

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

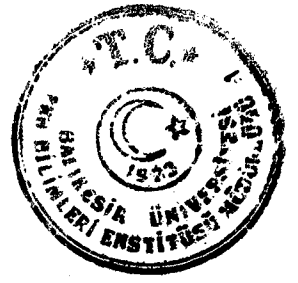
CUMAOVASI PERLİTİ'NİN BAZI FİZİKOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DOĞAN

Balıkesir, Temmuz-1997

58554



T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

CUMAOVASI PERLİTİ'NİN BAZI FİZİKOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DOĞAN

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mahir ALKAN

Sınav Tarihi : 18.07.1997

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mahir ALKAN (Danışman)

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN

Prof. Dr. Ayten GÖÇMEN

Balıkesir, Temmuz-1997



ÖZ

**CUMAOVASI PERLİTİNİN BAZI FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Mehmet DOĞAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

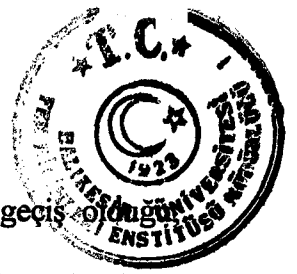
Kimya Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mahir ALKAN)

Balıkesir, 1997

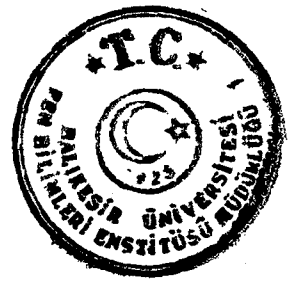
Perlit, hızlı ve kontrollü bir şekilde ısıtıldığında genişleyen camı, volkanik bir kayadır. Türkiye, dünya perlit rezervinin yaklaşık % 70'ine sahiptir. Genleşmiş perlitin çok sayıda ve değişik kullanım alanı vardır ve bunlar perlitin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır.

Bu çalışmada genişmiş ve genişmemiş perlit örneklerinden asitle aktifleştirilmiş örnekler hazırlanmış, hazırlanan bu örneklerin katyon değişim kapasiteleri, yoğunlukları ve spesifik yüzey alanları belirlenmiş, ayrıca bu örneklerin Infrared spektrumları, X-ışınları difraksiyon desenleri alınmış ve SEM fotoğrafları çekilmiştir.



Perlitin genişletilmesi sırasında amorf yapıdan kristal yapıya geçiş olduğu görülmüştür. $\text{CaAl}(\text{SiO}_4)(\text{OH})$ (Vuagnatite), $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Gismondine), $\text{CaAl}_{12}\text{O}_9$ (Hibonite), SiO_2 (Stishovite), $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ (Fassaite, ferroan), $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (Chrysotile-2orel) ve $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Analcime) yapılarının oluştuğu, suyun bir miktarının yapıdan uzaklaştığı ancak bir kısmının yapıda kaldığı belirlenmiştir. Asit aktivasyonu sırasında katyon değişim kapasitesinin çok az bir miktar arttığı ve yoğunluğunun hemen hemen sabit kaldığı görülmüştür. Ayrıca genişmiş ve genişmemiş perlit örneklerinin elektrokinetik özellikleri mikroelektroforez tekniği kullanılarak incelenmiştir. $\text{pH} = 3$ ile $\text{pH} = 11$ aralığında, perlit örneklerinin izoelektronik noktaya sahip olmadıkları ve negatif yüklü yüzeye sahip oldukları belirlenmiştir. Genleşmiş perlitin, genişmemiş perlitte daha negatif yüklü bir yüzeye sahip olduğu bulunmuştur. NaCl , KNO_3 , NaNO_3 , Na_2CO_3 ve Na_2SO_4 'ın perlit için indifferent elektrolitler oldukları, buna karşılık AlCl_3 ve CaCl_2 'ün yüzey yükünü negatiften pozitifte değiştirdikleri belirlenmiştir. Asitle aktivasyon işleminin, perlitin zeta potansiyeli üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER : Perlit; asit aktivasyonu; katyon değişim kapasitesi; yapısal değişim; zeta potansiyeli; yüzey yükü; elektrokinetik özellikler.



ABSTRACT

INVESTIGATION OF SOME PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF CUMAOVASI PERLITE

Mehmet DOĞAN

Balıkesir University, Institute of Science, Department of Chemistry

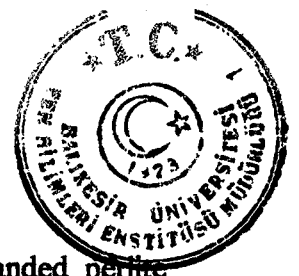
(Master Thesis / Supervisor : Prof. Dr. Mahir ALKAN)

Balıkesir-Turkey, 1997

Perlite is a glassy volcanic rock which will, upon rapid controlled heating, expand into a frothy material of low bulk density. Turkey possesses about 70% (70×10^9 tons) of the world's known perlite reserves. The uses of expanded perlite are many and varied and are based primarily upon its physical and chemical properties.

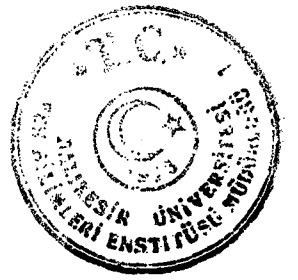
The acid-activated perlite samples have been prepared from expanded and unexpanded perlite samples, and then the cation exchange capacities (CEC), densities and specific surface areas of these samples have been determined. IR spektrums, X-Ray Powder Diffraction patterns and SEM photographs of these samples have been taken.

During the expansion a transition from amorph structure to a crystalline form and $\text{CaAl}(\text{SiO}_4)(\text{OH})$ (Vuagnatite), $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Gismondine), $\text{CaAl}_{12}\text{O}_9$ (Hibonite), SiO_2 (Stishovite), $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ (Fassaite, ferroan), $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (Chrysotile-Zorel) ve $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Analcime) have been found to form, and also some part of water has been removed, but there has still been some water in crystal lattice. Acid activation has caused a little increase in cation exchange capacity of perlite, while the density has remained almost unchanged.



Furthermore, electrokinetic properties of expanded and unexpanded perlite samples have been investigated using the microelectrophoresis technique. Perlite samples yield practically no isoelectric point in the pH range of 3 to 11. Both of the perlite samples remain negatively in the pH range studied. The expanded perlite has a more negatively charged surface than unexpanded perlite. NaCl, KNO₃, NaNO₃, Na₂CO₃ and Na₂SO₄ are indifferent electrolytes for perlite, whereas AlCl₃ and CaCl₂ change the interface charge from negative to positive. Acid-activation has no significant effect on the zeta potential of perlite.

KEY WORDS : Perlite; acid activation; cation exchange capacity; structural change; zeta potential; surface charge; electrokinetic properties.

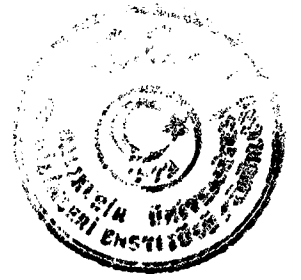


İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ, ANAHTAR SÖZCÜKLER	i
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	v
SEMBOL LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Perlit	1
1.1.1 Perlitin Teknik Özellikleri	1
1.2 Asit Aktivasyonu	3
1.3 Katyon Değişim Kapasitesi	4
1.4 Yüzey Alanı	6
1.5 Elektrokinetik Olaylar	7
1.5.1 Elektriksel Çift Tabaka	8
1.5.2 Elektrokinetik Potansiyel	12
1.5.3 Yüzey Reaksiyonları	13
1.6 Çalışmanın Amacı	15
2. MATERYAL VE YÖNTEMLER	16
2.1 Perlit Örneklerinin Temini	16
2.2 Perlit Örneklerinin Arındırılması	16
2.3 Asit Aktivasyonu	16

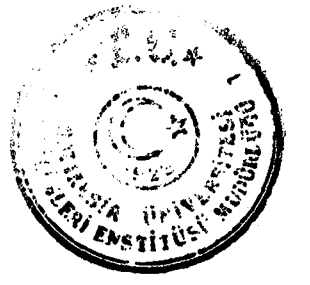


2.4 Katyon Değişim Kapasitesinin Belirlenmesi	18
2.5 Yüzey Alanının Belirlenmesi	21
2.6 Perlit Yoğunluğunun Belirlenmesi	21
2.7 İnfrared Spektrumlarının Alınması	22
2.8 X-Işınları Difraktogramlarının Alınması	22
2.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğraflarının Çekilmesi	22
2.10 Elektrokinetik Ölçümler	23
3. BULGULAR	24
3.1 Katyon Değişim Kapasitesi, Yoğunluk ve Yüzey Alanları	24
3.2 İnfrared Spektrumları	25
3.3 X-Işınları Difraksiyon Desenleri	28
3.4 Elektrokinetik Ölçümler	34
3.4.1 Katı Konsantrasyonunun Zeta Potansiyeline Etkisi	34
3.4.2 pH'nin Zeta Potansiyeline Etkisi	35
3.4.3 Elektrolitin Zeta Potansiyeline Etkisi	36
3.4.4 Asit Aktivasyonunun Zeta Potansiyeline Etkisi	42
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	44
4.1 Katyon Değişim Kapasitesi, Yoğunluk ve Yüzey Alanları	44
4.2 İnfrared Spektrumları	47
4.3 X-Işınları Difraksiyon Desenleri	48
4.4 Elektrokinetik Özellikler	49
4.4.1 Katı Konsantrasyonunun Zeta Potansiyeline Etkisi	49
4.4.2 pH'ın Zeta Potansiyeline Etkisi	49
4.4.3 Elektrolitin Zeta Potansiyeline Etkisi	50
4.4.4 Asit Aktivasyonunun Zeta Potansiyeline Etkisi	52
4.5 Sonuçlar	52
5. KAYNAKÇA	54

