

**FİLTRE KEKLERİNİN KESME GERİLMESİNE ETKİ
EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN TASTON MERKEZİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Birgül BENLİ
50692006**

104275 104275

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Şubat 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2001

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Özgül ÖZCAN

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Nusret BULUTÇU (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Gülhayat NASUN SAYGILI (İ.T.Ü.)

Doç. Dr. Ersan KALAFATOĞLU (Tübitak)

Prof. Dr. A. Alp SAYAR (M.Ü.)

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Filtre keklerinin kesme gerilmesi üzerine özellikle yüzey aktif maddelerin etkilerinin ortaya konulduğu bu çalışmada, filtrasyon aşamasında etkili olan parametreler de incelenmiştir. Filtre keklerinin kesme gerilmesi özellikle yığınların depolanması ve taşınması sırasında yığınların stabilitesi ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle, kesme gerilmesi bir anda ya bir çevre normu olarak karşımıza çıkmakta ya da ince öğütülmüş katı taneciklerin işlenmesi gibi bir çok alanda önem kazanmaktadır.

Bu son derece zevkli ve bir o kadar da güncel hayatla iç içe olan konuda beni yönlendiren, her an dostluğunu esirgemedi, desteğini üzerimde hissettiğim değerli hocam Doç. Dr. Özgül ÖZCAN' a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Her türlü yardımlarından ve desteklerinden ötürü sayın hocam Prof. Dr. A. Nusret BULUTÇU' ya teşekkürlerimi sunarım. Tüm üniversite öğrencilik yıllarımda yanımda olup sevgi ve destek gösteren sayın hocam Prof. Dr. A. Nursen İPEKOĞLU' na teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmada kullandığım minerallerin temininde yardımcı olan Kale Maden A.Ş. ve Ege Seramik A.Ş.' ye teşekkür ederim. BOS kesme cihazında emeği geçen sayın Dr. Perviz SAYAN ile bilgisayardaki yardımlarından ötürü oda arkadaşım sayın Yük. Müh. A. Esat YILDIRIM' a çok teşekkürler ederim.

Her an yanımda hissettiğim sevgili eşim Turgay GÖNÜL ve biricik kızım Ecehan Aygöl GÖNÜL ile canım annem Mefharet BENLİ, canım babam A.Nuri BENLİ ve kardeşim Bülent S. BENLİ' ye, sonsuz sevgilerinden beni yoksun bırakmadıkları ve inanılmaz bir sabırla gösterdikleri destek ve sevgileri için minnettarım.

canım anneme, babama ve biricik yavruma ithafla,

Haziran, 2001

Birgül BENLİ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xviii

1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. TEORİK KISIM	4
2.1. Kek Filtrasyonu Tanımı	4
2.2. Kek Oluşumu ve Teorisi	4
2.3. Susuzlaştırma	6
2.4. Filtre Kekini Tanımlayan Özellikler	8
2.4.1. Porözite, ϵ	8
2.4.2. Boşluk oranı, e	8
2.4.3. Nem içeriği, RM	8
2.4.4. Doygunluk derecesi, S	9
2.4.5. Temas açısı, d	9
2.4.6. Kapiler basınç, P_K	10
2.5. Filtre Kekini Oluşturan Tanecikler Arasındaki Çekim Kuvvetleri	11
2.5.1. Katı köprüsü	11
2.5.2. Sıvı köprüleri	11
2.5.3. Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri ile bağlanma	12
2.5.4. Katı partiküller arasındaki çekim kuvvetleri	12
2.5.5. Kenetlenme	12
2.5.6. DLVO kuvvetleri	12
2.5.6.1. Van der Waals kuvvetleri	14
2.5.7. Elektrostatik kuvvetler	16
2.5.8. Kapiler Kuvvetler	17
2.6. Schubert Diyagramı	22
2.7. Filtre Kekini Oluşturan Tanecikler Arasındaki DLVO Dışı Kuvvetler	23
2.7.1. Osmotik basınç	24
2.7.2. Hidratasyon etkisi	24
2.7.3. Yapısal basınç farkı	24

2.7.4. Sterik etkileşim	24
2.8. Yüzey Aktif Maddelerin Tanımı	25
2.9. Yüzey Aktif Maddelerin Süspansiyondaki Davranımı	26
2.10. Yüzey Aktif Maddelerin Filtrasyonda Kullanımı (Yüzey Aktif maddeli Filtrasyon)	28
2.11. Filtre Kekinin Kesme Gerilmesi	28
2.11.1. Kesme (kayma) gerilmesinin tanımı	28
2.11.2. Kesme gerilmesi ölçümleri	29
2.11.3. Kesme gerilmesi ve kırılma	30
2.11.4. Filtre keklerinin kesme gerilmesi	31
2.12. Filtre keklerinin özellikleri ve kesme gerilmesi konusunda yapılmış çalışmalar	32
3. DENEYSEL SİSTEMLER VE KARAKTERİZASYON	36
3.1. Kullanılan Hammaddeler	36
3.1.1. Mineraller	36
3.1.2. Kullanılan minerallerin süspansiyon içindeki davranımı	39
3.1.2.1. Kuvars	39
3.1.2.2. Dolomit ve kalsit	40
3.1.3. Yüzey aktif maddeler	41
3.2. Kullanılan Deney Üniteleri	41
3.2.1. Basıncılı filtrasyon ve susuzlaştırma işlemleri	42
3.2.1.1. Basıncılı filtrasyon ve susuzlaştırma ünitesi (filtratest cihazı)	42
3.2.1.2. Basıncılı filtrasyon deneylerinin yapılışı ve keklerin eldesi	43
3.2.1.3. Susuzlaştırma deneylerinin yapılışı	44
3.2.2. Laboratuvarımızda geliştirilen kesme gerilmesi ölçüm cihazı	45
3.3. Süspansiyonun Yüzey Gerilimi ve Zeta Potansiyeli Ölçümleri	49
3.3.1. Yüzey gerilimi ölçümleri	49
3.3.2. Zeta potansiyeli ölçümleri	49
3.4. Yüzey Aktif Madde Tiplerinin Yüzey Gerilimi ve Minerallerin Zeta Potansiyeli Üzerine Etkileri	50
4. FİLTRASYON DENEYLERİNİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	55
4.1. Dolomit ve Kuvars Filtrasyonuna Yüzey Aktif Madde Etkisinin İncelenmesi	55
4.1.1. Yüzey aktif madde ilavesiz ve yüzey aktif madde ilaveli dolomit ve kuvars minerallerinin filtrasyon işlemine basıncın etkisi	55
4.1.2. Farklı tipte yüzey aktif maddelerin filtrasyon hızı üzerine etkisi	58

4.1.3. Yüzey aktif madde miktarının filtrasyon hızı üzerindeki etkisi	60
4.1.4. Yüzey aktif maddelerin filtre keklerinin nem içeriğine etkisi	65
4.2. Yüzey Aktif Maddeli Filtrasyon İşleminde Minerallerin Tane Boyutunun Filtrasyon Hızı Üzerine Etkisinin İncelenmesi	68
4.2.1. Basınçlı filtrasyonda tane boyutunun filtrasyon hızı üzerine etkisi	68
4.2.2. Tane boyutunun yüzey aktif maddeli filtrasyon üzerine etkisi	69
5. KESME GERİLMESİ DENEYLERİNİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	73
5.1. Dolomit ve Kuvars Filtre Keklerinin Kesme Gerilmesi Ölçümlerinin Ön İşlemleri	73
5.1.1. Kesme gerilmesi üzerine doygunluk derecesinin etkisi	73
5.1.2. Filtrasyon sonrası susuzlaştırma işleminde uygulanan sıkıştırma basıncının kesme gerilmesi üzerine etkileri	76
5.1.2.1. Dolomit minerali için elde edilen sonuçlar	76
5.1.2.2. Kuvars minerali için elde edilen sonuçlar	78
5.1.3. Şekil faktörünün (mineral tipi) etkisi : dolomit ve kuvars mineraline ait kesme gerilmesi ve sıkıştırma basıncı ilişkisinin karşılaştırılması	79
5.2. Yüzey Aktif Madde Varlığında Yapılan Deneyler: Filtrasyon Sonrası Susuzlaştırma İşleminde Uygulanan Sıkıştırma Basıncının Kesme Gerilmesi Üzerine Etkileri	82
5.2.1. Dolomit ve kuvars mineraline ait sonuçlar	82
5.2.2. Yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz sonuçların karşılaştırılması	84
5.3. Yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesi üzerine etkisi	88
5.3.1. Noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesi ve doygunluk üzerine etkileri	88
5.3.2. Anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesi ve doygunluk üzerine etkileri	93
5.3.3. Katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesi ve doygunluk üzerine etkileri	97
5.3.4. Amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesi ve doygunluk üzerine etkileri	100
5.4 Yüzey Aktif Madde Tiplerine göre Konsantrasyon ve Kesme Gerilmesi Arasındaki Değişimlerin Karşılaştırılması	103
5.5. Tane Boyutunun Etkisi- Minerallerin Tane Boyutunun Kesme Gerilmesi ve Doygunluk İlişkisi Üzerine Etkileri	106
5.5.1. Saf ortamda kalsit ve kuvarsın tane boyutu ile kesme gerilmesi değişimi	106

5.5.2. Yüzey aktif madde ilaveli ortamda kalsit ve kuvarsın tane boyutu ile Kesme Gerilmesi Değişimi	109
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112
6.1. Sonuçlar	112
6.2. Toplu Değerlendirme	115
6.3. Öneriler	116
KAYNAKLAR	117
EK 1	121
ÖZGEÇMİŞ	122



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Liftshitz ve Hamaker teorilerine göre kuvvetler (Joule)	14
Tablo 3.1. Minerallere ait ortalama partikül çapları	36
Tablo 3.2. Kullanılan yüzey aktif maddeler.....	41
Tablo 4.1. Dolomit ve kuvars minerallerinin yüzey aktif madde ilavesiz ve noniyonik yüzey aktif madde ilaveli filtrasyon işlemi sonrası filtre keklerinin nem içeriği, (%).....	58
Tablo 4.2. Dolomit ve kuvarsın filtrasyon hızının noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	62
Tablo 4.3. Dolomit mineraline ait 1bar ve 6bar basınçta yüzey aktif maddeli filtrasyon sonrası elde edilen filtre keklerinin nem içeriklerinin yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	66
Tablo 4.4. Kuvars mineraline ait 1bar ve 6bar basınçta yüzey aktif maddeli filtrasyon sonrası elde edilen filtre keklerinin nem içeriklerinin yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi....	67
Tablo 4.5. Minerallerin tane boyutunun filtre keki artık nem içeriği üzerine etkisi	71
Tablo 5.1. Dolomit ve kuvars mineralinin kesme gerilmesi üzerine doygunluk derecesinin etkisi	74
Tablo 5.2. Dolomit ve kuvars mineralinin susuzlaştırma basıncının kesme gerilmesi üzerine etkisi	77
Tablo 5.3. Dolomit ve kuvars minerallerinin kesme gerilmesi, sıkıştırma basıncı ve doygunluk ilişkisi	80
Tablo 5.4. Yüzey aktif madde varlığında filtrasyon sonrası susuzlaştırma işleminde uygulanan sıkıştırma basıncının kesme gerilmesi üzerine etkileri	83
Tablo 5.5. Dolomit mineralinin saf ve 500 g/ton noniyonik yüzey aktif madde katkılı kesme gerilmesi ve susuzlaştırma basıncı değişimi	83
Tablo 5.6. Kuvars mineralinin saf ve 500g/ton noniyonik yüzey aktif madde katkılı kesme gerilmesi ve susuzlaştırma basıncı değişimi	86
Tablo 5.7 Dolomit filtre kekinin noniyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri	89
Tablo 5.8. Kuvars filtre kekinin noniyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri	91

Tablo 5.9.	Dolomit filtre keklerinin anyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk ilişkisi	93
Tablo 5.10.	Kuvars filtre keklerinin anyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri	95
Tablo 5.11.	Dolomit filtre keklerinin katyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri	98
Tablo 5.12.	Kuvars filtre keklerinin katyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri ..	
Tablo 5.13.	Dolomit filtre keklerinin amfoterik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk ilişkisi	100
Tablo 5.14.	Kuvars filtre keklerinin amfoterik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk ilişkisi	102
Tablo 5.15.	Kalsit mineralinin kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi	107
Tablo 5.16.	50 g/ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli kalsit ve kuvars kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi	109
Tablo 5.17.	Kalsit ve kuvars keklerinin kesme gerilmesinin tane boyutu ile değişimine ait eşitlikler	111

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Depolanmış bir mineral yığını	2
Şekil 2.1 : Filtrasyon işlemi sırasında kek oluşumu	4
Şekil 2.2 : Filtre kekinde bulunan sıvının dağılımı	6
Şekil 2.3 : Mekanik susuzlaştırma şekilleri a. Sıkıştırma, b. Hava Geçiş	7
Şekil 2.4 : Temas açısı	9
Şekil 2.5 : Kapiler basınç- doyumluk eğrisi	10
Şekil 2.6 : Bağ mekanizmalarına alternatif bir sınıflandırma	13
Şekil 2.7 : Potansiyel enerji eğrileri	13
Şekil 2.8 : Partiküller arasındaki mesafe ve çekim kuvvetleri	15
Şekil 2.9 : Partikül boyutu ve adhezyon kuvvetleri	16
Şekil 2.10 : Elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyeli	17
Şekil 2.11 : Adhezyon kuvvetleri ve partikül boyutu	18
Şekil 2.12 : Van der waals kuvvetlerinin ortamdan etkilenmesi	18
Şekil 2.13 : Tam ıslanma durumunda ($\delta=0$) sıvı köprüsü ve kapiler kuvvetin büyüklüğü	19
Şekil 2.14 : Partiküller arası sıvı köprüsü	19
Şekil 2.15 : Adhezyon kuvvetinin tutunma açısı ile değişimi	20
Şekil 2.16 : Nemli agglomereler için tam ıslanma durumunda, köprüleşme (pendular) bölgesinde doyumluğun fonksiyonu olarak uygulana maksimum çekme gerilmesinin değişimi	21
Şekil 2.17 : Schubert diyagramı	22
Şekil 2.18 : Partiküllerin temas noktasındaki yapısal etki	24
Şekil 2.19 : Polielektrolit ilavesi ile mineral tanelerinin etkileşimi	25
Şekil 2.20 : Sıvı- hava ara yüzeyinde yüzey aktif madde adsorpsiyonu ve yüzey gerilmesinin düşürülmesi	26
Şekil 2.21 : Bir süspansiyondaki adsorpsiyon dengesi	27
Şekil 2.22 : Kristallerin kayması	28
Şekil 2.23 : Kesme gerilmesi	29
Şekil 2.24 : Kesme gerilmesi altında filtre kek yüzeyindeki kırılmalar (a) Plastik ve (b) Kırılgan	32
Şekil 3.1.a : Dolomit minerali, 0- 45 μm tane boyutu	37
Şekil 3.1.b : Kuvars minerali, 0- 45 μm tane boyutu	37
Şekil 3.1.c : Kalsit minerali, 0- 6 μm tane boyutu	38
Şekil 3.1.d : Kuvars minerali, 0- 6 μm tane boyutu	38
Şekil 3.2 : Kuvars mineralinin X ışınları difraksiyonu	39
Şekil 3.3 : Dolomit mineralinin X ışınları difraksiyonu	39
Şekil 3.4 : Kuvars mineraline su adsorplanma tipleri	40
Şekil 3.5 : Basınçlı filtrasyon cihazı ve hücre alt kapağı	42

Şekil 3.6	: Filtratest cihazı, Bokela	43
Şekil 3.7	: Dolomit filtre keki	44
Şekil 3.8	: Susuzlaştırma işlemi sırasında TiO_2 keki yüksekliğinin basınç ve zamanla değişimi	45
Şekil 3.9	: BOS kesme gerilmesi ölçüm cihazı	46
Şekil 3.10	: Kesme gerilmesi ölçümünde çenelerin ve kekin konumu	46
Şekil 3.11	: MARK- 10, yüksek kesme gerilmesi değerlerinde kullanılan S şekilli sensör ve kuvvet ölçer	47
Şekil 3.12	: Mark-10 kuvvet ölçer modifikasyonu ile BOS kesme gerilmesi ölçüm cihazı	48
Şekil 3.13	: Kuvars mineralinin kesme yüzeyinin doygunluk ile değişimi	48
Şekil 3.14	: Dolomit mineralinin kesme yüzeyinin doygunluk ile değişimi	48
Şekil 3.15	: Kuvars ve dolomit mineralleri için yüzey gerilmesi değişimleri	50
Şekil 3.16	: Dolomit ve kuvars mineralleri için zeta potansiyeli değişimleri	51
Şekil 3.17	: Dolomitin yüzey geriliminin noniyonik, anyonik, katyonik, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	52
Şekil 3.18	: Kuvarsın yüzey geriliminin noniyonik, anyonik, katyonik, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	52
Şekil 3.19	: Dolomitin zeta potansiyelinin noniyonik, anyonik, katyonik, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	53
Şekil 3.20	: Kuvarsın zeta potansiyelinin noniyonik, anyonik, katyonik, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	53
Şekil 4.1	: Dolomit filtrasyonunda filtrasyon hızındaki eğilimin basınçla değişimi	56
Şekil 4.2	: Kuvars filtrasyonunda filtrasyon hızındaki eğilimin basınçla değişimi	56
Şekil 4.3	: Dolomit filtrasyonuna yüzey aktif madde tiplerinin etkisi	59
Şekil 4.4	: Kuvars filtrasyonuna yüzey aktif madde tiplerinin etkisi	59
Şekil 4.5	: Dolomitin filtrasyon hızının noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	61
Şekil 4.6	: Kuvars filtrasyon hızının noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi.....	61
Şekil 4.7	: Dolomit mineraline ait 1bar sabit basınçtaki filtrasyonda katyonik, amfoterik, noniyonik ve anyonik yüzey aktif maddelerin konsantrasyonlarının filtrasyon hızına etkileri	63
Şekil 4.8	: Dolomit mineraline ait 1bar sabit basınçtaki filtrasyonda katyonik, amfoterik, noniyonik ve anyonik yüzey aktif maddelerin konsantrasyonlarının filtrasyon hızına etkileri	63
Şekil 4.9	: Kuvarsın filtrasyon hızının 1 bar sabit basınçta katyonik, amfoterik, noniyonik ve anyonik yüzey aktif madde katkılı ortamda yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	64
Şekil 4.10	: Kuvarsın filtrasyon hızının 6 bar sabit basınçta katyonik, amfoterik, noniyonik ve anyonik yüzey aktif madde katkılı ortamda yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	65
Şekil 4.11	: Tane boyutunun filtrasyon hızına etkisi	68

Şekil 4.12	: Yüzey aktif maddeli filtrasyon işleminde tane boyutunun etkisi	69
Şekil 4.13	: Kalsit mineralinin yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz filtrasyon işlemine tane boyutunun etkisi	70
Şekil 4.14	: Kuvars mineralinin yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz filtrasyon işlemine tane boyutunun etkisi	70
Şekil 5.1	: Saf ortamda dolomitin kesme gerilmesi üzerine doygunluk derecesinin etkisi	74
Şekil 5.2	: Saf ortamda kuvars mineralinin kesme gerilmesi üzerine doygunluk derecesinin etkisi	75
Şekil 5.3	: Uygulanan basınç ile boşluk oranındaki değişim	76
Şekil 5.4	: Dolomitin çeşitli basınçlarda kesme gerilmesinin doygunlukla değişimi	77
Şekil 5.5	: Kuvars mineraline ait sıkıştırma basıncındaki değişimin kesme gerilmesi ve doygunluk üzerine etkisi	79
Şekil 5.6	: Dolomitin kesme gerilmesi, sıkıştırma basıncı ve doygunluk ilişkisi	81
Şekil 5.7	: Kuvarsın kesme gerilmesi, sıkıştırma basıncı ve doygunluk ilişkisi	81
Şekil 5.8	: Dolomitin 500 g/ton noniyonik yüzey aktif madde varlığında kesme gerilmesinin çeşitli basınçlarda doygunluk ile değişimi ..	83
Şekil 5.9	: Kuvarsın 500 g/ton noniyonik yüzey aktif madde varlığında kesme gerilmesinin çeşitli basınçlarda doygunluk ile değişimi ..	84
Şekil 5.10	: Dolomit mineralinin yüzey aktif madde ilavesiz ve 500 g/ ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli 2, 4 ve 6 bar sıkıştırma basınçlarındaki kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi	85
Şekil 5.11	: Kuvars mineralinin yüzey aktif madde ilavesiz ve 500 g/ ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli 2, 4 ve 6 bar sıkıştırma basınçlarındaki kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi	87
Şekil 5.12	: Dolomit mineraline ait filtre keklerinin noniyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri	89
Şekil 5.13	: Dolomitin kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	90
Şekil 5.14	: Kuvars mineraline ait filtre keklerinin noniyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri	91
Şekil 5.15	: Kuvarsın kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	92
Şekil 5.16	: Dolomit filtre keklerinin anyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk ilişkisi	94
Şekil 5.17	: Dolomitin kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	94
Şekil 5.18	: Kuvars filtre keklerinin anyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi	96
Şekil 5.19	: Kuvarsın kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	96

Şekil 5.20	: Dolomit filtre keklerinin katyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi	97
Şekil 5.21	: Dolomitin kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	98
Şekil 5.22	: Kuvars filtre keklerinin katyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi	99
Şekil 5.23	: Kuvarsın kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	99
Şekil 5.24	: Dolomit filtre keklerinin amfoterik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi	101
Şekil 5.25	: Dolomitin kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	101
Şekil 5.26	: Kuvars filtre keklerinin amfoterik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi	102
Şekil 5.27	: Kuvarsın kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi	103
Şekil 5.28	: Dolomitin S=%0- 10 doygunlukta, yüzey aktif madde tiplerinin reaktif konsantrasyonu ile kesme gerilmesi üzerindeki değişimlerinin kıyaslanması	104
Şekil 5.29	: Dolomitin S=%80- 90 doygunlukta, yüzey aktif madde tiplerinin reaktif konsantrasyonu ile kesme gerilmesi üzerindeki değişimlerinin kıyaslanması	104
Şekil 5.30	: Dolomitin S=%0-10 doygunlukta, yüzey aktif madde tiplerinin reaktif konsantrasyonu ile kesme gerilmesi üzerindeki değişimlerinin kıyaslanması	105
Şekil 5.31	: Kuvarsın S=%70-90 doygunlukta, yüzey aktif madde tiplerinin reaktif konsantrasyonu ile kesme gerilmesi üzerindeki değişimlerinin kıyaslanması	105
Şekil 5.32	: Kalsit mineralinin saf ortamda kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi	107
Şekil 5.33	: Kuvars mineralinin saf ortamda kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi	108
Şekil 5.34	: Kalsit mineralinin 50g/ ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli kesme gerilmesinin tane boyutu ile değişimi	109
Şekil 5.35	: Kuvars mineralinin 50g/ ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli kesme gerilmesinin tane boyutu ile değişimi	110

SEMBOL LİSTESİ

a	: Partiküller arası mesafe, μm
a/x	: Partiküller arası rölatif mesafe, μm
A	: Yüzey alanı, cm^2
A*	: Hamaker sabiti, J
A_{KS}	: Katı- sıvı ara yüzeyinin alanı, m^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
F⁰⁰	: Küre- küre etkileşimi sonucu van der Waals kuvvetleri, μN
F¹⁰	: Levha- küre etkileşimi sonucu van der Waals kuvvetleri, μN
F¹¹	: Levha- levha etkileşimi sonucu van der Waals kuvvetleri, μN
H	: Partiküller arası adhezyon kuvvetleri, N
K_c	: t/v- v grafiğinde doğrunun eğimi
h_c	: Kek yüksekliği, mm
h_{cc}	: Ekvivalent kek yüksekliği, mm
h_{ew}	: Liftshitz- van der Waals sabiti
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_{Kmin}	: Minimum kapiler basınç, N/cm^2
ΔP	: Basınç farkı, bar
r_c	: Özgül kek direnci
r₁, r₂	: Küre yarıçapı, μm
R₁, R₂	: Sıvı köprüsü bükülme çapı, μm
R	: Poröz tabaka direnci
R_M	: Filtre ortamı direnci
RM	: Artık nem, %
S	: Doygunluk, %
ΔW_{KS}	: Ara yüzey adsorpsiyon enerjisi, J
V_B	: Boşluk hacmi
V_L	: Sıvı Hacmi
V_S	: Katı hacmi
V_T	: Toplam hacim
dV/dt	: Filtrasyon hızı yada hacimsel debi
x	: Tane boyutu, μm
x_s	: Sauter yarıçapı, μm
β	: Sıvı köprüsü tutunma (filling) açısı
δ	: Temas açısı
ε	: Porözite
γ_{SK}	: Katı sıvı ara yüzey enerjisi, N/m
γ_{KG}	: Katı gaz ara yüzey enerjisi, N/m
γ_K	: Katı hava ara yüzey enerjisi, N/m

γ_{SG}	: Sıvı gaz ara yüzey enerjisi, N/m
γ_w	: Suyun yüzey gerilimi, N/m
η	: Sıvı viskozitesi, cp
ϕ	: Sıvı oranı
K	: Konsantrasyon sabiti
ρ_K	: Katının yoğunluğu, g/cm ³
ρ_L	: Sıvının yoğunluğu, g/cm ³
σ_z	: Çekme gerilmesi, N/cm ²
σ_{zmax}	: Maksimum çekme gerilmesi, N/cm ²
τ	: Kesme gerilmesi, N/m ²
z	: İki partikül arasındaki mesafe, μm



FİLTRE KEKLERİNİN KESME GERİLMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Çalışmada, filtrasyon işlemi sonrasında ele geçen filtre keklerinin kesme gerilmesine, doygunluk, basınç, tane boyutu ve şekli ile yüzey aktif maddelerin etkisi incelenmiştir.

Çok ince öğütülmüş minerallerin filtrasyonu endüstriyel çapta problemli bir operasyondur. Filtrasyondan ele geçen kekler ise mineral ve kimya endüstrilerinin pek çoğunda atık konumunda olup taşınma ve depolanma operasyonlarına gitmektedir. Bu operasyonlarda kekin direnci çok önemlidir. Genel olarak, ince taneli minerallerin filtre kekleri (şlam) son operasyon olarak herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmaksızın depolanmaktadır. Yeterli stabiliteye sahip şlam depolanması için filtre keklerinin çekme, kesme ve basma gerilmesi gibi çeşitli sağlamlık özelliklerine sahip olması gerekir. Yeterli düzeyde kesme gerilmesi dayanımı göstermeyen bir filtre kekinin hem taşınım ve hem de depolanma açısından problemler yaratacağı açıktır. Endüstriyel ölçekte atık depolarında yığınların kayması çeşitli kazalara neden olmaktadır. Son yıllarda Avrupa’ da özellikle de Almanya’ da atık durumundaki filtre kekleri ve şlamların depolanması standartlaştırılarak bir takım normlara bağlanmaktadır. Bu nedenle son yıllarda kek direnci ve şlamların stabilizasyonu konuları bilimsel çalışmaların kapsamını oluşturmaktadır.

Etkili bir katı- sıvı ayırımı için çeşitli yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır. Kullanılan yüzey aktif maddeler kekteki nemi düşürürken, kekin direncini ve özellikle de kayma gerilmesini etkilemektedir. Ayrıca, çalışma basıncı, kekin nem içeriği ve tanecik boyutu da kekin mukavemeti üzerine son derece önemli parametrelerdir.

Çalışma iki ana kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısımda, ince öğütülmüş dolomit ve kuvars minerallerinin basınçlı filtrasyon davranımları incelenmiş ve yüzey aktif madde ilavesinin filtrasyon hızı üzerindeki etkileri açıklanmıştır. İkinci bölümde ise filtre keklerinin kesme gerilmesi incelenmiştir.

Dolomit ve kuvars filtrasyonu dört farklı basınç değerinde saf ve yüzey aktif maddeli ortamlarda yapılarak, filtrasyon basıncının ve yüzey aktif madde ilavesinin filtrasyon hızına etkileri incelenmiştir. Bu çerçevede, yüzey aktif madde tipinin ve yüzey aktif madde konsantrasyonunun filtrasyon hızına etkileri tespit edilmiştir.

Kesme gerilmesi deneyleri, filtre keklerinin doygunluk derecesinin ve filtrasyon sonrası sıkıştırma basıncının filtre keklerinin kesme gerilmesi üzerinde yaptığı değişimleri

saptamak amacıyla yedi farklı doygunluk değeri ve üç farklı basınç değerinde, saf ve noniyonik yüzey aktif madde katkılı ortamda yapılmıştır. Ayrıca, dolomit ve kuvars minerallerinin kesme gerilmesine yüzey aktif madde konsantrasyonunun ve tipinin (noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik) etkisi saptanmıştır.

Çalışmada, filtre keklerinin eldesi ve 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. Süspansiyon yoğunluğu hacmen %20 olan mineral süspansiyonlarından filtre keklerinin eldesi iki kademe gerçekleştirilmektedir. Birinci kademe, sabit basınçta filtrasyon işleminin uygulanması, ikinci kademe ise filtre keklerini sabit basınç altında 20 dakika tutarak susuzlaştırma işlemidir. Bu koşullarda tümüyle doymuş filtre keki $S=1$ elde edilmektedir. Daha sonra elde edilen bu filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçümleri laboratuvarımızda tarafımızdan geliştirilen BOS kesme cihazında gerçekleştirilmiştir.

Filtrasyon aşamasında, yüzey aktif madde ilavesinin filtrasyon hızını arttırdığı ve kekin nem içeriğini düşürdüğü saptanmıştır. Farklı tiplerde noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddeler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde, 1 bar ve 6 bar sabit basınçlarda filtrasyon hızını en fazla arttıran yüzey aktif madde tipinin dolomit minerali için noniyonik yüzey aktif madde olduğu ve kuvars minerali için ise katyonik yüzey aktif maddenin filtrasyon hızını en fazla arttırdığı görülmüştür.

Kesme gerilmesi doygunluğa bağlı olarak değişmektedir. Kesme gerilmesi ve doygunluk arasındaki ilişki tıpkı Schubert' in çekme gerilmesi- doygunluk diyagramına benzer olarak üç bölgeye ayrılmaktadır.

1. Bölge: $0 \leq S < 0,30$ arasındaki köprüleşme bölgesinde, kesme gerilmesi doygunlukla artan bir eğilime sahiptir.
2. Bölge: $0,3 < S < 0,8$ arasındaki geçiş bölgesinde, kesme gerilmesi $S=0,5-0,6$ civarında bir minimum gösterir.
3. Bölge: $0,8 < S \leq 1$ arasındaki kapiler bölgede ise kesme gerilmesi maksimum değer alır.

Susuzlaştırma işleminde uygulanan sıkıştırma basıncının artması ile filtre keklerinin tüm doygunluk değerlerinde kesme gerilmesi artmaktadır. Kesme gerilmesi ile basınç arasındaki ilişki $\tau = a P^b$ olarak yazılabilir. Burada a ve b sabitleri doygunluğa ve şekil faktörüne bağlıdır.

Yüzey aktif madde ilavesi, dolomit ve kuvars minerallerinin filtre keklerinin kesme gerilmesine tüm doygunluk ve sıkıştırma basınçlarında ortalama olarak 2- 2,5 katı azalmaya neden olmaktadır. Yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesi üzerindeki etkisinin minerallerin tipine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Her iki mineral için de noniyonik ve anyonik yüzey aktif maddenin kesme gerilmesini azalttığı bulunmuştur. Katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddeler ise her iki mineral tipi için de

kesme gerilmesinde önce azalmaya sonra da (10 g reaktif/ton katı) artışa sebep olmaktadır.

Tane boyutunun kesme gerilmesi üzerine olan etkisine ilişkin şekil faktöründen bağımsız olarak iki ayrı doygunluk bölgesi için aşağıdaki ifadeler geliştirilmiştir:

$$\tau = a \cdot \frac{1}{x^b}, \quad a \text{ ve } b \text{ sabitler.}$$

$$0 \leq S < 0,3 \text{ köprüleşme bölgesinde} \Rightarrow a = (0,5 - 1) 10^6 \text{ ve } b = 1,4- 1,6$$

$$0,7 < S \leq 0,85 \text{ kapiler bölgede} \Rightarrow a = (1- 7) \cdot 10^5 \text{ ve } b = 0,7- 1,0$$

THE INVESTIGATION OF THE PARAMETERS EFFECTING THE SHEAR STRENGTH OF FILTER CAKES

SUMMARY

In this study, the effect of the saturation, pressure, particle size and shape and the surface active agent addition has been investigated.

The filtration of very fine minerals is still a big problem in industrial scale. The cakes obtained from mineral and chemical industries are mostly wastes and sent to the transportation and stocking operations. The stability of the cake is very important in these operations. In general, the cakes or slimes of finely ground minerals are deposited without any thermal operation as the last step. To obtain slimes deposits having enough stability, the cakes have to have several stability properties like, the tensile, shear and compression strength. In the industry, the sliding of the waste deposits cause several accidents. In recent years in Europe, especially in Germany, the stocking of the filter cakes and slimes obtained from wastes is standardized to some norms. Therefore the cake strength and slime stability topics are in the scientific research area.

For an efficient solid- liquid separation several surface active agent are in use. These agents cause to decrease the residual moisture of the cake and also affect the cake stability and especially the shear strength of the cake at the same time. In addition, the working pressure, the saturation of the cake and the size of the particles forming the cake are very important parameters affecting the cake stability.

The study consists of two main parts. In the first part, the pressure filtration behaviour of the finely ground dolomite and quartz minerals was investigated and the effect of the surface active agent addition on the filtration rate has been analysed. In the second part, the shear strength of the filter cakes was investigated.

The filtration of dolomite and quartz has been done in the four different pressures in the presence and absence of the surface active agents. Hence, the effect of filtration pressure and surface active agent addition on the filtration rate has been determined. In the frame of these experiments, the effects of the type and the concentration of the surface active agent on the filtration rate have been determined.

To determine the changes in the shear strength of the filter cakes caused by the saturation degree and the compression pressure, the shear strength measurement experiments have been done in the seven different saturation degree under three different pressure in the presence and absence of the surface active agent medium.

At the same time, the effect of the surface active agent concentration and type (nonionic, anionic, cationic and amphoteric) on the shear strength of dolomite and quartz cakes has been determined.

The filter cakes filtration have been obtained using the FILTRATEST apparatus which was equipped from the co. Bokela in Germany. The cakes obtained from the apparatus in the disc form have 10mm height and 50 mm diameter. The preparation of the filter cakes from the suspensions having approximately %20 by volume concentration consists of two steps: The first step is the application of the filtration and the second step is the compression of the cake for about 20 minutes in the cell. In these conditions the fully saturated ($S=1$) filter cakes were obtained. The measurement of the shear strength of these cakes were then made using the apparatus BOS which was designed in the laboratory by ourselves.

The surface active agent addition has increased the filtration rate in the filtration step. In the filtration experiments carried out at 1 and 6 bar pressures, using different types of surface active agents (nonionic, anionic, cationic and amphoteric). It was found that, the nonionic surface active agent increases the filtration rate of dolomite whereas the cationic surface active agent increases the filtration rate of quartz mostly.

Shear strength changes with the saturation degree of the cake. The relation between the shear strength and the saturation is similar to the Schubert's relation between tensile strength and saturation. According to this, the relation can be separated into three regions;

1. region: $0 \leq S < 0,3$; The bridging region in which the shear strength increases with the saturation.
2. region: $0,3 < S < 0,8$; The transition region in which the shear strength has a minimum value especially beyond $S= 0,5- 0,6$.
3. region: $0,8 < S < 1$; Capillary region in which the shear strength has a maximum value.

The shear strength of the cakes increases with the increase of the compression pressure applied in the second step (dewatering of the cakes) of the cake production in all of the saturation values. The relation between the shear strength and the pressure is written as the form of $\tau = a P^b$ and the a and b are constants depending on the saturation and shape factor.

The addition of the surface active agent decreases the shear strength of both dolomite and quartz about 2 or 2,5 times compared to the pure conditions in all of the compression pressures and complete saturation region. On the other hand, the effects of the surface active agent concentration on the shear strength of the cakes depends on the mineral type. The nonionic and anionic surface active agents have decreased the shear strength of both of the minerals. Cationic and amphoteric surface active agents however causes first to decrease (for 10g reagent/ t solid concentration) and then to increase the shear strength of both of the minerals.

For the effect of the particle size on the shear strength in the two different saturation regions the following equations have been found (the relations are independently of the shape factor, namely type of the minerals):

$$\tau = a \frac{1}{x^b}$$

For $0 \leq S < 0,1$; Bridging Region $\Rightarrow a = (0,5 - 1) 10^6$ and $b = 1,4- 1,6$

And for $0,7 < S \leq 0,85$; capillary region $\Rightarrow a = (1- 7).10^5$ and $b = 0,7- 1,0$



1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, filtre keklerinin filtrasyon hızı ve kesme gerilmeleri üzerine basınç, tanecik boyutu ve şekli, yüzey aktif madde katkısı ve doygunluk gibi çeşitli parametrelerin etkisi incelenmiştir.

Çok ince öğütülmüş minerallerin filtrasyonu endüstriyel çapta oldukça problemli bir işlemdir. Bunun en büyük nedeni, ince öğütülmüş minerallerin çok geniş yüzey alanına sahip olması ve kil, silikat gibi parçacıklara yapışan su miktarının fazla olmasıdır. Susuzlaştırma işlemi ancak uygulanan filtrasyon basıncının, kapiler basınçtan daha fazla olması durumunda gerçekleşebilmektedir. Süzmenin kolaylaştırılması yönünde gerek laboratuvar ölçeğinde ve gerekse sanayi ölçeğinde araştırmalar yoğun olarak sürdürülmektedir. Susuzlaştırmanın etkisini arttırabilmek için basınç farkı arttırılabilir, kapiler basınç düşürülebilir ya da termal kurutma (evaporasyon) uygulanabilir.

Susuzlaştırma ya da nem içeriğini düşürme; gıda maddeleri üretiminde, ilaç endüstrisinde ürün durumundaki filtre keklerinin kurutma maliyetlerini azaltma açısından çok önemlidir. Oysa, filtrasyondan ele geçen kekler mineral ve kimya endüstrilerinin pek çoğunda atık konumundadır. Hem su ve hem de mineralin birlikte taşınmasından dolayı ulaşım masraflarındaki artışlar maddi kayıplara sebep olmaktadır. Genel olarak filtre kekleri (şlam) son işlem olarak herhangi bir ısıtma işlemi uğratılmaksızın depolanmaktadırlar. Gerek taşınma ve gerekse depolanma işlemleri için ele alınan filtre keklerinin stabiliteleri önem kazanmaktadır. Özellikle Avrupa’da bu yönde bir takım standardizasyonlara gidilmektedir. Bu tarz depolanmış bir yığın Şekil 1.1’de görülmektedir.

Yeterli seviyede stabiliteye sahip şlam depolanabilmesi için filtre keklerinin bazı katılma karakteristiklerine sahip olması gereklidir. Bunlar; basit mukavemet halleri olarak tanımlanan basma, çekme ve kesme mukavemetleridir.

Filtre keklerinin dış görünüşleri de ileriki işlemler açısından önem kazanmaktadır. Pastamsı, yapışkan, yada tiksotropik filtre kekleri ayırma işlemlerinde istenmeyen filtre kekleridir. Ürünün işlenmesi sırasında paletlere yapışması, dökülebilirliğinin olmaması dolayısıyla bantlar ile taşınamaması ve yeniden çözünme esnasındaki davranımları tümüyle işletme açısından sorun yaratmaktadır.



Şekil 1.1. Depolanmış bir mineral yığını

Bunun da ötesinde bu tip kekler taşıma sırasında istenmeyen keklerdir ve bunlarda kontrol edilemeyen kaymaların meydana gelmesi çok büyük kazalara yol açabilmektedir. 1970 yılında Almanya’ da München adlı şlam yüklü bir şilepin yığınların kaymasından dolayı batması yığınların hareketinin ve dolayısıyla kayma gerilmesinin ne kadar önemli olduğu konusunda ciddi bir uyarı olmuştur.

Katı taneciklerden oluşan yığınların işlenmesi sırasında kayma gerilmesinin ya da mukavemetinin önem kazandığı yerleri kısaca şöyle sıralayabiliriz (Bentz, 1998);

- Yapışma (Özellikle silolardan ürün boşaltma sırasında partiküllerin yapışarak akmaya direnç göstermeleri),
- Filtre keklerinin kırılması,

- Filtre ortamından ayrılma,
- Depolama karakteristikleri,
- Pompalama ve taşınma özellikleri,
- Tekrar karıştırma.

Çalışmada filtre keklerinin karakterizasyonuna ilişkin olarak kayma gerilmesi incelenmiş ve çeşitli parametrelerin etkisi ortaya konmuştur. Bunlar özellikle basınç, tanecik boyutu ve şekli, doygunluk derecesi ve yüzey gerilimidir.

Etkili bir katı- sıvı ayırımının yapılabilmesi için, uygun olan proseslerde yüzey aktif maddelerin kullanılması gittikçe yaygınlaşmaktadır. Yüzey aktif maddelerin kullanımı, filtre kekindeki nemi düşürürken, kekin direncini de etkilemektedir. Gerek depolama ve gerekse taşıma işlemlerinde kayma gerilmesinin önemi büyük olduğundan yüzey aktif madde ilavesinin kayma gerilmesi üzerine etkileri oldukça önemlidir. Filtre keklerinin çekme ve basma gerilmelerine ilişkin literatürde çalışmalar mevcut olduğu halde kayma gerilmelerinin ölçülmesi ve hangi parametrelere bağlı olduğuna ilişkin çalışmalar çok yenidir. Oysa, bu bilgilerden özellikle çevre normlarına ilişkin önemli ipuçları elde edilebilir.

Bu amaçlarla, çok ince öğütülmüş dolomit ve kuvars minerallerinin basınçlı filtrasyon sonucu ele geçen filtre keklerinin kesme gerilmeleri ölçülmüş ve kesme gerilmesine etki eden parametreler saptanmıştır. Deneyler, filtrasyon kademesi ve kesme gerilmesi ölçümleri olarak iki kısma ayrılmaktadır. Her iki kademedede de yüzey aktif madde ilavesiz ve noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif madde ilavesi yapılarak yüzey aktif maddelerin hem filtrasyona ve hem de kesme gerilmesine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, basınç, tane boyutu ve şekli ile doygunluğun kesme gerilmesi üzerine etkileri incelenmiştir.

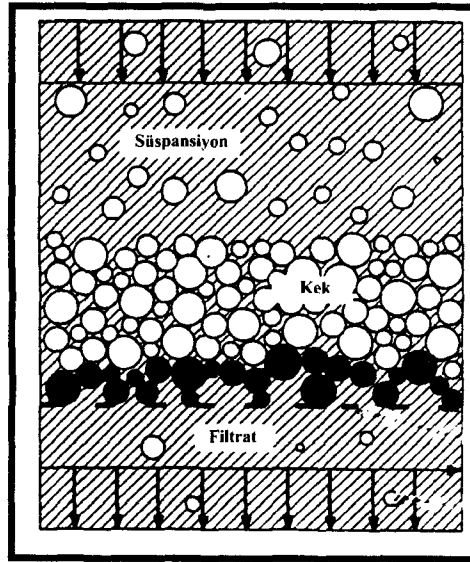
2. TEORİK KISIM

2.1 Kek Filtrasyonu Tanımı

Filtrasyon, bir süspansiyonu oluşturan katı taneciklerin poröz bir yüzey ya da elek bir ortam tarafından tutulduğu ve sıvı kısmın ise ortamdan geçirilerek, katı sıvı ayrımının sağlandığı bir mekanik ayırma işlemidir (Coulson, 1987, Mc.Cabe, 1993). Filtrasyon temel olarak iki ana kademeden oluşmaktadır. Bunlar, kekin oluştuğu birinci kademe ve oluşan kekin susuzlaştırıldığı ikinci kademedir.

2.2 Kek Oluşumu ve Teorisi

Filtrasyonun başlangıcında süspansiyonun katı kısmını oluşturan bazı tanecikler filtre ortamından geçerek bulanık bir filtrat oluştururken çok kısa bir süre sonunda filtre ortamı üzerinde biriken taneler arasında katı köprülerinin oluşması ile kek meydana gelmektedir. Bu aşamadan itibaren berrak bir süzütünün elde edildiği filtrasyon işlemi kek tarafından yapılmaktadır. Kek oluşumu Şekil 2.1' de şematik olarak gösterilmektedir (Anlauf, 1991a).



Şekil 2.1. Filtrasyon işlemi sırasında kek oluşumu

Kek filtrasyonu ile ilgili teoriler oldukça eski olup temel teori Darcy, (1856)' da Dijon şehrinin yerel çeşmelerinden akan suyun çeşitli kalınlıktaki kum yataklarından geçişi sırasında akış hızının değişimi üzerine yaptığı araştırmalara dayanmaktadır ve 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 da bilinen yukarıdaki temel eşitlik, Newtonian bir sıvının laminar akış durumunda, filtrasyon hızı yada hacimsel debinin dV_L/dt , basınç değişimi ΔP ile doğru orantılı olduğunu ve sıvının viskozitesi η , poröz tabaka direnci R ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Darcy eşitliğinin geçerli olduğu durumlarda şu kabuller yapılmaktadır (Anlauf, 1991b).

- Süspansiyonun 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 tabakanın direnci olup, hem kekin ve hem de filtre ortamının tek tek gösterdiği dirençlerin toplamıdır (Anlauf, 1994).

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

Yukarıdaki eşitlikten de görüldüğü gibi toplam kek direnci, kek yüksekliği h_c ile artmaktadır. Zamana bağlı olarak değişen filtrat hacmi V_L ile kek yüksekliği h_c arasında, kek porözitesinin zamanla değişmediği kabul edilerek, aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır.

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

Bu ifade de κ , konsantrasyon sabiti olup katı madde hacim konsantrasyonu c_v ve porözite ϵ ile ifade edilmektedir. Ayrıca kek porözitesi ϵ , katı hacmi V_s ve toplam hacim V_T cinsinden de ifade edilebildiğinden Eşitlik 2.4 yazılabilir.

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

(2.1), (2.2), (2.3) ve (2.4) denklemleri arasındaki eşitliklerin yeniden düzenlenmesi ile Eşitlik 2.5 elde edilir.

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

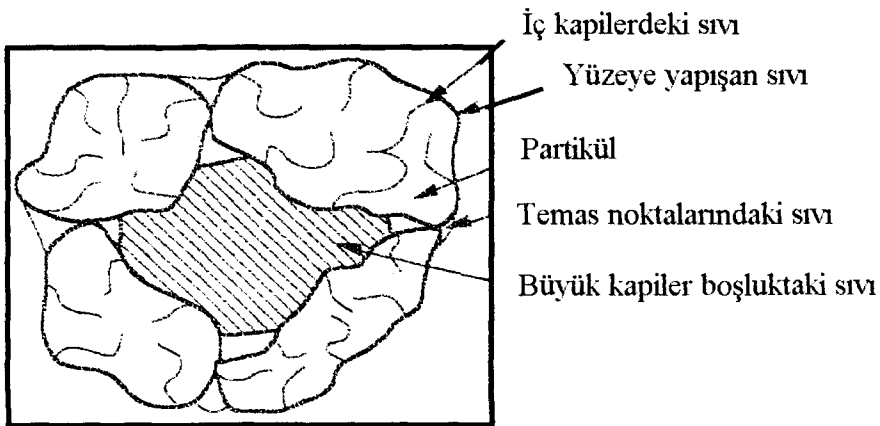
Sabit basınç altında, sürekli bir filtrasyon işlemi $t=0$ ise $V=0$ ve $t=t_1$ ise $V=V_1$ sınır koşulları kullanılarak yukarıdaki diferansiyel denklem integre edilirse, Eşitlik 2.6 elde edilir.

$$\frac{t_1}{V_1} = \left[\frac{\eta \cdot r_c \cdot \kappa}{2 \cdot A^2 \cdot \Delta P} \right] \cdot V_1 + \left[\frac{\eta \cdot R_M}{A \cdot \Delta P} \right] \quad (2.6)$$

Bu denklem aslında deneysel sonuçlar sonunda zamana karşı elde edilen filtrat hacimleri kullanılarak t/V_L ile V_L arasında çizilen doğrunun denklemini ifade etmektedir. Bu doğrunun kayımından filtre ortam direnci R_M ile eğiminden de özgül kek direnci olan r_c hesaplanır.

