lik çözeltileri hazırlanmıştır. Poliakrilamidlerin (PAM) seyreltik çözeltilerinin uzun süre stabil olmadığı bilinmektedir (Anon ,1974). Bu nedenle stok

özeltilerden seyreltme işlemi hemen deney öncesi yapılmıştır. Poliakrilamidin kimyasal yapısı, molekül ağırlığı, akrilik asit içeriğı Tablo3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 Poliakrilamid'in (PAM) özellikleri

Ticari Adı	Kimyasal Adı	Üretici Firma	Fiziksel Hali	Yükü	Molekül Ağırlığı (g/mol-g)	Akrilik Asit İçeriğı (%)
Superfloc N100	Poliakrilamid (PAM)	Cyanamid	Katı	İyonik Olmayan	(3-4)10 ⁶	4,27

3.2 Süspansiyonların Hazırlanması

Süspansiyonlar hacmen %10 olacak şekilde hazırlanmıştır. Filtrasyon deneylerinde 100ml, flokülasyon deneylerinde ise 200ml'lik süspansiyonlar hazırlanmıştır. Yapılan deneye bağılı olarak çözelti destile su, %3 borakslı destile su veya %3 borakslı ve yüzey aktif madde ilaveli olarak hazırlanmıştır. Jar Test cihazında (Portable-Jar Mixer, USA), karıştırma hızı ve tipi sabit tutularak tüm çalışmalar esnasında aynı homojenlikte süspansiyon eldesine çalışılmıştır.



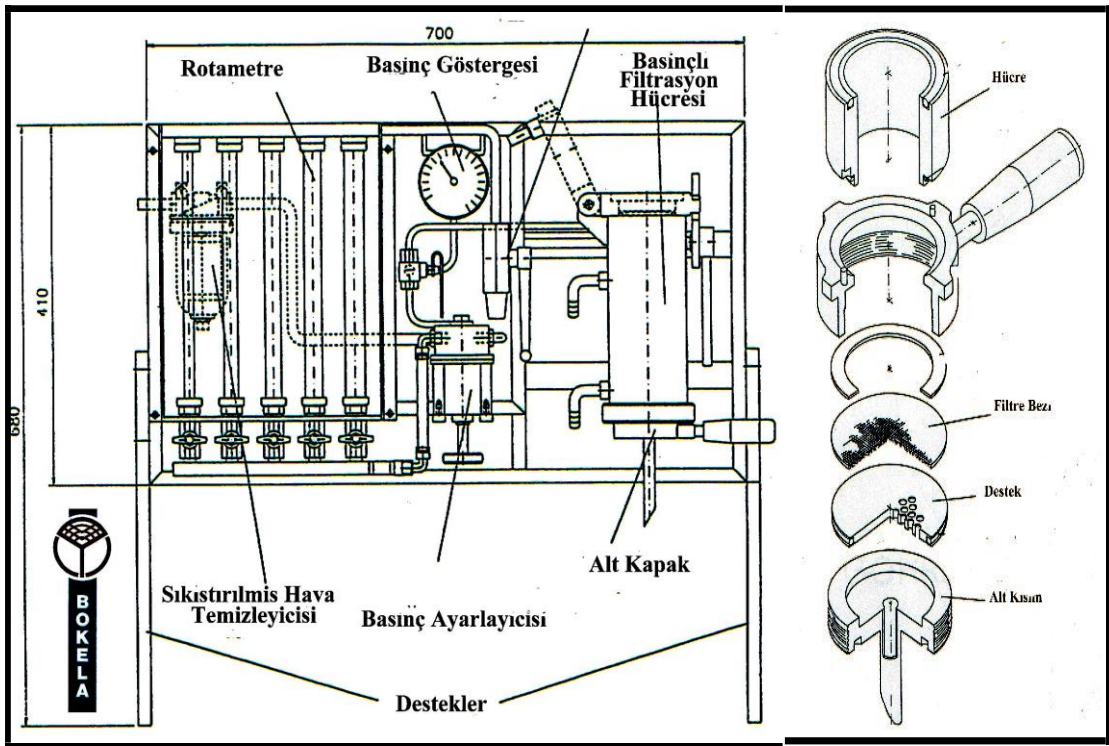
Şekil 3.5 Jar test cihazı

Jar test cihazı, aynı motorla çalışan ve aynı geometriye sahip 4 tane karıştırıcı elemandan meydana gelmiştir. 6 ile 130 dev/dak arasında karıştırma hızına sahiptir.

3.3 Filtrasyon Deneyleri

3.3.1 Filtrasyonda Kullanılan Deney Üniteleri

Filtrasyon deneyleri Bokela (Almanya) firmasından temin edilmiş olan ve 10 bar basınca kadar çıkabilen Filtratest cihazında yapılmıştır. Cihaz ve basınçlı filtrasyon işleminin gerçekleştiği hücre Şekil 3.6’da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Basınçlı Filtrasyon Cihazı ve Hücre Alt Kapağı

Filtrasyon cihazı Şekil 3.6’da görüldüğü gibi temel olarak, basınçlı filtrasyon hücresi, basınç kontrol üniteleri ve bilgisayardan meydana gelmiştir. Kompresörden gelen sıkıştırılmış hava, rotametre ve basınç ayarlayıcısından ve valfinden geçirilerek, filtrasyon hücresine gelir ve ortamın basıncını sabit tutar. Filtrasyon hücresi Şekil 3.6’da gösterildiği gibi üst kapak, basınçlı bölme ve alt kapak olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır. Üst kapak filtrasyonun takip edilebilmesi için pencere ve iç aydınlatmalı olarak dizayn edilmiştir. Basınçlı bölme ise ceketlidir. Alt kapak Şekil 3.6’da ayrıntılı olarak gösterildiği gibi süzütünün çıktığı alt kısım üstünde sırasıyla delikli metal destek ve filtre bezi ile hücreden meydana gelmektedir. Alt kapak

yüzeyi 19,63 cm² olup, maksimum 50 mm yüksekliğinde kek oluşturacak şekilde dizayn edilmiştir. Basınçlı filtrasyon hücresi altına yerleştirilen bir elektronik terazi yardımı ile toplanan süzöntü miktarı bilgisayara iletilmektedir. Süzöntü miktarının zamanla değişimi bilgisayarda Filtratest'in yazılımı sayesinde hem anında takip edilmekte hem de data çıktısı olarak deney sonunda ölçümler incelenebilmektedir.



Şekil 3.7 Bokela Filtratest cihazı

3.3.2 Filtrasyon Deneylerinin Yapılışı

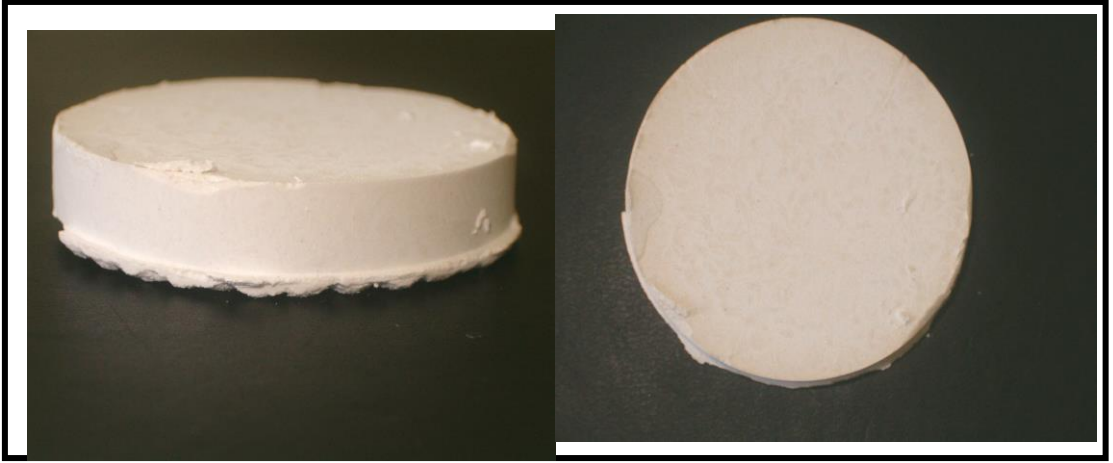
Deneyleri dört gruptan oluşmaktadır:

- Mineral – su süspansiyonları (1,2,4 ve 6 bar basınçta)
- Mineral – yüzey aktif madde ilaveli (20 ve 50 g/t kat) süspansiyonlar (6 bar basınçta)
- Mineral - %3 borakslı su süspansiyonları (1,2,4 ve 6 bar basınçta)
- Mineral - %3 borakslı su – yüzey aktif madde ilaveli (5,10,20,50 g/t katı) süspansiyonlar (6 bar basınçta)

Bölüm 3.2'deki gibi hazırlanan süspansiyonlar Filtratest cihazının basınçlı filtrasyon hücresine boşaltılır. Bilgisayarda mevcut olan Filtratest'in yazılımı çalıştırılıp basınç vanası açılmaktadır. Basınçlı filtrasyon hücresinin üst penceresinden bakılarak suyun

bittiği ve kekin kuruduğu anda basınç vanası kapatılır ve program sonlandırılır. Basıncılı filtrasyon hücresinin alt kapağı açılarak oluşan kekin yüksekliği ölçülür ve kek tartılır. Daha sonra kurumaya bırakılan kek tekrar tartılır.

Filtrasyon işleminde 5 µm polyester filtre bezi kullanılmıştır. Her deneyde yaklaşık 50mm çapında ve 10mm yüksekliğinde filtre kekleri elde edilmiştir. Dolomite ait filtre kek örneği Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 Dolomit filtre keki

3.4 Yüzey Gerilimi Ölçümleri

Yüzey gerilimi ölçümleri Şekil 3.9’da gösterilen Krüss Tensiometer K9 cihazında yapılmıştır. Ölçümlerde Wilhelmy metodu (levha metodu) kullanılmıştır. Geometrisi bilinen platin bir levha alt ucu sıvı yüzeyi ile temas ettirildiğinde sıvı adeta levha üzerine sıçrayarak yüzey gerilimin etkisiyle levhayı kendine doğru bir miktar çeker. Bu, ıslanmadan oluşan Wilhelmy kuvvetleridir. Levhanın sıvı yüzeyinden yukarı doğru çekilerek başlangıç konumuna getirilmesi sırasında yüzey gerilimi otomatik olarak ölçülür. Wilhelmy metodunun en önemli avantajı ölçülen değerin hidrostatik düzeltmeye ihtiyaç duymamasıdır.

%10’luk olarak hazırlanan süspansiyonların filtrasyon sonucunda oluşan filtratları alındıktan sonra en az 30 dakika bekletilmiş ve daha sonra berrak çözeltiden alınan numunelerde ölçümler yapılmıştır. Kaolindeki çözelti yeterince berrak olmadığından 0.45 µm membran filtreden süzildükten sonra yüzey gerilimi ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.9 Krüss Tensiometer K9

3.5 Zeta Potansiyel Ölçümleri

Minerallerin saf ortamda, iyonik olmayan, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddelerin ilave edildiği %3 borakslı ortamlarda yüzey özelliklerini belirlemek amacıyla zeta potansiyelleri ölçülmüştür. Zeta potansiyeli ölçümleri Zetasizer 3000 HSA (Malvern Instruments Limited, UK) cihazıyla yapılmıştır.

Minerallerin 0.3 g/l konsantrasyonunda hazırlanan süspansiyonlarında 15 ölçümün ortalama değeri alınarak zeta potansiyelleri tespit edilmiştir.

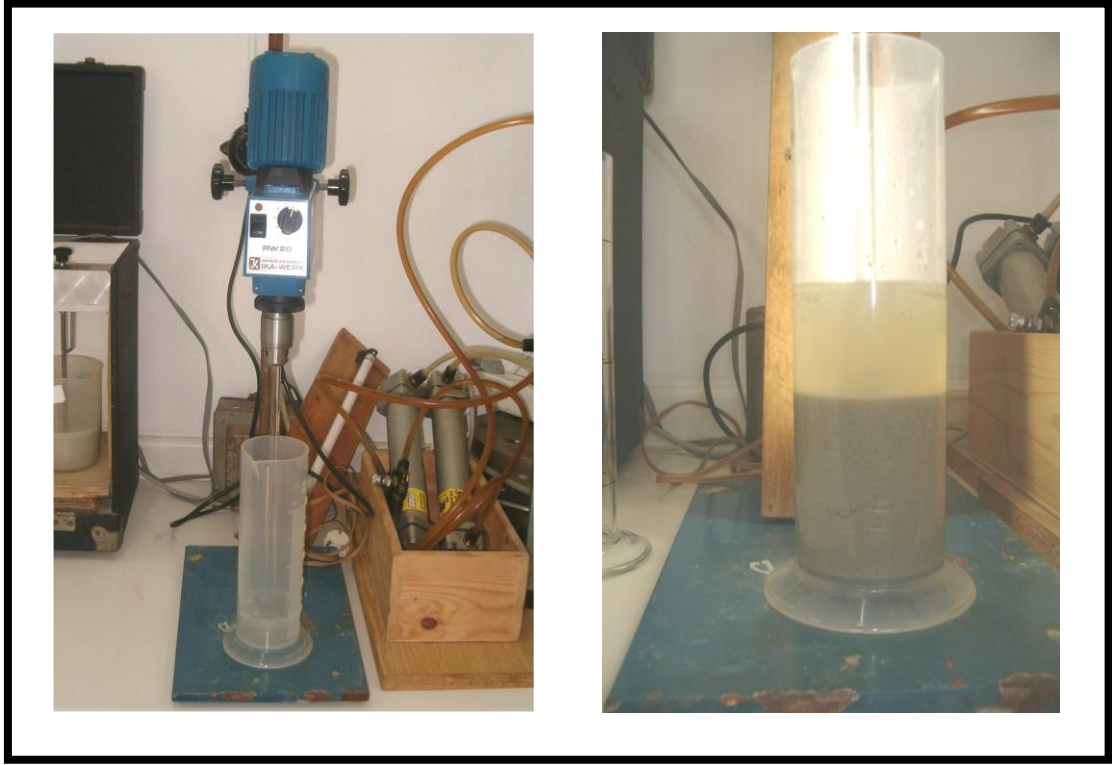


Şekil 3.10 Zetasizer 3000 HSA

3.6 Flokülasyon Deneyleri

Flokülasyon deneyleri 500ml’lik mezürde yapılmıştır. Karıştırıcı olarak da çapa tipi karıştırıcı seçilmiştir. Mezürün hemen arkasında flokülasyonun daha iyi gözlemlenebilmesi için bir ışık kaynağı yerleştirilmiştir.

Jar test cihazında hazırlanan çözeltiler mezüre boşaltılmıştır. 5 dakika karıştırmanın sonunda flokülünların %0.05’lik çözeltileri ilave edilip flokül oluşması için süspansiyonlar minimum hızda (50-60 dev/dak) 1 dakika daha karıştırılmıştır. Hemen ardından berrak sıvı yüksekliği ölçülmüştür. Yüzey aktif madde ilaveli flokülasyon deneylerinde ise süspansiyonlar mezüre boşaltıldıktan sonra yüzey aktif madde ilave edilmiş ve 5 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra flokülünların ilave edilmiştir.



Şekil 3.11 Flokülasyon Ünitesi

3.7 Bulanıklık Ölçümleri

Bulanıklık ölçümleri HACH Ratio Turbidimeter (18900-00 Model, USA) ile yapılmıştır. Cihazın ölçüm aralıkları 0-2, 0-20, 0-200 NTU olup 4000 NTU'luk Formazin ile kalibre edilmektedir (Greenberg, 1985).

Flokülasyon deneylerinde berrak sıvı yüksekliği ölçüldükten sonra, süspansiyonların üst fazından ucu düzleştirilmiş (homojen numune almak için) pipetle alınan 5 ml'lik berrak çözelti volumetrik balon joje ile 100 ml'ye seyreltilmiştir. Bu seyreltilmiş çözeltilerden alınan yaklaşık 25 ml'lik çözelti cihazın numune hücrelerine konularak okuma yapılmıştır.



Şekil 3.12 HACH Ratio Turbidimeter

4. DENEYLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

4.1 Dolomit, Kuvars, Kalsit ve Kaolin Mineralleri Filtrasyon Deneylerinin Sonuçları ve Değerlendirmeler

4.1.1 Minerallerin Saf Ortamdaki (Yüzey Aktif Madde ve %3 boraks ilavesi olmadan) Filtrasyon Hızı ve Nem İçeriği Ölçümleri

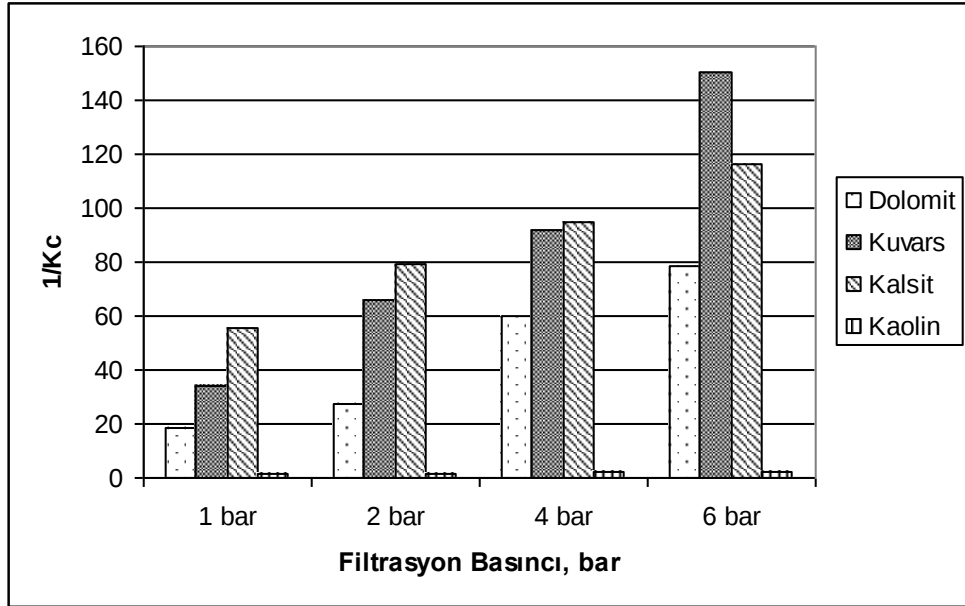
Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin filtrasyon davranımı, saf ortamda (YAM ve %3 boraks ilavesi olmadan) incelenmiştir.

Elde edilen deneysel sonuçlar Eşitlik 2.7’de açıklandığı gibi düzenlenmiştir. Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin mineralleri için t/v ve v grafiklerinden elde edilen doğru eğimleri spesifik kek direnci olan r_c , kayım değerleri ise ortam direnci olan R_M değerini vermektedir. Ortam direnci, spesifik kek direncinin yanında ihmal edilebilecek kadar küçük sayısal değere sahip olması nedeniyle filtrasyon hızı tamamen spesifik kek direnci ile ilgili denilebilir. Kısaca ifade etmek gerekirse, filtrasyon hızı, spesifik kek direnci ve dolayısıyla eğim değerinin tersi, $1/K_c$, ile doğru orantılıdır ve karşılaştırmalarda bu ifadeler kullanılmıştır.

Filtrasyon basıncının saf ortamdaki filtrasyon hızı üzerine etkisini inceleyebilmek için Bölüm 3.2’deki gibi hacimsel olarak %10’luk hazırlanan çözeltiler Şekil 3.6’da gösterilen basınçlı filtrasyon cihazında 1, 2, 4 ve 6 bar sabit basınçlarında yapılmıştır. Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin filtrasyon hızı sonuçları Tablo 4.1 ve Şekil 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1 Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin saf ortamda 1, 2, 4 ve 6 bar basınçta filtrasyon hızı sonuçları

ΔP	$1/K_c$ değerleri			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
1 bar	18,59	34,01	55,56	1,21
2 bar	27,32	66,17	78,97	1,36
4 bar	60,09	92,22	94,78	1,86
6 bar	78,35	150,67	116,32	2,04



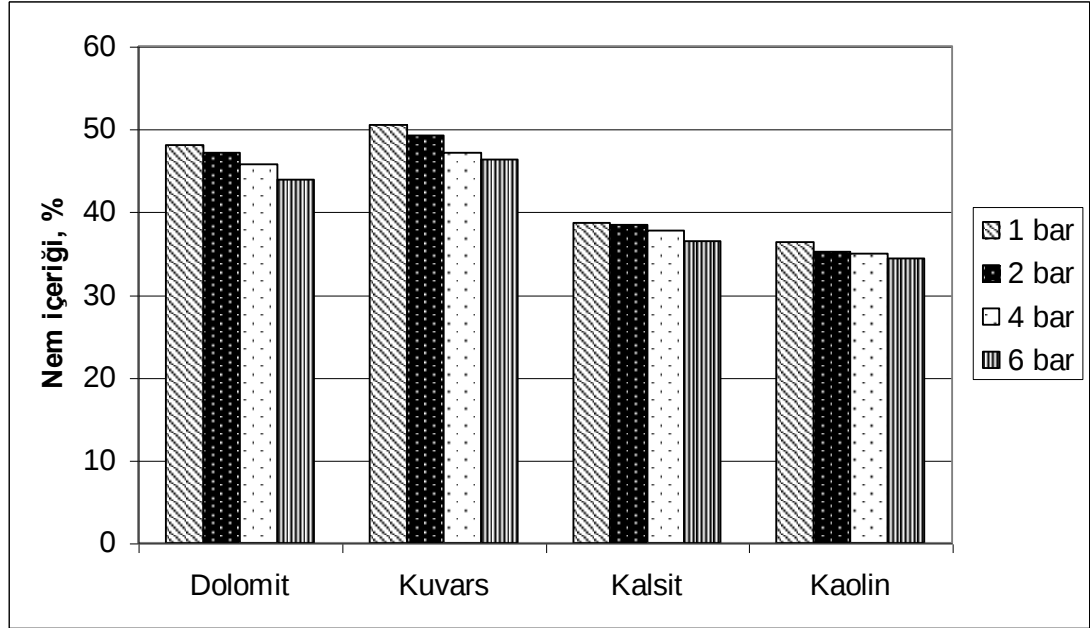
Şekil 4.1 Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin saf ortamda basıncın filtrasyon hızına etkisi

Tablo 4.1 ve Şekil 4.1’de görüldüğü gibi uygulanan filtrasyon basıncının artmasıyla filtrasyon hızı oldukça artmaktadır. Basıncın 1 bar’dan 6 bar’a artırılmasıyla dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için filtrasyon hızı sırasıyla %322, %343, %110 ve %69 artmaktadır.