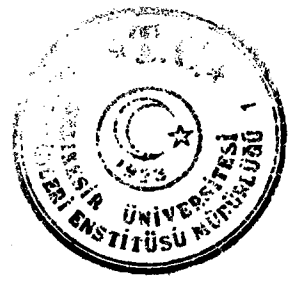


SEMBOL LİSTESİ

Simge	Adı	Birimi
KDK	Katyon değişim kapasitesi	meg/100 g
P	Adsorpsiyon denge basıncı	torr
P ₀	Adsorplananın deney sıcaklığındaki doygun buhar basıncı	torr
V _a	Adsorplanan gazın hacmi	mL
V _m	Adsorplayıcının yüzeyini tek tabaka şeklinde kaplayacak adsorplananın standart şartlardaki hacmi	mL
C	Birinci tabakadaki moleküllerin adsorplanma zamanları ile ikinci ve daha sonraki tabakalardaki moleküllerin adsorplanma zamanları arasındaki oran	---
a _s	Spesifik yüzey alanı	m ² /g
σ _K	Katı yüzeyi elektrik yükü	C/m ²
ψ ₀	Mineral yüzeyi potansiyeli	mV
σ _D	Dağılmış iyonlar tabakasındaki elektrik yükü	C/m ²
V _A	HCl çözeltisinin hacmi	mL
N _A	HCl çözeltisinin normalitesi	N

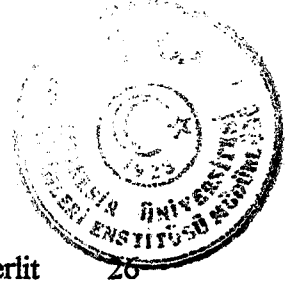


N_B	NaOH çözeltisinin normalitesi	N
W_p	Piknometrenin kütlesi	g
W_0	Perlit örneğinin kütlesi	g
W_t	(Piknometre + Perlit + Sıvı)'nın kütlesi	g
d_s	Saf sıvının kütlesi	g
ξ	Zeta potansiyeli	mV
V	Süspansiyon sıvısının vizkozitesi	poise
D	Dielektrik sabiti	---
EM	Elektroforetik mobilite	V/cm başına μ/s
I/I_0	Gelen ışığın şiddetinin yansıyan ışığın şiddetine oranı
d	Düzlemler arası uzaklık	A^0
hkl	Miller indisi



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Numarası	Adı	Sayfa
Şekil 1.1	Sulu çözeltideki bir mineral yüzeyinde elektrik yükünün oluşumunu gösteren mekanizma	9
Şekil 1.2	Elektriksel çift tabaka ve özellikleri a. Yüzeydeki elektrik yükü (σ_K) ve onu dengeleyen dağılmış iyonlar (σ_D) b. Anyon ve katyonların, ara yüzeyden uzaklaştıkça simetrik değişimi	9
Şekil 1.3	Stern'e göre elektriksel çift tabaka modeli a: katı yüzeyi, b: Stern düzlemi, ψ_0 : katı yüzeyi potansiyeli ve ξ : katı yüzeyinin ölçülebilen potansiyeli	11
Şekil 1.4	Bir mineral-çözelti ara yüzeyinde, yüzey potansiyeli ve zeta potansiyeli üzerine potansiyel tayin eden iyonun, etkin konsantrasyonun etkisi	13
Şekil 2.1	Asit aktivasyonu düzeneği	18
Şekil 2.2	Katyon değişim kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan düzenek	19
Şekil 3.1	Perlitin katyon değişim kapasitesi üzerine asit aktivasyonunun etkisi; ■ : Genleşmiş perlit, ▲ : Genleşmemiş perlit	25

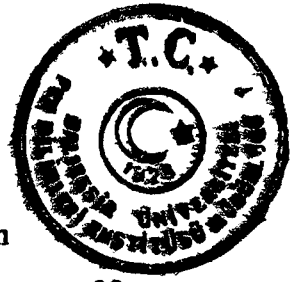


Şekil 3.2	Perlit örneklerinin Infrared spektrumları; a) Genleşmiş perlit, b) 0.2 M H-Genleşmiş perlit, c) 0.4 M H-Genleşmiş perlit, d) 0.6 M H-Genleşmiş perlit	26
Şekil 3.3	Perlit örneklerinin Infrared spektrumları; a) Genleşmemiş perlit, b) 0.2 M H-Genleşmemiş perlit, c) 0.4 M H-Genleşmemiş perlit, d) 0.6 M H-Genleşmemiş perlit	27
Şekil 3.4	Perlit örneklerinin X-ışınları difraksiyon desenleri; a) Genleşmiş perlit, b) Genleşmemiş perlit	33
Şekil 3.5	Genleşmiş(■) ve genleşmemiş(▲) perlitin zeta potansiyeline katı konsantrasyonunun etkisi	35
Şekil 3.6	Genleşmiş(▲) ve genleşmemiş (■) perlitin zeta potansiyeline pH'nın etkisi	37
Şekil 3.7	Perlitin zeta potansiyelinin elektrolit konsantrasyonu ile değişimi; a) Genleşmiş perlit, b) Genleşmemiş perlit, ■: NaCl, †: KNO ₃ , ▲: NaNO ₃ , *: Na ₂ SO ₄ , ∞: Na ₂ CO ₃	40
Şekil 3.8	Perlitin zeta potansiyelinin elektrolit konsantrasyonu ile değişimi; a) Genleşmiş perlit, b) Genleşmemiş perlit, ▲ : AlCl ₃ , ■: CaCl ₂ , † : NaCl	41
Şekil 3.9	Genleşmiş(■) ve genleşmemiş(▲) perlit örneklerinin zeta potansiyeli üzerine asit aktivasyonunun etkisi	43
Şekil 4.1	Genleşmemiş perlitin 1000 kat büyütülmüş SEM fotoğrafı	45
Şekil 4.2	Genleşmiş perlitin 1000 kat büyütülmüş SEM fotoğrafı	45
Şekil 4.3	0.6 M H-Genleşmemiş perlitin 1000 kat büyütülmüş SEM fotoğrafı	46
Şekil 4.4	0.6 M H-Genleşmiş perlitin 1000 kat büyütülmüş SEM fotoğrafı	46

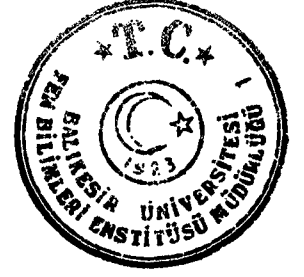


ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge Numarası	Adı	Sayfa
Çizelge 1.1	Dünya perlit rezervi	2
Çizelge 1.2	Bazı kil minerallerinin katyon değişim kapasiteleri	6
Çizelge 2.1	Perlitin kimyasal bileşimi	17
Çizelge 2.2	Perlitin bazı fiziksel özellikleri	17
Çizelge 2.3	İndikatör çözeltilerinin hazırlanışı	21
Çizelge 3.1	Genleşmiş ve genleşmemiş perlit örneklerinin katyon değişim kapasiteleri, yoğunlukları ve yüzey alanları	24
Çizelge 3.2	CaAl(SiO ₄)OH (Vuagnatite) (JCPDS No: 29-289)'ın X-ışınları difraksiyon verileri	29
Çizelge 3.3	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈).4H ₂ O (Gismondine) (JCPDS No: 20-452)'ın X-ışınları difraksiyon verileri	29
Çizelge 3.4	CaAl ₁₂ O ₉ (Hibonite) (JCPDS No: 25-121)'ın X-ışınları difraksiyon verileri	30
Çizelge 3.5	SiO ₂ (Stishovite) (JCPDS No: 15-26)'ın X-ışınları difraksiyon verileri	30
Çizelge 3.6	Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al) ₂ O ₆ (Fassaite, Ferroan) (JCPDS No: 25-1217)'ın X-ışınları difraksiyon verileri	31
Çizelge 3.7	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ (Chrysotile-2orel) (JCPDS No: 25-645)'ın X-ışınları difraksiyon desenleri	31



Çizelge 3.8	NaAlSi ₂ O ₆ H ₂ O (Analcime) (JCPDS No: 19-1180)'ın X-ışınları difraksiyon verileri	32
Çizelge 3.9	Perlitin zeta potansiyelinin katı/sıvı oranı ile değişimi	34
Çizelge 3.10	Perlitin zeta potansiyeli üzerine pH'nın etkisi	36
Çizelge 3.11	Genleşmemiş perlitin zeta potansiyeli üzerine elektrolit konsantrasyonunun etkisi	38
Çizelge 3.12	Genleşmiş perlitin zeta potansiyeli üzerine elektrolit konsantrasyonunun etkisi	39
Çizelge 3.13	Perlitin zeta potansiyeli üzerine asit aktivasyonunun etkisi	42



ÖNSÖZ

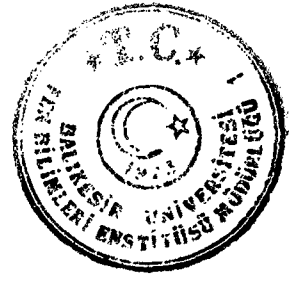
Çalışmalarım boyunca büyük yardımlarını gördüğüm, gerek insan olarak gerekse hoca olarak kendime örnek edindiğim çok kıymetli rehberim Prof. Dr. Mahir ALKAN'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi öncelikle belirtmek isterim.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Yaşar Kemal YILDIZ ve Yrd. Doç. Dr. Ümit ÇAKIR'a, infrared spektrumlarını alan Dr. Serdar GÜLTEKİN'e, X-ışınları difraktogramlarını alan Yrd. Doç. Dr. Halil GÜLER'e, SEM fotoğraflarının alınmasını sağlayan Prof. Dr. Ayten GÖÇMEN'e, zeta potansiyeli ölçümlerini alan Doç. Dr. Ahmet GÜRSES ve Yrd. Doç. Dr. Kemal DOYMUŞ'a ve çalışmalarım sırasında her türlü kolaylığı sağlayan Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin yazımı sırasında manevi desteğini esirgemeyen eşim Serap'a sonsuz teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Balıkesir, 1997

Mehmet DOĞAN



1. GİRİŞ

1.1 Perlit

Perlit, inci parlaklığında amorf yapılı camsı volkanik bir kayadır [1,2]. Ticari kullanımda ise perlit, uygun bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında genişleyen ve gözenekli bir hale gelen volkanik kaynaklı ve doğal olarak oluşan asidik bir camdır [2-4]. Perlit, küçük, yuvarlak, camsı taneciklerden oluşmuştur. Bu tanecikler içinde, sıkışmış olarak % 2-6 oranında su bulunur. Genleşmemiş perlit öğütülür ve aniden ısı işlem ile özel fırınlarda yumuşama noktasına kadar (800-1200 °C) ısıtılırsa, bu tanecikler, içlerindeki suyun buharlaşması sonucu, ilk hacimlerinin 4 ile 20 katı kadar genişler [3,5].