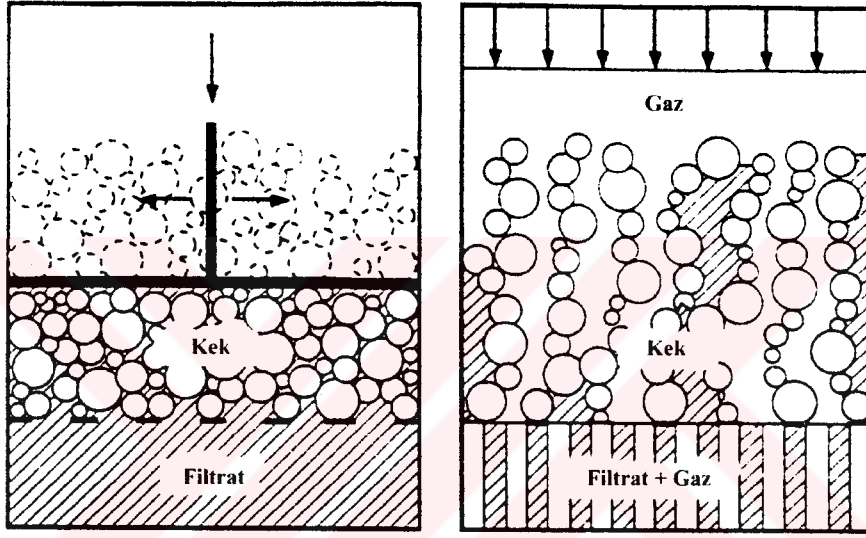
2.3 Susuzlaştırma

Kek oluşumu tamamlandıktan sonra filtrasyon işlemine susuzlaştırma ile devam edilerek filtre keklerinin doygunluk değerlerinin daha da azaltılması sağlanır. Susuzlaştırma işleminde en önemli faktör filtre kekinde bulunan ve Şekil 2.2' de gösterilen boşlukların şekli ve miktarıdır (Heßner, 1992).



Şekil 2.2. Filtre kekinde bulunan sıvının dağılımı

Filtre kekinde boşluklar arasında sıkışan filtratın uzaklaştırılması iki ana mekanizma ile meydana gelmektedir (Anlauf, 1991b). Mekanizmaların birincisi mekanik susuzlaştırma olup Şekil 2.3’ de gösterilmektedir. Mekanik susuzlaştırmada temel prensip doğrudan kekin içinden hava geçirilerek veya mekanik olarak sıkıştırma uygulanarak, filtre keki içinde bulunan boşluk hacimlerinin azaltılmasıdır. İkincisi ise filtre yardımcı maddelerinin kullanılmasıyla, filtrat viskozitesinin düşürülmesi yada kek karakteristiklerinin değiştirilmesine dayanan susuzlaştırma işlemidir (Wakeman, 1975).



Şekil 2.3. Mekanik Susuzlaştırma Şekilleri
a. Sıkıştırma, b. Hava Geçişi

Susuzlaştırmada itici kuvvet, sabit basınçta uygulanan filtrasyon basıncı ile filtre keklerinin sahip olduğu kapiler basınç arasındaki farktır. Kapilerde bulunan sıvının uzaklaştırılabilmesi için uygulanan kuvvetin, kapiler kuvvetlerden daha büyük olması gereklidir (Ströh, 1993). Bu basınç farkının artırılması için mekanik etkilerin uygulanması gereklidir (Wiedemann ve Stahl, 1993). Son yıllarda süspansiyona yüzey aktif maddeler ilave edilerek yüzey ıslanma özellikleri değiştirilmekte ve kapiler basıncın düşürülmesi sağlanarak daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Filtrasyon işleminin hızlandırılmasının yanı sıra, yüzey aktif maddeler, filtre keklerinin nem içeriklerini de azaltarak daha optimum performans sağlamaktadırlar (Ströh ve Stahl, 1991).

2.4 Filtre Kekini Tanımlayan Özellikler

2.4.1 Porözite, ε

Porözite, kekin içinde yer alan boşluk hacmidir ve filtre keki içindeki toplam boşluk hacminin, kekin tüm hacmine oranı olarak tanımlanır. Katının kütlesi m_K , katının yoğunluğu ρ_K , filtrasyon yüzeyi A , kek yüksekliği h_K ve kek çapı D_K olmak üzere porözite, silindirik katılar için Eşitlik 2.8' de verilmiştir.

$$\varepsilon = 1 - \frac{m_K}{\rho_K \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_K^2 \cdot h_K} \quad (2.8)$$

2.4.2 Boşluk oranı, e

Filtre keki içindeki boşlukların, katı hacmine oranıdır ve e ile gösterilir. Boşluk hacmi V_B ve filtre kekinin toplam hacmi V_T olmak üzere boşluk oranı Eşitlik 2.9' da verilmektedir.

$$e = \frac{V_B}{V_T - V_B} \quad (2.9)$$

Porözite ile boşluk oranı arasındaki ilişki ise aşağıdaki şekillerde ifade edilebilir.

$$e = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad \text{yada} \quad \varepsilon = \frac{e}{1 + e} \quad (2.10)$$

Boşluk hacmi, esas olarak uygulanabilecek maksimum sıkıştırma basıncı (consolidation pressure) hakkında bilgi verir. Filtre keklerinin sıkıştırılması ile ilgili çalışmalardan kısaca, sıkıştırma basıncının logaritması ile e arasında bir ters orantı mevcuttur (Wiedemann, 1995).

2.4.3 Nem içeriği, RM

Kekin tuttuğu sıvının m_s , kekin tüm kütlesine ($m_s + m_K$) oranı olarak, Eşitlik 2.11' deki gibi tanımlanır.

$$RM = \left(\frac{m_s}{m_s + m_K} \right) \times 100 \quad (2.11)$$

2.4.4 Doygunluk derecesi, S

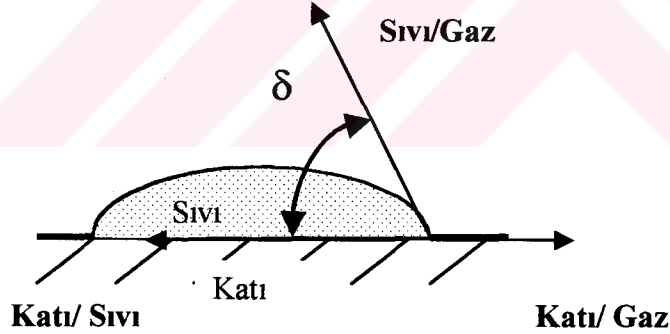
Kek de bulunan su hacminin, boşlukların hacmine oranıdır ve Eşitlik 2.12' deki gibi ifade edilebilir.

$$S = \frac{V_L}{V_B} = \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \right) \times \left(\frac{RM}{1 - RM} \cdot \frac{\rho_K}{\rho_L} \right) \quad (2.12)$$

2.4.5 Temas Açısı, δ

Katı yüzeyine bir sıvı damlacığının yerleşmesi ile oluşan katı sıvı ara yüzeyi ile sıvı hava ara yüzeyi arasındaki açıya temas açısı adı verilmektedir. Temas açısı Şekil 2.4 de gösterilmektedir. Katı partikülün sıvı tarafından ıslatılması için gerekli koşul temas açısı ile 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).

$$\gamma_{SK} = \gamma_{KG} - \gamma_{SG} \cos \delta \quad (2.13)$$

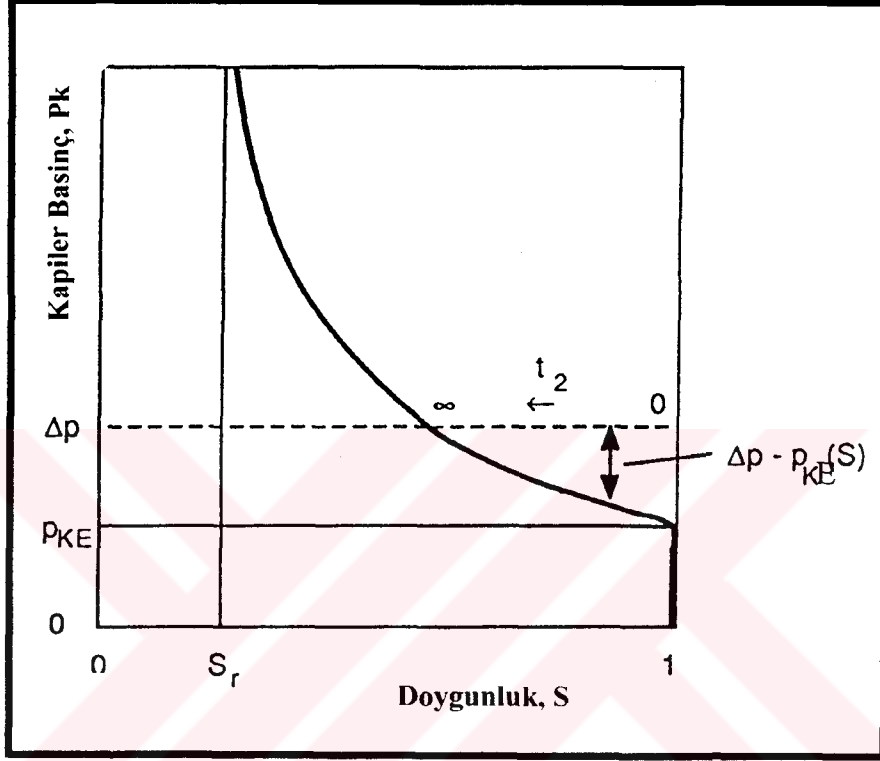


Şekil 2.4. Temas açısı

Temas açısının 90° den küçük olması sıvı tarafından katı yüzeyinin ıslanabilir olduğunu gösterirken, büyük olması ise ıslanmanın gerçekleşmediğini göstermektedir.

2.4.6 Kapiler Basınç, P_K

Filtre kekinde bulunan porlar veya kapiler boşluklardaki sıvının oluşturduğu basınç kapiler basınç olarak adlandırılır. Kapiler basıncın yenilerek porlardaki sıvının dışarı alınması ile susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilir. Kekin doygunluğu ile kapiler basınç arasındaki ilişki Şekil 2.5’ de gösterilen kapiler basınç eğrisi ile açıklanabilir.



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

Başlangıç kapiler basıncı, $P_{K,E}$, en geniş boşluk içindeki sıvıyı gidermek için uygulanması gereken minimum basınç farkını ifade etmektedir. Kek içindeki nemi azaltmak için uygulanan itici potansiyel, maksimum basınç farkı olan $\Delta P - P_{K,E}$ ’ dir. S_r ise basınç farkı ile sağlanan mekanik susuzlaştırmanın alt sınırıdır ve genellikle temas noktalarındaki sıvı, yüzeye yapışan sıvı ve ince 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 2.14’ deki gibi kapiler basınç, gaz basıncı P_G ile sıvı basıncı P_S arasındaki farktır ve yüzey gerilmesi γ ile r_1 ve r_2 çaplarında iki küre için geliştirilmiştir (Adamson, 1967).

$$P_K = \Delta P = P_G - P_s = \gamma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.14)$$

Kapiler basınç, sadece filtre kekinin fiziksel parametrelerine bağlı değil aynı zamanda başta sıvının yüzey gerilimi γ ve temas açısı δ olmak üzere boşluk yapısı porözite ε gibi fizikokimyasal büyüklüklere de bağlıdır. Bu ifadeler kullanılarak geliştirilen eşitlik ise Eşitlik 2.15' de verilmektedir (Ströh, 1992).

$$P_K = \gamma f(\delta) \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \frac{K}{X_{50,2}} \quad (2.15)$$

2.5 Filtre Kekini Oluşturan Tanecikler Arasındaki Çekim Kuvvetleri

Tanecikler arasındaki çekim kuvvetlerinin ilk olarak sınıflandırılması Rumpf (1977) tarafından agglomerelerin oluşumu ve yapılarının aydınlatılması amacıyla yapılmıştır. Rumpf ' a göre taneler arasındaki bağ kuvvetlerini katı köprüsü, sıvı köprüsü, adhezyon ve kohezyon kuvvetleri, katı partiküller arasındaki çekim kuvvetleri ve kenetlenme olarak beş ayrı mekanizma ile açıklayabiliriz (Barthelmes, 1995, Pietsch, 1977). Bunlar;

2.5.1 Katı köprüsü

Yüksek sıcaklıkta, partiküllerin temas noktalarında bir partikülden diğerine moleküllerin difüzyonu ile meydana gelir. Sıcaklık yükselmesi dışarıdan, ikincil bir kaynaktan yada agglomerelerin sürtünme yada enerjinin konveksiyon ile yayınımindan meydana gelmektedir. Örnek olarak, sinterleşme, kimyasal reaksiyon, sertleştirici bağlayıcılar, çözünmeyen maddelerin kristalizasyonu, erimiş bileşenlerin katılaşması sayılabilir.

2.5.2 Sıvı köprüleri

Sıvı köprüleri, kapiler basınç ve ara yüzeydeki kuvvetlerin etkisiyle oluşan oldukça kuvvetli bağlardır. Bu bağlar, ortamdaki sıvının buharlaşması yada başka bir bağlanma mekanizmasının üstünlüğünde son bulur.

2.5.3 Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri ile bağlanma

Viskozitesi yüksek bağlayıcıların bulunduğu ortamda katı köprülerine benzeyen bağ mekanizmaları oluşabilir. Kalın adsorpsiyon tabakaları ince partiküllerin etrafını sararak hareketsiz kuşatılmalarına neden olur.

2.5.4 Katı partiküller arasındaki çekim kuvvetleri

Genel olarak katı partikülleri bir arada tutan ve kısa aralıkta etkili olan çekim kuvvetlerini van der Waals, elektrostatik ya da manyetik kuvvetler olarak sayabiliriz. Belirli bir mesafede etkindirler ve partikül boyutunun azalmasıyla bu mekanizma büyük önem kazanmaktadır.

2.5.5 Kenetlenme

Partiküllerin birbirine bağlanması yada kapalı bağlarla kenetlenmesi şeklindedir. Bu mekanizma Şekil 2.6' dan daha iyi anlaşılabilir.

Tanecikler arasındaki çekim kuvvetlerine ve dolayısıyla, bağ mekanizmalarına alternatif bir sınıflandırma ise Pietsch (1977), tarafından partiküller arasında madde köprülerinin oluşup oluşmamasına bağlı olarak yapılmaktadır. Bu sınıflandırma Şekil 2.6' da gösterilmektedir.

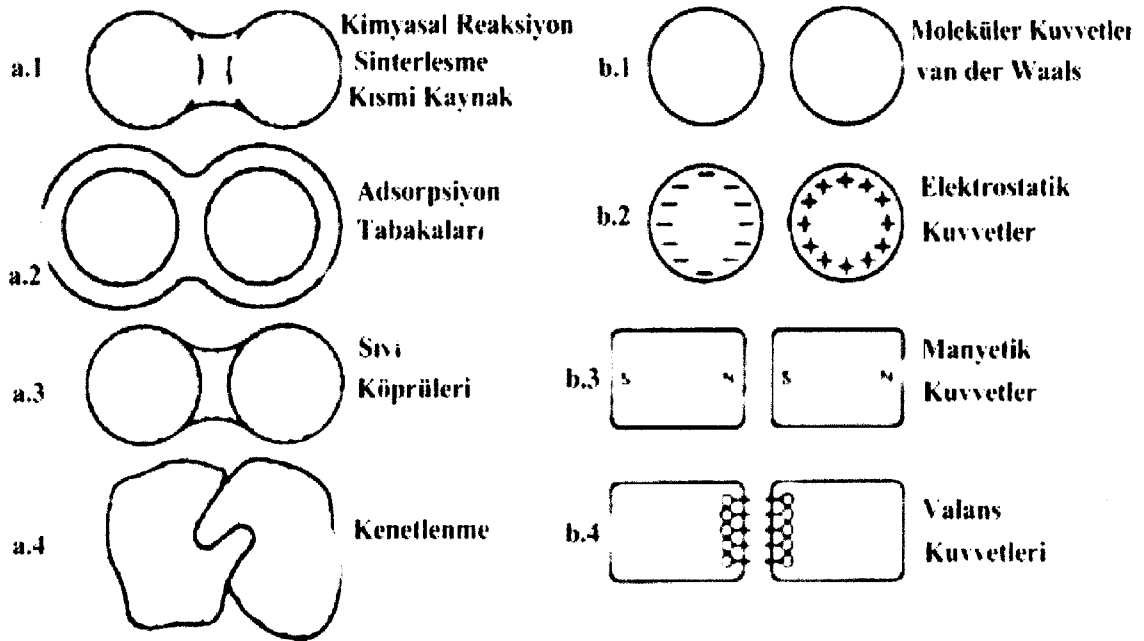
Pietsch (1977)' e ait olan bu sınıflandırmadaki madde köprüsü oluşturarak bağ oluşumu Rumpf (1977) ait sınıflandırma içinde açıklanmıştır. Ancak madde köprüsü içermeyen bağ oluşturan kuvvetlerin başlıcaları ise DLVO kuvvetleridir.

2.5.6 DLVO Kuvvetleri

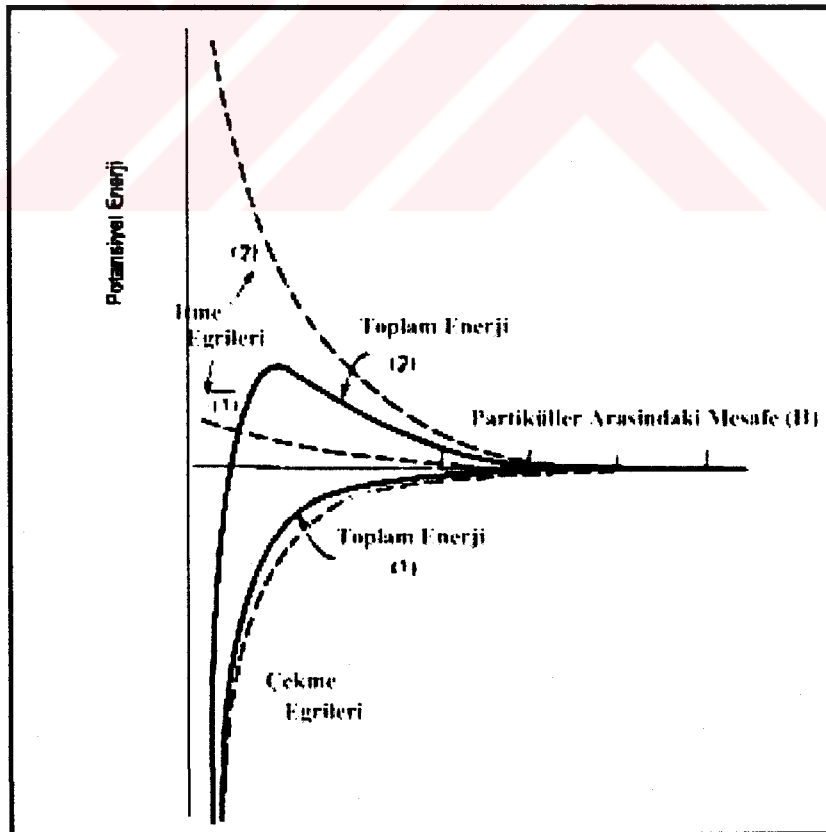
Tanecikler arasındaki etkileşimlerin en önemlisi olan elektrostatik ve van der Waals kuvvetlerini tanımlayan ve taneciklerin stabilitesini ortaya koyan teori DLVO teorisidir. Bu teori birbirinden bağımsız olarak Derjaguin ve Landau (1941) ile Verwey ve Overbeek (1948) tarafından geliştirilmiştir. Teori kısaca, disperse olmuş partiküller arasındaki etkileşimler olan çekme kuvvetleri ve itme kuvvetleri arasındaki potansiyel enerji dengesi olarak tanımlanabilir (Rosen, 1989).

a. Madde Köprüsü ile Bağlanma

b. Madde Köprüsü Oluşturmadan Bağlanma



Şekil 2.6. Bağ mekanizmalarına alternatif bir sınıflandırma (Pietsch, 1977)



Şekil 2.7. Potansiyel enerji eğrileri (Rosen, 1989)

DLVO teorisine göre, çekme ve itme kuvvetleri toplam etkileşimi vermek üzere toplanabilirler. Potansiyel enerji ve tanecikler arasındaki mesafeye bağlı olarak toplam etkileşim Şekil 2.7' de gösterilmektedir. Burada, stabil bir süspansiyonda itmeye karşılık gelen pozitif toplam enerji eğrisi birinci durumu göstermektedir. Çekim ve stabil olmayan bir süspansiyon için ikinci durum ise negatif toplam enerji eğrisi ile ifade edilmektedir (Rosen, 1989).

2.5.6.1 Van der Waals kuvvetleri

Van der Waals kuvvetleri, kararsız dipollerdeki elektron akışı nedeni ile oluşan dipoller arası etkileşimlerin sonucudur (Rumpf, 1977). Esas olarak van der Waals kuvvetleri, dipol oryantasyon kuvveti (Keesom-), indirgenme kuvveti (Debye-) ve dispersiyon kuvvetlerinden (London-) meydana gelmektedir (Israelachvili, 1992).

İki cisim arasındaki van der Waals kuvvetlerini açıklayan Lifshitz ve Hamaker teorileri, cisimlerin geometrisi göz önüne alarak küre- küre, küre- levha, levha- levha etkileşimleri olarak Tablo 2.1'de özetlenmiştir (Bentz, 1998).

Lifshitz- van der Waals sabiti h_w ile Hamaker sabiti A^* , arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

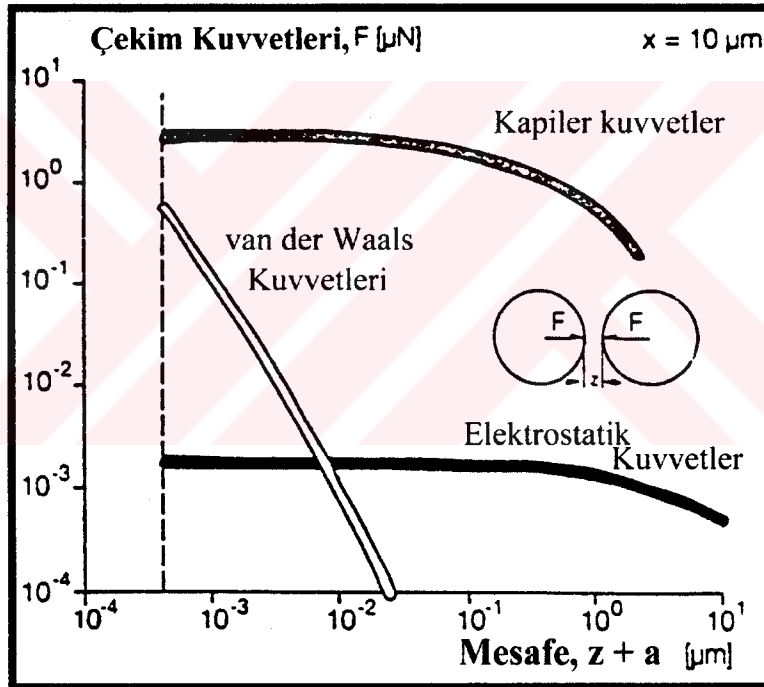
$$h_w = \frac{4}{3} \pi A^* \quad (2.16)$$

Tablo 2.1. Lifshitz ve Hamaker teorilerine göre kuvvetler (Joule)

	Lifshitz	Hamaker
F^{00}	$\frac{h_w}{8 \pi a^2} * \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$\frac{A^*}{6 a^2} * \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
F^{10}	$\frac{h_w}{8 \pi^2 a^3} * A$	$\frac{A^*}{6 a^2} * R_1$
F^{11}	$\frac{h_w}{8 \pi^2 a^3} * A$	$\frac{A^*}{6 \pi a^3} * A$

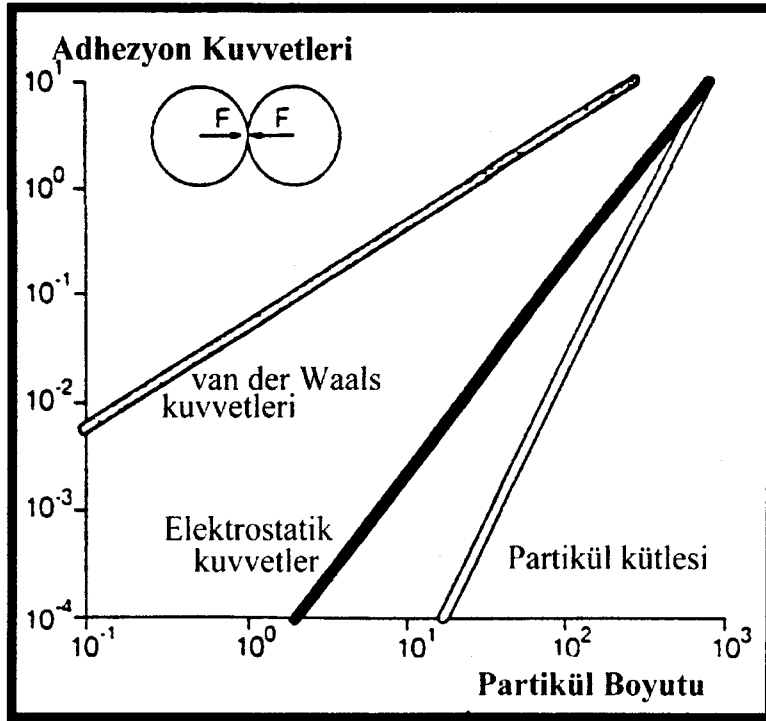
Van der Waals kuvvetlerini etkileyen iki önemli parametre partiküller arası mesafe ve partiküllerin boyutudur. Van der Waals kuvvetleri diğer çekim kuvvetleri olan elektrostatik kuvvetler ve kapiler kuvvetler ile karşılaştırıldığında Şekil 2.8' den de görüldüğü gibi partiküller arasındaki mesafenin artması ile van der Waals kuvvetlerinin etkisi hızla azalmaktadır (Sommer, 1992).

Van der Waals kuvvetlerinin mesafenin altıncı kuvveti ile ters orantılı olarak değişmektedir. Oysa diğer çekim kuvvetleri olarak gösterilen kapiler kuvvetler ve elektrostatik kuvvetler daha uzun mesafelerde etkilerini sürdüren kuvvetlerdir. Kapiler kuvvetler ise elektrostatik kuvvetler kadar uzun mesafelerde etkilerini sürdüremezler, partikülleri birbirine bağlayan sıvı köprülerinin kırılmasıyla etkileri hızla azalır (Sommer, 1992, Rumpf ve Schubert, 1975).



Şekil 2.8. Partiküller arasındaki mesafe ve çekim kuvvetleri

Van der Waals kuvvetlerini etkileyen bir diğer parametre partiküllerin boyutudur. Partikül boyutunun ve partikül kütlesinin azalması ile Şekil 2.9'dan da görüldüğü gibi van der Waals kuvvetlerinin etkisi elektrostatik kuvvetlere nazaran daha yüksek olmaktadır (Sommer, 1992).

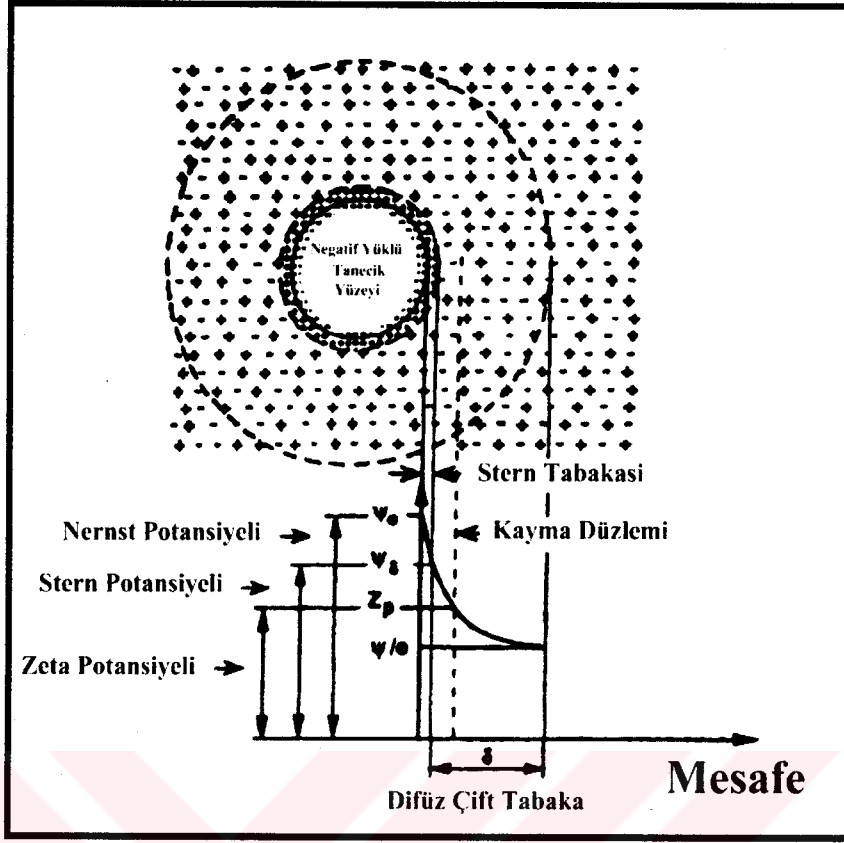


Şekil 2.9. Partikül boyutu ve adhezyon kuvvetleri

2.5.7 Elektrostatik kuvvetler

Partikül yüzeyi ve onu çevreleyen polar bir ortam arasında iyonların termal hareketlerinden doğan karışmadan dolayı belirli bir mesafeye kadar iyonik yük yoğunluğu farklılığı bulunması elektriksel çift tabakayı meydana getirir. Stern elektriksel çift tabaka modeline göre tanecik yüzeyi yakınında ortam iki tabakadan meydana gelmektedir. İç tabaka, adsorplanmış iyonları içeren ve potansiyeli belirleyen tabakadır. Difüz Gouy tabakası ise iyonların elektriksel kuvvetler ve termal hareketlerinin etkisi ile yayıldıkları bölgedir. Partikül yüzeyi ve iyonların dağılmış olduğu elektrolitik çözelti arasında bulunan kayma (shear) düzlemindeki potansiyele zeta potansiyeli veya elektrokinetik potansiyel adı verilmektedir (Shaw, 1970). Tanecik yüzeyinden uzaklaştıkça elektriksel çift tabakanın değişimi ve zeta potansiyeli Şekil 2.10' da gösterilmektedir (Ruhland, 1999).

Yüzeyde elektrolit konsantrasyonunun artmasıyla elektriksel potansiyel mesafeyle hızla düşer ve çift tabaka kalınlığı azalır ve bu olaya çift tabaka bastırılması denir (Adamson, 1967).

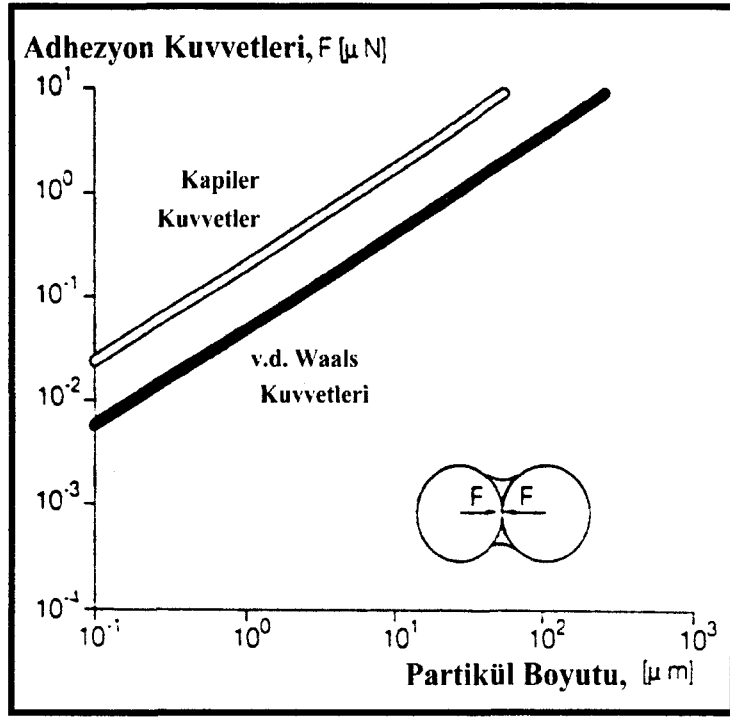


Şekil 2.10. Elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyeli

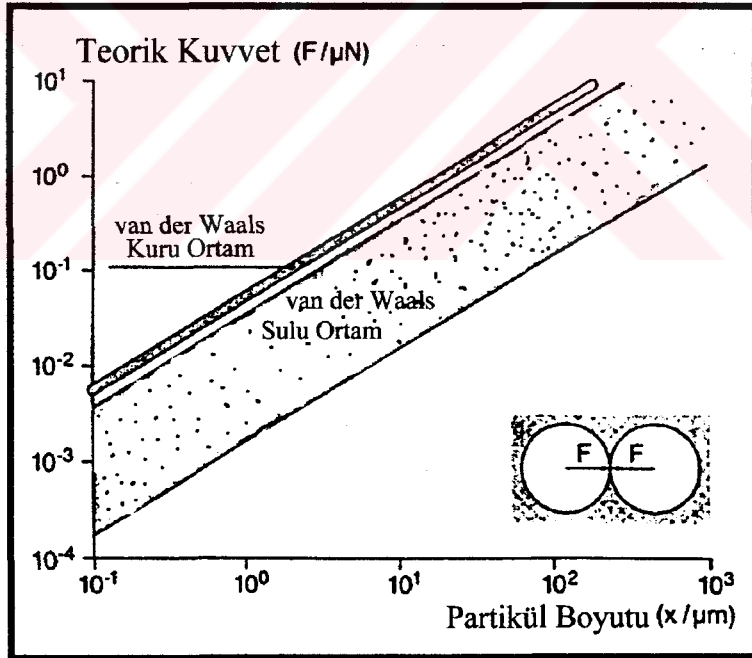
2.5.8 Kapiler kuvvetler

Partikül yüzeyindeki sıvının varlığı ile ortaya çıkan ve sıvı köprülerini oluşturan kuvvetlerdir. Bu kuvvetler, çekme kuvvetleridir ve yüzey gerilmesinin sonucu olarak partiküller arası temas noktalarında bulunmaktadır. Kapiler kuvvetler van der Waals kuvvetlerinden partiküller arası mesafeye bağlı olarak ortalama 20 kat daha büyük kuvvetlerdir (Bentz, 1998). Kapiler kuvvetler ve van der Waals kuvvetlerinin partiküllerin boyutunun artması ile olan değişimleri Şekil 2.11’ de gösterilmektedir (Sommer, 1992).

İki partikül arasında sıvı bulunması sonucu, partiküller arasındaki mesafe arttığından van der Waals kuvvetlerinin zayıflamakta ve bağlanma mekanizması (adhezyon) daha etkin olan kapiler kuvvetler tarafından meydana gelmektedir. Çünkü van der Waals kuvvetleri ortamdaki oldukça fazla etkilenen kuvvetlerdir. Sıvı ortamında, van der Waals kuvvetleri yaklaşık 100 kat azalır. Bu değişim Şekil 2.12’ de verilmektedir. Yüzey aktif maddelerin kullanılması halinde van der Waals kuvvetlerinde yaklaşık 5000 kat dahi azalma görülebilir (Heßner, 1992).



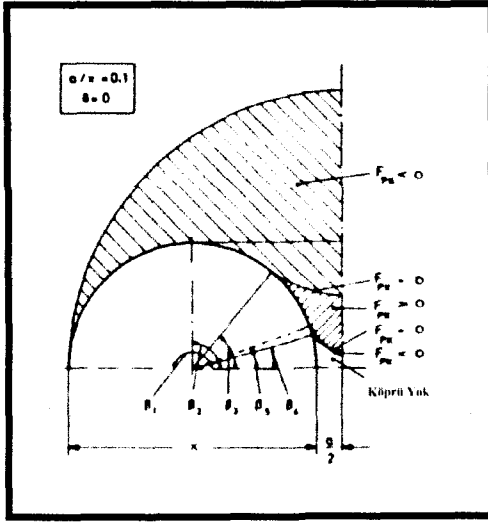
Şekil 2.11. Adhezyon kuvvetleri ve partikül boyutu



Şekil 2.12. Van der Waals kuvvetlerinin ortamdan etkilenmesi

Partiküller arasında bulunan sıvı, Laplace denklemine (Eşitlik 2.14) göre en küçük yüzeyi oluşturacak şekilde yapılandığından oluşan sıvı köprüsü adhezyona sebep olan kapiler kuvvetlerin değişmesi ve partiküllerin ıslanma kabiliyetlerindeki değişimler nedeniyle farklı şekillerde olmaktadır. Partiküller arasında tutulan sıvı hacmi tümüyle sıvı köprüsünün geometrisi ile ilgilidir. Sıvı köprüsünün muhtemel

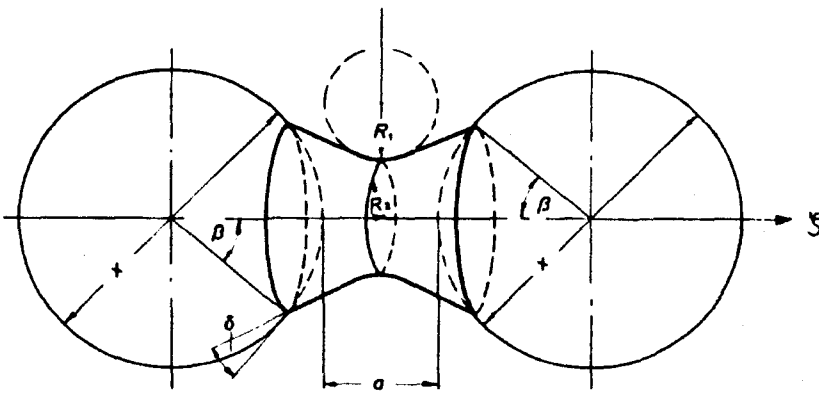
şekilleri ve kapiler kuvvetin aldığı değerler Şekil 2.13' de açıklanmaktadır (Schubert, 1972).



$F_{PK} > 0$	Hiperbol,
$F_{PK} = 0$	Parabol,
$F_{PK} < 0$	Elips,
$F_{PK} = F_{Kmin}$	Daire,
$F_{PK} = 1/2 F_{Kmin}$...	Doğru.

Şekil 2.13 Tam ıslanma durumunda ($\delta=0$) sıvı köprüsü ve kapiler kuvvetin büyüklüğü

Adhezyon kuvvetini hesaplayabilmek için iki benzer küre arasındaki sıvı köprüsünü ifade eden ve Şekil 2.14' de gösterilen bir model kullanılmıştır. Bu modelde aynı ıslanma karakteristiğine sahip olan kürelerin kullanıldığı, dış kuvvetlerden etkilenilmediği ve partikül çapının $x < 1,2$ mm olduğu kabulleri yapılmıştır. Pietsch ve Rumpf tarafından geliştirilen bu modelde sıvı köprüsü daireseldir ve R_1 ve R_2 bükülme çapları kullanılarak ifade edilmektedir (Schubert, 1972, Schubert, 1977).



Şekil 2.14. Partiküller arası sıvı köprüsü

Aşağıdaki genelleştirilmiş ifade ile adhezyon kuvveti F_H ; γ sıvının yüzey gerilmesi, x daire çapı, β tutunma (filling) açısı olup merkez açısının yarısı, δ temas açısı, a küreler arasındaki mesafenin fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$F_H = \frac{F}{\gamma \cdot x} = f_1 \left(\beta, \delta, \frac{a}{x} \right) \quad (2.17)$$

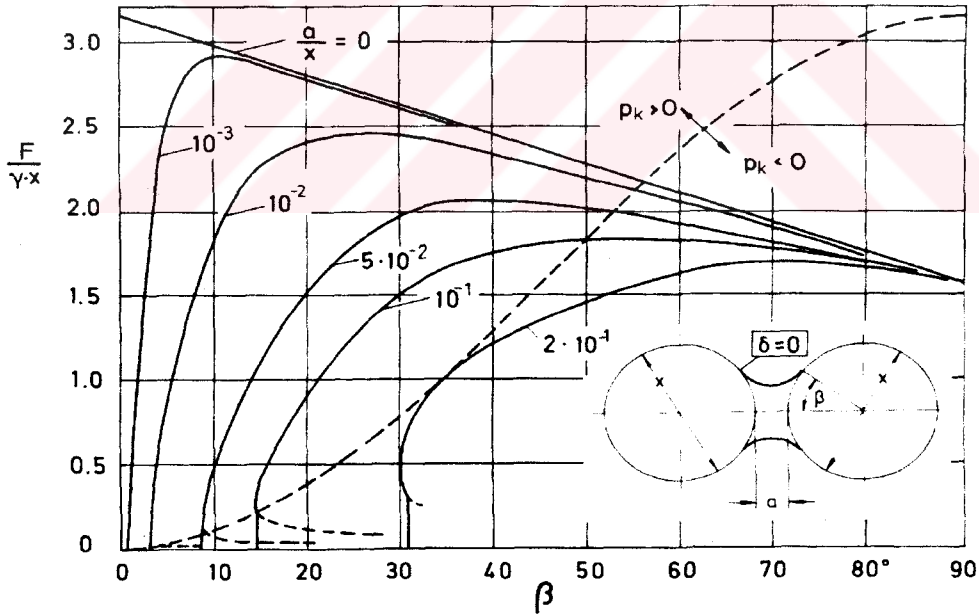
Benzer şekilde bir diğer fonksiyon kapiler basınç için yazılmaktadır.

$$F_{PK} = \frac{P_K \cdot x}{\gamma} = f_2 \left(\beta, \delta, \frac{a}{x} \right) \quad (2.18)$$

İki küre arasındaki köprüyü meydana getiren sıvının hacmi, V_L ' nin katı partikül hacine oranı ise üçüncü bir fonksiyon ile sıvı oranı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\varphi = \frac{V_L}{2 \pi \frac{x^3}{6}} = f_3 \left(\beta, \delta, \frac{a}{x} \right) \quad (2.19)$$

Adhezyon kuvvetinin F_H tamamen ıslanma ($\delta=0$) durumunda, tutunma açısına β bağlı olarak farklı a/x değerleri için bağımlılığı Şekil 2.15' de gösterilmektedir (Barthelmes, 1995, Schubert, 1975).



Şekil 2.15. Adhezyon kuvvetinin tutunma açısı ile değişimi

Kürelerin temasta olduğu $a/x=0$ durumunda F_H değeri, $\beta=0$ değerinden tutunma açısının artmasına bağlı olarak azalmaktadır. $a/x=0$ değerinde ise eğriler tek bir doğru şeklini almaktadır. $a/x=0.2$ olduğu değerde sıvı köprüsü daireseldir. Doygunluk değeri S kullanarak Rumpf tarafından geliştirilen Eşitlik 2.20,

agglomerelerin çekme gerilmesi üzerine yapılan çalışmalar sonunda elde edilmiştir.

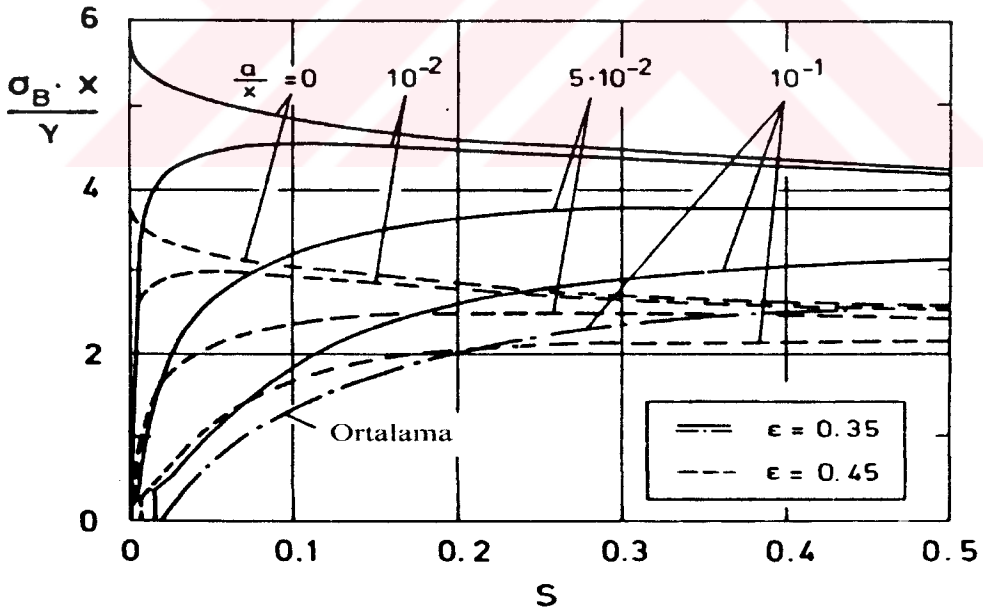
$$S = \pi \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \phi \quad (2.20)$$

Eşitlik 2.19 ve 2.20 birleştirildiğinde çekme gerilmesinin fonksiyonu elde edilmektedir.

$$\frac{\sigma_B \cdot x}{\gamma} = \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} F_H \left(\epsilon, S, \delta, \frac{a}{x} \right) \quad (2.21)$$

Eşitlik 2.21' de kapalı formda yazılmış olan ifade daha açıklayıcı olmak üzere, $\sigma_B x / \gamma$ değeri ile doygunluk S değeri arasında iki farklı porözite ve a/x değeri için tam ıslanma durumunda ($\delta=0$) grafiğe geçirilirse, Şekil 2.16 elde edilmektedir (Schubert, 1975).