Her dört mineral için yukarıda bahsedilen şartlarda filtrasyon sonucunda elde edilen filtre keklerinin nem içerikleri Tablo 4.2 ve Şekil 4.2’de verilmektedir.

Tablo 4.2 Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin saf ortamda 1, 2, 4 ve 6 bar basınçta filtre keklerinin nem içerikleri

ΔP	Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
1 bar	48,07	50,53	38,62	36,34
2 bar	47,16	49,23	38,47	35,22
4 bar	45,77	47,15	37,68	34,97
6 bar	43,86	46,35	36,44	34,4



Şekil 4.2 Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin saf ortamda basıncın filtre keki nem içeriklerine olan etkisi

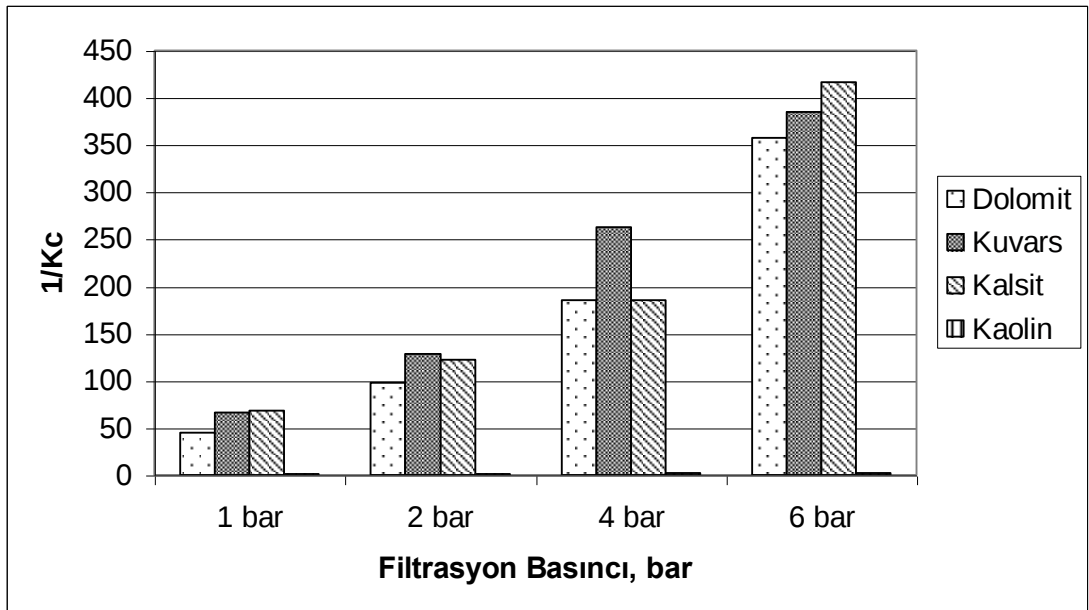
Tablo 4.2’de görüldüğü gibi filtrasyon basıncının artmasıyla nem içeriği önemli ölçüde azalmaktadır. Nem içeriği dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıyla %9, %8, %6 ve %5 oranında azalmıştır. En düşük nem içeriği kaolinde gözlenmektedir. Sebebi ise filtrasyonun uzun sürmesi nedeniyle filtre keklerinin orta kısmının iyice kurumasıdır. Diğer minerallerin filtrasyon hızları yüksek olduğu için böyle bir sorun yoktur.

4.1.2 Minerallerin %3 Borakslı Ortamda Filtrasyon Hızı ve Nem İçeriği Ölçümleri

Filtrasyon basıncının, minerallerin %3 borakslı ortamdaki filtrasyon hızı üzerine etkisini inceleyebilmek için Bölüm 3.2’de belirtildiği gibi hacimsel olarak %10’luk hazırlanan süspansiyonlar Şekil 3.6’da gösterilen basınçlı filtrasyon cihazında 1, 2, 4 ve 6 bar sabit basınçlarında yapılmıştır. Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin filtrasyon hızı sonuçları Tablo 4.3 ve Şekil 4.2’de verilmektedir.

Tablo 4.3 Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin %3 borakslı ortamda 1, 2, 4 ve 6 bar basınçta filtrasyon hızı sonuçları

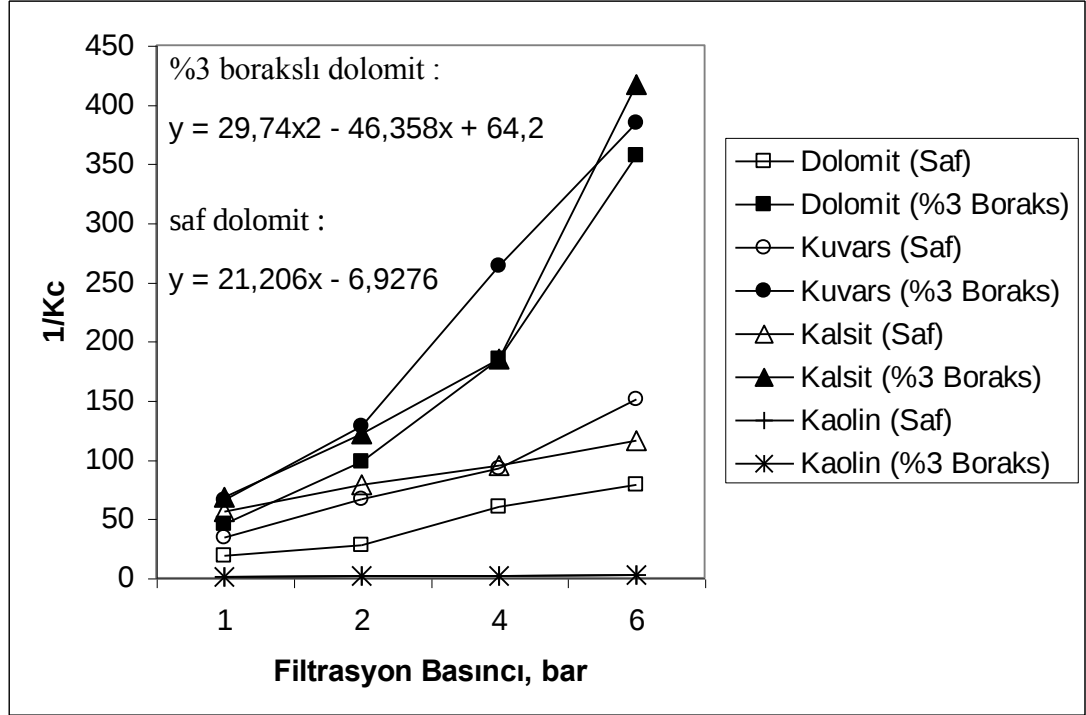
ΔP	1/K _c değerleri			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
1 bar	45,05	65,79	68,49	0,92
2 bar	98,04	128,21	121,95	1,36
4 bar	185,19	263,16	185,2	1,88
6 bar	357,14	384,62	416,67	2,71



Şekil 4.3 Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin %3 borakslı ortamda basıncın filtrasyon hızına etkisi

Tablo 4.3 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi %3 Boraks ilaveli ortamda gerçekleştirilen deneylerde basıncın artmasıyla filtrasyon hızı artmaktadır. Artışlar dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıyla %693, %485, %508 ve %173’dir.

%3 boraks ilavesi saf ortama göre (Tablo 4.1 ve 4.3, Şekil 4.1 ve 4.3) filtrasyon hızlarını, denenen tüm basınçlarda çok artırmaktadır. %3 boraks ilaveli ve saf ortamda elde edilen deney sonuçları toplu olarak Şekil 4.4’te verilmiştir.



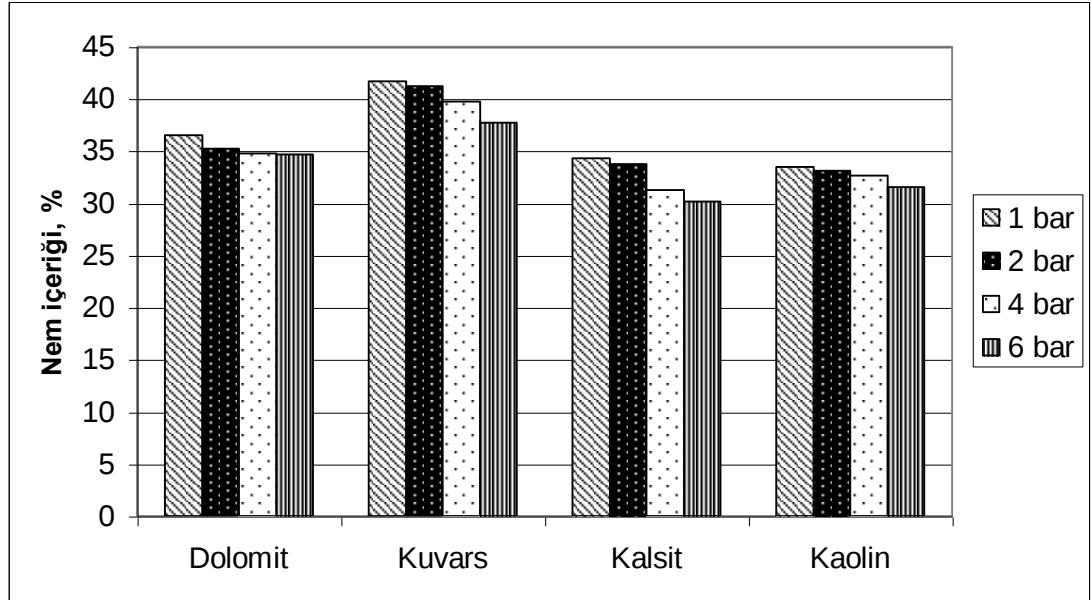
Şekil 4.4 Minerallerin saf ortam ve %3 Borakslı ortamda filtrasyon hızlarının karşılaştırılması

Şekil 4.4’te görüldüğü gibi filtrasyon hızının basınçla değişimi %3 boraks ilaveli ortamda saf ortama göre çok daha hızlıdır. Örneğin dolomitin %3 borakslı ortamda filtrasyon hızının basınçla değişimi 2. dereceden ifade edilirken, saf ortamdaki filtrasyon hızı 1. dereceden denklemlerle ifade edilmektedir.

Dolomit, kuvars kalsit ve kaolin minerallerinin %3 Boraks ilaveli süspansiyonlarının filtrasyonu sonucunda elde edilen filtre keklerinin nem içerikleri Tablo 4.4’te verilmektedir.

Tablo 4.4 Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin %3 borakslı ortamda 1, 2, 4 ve 6 bar basınçta filtre keklerinin nem içerikleri

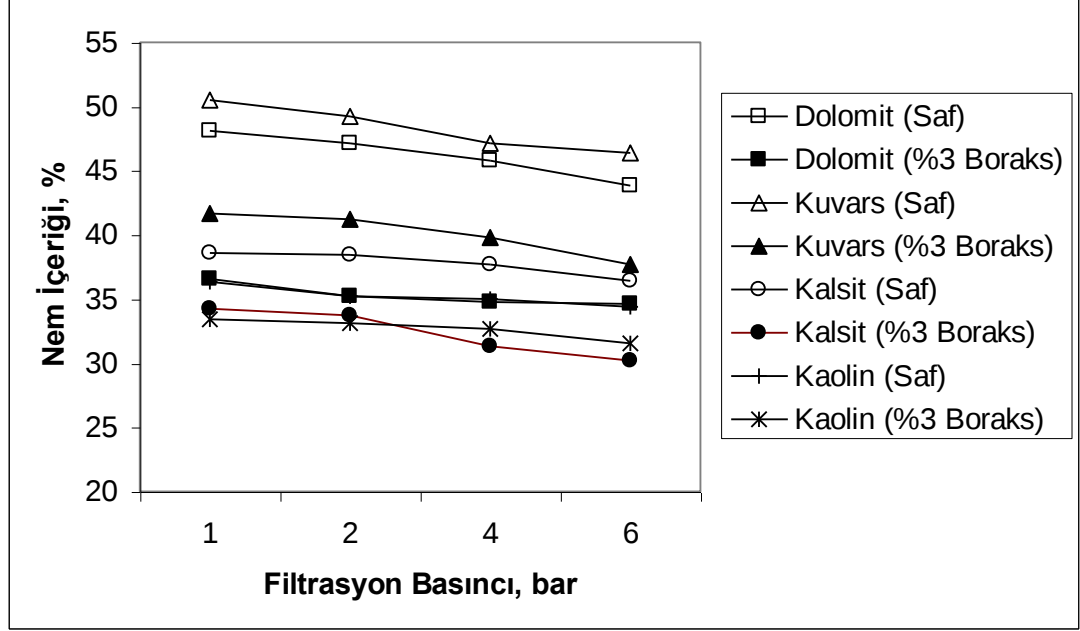
ΔP	Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
1 bar	36,53	41,69	34,26	33,45
2 bar	35,21	41,18	33,75	33,1
4 bar	34,76	39,78	31,29	32,63
6 bar	34,63	37,67	30,19	31,56



Şekil 4.5 Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin %3 borakslı ortamda basıncın filtre keki nem içeriklerine olan etkisi

Tablo 4.4 ve Şekil 4.5'te görüldüğü gibi basıncın artmasıyla filtrasyon sonucu elde edilen keklerin nem içeriği azalmaktadır. Azalma oranları dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıyla %5, %10, %12 ve % 6'dır. Tablo 4.3 ve 4.4 kıyaslanacak olunursa, boraksın etkisiyle filtre keki nem değerlerinde bir azalma söz konusudur. Bu azalma en fazla dolomit ve kuvars içindir. Kaolin ise en az etkilenen mineraldir. Boraksın tüm minerallerin filtrasyon hızını artırdığı ve kekin nem içeriğini azalttığı söz konusu tablo ve grafiklerden görülmektedir.

%3 boraks ilavesi saf ortama göre (Tablo 4.2 ve 4.4, Şekil 4.2 ve 4.5) filtre keki nem değerlerini çok azaltmaktadır. %3 boraks ilaveli ve saf ortamda elde edilen filtre keki nem değerleri toplu olarak Şekil 4.6’da verilmiştir.



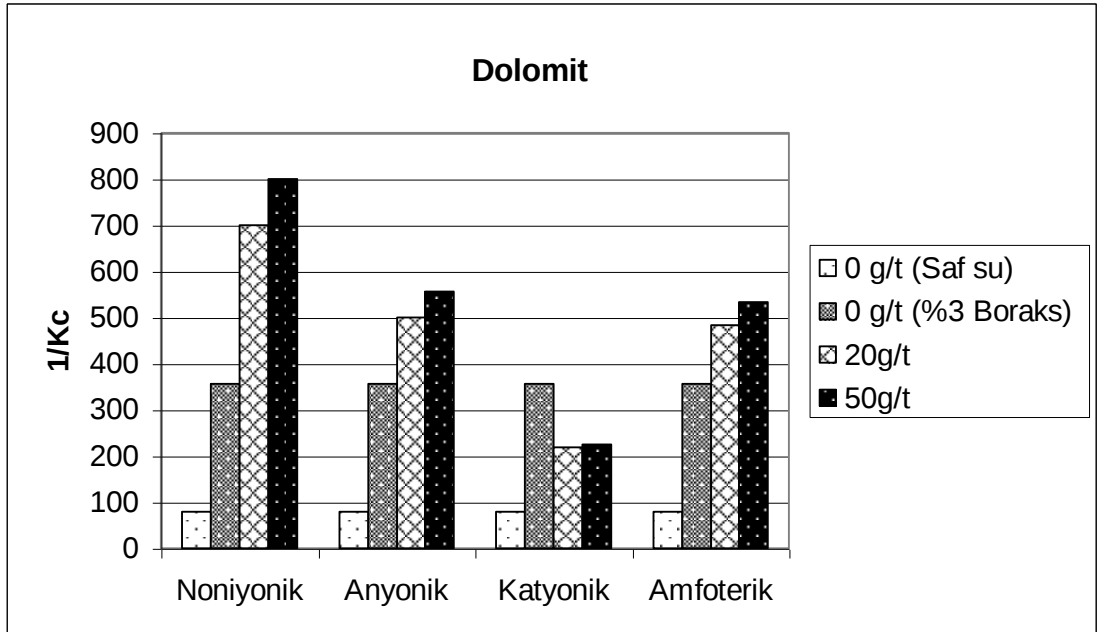
Şekil 4.6 Minerallerin saf ortam ve %3 borakslı ortamda, filtre keki nem değerlerinin karşılaştırılması

4.1.3 Minerallerin Saf Ortamda Yüzey Aktif Madde İlaveli Filtrasyon Hızı ve Nem İçeriği Ölçümleri

Yüzey aktif maddenin filtrasyon hızı üzerine etkisini inceleyebilmek için Bölüm 3.2’deki gibi hacimsel olarak %10’luk hazırlanan çözeltiler 20 ve 50g/t konsantrasyonunda 4 ayrı tip YAM ilave edilerek Şekil 3.6’da gösterilen basınçlı filtrasyon cihazında 6 bar sabit basınçlarında yapılmıştır. Önceki deneylerde 6 bar basınçta en yüksek filtrasyon hızları elde edildiği için bu ve bundan sonraki deneylerde de 6 bar’da çalışılmıştır. Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin filtrasyon hızı sonuçları Tablo 4.5 ve sırasıyla Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10’da verilmektedir.