Perlit kimyasal olarak inert olup pH'si 7 civarındadır. Genleşmiş perlitin özgül ağırlığı 2.2-2.4 g/cm³ olup Moh's eşeline göre sertliği 5.5 ile 7 arasında değişir. Genleşmemiş perlit rengi açık griden camsı siyah renge kadar değişmektedir. Isıl işlem geçirdikten sonra perlitin rengi kar beyazı veya grimsi beyaza dönüşmektedir [3].

Perlit yataklarının bulunduğu ülkeler makro düzeyde genç volkanik faaliyetlerin yer aldığı bölgeler olmaktadır. Dünya perlit rezervleri Çizelge 1.1'de görülmektedir. Türkiye, Ege sahillerinde bulunan perlit yatakları ile dünyanın bilinen perlit rezervinin yaklaşık %70'ine (7x10¹⁰ ton) sahiptir [6].

1.1.1 Perlitin Teknik Özellikleri

Perlite önemli bir ekonomik ürün niteliği kazandıran teknik özellikler geliştirilmesinden sonra elde edilmektedir. Genleştirilmiş perlit çok sayıda kullanım alanına sahip olup bunlar perlitin fiziksel ve kimyasal özelliklerine dayanır. Perlitin ilk kullanım alanları büyük ölçüde yapı endüstrisi ile olmuştur. Bugün ise en fazla

Çizelge 1.1 Dünya perlit rezervi



ÜLKE	Rezerv	Diğer	Toplam($\times 10^6$ ton)
Kuzey Amerika			
A.B.D.	200	500	700
Meksika	5	5	10
Toplam	205	505	710
Avrupa			
Yunanistan	100	100	200
Macaristan	5	5	10
İtalya	5	5	10
Sovyetler Birliği	500	1000	1500
Diğer	15	55	70
Toplam	625	1165	1790
Asya, Afrika, Okyanusya			
Japonya	10	25	35
Yeni Zelanda	10	15	25
Türkiye	1000	3000	4000
Diğer	10	30	40
Toplam	1030	3070	4100
Dünya toplam	1860	4740	6600

yalıtımda kullanılmaktadır. Düşük ısı iletkenliği, yüksek ses absorpsiyonu, düşük dökme yoğunluğu ve ateşe dayanıklılığı nedeni ile perlitli sıvalar, geleneksel sıvalara göre birçok avantajlara sahiptir. Perlitler genellikle % 70'ten daha çok silis içerdiğinden adsorpsiyon özellikleri yüksektir [2]. Genleştirilmemiş perlitin uygulama alanı yok denecek kadar az ve ekonomik değeri de oldukça düşüktür. Bu nedenle genleşme özelliği yetersiz olan perlitler üretilmemektedir. Bazı uygulama alanlarında, perlitin yalnız bir özelliği önem kazanmakla beraber uygulama alanlarının çoğunda birden fazla özelliğinin etkili olduğu bilinmektedir.



Genleştirilmiş perlit, çeşitli uygulama alanlarında istenen şu özelliklere sahiptir.

[3]:

1) Gözeneklilik : Gözeneklilik, perlite emicilik ve yüzeyde adsorpsiyon özelliği verir. Bu özellik perlit taneciklerindeki boşluk hacminin toplam tanecik hacmine oranının ortalaması olarak tanımlanır.

2) Hafiflik: Hafiflik gözenekliliğin bir sonucu olarak ortaya çıkmakta ve özellikle prefabrik yapı malzemesi ve dolgu malzemelerinde önem taşımaktadır.

3) Isı ve Ses Yalıtıcılık: Isı ve ses yalıtıcılık özelliği, hafiflik gibi gözenekli yapının sonucu olarak belirir ve kendi başına perlit kullanımını özendiren en önemli faktördür.

4) Kimyasal inertlik: Perlit kararlı kimyasal yapısı ile, kimyasal reaksiyonlara girmeyen ve suda çözünmeyen bir maddedir. Bu özelliğinden dolayı perlit çeşitli kimyasal maddelerle birlikte, onları etkilemeden kullanılabilen, ayrıca fiziksel özellikleriyle de katkıda bulunmaktadır.

5) Yanmazlık: Anorganik bir yapıya sahip olan perlit, özellikle hafiflik ve yalıtıcılıkta kendisine rekabet edebilecek organik kökenli yapay malzemelere oranla yanmazlık üstünlüğüne sahiptir. Yanmazlık özelliği yanında, yüksek sıcaklıklara uzun süre bozulmadan dayanabilme ve ısı yalıtıcılık özellikleri bulunduğu için, yangında zarar görmesi istenmeyen önemli yapı elemanlarının korunmasında kullanılır.

1.2 Asit Aktivasyonu

Asit aktivasyonu, mineralde zaten bulunan özelliklerin mineralin tabakalı kristal yapısını bozmadan iyileştirilmesi işlemidir. Asit işleminde amaç, gözenek yarıçapının adsorplanacak madde moleküllerinin gözenekten içeriye girmesini engellemeyecek ölçüde büyük olmasını sağlayacak biçimde gözenek boyutu dağılımını değiştirmektir [7,8].

Asit aktivasyonu sırasında kristal örgüde bulunan K^+ , Na^+ ve Ca^{2+} kationlarının yanında, Al^{3+} , Fe^{3+} ve Mg^{2+} kationlarının da H^+ iyonları ile yer değiştirerek uzaklaştığı bulunmuştur [7].



Asit ile aktifleştirme işlemi, yaş ve kuru yöntem olmak üzere iki şekilde yürütülür [7]:

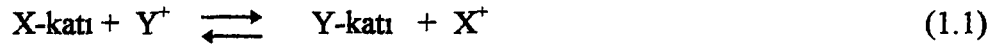
1) Yaş yöntem ile aktifleştirme: 110 °C 'de önceden kurutulmuş, öğütülmüş katı örneği, çeşitli derişimlerdeki mineral asitle belli bir asit/katı oranı olacak şekilde karıştırılarak geri soğutuculu, karıştırılmalı bir tepkime kabında kaynama sıcaklığında belli bir süre bekletilir. Bu amaçla çoğunlukla HCl ve H₂SO₄ kullanılmaktadır. Daha sonra süzülür, yıkama suyunun pH'si 3.0-3.5 olana kadar (yıkama suyu Cl⁻ ya da SO₄⁻² iyonu içermeyene kadar) yıkanır. Yıkanan H-katı 105 °C 'de bir gece kurutulduktan sonra istenilen tane boyutuna öğütülür. Burada H-katı, H⁺ ile iyon değişimine sokulmuş örnektir.

2) Kuru yöntem ile aktifleştirme: Katı örnek, ölçülü miktarlarda mineral asitlerle iyi bir karıştırmayı sağlayacak kadar su ile karıştırılarak, 110 °C 'de bir fırın içinde belli bir süre ısıtılır. Fırından çıkarılan katı örnek henüz sıcakken su ile karıştırılıp suyu süzülür ve daha sonra yaş yöntemde belirtilen yöntemler uygulanır.

Kuru yöntem, yaş yöntemine göre daha az asit kullanılmasından dolayı daha etkilidir [7].

1.3 Katyon Değişim Kapasitesi

Bir katı, belirli bir elektrolit çözeltisi içine konulduğunda katı iyonları ile elektrolit iyonları arasında iyon değişimi tepkimesi olmaktadır:



Bir katıda bulunan toplam değişebilir katyonların miktarı *katyon değişim kapasitesi* olarak tanımlanır [7,9]. Katyon değişim kapasitesi (KDK), kolaylıkla değişebilir durumda bulunan katyonların toplam miktarını gösterir [10] ve genellikle 100 gram örnek başına milieşdeğer gram cinsinden verilir [7,9,10].

Katılarda belirlenen değişebilir katyonların cins ve miktarları çoğunlukla örneğin, kimyasal ve mineralojik özelliklerine bağlıdır [10]. Katıda en yaygın



değişebilir katyonlar, bağıl çoklukları sırasında Ca^{+2} , Mg^{+2} , H^+ , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Al^{+3} 'dir [7,9,10].

Katyon değişiminin ana nedenleri şunlardır [10] :

- 1) Silikat minerallerinin kafes yapıları arasındaki izomorf yer değiştirmelerden,
- 2) Minerallerin kenarlarındaki ve dış yüzeylerindeki kırılmış bağlantılardan,
- 3) Organik bileşiklerdeki asit tepkimeli grupların dissosiyeye olmalarından,
- 4) Parçacıkların yüzeyinde gerçekleşen kimyasal tepkimeler sonucu özellikle belli iyonların absorbe edilmelerinden oluşur.

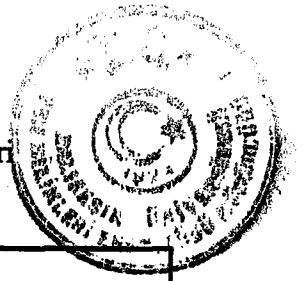
Katyon değişim kapasitesi yalnızca yüzey alanı büyüklüğüne bağlı olmayıp bundan daha çok yüzeyin türüne ve kimyasal bileşimine bağlıdır [7,9].