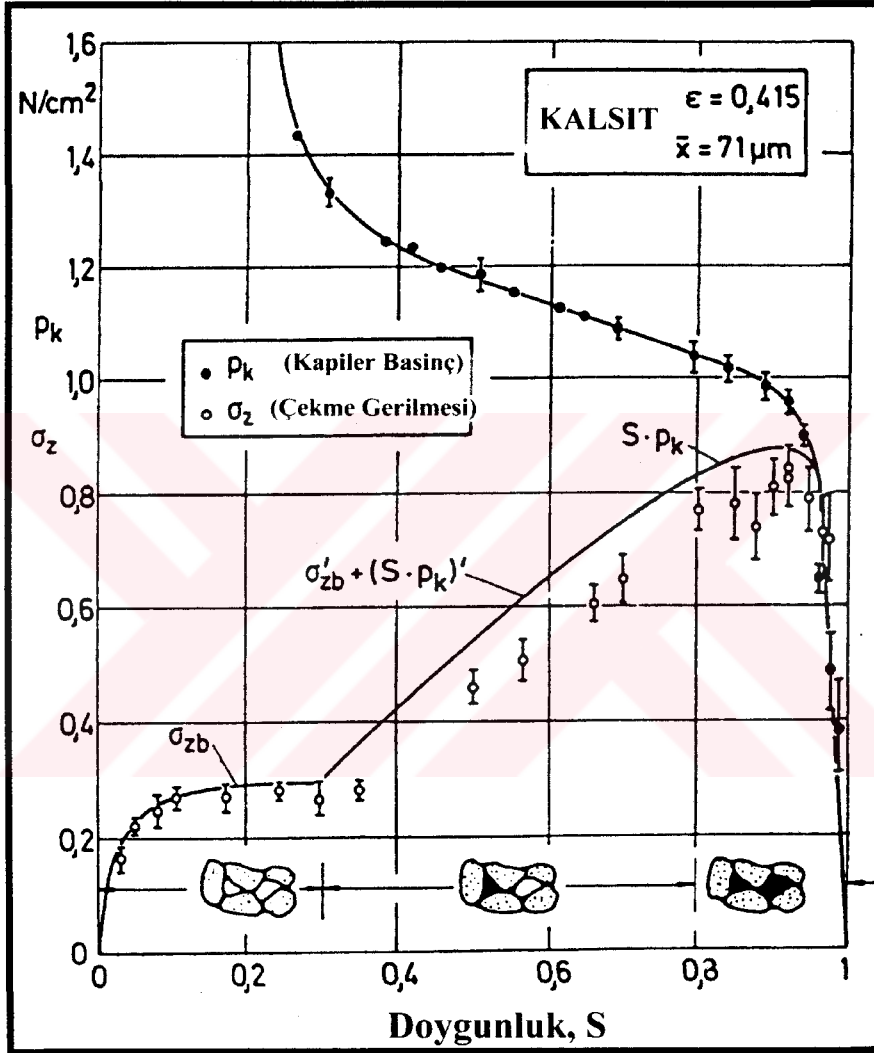
Nemli agglomerelerin tam ıslanma durumunda maksimum çekme gerilmesinin doygunluk değişimini veren bu ifadeler Pietsch- Rumpf yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.16. Nemli agglomereler için tam ıslanma durumunda, köprüleşme (pendular) bölgesinde doygunluğun fonksiyonu olarak uygulanan maksimum çekme gerilmesinin değişimi

2.6 Schubert Diyagramı

Nemli agglomereler için kullanılan ifadeler Schubert tarafından geliştirilerek filtre keklerine uygulanmıştır. Çekme gerilmesinin doygunluk ile değişimi Schubert diyagramı olarak isimlendirilir ve bizim çalışmamızın da temelini oluşturmaktadır. Kalsit minerali için elde edilen Schubert diyagramı Şekil 2.17' de gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Schubert diyagramı (Barthelmes, 1995)

Schubert' in çok ince öğütülmüş kalsit mineraline ait filtre kekinin çekme gerilmesini doygunluğun fonksiyonu olarak gösteren diyagram, doygunluğa bağlı olarak 3 farklı bölgeye ayrılmaktadır.

Kapiler bölge; porlar tümüyle sıvıyla doludur. Doygunluğun, $0.8 < S < 1$ arasında olduğu bölgedir. Bu nedenle, etkiyen kapiler basınç maksimumdur. Mineralin yüzey gerilmesi γ , temas açısı δ , partikül çapı x ve şekil faktörü f e bağlı olarak maksimum kapiler basıncı ve dolayısıyla maksimum çekme gerilmesi Eşitlik 2.22' de verilmektedir.

$$\sigma_{z,max} = S \cdot P_{K,E} \quad (2.22)$$

Schubert, başlangıç kapiler basıncını aşağıdaki gibi tanımlamaktadır. İfade de geçen boyut şekil faktörü f , mineraller için $1.3 < f < 1.8$ olarak verilmektedir (Schubert, 1977, Barthelmes, 1995, Özcan, Ruhland ve Stahl, 2000).

$$P_{K,E} = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot \gamma \cdot \cos \delta \cdot 6 \cdot \left(\frac{f}{x} \right) \quad (2.23)$$

Köprüleşme bölgesi; bu bölge doygunluğun çok düşük olduğu ve partiküller arası adhezyon kuvvetlerinin önem kazandığı bölgedir. Eşitlik 2.17 ve Eşitlik 2.21 arasında verilen ifadeler bu bölgeyi, $0 < S < 0.3$ doygunluk bölgesini tanımlamaktadır. Kısaca köprüleşme bölgesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\sigma_z = \frac{H}{x^2} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \quad (2.24)$$

Bu eşitlikte, H partiküller arasındaki adhezyon kuvvetlerini ifade etmektedir ve şu özelliklerin fonksiyonudur: Partiküller arası relatif mesafe a/x , sıvı köprülerinin tutunma açısı β , temas açısı δ ve yüzey gerilmesi γ .

Geçiş bölgesi; kapiler bölge ile köprüleşme bölgesi arasında kalan bölgedir. Kapiler basınç ve dolayısıyla çekme gerilmesi değerleri diğer iki bölge arasında, $0.3 < S < 0.8$, Eşitlik 2.22 ve Eşitlik 2.24 arasında kalmaktadır.

2.7 Filtre Kekini Oluşturan Tanecikler Arasındaki DLVO Dışı Kuvvetler

Filtre kekinin oluşumu sırasında tanelerin arasında meydana gelen ve DLVO teorisi dışında kalan diğer kuvvetler ise osmotik basınç, hidrasyon etkisi, yapısal basınç farkı ve sterik etkileşimlerdir.

2.7.1 Osmotik basınç

Partiküller arasındaki boşlukta polimerlerin birbirleri ile bağlanmaları ve boşlukları doldurmaları nedeniyle boşluklardaki polimer konsantrasyonlarının dışarıdan daha fazla olması osmotik basıncı yaratır.

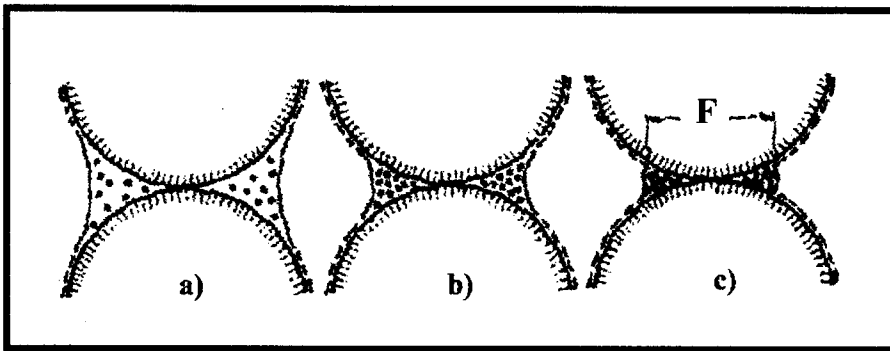
2.7.2 Hidratasyon etkisi

Mineral yüzeyindeki iyonların hidratlanma eğilimlerine bağlı olarak yüzeyde su filmi oluşur. Yüzeyde su filminin bulunması çekim etkisini zorlaştırır ve van der Waals kuvvetlerinin etkisini azaltır.

Hidratasyon etkisi itme kuvveti yönündedir ve hidratasyon derecesinin artması ile artar ve $Li^+ \cong Na^+ > K^+ > Cs^+$ şeklindedir (Gregory, 1989).

2.7.3 Yapısal basınç farkı

Partiküller arası boşlukta sıvı miktarının azalması ile partiküllerin temas noktası artmakta ve partiküller arası mesafeye bağlı olarak van der Waals çekim kuvvetleri daha etkili olmaktadır. Partiküllerin temas noktasında sıvı köprüleri oluşur, çift tabaka bastırılır. Doygunluğun azalması ile partiküller arasındaki sıvının azalması osmotik basınç etkisini ortadan kaldırır. Partiküller arası boşlukta bulunan daha ince taneler, çözünmüş katı yada tuzlar arasında Şekil 2.18' de gösterildiği gibi doyunluğun azalması ile katı köprüleri oluşmaktadır (Ruhland, 1999).



Şekil 2.18. Partiküllerin temas noktasındaki yapısal etki

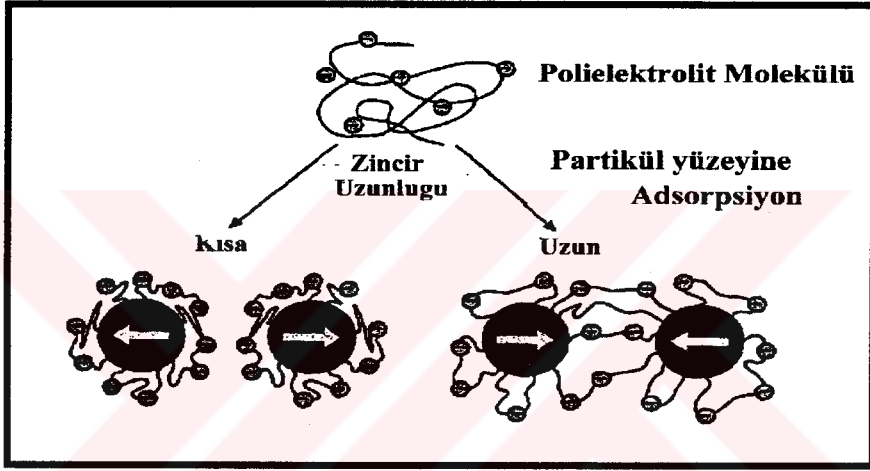
2.7.4 Sterik etkileşim

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 2.19’ da gösterilmektedir (Gregory, 1989, Ruhland, 1999).



Şekil 2.19. Polielektrolit ilavesi ile mineral tanelerinin etkileşimi

2.8 Yüzey Aktif Maddelerin Tanımı

Yüzey aktif maddeler düşük konsantrasyonlarda bulundukları ortamda yüzeylere yada ara yüzeylere adsorplanarak, yüzey yada ara yüzeyin enerjisini değiştiren kimyasal maddelere verilen isimdir. Yüzey aktif maddeler yapılarında hem hidrofilik ve hem de hidrofobik yapıyı taşıyan maddelerdir. Hidrofobik grup, uzun zincirli hidrokarbon ucu ile iyonik ya da yüksek polar gruba sahip hidrofilik gruplardan meydana gelmektedir.

Yüzey aktif maddeler hidrofilik grubun yapısına bağlı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Atıcı, 1991, Baykut, 1986) :

Anyonik: Molekülün yüzey aktif kısmının negatif yüke sahip olduğu gruptur. Örnek: karboksilatlar, sülfonatlar ve fosfatlar.

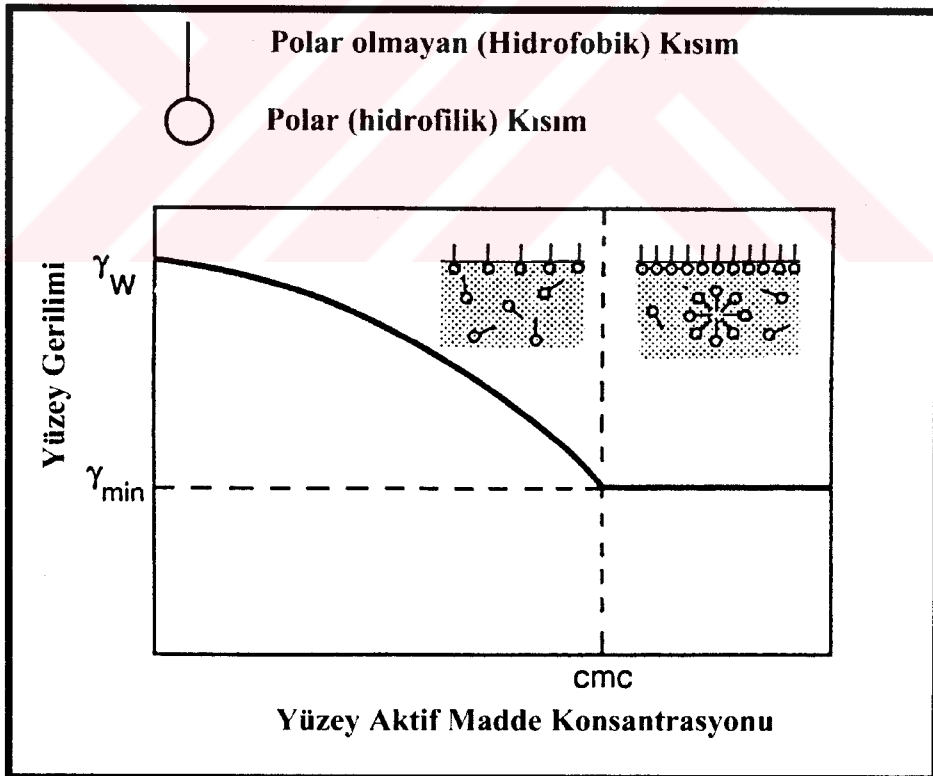
Katyonik: Bir hidrofobik alkil grubu ile pozitif yüklü hidrofilik grup içerirler. Örnek: Amin ve kuaterner amonyum bileşiklerinin tuzları.

Amfoterik: Yüzey aktif kısımda hem negatif ve hem de pozitif yük bulunur. Ortamın pH' ına bağlı olarak ya noniyonik ya da anyonik veya katyonik gibi davranabilirler. Örnek: Uzun zincirli aminoasitler, sülfobetain.

Noniyonik: Yüzey aktif kısımda iyonik yük taşımayan dolayısıyla iyonize olmayan ancak çözüldüklerinde moleküllerinde bulunan eter bağları yada hidroksil yağlar gibi çok sayıda zayıf çözünürlüğü olan grupları beraberinde toplayan gruptur. Örnek: Hidroksil grupları ve polioksietilen zincirleri (Anon., 1954, Rosen, 1989).

2.9 Yüzey Aktif Maddelerin Süspansiyondaki Davranışı

Yüzey aktif maddeler sıvının yüzey gerilmesini düşürürler. Sulu bir çözeltideki yüzey aktif maddelerin davranımı Şekil 2.20' de gösterilmektedir (Ströh ve Stahl, 1990).



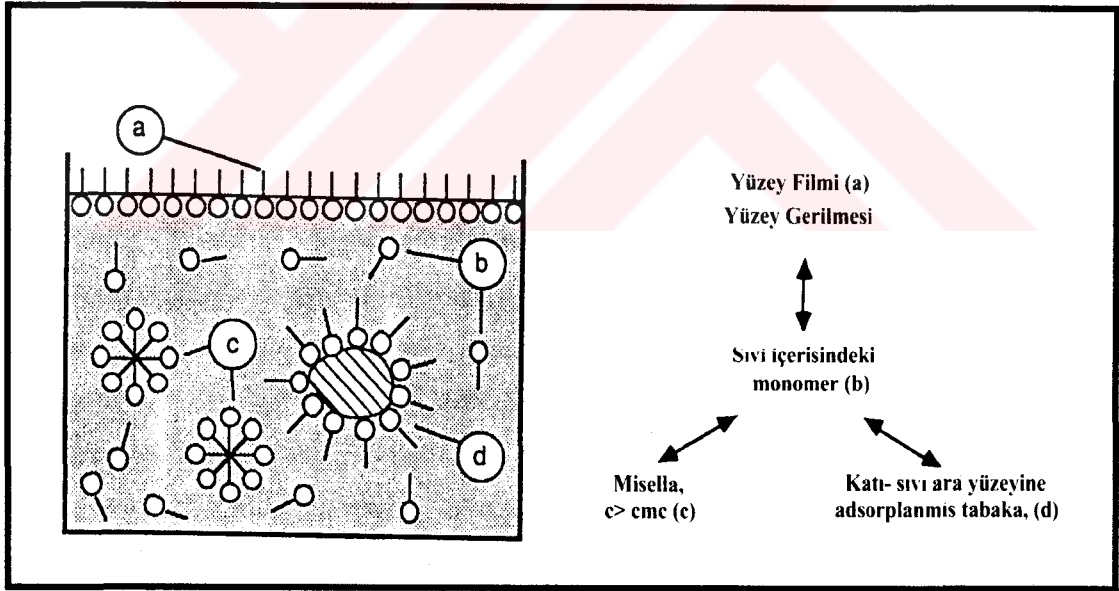
Şekil 2.20. Sıvı- hava ara yüzeyinde yüzey aktif madde adsorpsiyonu ve yüzey gerilmesinin düşürülmesi

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

Katı- sıvı ayırma işlemleri öncesinde, yüzey aktif maddelerin süspansiyonda bir adsorpsiyon dengesi meydana getirdikleri düşünülmektedir. Bu denge Şekil 2.21' de gösterilmektedir.

Bu dengenin yanı sıra süspansiyondaki yüzey aktif madde monomer konsantrasyonu, yüzey gerilmesi, 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 γ_{KS} azalması ile olur. Bu ilişki Eşitlik 2.25' de gösterilmektedir (Stahl ve Ströh, 1990).

$$\Delta W_{KS} = A_{KS} * \Delta \gamma_{KS} \quad (2.25)$$



Şekil 2.21. Bir süspansiyondaki adsorpsiyon dengesi

Katı- sıvı ara yüzeyinde yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonunun sadece yüzey gerilmesi açısından değil, süspansiyonların stabilitesi ve ıslanma karakteristikleri üzerine de etkileri bulunmaktadır. İyonik yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonu, elektriksel itme kuvvetlerinin etkisinin artması nedeni ile süspansiyon stabilitesini arttırmaktadır. Islanma karakteristikleri üzerine etkisi ise Bölüm 2.4.5' de belirtildiği

gibi Young eşitliği ile Eşitlik (2.13) açıklanabilir. Katı yüzeyindeki adsorpsiyon sonucu spesifik ıslanma enerjisindeki ($\gamma_K - \gamma_{KS}$) azalma, temas açısını arttırır. Diğer yandan, yüzey gerilmesinin düşmesi ile buna bağlı olarak temas açısı azalır (Stahl ve Ströh, 1992b).

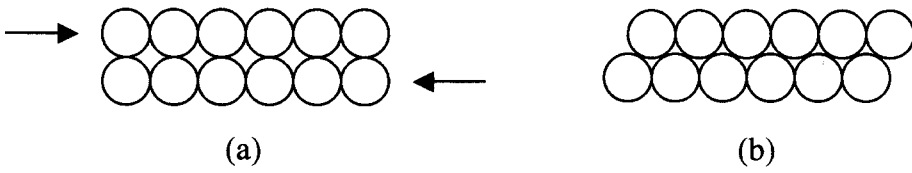
2.10 Yüzey Aktif Maddelerin Filtrasyonda Kullanımı (Yüzey Aktif Maddeli Filtrasyon)

Yüzey aktif maddelerin filtre kekleri üzerindeki etkisi, süspansiyonun yüzey gerilmesini düşürmeleri nedeniyle filtre keklerinin sahip olduğu kapiler basıncın düşürülmesi şeklindedir. Kapiler basıncın düşürülmesi, kekin nem içeriğini %20- 40 arasında azaltarak filtrasyon işlemine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, filtre ortamından kekin daha rahat alınmasına da yardımcı olmaktadır. Daha düşük nem içerikleri filtre keklerinin ve mineral konsantrelerinin elde edilmesi kurutma ve taşıma maliyetlerini de azaltmakla kalmayıp, filtratın geri kazanılmasının ekonomik önemi olduğu bazı hidrometalurjik uygulamalarda da avantaj sağlamaktadır (Adorjan, 1986).

2.11 Filtre Kekinin Kesme Gerilmesi

2.11.1 Kesme (kayma) gerilmesinin tanımı

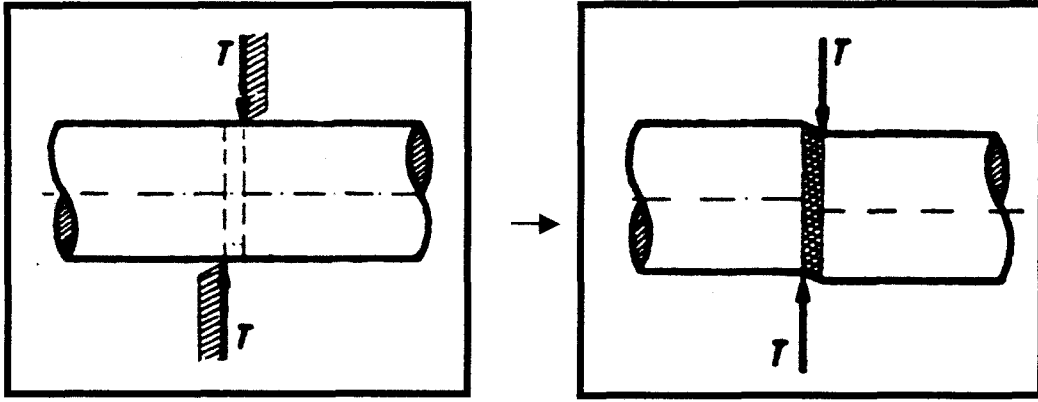
Kayma, kusursuz tek bir kristalin atomlar arası uzaklığın tam katı olarak bir diğer kristal üzerinde Şekil 2.22' deki gibi ötelenmesidir (Çapan, 1986; Onaran, 1993).



Şekil 2.22. Kristallerin kayması

Gerilme tanımından hareketle kayma gerilmesini tanımlamak istersek öncelikle normal gerilmeyi tanımlamamız gerekir. Uygulanan kuvvetin doğrultusu kesit düzlemine dikse normal gerilme adı verilir. Normal gerilmeler, işaretlerine göre basma veya çekme gerilmesi olurlar. Gerilme, kesit düzleminde bulunuyorsa kayma gerilmesi adını alır (İzmirli ve Özbek, 1966, s.15).

Kesme gerilmesi ise kesme kuvvetinden doğan gerilmeler ile kesit düzlemi içinde etkiyen kayma ya da kesme gerilmeleridir. Kesme halinde numune kesit eksenine dik doğrultuda bir öteleme hareketi yapmakla beraber kesit ayrıca düzlemden sapar. Şekil 2.23' de gösterildiği gibi dik kesitler bir çarpılmaya uğrar.



Şekil 2.23. Kesme gerilmesi

2.11.2 Kesme gerilmesi ölçümleri

Kesme gerilmesi veya kayma mukavemeti, belirli bir deney şartı altında, bir katı cismin taşıyabileceği maksimum teğetsel gerilme yada kayma gerilmesi olarak ifade edilmektedir. Bu maksimum gerilmenin değeri, önemli ölçüde deney şartlarına dayandığından herhangi bir numunenin tek bir kayma mukavemeti vardır diye düşünülemez (Kumbasar, 1967).

Kayma gerilmeleri numunenin merkezinden yüzeyine doğru doğrusal olarak artar. Numunenin merkezinde sıfır değerinde iken yüzeyde maksimum değerine ulaşır. Dolayısıyla numunenin kırılması ile elde edilen maksimum kayma gerilmesi numunenin yüzeyindeki kayma gerilmesidir.

Sınırdaki kayma gerilmelerinin sınıra dik bileşenlerinin sıfır olmasından dolayı kesme kuvvetini kesit alanına bölen değerler ancak ortalama kayma gerilmelerini göstermektedir (İnan, 1984).

Kayma gerilmesi ölçümleri tüm basınç deneylerinde olduğu gibi birisi gerilmeyi sabit hızla, diğeri ise deformasyonu sabit bir hızla arttırmak yoluyla iki şekilde yapılır. Birincisi, sabit gerilme artış hızıyla basınç deneyi yapıldığında taş yapılı malzemeler üzerinde ortaya çıkan durumdur. Kırılma durumuna yaklaştıkça boyuna ve enine deformasyon hızları artmaktadır. Mukavemet değerine yaklaştıkça

malzemenin iç yapısının değişme hızı büyümekte ve bunun sonunda ani bir kırılma görülmektedir.

İkinci durumda ise, deformasyon artış hızına sabit bir değer verildiğinden kırılmaya yakın durumlarda gerilmenin artma hızı azaldığından ani kırılmalar önlenmekte ve daha güvenilir mukavemet değerleri bulunmaktadır.

Kesme gerilmesini oluşturabilmek için numunenin içsel sürtünme ve kohezyon mukavemetini yenmek gerektiğinden numuneye etkiyen normal kuvvetlere karşı dışarıdan iş uygulamak gereklidir. Normal kuvvetlere karşı uygulanan iş, cisim yüzeyinde deformasyonlara sebep olur. Basit kayma halinde deformasyonlar elastik ve plastik olmak üzere iki çeşittir (Postacıoğlu, 1981). Agglomerelere uygulanan deformasyonlar da aynı şekilde elastik veya plastik deformasyon şeklindedir. Ancak agglomereler, deformasyonun başlangıcında lineer olarak elastik davranım gösterirler (Schubert, 1975, Bentz, 1998).

2.11.3 Kesme gerilmesi ve kırılma

Kayma kırılması, kayma gerilmesinin kritik bir değeri aşması ile atom düzlemlerinin kayması sırasında atom bağlarının kopması ile meydana gelir (Barthelmes, 1995). Kayma sonunda meydana gelen kırılma, genellikle tanelerin kırılmasından ileri gelmez. Ancak, uygulanan kayma gerilmeleri sonucu oluşan deformasyonun ufak bir etkisi vardır. Fakat deformasyonun büyük bir kısmı tanelerin aralarında yeniden yerleşmesi ve taneler arası temas yüzeyi boyunca meydana gelen kaymalardan meydana gelmektedir (Safoglu, 1972).

Kırılma başlıca iki temel kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım, “çatlak oluşumu” ve ikinci kısım ise “çatlağın ilerlemesi” dir. Malzemelerin özelliklerine, kırılma öncesi durumuna ve kırılmaya sebep olan yükleme şartlarına bağlı olarak kırılma gevrek, sünek, sürünme, yorulma kırılması gibi isimler almaktadır (Kayalı, Ensari ve Dikeç 1996). Örneğin sünek bir malzemenin kırılması, maksimum kayma gerilmesi yönünde, genellikle düşey eksen boyunca olurken gevrek bir malzemenin kırılması ise maksimum çekme gerilmesi doğrultusuna dik bir düzlem boyunca olmaktadır.

1921 yılında Griffith tarafından ileri sürülen ve ideal kırılğan bir malzeme ile geçerli olan kırılma teorisine göre, cisimlerde ince ve gözle fark edilmeyen çatlaklar vardır. Herhangi bir dış kuvvet etkilemediği halde mevcut olan bu çatlaklar kuvvetin

uygulanması ile gelişerek cismin mukavemetinin büyük değerler alamadan kaybolmasına neden olur (Postacıoğlu, 1981). Filtre kekleri de kırılğan malzeme grubuna girmektedirler. Ayrıca, daha önce de bahsedildiği gibi filtre keklerinin içinde hiç bir dış kuvvetin etkisi bulunmadan önemli boşluklar bulunmaktadır. Griffith teorisi cisimlerin yapısında bulunan kusur, çatlak yada boşluklara dayanması nedeniyle filtre keklerinin Griffith teorisine uyduğu söylenebilir.

Griffith Teorisi, kırılma ile meydana gelen yeni yüzeylerde, yüzey enerjisinin potansiyel enerji olarak biriktiği ve maddenin kırılmaya başlamadan önce belirli bir miktar elastik enerjiyi depolamakta olduğu ve bu enerjinin kırılma esnasında yüzey enerjisine dönüştüğünü söylemektedir.

2.11.4 Filtre keklerinin kesme gerilmesi

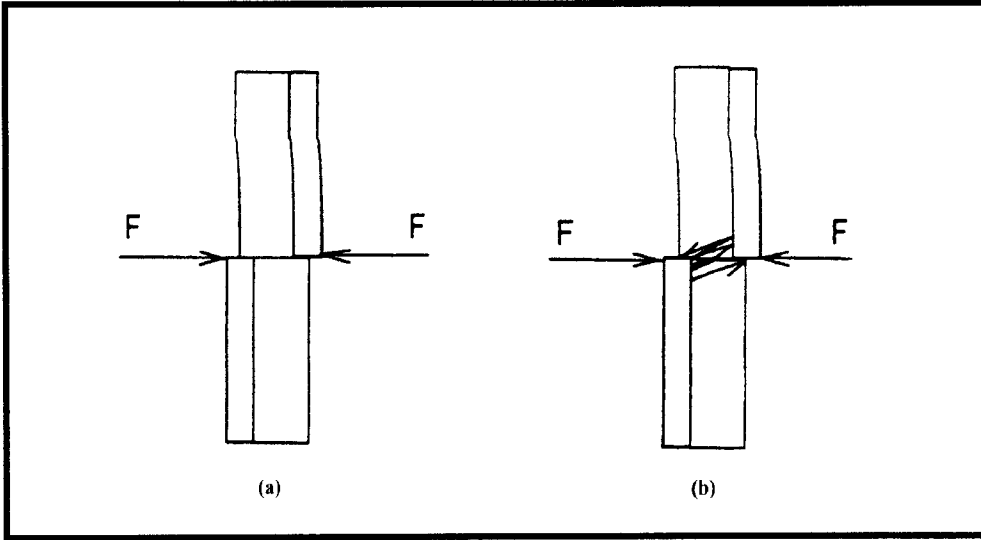
Filtre keklerine kesme gerilmesi uygulandığında, kesme veya makaslama şeklinde uygulanan gerilmenin ardından işlem kırılma ile son bulur. Kırılma anındaki enerji adhezyon kuvvetlerinin varlığının göstergesidir (Ruhland, Wiedemann ve Stahl, 1998).

Filtre keklerinin kesme gerilmesi, silindirik numuneler için Eşitlik 2.26 ile hesaplanmaktadır.

$$\tau = \frac{F}{D_k \times h_k} \quad (2. 26)$$

Kesme gerilmesi ifadesinde uygulanan kesme kuvveti F, filtre kekinin çapı ve yüksekliği sırasıyla D_k ve h_k ile gösterilmektedir.

Kesme gerilmesi altındaki filtre keklerinin davranımında etkin olan parametre ise filtrasyon sonrasında, filtre keklerine uygulanan susuzlaştırma işlemindeki sıkıştırma (konsolidasyon) basıncıdır. Sıkıştırma basıncının, yaklaşık 8 bar' a kadar olması durumunda filtre kekinde oluşan kesme yüzeyi plastik davranım gösterirken basıncın yaklaşık 32 bar' a kadar çıkmasıyla filtre yüzeyinde çatlakların da olduğu kırılğan filtre keki yüzeyi elde edilmektedir. Filtre keklerine ait kesme gerilmesi sonrasında kek yüzeyinde oluşan deformasyonlar Şekil 2.24' de gösterilmektedir (Barthelmes, 1995).



Şekil 2.24. Kesme gerilmesi altında filtre kek yüzeyindeki kırılmalar
(a) Plastik ve (b) Kırılğan yapı.

Kesme gerilmesi altında filtre keklerinin davranımları doygunluğa bağlı olarak da değişir. Doygunluğun %50' den daha az olduğu durumda filtre kek yüzeyi kırılğan davranım göstererek, kırılma noktasında düzgün kırılma yüzeyi meydana getirir. Oysa doygunluğun 1' e yaklaşmasıyla pastamsı davranım gösteren filtre kek yüzeyinde deformasyon kırılması da meydana gelir. Bu iki bölge arasındaki doygunluk değerlerinde yani filtre keklerinin doygunluğunun %50- 80 arasında ise kırılğan veya pastamsı davranımlar arasında bir geçiş bölgesi bulunmaktadır (Bentz, 1998). Ayrıca bu bölgede filtre kekleri partiküllerin hidratasyonu ve partiküller arasındaki sıvının etkisiyle esnek davranım gösterip, gerilmenin uygulanması esnekliklere sebep olmaktadır. Bu da geçiş bölgesi olan %50- 80 doygunlukta, kesme gerilmesi değerlerinde bir azalma olarak gözlenmektedir.

2.12 Filtre Keklerinin Özellikleri ve Kesme Gerilmesi Konusunda Yapılmış Çalışmalar

İnce öğütülmüş (yaklaşık 50 μ altı) minerallerin filtrasyon işlemi ve kesme gerilmesi hakkındaki çalışmalar, filtre kekini oluşturan yapının, üst üste biriken ve aralarında şebekeler, köprüler oluşan tanelerden meydana gelmesi nedeniyle agglomerasyon ile ve agglomerelerin dayanımı üzerine yapılan çalışmalara dayanmaktadır.

Poröz kapiler yığınların (agglomereler) dayanımı üzerine ilk araştırmalar 1960 ve 70'li yıllarda Rumpf ve Schubert tarafından yapılmıştır. Partiküller arası van der Waals kuvvetlerinin, kapiler kuvvetlerden daha az etkiye sahip olduğunu ve partikül yüzeyindeki sınır etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymuşlardır (Schubert, 1975, Ruhland, 1998).

Rumpf, agglomerelerin çekme gerilmesi ölçümlerinden hareketle çekme gerilmesi için aşağıdaki temel eşitliği türetmiştir.

$$\sigma_z = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{F_H}{x_s^2} \quad (2.27)$$

Rumpf tarafından oluşturulan bu ifadeden; çekme gerilmesinin, adhezyon kuvveti F_H ile orantılı ve Sauter yarıçapı x_s ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Bu da, agglomereler ve ince öğütülmüş minerallerden oluşan filtre keklerinin, büyük tek bir parçaya oranla daha fazla dayanıklılığa sahip olduğunu göstermektedir.

Schubert (1972) yılında çok ince öğütülmüş kalsit mineralinden elde edilen filtre keklerinin çekme gerilmeleri üzerinde yaptığı incelemeler sonunda, basınç artışı ile keklerin hacim ve porözitelerinde azalma olduğunu göstermiştir. Schubert ayrıca, dayanıklılığın doygunluk ile ilgili olduğunu göstermiş ve kalsit kekleri için maksimum dayanıklılığı %75 doygunlukta elde etmiştir.

Shirato ve diğ. (1989), çeşitli süspansiyonların kademeli sabit basınç altında filtrasyon karakteristiklerini incelemişler ve agglomerelerin konsolidasyonu üzerine araştırmaları bulunmaktadır.

Wiedemann (1996), ince öğütülmüş partiküllerden ($x_{50,3} < 20\mu$) elde edilen filtre keklerinden gaz geçirerek susuzlaştırma sonrasında büzüşme (shrinkage) davranımını ve oluşan çatlakları (cracking problem) incelemişlerdir. Filtre keklerinde büzüşmenin %75 doygunluğa kadar olan doygunluk değerlerinde olmakta olduğunu ve büzüşme ile porözitenin düşmekte ve çekme gerilmesinin artmakta olduğunu saptamışlardır.

Wakeman (1997), filtre kek direnci üzerine pH' ın etkisini incelemiş ve ayrıca porözitenin farklı dispersiyon derecelerinden dolayı filtre kek direnci üzerine etkili olduğunu göstermiştir.

Roth (1991), yıkama esnasında filtre keklerinde görülen, çatlama oluşumunu incelemiştir. Sıkıştırılan filtre keklerinin partiküllerin yüzey yükünü taşıdığı ve yıkama ile elektriksel çift tabaka ve partiküller arası kuvvetlerin değiştiğini göstermiştir. Bu işlemlerin ise filtre kekinde gerilmelere yol açtığını kanıtlamıştır.

Anlauf (1991), ince öğütülmüş minerallerin filtrasyonu üzerine geniş çalışmalar yapmış ve Darcy eşitliğini modifiye etmiştir.

Wiedemann ve Stahl (1993), filtre keklerinin nem içeriğini azaltmak için mekanik baskı uygulama ve yüksek basınçlı gaz geçirme işlemini birleştiren yeni bir susuzlaştırma yöntemi üzerinde çalışmışlardır. Bu sayede mekanik sıkıştırma işlemi ile poröziteyi yaklaşık 10- 15 dakika gibi kısa bir süre içinde azaltmakta ve daha ileri susuzlaştırma için basınçlı gaz geçirerek sağlanırken çatlak oluşumunun da önüne geçilmektedir.

Ströh ve Stahl (1991), Filtrasyon işleminde yüzey aktif madde ilavesinin filtrasyon işlemini hızlandığını ve ince öğütülmüş kömür partiküllerinin filtrasyonunu noniyonik ve anyonik yüzey aktif madde ilavesi durumunda incelemişlerdir.

Barthelmes (1995), üç nokta eğme ve kesme gerilmesi testlerini kullanarak 2- 50 bar aralığında susuzlaştırma işlemi uygulanan filtre keklerindeki konsolidasyon ve gerilme davranımlarını incelemiştir.

Ruhland ve diğ. (1998), filtre keklerinin üç nokta eğme testi ile pastamsı yada kırılğan bir yapıda olduklarının tespit edilebileceğini göstermişlerdir.

Bentz (1998), filtre keklerinin fiziksel olarak kırılğan yada pastamsı davranım gösterdiklerini ve bu davranım şekillerini karakterize edebilecek temel yöntemler üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu sayede filtre kekleri için görünümüne göre pastamsı, kırılğan, yapışkan, tiksotropik gibi tanımlamalar deneysel yöntemlere dayandırılarak ölçülebilir büyüklükler ile ifade edilebilir hale gelmiştir.

Nikolakakis ve Pilpel (1988), tarafından yapılan çalışmalarda ise filtre keklerinin basma gerilmesi üzerine partikül boyutu ve şeklinin etkisi incelenmiştir.

Özcan (1998), mineral filtre keklerinin kesme gerilmesini incelemiş ve basıncın artması ile kesme gerilmesinin arttığını göstermiştir. Ayrıca, partikül boyutunun ve şekil faktörünün, kesme gerilmesi üzerine etkisini ortaya koymuştur. Kesme gerilmesinin doygunluk ile olan ifadesine ilave olarak, tane boyutu ile değişimi aşağıdaki ifadeler ile tanımlanmıştır (Özcan ve diğ., 2000).

$$\tau = \frac{K}{x^{0.6}} \quad (2.28)$$

$$\tau = S \cdot P_K = \frac{S \cdot \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \gamma \cos \delta \cdot 6f \right)}{x^{1.6}} \quad (2.29)$$

3. DENEYSEL SİSTEMLER VE KARAKTERİZASYON

3.1 Kullanılan Hammaddeler

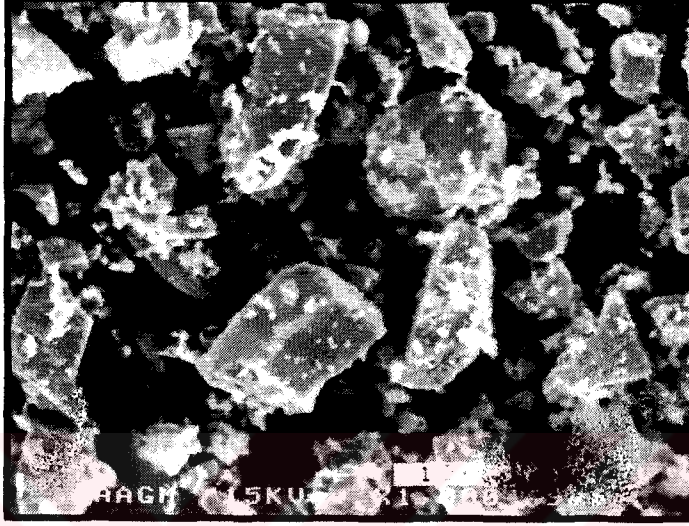
3.1.1 Mineraller

Deneyleler, kullanılan minerallere bağılı olarak iki farklı grup altında toplanabilir. Minerallerin basınçlı filtrasyon işleminin ve filtre keklerinin kesme gerilmesinin yüzey aktif madde ile etkileşiminin incelendiğı birinci grup deneylelerde dolomit ve kuvars mineralleri kullanılmıştır. Tablo 3.1’ de * işareti ile belirtilen mineraller birinci grup deneylelerde kullanılan minerallerdir. İkinci grup deneylelerde ise partikül boyutu incelenmiş olup kalsit ve kuvars mineralleri kullanılmıştır. Minerallerin temin edildikleri kaynaklar ve ortalama tanecik çapları Tablo 3.1’ de verilmektedir. Birinci grup mineraller 45 µm altında tane büyüklüğüne sahip olup, Fritsch- Tip 20,502 Taramalı Fotosedimentograf kullanılarak elde edilen ortalama partikül çapları Tablo 3.1 ve minerallere ait sedimantograf çıktıları Ek.1’ de verilmektedir. İkinci grup minerallerin tane boyutu ise Coulter Counter ile yapılmıştır.

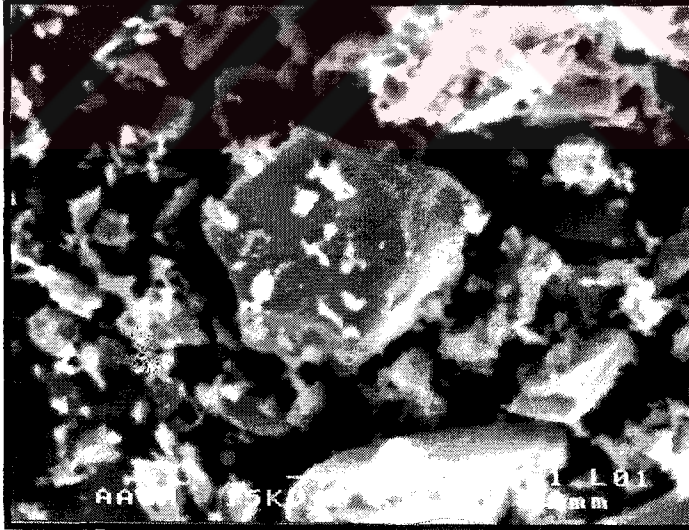
Tablo 3.1. Minerallere ait ortalama partikül çapları

Mineral	Tane Boyutu, x_{50} , µm	Kaynak
Dolomit*	16	Kale Maden, Çanakkale
Kuvars*	15	Kale Maden, Çanakkale
Kalsit	15	Kale Maden, Çanakkale
Kalsit	5,8	Blau Siegel, Almanya
Kalsit	10	Mahlung KH, Almanya
Kalsit	37	Juraperle MHS, Almanya
SİKRON, SF800, Kuvars	6	Quartzwerke GmbH, Almanya
SİKRON, SF600, Kuvars	10	Quartzwerke GmbH, Almanya
SİKRON SH300, Kuvars	34	Quartzwerke GmbH, Almanya

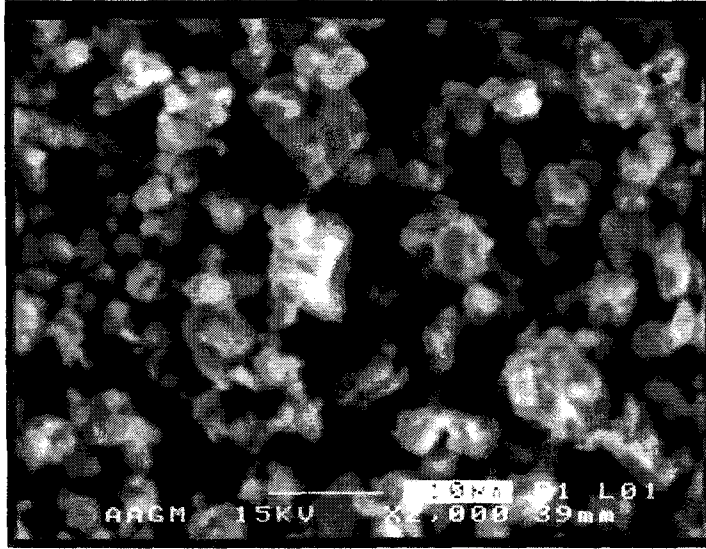
Deneylerde kullanılan dolomit, kuvars ve kalsit minerallerinin taramalı elektron mikroskobundan çekilen görüntüleri Şekil 3.1’ de verilmektedir. Dolomit ve kuvars minerallerinin 0- 45 µm tane boyutuna ait elektron mikroskobu görüntülerinden kuvarsın dolomite göre daha yuvarlak şekilli olduğu görülmektedir.



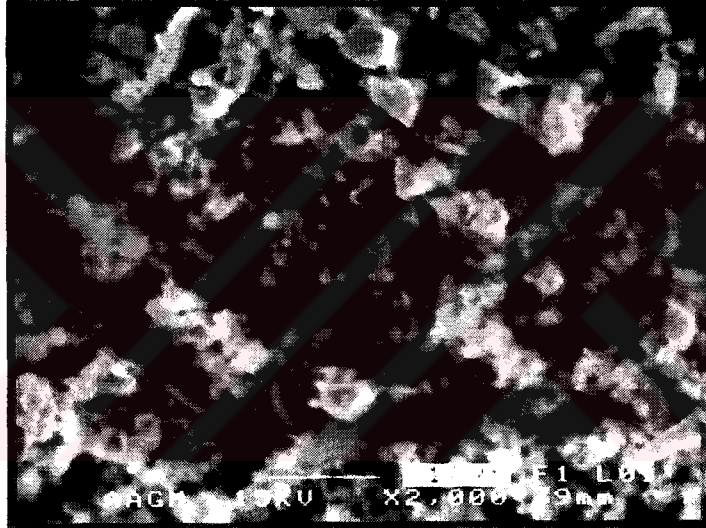
Şekil 3.1.a. Dolomit minerali, 0- 45 µm tane boyutu



Şekil 3.1.b. Kuvars minerali, 0- 45 µm tane boyutu

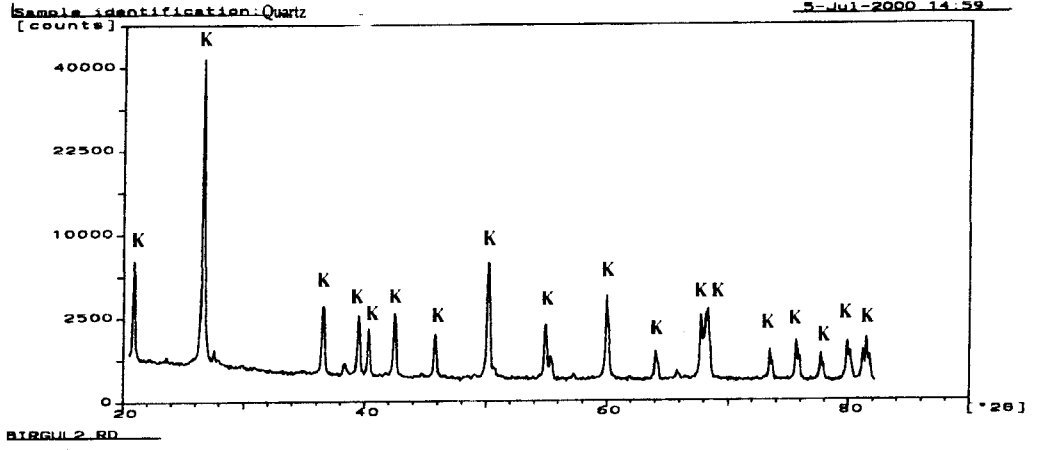


Şekil 3.1.c. Kalsit minerali, 0- 6 μm tane boyutu

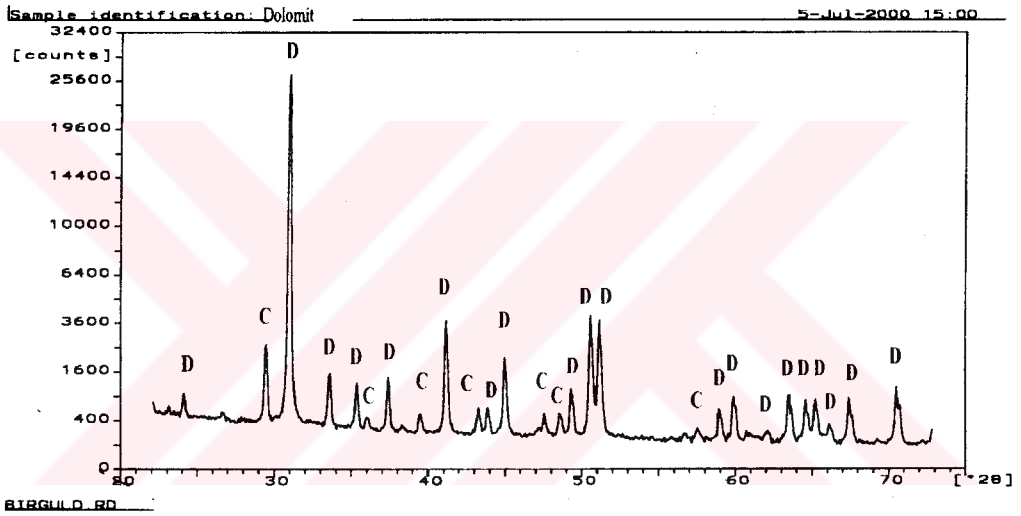


Şekil 3.1.d. Kuvars minerali, 0- 6 μm tane boyutu

Kale Maden AŞ' den alınan kuvars ve dolomit örneklerinin saflığını araştırmak amacı ile X- ışınları çekimleri Philips Difraktometre' de Cu K_α radyasyonu yardımıyla yapılmıştır. Kuvars ve dolomit minerallerine ait X ışınları difraksiyonları sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' de görülmektedir. Buna göre JCPDS- International Centre for Diffraction Data, Inorganic Phases' dan, kuvars örneğinin 33- 1161 PDF no' lu kuvars olduğu, dolomit örneğinin ise 36- 426 PDF no' lu dolomit ve az miktarda 5- 586 PDF no' lu kalsit minerali ile birlikte bulunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.2. Kuvars mineralinin X ışınları difraksiyonu

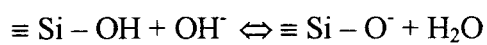
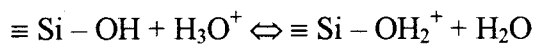


Şekil 3.3. Dolomit mineralinin X ışınları difraksiyonu

3.1.2 Kullanılan minerallerin süspansiyon içindeki davranımı

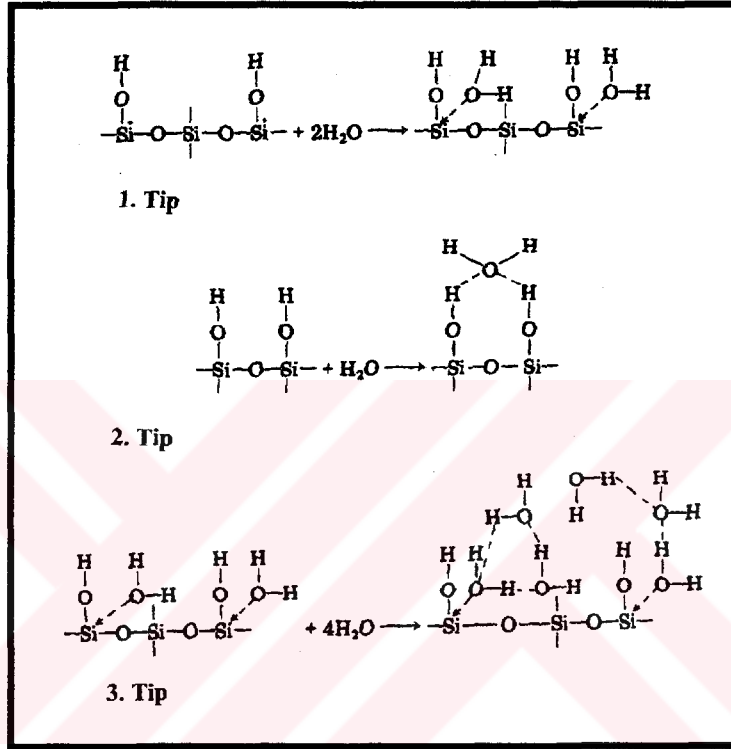
3.1.2.1 Kuvars

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 3.4' de gösterilmektedir (Ruhland, 1999).