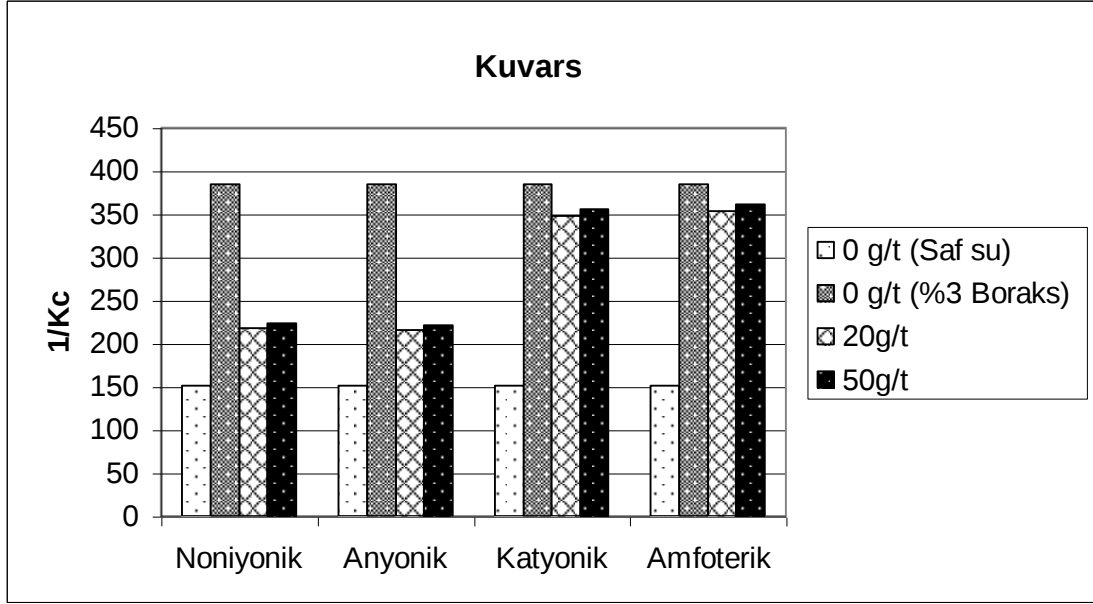
Tablo 4.5 20 ve 50g/t Saf ortamda YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızları

YAM cinsi	YAM miktarı g/t	1/K _c değerleri			
		Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
Saf su	0	78,35	150,67	116,32	2,04
%3 Boraks	0	357,14	384,62	416,67	2,71
Noniyonik	20	699,96	217,66	444,62	2,9
	50	800,43	223,54	476,35	2,98
Anyonik	20	500,8	215,98	337,14	3,01
	50	555,56	220,64	357,14	3,15
Katyonik	20	219,6	347,27	306,67	3,14
	50	225,3	355,96	322,18	3,67
Amfoterik	20	483,41	352,97	311,48	3,08
	50	533,69	360,6	334,95	3,56



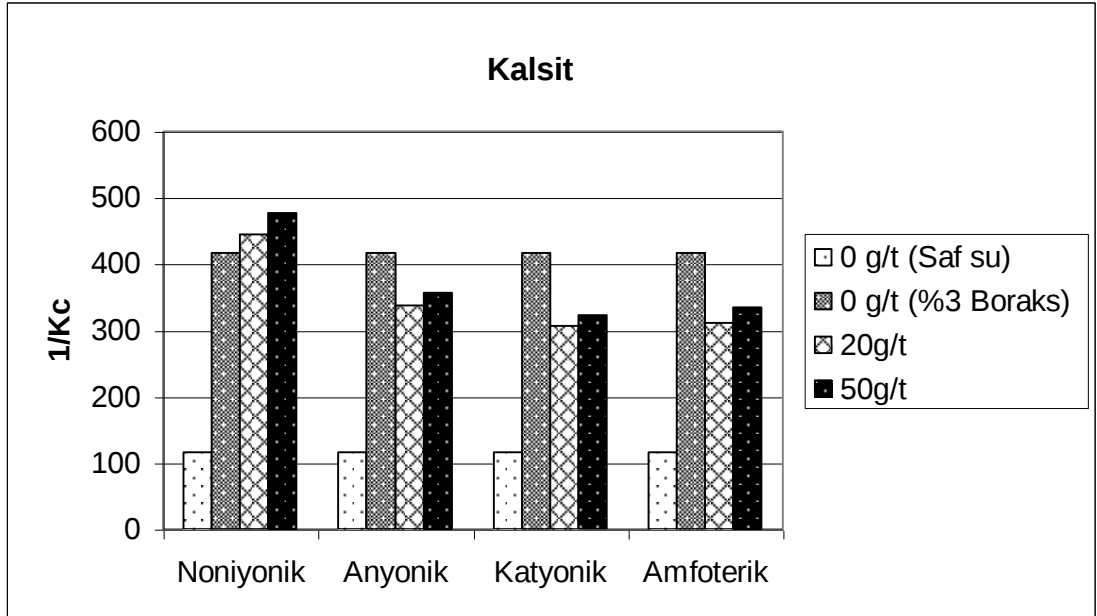
Şekil 4.7 Dolomit mineralinin saf ortamda 20 ve 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızlarının karşılaştırılması

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi dolomit mineralinin filtrasyonunda YAM miktarı arttıkça filtrasyon hızı artmaktadır. Noniyonik YAM ilaveli filtrasyon en hızlı gerçekleşmektedir. YAM ilavesi ile filtrasyon hızlarındaki artış noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla % 922, %609, %188 ve %581’dir. Filtrasyon hızlarındaki en büyük artış dolomit için noniyonik YAM ile gerçekleşmektedir.



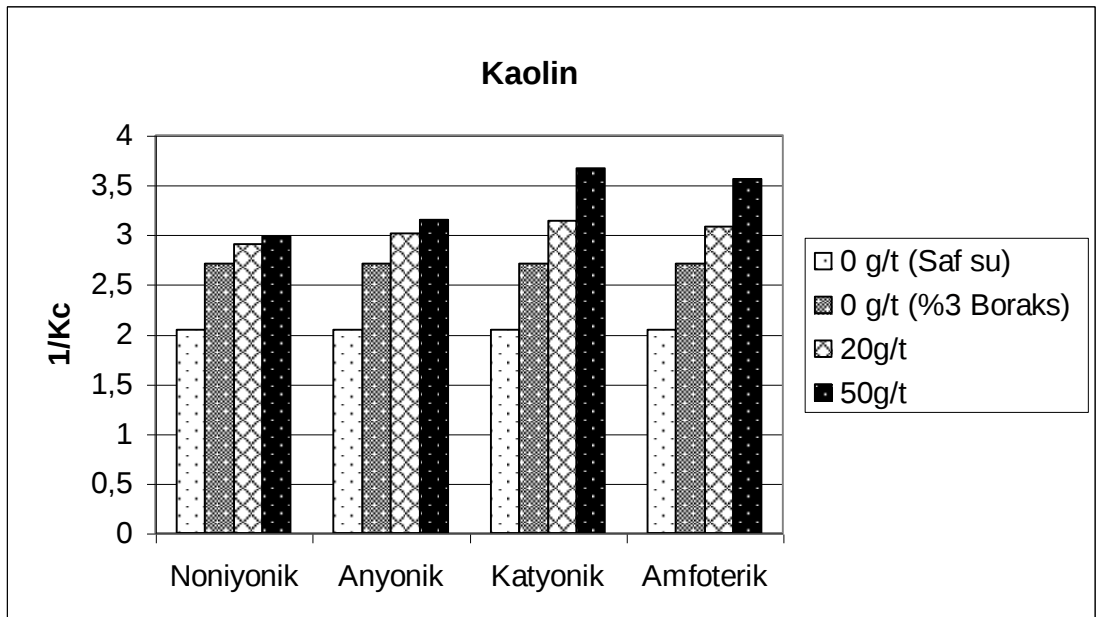
Şekil 4.8 Kuvars mineralinin saf ortamda 20 ve 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızlarının karşılaştırılması

Kuars mineralinin filtrasyonunda Şekil 4.8’de görüldüğü gibi YAM miktarı arttıkça filtrasyon hızı artmaktadır. Ancak 20 ile 50 g/t YAM ilavesi arasında pek bir fark görülmemektedir. Katyonik ve amfoterik YAM ilaveli filtrasyon en hızlı gerçekleşmektedir. YAM ilavesi ile filtrasyon hızlarındaki artış noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla % 48, %46, %136 ve %139’dur.



Şekil 4.9 Kalsit mineralinin saf ortamda 20 ve 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızlarının karşılaştırılması

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi kalsit mineralinin filtrasyonunda YAM miktarı arttıkça filtrasyon hızı artmaktadır. Ancak 20 ile 50 g/t YAM ilavesi arasında pek bir fark görülmemektedir. Noniyonik YAM ilaveli filtrasyon en hızlı gerçekleşmektedir. YAM ilavesi ile filtrasyon hızlarındaki artış noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla % 310, %207, %177 ve %188’dir.



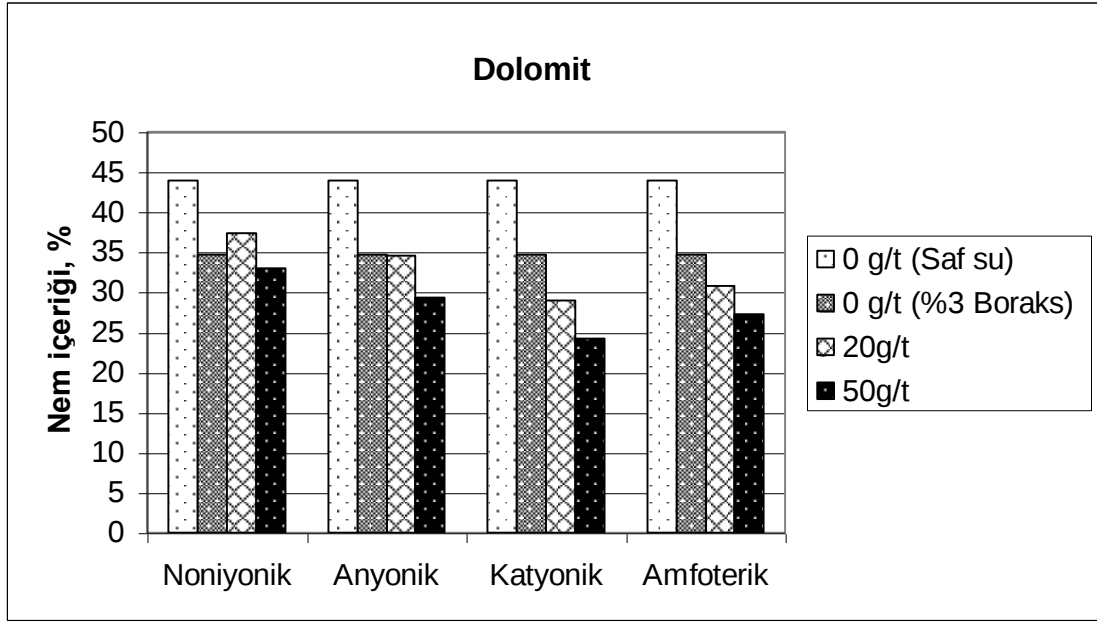
Şekil 4.10 Kaolin mineralinin YAM ilavesiz ile 20 ve 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızlarının karşılaştırılması

Şekil 4.10'dan kaolin mineralinin filtrasyonunda YAM miktarı arttıkça filtrasyon hızının arttığı görülmektedir. Ancak noniyonik ve anyonik YAM için 20 ile 50 g/t ilavesi arasında pek bir fark görülmemektedir. Katyonik ve amfoterik YAM ilaveli filtrasyon en hızlı gerçekleşmektedir. YAM ilavesi ile filtrasyon hızlarındaki artış noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla %46, %54, %80 ve %75'tir.

Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin mineralleri için, yukarıda bahsedilen şartlarda filtrasyonları sonucunda elde edilen filtre keklerinin nem içerikleri Tablo 4.6 ve sırasıyla Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'te verilmektedir.

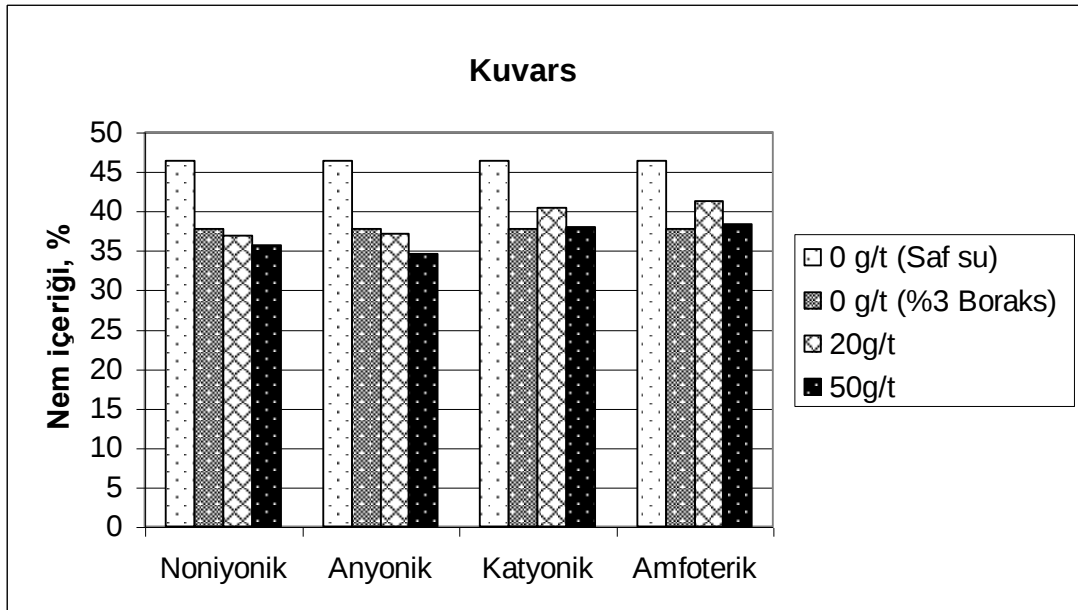
Tablo 4.6 20 ve 50g/t Saf ortamda YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içerikleri

YAM cinsi	YAM miktarı g/t	Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %			
		Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
Saf su	0	43,86	46,35	36,44	34,4
%3 Boraks	0	34,63	37,67	30,19	31,56
Noniyonik	20	37,33	36,9	33,55	31,29
	50	32,95	35,65	30,87	30,77
Anyonik	20	34,56	37,13	32,04	31,76
	50	29,29	34,61	29,75	31,07
Katyonik	20	28,94	40,4	29,24	32,24
	50	24,24	37,99	27,98	31,22
Amfoterik	20	30,78	41,24	30,58	33,61
	50	27,27	38,35	28,07	32,04



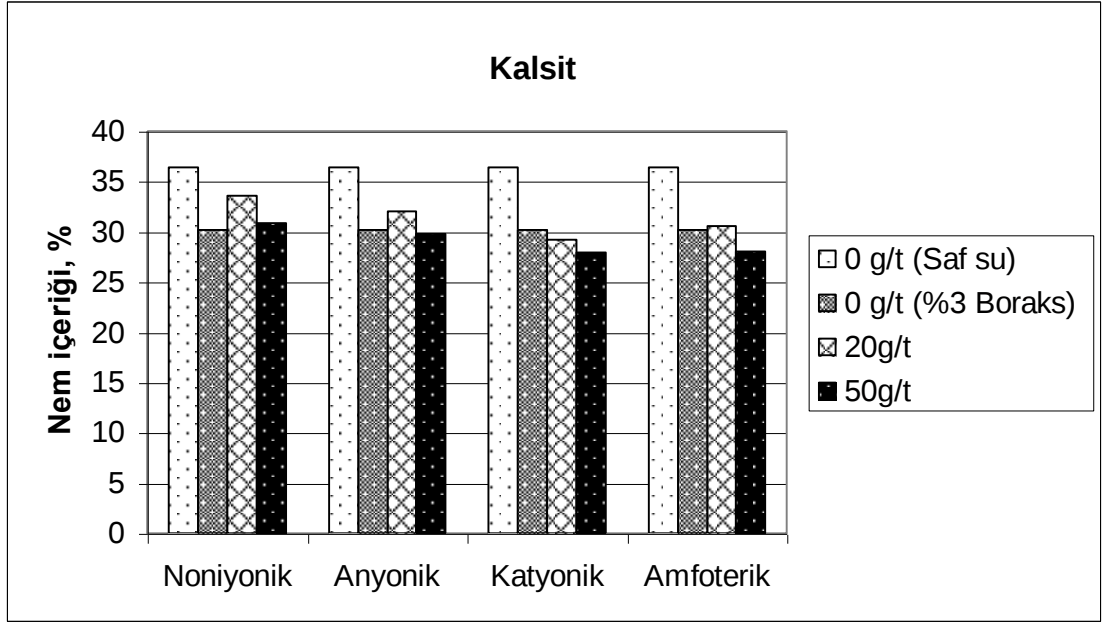
Şekil 4.11 Dolomit mineralinin saf ortamda 20 ile 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içeriklerinin karşılaştırılması

Tablo 4.6 ve Şekil 4.11 incelendiğinde YAM konsantrasyonunun artmasıyla filtre keklerinin nem içeriklerinin azaldığı görülmektedir. Dolomit mineralinin nem içeriğindeki azalma noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla, %25, %33, %45 ve %38'dir. Buna göre katyonik YAM dolomit minerali için en olumlu sonucu vermektedir.



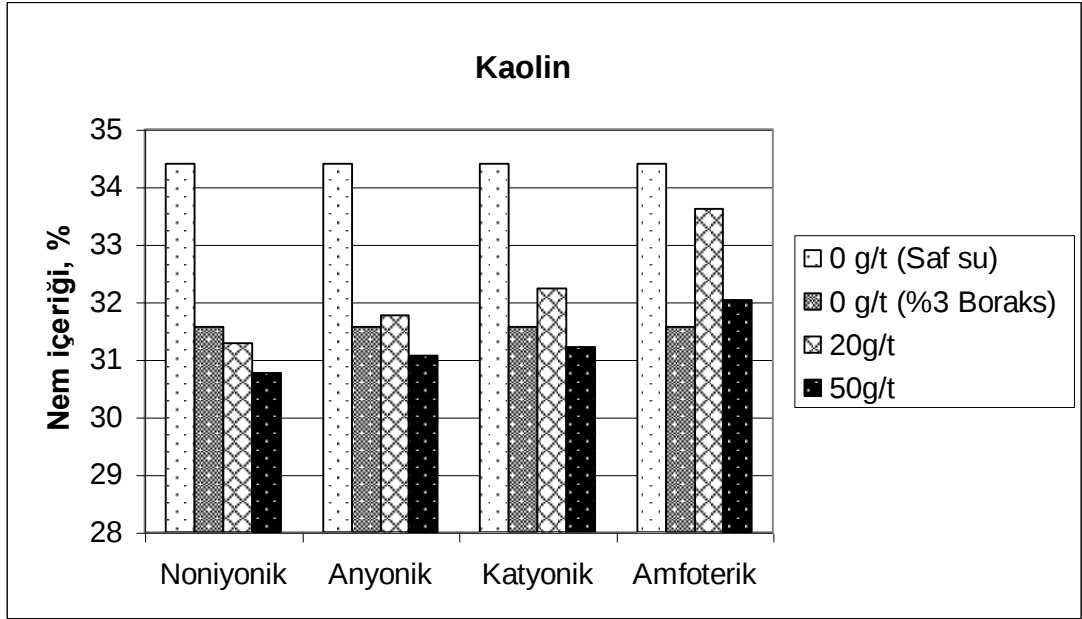
Şekil 4.12 Kuvars mineralinin saf ortamda 20 ile 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içeriklerinin karşılaştırılması

Tablo 4.6 ve Şekil 4.12 incelendiğinde YAM konsantrasyonunun artmasıyla filtre keklerinin nem içeriklerinin azaldığı görülmektedir. Kuvars mineralinin nem içeriğindeki azalma noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla, %23, %25, %18 ve %17'dir. Buna göre anyonik ve noniyonik YAM kuvars minerali için en büyük etkiye sahiptir.



Şekil 4.13 Kalsit mineralinin saf ortamda 20 ile 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içeriklerinin karşılaştırılması

Tablo 4.6 ve Şekil 4.13 incelendiğinde YAM konsantrasyonunun artmasıyla filtre keklerinin nem içeriklerinin azaldığı görülmektedir. Kalsit mineralinin nem içeriğindeki azalma noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla, %15, %18, %23 ve %23'tür. Buna göre katyonik ve amfoterik YAM kalsit minerali için en olumlu sonuç vermektedir.



Şekil 4.14 Kaolin mineralinin saf ortamda 20 ile 50g/t YAM ilaveli süspansiyonların filtre keklerinin nem içeriklerinin karşılaştırılması

Tablo 4.6 ve Şekil 4.14 incelendiğinde YAM konsantrasyonunun artmasıyla filtre keklerinin nem içeriklerinin azaldığı görülmektedir. Kaolin mineralinin nem içeriğindeki azalma noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla, %11, %10, %9 ve %7'dir. Buna göre 4 tip YAM de neredeyse aynı etkiye sahiptir.

4.1.4 Minerallerin %3 Borakslı Ortamda, Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonunun Filtrasyon Hızı ve Nem İçeriği Ölçümleri

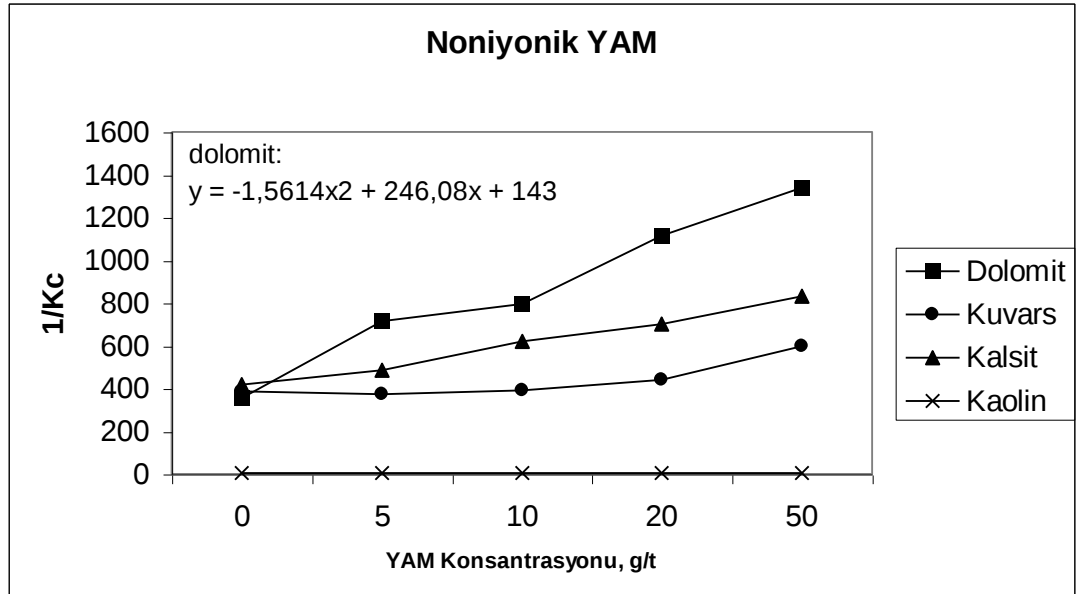
Filtrasyon basıncının %3 Borakslı ortamda YAM konsantrasyonunun filtrasyon hızı üzerine etkisini inceleyebilmek için Bölüm 3.2'deki gibi hacimsel olarak %10'luk hazırlanan çözeltiler in filtrasyonu 6 bar basınçta yapılmıştır. Deneyler noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM ile 5, 10, 20 ve 50g/t için yapılmıştır.