Katyonlardan özellikle potasyum ve amonyum kil minerallerinde değiştirilemez biçimde sorplanırlar. Buna *K-sabitleşmesi* veya *NH₄-sabitleşmesi* denir. Sabitleşme terimi, normal katyon değişimi koşullarında o iyonun diğeri ile değişmemesini gösterir. Bu, özellikle toprağın gübrenmesinde önemlidir. Killi topraklarda sabitleşmiş olan katyonlar, çözünebilir tuzlarla değişime girmezler ve yağmur veya sulama suyu ile toprağın derinliklerine gitmezler. Bitkiler topraktaki potasyum iyonlarının çoğunu alarak bunların yerine hidrojen iyonları verirler. Böylece toprak asitli olur ve bitkinin besin alması güçleşir.

Bazı kil minerallerinin katyon değişim kapasiteleri Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Killerde en yaygın değişebilir anyonlar ise bağıl çoklukları sırası ile SO_4^{-2} , Cl^- , PO_4^{-3} , NO_3^- dir. Anyon değişimi, kil minerallerinin kenar kısımlarında olur. Bu nedenle kaolinit gibi katyon değişimi kırık bağlardan ileri gelen kil minerallerinde katyon ve anyon değişim kapasiteleri birbirine eşit olmalıdır. Montmorillonit gibi katyon değişimi temel düz yüzeylerdeki örgü yerdeğiştirmelerinden ileri gelen kil minerallerinde ise anyon değişim kapasitesi (ADK), katyon değişim kapasitesinin yalnızca küçük bir kesri kadardır.

Çizelge 1.2 Bazı kil minerallerinin katyon değişim kapasiteleri



Kil minerali	KDK (meg/100 g kil)
Kaolinite	3 - 15
Haloysit.2H ₂ O	5 - 10
Haloysit.4H ₂ O	40 - 50
Smektit (montmorillonit)	80 - 150
İllit	10 - 40
Vermikülit	100 - 150
Klorit, Sepiyolit,	10 - 40
Attapulgit	10 - 40

1.4 Yüzey Alanı

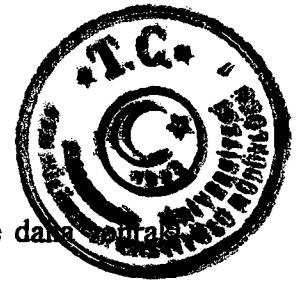
Yüzey alanı katı yüzeyinin bir molekül kalınlığında adsorplananla kaplanması halinde adsorplananın toplam kesit alanı olarak tanımlanmakta ve m²/g birimi ile verilmektedir [7].

Katıların özgül yüzey alanlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan metot, BET (Brunauer, Emmett ve Teller) metodudur. Bu metot, gazın katı üzerindeki fiziksel adsorpsiyonu ve tek tabaka kapasitesinin (V_m) belirlenmesini kapsar. BET eşitliği aşağıda verilmektedir;

$$\frac{P/P_0}{V_a(1-P/P_0)} = \frac{1}{V_m \cdot C} + \frac{C-1}{V_m \cdot C} \times \frac{P}{P_0} \quad (1.2)$$

Burada;

V_m : adsorplayıcının yüzeyini tek tabaka şeklinde kaplayacak adsorplananın standart şartlardaki hacmi (mL),



V_a : adsorplanan gazın hacmini,

C : birinci tabakadaki moleküllerin adsorplanma zamanları ile ikinci ve daha sonraki tabakalardaki moleküllerin adsorplanma zamanları arasındaki oranı,

P : adsorpsiyon denge basıncını (torr),

P_o : adsorplananın deney sıcaklığındaki doymuş buhar basıncını (torr) gösterir.

$P/P_o / V_a(1-P/P_o)$, P/P_o 'a karşı grafiğe geçirilirse, düz bir doğru elde edilir. Doğrunun eğim ve kayma değerlerinden V_m bulunur. V_m 'den spesifik yüzey alanını hesaplamak için, yüzeyi bir molekül kalınlığındaki bir tabaka şeklinde kaplayacak alan bilinmelidir. Azot moleküllerinin kesit alanı 16.27 \AA^2 olduğuna göre adsorplayıcının spesifik yüzey alanı,

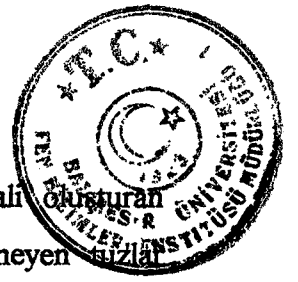
$$a_s = 6.023 \times 10^{23} \times 16.27 \times 10^{-20} \times V_m / 22414 \quad \text{m}^2/\text{g} \quad (1.3)$$

eşitliği ile verilir [1,11].

1.5 Elektrokinetik Olaylar

Elektrik yüklü bir yüzey ile bunu çevreleyen çözeltinin birbirine göre hareketleri elektrokinetik olayları meydana getirir [12]. Bir madde sisteminde elektrik yüklü kısımlar (iyon veya elektron) büyük bir yer işgal ediyorsa, bu sistem, elektrokimyasal sistem olarak kabul edilir. Böyle bir sistemin kimyasal yapısını incelemek için, yüklü kısımların meydana getireceği elektriksel etkiler dikkate alınmalıdır [13].

Su içine konulmuş bir katının yüzeyinden, elektrik yüklü kısımlar (iyonlar) ara yüzey boyunca denge durumuna erişinceye kadar sıvı faza geçerler. İyonların çözeltiliye geçmesi, çözeltinin doymuş duruma geçişine kadar devam eder. Katı ve çözeltili fazı arasındaki ara yüzey, sadece elektrik yüklü kısımların katı ve çözeltili fazına geçmesine müsaade eden yarı geçirgen bir zar gibi düşünülebilir. İyonların katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya geçişi, katı yüzeyinin belirli işaret ve değerlerde elektrik yükü kazanmasına sebep olur. Yüzey elektrik yükünü tayin eden ve değiştiren iyonlara *potansiyel tayin eden iyonlar* denir. Mineral yüzeyine kemisorbe olmuş iyonlar yüzey



yükünü oluştururlar [13,14]. Potansiyel tayin eden iyonlar, minerali oluşturan iyonlar, H^+ ve OH^- iyonları, mineral yüzeyindeki iyonlar ile çözünmeyen iyonlar oluşturulan kollektör (toplayıcı) iyonlar veya mineral yüzeyindeki iyonlar ile kompleks iyonlar oluşturabilen iyonlar olabilir. Bir mineral üzerindeki yüzey yükü, potansiyel belirleyici iyonların mineral yüzeyi üzerindeki adsorpsiyon yoğunluğu ile belirlenir [14].

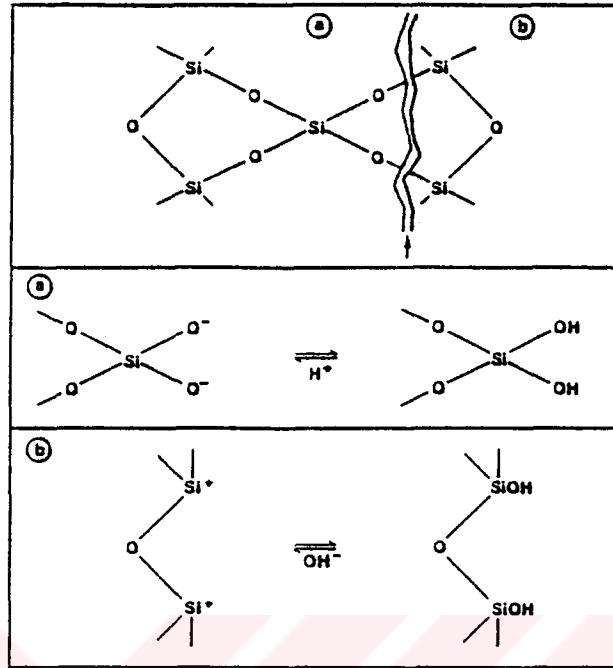
1.5.1 Elektriksel Çift Tabaka

Katı madde kırılıp suya konulduğu zaman, su içinde başka iyonlar bulunmasa bile, katı maddeden suya geçen iyonlar ve suyu meydana getiren H^+ ve OH^- iyonları sebebi ile katı madde yüzeyi pozitif veya negatif işaretli bir elektrik yükü kazanır ve bunu çevreleyen su, çeşitli iyonları içeren bir çözelti durumunu alır (Şekil 1.1).

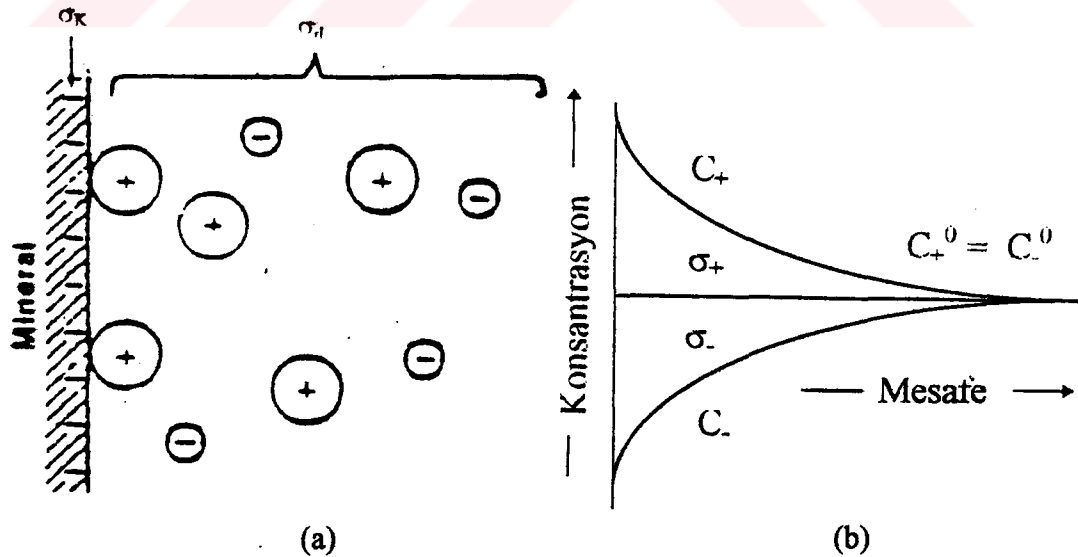
Bu durumda, Coulomb kanununa göre, mineral yüzeyi ile zıt işaretli iyonlar mineral yüzeyi tarafından çekilirler. Böylece çözelti içindeki iyonların bazılarının konsantrasyonu katı yüzeyi civarında artar, bazılarınınki azalır.