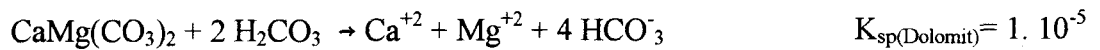
Kuvars mineralleri arasında hidrojen köprülerinin fazlalaşması bağlanan su miktarını arttırmakta ve van der Waals kuvvetlerinin yaklaşık 5 kat azalmasına sebep olmaktadır.



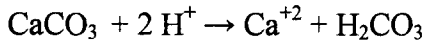
Şekil 3.4. Kuvars mineraline su adsorplanma tipleri

3.1.2.2 Dolomit ve kalsit

Dolomit minerali, CaMg(CO₃)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 çözeltideki çözünme reaksiyonu aşağıdaki gibidir (Stumm, 1972).



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).



$$K_{\text{sp}}(\text{Kalsit}) = 1.10^{-8}$$

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:

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

3.1.3 Yüzey aktif maddeler

Deneylerde noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik olmak üzere dört farklı tipte yüzey aktif madde kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yüzey aktif maddelerin isimleri, tipleri ve üretici firma adları Tablo 3.2' de belirtilmektedir. Noniyonik yüzey aktif maddeler az köpük oluşumuna sebep oldukları için endüstride sıkça kullanılmaktadırlar. Bu nedenle, Lutensol TO12, Pluronic PE 6200, Plurofac LF22, Plurofac LF431 noniyonik yüzey aktif maddeler arasından deneme ile en az köpüren Plurofac LF431 deneylerde kullanılmak üzere seçilerek deneylere devam edilmiştir.

Tablo 3.2. Kullanılan yüzey aktif maddeler

Yüzey Aktif Madde İsmi	Tipi	Kaynak
Plurofac LF431	Noniyonik	BASF
Sodyum laoril eter sülfat	Anyonik, %70	Oron Kimya
Alkildimetilbenzil amonyum	Katyonik, %50	Henkel
Kokoamidopropil betain	Amfoterik, %30	Henkel

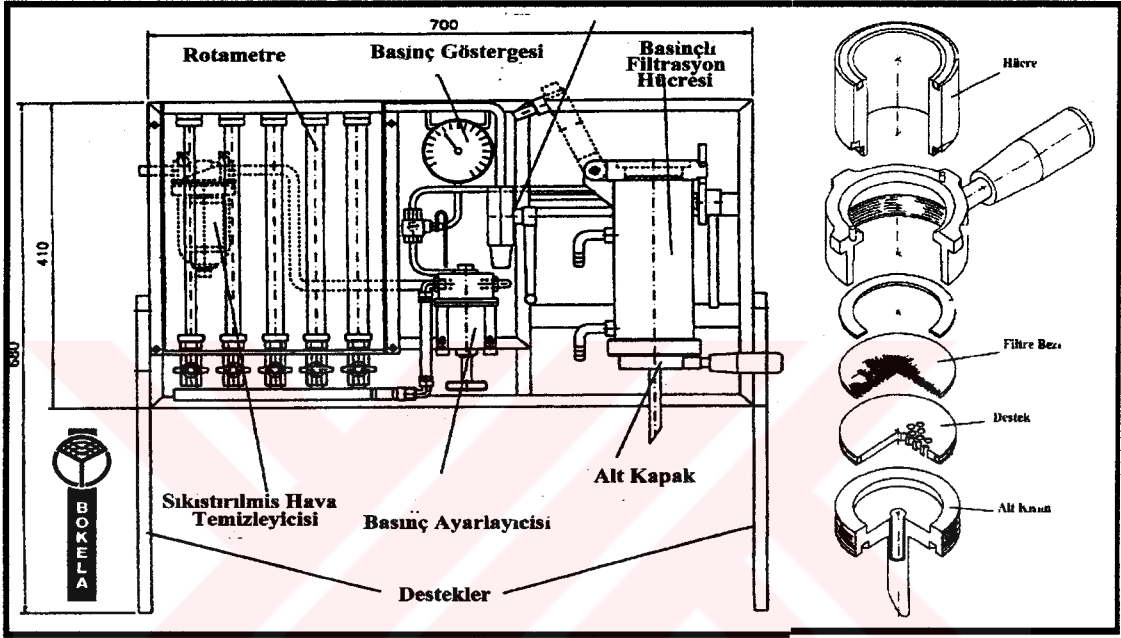
3.2 Kullanılan Deney Üniteleri

Deneyler birbirini takip eden iki kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısım, basınçlı filtrasyon işleminin ince öğütülmüş minerallerden hazırlanan süspansiyonlara uygulanması ve susuzlaştırma işleminin gerçekleştirilmesidir. İkinci kısım ise filtrasyon işlemi sonrasında elde edilen filtre keklerinin kesme gerilmesinin ölçülmesidir.

3.2.1 Basınçlı filtrasyon ve susuzlaştırma işlemleri

3.2.1.1 Basınçlı filtrasyon ve susuzlaştırma ünitesi (filtratest cihazı)

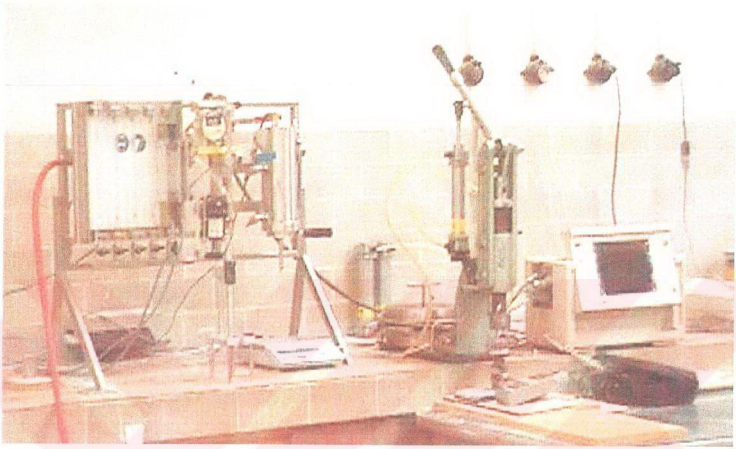
Basınçlı filtrasyon deneyleri Bokela (Almanya) firmasından temin edilmiş olan ve maksimum 10 bar basınca kadar çıkabilen Filtratest cihazında yapılmıştır. Cihaz ve basınçlı filtrasyon işleminin gerçekleştiği hücre Şekil 3.5’ de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Basınçlı filtrasyon cihazı ve hücre alt kapağı

Filtratest cihazı temel olarak, basınçlı filtrasyon hücresi, basınç kontrol üniteleri ve bilgisayar bağlantılı hacim- zaman data işlemcisiyle meydana gelmektedir. Filtratest cihazını meydana getiren tüm kısımlar Şekil 3.6’ daki cihazın fotoğrafında daha net görülmektedir. Filtrasyon işlemi süresince kompresörden gelen sıkıştırılmış hava, önce rotometre ve arkasından bir basınç ayarlayıcısı ve valfinden geçirilerek, filtrasyon hücresine gelmekte ve ortam basıncının sabit tutulmasını sağlamaktadır. Basınçlı filtrasyon ünitesinde bulunan filtrasyon hücresi, Şekil 3.5’ de gösterildiği gibi üst kapak, basınçlı bölme ve alt kapak olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır. Üst kapak, filtrasyon işlemi takip edebilecek şekilde iç aydınlatmalı ve pencerelidir. Basınçlı bölme ise ceketlidir. Alt kapak Şekil 3.5’ de ayrıntılı olarak gösterildiği gibi süzütünün çıktığı alt kısmın üstünde sırasıyla delikli metal destek ve filtre bezi ile hücre’ den meydana gelmektedir. Alt kapak, yüzeyi yaklaşık $19,63 \text{ cm}^2$ olan ve maksimum 50 mm yüksekliğinde kek oluşturacak şekilde dizayn

edilmiştir. Basınçlı filtrasyon hücresi altına yerleştirilen bir elektronik terazi yardımı ile toplanan süzüntü miktarı bilgisayara iletilmekte ve süzüntü miktarının zamanla değişimi Filtratest programı dahilinde hem anında ekrandan takip edilebilmekte ve hem de deney sonrasında data çıktısı alınarak ölçümler incelenebilmektedir.



Şekil 3.6. Filtratest cihazı, BOKELA

Susuzlaştırma İşlemi: Basınçlı filtrasyon işlemi sonrasında yine aynı cihaz kullanılarak susuzlaştırma işlemine geçilmiştir. Susuzlaştırma işlemi, filtre keki üzerine ağırlık ve sıkıştırma meydana getirmeden konulan bir metal desteğin yardımı ile yapılmıştır. Burada kullanılan metal destek yine BOKELA firmasının dizaynıdır.

Sabit basınçta gerçekleştirilen susuzlaştırma işleminde, metal destek üzerine uygulanan basınç, filtrasyon hücresi basıncının susuzlaştırma basıncına getirilmesi ile filtre keki yüzeyine metal desteğin pres yapması sonucunda gerçekleştirilmektedir.

3.2.1.2 Basınçlı filtrasyon deneylerinin yapılışı ve keklerin eldesi

Deneylerde ilk olarak süspansiyon yoğunluğu (hacim yüzdesi olarak) yaklaşık $c_v = \%20$ olacak şekilde mineral süspansiyonları hazırlanmıştır. Her deneyde yaklaşık 100 ml süspansiyon kullanılmıştır. Ayrıca, karıştırma hızı ve tipi sabit tutularak tüm çalışmalar esnasında aynı homojenlikte süspansiyon eldesine çalışılmıştır

Filtrasyon işleminde 5 µm poliester filtre bezi kullanılmış olup, toplam filtre yüzey alanı ise 19,63 cm² dir. Her deneyde yaklaşık 50 mm çapında ve 10 mm yüksekliğinde filtre kekleri elde edilmiştir. Tipik bir filtre kekinin görünümü Şekil 3.7’ de gösterilen dolomit minerali filtre keki gibidir.



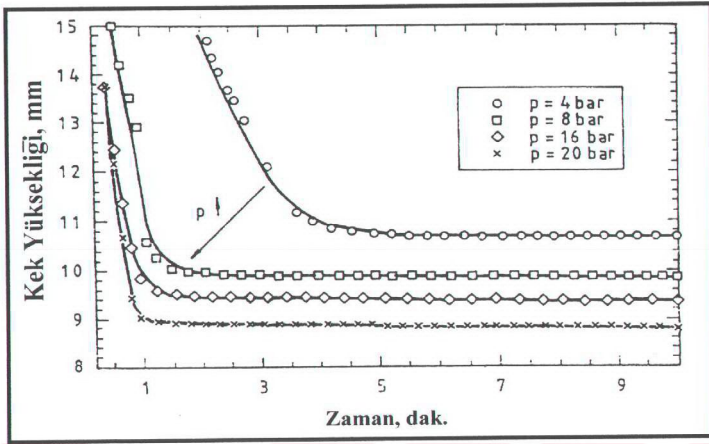
Şekil 3.7. Dolomit filtre keki

3.2.1.3 Susuzlaştırma deneylerinin yapılışı

Susuzlaştırma deneyleri, filtrasyon işleminin hemen ardından filtre kekini hücreden çıkarmadan, Bölüm 3.2.1.1’ de açıklandığı gibi metal bir desteğin yardımı ile yapılmaktadır.

Susuzlaştırma işleminde uygulanan basıncın etkisi ile kek yüksekliği zamanla değişmektedir. Aynı tip ve boyuttaki mineraller için filtre keki yüksekliğinin zamanla değişimi farklı sıkıştırma basınçları için Özcan ve diğ. (1999), tarafından incelenmiş olup Şekil 3.8’ de gösterilmektedir.

Susuzlaştırma işleminin, en fazla ilk 3 dakika içinde tamamlandığı ve kek yüksekliğinin zamanla daha fazla değişmediği Şekil 3.8’ den anlaşılmaktadır. Bu sonuçtan yararlanarak susuzlaştırma işlemlerinde, bütün basınçlar için susuzlaştırma süresi 20 dakika olarak seçilmiştir. Bu koşullarda elde edilen filtre keki tümüyle suyla doygundur (S=1). Kısmi doygun kekler elde edebilmek için, filtre kekleri laboratuvar ortamında oda sıcaklığında belirli süreler üstü açık bırakılarak kurutulmuştur. Filtre keklerinin belirli doygunluk değerlerine ulaşması için gereken süre deneysel olarak saptanmıştır.



Şekil 3.8. Susuzlaştırma işlemi sırasında TiO_2 keki yüksekliğinin basınç ve zamanla değişimi

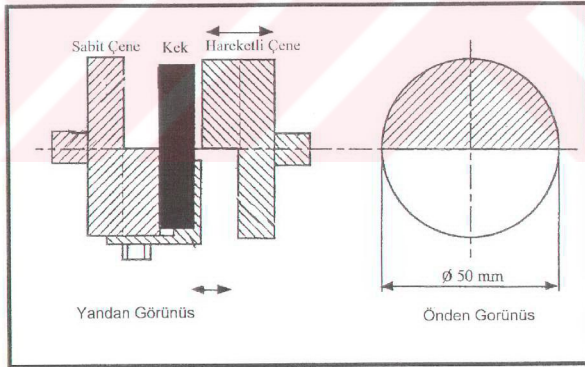
3.2.2 Laboratuvarımızda geliştirilen kesme gerilmesi ölçüm cihazı

Susuzlaştırma işlemi sonrasında belirli doygunluk değerlerine ulaştırılan filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçümlerinde laboratuvarımızda tarafımızdan dizayn edilmiş olan cihaz kullanılmıştır. Kesme gerilmesi ölçümleri, kesme cihazı sabit kalmak koşulu ile kesme gerilmesi değerlerinin ölçüm aralığına bağlı olarak iki farklı kuvvet ölçerde yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme aparatı ve düşük kuvvet değerlerinde ölçüm yapabilecek şekilde laboratuvarımızdaki bir pres aletinin hidrolik basınç kontrollü prese modifikasyonu ile geliştirilen ve Benli, Özcan, Sayan isimlerine ithafen BOS adı verilen cihaz yardımı ile yapılmıştır. BOS kesme gerilmesi ölçüm cihazı Şekil 3.9' de gösterilmektedir.

BOS kesme gerilmesi ölçüm cihazı; hidrolik hassas kontrollü iğne vanalı pres olup, pres içindeki pistonun ileri geri hareketini sağlayabilmek için iki adet yağ deposuna ve komütatör anahtara sahiptir. Hidrolik hassas kontrollü prese Şekil 3.10' de gösterilen çeneler monte edilmiştir. Bu çeneler, standart kesme gerilmesi ölçümü yapan bir cihazın orijinal çenelerinin boyutlarına aynen uyularak, bizim cihazımıza uygun hale getirilmiş çenelerdir. Hidrolik hassas kontrol sayesinde pres ve dolayısıyla çenelerin 0.014 cm/sn sabit hızda makaslama hareketini yapabilmesi sağlanmaktadır.



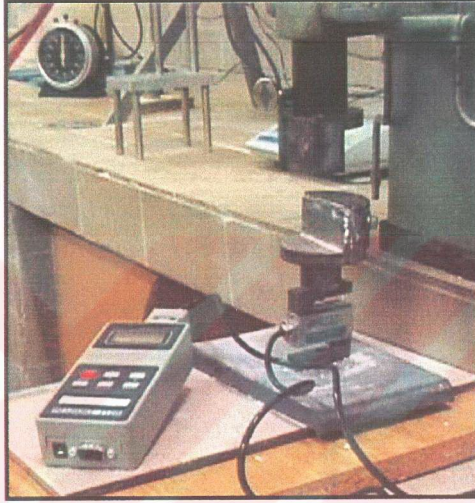
Şekil 3.9. BOS kesme gerilmesi ölçüm cihazı



Şekil 3.10. Kesme gerilmesi ölçümünde çenelerin ve kekin konumu

Ayrıca, Filtratest cihazının maksimum 2 kg kapasiteli elektronik terazisi ve Filtratest bilgisayar programının kullanımı ile düşük kuvvet değerlerinde bile kesme gerilmesinin ölçülebilmesi ve bilgisayar ortamında kesme gerilmesi değerlerinin kaydedilebilmesi sağlanmıştır.

BOS kesme cihazında, kuvvet ölçer olarak kullanılan elektronik terazinin ölçüm değeri olan maksimum 2 kg' dan daha yüksek değerlerdeki kuvvetlerin meydana geldiği kesme gerilmesi ölçümleri için Şekil 3.11' de gösterilen MARK- 10, BGI modeli portatif dijital kuvvet ölçer kullanılmıştır. MARK- 10 cihazı, maksimum 25 kg kuvvet değerinde ölçüm yapabilen kuvvet ölçer olup, S şekilli sensöre sahiptir.



Şekil 3.11. MARK- 10, Yüksek kesme gerilmesi değerlerinde kullanılan S şekilli sensör ve kuvvet ölçer

MARK- 10 cihazı, BOS kesme gerilmesi ölçüm cihazı için geliştirilen çeneleri ve hidrolik hassas kontrollü presi kullanmaktadır. Bu şekilde cihazın üzerinde yapılan son değişiklikler ile BOS kesme gerilmesi ölçüm cihazının aldığı son görünüm Şekil 3.12' de gösterilmektedir.

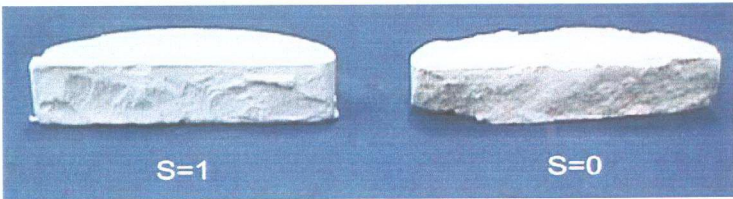
Kesme gerilmesi ölçümü ile Şekil 3.7' deki gibi bir filtre keki ortadan ikiye kesilmekte ve kesit yüzeylerinde meydana gelen kırılma izleri farklılıklar göstermektedir. Kuvars ve dolomit minerallerinden elde edilen filtre keklerinin kesme davranımları Şekil 3.13 ve Şekil 3.14' de verilmektedir. Her iki mineral içinde benzer olarak kesme davranımları doygunluk değerinden etkilenmektedir. Filtre keki doygunluğun $S=1$ ' de plastik davranım gösterip sanki mineral taneleri birbiri üzerinden kayıyormuş gibi düzgün kesilme gözlenmektedir. Oysa, $S=0$ ' da ise filtre kekleri kırılğan davranım gösterip küçük kırık yüzeyler meydana getirmektedir.



Şekil 3.12. Mark-10 Kuvvet ölçer modifikasyonu ile BOS kesme gerilmesi ölçüm cihazı



Şekil 3.13. Kuvars mineralinin kesme yüzeyinin doğunluk ile değişimi



Şekil 3.14. Dolomit mineralinin kesme yüzeyinin doğunluk ile değişimi

3.3 Süspansiyonun Yüzey Gerilimi ve Zeta Potansiyeli Ölçümleri

3.3.1 Yüzey gerilimi ölçümleri

Yüzey aktif maddelerin kekle olan etkileşimleri ile filtrasyon ve keklerin kesme gerilmesi üzerindeki etkilerini tanımlayabilmek için dolomit ve kuvars mineralleri kullanılarak yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz süspansiyonların yüzey gerilimi ölçülmüştür.

Yüzey gerilimi ölçümleri, bilgisayar destekli Tensiometer- K122 (Krüss) cihazında otomatik olarak yapılmıştır. Ölçümlerde, Wilhelmy metodu yada bir diğer adıyla levha metodu kullanılmıştır. Levha metodu kısaca şöyledir; geometrisi bilinen platin bir levhanın alt ucu sıvı yüzeyi ile temasa getirildiğinde sıvı adeta levha üzerine sıçrar ve yüzey geriliminin etkisi ile levhayı bir miktar kendine doğru çeker. Bu, ıslanmadan oluşan Wilhelmy kuvvetleridir. Levhanın sıvı yüzeyinden yukarı doğru çekilerek başlangıç konumuna getirilmesi sırasında yüzey gerilimi otomatik olarak ölçülür. Levha metodunun en büyük avantajı ölçülen değerlerin hidrostatik düzeltmeye ihtiyaç duymamasıdır.

Dolomit ve kuvars süspansiyonlarının yüzey gerilimi ölçümleri şöyle yapılmıştır; Süspansiyon yoğunluğu hacmen %20 olacak şekilde hazırlanan süspansiyonlar önce 15 dakika sabit hızda karıştırılmış ve ardından 20 dakika bekletildikten sonra berrak çözeltiden alınan numunelerde ölçümler yapılmıştır.

3.3.2 Zeta potansiyeli ölçümleri

Çalışmada, dolomit ve kuvars minerallerinin saf ortamda ve noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddelerin ilave edildiği ortamlarda yüzey özelliklerini belirlemek amacı ile zeta potansiyeli ölçümleri yapılmıştır.

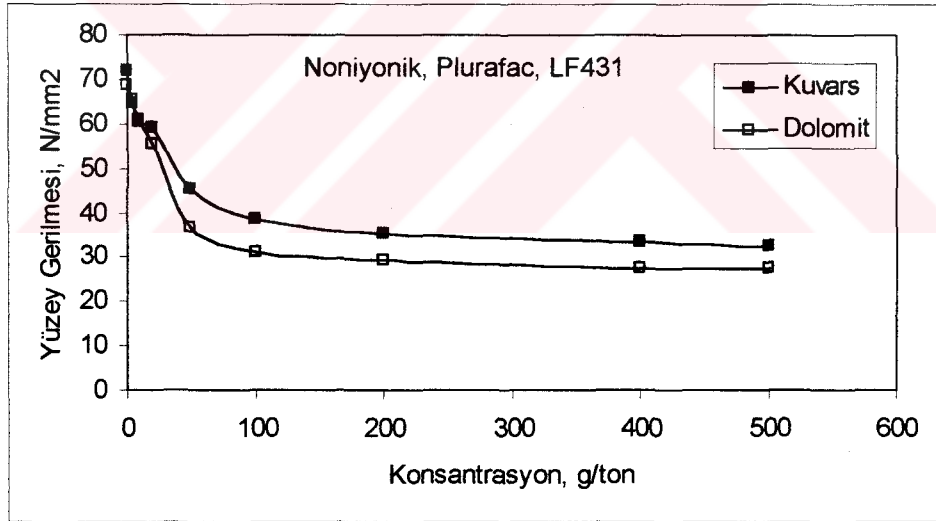
Zeta potansiyeli ölçümleri, mikro işlem donanımına sahip Zeta-Meter System 3.0 cihazında yapılmıştır. Cihazın çalışma şekli şöyledir; ölçümler sırasında mineral süspansiyonu, uçlarına molibden ve platin elektrotlar bağlanan U şekilli elektroforetik hücre içine koyularak mikroskobun görüş alanı içerisine yerleştirilir. Elektrotlara belirli bir voltaj uygulandığında, oluşan elektriksel alanda partiküllerin hareketi mikroskop altında incelenir. Partiküllerin hızı ve yönünden yararlanarak elektrokinetik potansiyel (zeta potansiyeli) ölçülür. Cihaz yapılan ölçümlerin sayısını, ölçümlerin ortalama zeta potansiyeli değerlerini ve ölçüm değerlerinin

standart sapmasını otomatik olarak göstermektedir.

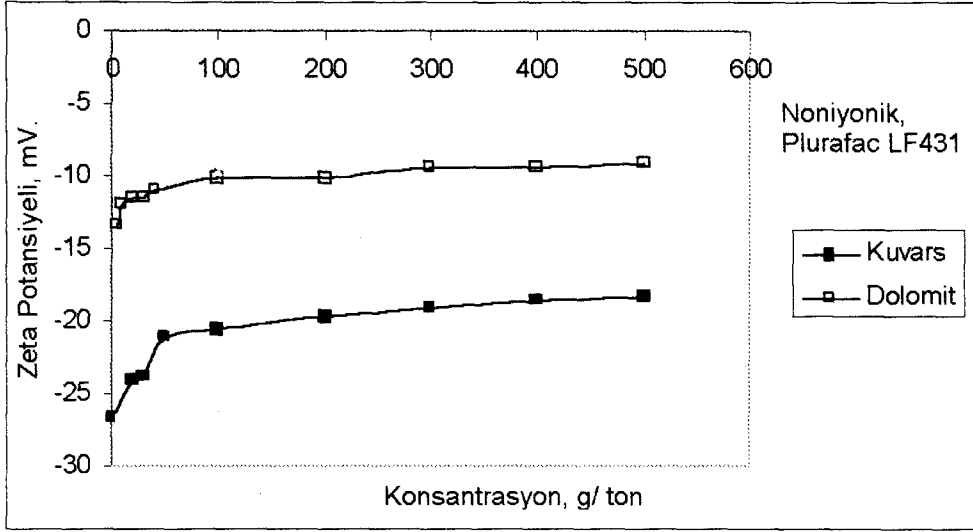
Ortalama olarak 15 μm partikül boyutuna sahip dolomit ve kuvars minerallerinden 0.3 g/l konsantrasyonda süspansiyonlar hazırlanmıştır. Her bir ölçüm numunesi için zeta potansiyeli değeri, yaklaşık 15 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak okunmuştur.

3.4 Yüzey Aktif Madde Tiplerinin Yüzey Gerilimi ve Minerallerin Zeta Potansiyeli Üzerine Etkileri

Noniyonik yüzey aktif maddeler az köpük oluşturma özellikleri ile filtrasyonda en fazla kullanım alanına sahip yüzey aktif madde tipidir. Bu nedenle, çalışmaya ilk olarak noniyonik yüzey aktif maddelerin etkilerinin incelenmesi ile başlanmıştır. Yüzey aktif maddelerin mineral süspansiyonları üzerine etkilerini görebilmek için, dolomit ve kuvars minerallerinden oluşan süspansiyonların farklı noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonlarında ölçülen yüzey gerilimi değerleri Şekil 3.15 ve zeta potansiyeli değişimi Şekil 3.16’ da gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Kuvars ve dolomit mineralleri için yüzey gerilimi değişimleri

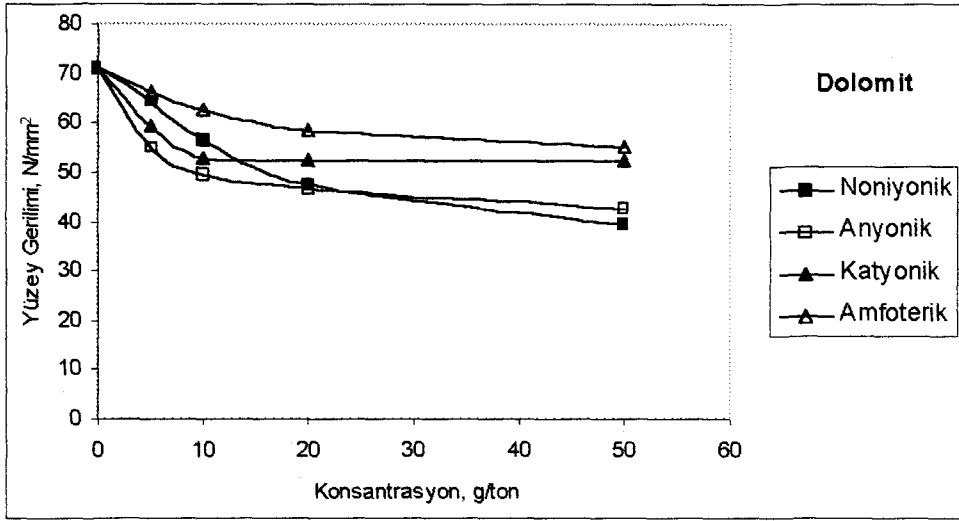


Şekil 3.16. Dolomit ve kuvars mineralleri için zeta potansiyeli değişimleri

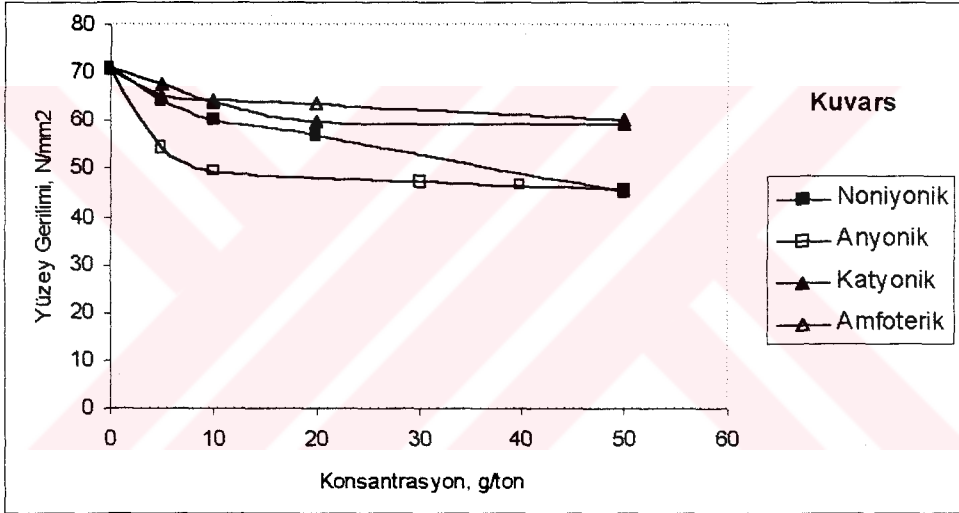
Şekil 3.15 ve Şekil 3.16' dan görüldüğü üzere noniyonik yüzey aktif madde için her iki mineralde de 75 g/ton konsantrasyon civarlarında kritik miselle konsantrasyonu (cmc) görülmektedir. Bu nedenle çalışma aralığı olarak yüzey geriliminin ve zeta potansiyelinin çok daha hızla değiştiği 0-50 g/ton katı konsantrasyonu çalışmanın ileriki bölümlerinde kullanılmıştır.

Şekil 3.15' den görüldüğü gibi ortama noniyonik yüzey aktif madde ilavesi yüzey gerilimini kuvars için 35 N/mm^2 , dolomit için ise 28 N/mm^2 ye düşürmektedir. Şekil 3.16' dan kuvarsın -27 mV olan zeta potansiyelinin -19 mV a ve dolomitin de yine -14 mV olan zeta potansiyelinin -11 mV a düştüğü görülmektedir. Yani, noniyonik yüzey aktif madde her iki mineralin de negatif olan yüzey yüklerini azaltmaktadır. Ancak hala yüzeyler her iki mineral için de negatiftir ve kuvarsın yüzey yükündeki değişim daha fazladır.

Dolomit ve kuvars minerallerinin 0-50 reaktif (g/ton katı) konsantrasyon aralığında noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif madde kullanılarak yapılan yüzey gerilimi sonuçları grafik olarak sırasıyla Şekil 3.17 ve Şekil 3.18' de verilmektedir.



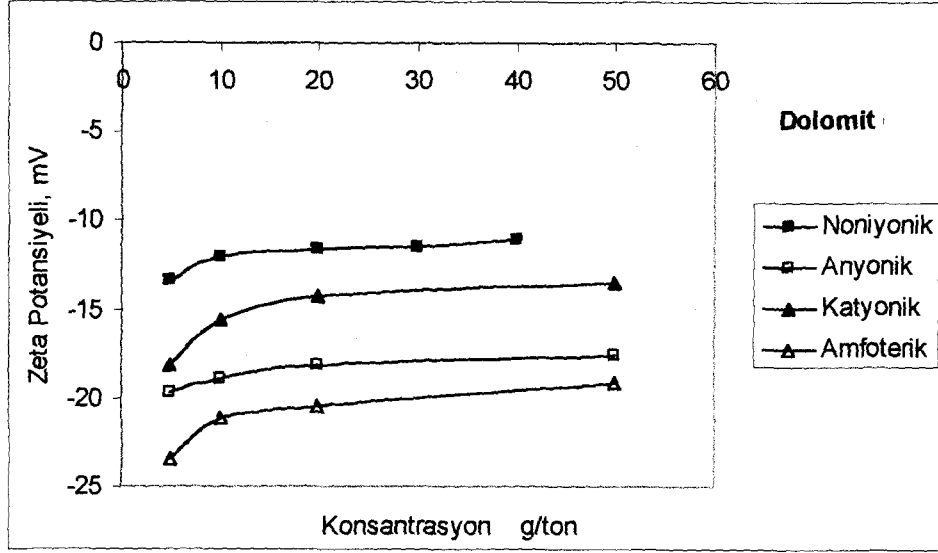
Şekil 3.17. Dolomitin yüzey geriliminin noniyonik, anyonik, katyonik, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi



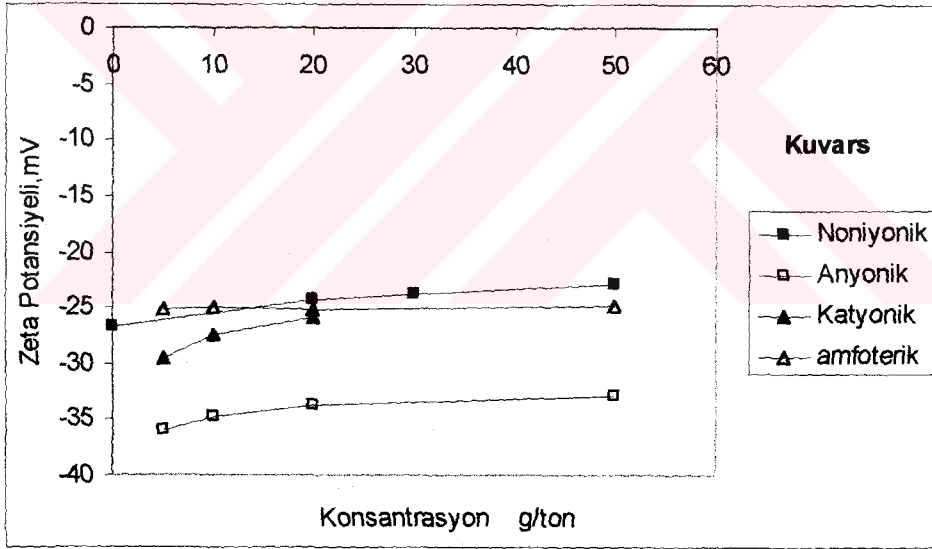
Şekil 3.18. Kuvarsın yüzey geriliminin noniyonik, anyonik, katyonik, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Şekil 3.17 ve Şekil 3.18' den yüzey aktif madde konsantrasyonu ile yüzey gerilim değişiminin hızla olduğu 0- 50 g/ton katı konsantrasyon aralığında dolomit ve kuvars mineralleri incelendiğinde, yüzey gerilimini en hızlı düşüren tipin her iki mineral için de anyonik yüzey aktif madde olduğu daha sonra sırasıyla noniyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddelerin geldiği görülmektedir.

Şekil 3.19 ve Şekil 3.20' de ise yüzey aktif maddelerin her iki mineralin zeta potansiyeli üzerine etkileri yer almaktadır.



Şekil 3.19. Dolomitin zeta potansiyelinin noniyonik, anyonik, katyonik, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi



Şekil 3.20. Kuvarsın zeta potansiyelinin noniyonik, anyonik, katyonik, amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Yüzey aktif madde tiplerinin dolomit minerali üzerinde etkisi Şekil 3.19' dan görüldüğü gibi yüzey yükünü azaltmakla birlikte hala negatif kalmaktadır. Zeta potansiyeli değişimlerinde, yüzey aktif maddelerin 20 g/ton katı konsantrasyonundan itibaren önemli bir değişim görülmemektedir. Kuvars mineralinde ise amfoterik yüzey aktif maddenin zeta potansiyeli üzerinde etkisinin olmadığı görülmektedir. Diğer yüzey aktif madde tipleri ise kuvarsın zeta potansiyelini azaltmakta ancak yüzey yükünü değiştirmemektedir.



4. FİLTRASYON DENEYLERİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

4.1 Dolomit ve Kuvars Filtrasyonunda Yüzey Aktif Madde Etkisinin İncelenmesi

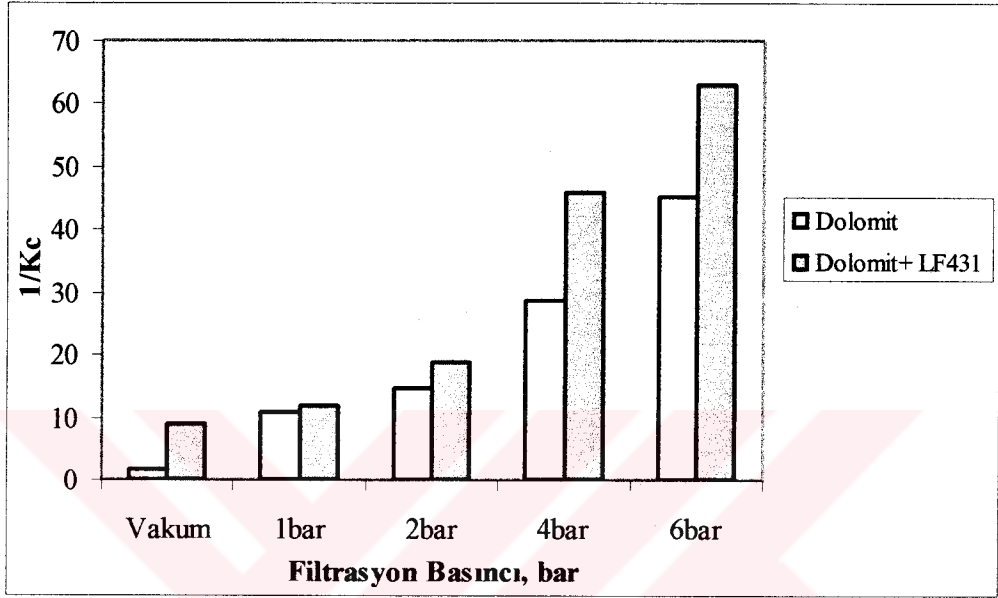
Dolomit ve kuvars minerallerine ait filtre keklerinin kesme gerilmesi davranımlarını inceleyebilmek için öncelikle mineral süspansiyonları filtrasyon işlemine tabi tutulmuş ve bu sayede ele geçen kekler kesme gerilmesi deneylerinde kullanılmıştır. Bu nedenle, ilk bölümde dolomit ve kuvars minerallerinin filtrasyon davranımları ve filtrasyon işlemine yüzey aktif maddelerin etkileri incelenmiştir. Bu bölüm kapsamında, dolomit ve kuvars minerallerinin filtrasyon işlemi için uygulanan filtrasyon basıncının etkisi, yüzey aktif madde ilavesinde filtrasyon hızına ve uygulanan filtrasyon basıncına olan etkisi, yüzey aktif madde tiplerinin etkileri ve yüzey aktif madde konsantrasyonunun filtrasyon işlemine etkileri ile tane boyutunun etkileri incelenmiştir.

Filtrasyon aşamasında, basınçlı filtrasyon hücresi içinde filtrasyon ile birlikte sedimentasyon da birlikte meydana gelebilir. Ancak, deneysel çalışmalarda tane boyutu çok küçük olduğundan, sedimentasyon etkisi görülene dek filtrasyon işleminin son bulduğu kabulü yapılarak sedimentasyon etkisi ihmal edilmektedir.

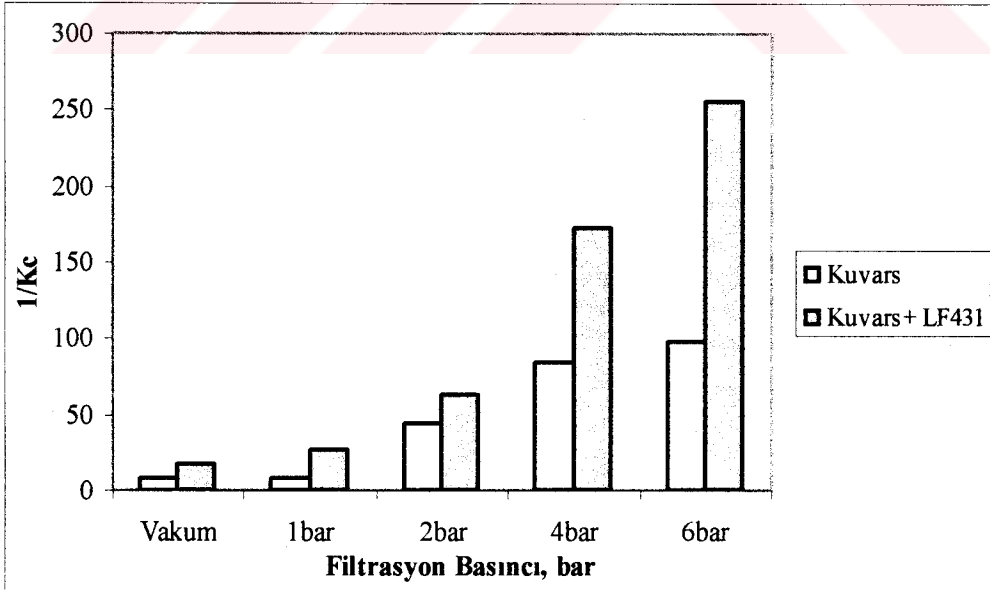
4.1.1 Yüzey aktif madde ilavesiz ve yüzey aktif madde ilaveli dolomit ve kuvars minerallerinin filtrasyon işlemine basıncın etkisi

Filtrasyon hızı üzerine filtrasyon basıncının etkisini inceleyebilmek için dolomit ve kuvars minerallerinden, %20 hacim konsantrasyonuna sahip olacak şekilde, süspansiyonlar Bölüm 3.2.1 kapsamında anlatıldığı gibi hazırlanmıştır. Yüzey aktif madde ilaveli filtrasyon işleminde basıncın filtrasyon hızına olan etkisi ise benzer şekilde hazırlanan dolomit ve kuvars minerallerine ait süspansiyonlara 500 g/ton katı noniyonik yüzey aktif madde içerecek şekilde yüzey aktif madde ilavesi yapılarak incelenmiştir. Noniyonik tip yüzey aktif maddeler arasından hem en az köpük oluşturan ve hem de kullanım alanı fazla olan noniyonik tipten Plurofac serisinden Plurofac LF431 kullanılmıştır. Filtrasyon deneyleri, Şekil 3.1' de

gösterilen basınçlı filtrasyon cihazında 1, 2, 4, ve 6 bar sabit basınçlarda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, aynı hücrenin kullanıldığı 400 mmHg vakum değerinde, vakum filtrasyonunun da karşılaştırılması yapılmıştır. Dolomit ve kuvars minerallerine ait yüzey aktif madde ilavesiz ve 500 g/ton katı konsantrasyonunda noniyonik yüzey aktif madde ilaveli filtrasyon işleminden elde edilen filtrasyon hızı sonuçları sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de verilmektedir.



Şekil 4.1. Dolomit filtrasyonunda filtrasyon hızındaki eğilimin basınçla değişimi



Şekil 4.2. Kuvars filtrasyonunda filtrasyon hızındaki eğilimin basınçla değişimi

Elde edilen deneysel sonuçlar ilk olarak Bölüm 2.2' den yararlanarak ve Eşitlik 2.6' da açıklandığı gibi düzenlenmiştir. Her iki mineral 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 değerlere sahip olması nedeniyle filtrasyon hızı tamamen spesifik kek direnci ile ilgilidir denilebilir. Kısaca, filtrasyon hızı, spesifik kek direnci ve dolayısıyla eğim değerinin tersi, $1/K_c$, ile doğru orantılıdır ve karşılaştırmada düzenlenen bu ifadeler kullanılmıştır.

1. Dolomit ve kuvars mineralleri için grafiklerden iki önemli sonuç çıkmaktadır: Uygulanan filtrasyon basıncının artması ile filtrasyon hızı oldukça artmaktadır. Basıncın 1 bar' dan 6 bar' a çıkarılması ile yüzey aktif madde ilavesiz ve yüzey aktif madde ilaveli durumlarda filtrasyon hızı sırasıyla dolomit minerali için %350 ve %550, kuvars minerali için ise %550 ve %900 artmaktadır.
2. Yüzey aktif madde ilavesinin, her iki mineral için ve tüm basınç değerlerinde filtrasyon hızı üzerine etkisinin var olduğu açıktır. Ancak kuvars mineralinde artışın çok daha fazla olduğu görülmektedir. Dolomit minerali için yüzey aktif madde ilavesi, filtrasyon hızını 1 bar basınçta yaklaşık %20 arttırırken, 4 bar basınçta %50' lik artışa sebep olmaktadır. Benzer şekilde artışlar kuvars minerali için 2 bar basınçta %20 ve 4 bar' da %133 ve 6 bar basınçta ise %150 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuca bağlı olarak ilave edilebilecek bir başka sonuç da yüzey aktif madde etkisinin basıncın artması ile daha fazla görüldüğüdür.