4.1.4.1 Noniyonik Yüzey Aktif Madde İlaveli Ölçümler

%3 Borakslı ve 5, 10, 20, 50 g/t noniyonik YAM'li ortamda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen filtrasyon hızı sonuçları Tablo 4.7 ve Şekil 4.15'te verilmektedir.

Tablo 4.7 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5, 10, 20, 50 g/t noniyonik YAM’li ortamda filtrasyon hızı sonuçları

Noniyonik YAM Kons. (g/t katı)	1/K _c değerleri			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
0	357,14	384,62	416,67	2,71
5	714,29	374,55	484,52	3,71
10	793,33	391,22	622,35	3,73
20	1115,45	440,36	700,87	3,79
50	1340,13	598,22	833,33	3,92



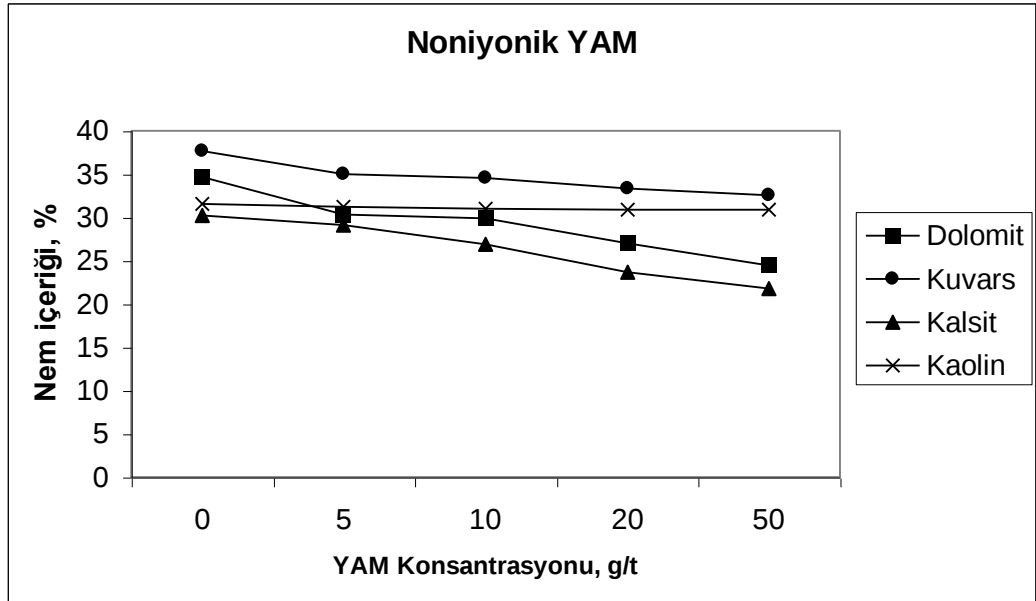
Şekil 4.15 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızının, noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Tablo 4.7 ve Şekil 4.15’te görüldüğü gibi %3 Boraks ilaveli ve 5, 10, 20, 50 g/t noniyonik YAM konsantrasyonlarında gerçekleştirilen deneylerde YAM konsantrasyonunun artmasıyla filtrasyon hızı artmaktadır. Artışlar dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıyla %275, %56, %100 ve %45’dir.

Önceki sayfada belirtilen şartlarda gerçekleştirilen filtrasyonda filtre keklerinin nem değerleri Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5,10,20 ve 50 g/t noniyonik YAM'li ortamda filtre keklerin nem değerleri

Noniyonik YAM Kons. (g/t katı)	Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
0	34,63	37,67	30,19	31,56
5	30,34	34,99	29,14	31,26
10	29,9	34,52	26,86	30,98
20	27,05	33,31	23,64	30,94
50	24,46	32,58	21,77	30,87



Şekil 4.16 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtre keki nem değerlerinin, noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

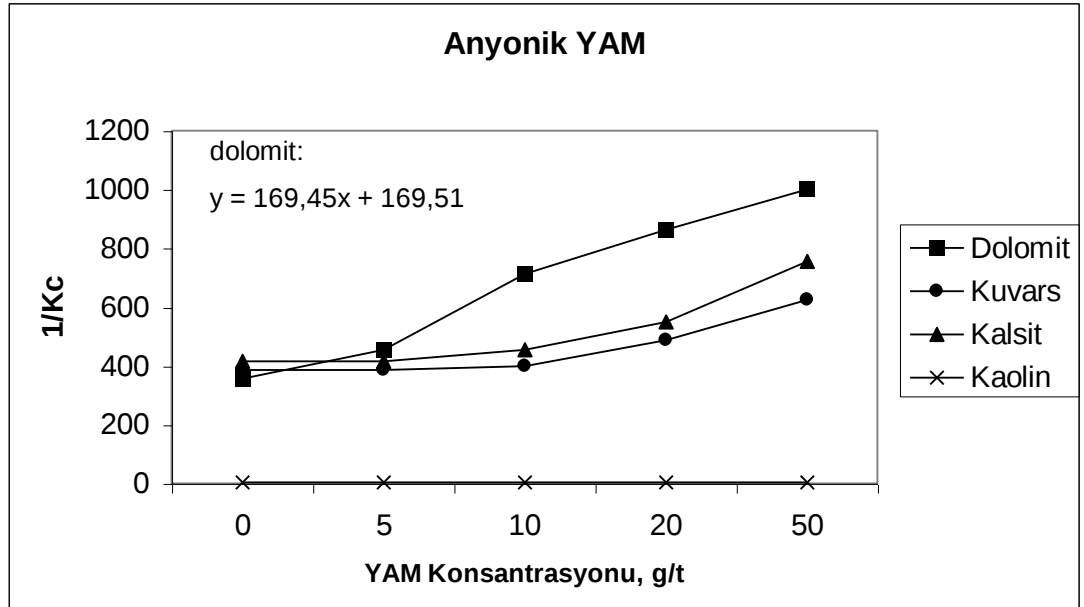
Tablo 4.8 ve Şekil 4.16'dan da görüldüğü gibi noniyonik YAM konsantrasyonu arttıkça filtre keki nem değerleri de azalmaktadır. Bu azalma dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıyla %29, %14, %28 ve %2'dir. Buna göre noniyonik YAM nem değerleri açısından en fazla dolomit ve kalsitte etkindir.

4.1.4.2 Anyonik Yüzey Aktif Madde İlaveli Ölçümler

%3 Borakslı ve 5, 10, 20, 50 g/t anyonik YAM'li ortamda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen filtrasyon hızı sonuçları Tablo 4.9'da verilmektedir.

Tablo 4.9 %3 Boraks ilaveli ve 5, 10, 20, 50 g/t anyonik YAM'li ortamda filtrasyon hızı sonuçları

Anyonik YAM Kons. (g/t katı)	1/K _c değerleri			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
0	357,14	384,62	416,67	2,71
5	454,55	384,62	416,77	3,62
10	714,29	400,2	454,55	3,75
20	863,33	486,67	550,73	3,79
50	1000	625	755,56	3,9



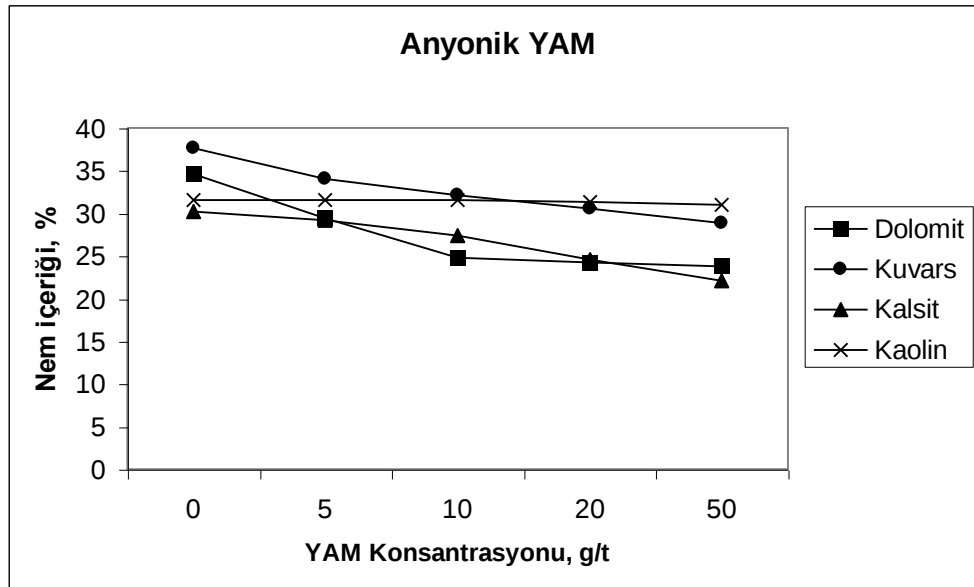
Şekil 4.17 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızının, anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Tablo 4.9 ve Şekil 4.17'de görüldüğü gibi %3 Boraks ilaveli ve 5, 10, 20, 50 g/t anyonik YAM konsantrasyonlarında gerçekleştirilen deneylerde YAM

konsantrasyonunun artmasıyla filtrasyon hızı artmaktadır. Artışlar dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıyla %180, %62, %81 ve %44'tür.

Tablo 4.10 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5,10,20 ve 50 g/t anyonik YAM'li ortamda filtre keklerin nem değerleri

Anyonik YAM Kons. (g/t katı)	Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
0	34,63	37,67	30,19	31,56
5	29,38	34,07	29,22	31,53
10	24,82	32,13	27,43	31,5
20	24,28	30,59	24,53	31,3
50	23,76	28,83	22,13	30,98



Şekil 4.18 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtre keki nem değerlerinin, anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Tablo 4.10 ve Şekil 4.18'den da görüldüğü gibi anyonik YAM konsantrasyonu arttıkça filtre keki nem değerleri de azalmaktadır. Bu azalma dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıya %31, %23, %27 ve %2'dir. Buna göre noniyonik YAM nem değerleri açısından en fazla dolomit ve kalsitte etkili olmaktadır. Anyonik YAM

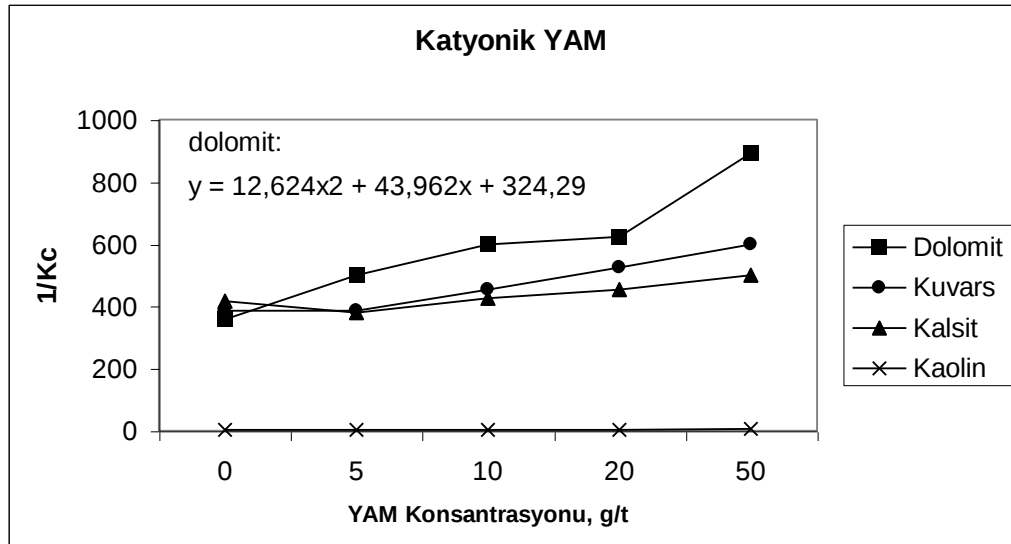
kuvarsın filtre keki nem değerini, noniyonik YAM'ye oranla çok daha fazla azalttığı görülmektedir.

4.1.4.3 Katyonik Yüzey Aktif Madde İlaveli Ölçümler

%3 Borakslı ve 5, 10, 20, 50 g/t katyonik YAM'li ortamda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen filtrasyon hızı sonuçları Tablo 4.11'de verilmektedir.

Tablo 4.11 %3 Boraks ilaveli ve 5, 10, 20, 50 g/t katyonik YAM'li ortamda 6 bar basınçta, filtrasyon hızı sonuçları

Katyonik YAM Kons. (g/t katı)	1/K _c değerleri			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
0	357,14	384,62	416,67	2,71
5	500,3	384,62	380,11	3,65
10	599,45	454,55	426,77	3,77
20	625	525	454,55	4,37
50	893,33	599,42	500	4,64

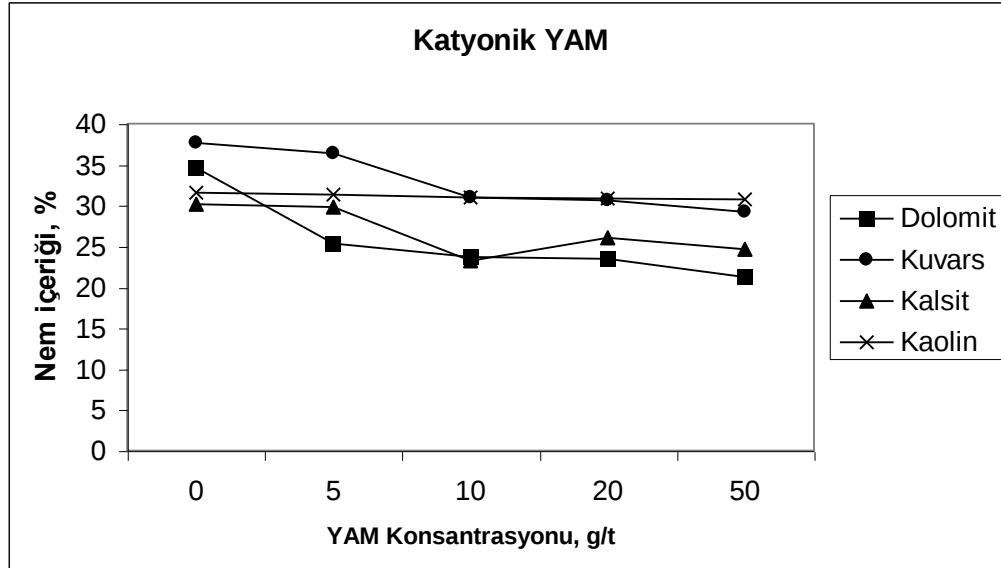


Şekil 4.19 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızının, katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Tablo 4.11 ve Şekil 4.19’da görüldüğü gibi %3 Boraks ilaveli ve 5, 10, 20, 50 g/t katyonik YAM konsantrasyonlarında gerçekleştirilen deneylerde YAM konsantrasyonunun artmasıyla filtrasyon hızı artmaktadır. Artışlar dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıyla %150, %56, %20 ve %71’dir.

Tablo 4.12 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5,10,20 ve 50 g/t katyonik YAM’li ortamda filtre keklerin nem değerleri

Katyonik YAM Kons. (g/t katı)	Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
0	34,63	37,67	30,19	31,56
5	25,39	36,38	29,84	31,32
10	23,67	31,01	23,25	30,93
20	23,49	30,66	26,01	30,89
50	21,25	29,32	24,65	30,7



Şekil 4.20 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtre keki nem değerlerinin, katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Tablo 4.12 ve Şekil 4.20’den de görüldüğü gibi katyonik YAM konsantrasyonu arttıkça filtre keki nem değerleri de azalmaktadır. Bu azalma dolomit, kuvars, kalsit

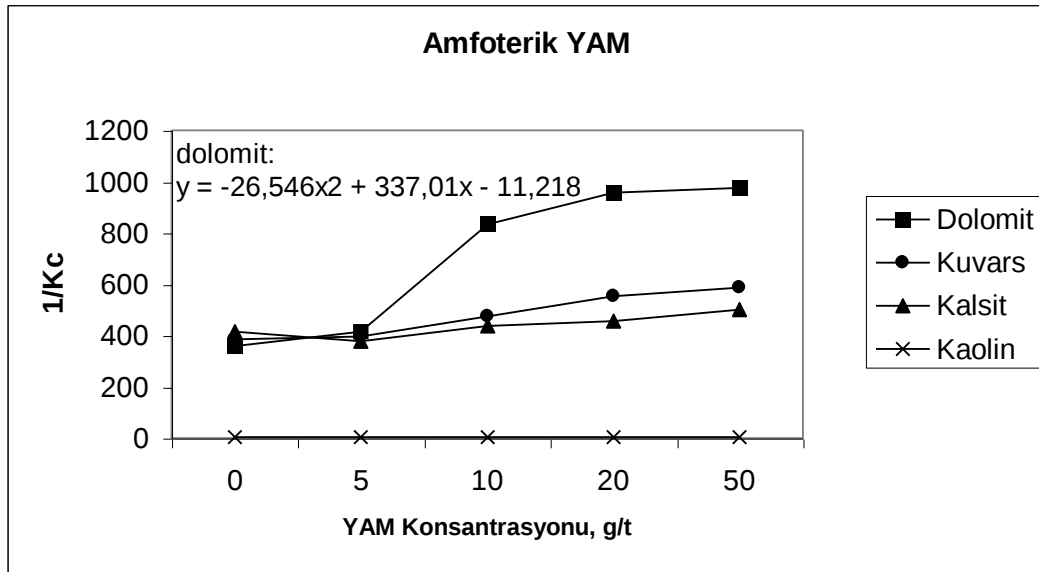
ve kaolin için sırasıya %39, %22, %18 ve %3'dir. Buna göre noniyonik YAM nem değerleri açısından en fazla dolomit etkili olmaktadır.

4.1.4.4 Amfoterik Yüzey Aktif Madde İlaveli Ölçümler

%3 Borakslı ve 5, 10, 20, 50 g/t amfoterik YAM'li ortamda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen filtrasyon hızı sonuçları Tablo 4.13'te verilmektedir.

Tablo 4.13 %3 Borakslı ve 5, 10, 20, 50 g/t amfoterik YAM'li ortamda filtrasyon hızı sonuçları

Amfoterik YAM Kons. (g/t katı)	1/K _c değerleri			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
0	357,14	384,62	416,67	2,71
5	416,67	394,62	376,67	2,82
10	833,33	473,86	436	4,37
20	955,42	554,55	454,55	4,46
50	976,41	586,56	500	4,65

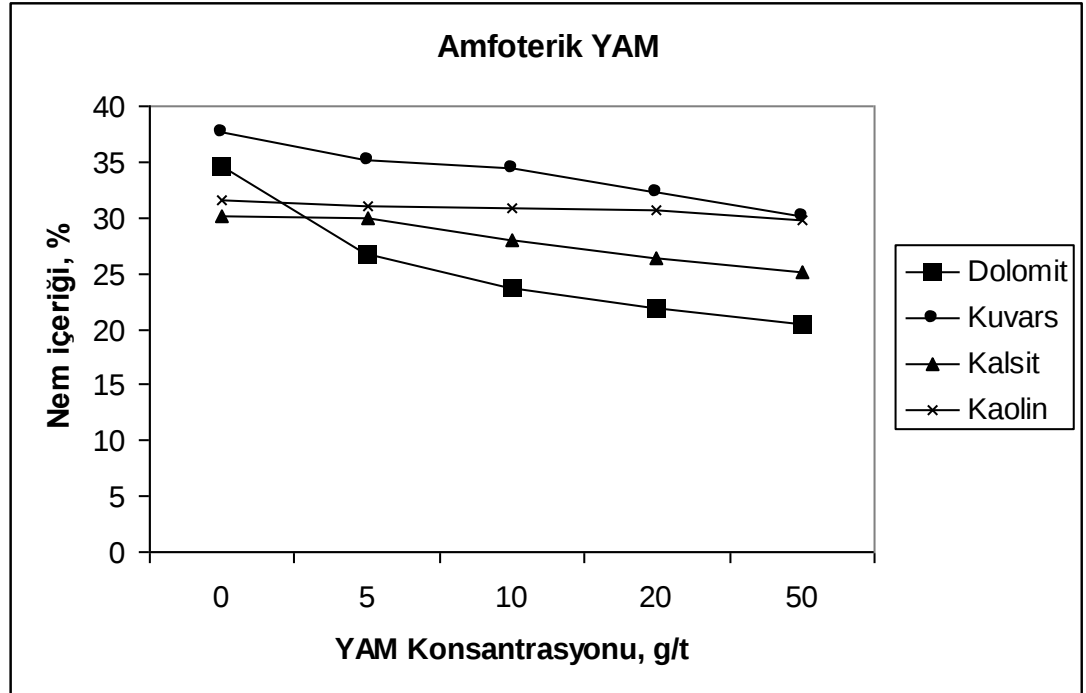


Şekil 4.21 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtrasyon hızının, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Tablo 4.13 ve Şekil 4.21’de görüldüğü gibi %3 Boraks ilaveli ve 5,10,20,50 g/t amfoterik YAM konsantrasyonlarında gerçekleştirilen deneylerde YAM konsantrasyonunun artmasıyla filtrasyon hızı artmaktadır. Artışlar dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıyla %173, %52, %20 ve %72’dir.