Su veya bir çözelti içine konulan katı madde yüzeyinin elektriksel bir yük kazanması, potansiyel tayin eden iyonlar dolayısı ile meydana gelmektedir. Yüzeyle zıt işaretli iyonlar, yüzey yakınında toplanarak, yüzey elektrik yükünü (σ_K) dengelemeye çalışacaklardır. Yüzey yakınında, yani katı-sıvı arayüzeyinde toplanan bu iyonlara, *dengeleyici iyonlar (counterions)* adı verilir (Şekil 1.2).

Dengeleyici iyonların, yüzey civarında artan konsantrasyonları, yüzeyden uzaklaştıkça azalarak, çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir. Zıt işaretli iyonların yüzeye toplanması ile mineral yüzeyi potansiyeli (ψ_0) yüzeyden uzaklaştıkça azalır. Kimyasal dengeye erişildiğinde, katı yüzeyindeki elektrik yükü (σ_K) dağılmış iyonların meydana getirdiği elektrik yükü (σ_D) ile dengelenmiş olacaktır. Yani mineral yüzeyi potansiyeli (ψ_0) sıfıra inecektir. Bu durum, bir kondansatörün zıt elektrik yüklü levhalarına benzetilerek, *elektriksel çift tabaka* adını almıştır.

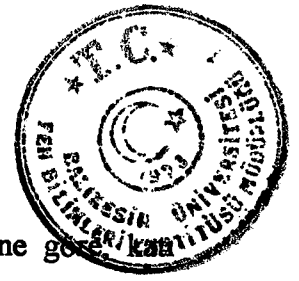


Şekil 1.1 Sulu çözeltideki bir mineral yüzeyinde elektrik yükünün oluşumunu gösteren mekanizma



Şekil 1.2 Elektriksel çift tabaka ve özellikleri

- Yüzeydeki elektrik yükü (σ_K) ve onu dengeleyen dağılmış iyonlar (σ_D),
- Anyon ve katyonların, ara yüzeyden uzaklaştıkça simetrik değişimi,



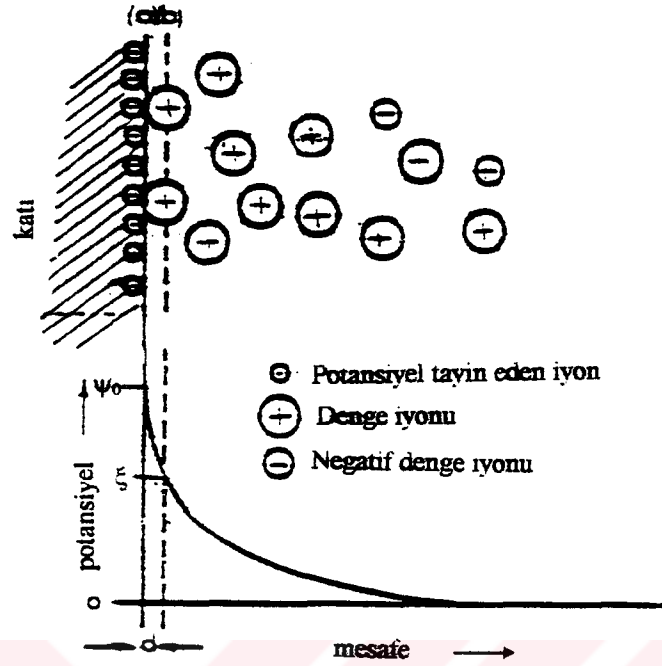
Genel olarak, iyon konsantrasyonuna ve iyonların değerliklerine göre yüzeyindeki dağılmış iyonlar tabakasının kalınlığı değişir. Bu kalınlık, çözeltideki iyonların elektrokimyasal potansiyeli dengesinden faydalanılarak hesaplanabilir.

Dağılmış iyonlar tabakasında bulunan iyonlar, potansiyeli tayin eden iyonların yüzeyde meydana getirdiği potansiyeli, elektriksel çift tabaka içinde azaltarak sıfıra indirirler. Şayet çözeltinin konsantrasyonu artarsa, potansiyel çok daha hızla azalır. Yani konsantrasyon arttıkça, dengeleyici iyonlar çok daha yoğun olarak yüzey civarında bulunurlar ve elektriksel çift tabakanın kalınlığı azalır.

Stern modeline göre, zıt-yüklü iyonlar mineral yüzeyine kendi boyutları veya hidrasyon kütlelerinin müsaade edeceği kadar yaklaşabilir. Yüzeye komşu zıt-yüklü iyonların yük merkezi boyunca geçen düzlem *Stern düzlemi* olarak tanımlanır. Stern düzlemi katı yüzeyine hemen hemen bir molekül kalınlığı mesafede düşünülen hayali bir düzlemdir. Burada bulunan zıt işaretli iyonlar, yüzey potansiyelini doğrusal olarak azaltırlar. Stern tabakasına komşu olan tabaka, zıt-yüklü iyonların difüz tabakası olup buna *Gouy tabakası* denir. Gouy tabakasında potansiyel azalışı doğrusal değildir. Daha uzun mesafede azalarak sıfıra düşer; yani iyon konsantrasyonu yüzeyden uzaklaştıkça azalarak, çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir (Şekil 1.3) [13,14].

Stern modeli hem anyonların hem de katyonların mineral yüzeyinde zıt-yüklü iyon olarak adsorpsiyonunu açıklamak için kullanılmaktadır [14].

Bir çift tabakaya sonsuz sayıda katyon giremez. Çünkü; negatif yüklü tanecik, katyonları kendine çekerken, sayıları artan katyonlar arasında bir itme kuvveti oluşmaktadır. Bir süre sonra çift tabakada bir iyon değişimi oluşur ve bu o noktadaki elektrik yüküne bağlıdır. Negatif yüklü tanecik yüzeyinde katyon konsantrasyonu en yüksek değere sahip iken, anyon konsantrasyonu en düşük değere sahiptir [12].



Şekil 1.3 Stern'e göre elektriksel çift tabaka modeli: a: Katı yüzeyi, b: Stern düzlemi, ψ_0 : katı yüzeyi potansiyeli, ξ : katı yüzeyinin ölçülebilir potansiyeli.

Elektriksel çift tabakadaki zıt-yüklü iyonlar, potansiyel belirleyici iyonların kemisorpsiyonundan sonra mineral yüzeyine gelip tutunan bütün iyonlar olabilir. Eğer zıt-yüklü iyonlar sadece elektrostatik çekim ile adsorplanırlarsa bunların çözeltideki kaynağı *indifferent elektrolitler* olarak adlandırılır. Eğer zıt-yüklü iyonlar mineral yüzeyine karşı özel bir ilgiye sahipse, fakat kemisorplanmıyorsa, bunlar *spesifik olarak adsorplanmış iyonlar* olarak adlandırılır. Spesifik olarak adsorplanmış iyonlar yüzeyde kuvvetli bir şekilde adsorplanırlar. Çünkü, kovalent bağ oluşumu ve solvasyon etkileri gibi olaylar meydana gelir. Hidrate olmuş çok değerlikli metal kationları ve bunların hidroksi kompleksleri ile bazı flotasyon kollektörlerinin adsorpsiyonu spesifik adsorpsiyonun bazı örnekleridir [14].

Yüzey yükünün sıfır olduğu şartlar özel bir öneme sahiptir. Yüzey yükünün sıfır olduğu noktada potansiyel belirleyici iyonların aktifliği, mineralin *sıfır yük noktası* (point of zero charge, pzc) olarak adlandırılır. Eğer H^+ ve OH^- iyonları potansiyel belirleyici iyonlar ise pzc, pH'ye göre ifade edilir. pzc değerinin altındaki pH'lerde



katımın yüzeyi pozitif işaretli, bunun üstündeki pH'larda ise yüzey negatif işaretlidir [12,14].

1.5.2 Elektrokinetik Potansiyel

Mineral yüzeyine göre çözelti hareketi meydana geldiği zaman Stern ve Gouy tabakaları arasındaki sınıra yakın bir düzlemde bir kesilme olur. Bu Stern tabakasındaki iyonların mineral yüzeyine yapışık kalması ve Gouy (difüz) tabakasındaki iyonların çözelti ile taşınması anlamına gelir [14].

Yüzey yükü ölçülememesine rağmen, yüzey ve çözelti arasındaki potansiyel farkı yani yüzey potansiyelini belirlemek mümkündür [14]. Katı yüzeyinin ölçülebilen potansiyeli *zeta potansiyeli* ya da *elektrokinetik potansiyel* olarak adlandırılır [12-14]. Zeta potansiyeli kayma (Shear) düzlemindeki elektriksel potansiyeldir. Şekil 1.4 'ten görüleceği üzere zeta potansiyeli daima yüzey potansiyelinden küçüktür [14]. Zeta potansiyelinin çözelti pH'si ile genel olarak değişimi Şekil 1.4 'te verilmiştir [12-14]. Zeta potansiyelinin sıfır olduğu nokta *izoelektrik nokta (iep)* olarak tanımlanır [14].