Her iki mineral için yukarıda anlatılan şartlarda, yüzey aktif madde ilavesiz ve ilaveli durumlarda filtre keklerinin nem içerikleri (artık nem) Tablo 4.1' de verilmektedir.

Yüzey aktif madde ilavesi her iki mineralin kullanıldığı filtre keklerinin nem içeriğini bütün basınçlarda ve vakum değerinde düşürmektedir. Ortalama olarak basınçlı filtrasyon değerlerinde yüzey aktif madde ilavesi dolomit mineralinin nem içeriğini %6 azaltırken kuvars mineralinde çok daha fazla ortalama olarak %22'lik azalma görülmektedir. Özellikle vakum değerindeki düşüş dolomit için %21 ve kuvars mineralinde %16' ya varması filtrasyon açısından değerlendirildiğinde oldukça önemlidir.

Tablo 4.1. Dolomit ve kuvars minerallerinin yüzey aktif madde ilavesiz ve noniyonik yüzey aktif madde ilaveli filtrasyon işlemi sonrası filtre keklerinin nem içeriği, (%)

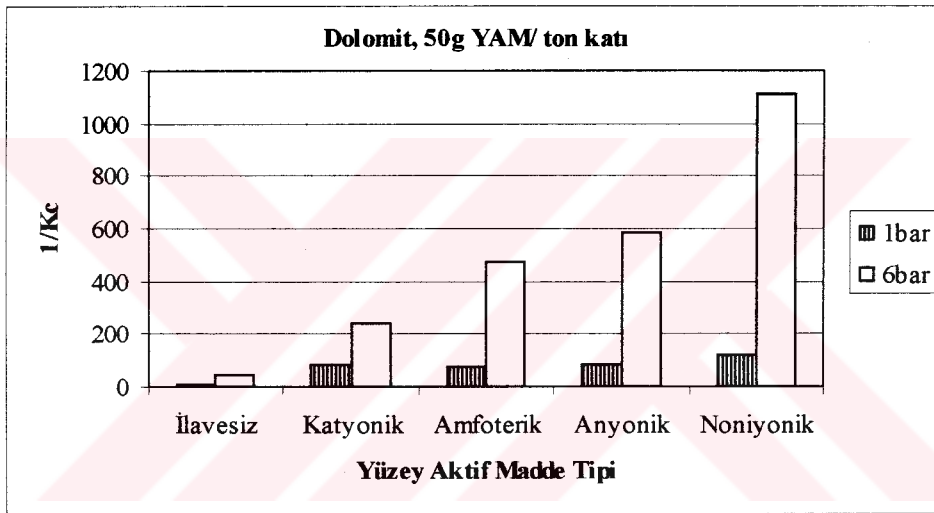
ΔP	Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %			
	Dolomit		Kuars	
	YAM İlavesiz	YAM İlaveli	YAM İlavesiz	YAM İlaveli
Vakum	19,0	15,0	29,0	24,0
1bar	19,5	18,6	32,5	29,5
2bar	19,0	17,5	30,9	23,6
4bar	18,0	17,1	30,3	22,8
6bar	17,5	16,7	29,8	22,0

Filtrasyon basıncının filtre keklerinin nem içeriklerini ile doğrudan ilgili olduğu ve uygulanan basıncın artması ile nem içeriğinin dolomit mineralinde %10 ve kuvars mineralinde ise %8 azaldığı görülmektedir. Yüzey aktif madde katkısı, filtre keklerinin nem içeriğini önemli ölçüde düşürmektedir. Dolomit mineralinde maksimum basıncın uygulandığı 6 bar’ da yüzey aktif madde katkısı ile nem içeriği yüzey aktif madde ilavesiz filtrasyona göre %5 azalırken, kuvars mineralinde ise %26 gibi oldukça önemli bir değere ulaşmaktadır. Kısaca, susuzlaştırma işleminde yüzey aktif madde katkısı kuvars minerali üzerine daha büyük bir etkiye sahiptir.

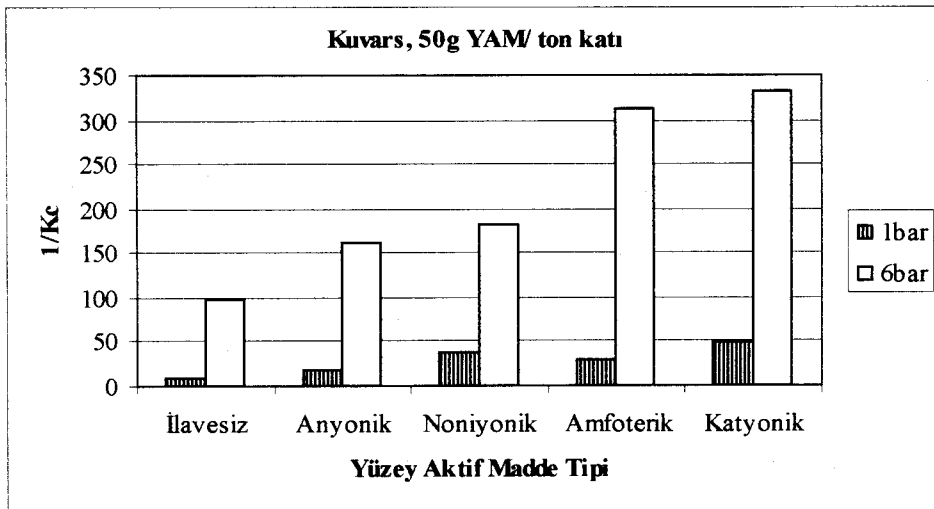
4.1.2 Farklı tipte yüzey aktif maddelerin filtrasyon hızı üzerine etkisi

Yüzey aktif maddeli filtrasyon işleminde, farklı yüzey aktif madde tiplerinin filtrasyon hızı üzerine olan etkileri, elde edilebilen iki farklı filtrasyon basıncında, maksimum basınç 6 bar ve minimum basınç 1 bar değerinde incelenmektedir. Dolomit ve kuvars minerallerinden, süspansiyon yoğunluğu %20 olacak şekilde noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddeler ilaveli süspansiyonlar kullanılmıştır. Yüzey aktif madde tipinin filtrasyon hızı üzerindeki değişimlerini incelemek amacı ile yapılan bu bölümdeki deneylerde kullanılan yüzey aktif madde konsantrasyonu, süspansiyonların Şekil 3.5’ de gösterilen yüzey gerilmesi ve Şekil 3.6’ da verilen zeta potansiyeli değişimleri göz önüne alınarak saptanmıştır.

Tüm yüzey aktif madde ilaveli süspansiyonlarda kritik misella konsantrasyonundan uzakta gerek yüzey gerilimi ve gerekse zeta potansiyeli açısından değerlerdeki değişimin rahatça gözlemlenebildiği konsantrasyon olan 50 g/ton katı reaktif konsantrasyonu, yüzey aktif maddeli süspansiyonların hazırlanması için kullanılmıştır. Deneyler, Bölüm 3.2.1’ de tanıtilan basınçlı filtrasyon ünitesinde ve yine aynı bölümde bahsedilen filtrasyon koşullarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ de grafik olarak verilmektedir. Noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddelerin ilavesi, filtrasyon hızını tüm yüzey aktif madde tipleri için hem 1 bar ve hem de 6 bar filtrasyon basıncında artırmaktadır. Filtrasyon hızındaki artışın mineralin tipine bağlı olduğu, bir kez daha dolomitin kuvarsa göre tüm değerlerdeki artışı ile görülmektedir



Şekil 4.3. Dolomit filtrasyonuna yüzey aktif madde tiplerinin etkisi



Şekil 4.4. Kuvars filtrasyonuna yüzey aktif madde tiplerinin etkisi

Dolomitin yüzey aktif maddeli filtrasyonunda, filtrasyon hızını en fazla artıran yüzey aktif madde tipi her iki basınç değerinde (1 bar ve 6 bar) de benzer olarak ortalama olarak %600 artış sağlayan noniyonik yüzey aktif madde tipidir. Filtrasyon hızında meydana gelen diğer artışlar ve yüzey aktif madde tipleri ise sırasıyla; %500 anyonik, %400 amfoterik ve %150 katyonik yüzey aktif maddelerdir. Bu sonuç aslında tümüyle dolomiti meydana getiren iyonların suda çözünmeleri ile açığa çıkan yük merkezlerine yüzey aktif maddelerin seçimli fiziksel sorpsiyonu ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Kuvarsın yüzey aktif maddeli filtrasyonunu inceleyecek olursak, filtrasyon hızını en fazla arttıran yüzey aktif madde tipinin yaklaşık %225' lik artış ile katyonik yüzey aktif madde olduğu görülmektedir. Diğer yüzey aktif maddelerin filtrasyon hızında meydana getirdikleri artışlar sırasıyla; %200 amfoterik, %70 noniyonik ve %25 anyonik yüzey aktif maddelerdir.

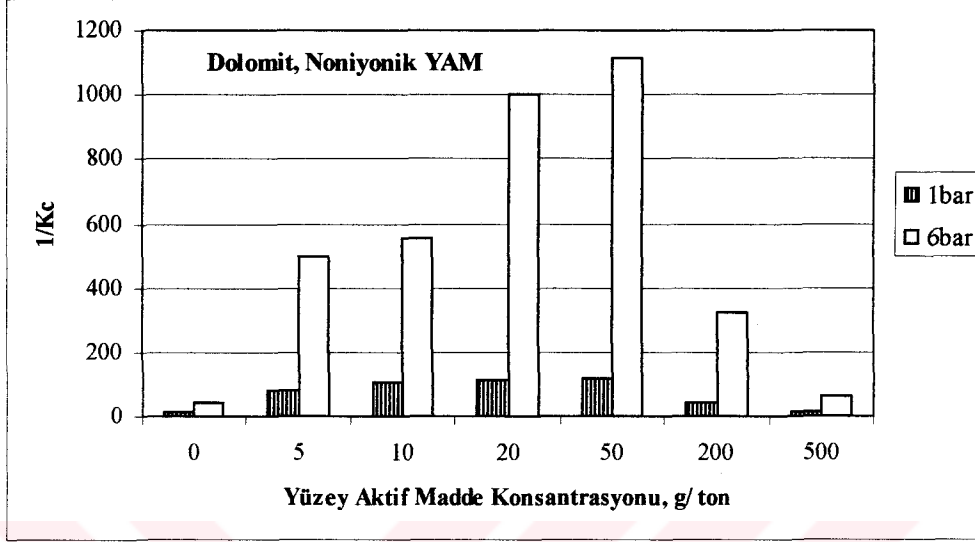
Bu sonuç, benzer olarak kuvars mineralinin yüzey özellikleri ile ilgilidir. Kuvarsın yapısı SiO_2 olup Bölüm 3.3.1' de anlatıldığı gibi yüzey aktif maddelerin bağlanması ortamın bazik olması (pH 9) nedeni ile negatif yük üzerinden olmaktadır. Ayrıca, zeta potansiyeli ölçümlerinden de kuvarsın yüzeyinin negatif yüklü olduğu bilinmektedir. Katyonik yüzey aktif maddeler, kuvars yüzeyinde adsorplanarak susuzlaşmasını sağlamaktadır.

4.1.3 Yüzey aktif madde miktarının filtrasyon hızı üzerindeki etkisi

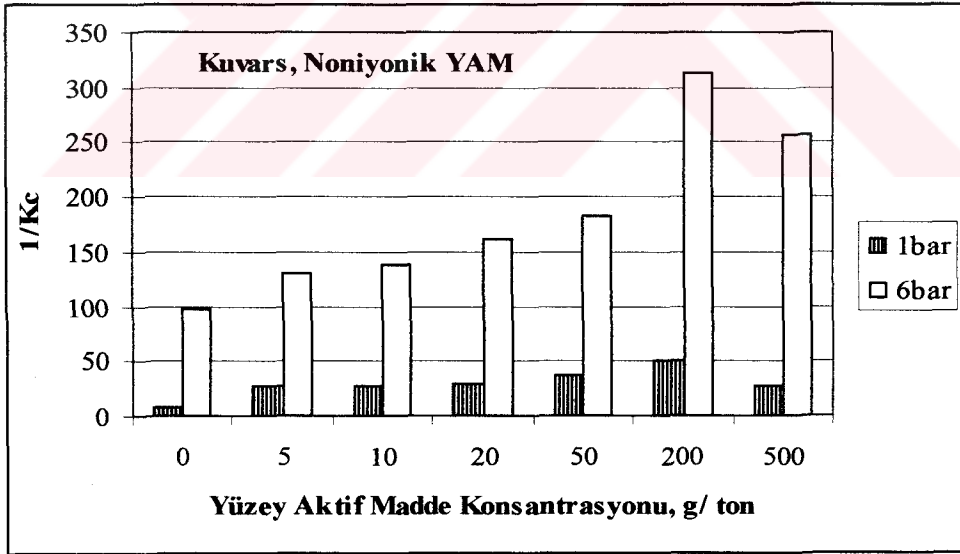
Dolomitin ve kuvarsın yüzey aktif maddeli filtrasyon işleminde, noniyonik yüzey aktif madde miktarının etkisini inceleyebilmek için 0, 5, 10, 20, 50, 200 ve 500 g reaktif/ton katı konsantrasyonundaki süspansiyonları hazırlanmıştır. Dolomit ve kuvarsa ait 1 bar ve 6 bar basınçlarda yüzey aktif madde katkılı filtrasyon deney sonuçları, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6' da verilmiştir.

Dolomitin noniyonik yüzey aktif madde katkılı filtrasyon işleminde filtrasyon hızı yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile başlangıçta artmaktadır. Ancak kritik misella konsantrasyonundan itibaren konsantrasyonun artması ile filtrasyon hızı düşmektedir. Özellikle 500 g/ ton değerinde, filtrasyon hızındaki azalma yüzey aktif madde ilavesiz duruma göre filtrasyon hızında artış olarak görülse de genel değerlendirme içinde en düşük değerindedir. Bu eğilim her iki basınç değeri içinde geçerlidir. Bu durum şöyle açıklanabilir: Reaktif konsantrasyonu kritik misella

konsantrasyonunun üzerine çıkınca her bir taneciğin etrafı reaktif ile komple sarılmakta ve süspansiyonda peptizasyon oluşmaktadır. Böylece tanecikler birbirini iterken aralarındaki boşluklar su ile dolmakta ve suyun viskozitesi ise yükselmiş bulunmaktadır. Yüksek viskozite ise filtrasyon hızını düşürmektedir.



Şekil 4.5. Dolomitin filtrasyon hızının noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi



Şekil 4.6. Kuvars filtrasyon hızının noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

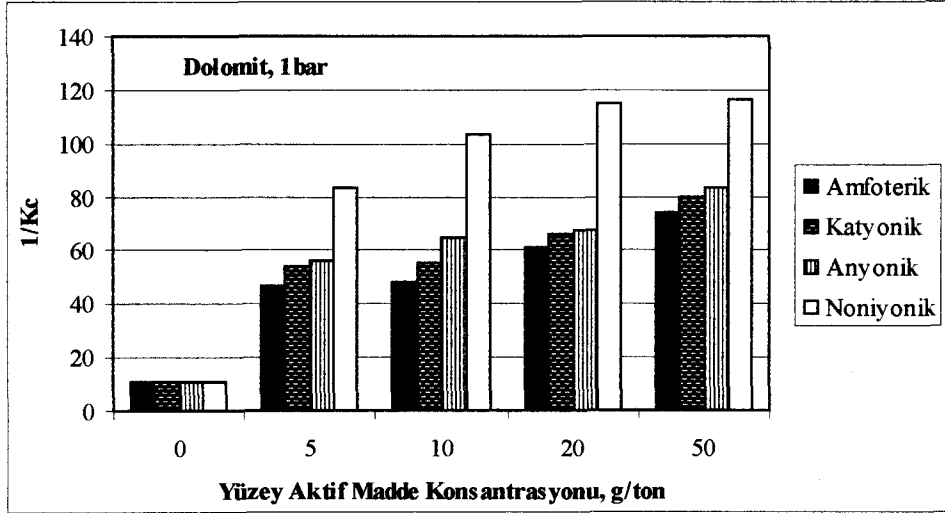
Noniyonik yüzey aktif madde ilaveli dolomit ve kuvars filtrasyonunda noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonunun etkisini gösteren Şekil 4.5 ve Şekil 4.6' daki artışlar Tablo 4.2.' den daha net incelenebilir.

Tablo 4.2. Dolomit ve kuvarsın filtrasyon hızının noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

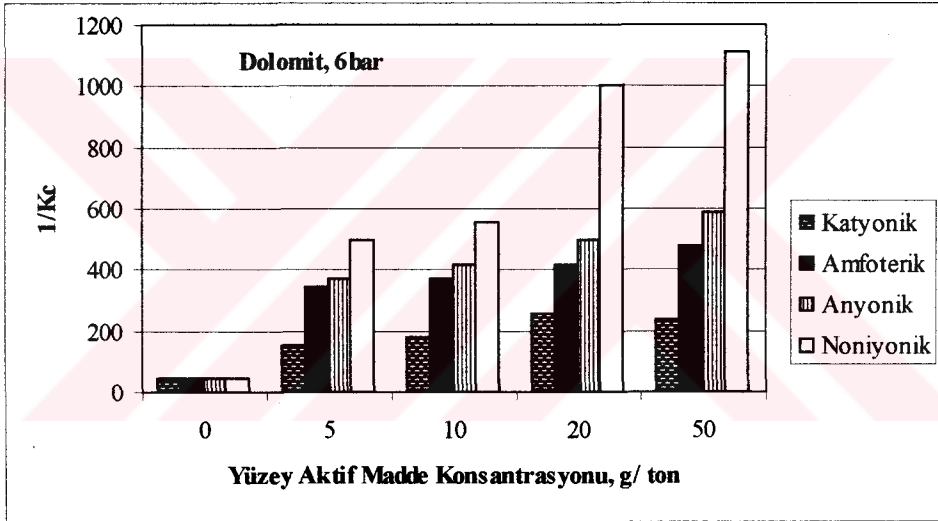
Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonu	Filtrasyon Hızı, 1/Kc			
	Dolomit		Kuvars	
	1 bar	6 bar	1 bar	6 bar
0	10,87	45,45	8,20	98,04
5	83,33	500,00	26,32	129,87
10	103,09	555,56	27,10	138,89
20	114,94	1000,00	28,65	161,29
50	116,28	1111,11	36,90	181,82
200	42,37	322,58	50,25	312,50
500	11,74	62,89	26,53	256,41

Kuvarsın yüzey aktif maddeli filtrasyon işleminde noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonunun etkisine bakacak olursak, dolomit mineralinde olduğu gibi başlangıç konsantrasyonlarında filtrasyon hızı yüzey aktif madde miktarının artması ile artmaktadır. Hem 1 bar ve hem de 6 bar basınç değerlerinde grafiklerin eğilimleri benzerdir. Kuvars filtrasyonunda, dolomit filtrasyonundan farklı olarak filtrasyon hızındaki artış 200g/ton katı değerine kadar ulaşmaktadır. Bu da kuvars mineralinin yüzey özellikleri ve öncelikle noniyonik yüzey aktif maddenin kritik misella konsantrasyonu noktası ile ilgilidir.

Sadece noniyonik yüzey aktif madde değil tüm yüzey aktif madde tiplerinin, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonunun filtrasyon hızı üzerindeki etkisi ise ikinci kısım olarak incelenmektedir. Bu kısımda, konsantrasyon aralığını kritik misella konsantrasyonu noktasından uzakta değişimin rahatça gözlendiği ilk bölgede alarak filtrasyon hızı üzerindeki incelemelere devam edilmiştir. Dolomit minerali için 0- 50 g/ton katı yüzey aktif madde konsantrasyon aralığında 1bar ve 6 bar sabit basınçlarda filtrasyon işlemine noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddelerin etkisi Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 ' de verilmiştir.



Şekil 4.7. Dolomit mineraline ait 1 bar sabit basınçtaki filtrasyonda katyonik, amfoterik, noniyonik ve anyonik yüzey aktif maddelerin konsantrasyonlarının filtrasyon hızına etkileri

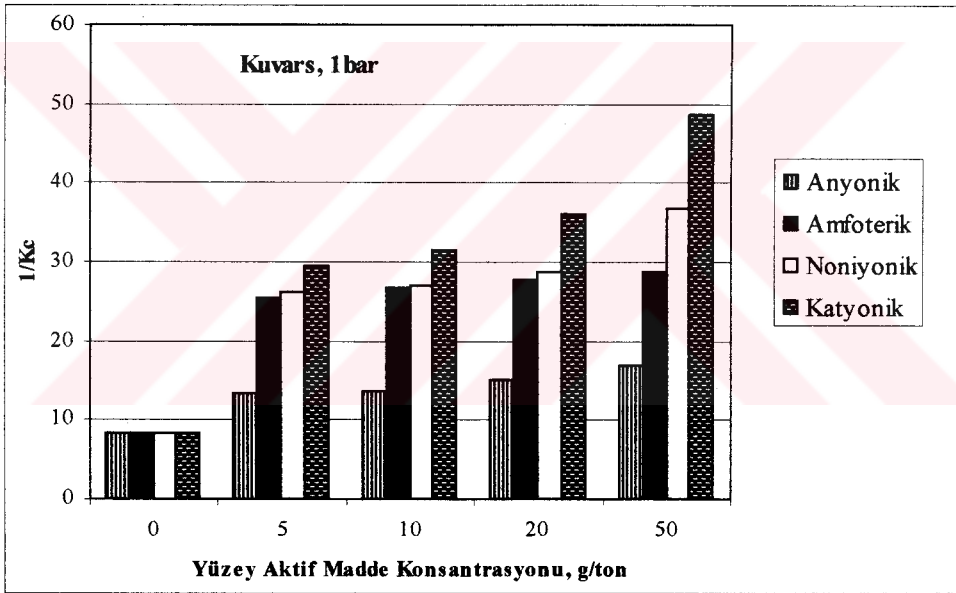


Şekil 4.8. Dolomit mineraline ait 1 bar sabit basınçtaki filtrasyonda katyonik, amfoterik, noniyonik ve anyonik yüzey aktif maddelerin konsantrasyonlarının filtrasyon hızına etkileri

Şekil 4.7' den dolomit minerali için hem 1 bar ve hem de 6 bar basınçlarındaki filtrasyon hızı- yüzey aktif madde konsantrasyonu grafiklerinden elde edilen en önemli sonuç yüzey aktif maddenin ortama ilave edildiği en küçük konsantrasyonlardaki etkisinin ortamda birikmeye başladığı daha büyük konsantrasyonlara göre çok daha fazla olmasıdır. Kısaca, yüzey aktif madde ilavesiz bir ortamdaki filtrasyon hızı, ortama 5 g reaktif/ton katı konsantrasyonunda yüzey aktif madde ilavesi ile tüm tiplerde ve her iki basınç değerinde ortalama %83' lük bir artış meydana getirmektedir. Ortamda bulunan yüzey aktif madde miktarının

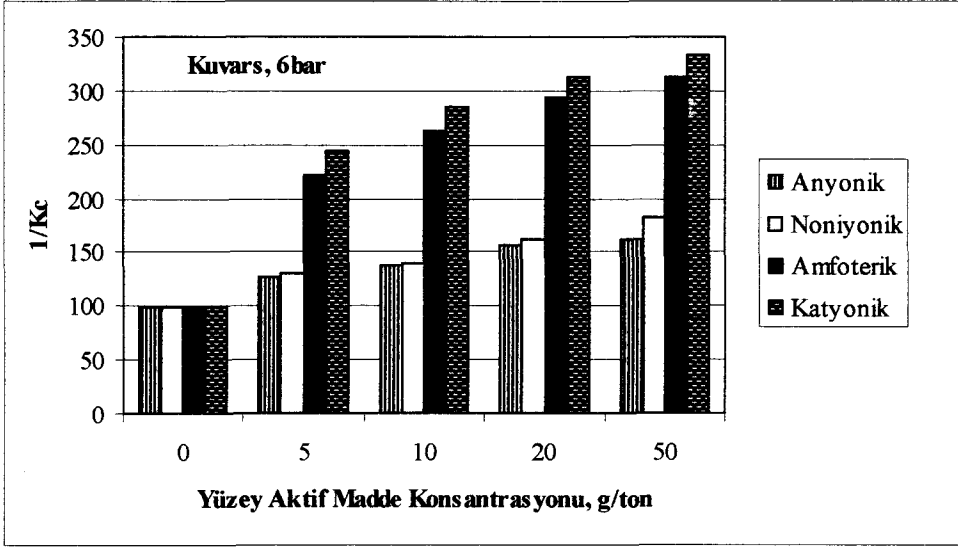
artması ile filtrasyon hızındaki artış 10 g reaktif/ ton katı için tüm değerler için ortalama %10, 20 g/ton katı için 1 bar basınçta %13 ve 6 bar için %25 ile 50g/ton katı için ise 1 bar basınçta %14 ve 6 bar için %7 artış görülmektedir. Sonuç olarak yüzey aktif madde miktarının artmasına karşılık filtrasyon hızındaki artışta görülen bu azalma, reaktifin mineral yüzeyine adsorplandıktan sonra geriye kalan yüzey aktif maddelerin kendi aralarında yapılanmaları ve peptizasyon nedeni ile filtrasyon hızını azalttığı şeklindedir.

Kuarsa filtrasyonunda, anyonik, amfoterik, katyonik ve noniyonik yüzey aktif maddeler kullanılarak, 1 bar sabit basınçta elde edilen filtrasyon hızı sonuçları ise Şekil 4.9’ da görülmektedir. Ayrıca, kuarsa mineraline ait 6 bar sabit basınçta yapılan ve yüzey aktif madde katkılı filtrasyon sonuçları ise Şekil 4.10’ da verilmiştir.



Şekil 4.9. Kuvarsın filtrasyon hızının 1 bar sabit basınçta katyonik, amfoterik, noniyonik ve anyonik yüzey aktif madde katkılı ortamda yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’ a bakıldığında, kuvarsın yüzey aktif maddeli filtrasyon işleminde tüm yüzey aktif madde tipleri için 6bar basınçtaki filtrasyon hızının 1 bar daki filtrasyon hızına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.10. Kuvarsın filtrasyon hızının 6 bar sabit basınçta katyonik, amfoterik, noniyonik ve anyonik yüzey aktif madde katkılı ortamda yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

4.1.4 Yüzey aktif maddelerin filtre keklerinin nem içeriğine etkisi

Noniyonik, katyonik, anyonik ve amfoterik yüzey aktif maddeler kullanılarak yapılan filtrasyondan elde edilen keklerin nem içerikleri incelenmiştir. Farklı yüzey aktif madde tipleri için 0- 50 g reaktif/ton katı konsantrasyon aralığında yüzey aktif madde miktarının değişimi ile filtrasyondan elde edilen filtre keklerinin nem içerikleri hesaplanmıştır. Bu amaçla 1 bar ve 6 bar sabit basınçlarda yapılan filtrasyon sonrası elde edilen sonuçlar dolomit minerali için Tablo 4.3' de verilmektedir.

Dolomit minerali için Tablo 4.3' den yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile filtre keklerinin nem içeriğinde azalma görülmektedir. Ayrıca tüm yüzey aktif madde tipleri için basıncın artması ile nem içeriğindeki azalma miktarı daha fazla olmaktadır. Bunu daha net olarak basıncın 1 bar' dan 6 bar' a artması durumunda 50 g/ton katı konsantrasyondaki yüzey aktif maddelerin nem içeriğinde noniyonik tip için %40 azalma olmakta, anyonik ve amfoterik tiplerde yaklaşık %80 ve katyonik tipte ise %90' a ulaşmaktadır.

Tablo 4.3 Dolomit mineraline ait 1 bar ve 6 bar basınçta yüzey aktif maddeli filtrasyon sonrası elde edilen filtre keklerinin nem içeriklerinin yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

YAM Miktarı g/ ton	Dolomit Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %							
	1bar				6bar			
	Noniyonik	Katyonik	Anyonik	Amfoterik	Noniyonik	Katyonik	Anyonik	Amfoterik
0	24,32	24,32	24,32	24,32	23,77	23,77	23,77	23,77
5	23,45	24,29	23,47	23,41	22,65	17,83	17,36	17,61
10	21,3	23,9	23,03	22,39	17,15	16,16	16,42	15,67
20	18,98	23,36	18,81	22,89	16,63	15,49	15,15	15,24
50	18,67	23,91	18,01	17,28	16,29	12,57	9,46	9,09

Genel olarak bakıldığında sonuçlarda dikkat çeken nokta, filtrasyon hızını arttıran yüzey aktif madde tipinin tam tersine filtre keklerinin nem içeriğini en azaltan tip olmasıdır. Oysa filtre keklerinin nem içeriğini en fazla azaltan tip olarak görülen amfoterik ve katyonik yüzey aktif maddeler filtrasyon hızını diğer yüzey aktif madde tiplerine göre en az arttıran yüzey aktif madde tipleridir. Kısaca, filtrasyon hızı ile nem içeriğinin azalması arasında ters bir ilişki görülmektedir.

Kuvars mineraline ait sonuçlara bakılacak olursa 1 bar ve 6 bar sabit basınçlarda, noniyonik, katyonik, anyonik ve amfoterik yüzey aktif maddelerin 0- 50 g/ ton katı konsantrasyon aralığında kullanılması ile filtrasyon sonrası elde edilen kuvars mineraline ait filtre keklerinin nem içerikleri Tablo 4.4’ de verilmiştir.

Kuvars mineraline ait Tablo 4.4’ deki nem içeriği değerlerine bakılacak olursa tüm yüzey aktif madde tipleri ve en düşük 5 g reaktif/ ton katı miktarındaki kullanımın bile nem içeriğinde en az %5’ lik bir azalma sağladığı görülmektedir. Kuvars mineralinde görülen nem değerindeki azalmalar dolomit mineraline göre oldukça azdır. Bu da mineralin şeklinden ve yüzey özelliklerinden ileri gelmektedir.

Tablo 4.4. Kuvars mineraline ait 1 bar ve 6 bar basınçta yüzey aktif maddeli filtrasyon sonrası elde edilen filtre keklerinin nem içeriklerinin yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

YAM Miktarı g/ ton	Kuvars Filtre Keklerinin Nem İçeriği, %							
	1bar				6bar			
	Noniyonik	Katyonik	Anyonik	Amfoterik	Noniyonik	Katyonik	Anyonik	Amfoterik
0	32,48	32,48	32,48	32,48	29,78	29,78	29,78	29,78
5	30,55	31,32	30,79	24,57	29,78	28,41	27,12	27,76
10	30,18	31,03	30,77	24,78	27,94	27,46	20,86	26,74
20	30,44	29,49	30,23	21,74	27,66	26,86	19,17	20,99
50	30,04	28,96	28,47	20,12	24,24	24,59	17,58	20,92

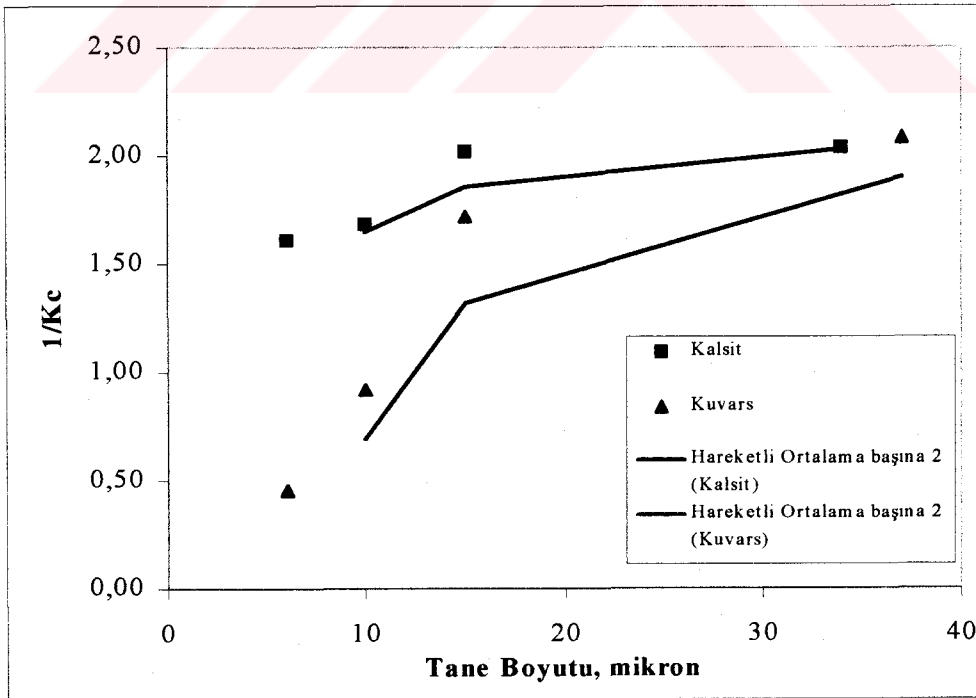
Kuvars minerali için nem içeriğindeki azalma en fazla 50 g/ton katı konsantrasyonda görülmektedir. 1 bar basınçta filtre keklerinin yüzey aktif madde ilavesiz filtrasyona göre nem içeriklerinde görülen azalma miktarı yüzey aktif madde tiplerine göre sırasıyla %60 amfoterik, %15 anyonik, %10 katyonik ve %8 noniyonik yüzey aktif maddelerdir. 6 bar basınçtaki sonuçlara göre ise %69 anyonik, %42 amfoterik, %23 noniyonik ve %21 katyonik yüzey aktif maddelerdir. Kuvars minerali için de dolomit mineralinde olduğu gibi filtrasyon işlemini en fazla hızlandıran yüzey aktif madde tipleri, filtre keklerinin nem içeriğini en az azaltanlardır. Bunun en büyük nedeni hızlı bir filtrasyon işleminde mineral tanelerinin çok daha sıkı bir yapı oluşturmaları ve boşluklarında kalan sıvının filtrat olarak dışarı atılmadan filtrasyon işleminin tamamlanması olarak düşünülebilir. Çünkü bu deneyler de filtre keklerinden hava geçmesine müsaade edilmeyerek ileri susuzlaştırılma işlemi yapılmamıştır. Bir kez daha filtrasyon hızı ile artık nem (susuzlaştırma oranı) arasında rekabet olduğu ortaya çıkmaktadır.

4.2 Yüzey Aktif Maddeli Filtrasyon İşleminde Minerallerin Tane Boyutunun Filtrasyon Hızı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

4.2.1 Basınçlı filtrasyonda tane boyutunun filtrasyon hızı üzerine etkisi

Basınçlı filtrasyon işleminde minerallerin tane boyutunun filtrasyon hızı üzerine olan etkilerini inceleyebilmek için yaklaşık 0- 37 μm aralığında farklı tane boyutlarında temin edilen kalsit ve kuvars mineralleri kullanılmıştır. Kalsit minerali CaCO_3 yapısı ile aynı yapı grubu altında olan $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ yapısındaki dolomit mineraline olan kalsit, dolomit minerali yerine kullanılmıştır. Bu deneylerde kullanılan minerallerin tane boyutları ve temin edildikleri kaynak Tablo 3.1' de belirtilmektedir.

Bu grup deneylerde, %20 hacim yoğunluğunda hazırlanan mineral süspansiyonlarına 2 bar sabit basınçta filtrasyon işlemi uygulanmıştır. Basınçlı filtrasyon işleminden alınan filtrat debisinin tersinin zamanla değişimine ait sonuçlardan elde edilen doğru eğimi olan K_c değerinin mineral tane boyutu ile değişimi Şekil 4.11' de verilmektedir. Daha önceki açıklamalarda olduğu gibi filtrasyon hızını $1/K_c$ değeri ile gösterebiliriz. Şekil 4.11' den de görüldüğü gibi minerallerin tane boyutunun değişimi filtrasyon hızı üzerine oldukça etkilidir. Hem kalsit ve hem de kuvars mineralinde filtrasyon hızı ve tane boyutu değişimini iki bölgeye ayırabiliriz.



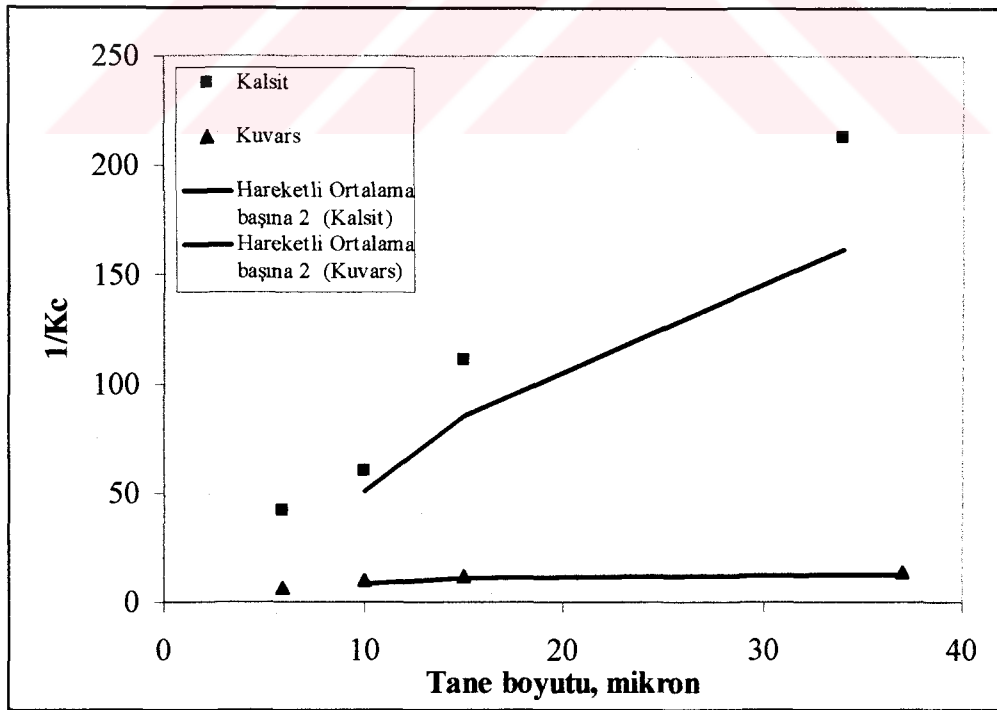
Şekil 4.11. Tane boyutunun filtrasyon hızına etkisi

Tane boyutunun 15 µm olması bir ara değer olarak görebilir. Bu değere kadar partikül boyutu ile filtrasyon hızı keskin bir şekilde artarken yaklaşık olarak bu değerden itibaren daha büyük partiküller için ise filtrasyon hızında o kadar keskin artışlar görülmemektedir.

4.2.2 Tane boyutunun yüzey aktif maddeli filtrasyon üzerine etkisi

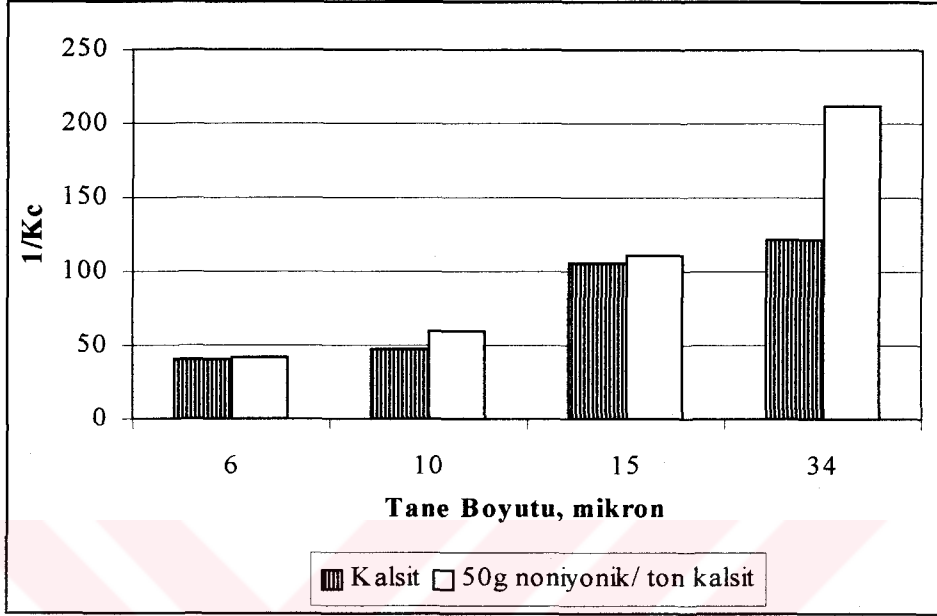
Kalsit ve kuvars mineralleri kullanılarak tane boyutunun yüzey aktif maddeli filtrasyona etkisi de incelenmiştir. Bölüm 4.1' den yararlanarak optimum filtrasyon hızı sağlayabilecek 50 g/ton katı konsantrasyonunda noniyonik yüzey aktif madde kullanılmıştır. Kalsit ve kuvars minerallerinden hazırlanan süspansiyonlara 2 bar sabit basınçta filtrasyon işlemi uygulanmıştır. Tane boyutu ile 1/Kc değeri arasındaki ilişki yüzey aktif maddeli filtrasyon işlemi için Şekil 4.12' de gösterilmektedir.

Yüzey aktif madde ilaveli filtrasyon sonuçlarına baktığımızda tane boyutunun 15 µm' da iki ayrı bölgeye ayrıldığı görülmektedir. Ancak, yüzey aktif madde ilavesi ile tane boyutu küçüldükçe ani olarak görülen filtrasyon hızındaki azalma değişmekte ve keskin tıkanmalar görülmemektedir. Deneysel gözlemlerden tane boyutunun azalması ile filtre keki yapışkan hale gelmektedir.

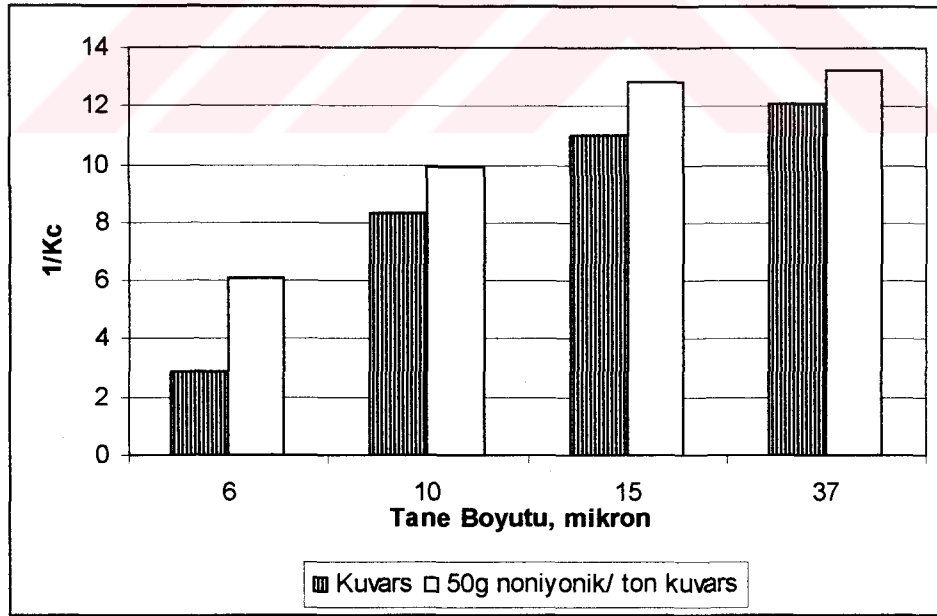


Şekil 4.12. Yüzey aktif maddeli filtrasyon işleminde tane boyutunun etkisi

Yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz filtrasyonun farklı tane boyutları için etkileri, sonuçların birebir eşlenmesi ile elde edilen kıyaslamalı grafiklerden daha iyi anlaşılabilir. Kalsit ve kuvars mineraline ait sonuçlar Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’ de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Kalsit mineralinin yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz filtrasyon işlemine tane boyutunun etkisi



Şekil 4.14. Kuvars mineralinin yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz filtrasyon işlemine tane boyutunun etkisi

Kalsit mineralinin tane boyutunun artması ile yüzey aktif madde ilavesinin filtrasyon hızını daha da arttığı görülmektedir. Oysa kuvars mineralinde tane boyutunun düşmesi ile örneğin 6 µm tane boyutunda yüzey aktif madde ilavesi filtrasyon hızını 2 katı arttırmaktadır. Kuvars mineralinde filtrasyon hızının düşük olması ve buna bağlı olarak filtrasyon süresinin uzaması (6 µm kuvars için 25 dakika) , filtrasyon işlemi ile birlikte sedimantasyonun görülmesine partiküllerin agglomer olmalarına ve hücre ortasında sıkı bir şebekenin oluşmasına sebep olmaktadır. Oysa yüzey aktif madde ilavesi ile bu sıkı bağlı yapı oluşmamakta ve filtrasyon işlemi daha hızlı tamamlanabilmektedir.

Benzer etki susuzlaştırma işleminde de gözlenmektedir. Partikül boyutunun düşmesi ile susuzlaştırma işleminin süresi artmaktadır. Ortalama tane boyutunun 15 µm olduğu kuvars minerali için susuzlaştırma işlemi son derece hızlı olarak 5 sn içinde tamamlanırken, tane boyutunun 6 µm olduğu durumda 50 sn’ de tamamlanmaktadır. Partikül boyutunun azalması ve toplam yüzey alanının artması katı köprüleri arasında tutulan suyun uzaklaştırması sıvı köprüleri nedeniyle çok daha zor olmaktadır.

Yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz filtrasyon işlemi sonrasında filtre keklerinin nem içeriğinin minerallerin tane boyutu ile değişip değişmediğinin incelenmesi oldukça önemlidir. Tablo 4.5’ de kalsit ve kuvars minerallerinin tane boyutunun filtrasyon sonrası filtre kekinin nem içeriği üzerine etkisi görülmektedir.

Tablo 4.5. Minerallerin tane boyutunun filtre keki artık nem içeriği üzerine etkisi

Tane Boyutu,µ	Filtre Kek Nem İçeriği, %			
	Kalsit		Kuvars	
	YAM İlavesiz	YAM İlaveli	YAM İlavesiz	YAM İlaveli
6	48,88	18,00	77,50	50,8
10	26,46	13,00	59,40	38,67
15	24,27	17,00	30,88	29,00
35	19,00	9,60	28,27	22,00

Minerallerin tane boyutunun filtre keklerinin nem içeriği üzerine etkisinin çok büyük olduğu ve tane boyutunun düşmesi ile tutulan nem miktarının arttığı görülmektedir. Özellikle kuvars mineralinin nem içeriği oldukça dikkat çekicidir. Bu yüksek doygunluk değeri kuvars mineralinin yüksek doygunluk değerlerinde filtre keklerinin çok ufak bir kuvvet etkisi ile neden akıcı bir davranım gösterdiğini de açıklamaktadır. Etkiyen kuvvet nedeni ile tuttuğu suyu derhal bırakan mineral filtre kekinin silindirik kalıp formunu terk edip, kırılma mekanik davranım gösteren filtre keki derhal akıcı bir hal almaktadır. Bu nedenle yüksek doygunluk değerlerinde çalışmak oldukça sorun olmaktadır.

Yüzey aktif madde ilaveli filtrasyon işleminin filtre keklerinin nem içeriğini oldukça düşürmesi özellikle filtrasyon işlemi ile nem gidermenin sorun olduğu düşük tane boyutları açısından son derece önemlidir. Tane boyutunun 6 µm olduğu incelenen en düşük tane boyutu aralığında, yüzey aktif madde ilavesi kalsit filtre keklerinin nem içeriğini %63 azaltırken, kuvars mineralinde ise %34' lük oldukça önemli azalmalar göstermektedir.