Tablo 4.14 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların 5,10,20 ve 50 g/t amfoterik YAM’li ortamda filtre keklerin nem değerleri

Amfoterik YAM Kons. (g/t katı)	Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %			
	Dolomit	Kuvars	Kalsit	Kaolin
0	34,63	37,67	30,19	31,56
5	26,74	35,2	30	30,99
10	23,74	34,37	28,03	30,79
20	21,97	32,27	26,3	30,75
50	20,4	30,14	25,1	29,72



Şekil 4.22 %3 Boraks ilaveli süspansiyonların filtre keki nem değerlerinin, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Tablo 4.14 ve Şekil 4.22’de de görüldüğü gibi amfoterik YAM konsantrasyonu arttıkça filtre keki nem değerleri de azalmaktadır. Bu azalma dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin için sırasıyla %41, %19, %17 ve %6’dır. Buna göre noniyonik YAM nem değerleri açısından en fazla dolomit etkili olmaktadır.

4.2 Dolomit, Kuvars, Kalsit ve Kaolin Minerallerinin Flokulanlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Davranışları

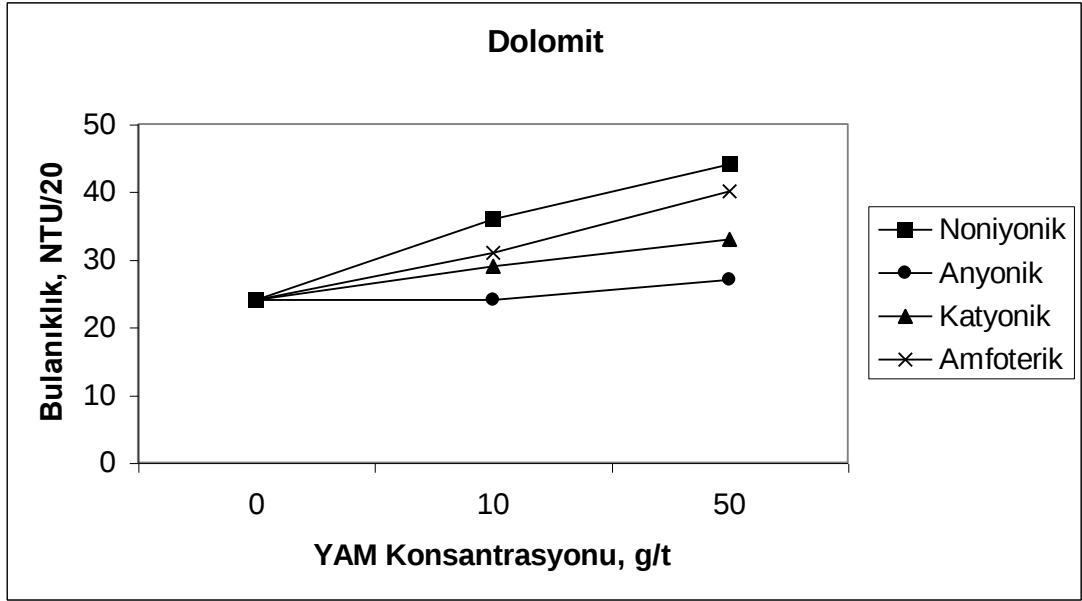
Killer flokülansız filtre edilememektedir. Bu nedenle kıyaslama yapabilmek açısından minerallerin de flokülanlı ortamdaki davranışları incelenmiştir. Dolomit, kalsit ve kaolin floküle edilmiş, kuvars ise floküle edilememiştir.

4.2.1 Dolomit Mineralinin Flokülanlı ve Yüzey Aktif Madde İlaveli Ortamdaki Deneyleri

Dolomit mineralinin %3 borakslı ve 10-50 g/t YAM ilaveli ortamda Bölüm 3.6 ve 3.7’de anlatıldığı gibi gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinde ölçülen bulanıklık değerleri Tablo 4.15’te ve berrak sıvı yükseklikleri Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.15 Dolomit mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri

YAM Kons. (g/t)	Bulanıklık, NTU/20			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	24	24	24	24
10	36	24	29	31
50	44	27	33	40

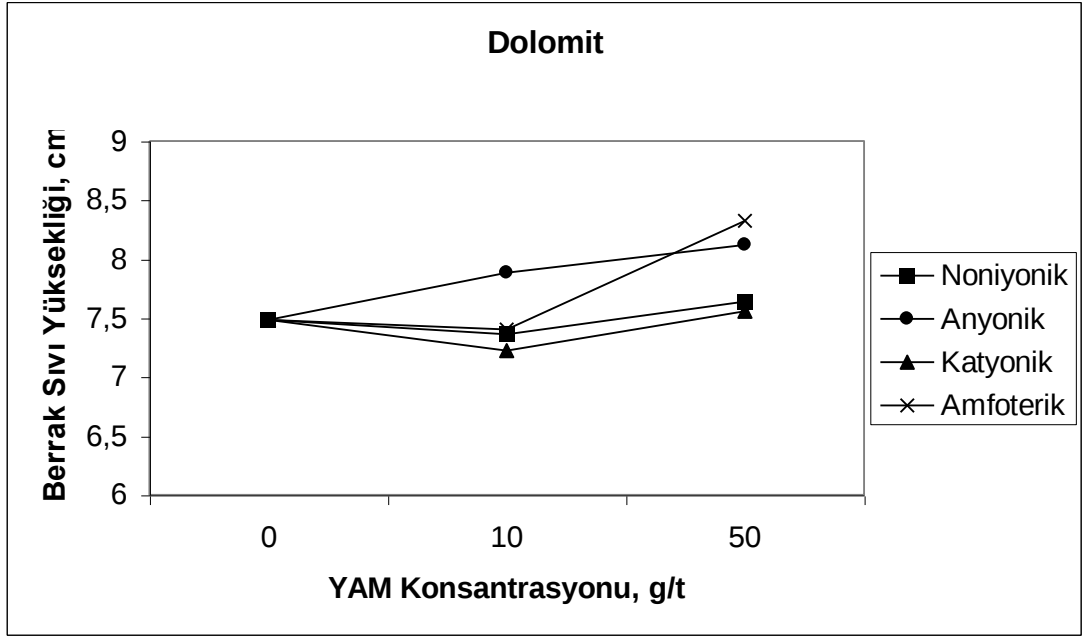


Şekil 4.23 Dolomitin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun bulanıklığa etkisi

Tablo 4.15 ve Şekil 4.23'ten görüldüğü gibi dolomitin flokülasyonunda YAM konsantrasyonu arttıkça berrak sıvının bulanıklılığı da artmaktadır. Bulanıklığı en fazla noniyonik YAM artırıyor. Noniyonik YAM aynı zamanda filtrasyon hızını en çok artıran reaktifti. Bu etki flokülanlı ortamda tam tersine dönmektedir. Yani noniyonik YAM varlığında flokülün filtrasyonu bozmaktadır.

Tablo 4.16 Dolomit mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri

YAM Kons. (g/t)	Berrak Sıvı Yüksekliği, cm			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	7,48	7,48	7,48	7,48
10	7,36	7,88	7,22	7,4
50	7,64	8,12	7,56	8,32



Şekil 4.24 Dolomitin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun berrak sıvı yüksekliğine etkisi

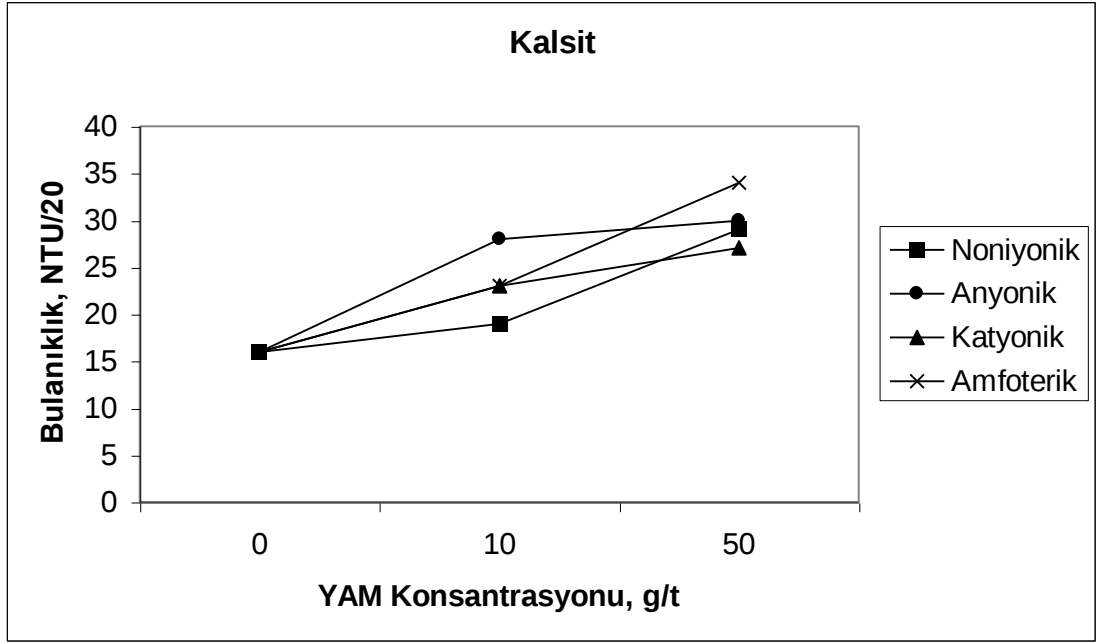
Tablo 4.16 ve Şekil 4.24'ten de görüldüğü gibi YAM konsantrasyonu arttıkça berrak sıvı yüksekliğinin önemli bir miktarda değişmediği görülmektedir. Ancak bulanıklık arttığı için flokülün varlığında, dolomitin filtrasyonu kötüleşmektedir.

4.2.2 Kalsit Mineralinin Flokülanlı ve Yüzey Aktif Madde İlaveli Ortamdaki Deneyleri

Kalsit mineralinin %3 borakslı ve 10-50 g/t YAM ilaveli ortamda Bölüm 3.6 ve 3.7'de anlatıldığı gibi gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinde ölçülen bulanıklık değerleri Tablo 4.16'da ve berrak sıvı yükseklikleri Tablo 4.17'de verilmiştir

Tablo 4.17 Kalsit mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri

YAM Kons. (g/t)	Bulanıklık, NTU/20			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	16	16	16	16
10	19	28	23	23
50	29	30	27	34

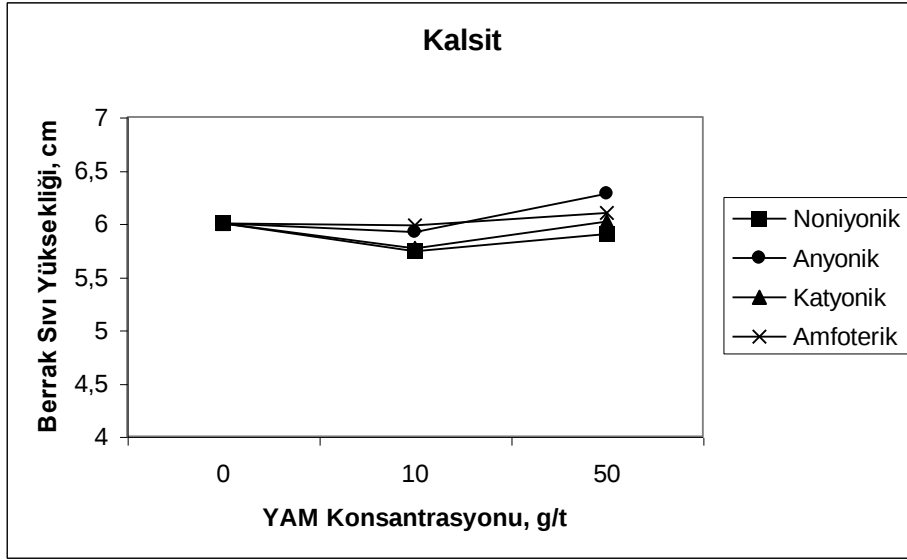


Şekil 4.25 Kalsitin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun bulanıklığa etkisi

Tablo 4.17 ve Şekil 4.25'te görüldüğü gibi kalsitin flokülasyonunda YAM konsantrasyonu arttıkça berrak sıvının bulanıklılığı da artmaktadır. Kalsitin filtrasyonunu en çok artıran reaktif noniyonik YAM idi. Bulanıklılığı ise en çok anyonik reaktif artırıyor. Direk bir korelasyon gözükmemektedir. Tüm reaktifler bulanıklılığı artırarak filtrasyonu kötüleştirmektedirler. Bunun sebebi ise flokülün varlığıdır.

Tablo 4.18 Kalsit mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri

YAM Kons. (g/t)	Berrak Sıvı Yüksekliği, cm			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	6	6	6	6
10	5,74	5,92	5,77	5,98
50	5,9	6,28	6,02	6,10



Şekil 4.26 Kalsitin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun berrak sıvı yüksekliğine etkisi

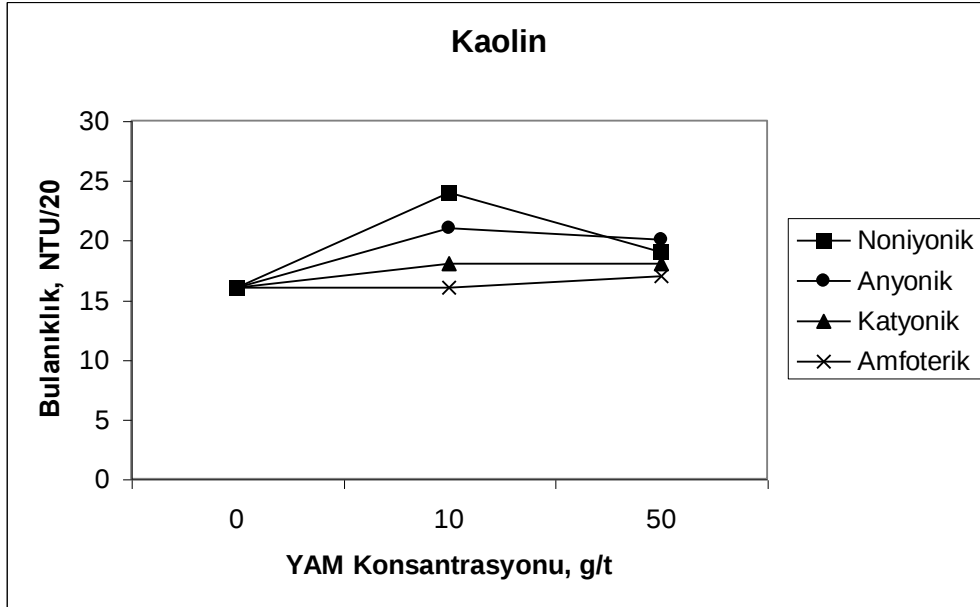
Tablo 4.18 ve Şekil 4.26'ten de görüldüğü gibi YAM konsantrasyonu arttıkça berrak sıvı yüksekliğinde bir değişme olmadığı görülmektedir. Ancak bulanıklılığı artırdığı için kalsit filtrasyonu, flokülan varlığında kötüleşmektedir.

4.2.3 Kaolin Mineralinin Flokülanlı ve Yüzey Aktif Madde İlaveli Ortamdaki Deneyleri

Kaolin mineralinin %3 borakslı ve 10-50 g/t YAM ilaveli ortamda Bölüm 3.6 ve 3.7'de anlatıldığı gibi gerçekleştirilen flokülasyon deneylerinde ölçülen bulanıklık değerleri Tablo 4.19'da ve berrak sıvı yükseklikleri Tablo 4.20'de verilmiştir

Tablo 4.19 Kaolin mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri

YAM Kons. (g/t)	Bulanıklık, NTU/20			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	16	16	16	16
10	24	21	18	16
50	19	20	18	17

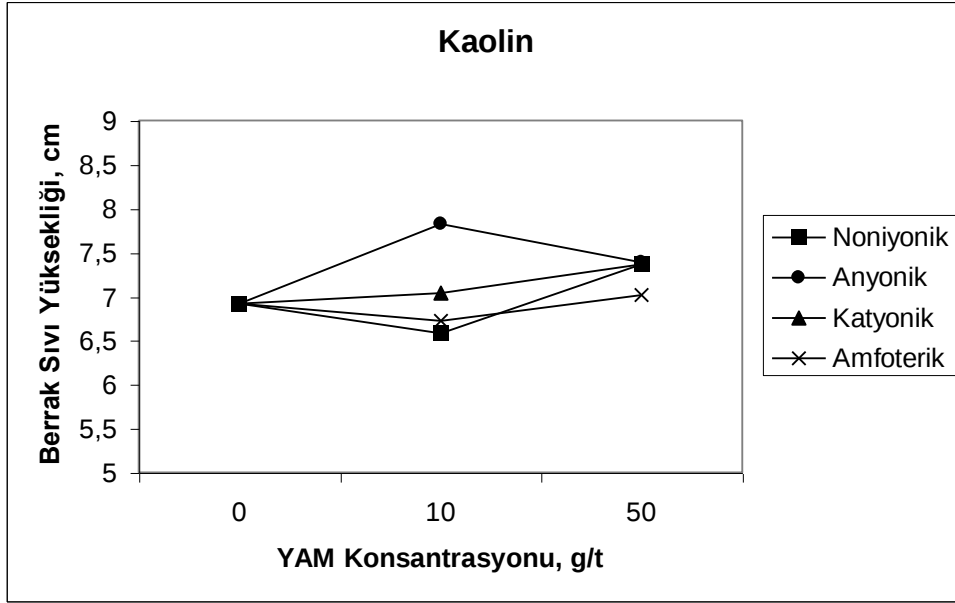


Şekil 4.27 Kaolin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun bulanıklığa etkisi

Tablo 4.19 ve Şekil 4.27’de görüldüğü gibi kaolin flokülasyonunda YAM konsantrasyonu arttıkça berrak sıvının bulanıklılığı artmaktadır. Bulanıklılığı en çok artıran reaktif noniyoniktir. Filtrasyon hızını ise katyonik ve amfoteriktir YAM’lar en çok artırmaktadır. YAM’ın flokülan varlığındaki bulanıklığa ve filtrasyon hızına etkisi negatiftir.

Tablo 4.20 Kaolin mineralinin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri

YAM Kons. (g/t)	Berrak Sıvı Yüksekliği, cm			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	6,92	6,92	6,92	6,92
10	6,58	7,82	7,04	6,72
50	7,36	7,39	7,36	7,02



Şekil 4.28 Kaolinin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun berrak sıvı yüksekliğine etkisi

Tablo 4.20 ve Şekil 4.28'ten de görüldüğü gibi YAM konsantrasyonu arttıkça berrak sıvı yüksekliğinde, katyonik ve amfoterik için pek bir değişme yoktur, noniyonik ve anyonik için ise bulanıklık artışı azdır. Bu nedenle flokülün varlığında, kaolin filtrasyonu çok etkilenmemektedir.

Flokülün varlığı, dolomit ve kalsit minerallerinin filtrasyonunu olumsuz etkilemekte, kaolin ise çok etkilenmemektedir. Kuvars minerali floküle edilememiştir.

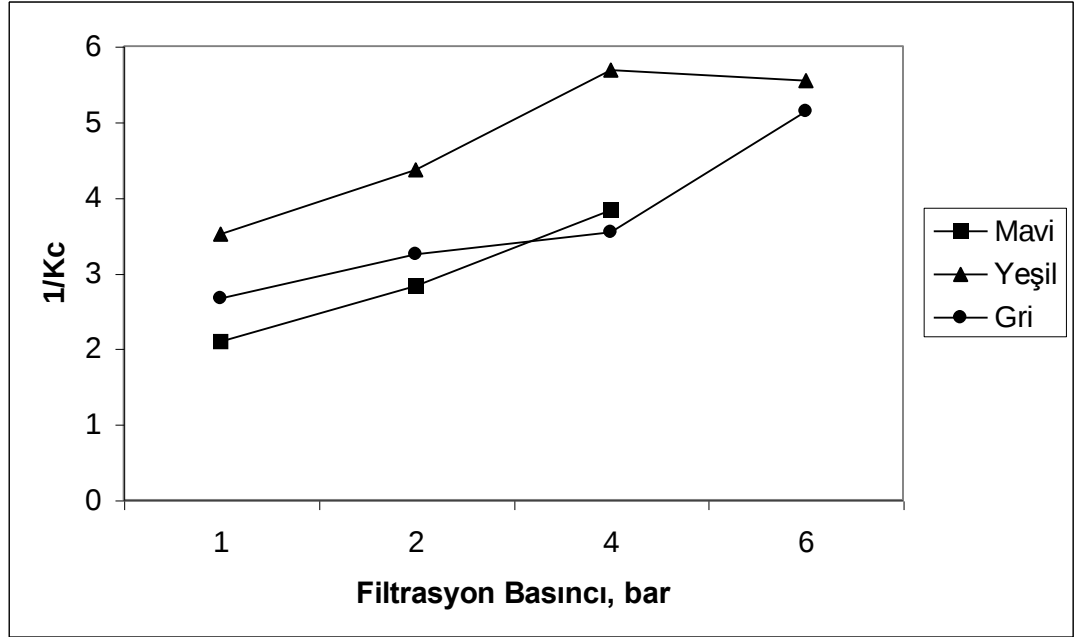
4.3 Killerin Filtrasyonu ile İlgili Deneyler

Mavi, yeşil ve gri killerin %3 boraks ilaveli süspansiyonlarının filtrasyon deneyleri bizim laboratuvarımızda daha önce Güran ve Aksu tarafından oda sıcaklığında en iyi flok oluşumunu sağlayan %0,05'lik 600 g/t PEO (Poli etilen oksit) ilavesi ile yapılmıştır (Güran ve Aksu, 1999).