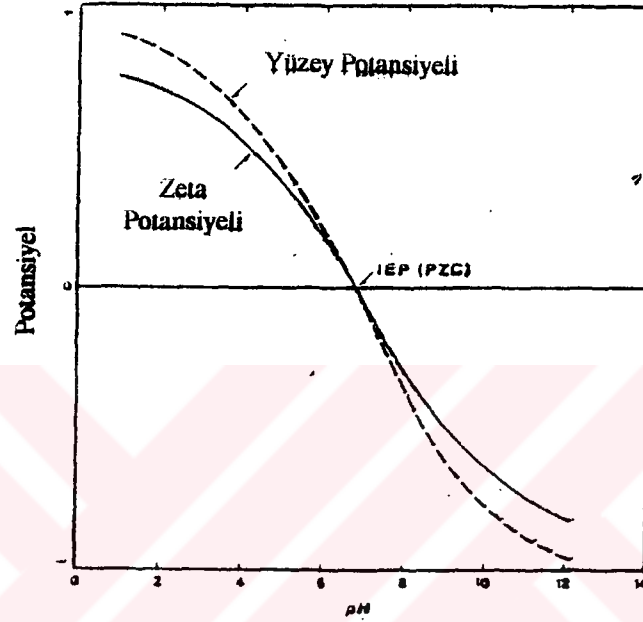
Kayma düzlemi ile Stern düzleminin üst üste çakıştığı kabul edilirse, zeta potansiyelinin ölçümü, meydana gelen adsorpsiyon olayının anlaşılmasını sağlayabilir. Kayma düzlemi ile Stern düzlemi arasındaki potansiyel farkın çift tabaka boyunca toplam potansiyel farka kıyasla küçük olduğu için bu kabul doğrudur. Bu kabulden mineral sistemlerinin yüzey kimyası ve flotasyon, flokülasyon ve aglomerasyonda meydana gelen yüzey olayları incelenirken yararlanılmaktadır [14].

Küçük tanelerin oluşturduğu süspansiyon sistemleri elektrokinetik ölçümler ile anlaşılır ve kontrol edilebilir. Örneğin; zeta potansiyeli değerleri ± 15 mV'den yüksek olan taneler dispersiyon, yani dağılma özelliği, ± 15 mV'ın altındaki yüklerde ise aglomerasyon yani çökeltme özelliği gösterirler.



Tanelerin yüzey yüklerini değiştirmek için üç yöntem kullanılabilir:

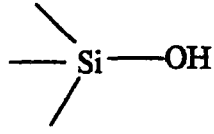
- a) pH değişimi,
- b) Çeşitli iyonların ilavesi,
- c) Yüzey aktif maddelerin ilavesi.



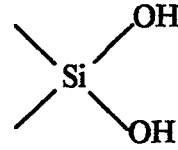
Şekil 1.4 Bir mineral-çözelti ara yüzeyinde yüzey potansiyeli ve zeta potansiyeli üzerine potansiyel tayin eden iyonun etkin konsantrasyonunun etkisi

1.5.3 Yüzey Reaksiyonları

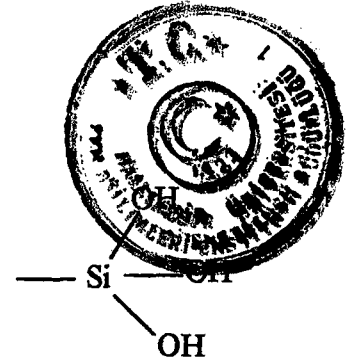
Yüzeydeki silisyum atomları oksijen ile tetrahedral koordinasyonlarını koruma eğilimindedirler. Silisyum atomları oda sıcaklığında koordinasyonlarını, silanol grupları oluşturmak üzere tek değerli hidroksil gruplarına tutunmak sureti ile tamamlarlar. Teorik olarak bir silisyum atomunun iki veya üç hidroksil grubuna bağlandığı ve silandiol ve silantriol gruplarının oluştuğu bir model düşünmek mümkündür. Ancak silantriol gruplarının silisyum yüzeyinde bulunmalarının imkansız olduğu belirtilmektedir. Silanol gruplarının tipleri aşağıda görülmektedir [1];



Hidroksil ya da silanol grupları

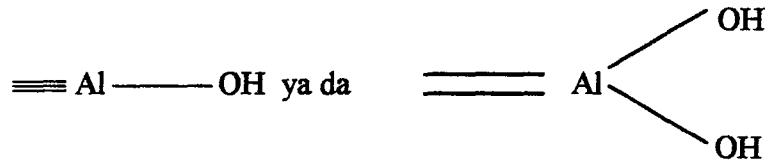


Silandiol grupları



Silantriol grupları

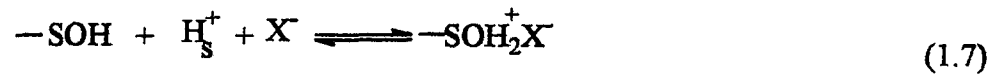
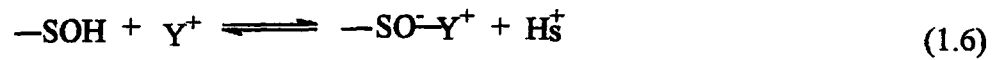
Alüminadaki hidroksit grupları şöyle verilmektedir [15]:

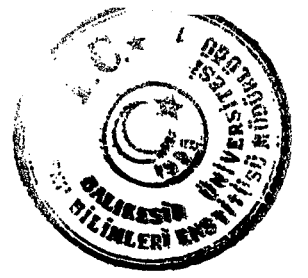


Bir elektrolit çözeltisi içinde, ortamdaki elektrolit iyonlarının spesifik adsorpsiyonunun meydana geldiği ve yüklü yüzey gruplarından oluşan yüzey iyon çiftleri oluştuğu kabul edilir. Elektrolit iyonlarının spesifik adsorpsiyonunu açıklamak için Yates ve grubu yüklü yüzey bölgelerinde iyon çiftlerinin oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Basit bir elektrolit sistemi içindeki bir oksit için aşağıdaki reaksiyonlar yazılabilir [16,17]:



Davis ve gurubu bu reaksiyonları, kompleks iyonlaşma reaksiyonları şeklinde yazmanın daha doğru olduğunu ileri sürmüşlerdir [17].

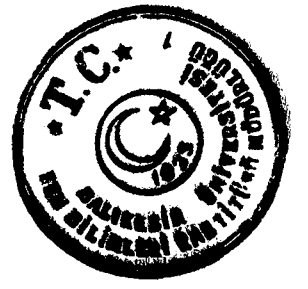




Burada s yüzeyi göstermektedir.

1.6 Çalışmanın Amacı

Perlitin birçok kullanım alanının olduğu, gün geçtikçe kullanım alanı çeşitliliğinin arttığı ve dünya perlit rezervinin yaklaşık % 70'inin Türkiye'de olduğu göz önüne alındığında, perlitin ülkemiz için önemli bir cevher olduğu anlaşılmaktadır. Perlitin kullanım alanının belirlenebilmesi için fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi gerektiği açıktır. Bununla beraber ülkemizde bu konuda yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu ve perlitin çoğunlukla yapı malzemesi olarak değerlendirildiği bilinmektedir. Bu hususlar dikkate alınarak perlitin önemli fizikokimyasal özelliklerinin araştırılması gerektiği düşünülmüştür. Bu amaçla genişmiş ve genişmemiş perlit örneklerinden asitle aktifleştirilmiş örnekler hazırlanmış, hazırlanan bu örneklerin katyon değişim kapasiteleri, yoğunlukları ve spesifik yüzey alanları belirlenmiş, ayrıca bu örneklerin İnfrared spektrumları, X-ışınları difraktogramları alınmış ve SEM fotoğrafları çekilmiştir. Böylece hem genişme ve hem de asitle aktifleştirme sırasında yapıda meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Bunlara ilave olarak, gerek kataliz gerekse adsorpsiyon olaylarında önemli bir rol oynaması nedeni ile, perlit yüzeyinin elektrokinetik özellikleri araştırılmış, çeşitli elektrolit çözeltilerinde meydana gelen yüzey reaksiyonları tartışılmıştır.



2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1 Perlit Örneklerinin Temini

Çalışmada kullanılan genleşmiş ve genleşmemiş perlit örnekleri Etibank Halıköy Maden İşletmesi Müessesesi Perlit İşletme Müdürlüğü'nden (Cumaovası, İzmir) temin edilmiştir. Perlitin kimyasal analizi ve bazı fiziksel özellikleri Uluatam [6] tarafından incelenmiş olup sonuçlar Çizelge 2.1 ve 2.2'de verilmektedir.

2.2 Perlit Örneklerinin Arındırılması

Perlit örneklerini safsızlıklardan ayırmak için % 1 'lik perlit süspansiyonu hazırlanarak 24 saat süre ile oda sıcaklığında magnetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Daha sonra 1-2 dakika dinlendirilmeye bırakılmış ve bunun ardından dekantasyon işlemi ile orta kısmındaki faz, bir başka kaba aktarılmıştır. Böylece perlit örnekleri dibe çöken safsızlıklardan ayrılmış ve daha sonra su trompu yardımı ile beyaz band süzgeç kağıdından süzölmüş ve 110 °C 'de etüvde 24 saat kurutulmuştur. Kurutulmuş örnekler daha sonra 100 mesh'lik elekten elenmiştir [9,18].

2.3 Asit Aktivasyonu

Asit aktivasyonu işlemi H₂SO₄ çözeltisi ile yaş yöntemine göre yapılmıştır. Perlit örnekleri asit aktivasyonundan önce 110 °C 'de 2 saat ısı aktivasyona uğratılmıştır.