5. KESME GERİLMESİ DENEYLERİNİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

5.1 Dolomit ve Kuvars Filtre Keklerinin Kesme Gerilmesi Ölçümlerinin Ön İşlemleri

Kesme gerilmesi ölçümlerinde kullanılan kekler iki aşamada hazırlanmaktadır. Birinci aşamada, dolomit ve kuvars minerallerinden $C_v = \%20$ olacak şekilde hazırlanan süspansiyonlar Şekil 3.1’ de gösterilen basınçlı filtrasyon ünitesinde 2 bar sabit basınçta filtrasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. İkinci aşamada ise elde edilen filtre keklerine basınçlı filtrasyon hücresinden çıkarmadan çeşitli basınçlarda susuzlaştırma işlemi uygulanmıştır. Böylece yaklaşık 10 mm yüksekliğinde ve 50 mm çapında elde edilen filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçümleri BOS kesme gerilmesi cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deneyler 5 alt gruptan oluşmaktadır:

1. Sabit basınçta ve saf ortamda doygunluğun kesme gerilmesine etkisi,
2. Sıkıştırma basıncının etkisi,
3. Saf ortam deneyleri,
4. Yüzey aktif madde ilaveli deneyler.
5. Tane boyutunun ve şeklinin etkisi.

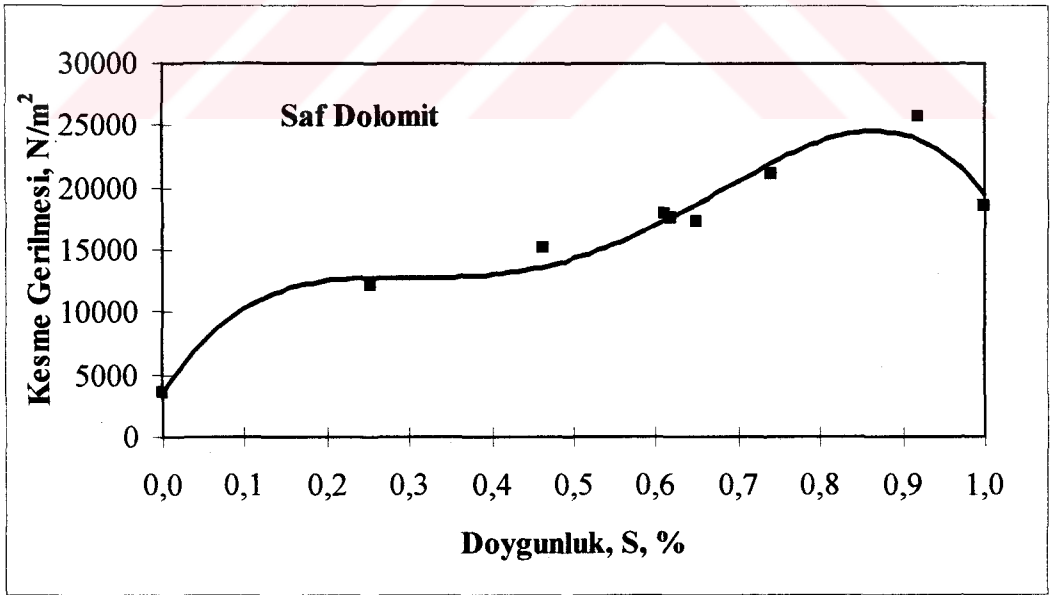
5.1.1 Kesme gerilmesi üzerine doygunluk derecesinin etkisi

Dolomit ve kuvars minerallerinden hacmen $C_v = \%20$ olacak şekilde hazırlanan süspansiyonlara 2 bar sabit basınçta filtrasyon işlemi uygulanmıştır. Elde edilen filtre kekleri 4bar sabit basınçta 20 dakika süre ile susuzlaştırılmıştır. Filtre kekleri 0, 1, 3, 5, 7, 17 ve 24h süre ile bekletilerek doygunluk derecesinin $S = 0-1$ doygunluk değerleri arasında çeşitli değerler alması sağlanmıştır. Uygun doygunluk derecesine ulaşan filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçümleri yapılmıştır. Dolomit ve kuvars mineralinin kesme gerilmesi değerlerinin doygunluk derecesi ile değişimi Tablo 5.1 de verilmektedir.

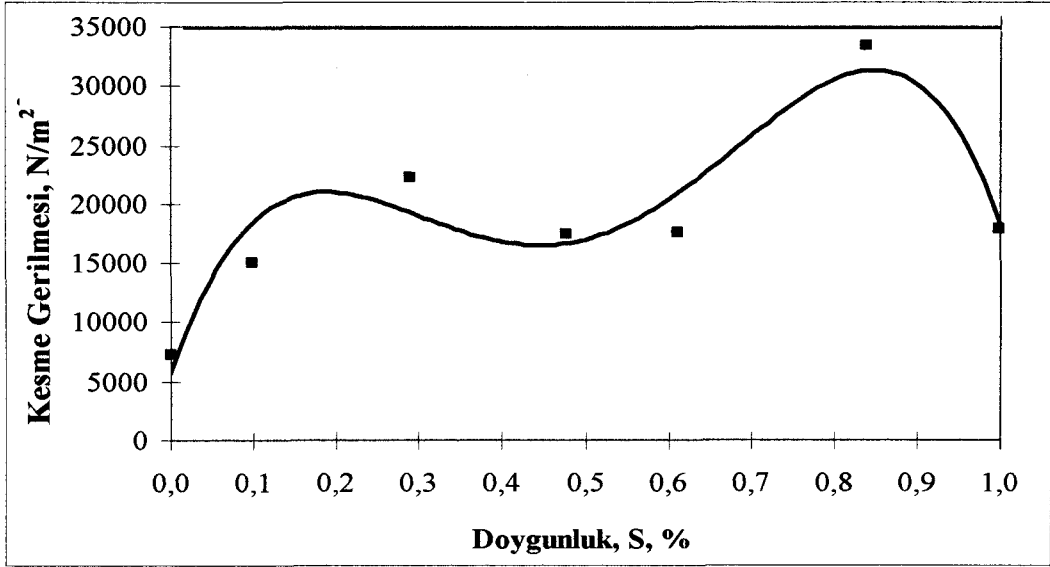
Tablo 5.1. Dolomit ve kuvars minerallerinin kesme gerilmesi üzerine doygunluk derecesinin etkisi

	Kesme Gerilmesi, N/m²	
Doygunluk %	Dolomit	Kuvars
0-10	3548	7230
10- 30	12069	22270
30- 50	15142	17461
50- 65	17886	17548
70- 80	21094	27500
80- 90	25670	33400
90- 100	18577	17852

Dolomit ve kuvars mineralleri için kesme gerilmesinin doygunluk derecesi ile değişimi sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2' de verilmektedir.



Şekil 5.1. Saf ortamda dolomitin kesme gerilmesi üzerine doygunluk derecesinin etkisi



Şekil 5.2. Saf ortamda kuvars mineralinin kesme gerilmesi üzerine doygunluk derecesinin etkisi

Sabit filtrasyon ve susuzlaştırma basıncında dolomit ve kuvars minerallerinin saf ortamdaki kesme gerilmesi sonuçları incelendiğinde Şekil 2.17’deki Schubert diyagramı ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Kesme gerilmesini doygunluk değerine bağlayan eğri de tıpkı Schubert diyagramında olduğu gibi her iki mineral için de üç bölge görülmektedir:

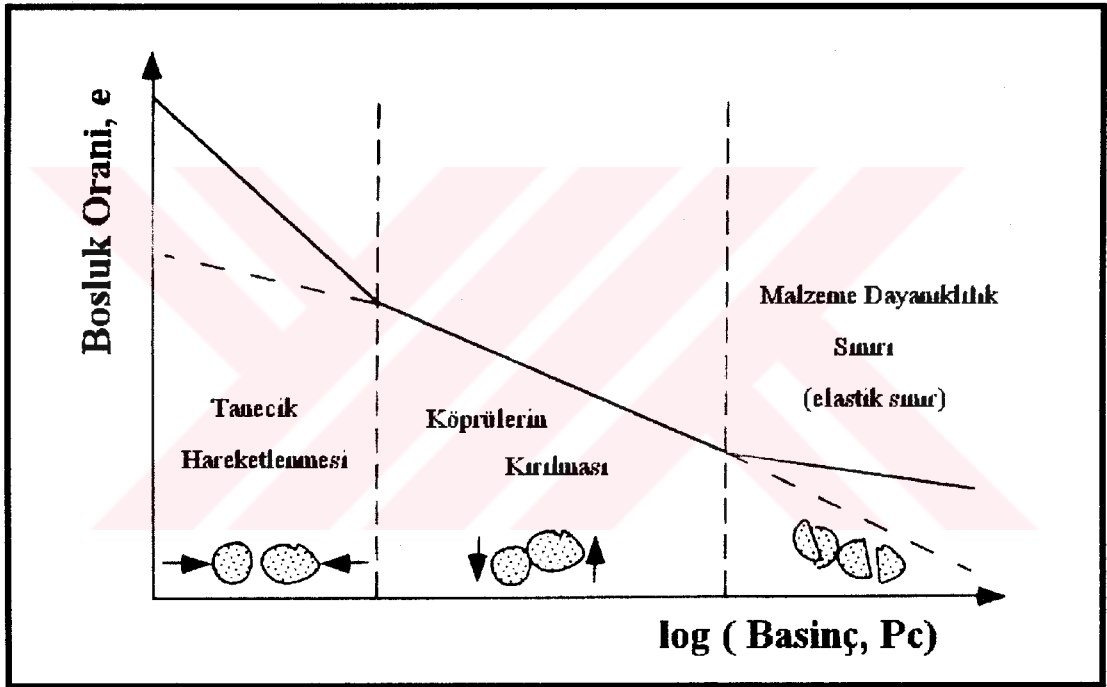
1. Bölge: $0 \leq S < 0,20$
2. Bölge: $0,20 < S < 0,80$
3. Bölge: $0,80 < S \leq 1$

Hem dolomit ve hem de kuvars mineralinin yaklaşık %85 doygunluk derecesinde maksimum kesme gerilmesi değeri elde edilmektedir. Diğer çekim kuvvetlerinden çok daha büyük olan kapiler kuvvetlerin etkinliği nedeniyle maksimum kesme gerilmesine ulaşılmaktadır. Kapiler bölgedeki $S = \%85$ civarında dolomit mineralinin maksimum kesme gerilmesi değeri 25000 N/m^2 iken kuvars mineralin de ise daha yüksek kesme değerine 33000 N/m^2 ulaşılmaktadır.

Schubert diyagramına benzer olarak geçiş bölgesinde (yaklaşık %45 doygunluk derecesi) kesme gerilmesi azalmaktadır. Kuvars mineralinde bu azalma dolomite mineraline göre çok daha belirgindir. Köprüleşme bölgesinde ise her iki mineral için de doygunluk derecesinin yaklaşık %15 olduğu ikinci bir maksimum elde edilmektedir.

5.1.2 Filtrasyon sonrası susuzlaştırma işleminde uygulanan sıkıştırma basıncının kesme gerilmesi üzerine etkileri

2 bar sabit basınçta yapılan filtrasyon işlemi sonrasında dolomit ve kuvars minerallerinden elde edilen filtre keklerine 2, 4 ve 6 bar sabit basınçlarda 20 dakika süre ile susuzlaştırma işlemi uygulanmıştır. Belirli kek doygunluklarına ulaşabilmesi için filtre kekleri oda sıcaklığında laboratuvar ortamında belli süreler bekletilmiştir. Farklı doygunluk değerine ulaşan filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçümleri yapılmıştır. Filtrasyon sonrası susuzlaştırma işleminde uygulanan sıkıştırma basıncının filtre kekini meydana getiren mineral taneleri arasında oluşturduğu değişimler Şekil 5.3 de gösterilmektedir (Wiedemann, 1996).



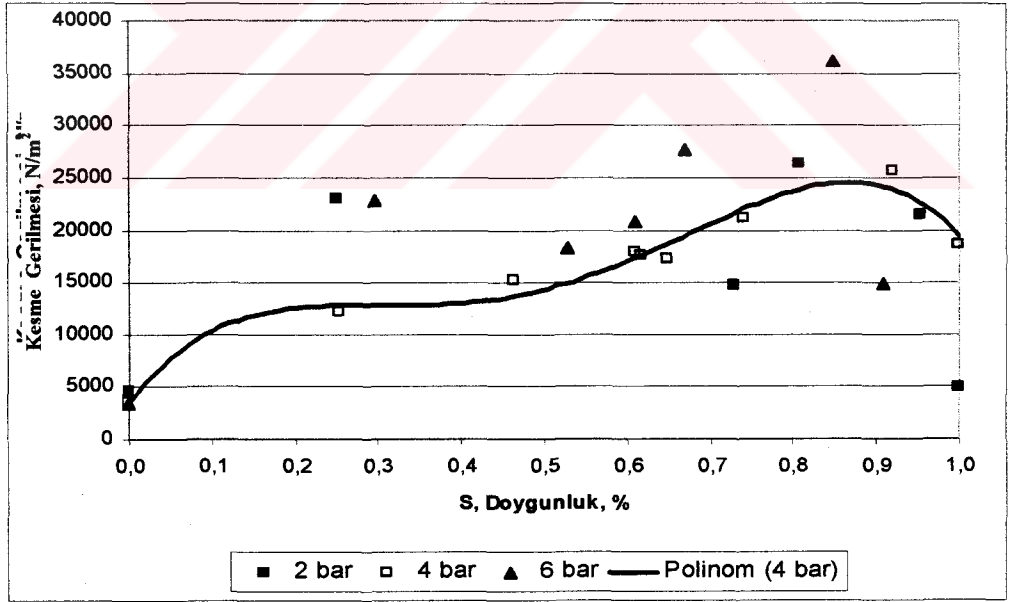
Şekil 5.3. Uygulanan basınç ile boşluk oranındaki değişim

5.1.2.1 Dolomit minerali için elde edilen sonuçlar

Dolomit minerali için filtrasyon işlemi sonrasında uygulanan susuzlaştırma işleminde sıkıştırma basıncının doygunluk ile değişimi Tablo 5.2' de ve Şekil 5.4' de grafik olarak gösterilmektedir.

Tablo 5.2. Dolomit ve kuvars mineralinin susuzlaştırma basıncının kesme gerilmesi üzerine etkisi

	Kesme Gerilmesi, N/m ²					
Doygunluk %	Dolomit			Kuvars		
	2 bar	4 bar	6 bar	2 bar	4 bar	6 bar
0-10	4560	3548	3330	4000	7230	9000
10- 30	22949	12069	22858	20887	22270	26193
30- 50	16800	15142	18276	13671	17461	20000
50- 65	14627	17886	20709	13905	17548	22588
70- 80	21424	21094	27759	21202	27500	30436
80- 90	26388	25670	36170	28856	33400	36582
90- 100	4837	18577	14823	18036	17852	29245



Şekil 5.4. Dolomitin çeşitli basınçlarda kesme gerilmesinin doygunlukla değişimi

Şekil 5.4' den anlaşıldığı üzere:

1. Filtrasyon sonrasında uygulanan susuzlaştırma kademesindeki sıkıştırma basıncının artması, tüm doygunluk değerlerinde kesme gerilmesinde artışa sebep olmaktadır. Bunun en büyük nedeni sıkıştırma basıncının artması ile

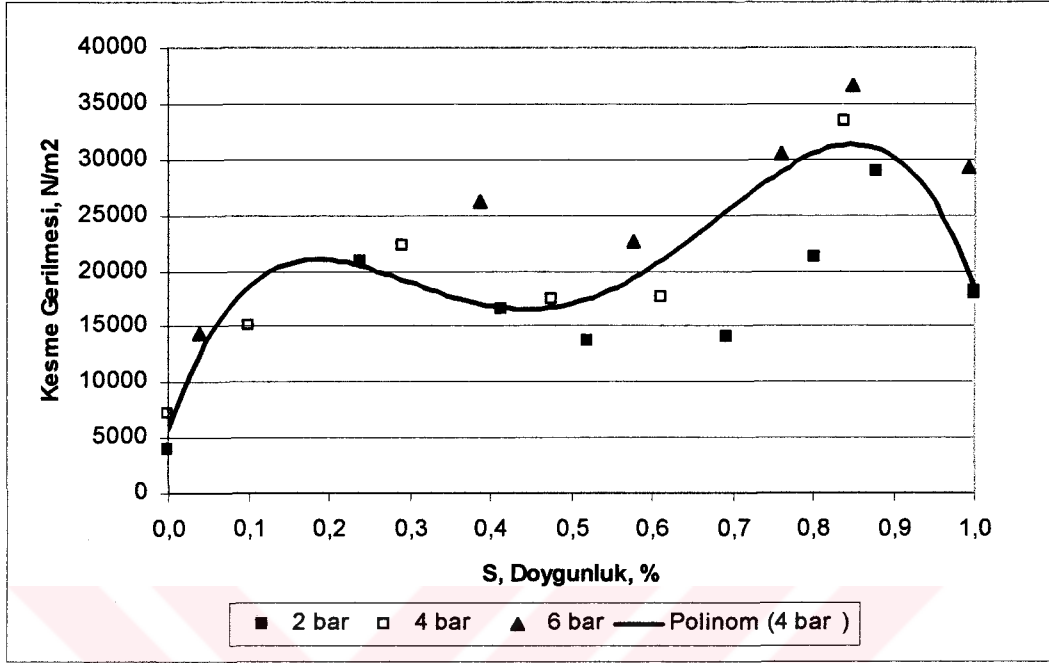
daha sıkı, kompakt bir yapının elde edilmesi ve bu yapının daha fazla mukavemet göstermesidir. Ayrıca sıkıştırma basıncının artması, filtre kekini meydana getiren mineral tanelerinin birbirine daha fazla yaklaşmasına sebep olmaktadır. Taneler arasındaki mesafenin azalması, taneler arasındaki van der Waals kuvvetlerinin artmasına neden olmakta bu da kesme kuvvetlerine karşı daha fazla dayanıklı olabilmelerini sağlamaktadır.

2. Elde edilen kesme gerilmesi- doyumluk eğrisi Schubert' in çekme gerilmesi- doyumluk eğrisi ile aynı eğilime sahip olduğu Şekil 5.4 ve Şekil 2.17 karşılaştırılmasından anlaşılmaktadır. Kesme gerilmesi doyumluğun fonksiyonu olarak yaklaşık %20 ve %85 doyumluk değerlerinde iki maksimum ve %50' de minimum değeri ile dördüncü dereceden bir polinom oluşturmaktadır. Schubert diyagramına benzer olarak filtre kekinin sahip olduğu kesme gerilmesini doyumluğa göre üç bölgeye ayırabiliriz. Bu bölgeler, doyumluğun yaklaşık %85 olduğu ve kesme gerilmesinin maksimum değerine ulaştığı kapiler bölge, doyumluğun yaklaşık %20' ile ikinci maksimum değerini verdiği köprüleşme bölgesi ve bunların arasında yaklaşık %50 doyumluk değerinde minimum kesme gerilmesini veren geçiş bölgesidir.
3. Önemli bir başka sonuçta, Kesme gerilmesinin maksimum değerine ulaştığı $0.8 < S < 1$ bölgesi olan kapiler bölge ile ilgilidir. Schubert diyagramında olduğu gibi kesme gerilmesi doyumluğun $0.8 < S < 1$ olduğu bölgede maksimumdur. Bunun nedeni filtre kekinde mineral tanelerini bir arada tutan bağlanma mekanizmasının kapiler kuvvetler tarafından oluşturulmasıdır. Kapiler kuvvetler van der Waals kuvvetlerden partiküller arasındaki mesafeye bağlı olarak ortalama 10 kat daha büyüktür ve bu bölgede mukavet en yüksek değerine ulaşmaktadır.

5.1.2.2 Kuvars minerali için elde edilen sonuçlar

Kuvarsın susuzlaştırma işleminde uygulanan sıkıştırma basıncının kesme gerilmesi üzerine etkileri 2, 4 ve 6 bar sıkıştırma basıncı için Tablo 5.2' de ve Şekil 5.5' de verilmektedir. Şekil 5.5' den görüldüğü üzere sıkıştırma basıncının artması ile her doyumluk değerinde, kesme gerilmesi artmaktadır. Kuvars filtre kekleri maksimum kesme gerilmesi değerine %85 doyumluk derecesinde ve 6bar sıkıştırma basıncında ulaşmaktadır.

Kuvars minerali tüm susuzlaştırma basınçlarında da dolomit mineralinde olduğu gibi Schubert' in çekme gerilmesi- doygunluk diyagramı ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.5. Kuvars mineraline ait sıkıştırma basıncındaki değişimin kesme gerilmesi ve doygunluk üzerine etkisi

5.1.3 Şekil faktörünün (mineral tipi) etkisi : dolomit ve kuvars mineraline ait kesme gerilmesi ve sıkıştırma basıncı ilişkisinin karşılaştırılması

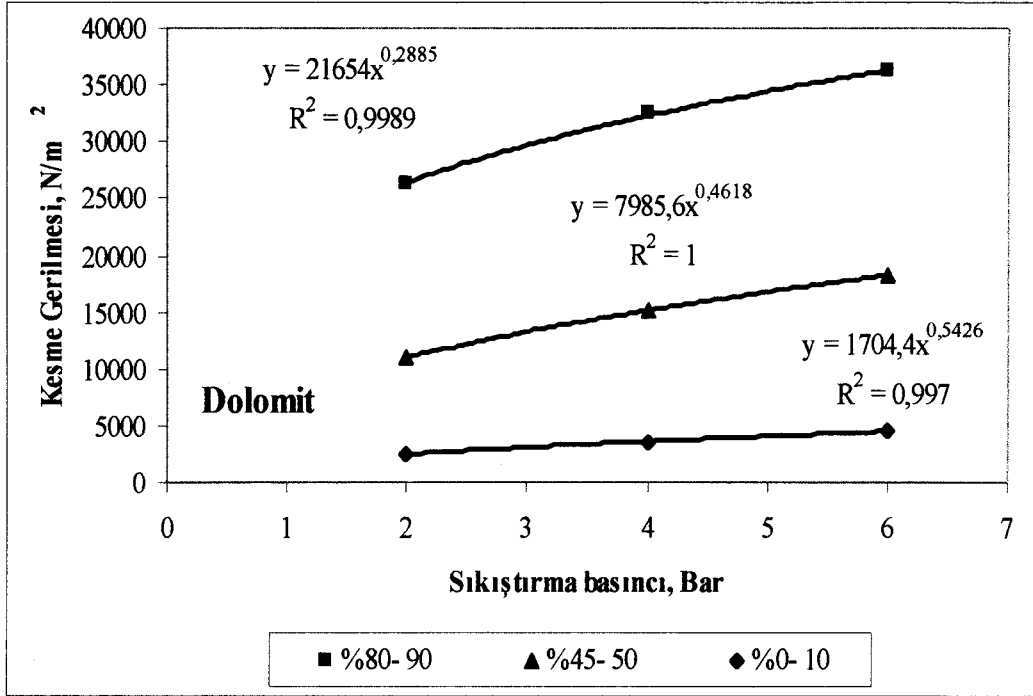
Yaklaşık aynı ortalama tanecik boyutlarına sahip (16 ve 15 μm) iki farklı mineralin üç ayrı doygunluk bölgesi için yaklaşık aynı denklemi verdikleri gözlenmektedir. Genel olarak sonuçlara bakıldığında her iki mineral için de kesme gerilmesinin filtrasyon sonrasında uygulanan basınç ile doğrusal olarak değiştiği görülmektedir. Örneğin, doygunluğun %80- 90 olduğu bölgede sıkıştırma basıncının %50 artması, kesme gerilmesinde yaklaşık %55 artışa neden olmaktadır. Kesme gerilmesini sadece sıkıştırma basıncı ile değil aynı zamanda farklı bölgelerdeki doygunluk değerlerini de göz önüne alarak inceleyecek olursak çok daha kapsamlı grafikler elde ederiz. Dolomit ve kuvars mineraline ait kesme gerilmesi, sıkıştırma basıncı ve doygunluk ilişkisini ortaya koyan eğriler sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.7' de verilmiştir.

Her iki mineral için her üç bölgedeki doygunluk değerlerinde kesme gerilmesi sıkıştırma basıncı ile doğrusallığa çok yakın olmakla birlikte, üstel bir ilişki ($\tau=a.P^b$, $a,b=f(S)$) vermektedir. a ve b katsayıları deneysel değerlere bağlı olup dolomit ve kuvars minerali için toplu sonuçlar Tablo 5.3’ de karşılaştırılmaktadır.

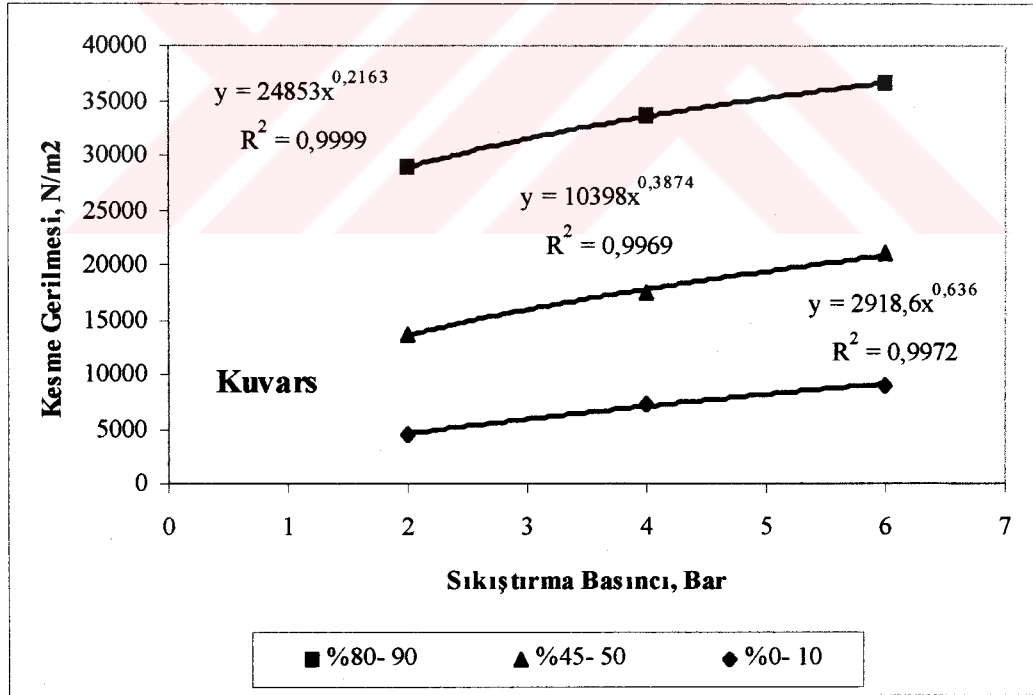
Tablo 5.3. Dolomit ve kuvars minerallerinin kesme gerilmesi, sıkıştırma basıncı ve doygunluk ilişkisi

	Kesme Gerilmesi, N/m ²	
Doygunluk Bölgeleri	Dolomit	Kuvars
1.Bölge 0<S<10	$\tau=1705 P^{0,5426}$	$\tau=2919 P^{0,636}$
2.Bölge 45<S<50	$\tau=7985 P^{0,4618}$	$\tau=10398 P^{0,3874}$
3.Bölge 80<S<90	$\tau=21654 P^{0,2885}$	$\tau=24853 P^{0,2163}$

Sonuçlardan, doygunluk değerinin değişmesi ile ilginç bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Her iki mineral için de a katsayıları doygunluk azalması ile azalmakta, buna karşılık b katsayıları ise tersine doygunluğun azalması ile artmaktadır. İkinci olarak hem a hem de b katsayıları doygunluk değerinin katı olarak değişmektedir. Örneğin dolomit minerali için doygunluk değerinin %80-90 aralığından, %45- 50 aralığına yaklaşık iki katı azalma durumunda a katsayısı %60 azalma gösterirken b katsayısı ise %40 artmaktadır. Doygunluk değeri yine %80- 90 değerinden %0- 10 değerine azaldığında ise doygunluk değerindeki azalma %90 olurken, a değerindeki azalma %90 olmaktadır.



Şekil 5.6. Dolomitin kesme gerilmesi, sıkıştırma basıncı ve doygunluk ilişkisi



Şekil 5.7. Kuvarsın kesme gerilmesi, sıkıştırma basıncı ve doygunluk ilişkisi

Kuvars minerali için de benzer sonuçlar elde edilmektedir. Doygunluk değeri %80-90 aralığından %45- 50 aralığına yaklaşık iki katı azaldığında a katsayısında %60 azalma ve b katsayısında ise %45 artış görülmektedir.

Doygunluğun %80- 90 aralığından %0- 10 aralığına yaklaşık 9 kat azalması ise a katsayısında %90 artışa ve b katsayısında ise %70 azalma ile kendini göstermektedir. Filtre keklerindeki tam bir noktasal doygunluk değerinden bahsetmek çok güçtür. Bu nedenle, değerler arasındaki artış ve azalmalardaki oynamalar tümüyle bir aralık incelemesinin sonucudur.

5.2 Yüzey Aktif Madde Varlığında Yapılan Deneyler: Yüzey Aktif Madde Varlığında Filtrasyon Sonrası Susuzlaştırma İşleminde Uygulanan Sıkıştırma Basıncının Kesme Gerilmesi Üzerine Etkileri

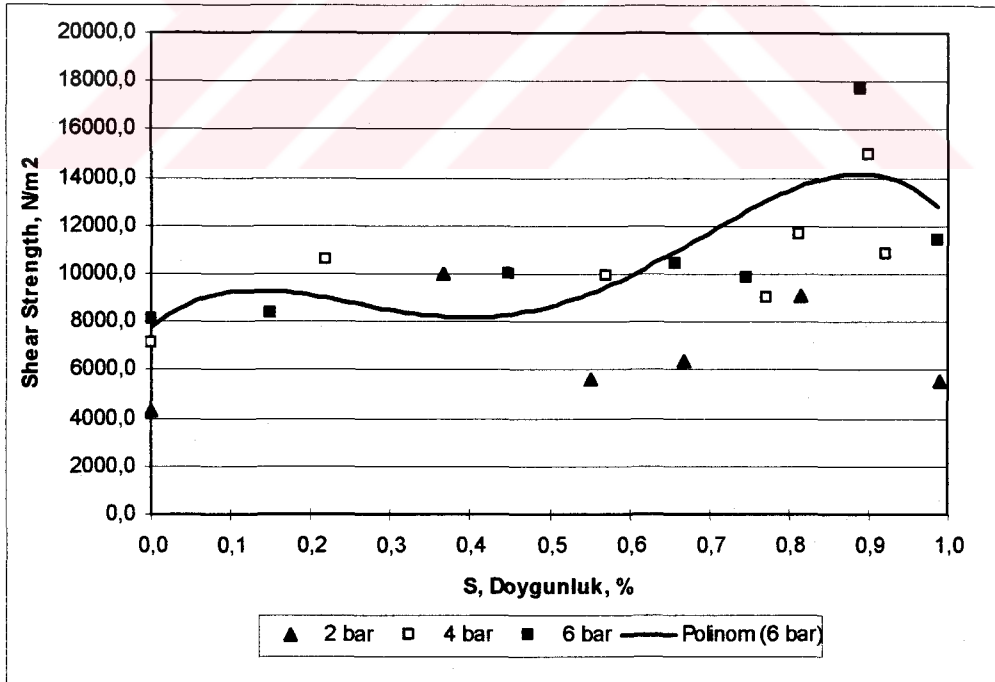
5.2.1 Dolomit ve kuvars mineraline ait sonuçlar

Yüzey aktif maddeli filtrasyon işleminin ardından uygulanan susuzlaştırma işlemi sırasında sıkıştırma basıncındaki değişimin yarattığı etkiyi inceleyebilmek için dolomit ve kuvars minerallerinin kullanılması ile 2, 4 ve 6 bar sabit basınçlarda sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Bu grup deneylerde de süspansiyon yoğunluğu $C_v = \%20$ olacak şekilde ve 500g reaktif/ ton konsantrasyonunda noniyonik yüzey aktif madde kullanılarak filtrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu keklerin kesme gerilmeleri ölçülmüştür. Yüzey aktif madde ilavesinin dolomit ve kuvars mineralinin kesme gerilmesi üzerine etkileri Tablo 5.4 ile sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9' de verilmektedir.

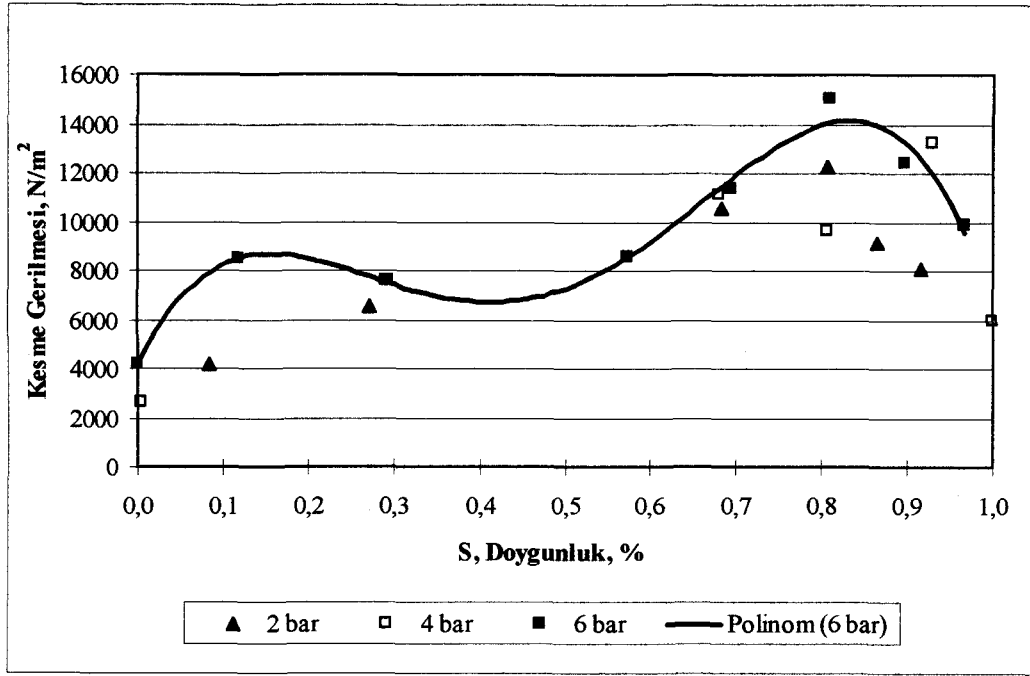
Yüzey aktif madde ilaveli filtrasyon işleminin uygulanması durumunda yüzey aktif maddesiz ortamda olduğu gibi sıkıştırma basıncının artması ile kesme gerilmesi artmaktadır. Her iki mineral için sıkıştırma basıncının artırılması tüm doygunluk değerlerinde kesme gerilmesini artırmıştır. Hem dolomit ve hem de kuvars için yine dördüncü dereceden tanımlanan bir polinom ile ifade edilebilen ve üç bölgeye ayrılabilen bir eğri elde edilmektedir. Birinci bölge kesme gerilmesinin maksimum değerlerinde olduğu kapiler bölge olup, dolomit için %85 doygunluğa, kuvars için ise %80 doygunluk değerlerinde karşılık maksimum kesme gerilmesi elde edilmektedir. İkinci bölge, doygunluğun %40- 50 civarında olduğu bölgedir ve bir minimum görülen geçiş bölgesidir. Üçüncü bölge olan köprüleşme bölgesinde ise %15-20 aralığında ikinci bir maksimum görülmektedir. Her iki mineral arasında yüzey aktif madde ilavesiz filtrasyon işleminin sonuçlarına benzer olarak kuvars mineralinde dolomit mineraline göre çok daha belirgin bir maksimum görülmektedir.

Tablo 5.4. Yüzey aktif madde varlığında filtrasyon sonrası susuzlaştırma işleminde uygulanan sıkıştırma basıncının kesme gerilmesi üzerine etkileri

	Kesme Gerilmesi, N/m ²					
Doygunluk %	Dolomit			Kuvars		
	2 bar	4 bar	6 bar	2 bar	4 bar	6 bar
0-10	4000	7200	8000	2800	3000	4000
10- 30	7330	10100	8100	4000	7200	8200
30- 50	6000	9000	10000	6250	6800	7000
50- 65	5800	10000	10110	8000	8300	8500
70- 80	8100	11800	14000	10500	10800	11000
80- 90	9000	15000	17900	12000	13000	15000
90- 100	5800	11000	11900	8000	6000	10000



Şekil 5.8. Dolomitin 500 g/ton noniyonik yüzey aktif madde varlığında kesme gerilmesinin çeşitli basınçlarda doygunluk ile değişimi



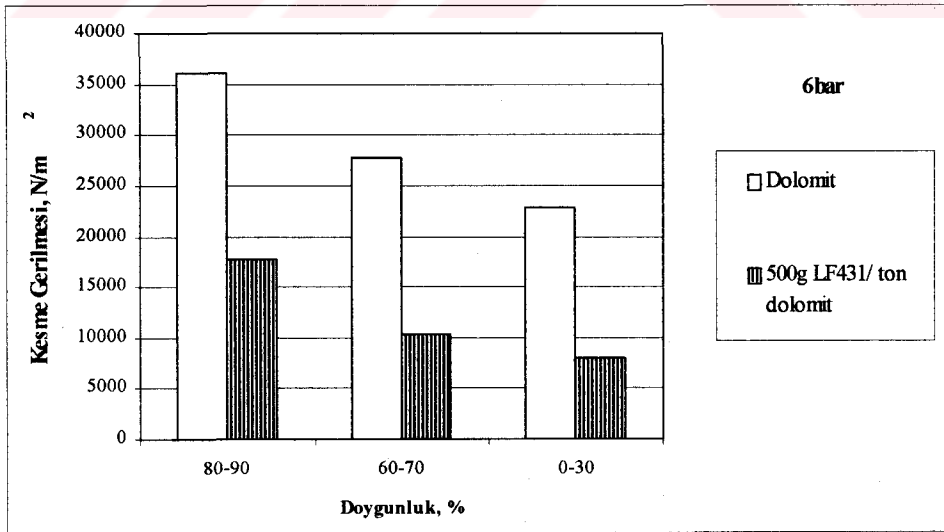
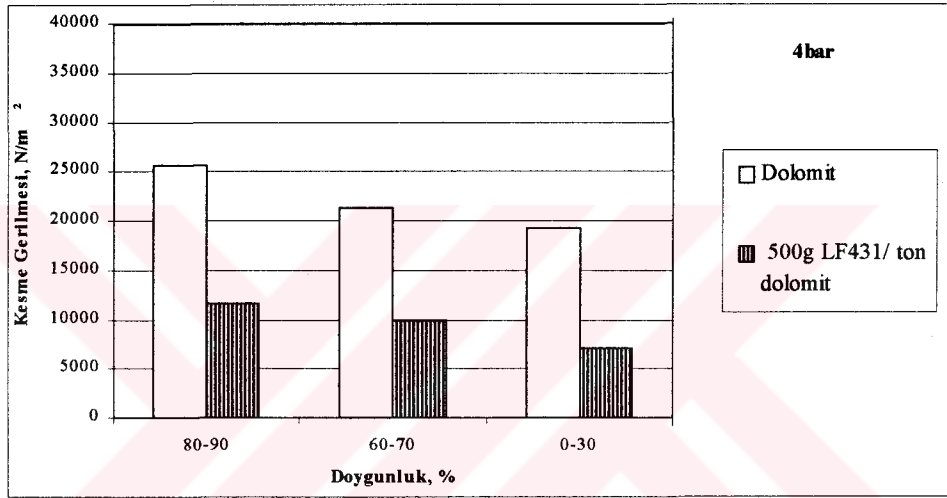
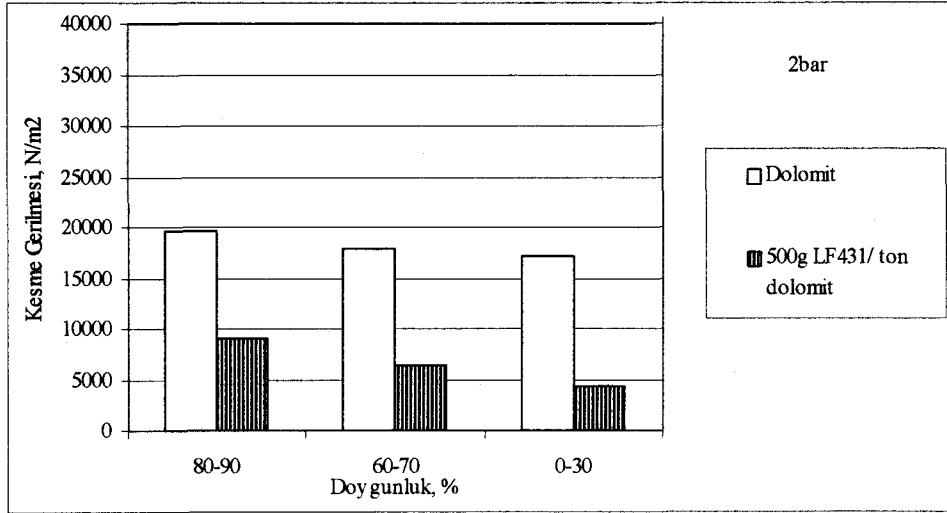
Şekil 5.9. Kuvarsın 500 g/ton noniyonik yüzey aktif madde varlığında kesme gerilmesinin çeşitli basınçlarda doygunluk ile değişimi

5.2.2 Yüzey aktif madde ilaveli ve ilavesiz sonuçların karşılaştırılması

Dolomit mineralinin yüzey aktif madde ilavesiz filtrasyonu sonrasında elde edilen filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçümlerine ait Bölüm 4.2.2.1 içinde verilen sonuçlar ile Bölüm 4.3.1 içinde verilen 500 g/ ton konsantrasyonda noniyonik yüzey aktif madde ilaveli filtrasyon sonrası elde edilen filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçüm değerleri Tablo 5.5’ de ve Şekil 5.10’ de karşılaştırılmaktadır.

Tablo 5.5. Dolomit mineralinin saf ve 500 g/ton noniyonik yüzey aktif madde katkılı kesme gerilmesi ve susuzlaştırma basıncı değişimi.

	Dolomitin Kesme Gerilmesi, N/m ²								
Doygunluk %	2 bar			4 bar			6 bar		
	τ_{Saf}	τ_{YAM}	$\frac{\tau_{Saf}}{\tau_{YAM}}$	Saf	YAM	$\frac{\tau_{Saf}}{\tau_{YAM}}$	Saf	YAM	$\frac{\tau_{Saf}}{\tau_{YAM}}$
0- 30	17202	4327	3,97	19343	7140	2,7	22858	8085	2,82
60-70	17989	6376	2,82	21298	9876	2,15	27758	10408	2,66
80- 90	19661	9063	2,16	25670	11548	2,22	36170	17670	2,04



Şekil 5.10. Dolomit mineralinin yüzey aktif madde ilavesiz ve 500 g/ ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli 2, 4 ve 6 bar sıkıştırma basınçlarındaki kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi

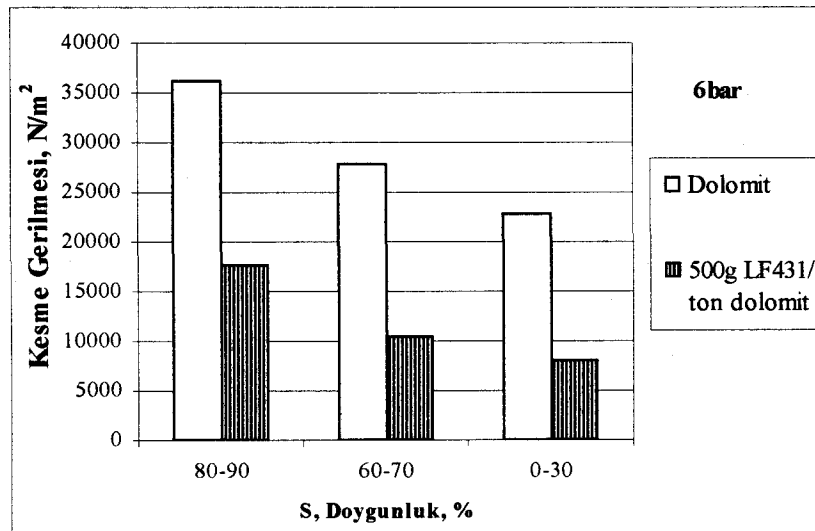
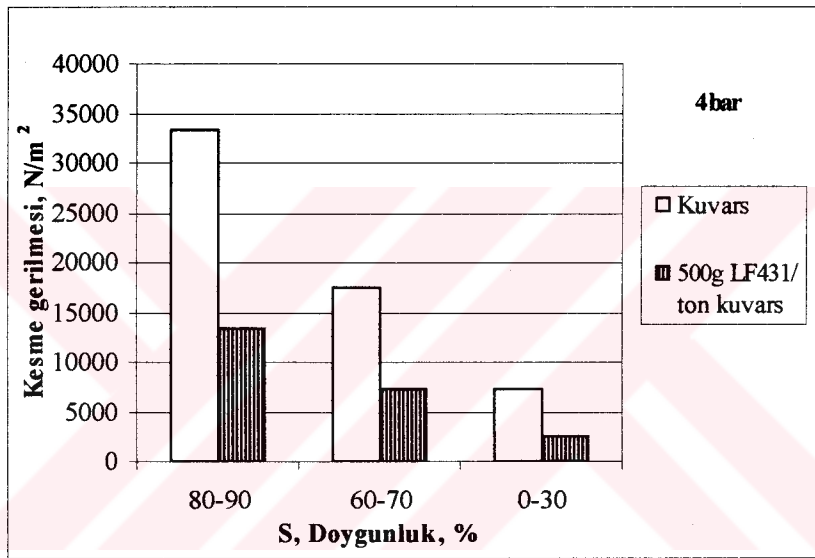
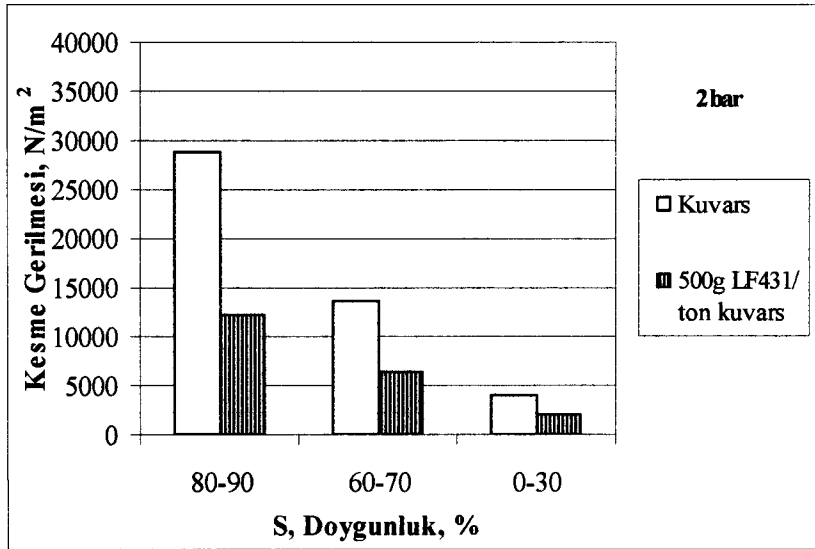
Üç farklı sıkıştırma basıncında, yüzey aktif madde ilavesinin kesme gerilmesi üzerindeki etkisini daha net olarak gösteren bu grafiklerden, yüzey aktif madde ilavesinin kesme gerilmesini düşürücü yönde çok ciddi etkisinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Noniyonik yüzey aktif madde ilavesi ile kesme gerilmesinde her üç sıkıştırma basıncında da azalma görülmektedir. Örneğin, doygunluğun %80- 90 olduğu bölgede kesme gerilmesinde %52' lik bir azalma görülürken, doygunluğun %0- 30 arasında olduğu bölgede ise %70 oranında önemli bir düşüş göstermektedir.