Mavi, yeşil ve gri killerin 1,2,4 ve 6 bar basınçta, filtrasyon hızlarının değerleri Tablo 4.21'de verilmiştir.

Tablo 4.21 Killerin %3 Boraks ilaveli süspansiyonlarının 1,2,4 ve 6 bar basınçta filtrasyon hızı değerleri

ΔP	1/K _c değerleri		
	Mavi Kil	Yeşil Kil	Gri Kil
1 bar	2,09	3,52	2,66
2 bar	2,83	4,37	3,24
4 bar	3,83	5,68	3,54
6 bar	22,12	5,54	5,14

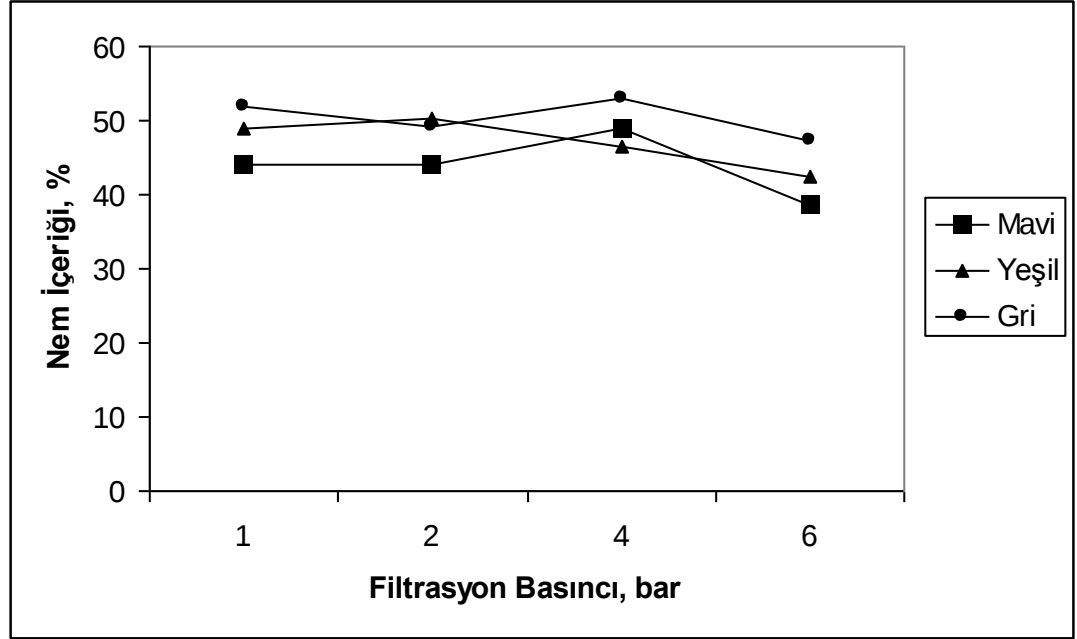


Şekil 4.29 %3 Boraks ilaveli kil süspansiyonların filtrasyon hızına basıncın etkisi

Mavi, yeşil ve gri killerin 1,2,4 ve 6 bar basınçta, filtre keklerinin nem içerikleri Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.22 Killerin %3 Boraks ilaveli süspansiyonlarının 1,2,4 ve 6 bar basınçta filtre keklerinin nem içerikleri

ΔP	Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %		
	Mavi Kil	Yeşil Kil	Gri Kil
1 bar	44,16	48,95	51,86
2 bar	44,1	50,14	49,27
4 bar	48,91	46,56	53,05
6 bar	38,55	42,33	47,34



Şekil 4.30 Killerin %3 Boraks ilaveli süspansiyonlarının filtre keklerinin nem içeriklerine basıncın etkisi

Tablo 4.22 ve Şekil 4.29’da görüldüğü gibi basınç arttıkça tüm killer için filtrasyon hızı da artmakta ve oluşan keklerin nem içerikleri de azalmaktadır (Güran ve Aksu,1999)

4.4 Killerin Flokülanlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Davranışları

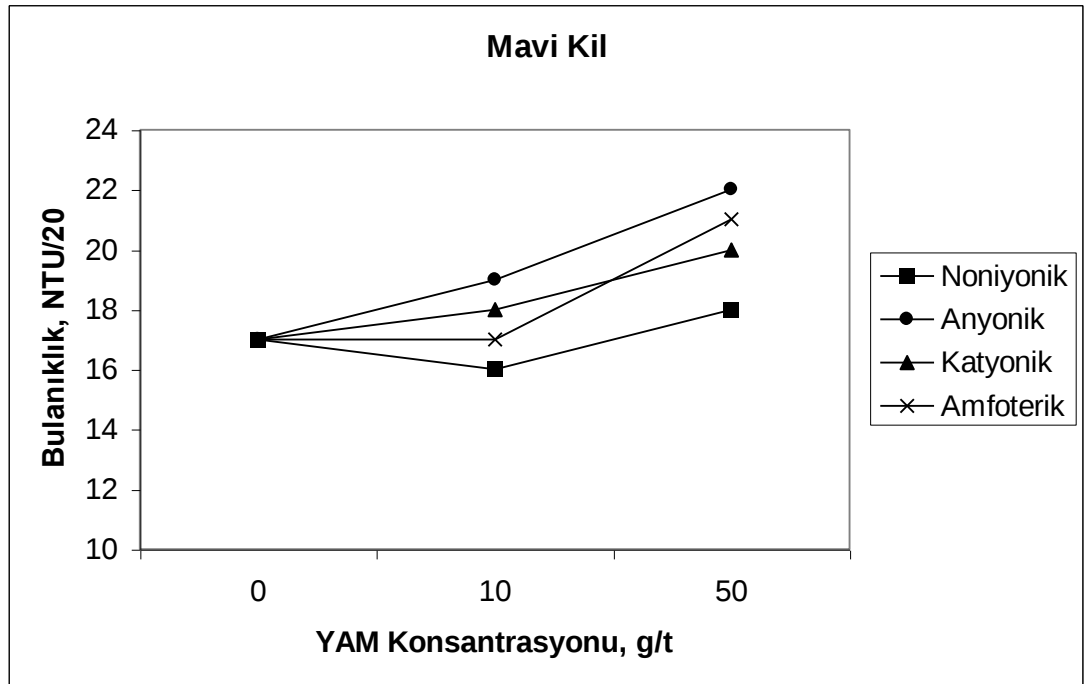
Mavi, yeşil ve gri kil floküle edilmiş fakat beyaz kil floküle edilememiştir.

4.4.1 Mavi Kilin Flokülanlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Deneyleri

Mavi kilin %3 boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerindeki bulanıklık ve berrak sıvı yükseklik değerleri sırasıyla, Tablo 4.23 ve 4.24’te verilmiştir.

Tablo 4.23 Mavi kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri

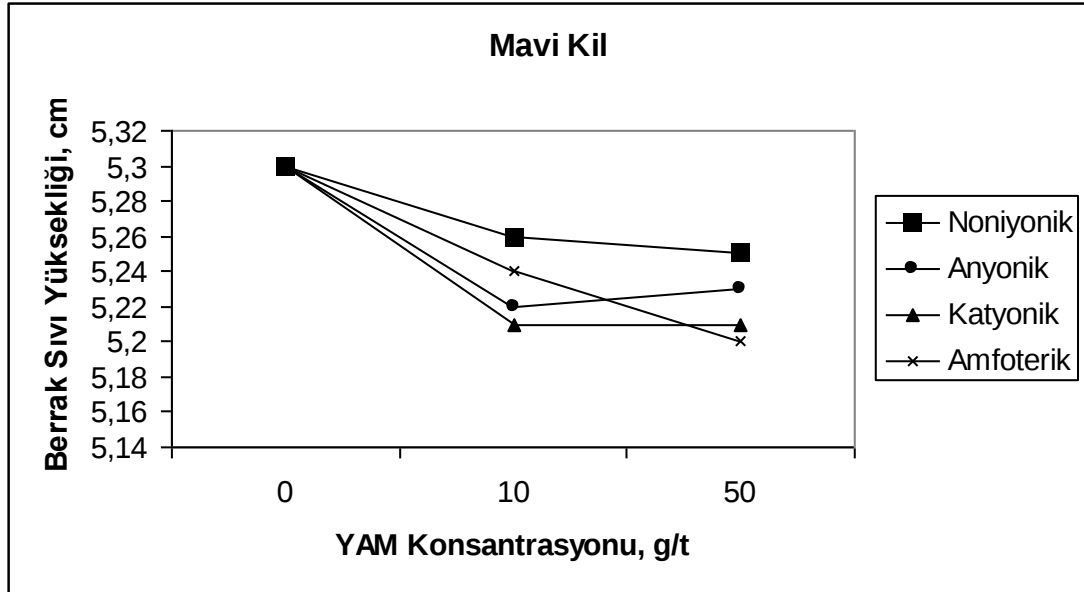
YAM Kons. (g/t)	Bulanıklık, NTU/20			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	17	17	17	17
10	16	19	18	17
50	18	22	20	21



Şekil 4.31 Mavi kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun bulanıklığa etkisi

Tablo 4.24 Mavi kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri

YAM Kons. (g/t)	Berrak Sıvı Yüksekliği, cm			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	5,3	5,3	5,3	5,3
10	5,26	5,22	5,21	5,24
50	5,25	5,23	5,21	5,2



Şekil 4.32 Mavi kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun berrak sıvı yüksekliğine etkisi

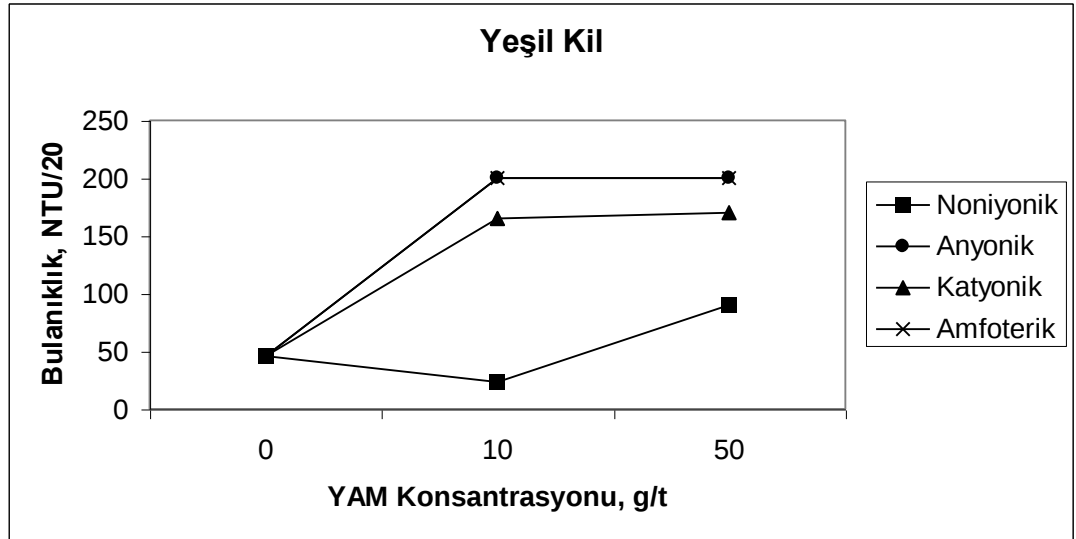
Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de görüldüğü gibi, tüm reaktifler için YAM konsantrasyonu arttıkça bulanıklık artmakta ve berrak sıvı yüksekliği azalmaktadır. Yüzey aktif madde ilavesinde ise etki olumsuzdur ve mavi kilin filtrasyonu yavaşlamaktadır.

4.4.2 Yeşil Kilin Flokülanlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Deneyleri

Mavi kilin %3 boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerindeki bulanıklık ve berrak sıvı yükseklik değerleri sırasıyla, Tablo 4.25 ve 4.26’da verilmiştir.

Tablo 4.25 Yeşil kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri

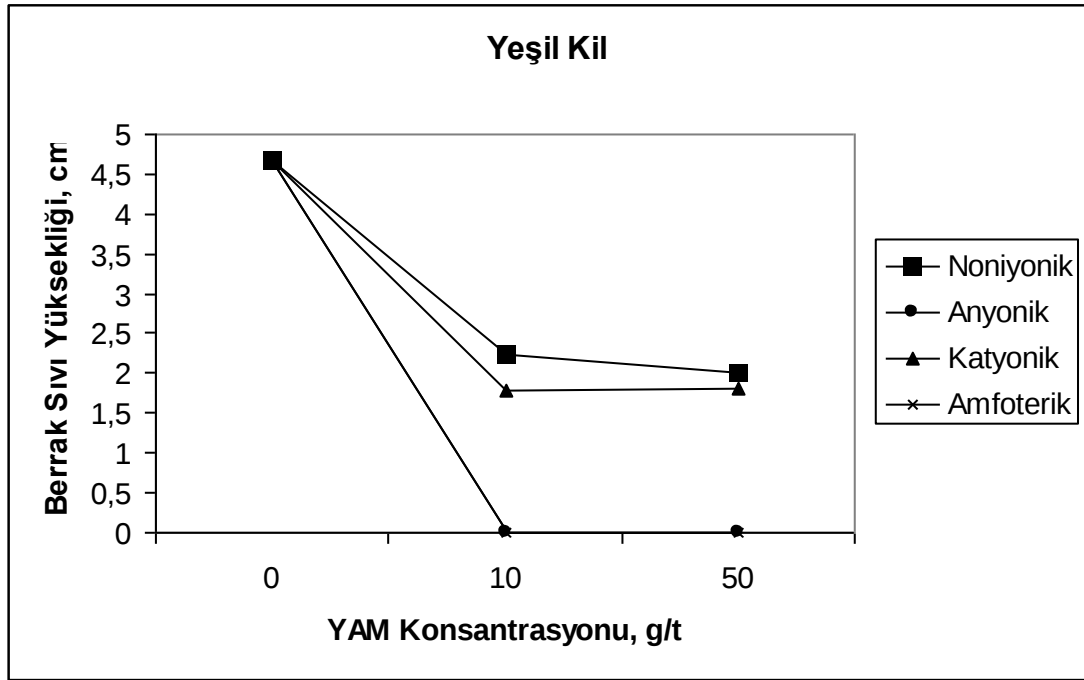
YAM Kons. (g/t)	Bulanıklık, NTU/20			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	46	46	46	46
10	23	200	165	200
50	90	200	170	200



Şekil 4.33 Yeşil kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun bulanıklığa etkisi

Tablo 4.26 Yeşil kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri

YAM Kons. (g/t)	Berrak Sıvı Yüksekliği, cm			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	4,68	4,68	4,68	4,68
10	2,24	0	1,78	0
50	2	0	1,8	0



Şekil 4.34 Yeşil kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonun berrak sıvı yüksekliğine etkisi

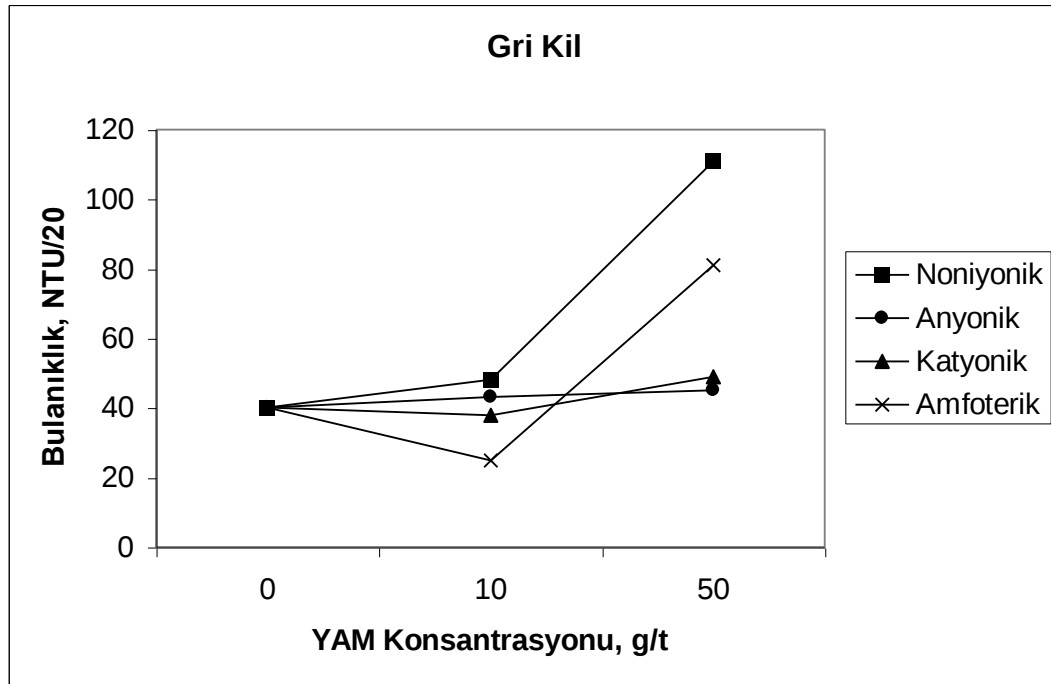
Şekil 4.33 ve 4.34'te görüldüğü gibi YAM arttıkça bulanıklık artmakta ve berrak sıvı yüksekliği azalmaktadır. Yeşil kil, Şekil 4.29'da görüldüğü gibi YAM'sız ortamda filtrasyonu en yüksek olan kildir. YAM varlığı ise tüm reaktifler için bulanıklılığı artırarak filtrasyonu kötüleştirmektedir.

4.4.3 Gri Kilin Flokülantlı ve Yüzey Aktif Maddeli Ortamdaki Deneyleri

Gri kilin %3 boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerindeki bulanıklık ve berrak sıvı yükseklik değerleri sırasıyla, Tablo 4.27 ve 4.28'de verilmiştir.

Tablo 4.27 Gri kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin bulanıklık ölçümleri

YAM Kons. (g/t)	Bulanıklık, NTU/20			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	40	40	40	40
10	48	43	38	25
50	111	45	49	81

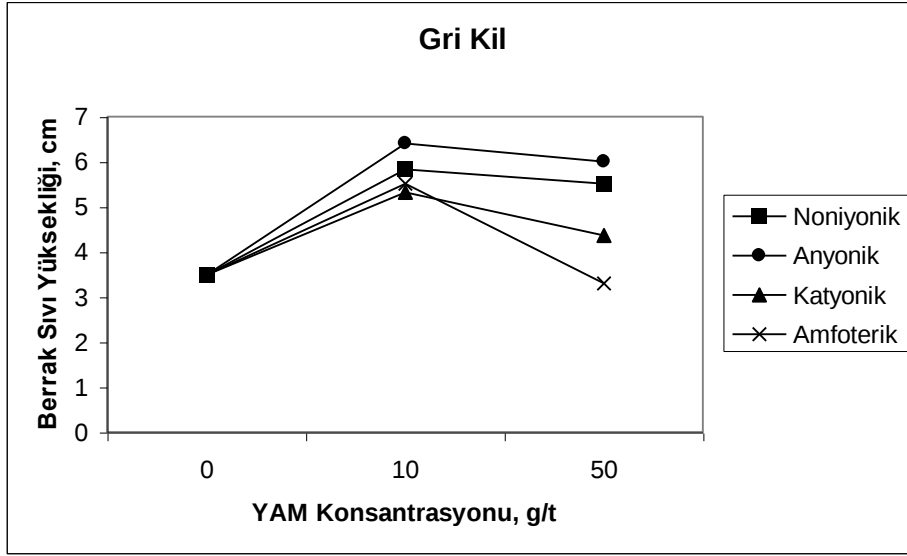


Şekil 4.35 Gri kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun bulanıklığa etkisi

Tablo 4.27 ve Şekil 4.36’da görüldüğü gibi YAM arttıkça berrak sıvı yüksekliği artmaktadır. Bulanıklığı en fazla artıran reaktif noniyonik ve amfoterik YAM’dır. Anyonik ve amfoterik reaktifler ise bulanıklığı pek fazla değiştirmemişlerdir.