Perlit örnekleri, asit/katı oranı 0.2, 0.4 ve 0.6 g/g olacak şekilde, % 98'lik H₂SO₄ ile karıştırılmış ve üzerine son hacim 500 mL olacak şekilde saf su eklenmiştir. Karışım Şekil 2.1'de görölen üç boyunlu, geri soğutuculu ve karıştırılmalı sistemde 110 °C'de 2 saat kaynatılmıştır. Daha sonra su trompu yardımı ile süzölen örnekler SO₄⁻² iyonu içermeyene kadar saf su ile yıkanmıştır. SO₄⁻² testi, 1 mL süzöntüye birkaç

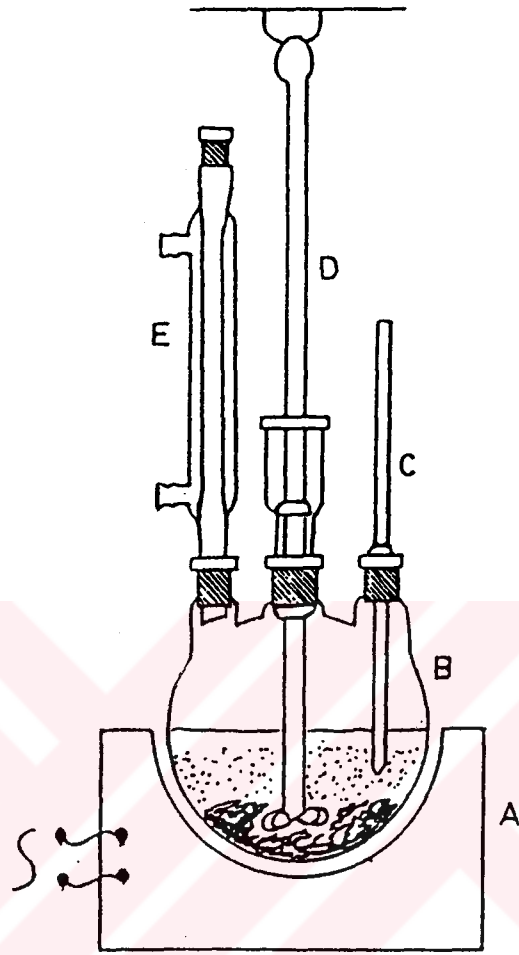


Çizelge 2.1 Perlitin kimyasal bileşimi

Bileşenler	Yüzde miktarı
SiO ₂	71-75
Al ₂ O ₃	12.5-18
Na ₂ O	2.9-4.0
K ₂ O	4.0-5.0
CaO	0.5-2.0
Fe ₂ O ₃	0.1-1.5
MgO	0.03-0.5
TiO ₂	0.03-0.2
MnO ₂	0.0-0.1
SO ₃	0.0-0.1
FeO	0.0-0.1
Ba	0.0-0.1
PbO	0.0-0.5
Cr	0.0-0.1

Çizelge 2.2 Perlitin bazı fiziksel özellikleri

Parametre	Veri
Renk	Gri, beyaz, siyah
Yumuşama noktası	800 - 1000 °C
Erime noktası	1.315 - 1.390 °C
pH	6.6 - 8.0
Özgül ısısı	0.2 kcal/kg°C
Maksimum serbest nem	% 0.5



- A : Amyanth ısıtıcı
B : Üçboyunlu balon
C : Sıçrama borusu
D : Mekanik karıştırıcı
E : Soğutucu

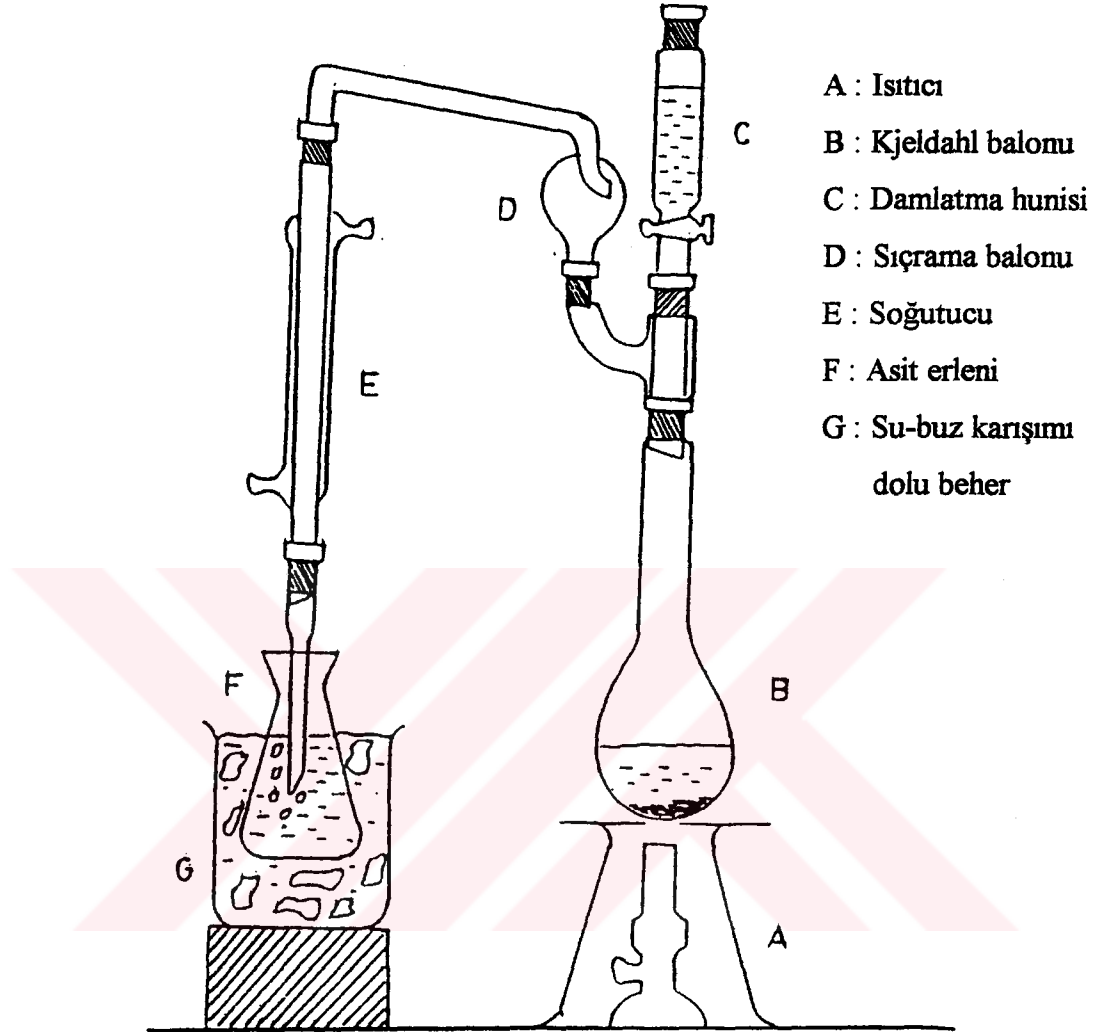
Şekil 2.1 Asit aktivasyonu düzeneği

damla $BaCl_2$ çözeltisinden damlatılarak bulanıklık oluşumu gözlenerek yapılmıştır. Sülfat iyonları giderilen pasta halindeki aktiflenmiş örnekler $105\text{ }^\circ\text{C}$ 'de etüvde 24 saat kurutulduktan sonra öğütülerek 100 mesh'lik elekten elenmiştir [7,9,18-21].

Asit aktivasyonu düzeneği Şekil 2.1'de görülmektedir.

2.4 Katyon Değişim Kapasitesinin Belirlenmesi

Katyon değişim kapasitesi (KDK) yaygın olarak " amonyumasetat " yöntemi ile belirlenir [7,9]. Ayrıca katyon değişim kapasitesi, "versenate" [22], "kondüktimetrik titrasyon" [23], "mikrometot" [24] gibi metotlar ile de belirlenebilir.



Şekil 2.2 Katyon değişim kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan düzenek

Hazırlanan perlit örneklerinin katyon değişim kapasitesi amonyumasetat yöntemi kullanılarak saptanmıştır. Kullanılan düzenek Şekil 2.2 'de görülmektedir.

Yöntem şöyle uygulanmıştır:

1 g perlit örneği 50 mL 0.1 N $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ çözeltisi ile oda sıcaklığında 30 dakika çalkalanmış ve 10 dakika dinlendirildikten sonra siyah band süzgeç kağıdından süzölmüştür. Perlit örneği $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ 'ın fazlasını uzaklaştırmak için 10 mL metanol ile yıkanmıştır. NH_4 -perlit haline gelen örnek bu kez 50 mL 0.1 N HCl ile 30 dakika



çalkalanmış bir süre bekletilip süzülen çözelti 100 mL'lik Kjeldahl balonuna alınarak 3.84 N NaOH çözeltisinden 10 mL eklenerek ısıtılmıştır. Oluşan NH_3 (su+buz) banyosuna daldırılmış bir erlen içindeki, 1-2 damla bromkrezol yeşili indikatörü içeren 60 mL 0.1 N HCl çözeltisi ile tutulmuştur. HCl'nin fazlası metil kırmızısı indikatörü eşliğinde 0.1 N NaOH çözeltisi ile geri titre edilmiştir [7,9]. Katyon değişim kapasitesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır :

$$\text{KDK} = (V_A \cdot N_A - V_B \cdot N_B) \times 100 \quad \text{meg/100g perlit} \quad (2.1)$$

Burada;

V_A : HCl çözeltisinin hacmi (mL),

N_A : HCl çözeltisinin normalitesi (N),

V_B : Sarf edilen NaOH çözeltisinin hacmi (mL),

N_B : Sarf edilen NaOH çözeltisinin normalitesi (N)'dir.

Katyon değişim kapasitesini belirlemek için kullanılan çözeltiler aşağıda verildiği şekilde hazırlanmıştır:

1) 0.1 N $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ çözeltisi : 7.7 g $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ saf suda çözüldükten sonra 1 L'ye tamamlanarak çözelti pH'si az miktarda NH_3 veya CH_3COOH ile nötrleştirilmiştir.

2) 0.1 N HCl çözeltisi : Yaklaşık 1 L saf su kaynatılıp oda sıcaklığında soğutulduktan sonra 8.15 mL derişik HCl (% 36.5'lik) ilave edildi.

3) Karbonatsız 0.1 N NaOH çözeltisi : 30 g NaOH bir erlene alınmış ve üzerine 30 mL saf su konularak çözülmüştür. Çözelti bir deney tüpüne aktarılıp ağzı sıkıca kapatılıp bir süre (15 dakika) bekletilmiştir. Tüpün üst kısmındaki berrak çözeltilerden yaklaşık 6.5 mL alınarak önceden kaynatılarak soğutulmuş saf su ile 1 L'ye tamamlanmıştır. Elde edilen yaklaşık 0.1 N NaOH çözeltisi primer standart bir asite karşı ayarlanmıştır.