Kuvars mineralinin yüzey aktif madde ilavesiz filtre keklerinin kesme gerilmesi sonuçları ile 500 g/ ton konsantrasyonda noniyonik yüzey aktif madde ilaveli filtre keklerinin kesme gerilmesi sonuçları Tablo 5.6 ve Şekil 5.11' de verilmektedir. Kuvars mineraline ait sonuçlara bakıldığında, dolomit minerali için elde edilen sonuçlar ile benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Tüm sıkıştırma basınçlarında filtre keklerinin kesme gerilmesinde yüzey aktif madde ilavesiz filtre keklerine ait sonuçlara göre en az %50 ile en çok %70' lik bir azalma görülmektedir.

Tablo 5.6. Kuvars mineralinin saf ve 500 g/ ton noniyonik yüzey aktif madde katkılı kesme gerilmesi ve susuzlaştırma basıncı değişimi

	Kuvarsın Kesme Gerilmesi, N/m²								
Doygunluk %	2 bar			4 bar			6 bar		
	τ_{Saf}	τ_{YAM}	$\frac{\tau_{saf}}{\tau_{YAM}}$	Saf	YAM	$\frac{\tau_{saf}}{\tau_{YAM}}$	Saf	YAM	$\frac{\tau_{saf}}{\tau_{YAM}}$
0- 30	4000	1980	2,02	7230	2588	2,79	14400	4100	3,51
60-70	13670	6500	2,10	17547	7300	2,40	22588	8532	2,64
80- 90	28856	12280	2,34	33400	13244	2,52	36582	15000	2,43

Elde edilen kesme gerilmesi sonuçları her iki mineral tipi açısından karşılaştırıldığında çok önemli bir sonuç ile karşılaşılmaktadır; dolomit ve kuvars minerallerinin 500 g/ton konsantrasyonda noniyonik yüzey aktif madde katkılı filtre keklerinin kesme gerilmesi değerleri arasında büyük bir fark görülmemektedir. Yani yüzey aktif madde ilavesi durumunda şekil faktörünün (mineral tipi) kesme gerilmesi üzerine etkisi hemen hemen ortadan kalkmaktadır.



Şekil 5.11. Kuvars mineralinin yüzey aktif madde ilavesiz ve 500 g/ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli 2, 4 ve 6 bar sıkıştırma basınçlarındaki kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi

Yüzey gerilimi, tane boyutu, basınç ve doygunluk değerleri yaklaşık olarak aynı olan iki farklı tip mineral aynı kesme gerilmesi değerine sahiptirler. Örneğin; Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 incelendiğinde, $S = 80-90$ ve $P = 6$ bar' da $\tau_{\text{dolomit}} = 17670 \text{ N/m}^2$ iken $\tau_{\text{kuvars}} = 15000 \text{ N/m}^2$ dir. γ ' nın 72 dyn/cm ' den $29-30 \text{ dyn/cm}$ ' ye düşmesiyle yaklaşık olarak, her iki mineral içinde $\tau_{\text{Saf}} = 36000 \text{ N/m}^2$ den $\tau_{\text{YAM}} = 16000 \text{ N/m}^2$ düşmüştür. O halde;

$$\tau \propto \gamma \Rightarrow \tau = A \cdot \gamma \text{ ve } A = f(S, P) \text{ yazılabilir.}$$

5.3 Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonunun Kesme Gerilmesi Üzerine Etkisi

5.3.1 Noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesi ve doygunluk üzerine etkileri

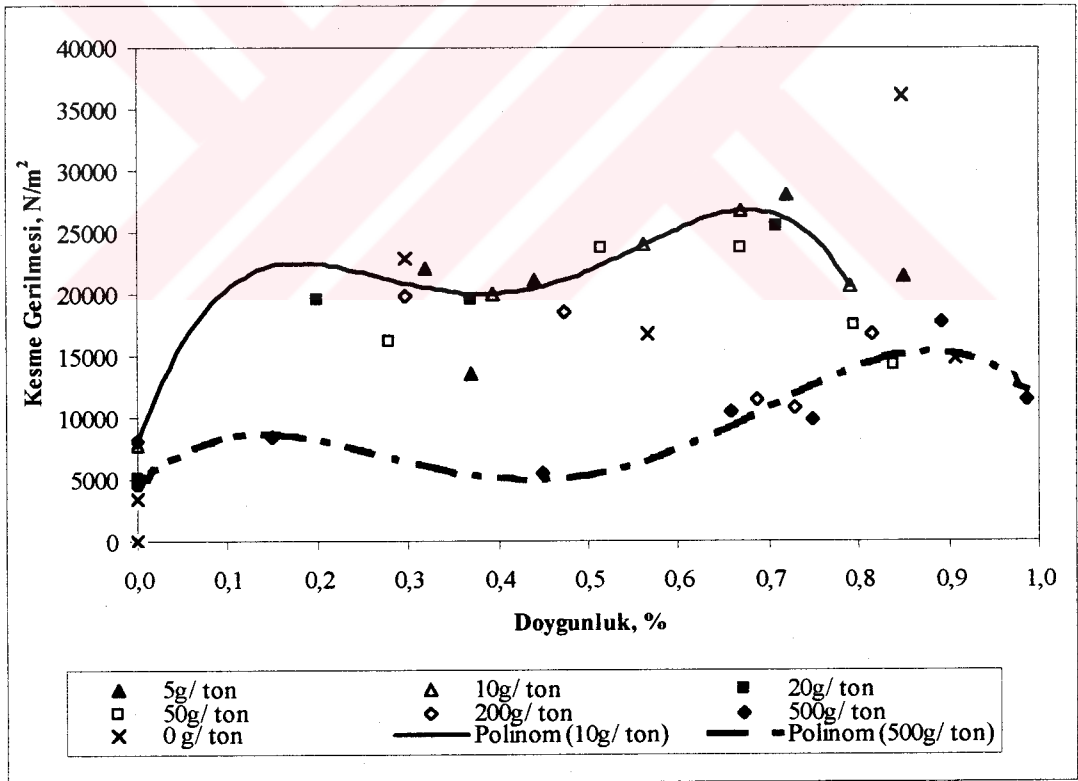
Dolomit ve kuvars mineralinin filtrasyon aşamasında ortama ilave edilen yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesine etkilerini görebilmek için yapılan deneylerde filtrasyonda en iyi sonuçları veren reaktif olduğundan noniyonik yüzey aktif madde kullanılmıştır. 0, 5, 10, 20, 50, 200 ve 500 g/ton katı konsantrasyonlarında noniyonik yüzey aktif madde ilaveli filtrasyon 2 bar sabit basınçta gerçekleştirilmiş olup arkasından 6 bar sabit basınçta 20 dakika süre ile susuzlaştırma işlemi uygulanmıştır. Havada kurutma ile belirli doygunluk değerlerine ulaşan filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçümleri yapılmıştır. Dolomit mineraline ait kesme gerilmesi değerleri Tablo 5.7' de ve Şekil 5.12 ile Şekil 5.13' de grafik olarak verilmiştir.

Dolomit minerali için Şekil 5.12 ve Şekil 5.13' den şu sonuçları çıkarmak mümkündür:

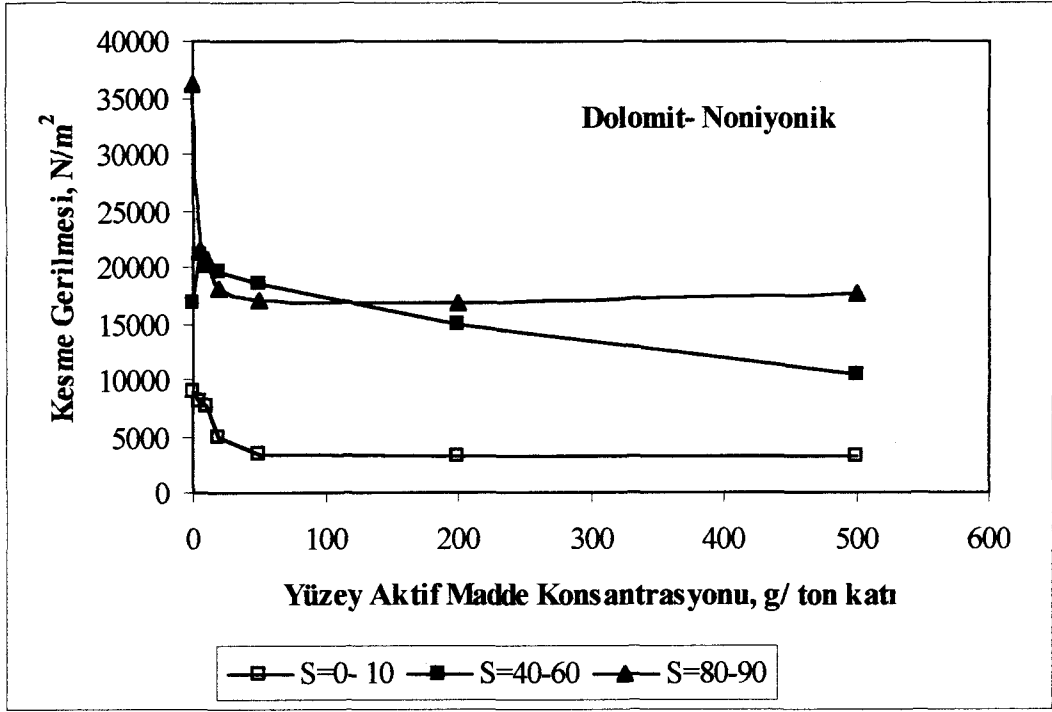
1. Tüm doygunluk değerlerinde, yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile kesme gerilmesinde azalma görülmektedir.
2. Kesme gerilmesi- doygunluk değişimini ifade eden eğriler her konsantrasyon için Schubert Diyagramına benzerlik göstererek dördüncü dereceden bir polinom ile ifade edilebilmektedir.

Tablo 5.7. Dolomit filtre kekinin noniyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri

	Dolomitin Kesme Gerilmesi, N/m ²						
Doygunluk %	Noniyonik Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonu, g/ ton						
	0	5	10	20	50	200	500
0-10	9000	8085	7729	5000	3311	4800	3100
20-40	22500	22095	21000	19510	16146	19765	8341
40-60	16800	21149	20029	19500	18500	18609	10409
60-70	30000	28000	26747	21600	23759	11494	9868
80- 90	36170	21397	20624	25494	14257	16720	17671



Şekil 5.12. Dolomit mineraline ait filtre keklerinin noniyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri



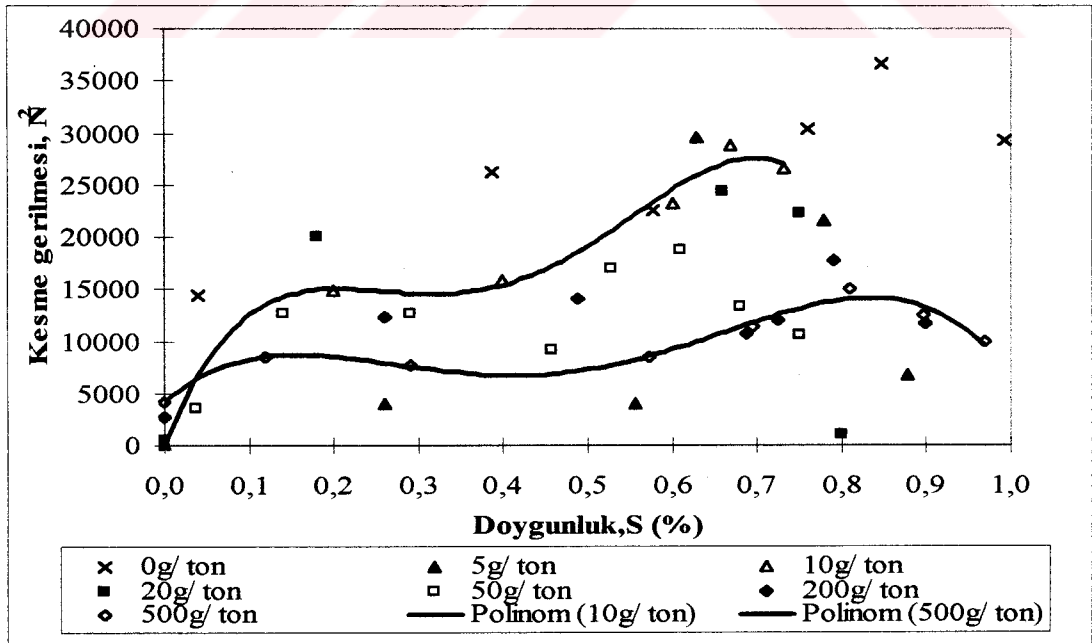
Şekil 5.13. Dolomitin kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

- Yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak iki farklı bölge görülmektedir. Birinci bölge düşük yüzey aktif madde konsantrasyonlarını içerirken ikinci bölge ise yüzey aktif madde konsantrasyonunun kritik miselle konsantrasyonunun üstünde olduğu yani 75 g/ton katı' dan yüksek olan bölgedir. Yüzey aktif madde konsantrasyonunun azalması ile Schubert diyagramında maksimum kesme değerlerine karşılık gelen kesme gerilmesi değerleri %80- 90 doygunluk değerleri aralığından %60- 70 aralığına kaymaktadır. Benzer şekilde minimum kesme gerilmesi değerlerine karşılık gelen % 60-70 aralığı da benzer şekilde %45- 60 doygunluk aralığına kaymaktadır. Bu değişimin en önemli nedenlerinden biri yüzey aktif madde konsantrasyonunun kritik misel konsantrasyonunu geçmesi ve böylece mineral taneleri arasında misellerin oluşmasıdır. Oluşan misellerin taneler arasındaki suyun yerini alarak boşluktaki suyu dışarı itmesiyle kapiler basıncın düşmesi ve böylece mukavemetin hızla azalması ortamdaki mekanizma olarak açıklanabilir. 75 g/ton katı konsantrasyondan daha fazla reaktif kullanmak çok anlamlı değildir, zira kesme gerilmesi sabit kalmaktadır.

Kuars mineralinin aynı koşullarda hazırlanan filtre keklerinin kesme gerilmesinin doygunluk değerleri ile değişimi, yüzey aktif madde konsantrasyonunun 0, 5, 10, 20, 50, 200 ve 500 g/ton katı olması durumunda Tablo 5.8’ de ve Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’ de gösterildiği gibidir.

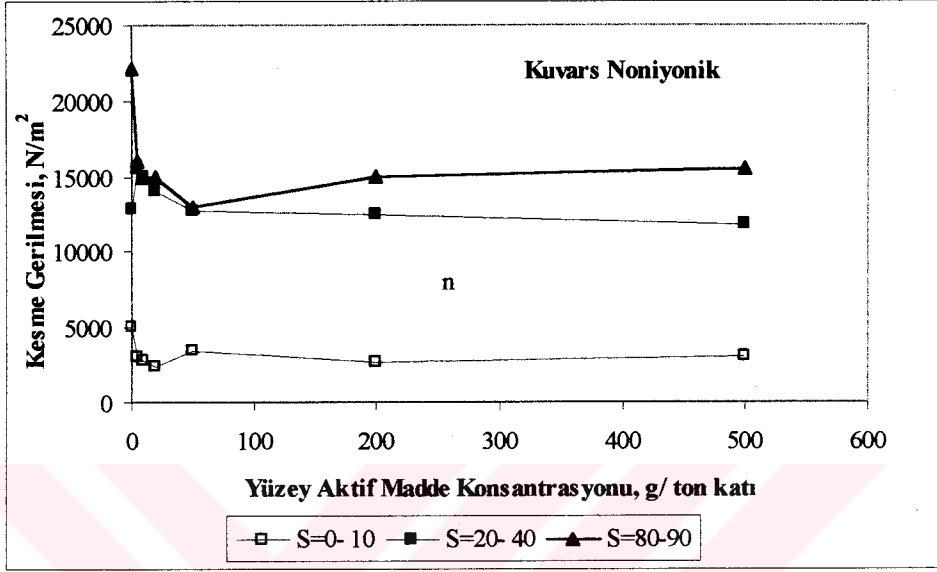
Tablo 5.8. Kuvars filtre kekinin noniyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri

	Kuvarsın Kesme Gerilmesi, N/m ²						
Doygunluk %	Noniyonik Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonu, g/ ton						
	0	5	10	20	50	200	500
0-10	9000	3085	2729	2400	3449	2645	3100
20-40	20000	15500	15000	20000	12688	12377	11717
40-60	22588	21500	16500	14058	19065	14058	14058
60-70	30436	30000	28776	24500	18746	11372	10000
80- 90	36582	6000	15000	17714	13000	15000	15500



Şekil 5.14. Kuvars mineraline ait filtre keklerinin noniyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15' e bakıldığında, dolomit mineraline benzer sonuçlar elde edilmektedir. Yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile filtre keklerinin kesme gerilmesi azalmaktadır. Kekler kurumakta olup, maksimum doygunluk %80- 90' a çıkamamaktadır. Maksimum kesme gerilmesi değerlerine %70' lere zor ulaşılmaktadır



Şekil 5.15. Kuvarsın kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Deneysel gözlemlerden kuvars mineralinde, dolomit mineralinden çok daha fazla dikkat çeken bir nokta ise dışarıdan gelen en küçük bir etkinin sonunda filtre keklerinin çok daha hızlı olarak şeklini kaybedebilmesi ve filtre keki şebekesinde tuttuğu suyu hızla bırakmasıdır. Kuvars mineralinde çok daha belirgin olan bu durum başlangıçta tümüyle partikül şekli ile ilgili olduğu ve kısmen partikül boyutunun küçük olması ile açıklanırken, ortamda bulunan yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile etkinin daha da arttığı saptanmıştır.

Bunun nedeni, partikül yüzeyinde yüzey aktif maddelerin ince bir film oluşturacak şekilde adsorplanarak yüzeyin daha kaygan hale gelmesi ve yüzey aktif maddenin ortamı yağlayıcı (lubricating) gibi davranmasıdır. Bunun sonucu olarak da, partiküller birbiri üzerinden kaymakta ve filtre kekinin şekli bozularak, yüksekliği hızla azalmakta ve yana doğru yayvanlaşmaktadır. Bu nedenle filtre keklerinin doygunluğun $S=1$ ' e yaklaştığı durumlarda kesme gerilmesi ölçümlerini yapmak mümkün olamamaktadır. Çünkü kek, filtre hücresinden yada kurutma plakasından ele alınamamaktadır.

Bu durum yüzey aktif madde konsantrasyonunun 75 g/ton değerinden itibaren meydana gelmektedir ve bu konsantrasyon da zaten kritik misella konsantrasyonudur.

5.3.2 Anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesi ve doygunluk üzerine etkileri

Dolomit ve kuvars mineral süspansiyonları, 2 bar sabit basınçta anyonik yüzey aktif maddeli filtrasyon işlemine ve arkasından 6 bar sabit basınçta susuzlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Anyonik yüzey aktif maddelerin 0, 5, 10, 20, 50, 200, 500 g reaktif/ ton katı konsantrasyonlarında kesme gerilmesi değerlerinin doygunluk ve yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi dolomit minerali için Tablo 5.9 ve Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’ de verilmiştir.

Tablo 5.9. Dolomit filtre keklerinin anyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk ilişkisi

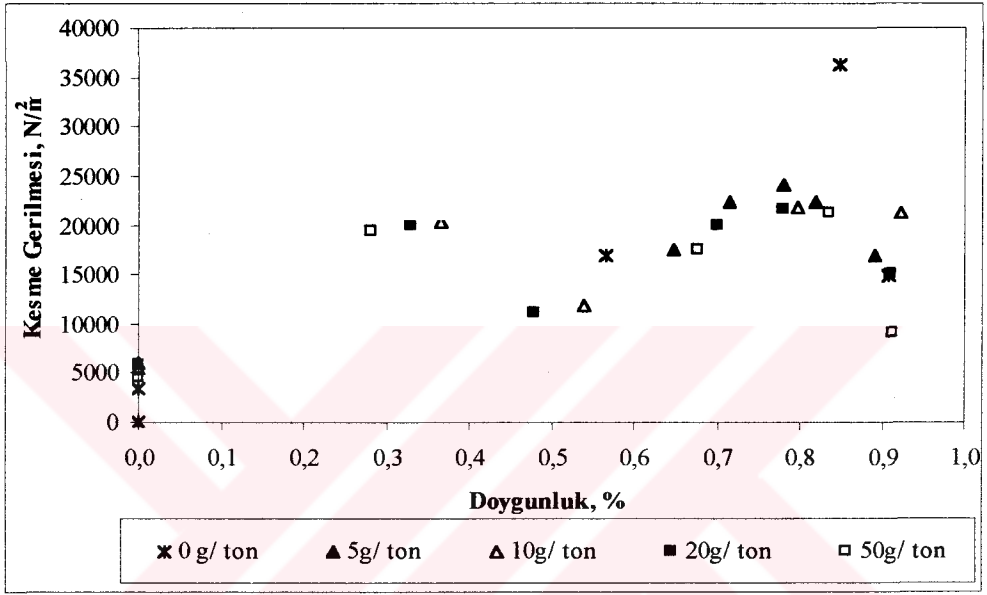
	Dolomitin Kesme Gerilmesi, N/m ²				
Doygunluk %	Anyonik Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonu, g/ ton				
	0	5	10	20	50
0-10	9000	5969	5450	5750	4461
20-40	22500	22119	20253	20000	19404
40-60	16800	12400	11812	14058	14000
60-70	30000	17516	17000	21556	17516
80- 90	36170	24000	21718	15000	21267

Bu grafiklerden, anyonik yüzey aktif maddenin dolomit mineralinin kesme gerilmesine etkisi kısaca aşağıdaki gibidir;

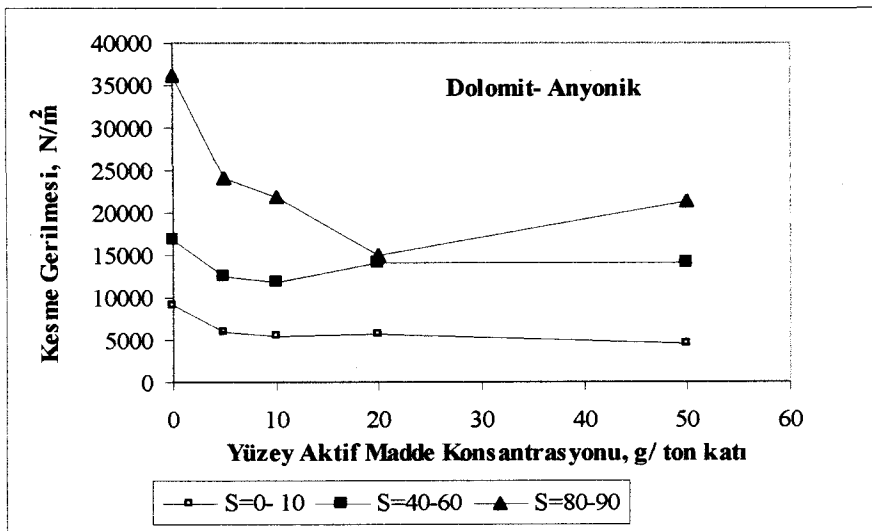
1. Tüm doygunluk değerlerinde yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile kesme gerilmesi azalmaktadır. Reaktifin yalnızca 5 g/ton katı konsantrasyonu ile kesme gerilmesi hızla düşmekte ve bu miktarın üzerinde ise sabit kalmaktadır. Buradan anyonik yüzey aktif maddenin çok düşük

konsantrasyonlarda bile etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu tümüyle, yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile kapiler basıncın azalmasına sebep olmasının doğal sonucudur.

2. Schubert diyagramından farklı olarak köprüleşme bölgesinde yani doygunluğun $S = \%20-40$ arasında olduğu bölgede kesme gerilmesi değerleri doygunluğun $S = \%70-90$ arasında olduğu kapiler bölgedeki maksimum değerlere oldukça yaklaşılmaktadır.



Şekil 5.16. Dolomit filtre keklerinin anyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk ilişkisi



Şekil 5.17. Dolomitin kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

3. Doygunluğun $S = \%45- 55$ arasında olduğu geçiş bölgesinde keskin bir minimum değeri gözlenmektedir.

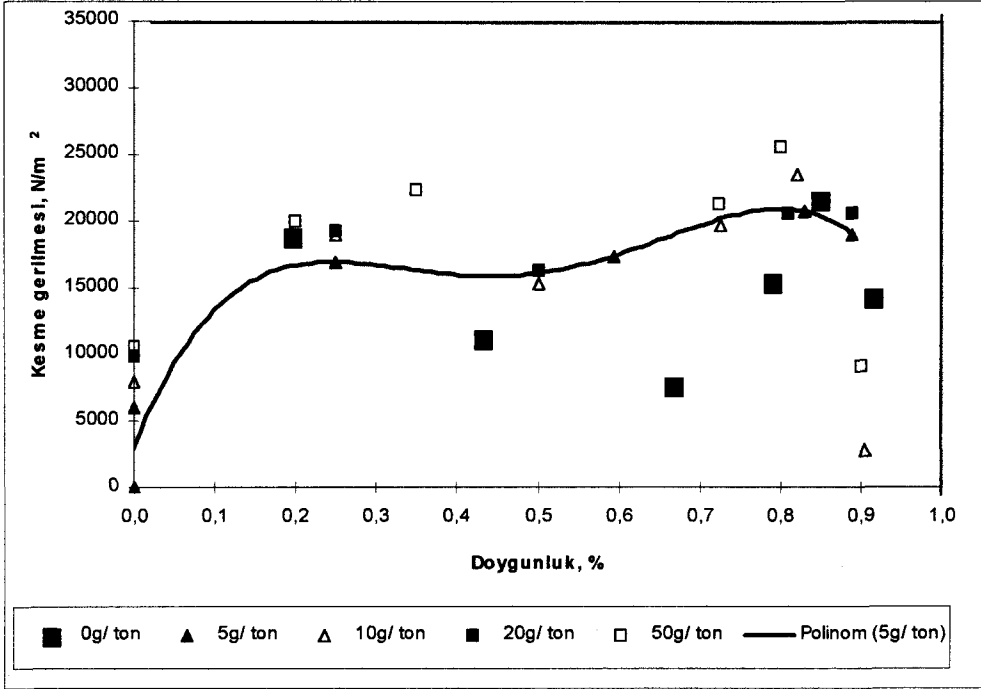
Kuars mineralinin anyonik yüzey aktif madde miktarının 0, 5, 10, 20, 50 g/ton konsantrasyonlarda kullanımı ile benzer şekilde hazırlanan süspansiyonlardan belirli doygunluk değerlerindeki değişimlere karşılık elde edilen kesme gerilmesi değerleri Tablo 5.10 ve şekil 5.18 ve şekil 5.19’ da verilmiştir.

Kuars mineralinin anyonik yüzey aktif madde varlığında dolomit mineralinden farklı olarak aşağıdaki davranımları göstermektedir;

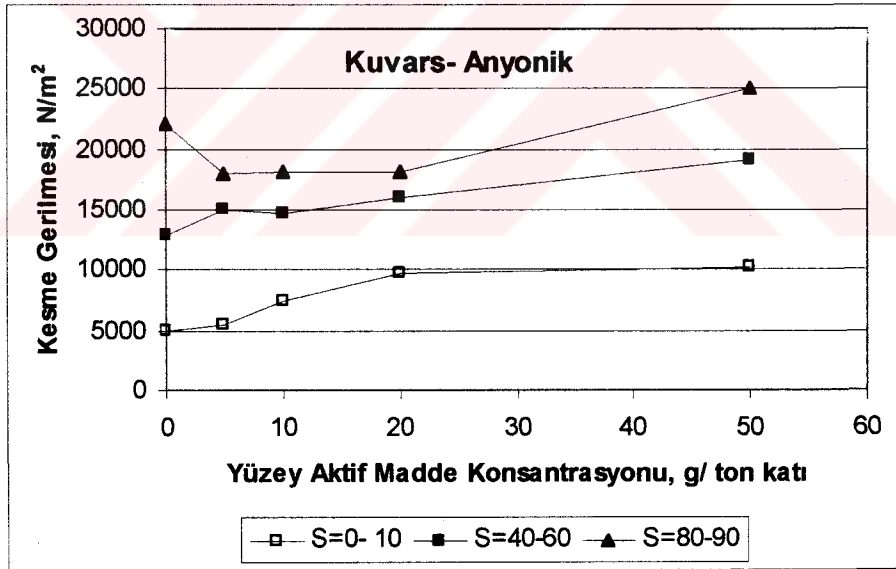
1. Anyonik yüzey aktif madde ilavesi tüm doygunluk değerlerinde kesme gerilmesini arttırmaktadır. Bu özellikle yığınların depolanmasında çok önemlidir ve ilginç bir sonuçtur.
2. Kesme gerilmesinin doygunlukla değişimi yine Schubert diyagramına benzer olarak dördüncü dereceden bir polinom ile ifade edilebilmektedir

Tablo 5.10. Kuars filtre keklerinin anyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri

	Kuarsın Kesme Gerilmesi, N/m^2				
Doygunluk %	Anyonik Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonu, g/ ton				
	0	5	10	20	50
0-10	5000	5500	7500	9800	10300
20-40	18500	16000	17000	18000	18700
40-60	12800	15000	14700	16000	19200
60-70	6000	15600	18700	17100	20000
80- 90	22100	18000	22500	18200	25000



Şekil 5.18. Kuvarts filtre keklerinin anyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi



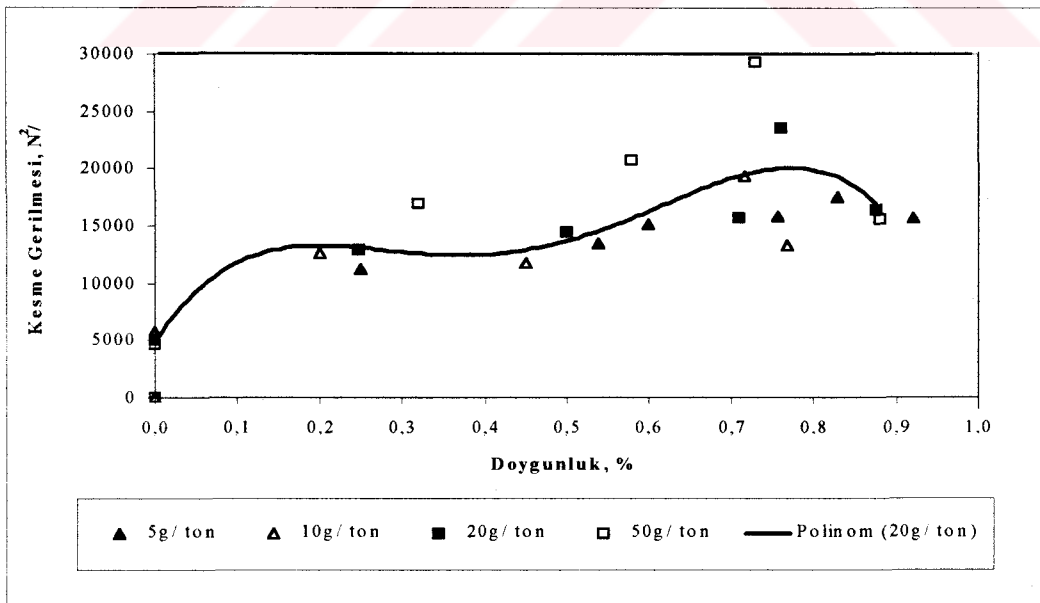
Şekil 5.19. Kuvartsın kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde anyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

5.3.3 Katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonunun kesme gerilmesi ve doygunluk üzerine etkileri

Dolomit ve kuvars minerallerinin katyonik yüzey aktif madde kullanılarak kesme gerilmeleri ve doygunluk ilişkisi incelenmiştir. Katyonik yüzey aktif maddenin 5, 10, 20, 50 g/ ton katı miktarlarında dolomite ait kesme gerilmesi değerleri Tablo 5.11 ve Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’ de gösterilmektedir.

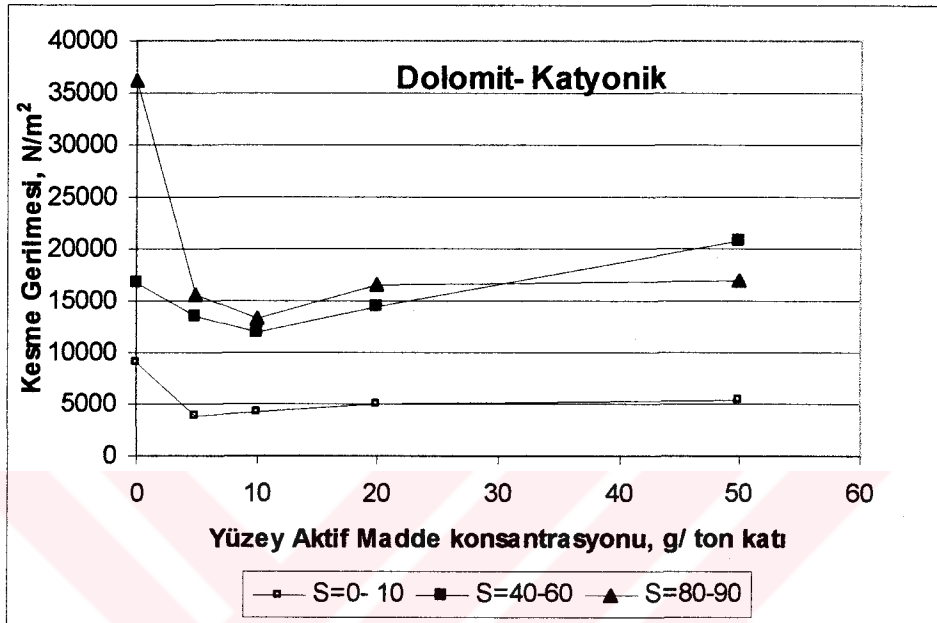
Tablo 5.11. Dolomit filtre keklerinin katyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri

	Dolomitin Kesme Gerilmesi, N/m ²				
Doygunluk %	Katyonik Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonu, g/ ton				
	0	5	10	20	50
0-10	9000	3800	4200	5000	5300
20-40	22500	11200	12562	14300	16964
40-60	16800	13407	11840	14497	20739
60-70	30000	17591	19385	23560	29361
80- 90	36170	15639	13266	16456	15501



Şekil. 5.20. Dolomit filtre keklerinin katyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’ den katyonik yüzey aktif madde miktarının dolomit filtre keki üzerinde yaptığı gözlenen en büyük etki 5 g/ton katı konsantrasyona kadar kesme gerilmesini düşürmesidir. Bu konsantrasyonun üzerinde ise kesme gerilmesini arttırmaktadır. Bu durum özellikle yüzey aktif madde ile temasta olan minerallerin sevk, nakliyat ve depolama işlemlerinde oldukça önemli bir noktadır.

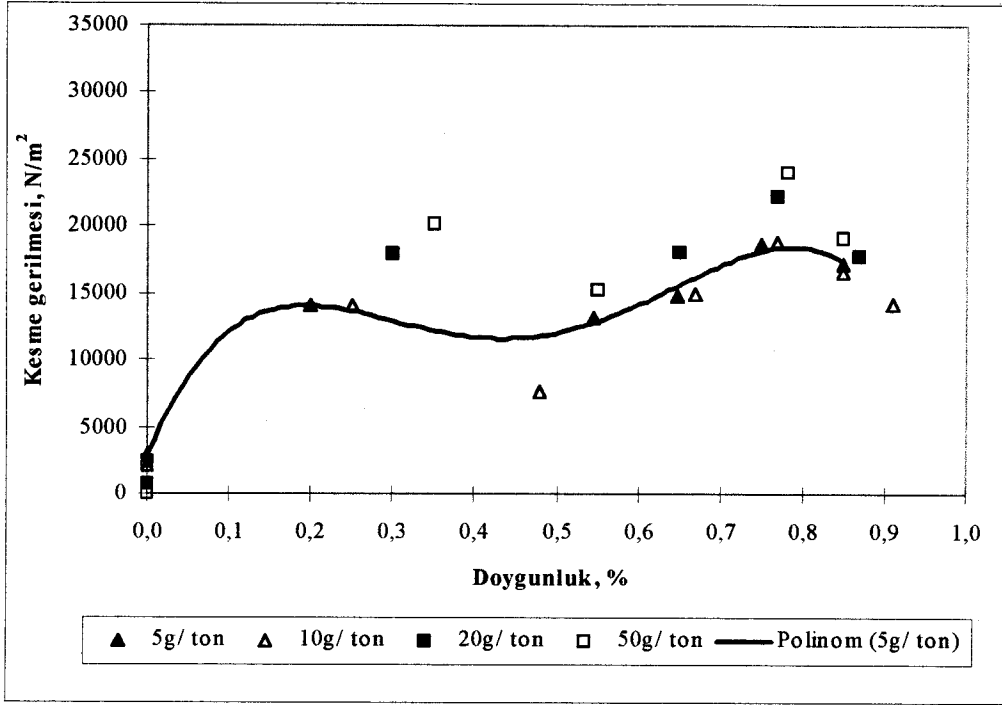


Şekil 5.21. Dolomitin kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Kuvars mineralinden hazırlanan filtre keklerinin kesme gerilmesi ve doygunluk ilişkisi 5, 10, 20, 50 g/ton katı konsantrasyonunda katyonik yüzey aktif madde kullanımında Tablo 5.12 ve Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’ de verilmiştir.

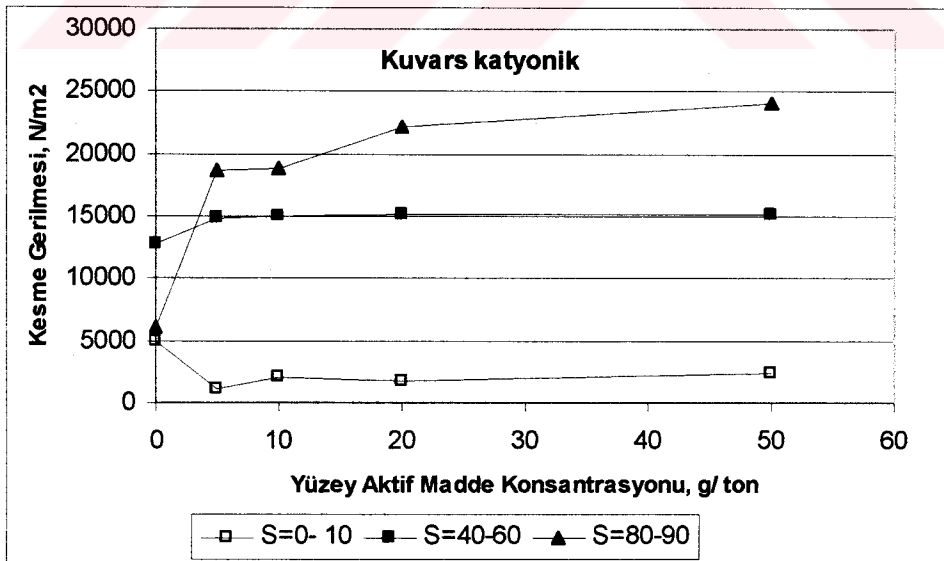
Tablo 5.12. Kuvars filtre keklerinin katyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk değerleri

	Kuvarsın Kesme Gerilmesi, N/m ²				
Doygunluk %	Katyonik Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonu, g/ ton				
	0	5	10	20	50
0-10	5000	1100	2104	1817	2391
20-40	18500	14000	14403	18000	20213
40-60	12800	14870	14924	15152	15189
60-80	6000	18632	18900	22232	24061



Şekil 5.22. Kuvars filtre keklerinin katyonik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi

Şekil 22' den görüldüğü gibi katyonik yüzey aktif madde kullanıldığında elde edilen kesme gerilmesi- doygunluk değişimi de genel olarak Schubert Diyagramına benzer olarak dördüncü dereceden bir polinomdur.



Şekil 5.23. Kuvarsın kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde katyonik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

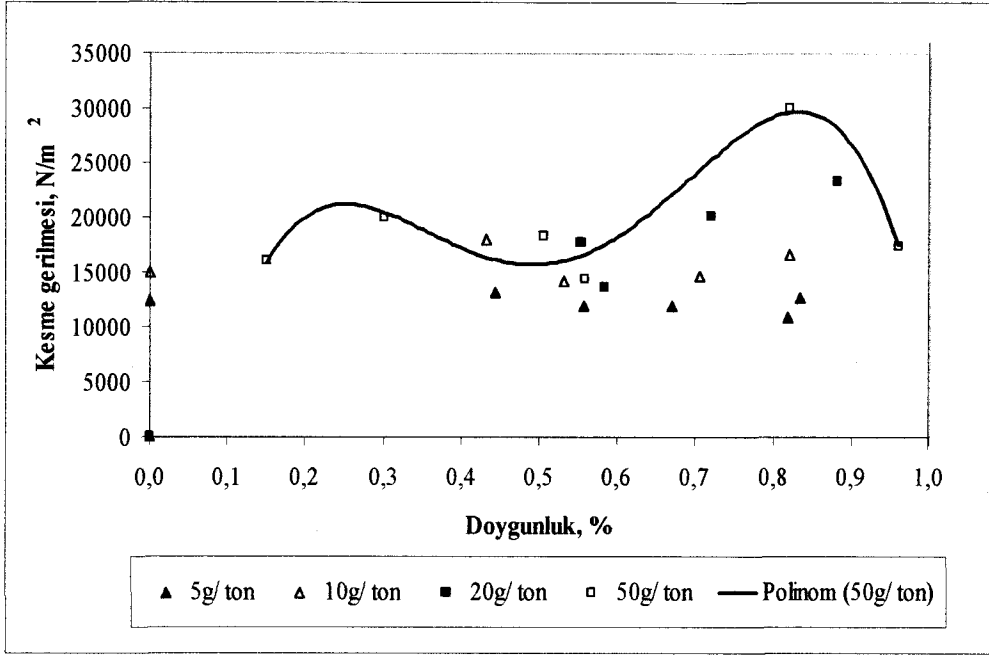
Katyonik yüzey aktif madde miktarının kuvars minerali üzerine yaptığı etkinin dolomit minerali ile aynı olduğu görülmektedir. Kuvars minerali için de katyonik yüzey aktif madde miktarının artması kesme gerilmesi değerini arttırmaktadır.

5.3.4 Amfoterik Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonunun Kesme Gerilmesi ve Doygunluk Üzerine Etkileri

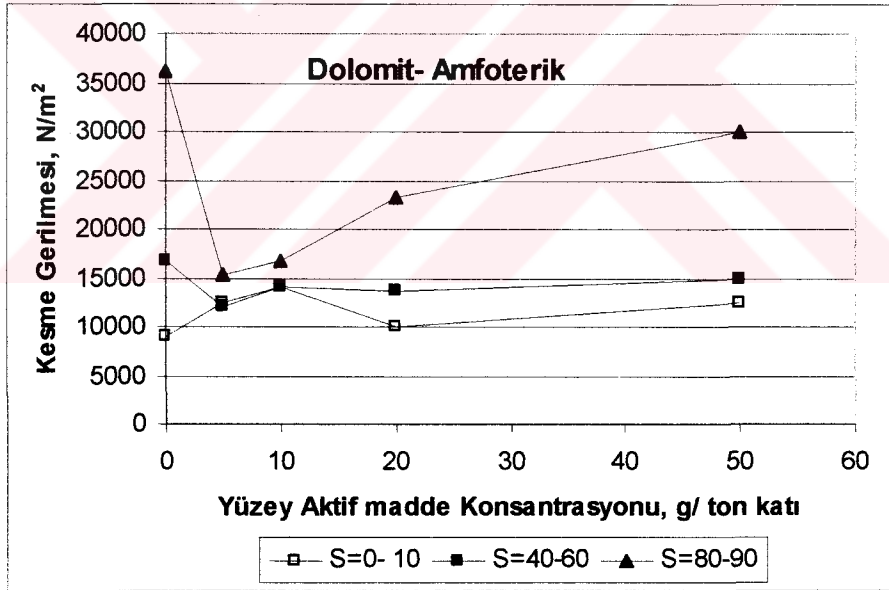
Dolomit ve kuvars minerallerinin $C_v = \%20$ olacak şekilde hazırlanan süspansiyonlarının amfoterik yüzey aktif madde varlığında kesme gerilmeleri ve doymuluk ilişkisi incelenmiştir. Dolomit mineraline ait sonuçlar Tablo 5.13 ve Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’ de verilmektedir.

Tablo 5.13. Dolomit filtre keklerinin amfoterik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doymuluk ilişkisi

	Dolomitin Kesme Gerilmesi, N/m^2				
Doygunluk %	Amfoterik Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonu, g/ ton				
	0	5	10	20	50
0-10	9000	12366	14000	10000	12500
20-40	22500	13126	18051	16000	20000
40-60	16800	11986	14168	13705	15000
60-70	30000	10898	14704	20177	22000
80- 90	36170	15330	16633	23297	30000



Şekil 5.24. Dolomit filtre keklerinin amfoterik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi



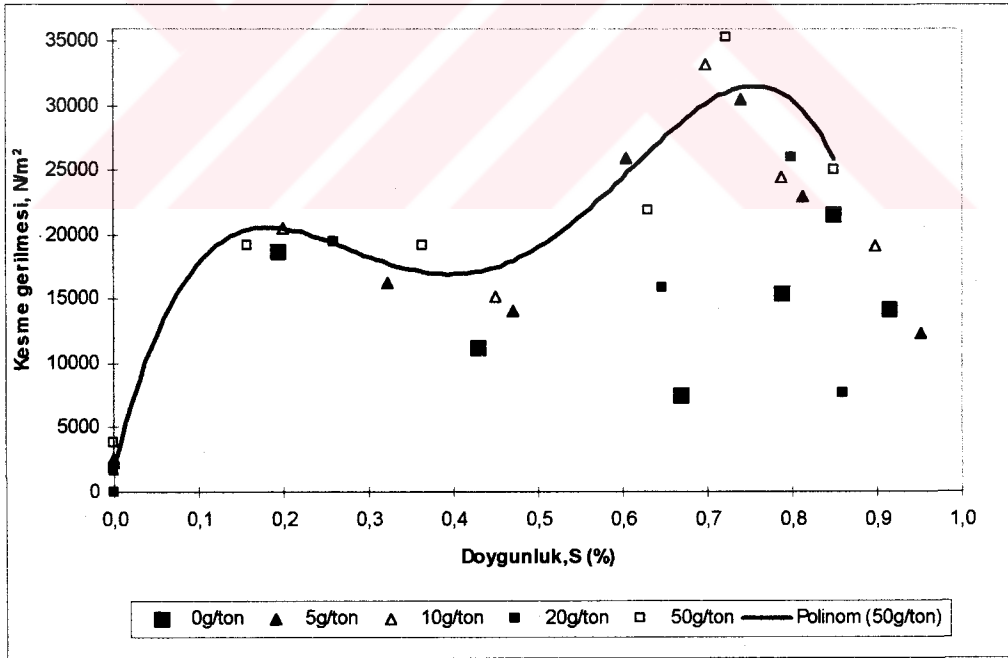
Şekil 5.25. Dolomitin kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Şekil 5.24 ve Şekil 5.25' den dolomit mineralinin kesme gerilmesi ve doygunluk diyagramına bakıldığında katyonik yüzey aktif madde etkisinde olduğu gibi amfoterik yüzey aktif maddede de yaklaşık 5 g/ton konsantrasyona kadar kesme gerilmesini düşürürken, bu konsantrasyonun üzerinde kesme gerilmesi değerlerini arttırmaktadır.