Tablo 4.28 Gri kilin %3 Boraks ve 10-50 g/t YAM ilaveli flokülasyon deneylerinin berrak sıvı yükseklikleri

YAM Kons. (g/t)	Berrak Sıvı Yüksekliği, cm			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	3,48	3,48	3,48	3,48
10	5,82	6,4	5,32	5,52
50	5,52	6	4,36	3,3



Şekil 4.36 Gri kilin flokülasyonunda, YAM konsantrasyonunun berrak sıvı yüksekliğine etkisi

Tablo 4.28 ve Şekil 4.36’da görüldüğü gibi YAM arttıkça berrak sıvı yüksekliği artmaktadır. YAM konsantrasyonunun artmasıyla bulanıklığın artması buna karşın berrak sıvı yüksekliğin de artması sebebiyle gri kilin flokülasyonu için YAM etkisi çok net olarak anlaşılamamıştır.

Tablo 4.29 YAM’ın flokülanlı ortamda mineral ve killere etkisi

Mineral veya Kil	Bulanıklık	Berrak Sıvı Yüksekliği	Filtrasyon Hızına Etkisi
Dolomit	Negatif	Yok	Negatif
Kuvars			Floküle olmadı
Kalsit	Negatif	Yok	Negatif
Kaolin	Negatif	Negatif	Negatif
Mavi Kil	Negatif	Negatif	Negatif
Yeşil Kil	Negatif	Negatif	Negatif
Gri Kil	Negatif	Pozitif	Anlaşılamadı
Beyaz Kil			Floküle olmadı

Dolomit mineralinin bulanıklığı en fazla noniyonik YAM artırıyor. Noniyonik YAM aynı zamanda filtrasyon hızını en çok artıran reaktifti. Bu etki flokülanlı ortamda tam tersine dönmektedir. Yani noniyonik YAM varlığında flokülün filtrasyonu bozmaktadır. Kuvars minerali floküle edilememiştir. Bu nedenle YAM'ın flokülanlı ortamda bulanıklık ve filtrasyon hızına etkisi belirlenememiştir. Kalsitin filtrasyonunu en çok noniyonik, bulanıklığı ise en çok anyonik reaktif artırıyor. Buna karşın berrak sıvı seviyesi değişmemektedir. Tüm reaktifler bulanıklılığı artırarak filtrasyonu kötüleştirmektedirler. Kaolin flokülasyonunda YAM konsantrasyonu arttıkça berrak sıvının bulanıklılığı artmaktadır. Bulanıklılığı en çok artıran reaktif noniyoniktir. Filtrasyon hızını ise katyonik ve amfoteriktir YAM'lar en çok artırmaktadır. YAM'ın flokülün varlığındaki bulanıklığa ve filtrasyon hızına etkisi negatiftir.

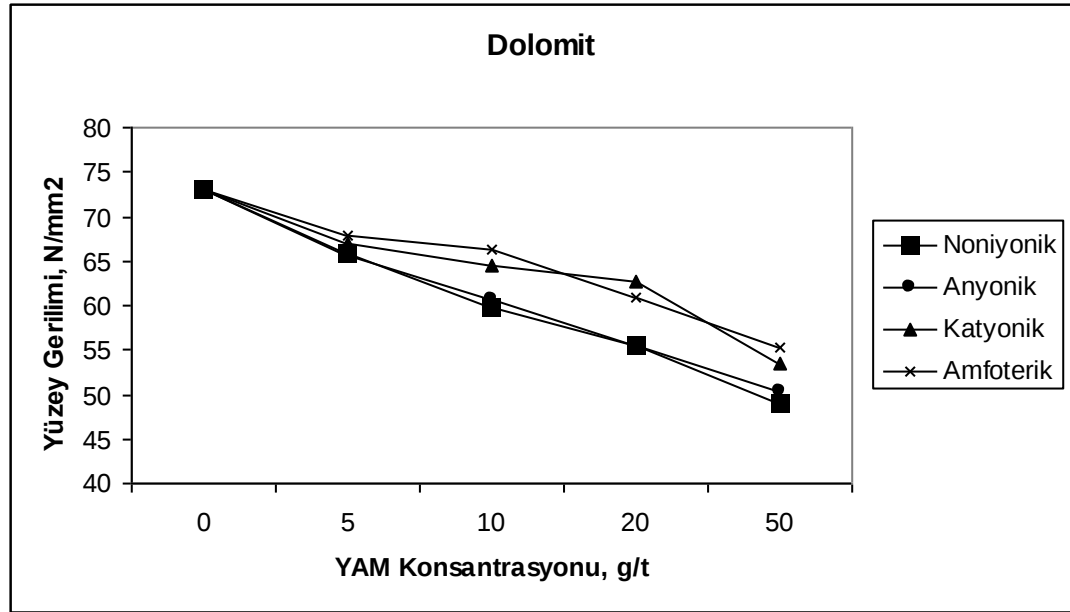
Killerde durum tıpkı minerallerdeki gibidir. Mavi kil tüm reaktifler için YAM konsantrasyonu arttıkça bulanıklık artmakta ve berrak sıvı yüksekliği azalmaktadır. Flokülün varlığında yüzey aktif madde ilavesinde etki olumsuzdur ve mavi kilin filtrasyonu yavaşlamaktadır. Yeşil kilde YAM arttıkça bulanıklık artmakta ve berrak sıvı yüksekliği azalmaktadır. Yeşil kil, YAM'sız ortamda filtrasyonu en yüksek olan kildir. YAM varlığında ise bulanıklılığı en yüksek olan kildir. Yani YAM etkisi son derece olumsuzdur ve filtrasyon bozulmaktadır. Gri kilde YAM konsantrasyonunun artmasıyla bulanıklığın artması buna karşın berrak sıvı yüksekliğin de artması sebebiyle gri kilin flokülasyonu için YAM etkisi çok net olarak anlaşılamamıştır. Beyaz kil floküle edilememiştir. Bu nedenle YAM'ın flokülanlı ortamda bulanıklık ve filtrasyon hızına etkisi belirlenememiştir.

4.5 Minerallerin Yüzey Gerilimi ile İlgili Deneyler

Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin minerallerinin %3 boraks ve yüzey aktif madde ilaveli süspansiyonların filtrasyonu sonunda ölçülen yüzey gerilimi değerleri sırasıyla Tablo 4.30, 4.31, 4.32 ve 4.33'te verilmiştir.

Tablo 4.30 Dolomit mineralinin %3 Boraks ve 5,10,20,50 g/t YAM ilaveli süspansiyonlarının yüzey gerilimi

YAM Kons. (g/t)	Yüzey Gerilimi, N/mm ²			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	73,1	73,1	73,1	73,1
5	65,8	61,6	67	72,9
10	59,7	60,6	64,5	69,2
20	55,5	55,4	62,7	66
50	49	48,4	53,5	55,3

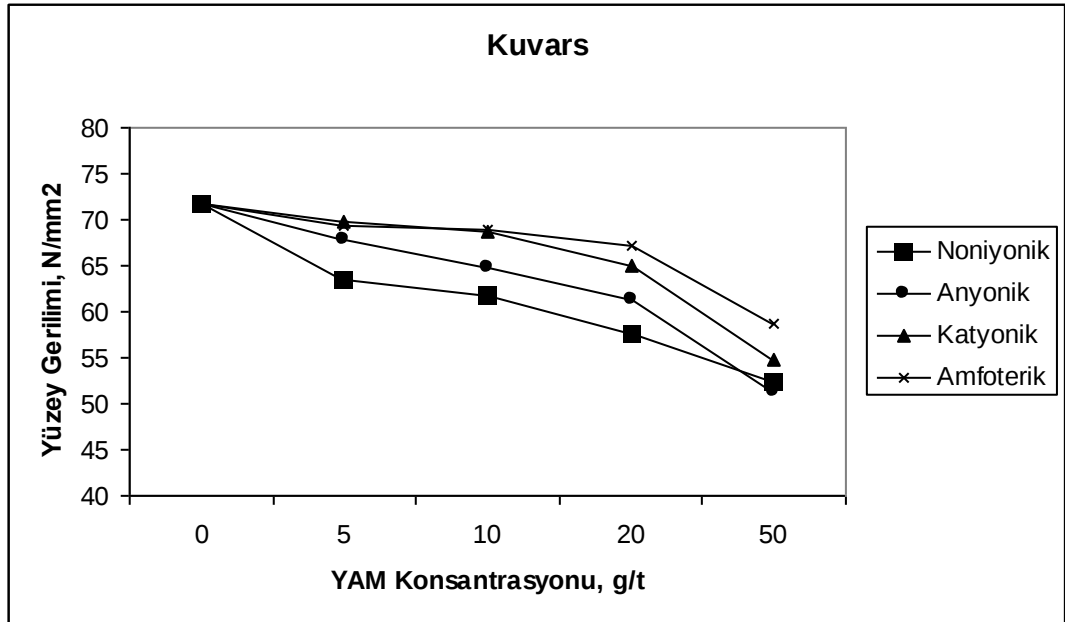


Şekil 4.37 %3 Boraks ilaveli dolomit süspansiyonlarının, yüzey gerilimine YAM konsantrasyonunun etkisi

Tablo 4.30 ve Şekil 4.37’den da görüldüğü gibi YAM konsantrasyonu arttıkça yüzey gerilimi azalmaktadır. Dolomit minerali için bu azalma, noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla, %33, %31, %27 ve %24’tür. Dolomit minerali için noniyonik YAM en iyi sonucu vermektedir.

Tablo 4.31 Kuvars mineralinin %3 Boraks ve 5,10,20,50 g/t YAM ilaveli süspansiyonlarının yüzey gerilimi

YAM Kons. (g/t)	Yüzey Gerilimi, N/mm ²			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	71,7	71,7	71,7	71,7
5	63,4	67,9	69,7	69,4
10	61,7	64,7	68,7	69
20	57,6	61,3	65,1	67,1
50	52,5	51,2	54,8	58,8

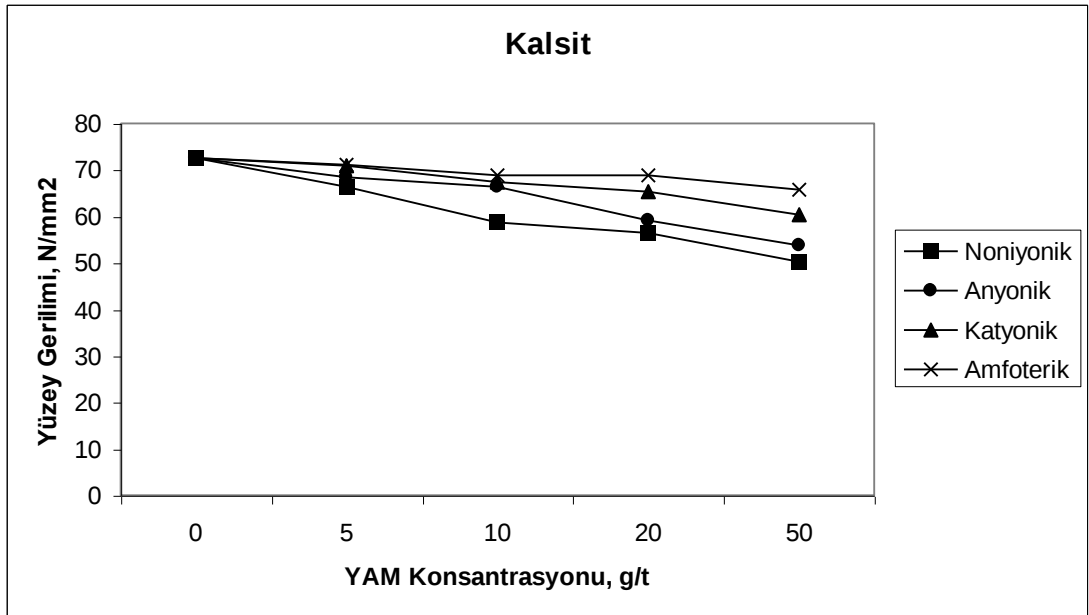


Şekil 4.38 %3 Boraks ilaveli kuvars süspansiyonlarının, yüzey gerilimine YAM konsantrasyonunun etkisi

Tablo 4.31 ve Şekil 4.38’den da görüldüğü gibi YAM konsantrasyonu arttıkça yüzey gerilimi azalmaktadır. Kuvars minerali için bu azalma, noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla, %27, %29, %24 ve %18’dir. Kuvars minerali için anyonik YAM yüzey gerilimini en çok azaltmaktadır.

Tablo 4.32 Kalsit mineralinin %3 Boraks ve 5,10,20,50 g/t YAM ilaveli süspansiyonlarının yüzey gerilimi

YAM Kons. (g/t)	Yüzey Gerilimi, N/mm ²			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	72,6	72,6	72,6	72,6
5	66,3	68,5	66,9	73,2
10	61,7	60,4	63,4	68,9
20	57,6	59,2	62,3	68,8
50	52,5	53,8	60,4	65,7

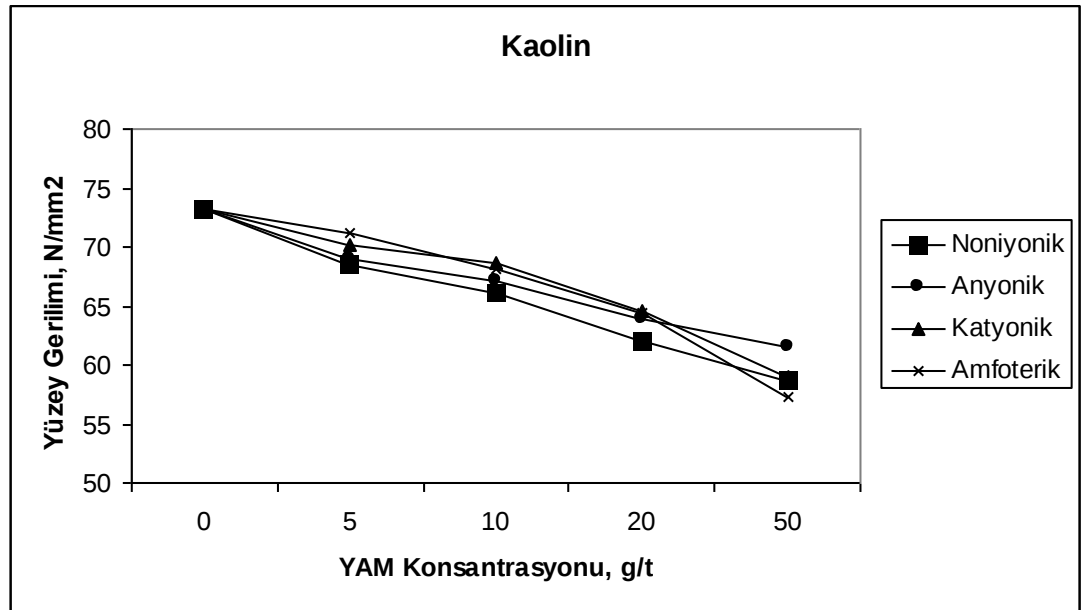


Şekil 4.39 %3 Boraks ilaveli kalsit süspansiyonlarının, yüzey gerilimine YAM konsantrasyonunun etkisi

Tablo 4.32 ve Şekil 4.39’da da görüldüğü gibi YAM konsantrasyonu arttıkça yüzey gerilimi azalmaktadır. Kalsit minerali için bu azalma, noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla, %31, %26, %17 ve %10’dur. Kalsit minerali için noniyonik YAM yüzey gerilimini en çok azaltmaktadır.

Tablo 4.33 Kaolin mineralinin %3 Boraks ve 5,10,20,50 g/t YAM ilaveli süspansiyonlarının yüzey gerilimi

YAM Kons. (g/t)	Yüzey Gerilimi, N/mm ²			
	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
0	73,3	73,3	73,3	73,3
5	69,4	70,9	74,1	72,2
10	65,1	67,1	70,7	68,2
20	60,1	64,9	64,6	62
50	58,6	60,5	61,1	58,6



Şekil 4.40 %3 Boraks ilaveli kaolin süspansiyonlarının, yüzey gerilimine YAM konsantrasyonunun etkisi

Tablo 4.33 ve Şekil 4.40'ta da görüldüğü gibi YAM konsantrasyonu arttıkça yüzey gerilimi azalmaktadır. Kaolin minerali için bu azalma, noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik YAM için sırasıyla, %20, %16, %20 ve %22'dir. Kaolin minerali için amfoterik YAM yüzey gerilimini en çok azaltmaktadır.

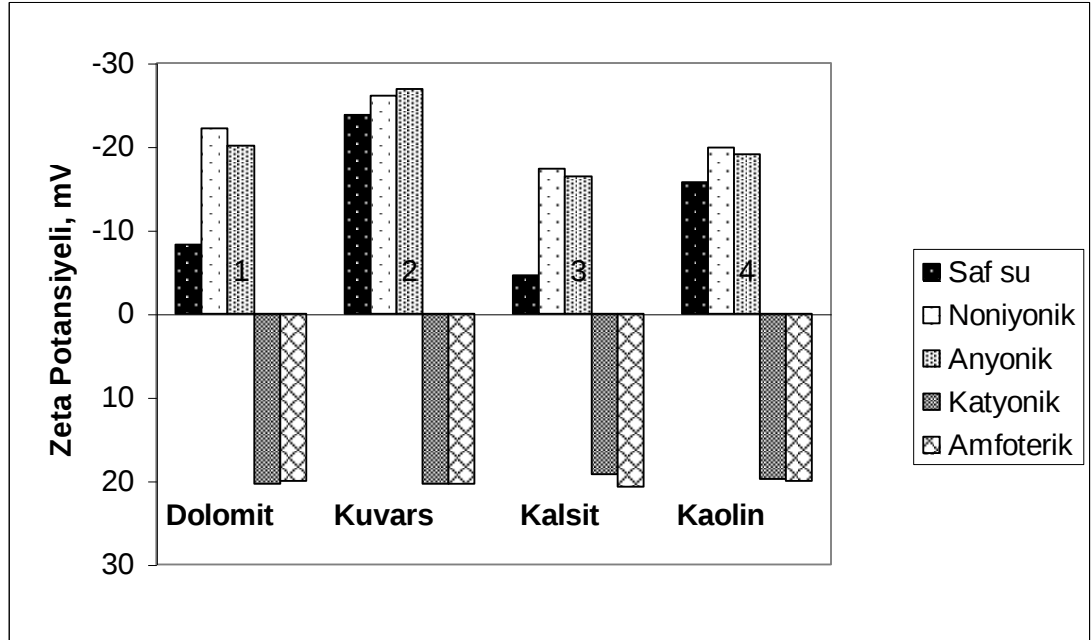
4.6 Zeta Potansiyeli Ölçümleri

4.6.1 Minerallerin Zeta Potansiyeli Ölçümleri

Bölüm 3.2'deki gibi saf su ile hazırlanan süspansiyonların yüzey aktif madde olmadan ve 10 g/t noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif madde varlığındaki zeta potansiyeli ölçümleri Tablo 4.34 ve Şekil 4.41'de verilmiştir.

Tablo 4.34 Minerallerin saf su ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli ölçümleri (Kendi doğal pH değerlerinde)

Mineral	Zeta Potansiyeli, mV				
	YAM'sız	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
Dolomit	-8,3	-22,2	-20,1	20,3	20
Kuvars	-23,8	-26,1	-26,9	20,4	20,4
Kalsit	-4,6	-17,3	-16,4	19,2	20,7
Kaolin	-15,8	-19,9	-19,1	19,8	20



Şekil 4.41 Minerallerin saf su ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli

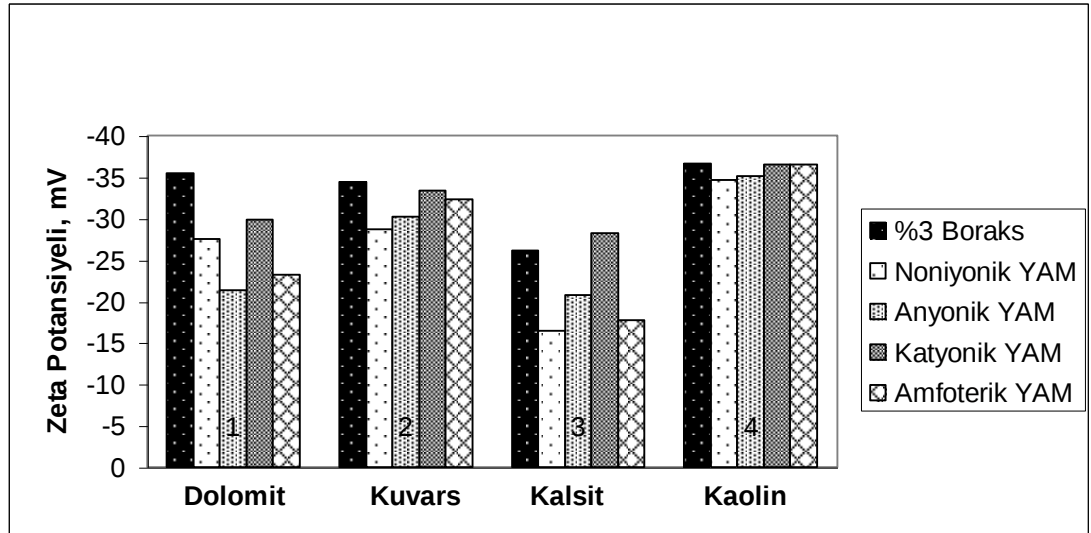
Tablo 4.34 ve Şekil 4.41'de görüldüğü gibi yüzey aktif madde ilavesi tüm mineraller için zeta potansiyelini negatif yönde artırıyor. Ancak katyonik ve amfoterik YAM

ilavesi zeta potansiyelini pozitif yönde artırıyor. YAM ilavesinden en çok etkilenen mineral dolomit ve kalsit olarak görülmektedir.