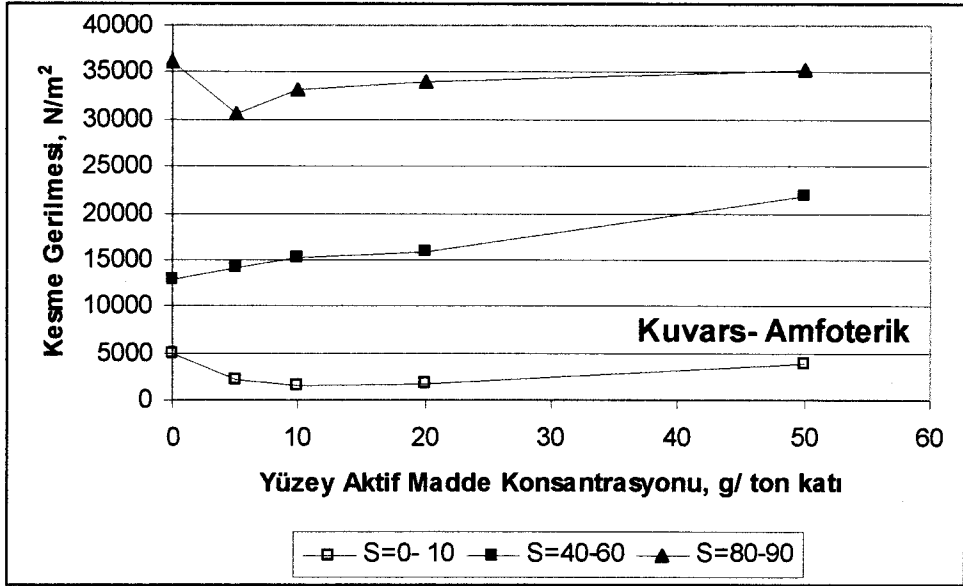
Kuvars mineraline ait amfoterik yüzey aktif madde ilavesinde kesme gerilmesi ve doygunluk ilişkisi Tablo 5.14 ve Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’ de görülmektedir.

Tablo 5.14. Kuvars filtre keklerinin amfoterik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesi ve doygunluk ilişkisi

	Kuvarsın Kesme Gerilmesi, N/m ²				
Doygunluk %	Amfoterik Yüzey Aktif Madde Konsantrasyonu, g/ ton				
	0	5	10	20	50
0-10	5000	2100	1400	1677	3842
20-40	18500	16244	20500	19465	19129
40-60	12800	14166	15167	15851	21842
60-80	6000	30500	33258	26000	35300



Şekil 5.26. Kuvars filtre keklerinin amfoterik yüzey aktif madde miktarına bağlı olarak kesme gerilmesinin doygunluk ile değişimi



Şekil 5.27. Kuvarsın kesme gerilmesinin çeşitli doygunluk değerlerinde amfoterik yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişimi

Şekil 5.27' den dolomit mineraline benzer etki burada da söz konusudur. Amfoterik yüzey aktif madde miktarının artması ile önce 5 g/ton katı konsantrasyona kadar kesme gerilmesi düşmekte ve üzerinde ise arttırmaktadır.

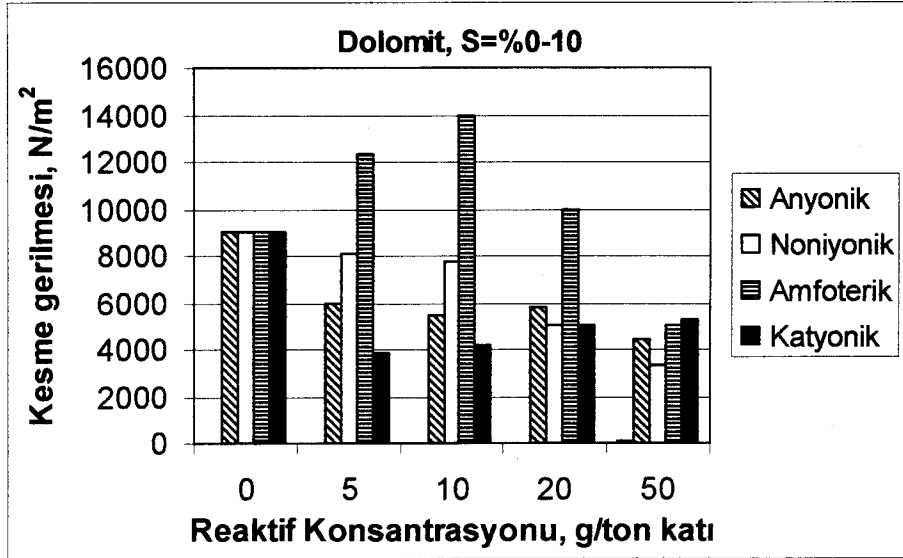
Kesme gerilmesi ve doygunluk arasındaki ilişki Schubert Diyagramına benzer olarak dördüncü dereceden bir polinom ile ifade edilebilmektedir. Şekil 5.26' deki polinom 50 g/ton katı yüzey aktif madde miktarı için verilmiş olup genel olarak bakıldığında tüm doygunluk değerlerinde en yüksek kesme noktalarını veren eğri olarak görülmektedir.

5.4 Yüzey Aktif Madde Tiplerine göre Konsantrasyon ve Kesme Gerilmesi Arasındaki Değişimlerin Karşılaştırılması

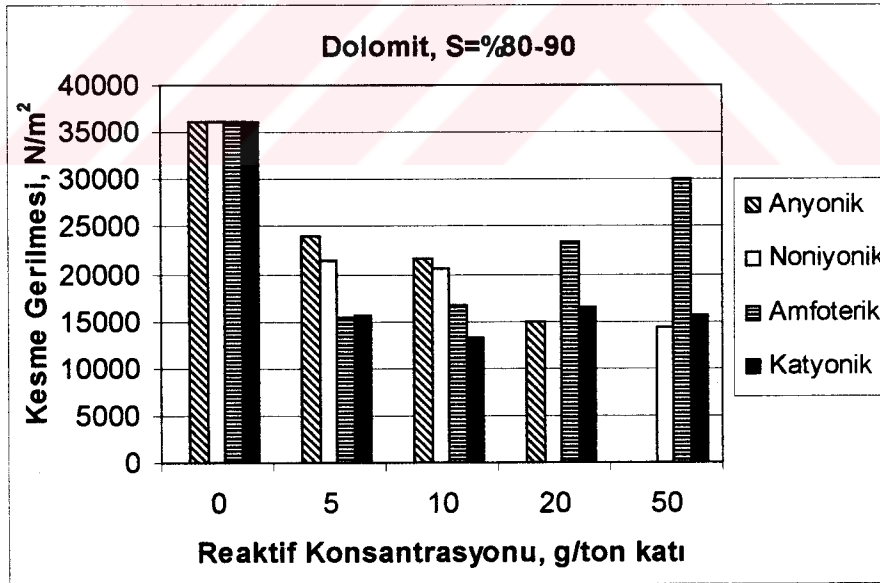
Şekil 5.28 ve Şekil 5.29' da görüldüğü üzere noniyonik ve anyonik reaktifler $S=0-10$ ve $S=80-90$ doygunluklarında dolomitin kesme gerilmesini düşürmektedirler. Katyonik reaktif 5 g/ton gibi çok düşük konsantrasyona kadar kesme gerilmesini düşürürken bu konsantrasyonun üstünde ise kesme gerilmesini artırıcı etki göstermektedir.

Amfoterik reaktifin davranışı ise daha farklıdır. $S=80-90$ aralığında 5 g/ton katı konsantrasyonuna kadar kesme gerilmesini düşürürken, bu konsantrasyonunu

üzerinde arttırmaya sebep olmaktadır. S= %0-10 aralığında ise davranışı önce 10 g/ton' a kadar kesme gerilmesini arttırıcı bu konsantrasyondan sonra da azaltıcı yönündedir.

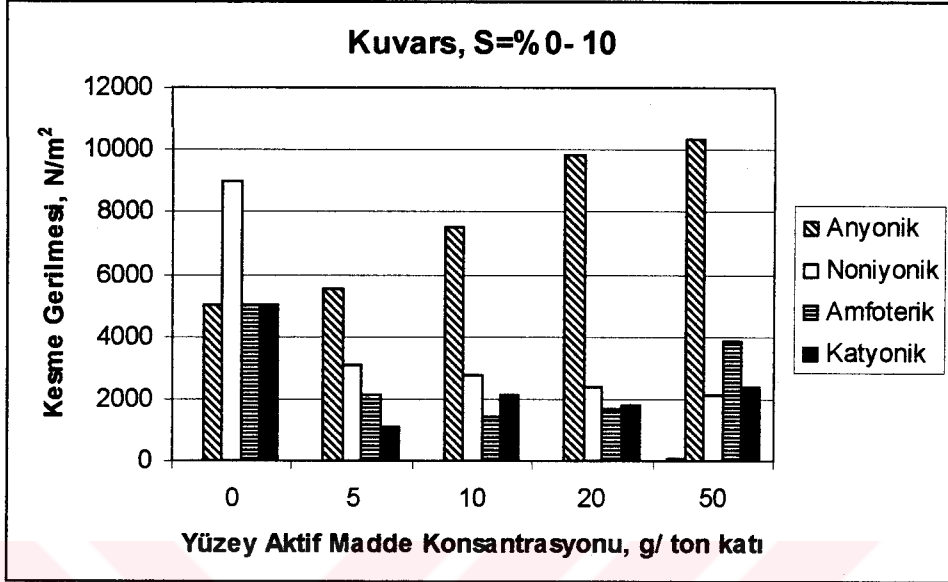


Şekil 5.28. Dolomitin S= %0- 10 doygunlukta, yüzey aktif madde tiplerinin reaktif konsantrasyonu ile kesme gerilmesi üzerindeki değişimlerinin kıyaslanması

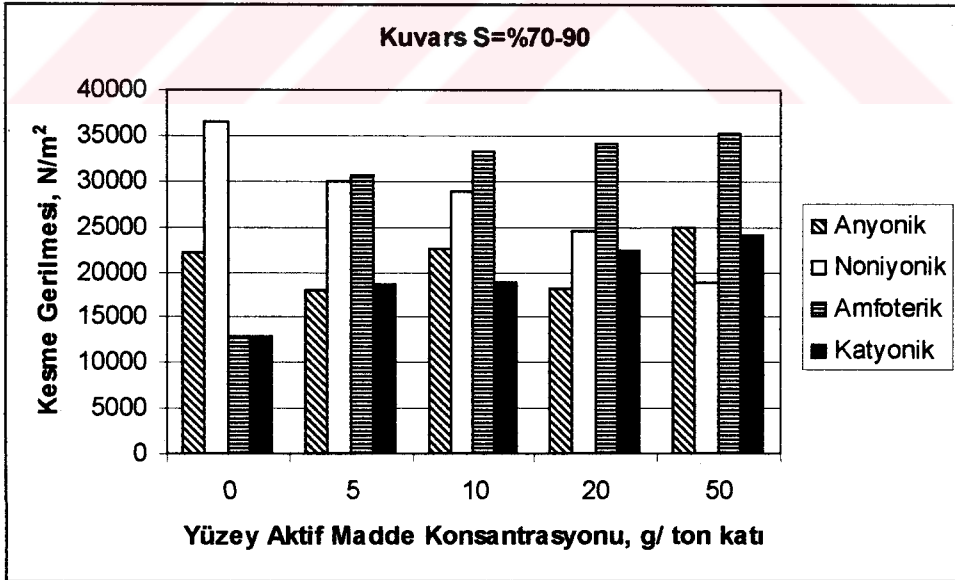


Şekil 5.29. Dolomitin S= %80- 90 doygunlukta, yüzey aktif madde tiplerinin reaktif konsantrasyonu ile kesme gerilmesi üzerindeki değişimlerinin kıyaslanması

Kuarsın farklı yüzey aktif maddelerindeki kesme gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması S= %0- 10 doygunlukta Şekil 5.30' da ve S= %80- 90 doygunlukta karşılaştırma ise Şekil 5.31' de gösterilmektedir.



Şekil 5.30. Dolomitin S=%0-10 doygunlukta, yüzey aktif madde tiplerinin reaktif konsantrasyonu ile kesme gerilmesi üzerindeki değişimlerinin kıyaslanması



Şekil 5.31. Kuarsın S=%70-90 doygunlukta, yüzey aktif madde tiplerinin reaktif konsantrasyonu ile kesme gerilmesi üzerindeki değişimlerinin kıyaslanması

Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’ den görüldüğü gibi noniyonik yüzey aktif madde her iki doygunluk değerinde de kuvarsın kesme gerilmesini düşürmektedir. Anyonik yüzey aktif maddenin kesme gerilmesini arttırdığı görülmekle birlikte doygunluğun $S = \%70-90$ aralığında olması durumunda ise 5 g/ton reaktif konsantrasyonunun üzerinde kesme gerilmesinde artış görülmektedir. Bu etkinin tersine katyonik ve amfoterik yüzey aktif madde de $S = \%0-10$ için 10 g/ton altında kesme gerilmesinde azalma görülürken bu konsantrasyonun üzerinde ise kesme gerilmesinde artış olmaktadır.

5.5 Tane Boyutunun Etkisi- Minerallerin Tane Boyutunun Kesme Gerilmesi ve Doymunluk İlişkisi Üzerine Etkileri

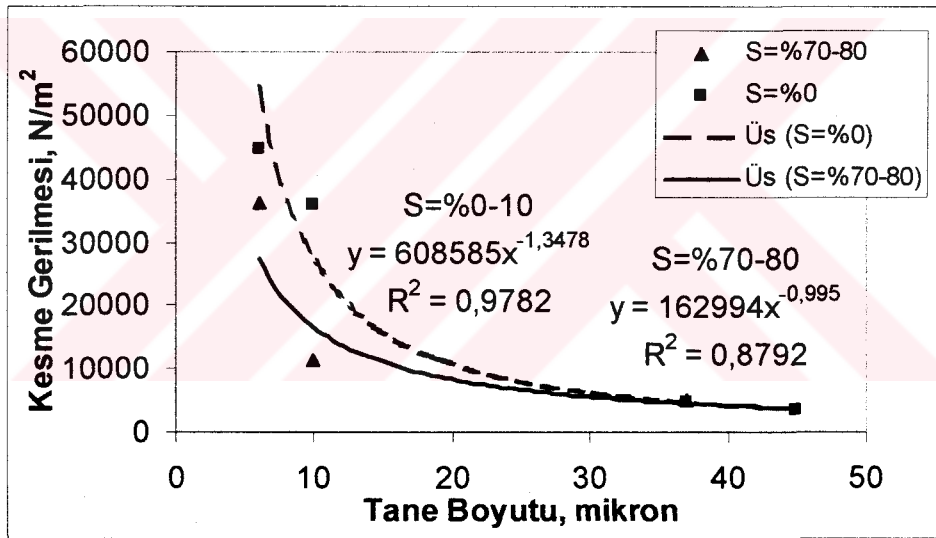
Bu grup deneylerde, kalsit ve kuvars minerallerinden $c_v = \%20$ olacak şekilde hazırlanan süspansiyonlara 2 bar sabit basınçta filtrasyon işlemi ve arkasından 6 bar sabit sıkıştırma basıncında susuzlaştırma işlemi 20 dakika süre ile uygulanmıştır. Minerallerin tane boyutları Tablo 3.1’ de verilmektedir. Filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçümleri 3 h ve 24 h’lik bekleme süreleri sonunda yapılmıştır. Çünkü, filtre kekleri 3 h bekleme süresi sonunda maksimum kesme gerilmesi değerine ulaşmakta ve 24 h sonra da tümüyle kurumuş kek elde edilmektedir.

5.5.1 Saf Ortamda Kalsit ve Kuvarsın Tane Boyutu ile Kesme Gerilmesi Değişimi

Filtre kekleri 3 h bekleme süresi sonunda yaklaşık $\%70-80$ doymunluk değerine ulaşmaktadır. Filtre keklerinin 24 h sonunda ulaştığı doymunluk değeri ise kuru kekin doymunluk değeri olan $\%0$ doymunluk değeridir. Kalsitin ve kuvarsın kesme gerilmesi ve tane boyutunun saf ortamdaki değişimi Tablo 5.15 ‘ de verilmektedir. Kalsit mineralinin saf ortamdaki tane boyutu etkisi Şekil 5.32’ de verilmektedir.

Tablo 5.15. Kalsit mineralinin kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi.

	Kesme Gerilmesi, N/m ²			
Tane Boyutu, μ	Kalsit		Kuars	
	S=%70- 80	S=%0	S=%70- 80	S=%0
6	36212	44501	35980	42369
10	11192	35706	34452	39791
37	5000	4737	21004	4989
45		3330	21882	1690



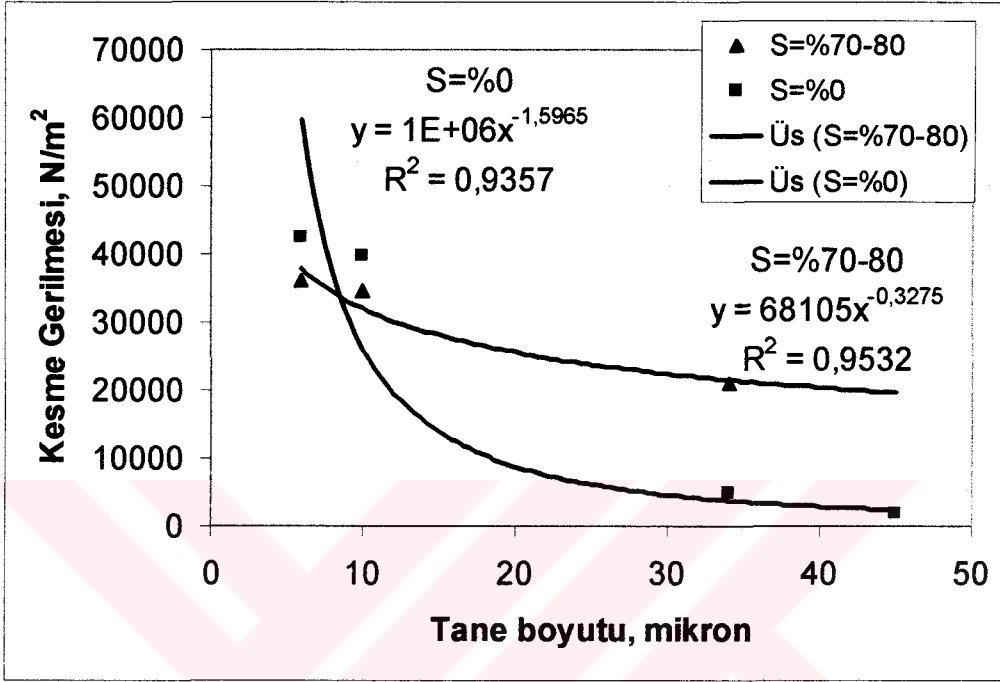
Şekil 5.32. Kalsit mineralinin saf ortamda kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi

Kalsit mineralinin saf ortamda tane boyutu etkisi Şekil 5.32' den tane boyutu arttıkça kesme gerilmesi azalmaktadır ve iki farklı doygunluk bölgesi için ampirik olarak ifade edilebilir:

$$S=\%0 \Rightarrow \tau = 608585 \frac{1}{x^{1,4}}$$

$$S=\%70-80 \Rightarrow \tau = 162994 \frac{1}{x}$$

Kuars mineralinin S= %70- 80 ile S= %0 doygunluk değerlerinde tane boyutu ile kesme gerilmesinin değişimi Şekil 5.33' de gösterilmektedir.



Şekil 5.33. Kuvars mineralinin saf ortamda kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi

Kuars mineralinin saf ortamda tane boyutunun azalması ile kesme gerilmesi artmaktadır. Kuvars mineralinde tane boyutu etkisi Şekil 5.33' den ampirik olarak S= %0 ve S= %70- 80' deki iki farklı doygunluk bölgesi için ifade edilebilir:

$$S=\%0 \Rightarrow \tau = 1.10^6 \frac{1}{x^{1,6}}$$

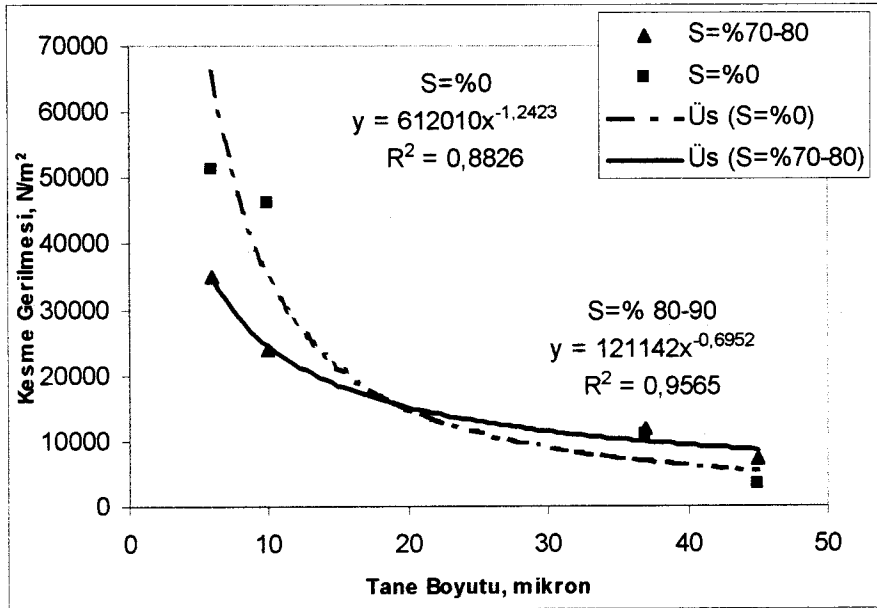
$$S=\%70-80 \Rightarrow \tau = 68105 \frac{1}{x^{0,3}}$$

5.5.2 Yüzey aktif madde ilaveli ortamda kalsit ve kuvarsın tane boyutu ile kesme gerilmesi değişimi

Noniyonik yüzey aktif maddenin 50 g/ton konsantrasyonda kalsit ve kuvars süspansiyonuna ilavesi ile elde edilen filtre keklerinin kesme gerilmesi ve tane boyutu değişimi doygunluğun S= %70- 80 ile S= %0 olduğu iki farklı doygunluk bölgesinde Tablo 5.16’ da gösterilmektedir. Kalsitin kesme gerilmesi üzerine tane boyutunun etkisi Şekil 5.34 ‘ de gösterilmektedir.

Tablo 5.16. 50 g/ ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli kalsit ve kuvars kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi

Tane Boyutu, μ	Noniyonik Yüzey Aktif Madde Katkılı Kesme Gerilmesi, N/m^2			
	Kalsit		Kuvars	
	S=%70- 80	S=%0	S=%70- 80	S=%0
6	34956	51381	94282	113131
10	23759	46195	77752	82832
37	11905	10989	23874	45298
45	7288	3311	10590	3449



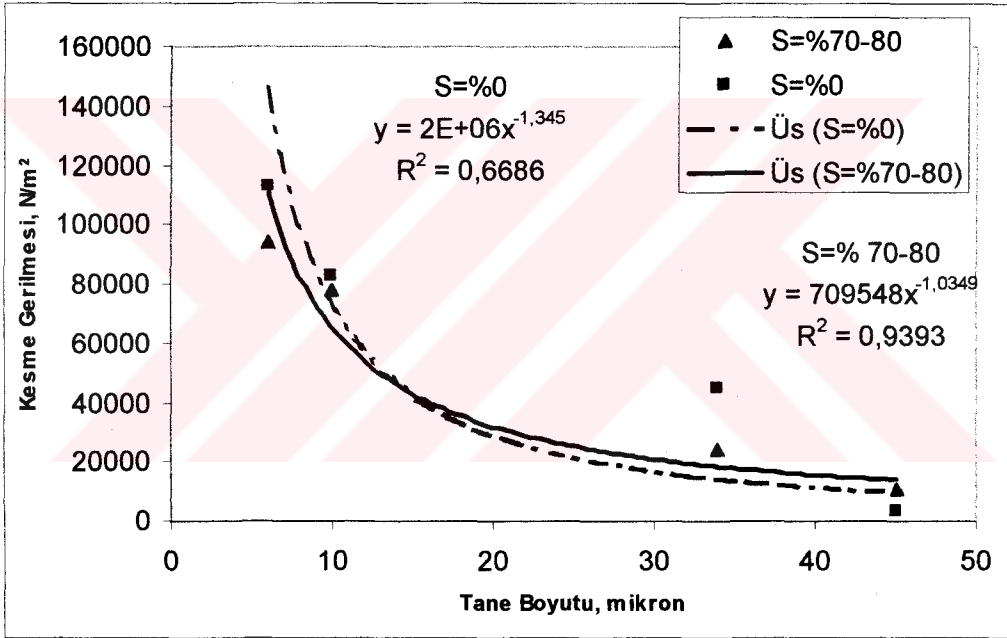
Şekil 5.34. Kalsit mineralinin 50 g/ ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi

Şekil 5.34' den kalsit mineralinin noniyonik yüzey aktif madde varlığındaki kesme gerilmesi üzerine tane boyutunun etkisi şöyle ifade edilebilir:

$$S=\%0 \Rightarrow \tau = 612010 \frac{1}{x^{1,3}}$$

$$S=\%70-80 \Rightarrow \tau = 121142 \frac{1}{x^{0,7}}$$

Kuarsın noniyonik yüzey aktif madde varlığında elde edilen filtre keklerinin kesme gerilmesi ve tane boyutu değişimi doygunluğun S= %70- 80 ile S= %0 olduğu iki farklı doygunluk değeri için Şekil 5.35' de gösterilmiştir.



Şekil 5.35. Kuvars mineralinin 50g/ ton noniyonik yüzey aktif madde ilaveli kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi

Kuars mineralinin Şekil 5.35' den noniyonik yüzey aktif maddeli ortamdaki (50g/ ton katı)tane boyutu ve kesme gerilmesi ilişkisi:

$$S=\%0 \Rightarrow \tau = 2.10^6 \frac{1}{x^{1,4}}$$

$$S=\%70-80 \Rightarrow \tau = 709548 \frac{1}{x}$$

Kalsit ve Kuvars minerallerinin saf ortamda ve 50 g/ton katı noniyonik yüzey aktif madde ilavesindeki kesme gerilmesi değerlerinin tane boyutu ile değişimi toplu olarak Tablo 5.17’ de gösterilmektedir.

Tablo 5.17. Kalsit ve kuvars keklerinin kesme gerilmesinin tane boyutu ile değişimine ait eşitlikler

	Kalsit		Kuvars	
Doygunluk Bölgeleri	Saf Ortam	Noniyonik YAM	Saf Ortam	Noniyonik YAM
1.Bölge 0<S<10	$\tau = 608585 \frac{1}{x^{1,4}}$	$\tau = 612010 \frac{1}{x^{1,3}}$	$\tau = 1.10^6 \frac{1}{x^{1,6}}$	$\tau = 2.10^6 \frac{1}{x^{1,4}}$
2.Bölge 70<S<80	$\tau = 162934 \frac{1}{x}$	$\tau = 121142 \frac{1}{x^{0,7}}$	$\tau = 68105 \frac{1}{x^{0,3}}$	$\tau = 709548 \frac{1}{x^3}$

Tablo 5.17’ den iki doygunluk değeri için $\tau = a \cdot x^{-b}$ ampirik ifadesine uymaktadır. Ancak a ve b sabitlerinin doygunluğa bağımlı olması nedeniyle farklı etki sözkonusudur:

$$S = \%0-10 \Rightarrow a = (0,5-1) \cdot 10^6 \text{ ve } b = 1,4-1,6$$

$$S = \%70-80 \Rightarrow a = (1-7) \cdot 10^5 \text{ ve } b = 0,7-1 \text{ arasındadır.}$$

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Dolomit ve kuvars minerallerinin filtre keklerinin eldesi için yapılan basınçlı filtrasyon deneyleri, filtre keklerinin kesme gerilmesi deneyleri ve tane boyut etkileşimleri olmak üzere üç grupta toplanan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıdadır:

- 1) Dolomit ve kuvars mineralleri kullanılarak saf ortam ve noniyonik Plurafac LF431 ortamında 500 g reaktif/ton katı konsantrasyonunda, süspansiyon yoğunluğu $C_v = \%20$ olacak şekilde hazırlanmış süspansiyonlar ile yapılan deneylerde filtrasyon basıncı arttıkça filtrasyon hızları hem saf ortamda ve hem de yüzey aktif maddeli ortamda artmaktadır.
- 2) Basınç arttıkça filtrasyon hızı artmakta ve filtrasyon basıncının 1 bar' dan 6 bar' a çıkması ile her iki durum için ortalama olarak dolomit mineralinde $\%75$ ve kuvars mineralinde ise $\%90$ artış görülmektedir.
- 3) Yüzey aktif madde ilavesi hem dolomit ve hem de kuvars minerallerinden elde edilen filtre keklerinin nem içeriklerini düşürmektedir. Bu nem içeriğinde görülen azalma dolomit mineralinde $\%6$ iken kuvars mineralinde $\%22$ değerine varmakta olup, oldukça önemli bir farktır.
- 4) Farklı tiplerdeki noniyonik, anyonik, katyonik ve amfoterik yüzey aktif maddelerin ortama ilavesi filtrasyon hızını arttırmaktadır. Dolomitin yüzey aktif maddeli filtrasyonunda filtrasyon hızını en fazla arttıran noniyonik yüzey aktif maddedir. Kuvars mineralinde ise katyonik yüzey aktif maddeler filtrasyon hızını en fazla arttıran tiptir. Kuvars mineralinin yüzeyinin negatif yüklü olduğu zeta potansiyeli ölçümlerinden görülmüştür. Katyonik yüzey aktif maddeler, negatif yüklü kuvars yüzeyine adsorplanarak susuzlaşmayı arttırmaktadırlar.

- 5) Yüzey aktif madde konsantrasyonunun dolomit ve kuvars filtrasyonu üzerindeki etkileri incelendiğinde, filtrasyon hızının yüzey aktif madde konsantrasyonu ile arttığı ancak cmc noktasından itibaren ise düştüğü görülmüştür. Bu durum, reaktif konsantrasyonunun cmc üzerine çıkması halinde tanecığın etrafının reaktif ile sarılarak süspansiyonda peptizasyon oluşumu ile açıklanabilir. Tüm yüzey reaktif ile sarılmış olan taneciklerin kek içerisinde bir araya gelmeleri halinde yüzeylerindeki reaktif filmi birleşerek suyu iten yani suyun geçişine engel olan hidrofob bir yapı (kapiler) oluşturur.
- 6) Basınçlı filtrasyon deneylerinde tane boyutu arttıkça filtrasyon hızı artmaktadır.
- 7) Dolomit ve kuvars filtre keklerinin kesme gerilmesi ölçümlerinden; sabit basınçta ve saf ortamda kesme gerilmesinin doygunluğa bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Kesme gerilmesi ve doygunluk arasındaki bu ilişki tıpkı Schubert in çekme gerilmesi- doygunluk diyagramına benzer olarak üç bölgeye ayrılmaktadır.
1. Bölge: $0 \leq S < 0,20$ arasındaki köprüleşme bölgesi,
 2. Bölge: $0,2 < S < 0,8$ arasındaki geçiş bölgesi,
 3. Bölge: $0,8 < S \leq 1$ arasındaki kapiler bölgedir.
- 8) Susuzlaştırma işleminde uygulanan sıkıştırma basıncının artması ile filtre keklerinin tüm doygunluk değerlerinde kesme gerilmeleri artmaktadır.
- 9) Kesme gerilmesi- doygunluk eğrisinde Schubert diyagramına benzer olarak tanımlanan her üç bölgedeki doygunluk değerlerinde kesme gerilmesinin sıkıştırma basıncı ile değişimi üstel bir ilişki ile ifade edilebilmektedir. Genel olarak, $\tau = a \cdot P^b$ ve $a, b = f(S)$ olmak üzere;

Dolomit için eşitlikler; $0 < S < 10 \Rightarrow a = 1705$ ve $b = 0,54$

$$45 < S < 60 \Rightarrow a = 7985 \text{ ve } b = 0,46$$

$$80 < S < 90 \Rightarrow a = 21654 \text{ ve } b = 0,29$$

Kuvars için eşitlikler; $0 < S < 10 \Rightarrow a = 2919$ ve $b = 0,64$

$45 < S < 60 \Rightarrow a = 10398$ ve $b = 0,4$

$80 < S < 90 \Rightarrow a = 24853$ ve $b = 0,22$ şeklindedir.

- 10) Noniyonik yüzey aktif madde ilavesi hem dolomitin ve hem de kuvarsın kesme gerilmesini tüm doygunluk değerlerinde ve basınçlarında yaklaşık olarak 2- 2,5 kat azaltmaktadır. Kısaca $\tau_{saf} = a \tau_{YAM}$ yazılabilir ve $a = 2- 2,5$ arasındadır.
- 11) Her iki mineral için de kesme gerilmesi ile yüzey gerilimi arasında doğru orantılı bir ilişki vardır $\tau \propto \gamma$ ve saf ortam için $\gamma_{saf} = 72 \text{ N/mm}^2$ ve $\tau_{saf} = 20000 \text{ N/m}^2$ ve noniyonik yüzey aktif maddeler varken $\gamma_{YAM} = 32 \text{ N/mm}^2$ ve $\tau_{saf} = 9000 \text{ N/m}^2$ olduğuna göre aşağıdaki ifade yazılabilir;

$$\frac{\tau_{saf}}{\tau_{YAM}} = \frac{\gamma_{saf}}{\gamma_{YAM}}$$

- 12) Yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile kesme gerilmesi madde tiplerine göre farklılıklar göstermektedir. Ancak tüm yüzey aktif madde konsantrasyonlarında ve tiplerinde genel olarak Schubert' in çekme gerilmesi-doygunluk eğrisine benzer davranım görülmektedir.
- 13) Dolomit ve kuvars filtre keklerinin tüm doygunluk değerlerinde noniyonik yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile kesme gerilmesi değerleri azalmaktadır. Her iki mineral için de yüzey aktif madde konsantrasyonunun kritik misella konsantrasyonu üzerinde olması durumunda kesme gerilmesi sabit kalmaktadır. Kritik misella konsantrasyonunun değeri yaklaşık 75 g /ton katı' dır.
- 14) Anyonik yüzey aktif madde dolomitin kesme gerilmesini konsantrasyona bağlı olarak azaltırken, kuvarsın kesme gerilmesi değerlerini arttırmaktadır.
- 15) Katyonik yüzey aktif madde dolomitin kesme gerilmesini 5 g/ton' a dek azaltıp bu konsantrasyondan sonra arttırmaktadır. Benzer etki kuvars minerali için de saptanmıştır.

16) Amfoterik yüzey aktif maddelerin konsantrasyonunun artması ile hem dolomit ve hem de kuvars filtre keklerini kesme gerilmesi değerleri artmaktadır.

17) Hem saf ortam ve hem de noniyonik yüzey aktif maddelerin varlığında kalsit ve kuvarsın kesme gerilmeleri ile tane boyutu arasındaki ilişki iki mineral tipi yani şekil faktöründen bağımsız olarak doygunluğa bağlı olmak üzere iki ayrı eşitlikle ifade edilebilir:

$$1. S=\%0-10 \text{ (Köprüleşme Bölgesi)} \Rightarrow \tau = (0,5-1)10^6 \frac{1}{x^{1,4-1,6}}$$

$$2. S=\%70-80 \text{ (Kapiler bölge)} \Rightarrow \tau = (1-7)10^5 \frac{1}{x^{0,7-1}}$$

6.2 Toplu Değerlendirme

Yukarıda özetlenen bulguların sonucunda filtre keklerinin kesme gerilmesine etki eden parametreler toplu olarak şöyle özetlenebilir:

1. Basınç arttıkça kesme gerilmesi lineer olarak artmaktadır.
2. Tane boyutu küçüldükçe kesme gerilmesi üstel olarak artmaktadır.
3. Kesme gerilmesi doygunluk arttıkça artmakta olup $S=0,8-0,9$ arasında maksimum değere sahiptir.
4. Filtrasyon aşamasında ortama ilave edilen yüzey aktif maddelerin tüm çeşitleri kritik misella konsantrasyonuna dek kesme gerilmesini düşürmekte, kritik misella konsantrasyonun üzerinde ise mineralin yüzey yüküne bağlı olarak farklı davranım göstermektedir.

Bu bulguların ışığı altında endüstriyel olarak şlam veya filtre keki depolamak için; Yüksek sıkıştırma veya filtrasyon basıncı, yüksek doygunluk derecesi, düşük tane boyutu ve yüzey aktif maddelerin kullanılmadığı koşullarda çalışmak uygundur.

6.3 Öneriler

- 1) Filtrasyonda yüzey geriliminin kademeli olarak düşürüldüğü deneyler yapılarak Darcy eşitliğinde yüzey gerilimi, γ' nin doğrudan yer alması sağlanabilir.
- 2) Kaolin, kil gibi tabaka yapılı mineral tipleri ile deneyler yapılarak şekil faktörünün kesme gerilmesine etkisi konusunda ayrıntılı bilgi edinilebilir.



KAYNAKLAR

- Adamson, A.W.**, 1967. Physical Chemistry of Surfaces, Second Edition, Interscience Publishers, John Wiley & Sons, USA.
- Adorjan, L.A.**, 1986. Developments in Solid- Liquid Separation, in *Nato Advanced Study- Mineral Prosessing at a Crossroad*, Falmount, Cornwall.
- 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.**, 1954. KIRK- OTHMER Encyclopedia of Chemical Engineering , Vol.13.
- Atıcı, O.G.**, 1991.Yüzey Aktif Maddeler, İTÜ. Fen- Edebiyat Fakültesi Matbaası, Istanbul.
- Barthelmes, G.**, 1995. Einfluß der Entwässerungsbedingungen auf das Festigkeitsverhalten von feinkörnigen Filterkuchen, *Diplomarbeit*, Universität Karlsruhe.
- Baykut, S., Biran, M.**, 1986. Yüzey Aktif Maddeler ve Fizikokimyası, Istanbul Üniversitesi Yayınları, Istanbul.
- Bentz, M.**, 1998, Sprödes verhalten von Filterkuchen- Vortile für die thermische trocknung, *Diplomarbeit*, Universität Karlsruhe.
- Coulson, J.M. Richarson, J.F.**, 1987. Chemical Engineering, Volume 2, Unit Operations, Third Edition, Pergamon Press, UK.
- Çapan, L.**, 1986. Plastisiteye Giriş, İTÜ. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, Istanbul.
- Gregory, J.**, 1989. Fundamentals of Flocculation, in *Critical Reviews in Environmental Control*, **19**, 185- 230.

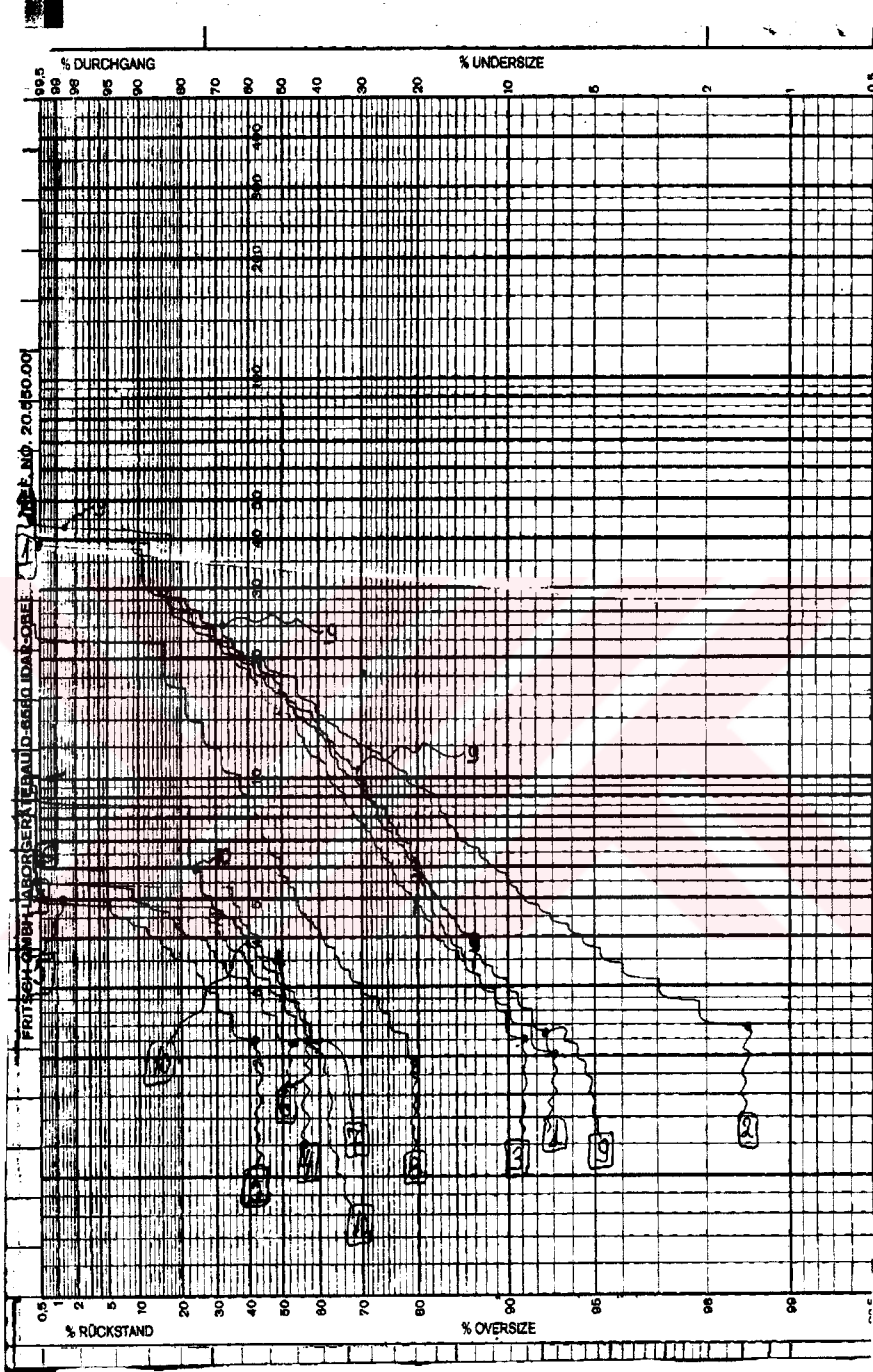
- Heßner, M.**, 1992. *Versuchsbeschreibung der Labordrucknutsche*, Verfaßt während der Ausbildung zum Physiklaboranten am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe.
- Israelachvili, J.**, 1992. *Intermolecular & Surface Forces*, Second Edition, Academic Press, London, UK.
- İnan, M.**, 1984. *Cisimlerin Mukavemeti*, 5. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- İzmirli, O., Özbek, T.**, 1966. *Cisimlerin Mukavemeti*, İTÜ. Matbaası, Gümüşsuyu.
- Kayalı, S., Ensari, C., Dikeç F.**, 1996. *Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri*, İTÜ. Kimya- Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Kumbasar, V.**, 1967. *Zemin Mekaniği Notları*, İTÜ Matbaası, İstanbul..
- Mc Cabe, W.L.**, 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering*, s.1002, Fifth Edition, McGraw- Hill, Inc.
- Nikolakakis, I., Pilpel, N.**, 1988. Effect of Particle Shape and Size on the Tensile Strengths of Powders , *Powder Technology*, **56**, 95-103.
- Onaran, K.**, 1993. *Malzeme Bilimi*, Bilim Teknik Yayınevi.
- Özcan, Ö., Ruhland, M., Stahl, W.**, 1999. Shear Strength of Mineral Filter Cakes, *5th Int.Symp. on the Characterization of Porous Solids*, Heidelberg, Germany.
- Özcan, Ö., Ruhland, M., Stahl, W.**, 2000. The Effect of Pressure, Partical Size and Particle Shape on the Shear Strength of Very Fine Mineral Filter Cakes, *International Journal of Mineral Processing*, **59**, 185- 193.
- Özcan, Ö., Gönül, B.B., Bulutçu, A. N., Manav, H.**, Correlations Between the Shear Strength of Mineral Filter Cakes and Particle Size and Surface Tension, *Colloids and Surfaces*, Basımda, 2001.
- Pietsch, W.**, 1977. Pressure Agglomeration- Stare of the Art, *Agglomeration 77, Proceedings of the International Symposium on Agglomeration*, Eds. Sastry, K.V.S., 35, March, 6- 10, 649- 676.
- Postacıoğlu, B.**, 1991. *Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri*, Cilt 1, İçyapı ve Mekanik Özellikleri, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Reed, J.S.**, 1995. *Principles of Ceramic Processing*, Second Edition, John Wiley & Sons, Canada.

- Rosen, M.J.**, 1989. Surfactants and Interfacial Phenomena, Second Edition, John Wiley & Sons, Canada.
- Ruhland, M.**, 1999, Über die Eigenschaften von Filterkuchen, *Dissertation*, Universität Karlsruhe.
- Ruhland, M., Wiedemann T., Stahl W.**, 1998. Handling Properties and Mechanical Resistances of Compressed Filter Cakes, *Proceedings of Advances in Filtration and Separation Technology*.
- 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.S., Chapter 7, March, 97-129.
- Safoğlu, R.**, 1972. Malzeme Bilimine Giriş, Kipaş, Istanbul.
- Schubert, H.**, 1972, Untersuchungen zur Ermittlung von Kapillardruck und Zugfestigkeit von feuchten Haufwerken aus körnigen Stoffen, *Dissertation*, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe (TH).
- Schubert, H.**, 1975, Tensile Strength of Agglomerates, *Powder Technology*, **11**, 107- 119.
- Schubert, H., Herrmann, W., Rumpf, H.**, 1975. Deformation Behaviour of Agglomerates under Tensile Stress, *Powder Technology*, **11**, 121-131.
- Schubert, H.**, 1977. Tensile strength and capillary pressure of moist agglomerates, Chapter 9, *Agglomeration 77, Proceedings of the International Symposium on Agglomeration*, Eds. Sastry, K.V.S., 144-155, March 6- 10.
- Shaw, D.J.**, 1970. Introduction to Colloid and Surface Chemistry, Second Edition, Butterworths, London.
- Sommer, K., Schubert, H.**, 1992. Product Properties and Process Engineering, Video Tutorial, BASF, Germany.
- Stroh, G., Stahl, W.**, 1990. Effect of Surfactants on the Filtration Properties of Fine Particles, *Filtration and Separation*, 197- 199.

- Stroh, G., Stahl, W., 1991.** Basics of Surfactant Aided Dewatering in Mineral Processing, *XVIIth International Mineral Processing Congress*, Dresden/ FRG, September 23- 28.
- Stroh, 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.
- Stroh, G. ,Stahl, W, 1992.b.**Verbesserte Flüssigkeitsabtrennung bei der Mechanischen Entwässerung von Filterkuchen durch Tensideinsatz, *3rd Cesio International Surfactants Congress& Exhibition – A World Market*, UK., June 1-5.
- Stroh, G., 1993.** The Effect of Coagulation and Flocculation on the Filtration Properties of Suspensions Incorporating a High Content of Fines, in *Coagulation and Flocculation*, pp.653- 695, Eds. Dobiáš, B., Marcel Dekker, Inc., New York.
- Wakeman, R. J., 1975.** Filtration Post- Treatment Processes, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Wakeman, R. J., 1997.** Membran- Solute and Liquid- Particle Interaction Effects in Filtration, *Filtration & Separation*, June, pp.511- 519.
- Wiedemann, T., Stahl, W., 1993.** Dewatering of Fine Particle Deposits by Combined Pressure and Gas Flow, *Proceedings of Filtech Conference*, Karlsruhe, Germany, October 19- 21.
- Wiedemann, T., 1996.** Das Schrumpfungs- und Reißbildungsverhalten von Filterkuchen, *Dissertation*, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe (TH).

EK 1

Dolomit ve kuvars minerallerinin ortalama tanecik çaplarının Taramalı Fotosedimantograf ıktısı.



ÖZGEÇMİŞ

Birgöl BENLİ GÖNÜL, 1969 yılında İstanbul Üsküdar’ da doğdu. İlk öğrenimini İcadiye İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini Üsküdar Kız Lisesinde tamamladı. 1987 yılında İTÜ. Kimya- Metalurji Fakültesinde lisans öğrenimine başladı ve 1991 yılında aynı fakülteden Kimya Mühendisi olarak mezun oldu. 1991 yılında İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Programında başladığı yüksek lisans öğrenimini Ocak 1994’ de tamamladı. 1992 yılından bu yana, Kimya- Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Temel İşlemler Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir kız çocuğu annesidir.