Bölüm 3.2'deki gibi %3 borakslı olarak hazırlanan süspansiyonların yüzey aktif madde olmadan ve 10 g/t noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif madde varlığındaki zeta potansiyeli ölçümleri Tablo 4.35 ve Şekil 4.42'de verilmiştir.

Tablo 4.35 Minerallerin %3 boraks ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli ölçümleri (pH: 9,2)

Mineral	Zeta Potansiyeli, mV				
	YAM'sız	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
Dolomit	-35,5	-27,5	-21,3	-29,9	-23,2
Kuvars	-34,4	-28,7	-30,2	-33,3	-32,3
Kalsit	-26,1	-16,5	-20,8	-28,2	-17,7
Kaolin	-36,6	-34,6	-35,1	-36,5	-36,5



Şekil 4.42 Minerallerin %3 boraks ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli

Tablo 4.35 ve Şekil 4.42'de görüldüğü gibi YAM ilavesi zeta potansiyelini negatif yönde azaltmaktadır. Bu etki en fazla dolomit ve kalsitte görülmektedir. Kaolinde ise

bir değişim görülmemektedir. Boraks, yüzeyleri büyük ölçüde negatifleştirmektedir. Katyonik ve amfoterik dahil hiçbir reaktif, yüzeyleri pozitif yapmaya yetmemektedir. %3 boraksl  ortamda pH 9.3 civarındadır ve OH⁻ iyonlarının yüzey yükünü negatif yönde artırdığı görülmektedir. Boraks ilavesi minerallerin yüzey yüklerini negatif yönde artırarak taneciklerin birbirini itmesine sebep olurken, YAM ilavesi kapiler basıncı düşürmektedir. Her iki etki de kek direncinin azalmasına, dolayısıyla da filtrasyon hızının artmasına sebep olmaktadır

Yüzey aktif madde ilavesi %3 boraks varlığında etkisini çok fazla gösterememektedir. YAM ilavesi zeta potansiyelini negatif yönde biraz azaltmaktadır fakat tüm mineraller, katyonik ve amfoterik reaktifler için dahi negatif yüke sahiptir.

Tablo 4.36'da 6 bar basınçta saf, %3 boraksl  ve 50g/t YAM ilaveli ortamda ölçülen filtrasyon hızlarıyla zeta potansiyeli değerleri toplu olarak verilmiştir

Tablo 4.36 Yüzey aktif maddelerin filtrasyon hızı ve zeta potansiyeline etkilesi

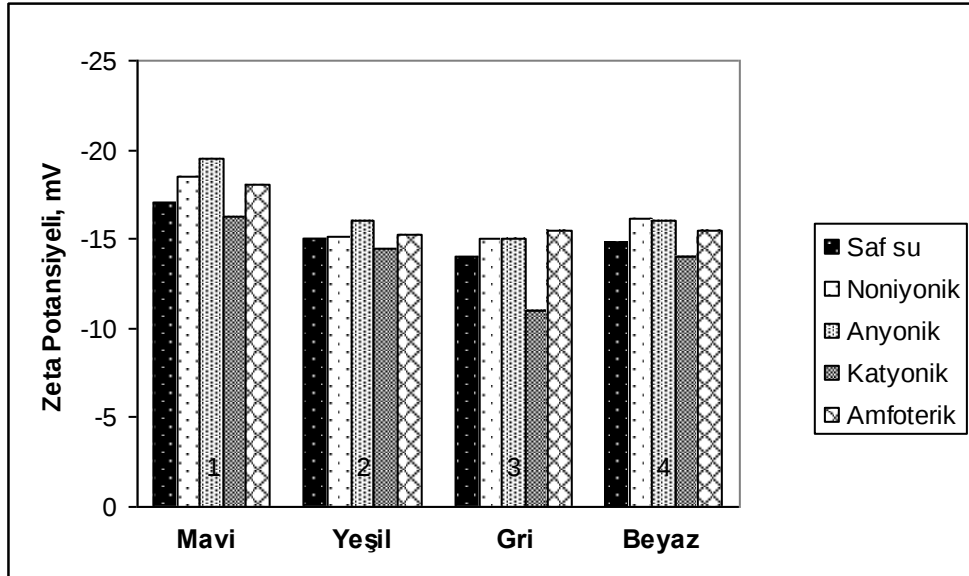
Saf sulu ve 50g/t YAM ilaveli Filtrasyon Hızları, 1/Kc						Saf sulu ve 10g/t YAM ilaveli Zeta Potansiyeli, mV					
Mineral											
	YAM'sız	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik	YAM'sız	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik	
Dolomit	78,35	800,43	555,56	225,3	533,69	-8,3	-22,2	-20,1	+20,3	+20	
Kuvars	150,67	223,54	220,64	355,96	360,6	-23,8	-26,1	-26,9	+20,4	+20,4	
Kalsit	116,32	476,35	357,14	322,18	334,95	-4,6	-17,3	-16,4	+19,2	+20,7	
Kaolin	2,04	2,98	3,15	3,67	3,56	-15,8	-19,9	-19,1	+19,8	+20	
Mineral	%3 Boraks ve 50g/t YAM ilaveli Filtrasyon Hızları, 1/Kc					%3 Boraks ve 10g/t YAM ilaveli Zeta Potansiyeli, mV					
	YAM'sız	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik	YAM'sız	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik	
Dolomit	357,14	1340,13	1000	893,33	976,41	-35,5	-27,5	-21,3	-29,9	-23,2	
Kuvars	384,62	598,22	625	599,42	585,56	-34,4	-28,7	-30,2	-33,3	-32,3	
Kalsit	416,67	833,33	755,56	500	500	-26,1	-16,5	-20,8	-28,2	-17,7	
Kaolin	2,71	3,92	3,9	4,64	4,65	-36,6	-34,6	-35,1	-36,5	-36,5	

4.6.2 Killerin Zeta Potansiyeli Ölçümleri

Mavi, yeşil, gri ve beyaz killerin saf suda 10 g/t noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif madde varlığındaki zeta potansiyeli ölçümleri daha önce Erdoğan (2002) tarafından yapılmıştır. Zeta potansiyeli değerleri Tablo 4.37 ve Şekil 4.43'te verilmiştir.

Tablo 4.37 Killerin saf su ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli ölçümleri

Killer	Zeta Potansiyeli, mV				
	YAM'sız	Noniyonik	Anyonik	Katyonik	Amfoterik
Mavi	-17	-18,5	-19,5	-16,2	-18
Yeşil	-15	-15,1	-16	-14,5	-15,3
Gri	-14	-15	-15	-11	-15,5
Beyaz	-14,8	-16,1	-16	-14	-15,5



Şekil 4.43 Killerin saf su ve 10 g/t YAM ilaveli ortamda zeta potansiyeli ölçümleri

Tablo 4.37 ve Şekil 4.43'ten görüldüğü gibi YAM ilavesi zeta potansiyelini pek etkilememiştir. En büyük etki katyonik YAM için gri kilde görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Dolomit, kuvars, kalsit ve kaolin mineralleri ile mavi, yeşil, gri ve beyaz killerin, %3 boraks, yüzey aktif madde ve flokülün ilaveli ve ilavesiz ortamlardaki filtrasyon ve flokülasyon deneylerinden elde edilen toplu sonuçlar aşağıdadır:

1. Minerallerin saf ortamda hazırlanan süspansiyonlarının filtrasyon hızları, basıncın artmasıyla artmakta, filtre keklerinin nem içerikleri ise azalmaktadır. Basıncın 1bar'dan 6 bar'a artmasıyla minerallerin hızı ortalama 3 kat artmış, keklerin nem içeriği ise ortalama %7 azalmıştır. Filtrasyon hızı en çok artan mineraller 4,5 kat ile 34'ten 151'e kuvars ve 4,2 kat ile dolomittir. Nem içeriği en fazla azalan mineraller yine %48'den %44'e %9 ile dolomit ve %8 ile kuvarstır.

2. Minerallerin %3 borakslı ortamda hazırlanan süspansiyonlarının filtrasyon hızları, basıncın artmasıyla artmakta, filtre keklerinin nem içerikleri ise azalmaktadır. Basıncın 1bar'dan 6 bar'a artmasıyla minerallerin hızı ortalama 6,5 kat artmış, keklerin nem içeriği ise ortalama %8 azalmıştır. Filtrasyon hızı en çok artan mineral 45'ten 357'ye 8 kat ile dolomittir. Nem içeriği en fazla azalan mineraller ise %34'ten %30'a, %12 ile kalsittir

3. Filtrasyonun en hızlı 6 bar'da gerçekleştiğinden yüzey aktif maddenin filtrasyon hızı üzerindeki etkileri bu basınçta incelenmiştir. Saf ortamda minerallere yüzey aktif madde ilavesi filtrasyon hızlarını artırmış ve konsantrasyon arttıkça filtrasyon hızı artmıştır. Filtre keklerinin nem içeriği ise azalmıştır. 50 g/t YAM ilavesi filtrasyon hızlarını ortalama olarak 3,5 kat artırmış, keklerin nem içeriklerini de %22 oranında azaltmıştır. Filtrasyon hızı en çok artan mineral 79'dan 800'e 10 kat ile noniyonik YAM'li dolomittir. Nem içeriği en fazla azalan mineral ise %44'ten %24'e %45 ile katyonik YAM'li dolomittir.

4. %3 borakslı ortamda minerallere yüzey aktif madde ilavesi filtrasyon hızlarını artırmış ve konsantrasyon arttıkça filtrasyon hızı artmıştır. Filtre keklerinin nem içeriği ise azalmıştır. 50 g/t YAM ilavesi filtrasyon hızlarını ortalama olarak 2 kat artırmış, keklerin nem içeriklerini de %21 oranında azaltmıştır. Filtrasyon hızı en çok

artan mineral 357'den 1340'a yaklaşık 4 kat ile noniyonik YAM'li dolomittir. Nem içeriği en fazla azalan mineral ise %35'ten %21'e %41 ile amfoterik YAM'li dolomittir. %3 boraks ve YAM ilaveli ortamdaki hız, saf ortamdaki hıza göre yaklaşık 7 kat artmış, nem içeriği ise %34 azalmıştır. Hızda en büyük artış 79'dan 1340'a yaklaşık 17 kat artış gösteren %3 boraks ve noniyonik YAM ilaveli dolomite aittir. Nem ise en çok %44'ten %20,4'e %3 boraks ve amfoterik YAM ilaveli dolomite aittir.

5. Minerallerin tane boyutu arttıkça filtrasyon hızı artmaktadır. En yüksek filtrasyon hızı, partikül çapı en büyük olan dolomitte, en düşük filtrasyon hızı ise partikül çapı en küçük olan kaolinde görülmektedir. Dolomitin partikül çapı kaolininkinin yaklaşık 10 katı; %3 boraks ve 50g/t noniyonik YAM ilaveli ortamda dolomitin filtrasyon hızı kaolininkinin 210 katıdır.

6. Killerin filtrasyonu flokülan olmadan gerçekleştirilememiştir. Flokülanlı ortamda basıncın artmasıyla filtrasyon hızı da artmaktadır (Güran ve diğ., 1999).

7. Minerallerin flokülan ve yüzey aktif madde varlığındaki bulanıklık deneylerinde, dolomit mineralinin bulanıklığı en fazla noniyonik YAM artırıyor. Noniyonik YAM aynı zamanda filtrasyon hızını en çok artıran reaktiftir. Yani noniyonik YAM varlığında flokülan filtrasyonu bozmaktadır. Kuvars minerali floküle edilemediğinden YAM'ın flokülanlı ortamda bulanıklık ve filtrasyon hızına etkisi belirlenememiştir. Kalsitin filtrasyonunu en çok noniyonik, bulanıklığı ise en çok anyonik reaktif artırıyor. Direkt bir korelasyon gözükmemektedir. Tüm reaktifler bulanıklılığı artırarak filtrasyonu kötüleştirmektedirler. Bunun sebebi ise flokülan varlığı olarak açıklanabilir. Kaolin flokülasyonunda YAM konsantrasyonu arttıkça berrak sıvının bulanıklılığı artmaktadır. Bulanıklılığı en çok artıran reaktif noniyoniktir. Filtrasyon hızını ise katyonik ve amfoteriktir YAM'lar en çok artırmaktadır. YAM'ın flokülan varlığındaki bulanıklığa ve filtrasyon hızına etkisi negatiftir.

8. Killerin flokülan ve yüzey aktif madde varlığındaki bulanıklık deneylerinde, mavi ve yeşil kilde YAM konsantrasyonu arttıkça bulanıklık artmakta ve berrak sıvı yüksekliği azalmaktadır. YAM varlığı tüm reaktifler için bulanıklılığı artırarak filtrasyonu kötüleştirmektedir. Gri kilde YAM konsantrasyonun artmasıyla bulanıklığın artması buna karşın berrak sıvı yüksekliğin de artması sebebiyle gri

kilin flokülasyonu için YAM etkisi çok net olarak anlaşılamamıştır. Beyaz kil floküle edilemediğinden YAM'ın flokülanlı ortamda bulanıklık ve filtrasyon hızına etkisi belirlenememiştir.

9. Tüm mineral ve yüzey aktif madde tiplerinde, YAM konsantrasyonu arttıkça süspansiyonların yüzey gerilmesi 73 N/mm^2 'den $50-55 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşmektedir. Dolomit minerali için yüzey gerilimini en fazla noniyonik YAM düşürürken, kuvarsta anyonik, kalsitte noniyonik ve kaolinde amfoterik YAM'dir.

10. Zeta potansiyeli ölçülen tüm mineraller saf suda negatif yüklüdür. Yüzey aktif madde ilavesi saf suda etkili olup katyonik ve amfoterik reaktifler mineralleri pozitif yüklü yapmaktadır. %3 borakslı ortamda ise pH 9.3 civarındadır ve OH^- iyonlarının yüzey yükünü negatif yönde artırdığı görülmektedir. Boraks ilavesi minerallerin yüzey yüklerini negatif yönde artırarak taneciklerin birbirini itmesine sebep olurken, YAM ilavesi kapiler basıncı düşürmektedir. Her iki etki de kek direncinin azalmasına, dolayısıyla da filtrasyon hızının artmasına sebep olmaktadır. Yüzey aktif madde ilavesi %3 boraks varlığında etkisini çok fazla gösterememektedir. YAM ilavesi zeta potansiyelini negatif yönde biraz azaltmaktadır fakat tüm mineraller, katyonik ve amfoterik reaktifler için dahi negatif yüke sahiptir.

11. Bu deneylerden minerallerin ve killerin filtrasyonunda flokülan kullanıldığında durumlarda yüzey aktif maddenin veya yüzey aktif maddenin kullanıldığı durumlarda flokülanın kullanılmaması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Flokülan varlığında yüzey aktif madde ilavesinin filtrasyonu bozmasının muhtemel nedeni flokülanın mineral ve kil taneciklerinin yüzeyini sararak yüksüzleştirmesi ve böylece yüzey aktif maddenin taneciğin yüzeyine yaklaşamamasıdır. Bunun sonucunda tek başına kullanıldığı zaman, tanecikler arasında elektrostatik itme ve kapiler basıncı düşürme yoluyla filtrasyon hızını artıran yüzey aktif madde etkisiz hale gelmektedir.

KAYNAKLAR

- Adamson, A. W.,** 1967. Physical Chemistry of Surfaces, Second Edition, Interscience Publishers, John Wiley & Sons, USA.
- Akers, R.J.,** 1975. Flocculation , I. Chem E. Services, London.
- Anlauf, H.,** 1991.a. Physikalische Prinzipien der Fest-Flüssig-Trennung, Eds. Hess, W.F ; Thier, B. Maschinen + Apparate zur Fest-Flüssig-Trennung Handbuch 1. Ausgabe, s.2-12, Vulkan Verlag, Essen.
- Anlauf, H.,** 1991.b. Entstehung und Entfeuchtung des Filterkuchens, Eds. Hess, W.F ; Thier, B. Maschinen + Apparate zur Fest-Flüssig-Trennung Handbuch 1. Ausgabe, s.43-52, Vulkan Verlag, Essen.
- Anlauf, H.,** 1994. Standardfiltertests zur Bestimmung des Kuchen- und medium-widerstands bei der Feststoffabtrennung aus Suspensionen (Teil 1), *Filtrieren und Separieren*, 8, 63-126.
- Anon.,** 1974. *Superfoc Flocculants for Mining Polyacrylamides in Industrial Products*, Cyanamid, No: 218 A, New Jersey.
- Anon.,** 1991. Zeta Potential: A Complete Course in 5 Minutes, Zeta Meter Inc., New York.
- Benli Gönül, B., Özcan, Ö., Bulutçu, N.,** 2000.a. "The effect of surface active agents on pressure and vacuum filtration of different minerals", *8th World Filtration Congress*, April 3-7, 2000, Brighton, UK.
- Benli Gönül, B., Özcan, Ö.,** 2000.b. "Filtration behaviour of fine grained calcite, dolomite, kaolin and quartz minerals in the presence and absence of the surfactants", *VIII. International Mineral Processing Symposium*, October 16- 18, 2000, Antalya, Turkey.
- Benli Gönül, B., Özcan, Ö.,** 2002. " The Effect of particle shape on the filtration rate and shear strength of quartz and dolomite mineral filter cakes", *Studies in Surface Science and Catalysis*, 144, 315- 322.
- Benli Gönül, B., Özcan, Ö.,** 2003. "The use of Surfactants in Pressure Filtration of Very Fine Dolomite and Quartz Minerals", *Filtration*, Vol.3 (2).
- Coulson, J. M., Richardson, J. F.,** 1987. Chemical Engineering, Volume 2, Unit Operations, Third Edition, Pergamon Press, UK.

- Delgado, A. V.**, 2002. Interfacial Electrokinetics and Elektrophoresis, Marcel Dekker Inc., New York, US.
- Erdoğan, Y. A.**, 2002. The effect of Surfactant Concentration on the Surface Potential of Clay Minerals, *Lisans Tezi*, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Greenberg, A. E., Trussell, R. R., Clesceri, L. S.**, 1985. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, (16. Ed.), pp 133-136, APHA, AWWA, LOPCF, Washington.
- Gregory, J.**, 1989. *Fundamentals of Flocculation, in Critical Reviews in Environmental Control*, C.C. O'Melia (Ref.), Vol.19, pp 185-230, CRC Press.Inc., London.
- Güran, M., Aksu, M.**, 1999. Tinkal Cevheri Killerinin Basınçlı ve Vakum Filtrasyonuna Yüzey Aktif Madde Etkisi, *Lisans Tezi*, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Heßner, M.**, 1992. Versuchsbeschreibung der Labordrucknutsche, Verfaßt während der Ausbildung zum Psysiklaboranten am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Kalsruhe.
- Mc Cabe, W. L.**, 1993. Unit Operations of Chemical Engineering, s. 1002, Fifth Edition, McGraw-Hill, Inc.
- Reed, J. S.**, 1995. *Principles os Ceramic Processing*, Second Edition, John Willey & Sons, Canada
- Ruhland, M.**, 1999. Über dir Eigenschaften von Filterkuchen, *Dissertation*, Universitat Karlsruhe.
- Rumpf, H., Schubert, H.**, 1975. Adhesion Forces in Agglomeration Processes, in *Ceramic Processing before Firing*, Proceedings of the Tenth University Conf. on Ceramic Sciences, Florida USA.
- Rumpf, H.**, 1977. Particle Adhesion, Agglomeration 77, *Proceedings of the International Symposium on Agglomeration*, Eds. Sastry, K.V.V., Chapter 7, March, 97-129.
- Sommer, K., Schubert, H.**, 1992. Product Properties and Process Engineering, Video Tutorial, BASF, Germany
- Ströh, G., Stahl, W.**, 1992.a. Benefits and Limits with the Use of Surfactants for Improving Dewatering of Filter Cakes, *474th Event of the European Federation of Chemical Engineering European Symposium on Solid-Liquid-Separation*, Cologne, Germany, November 25-26.
- Ströh, G., Stahl, W.**, 1992.b. Verbesserte Flüssigkeitsabtrennung bei der Mechanischen Entwässerung von Filterkuchen durch Tensedinsatz, 3rd Cesio International Surfactants Congress & Exhibition – A World Market, UK., June 1-5.

Şenel, Ş., 1987. “Killerin Kimyasal Analizine Katkı”, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

www.ankersmid.com, 2004. “Particle Size and Shape Instruments”.

www.ntnu.no, 2004. “Clays”.

www.silver-colloids.com, 2004. “Zeta Potential and It’s Measurements”.