4) Derişik NaOH çözeltisi (3.84 N) : 20 g NaOH daha önceden kaynatılıp soğutulmuş 130 mL saf suda çözümlenerek hazırlanmıştır.



Kasyon değişim kapasitesinin tayininde kullanılan indikatör hazırlanışı Çizelge 2.3'te verilmektedir;

Çizelge 2.3 İndikatör çözeltilerinin hazırlanışı

İndikatör	Gram	Çözücü	pH aralığı
Bromkrezol yeşili	0.1	14.3 mL 0.01 N NaOH+236 mL su	3.8-5.4
Metil kırmızısı	0.1	30 mL EtOH + 200 mL su	4.3-6.3

2.5 Yüzey Alanının Belirlenmesi

0.6 M H-Genleşmiş perlit, 0.6 M H-Genleşmemiş perlit, Genleşmiş perlit ve Genleşmemiş perlit örneklerinin spesifik yüzey alanları, 77 K'de BET N₂ adsorpsiyon tekniği kullanılarak bir Quantasorb marka cihaz ile belirlenmiştir.

2.6 Perlit Yoğunluğunun Belirlenmesi

Yoğunluk belirlemede piknometre yöntemi uygulanmıştır. 105 °C 'de kurutulmuş perlit örneği 10 mL'lik piknometreye kondu. Üzerine toluen konularak iyice karıştırıldıktan sonra, işaret çizgisine kadar tamamlandı. Tartım değerleri yardımı ile yoğunluk hesaplandı. Hesaplamalar aşağıdaki formül kullanılarak yapılmıştır [7].

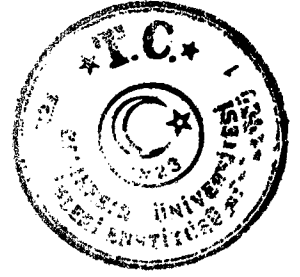
Piknometre ağırlığı : W_p

Perlit örneğinin ağırlığı : W_o

(Piknometre + perlit + sıvı) ağırlığı : W_t

Saf sıvının yoğunluğu : d_s

$$\text{Perlit hacmi} = 10.3 - \frac{W_t - (W_p + W_o)}{d_s} \quad (2.2)$$



$$\text{Perlit yoğunluğu} = \frac{W_0}{W_t - (W_p + W_0)} \cdot 10.3 - \frac{d_0}{d_0} \quad (2.3)$$

2.7 Infrared Spektrumlarının Alınması

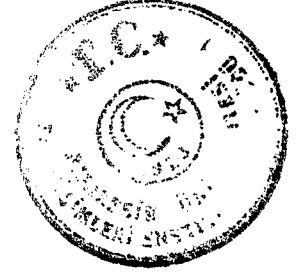
100 mesh tane boyutuna getirilmiş olan genişmiş ve genişmemiş perlit örnekleri 24 saat 120 °C 'de kurutuldu. Yaklaşık 0.0015 g ağırlığındaki kurutulmuş perlit örnekleri bir agar havanda 100 mg KBr ile karıştırıldı; 10 ton/m²'lik bir basınç uygulanarak vakum altında palet haline getirildikten sonra Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesinde bir Mattson 1000 FTIR spektrofotometresi ile Infrared spektrumları alındı.

2.8 X-Işınları Difraktogramlarının Alınması

X-ışınları difraksiyon desenleri Oradoğu Teknik Üniversitesi Fen Fakültesinde otomatik bilgisayar kontrollü Hubber-GuinierG600 difraktometresi ile alındı. Bütün X-ışınları difraktogramları için silikon, bir standart olarak kullanılmıştır.

2.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğraflarının Çekilmesi

0.6 M H-Genleşmiş perlit, 0.6 M H-Genleşmemiş perlit, Genleşmiş perlit ve Genleşmemiş perlit örneklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde JEO-JSM840 marka taramalı elektron mikroskobu ile alındı.



2.10 Elektrokinetik Ölçümler

Zeta potansiyeli ölçümleri, Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesinde, 17 ± 1 °C 'de Zeta Meter 3.0 cihazı ile yapılmıştır. Cihaz, voltaj ve tane hızını dikkate alarak taneciklerin elektroforetik mobilitelerini otomatik olarak hesaplamakta ve bunu Smoluchowski denklemine göre zeta potansiyeline dönüştürmektedir:

$$\xi = \frac{4\pi V}{D} \times EM \quad (2.4)$$

Burada;

ξ : zeta potansiyeli(mV),

D: dielektrik sabiti,

V: süspansiyon sıvısının vizkozitesi (poise),

EM: Elektroforetik mobilitedir (V/cm başına μ /s).

Ölçümler için 100 mL'sinde 1 g perlit örneği içeren süspansiyon 10 dakika karıştırılarak şartlandırıldı. Süspansiyon iri taneciklerin dibe çökmesi için 5 dakika dinlendirildikten sonra ölçüm yapıldı. Hazırlanan süspansiyonlar ile 10 ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalamaları alınmıştır. pH'nin etkisinin incelendiği deneyler hariç tüm zeta potansiyeli ölçümleri süspansiyonun tabii pH'sinde yapıldı. Süspansiyonun pH'sı seyreltik HCl ve NaOH çözeltisi ile ayarlandı. Tüm çözeltiler bidestile su kullanılarak hazırlandı [12,25-30].



3. BULGULAR

3.1 Katyon Değişim Kapasitesi, Yoğunluk ve Yüzey Alanları

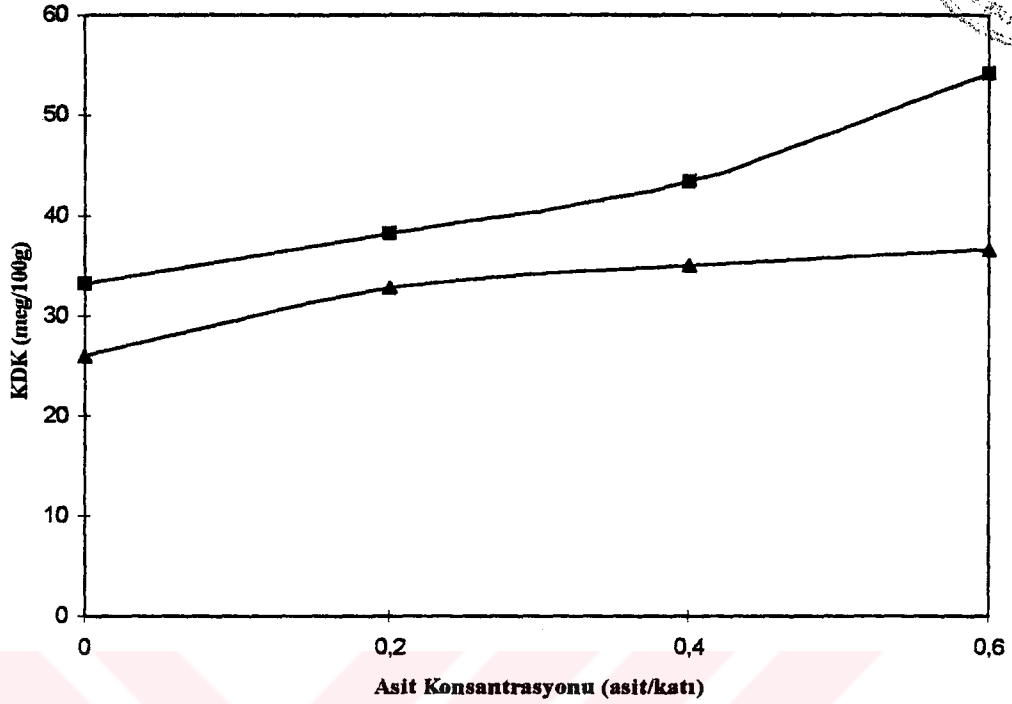
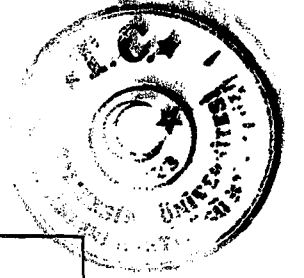
Genleşmiş ve genleşmemiş perlit örneklerinin katyon değişim kapasiteleri, yoğunlukları ve yüzey alanları Çizelge 3.1'de toplu halde verilmektedir.

Çizelge 3.1 Genleşmiş ve genleşmemiş perlit örneklerinin katyon değişim kapasiteleri, yoğunlukları ve yüzey alanları

Örnek	Kısaltma	KDK (meg/100g)	Yoğunluk (g/cm ³)	Spesifik yüzey alanı (m ² /g)
Genleşmiş perlit	EP	33.30	2.2422	2.30
0.2 M H-Genleşmiş perlit	EHP(0.2)	38.20	2.0976	
0.4 M H-Genleşmiş perlit	EHP(0.4)	43.38	2.0397	
0.6 M H-Genleşmiş perlit	EHP(0.6)	54.24	1.9290	2.33
Genleşmemiş perlit	UP	25.97	2.3047	1.22
0.2 M H-Genleşmemiş perlit	UHP(0.2)	32.79	2.3228	
0.4 M H-Genleşmemiş perlit	UHP(0.4)	35.00	2.3781	
0.6 M H-Genleşmemiş perlit	UHP(0.6)	36.56	2.4610	1.99

Perlit örneklerinin katyon değişim kapasitelerinin asit aktivasyonu ile değişimi Şekil 3.1 'de görülmektedir.

Genleşmiş ve genleşmemiş perlit örneklerinin katyon değişim kapasiteleri asit aktivasyonu ile bir miktar artarken, yoğunluklarında belirgin bir değişimin olmadığı anlaşılmaktadır. Yüzey alanlarına bakıldığında genleşmiş perlitin spesifik yüzey alanı



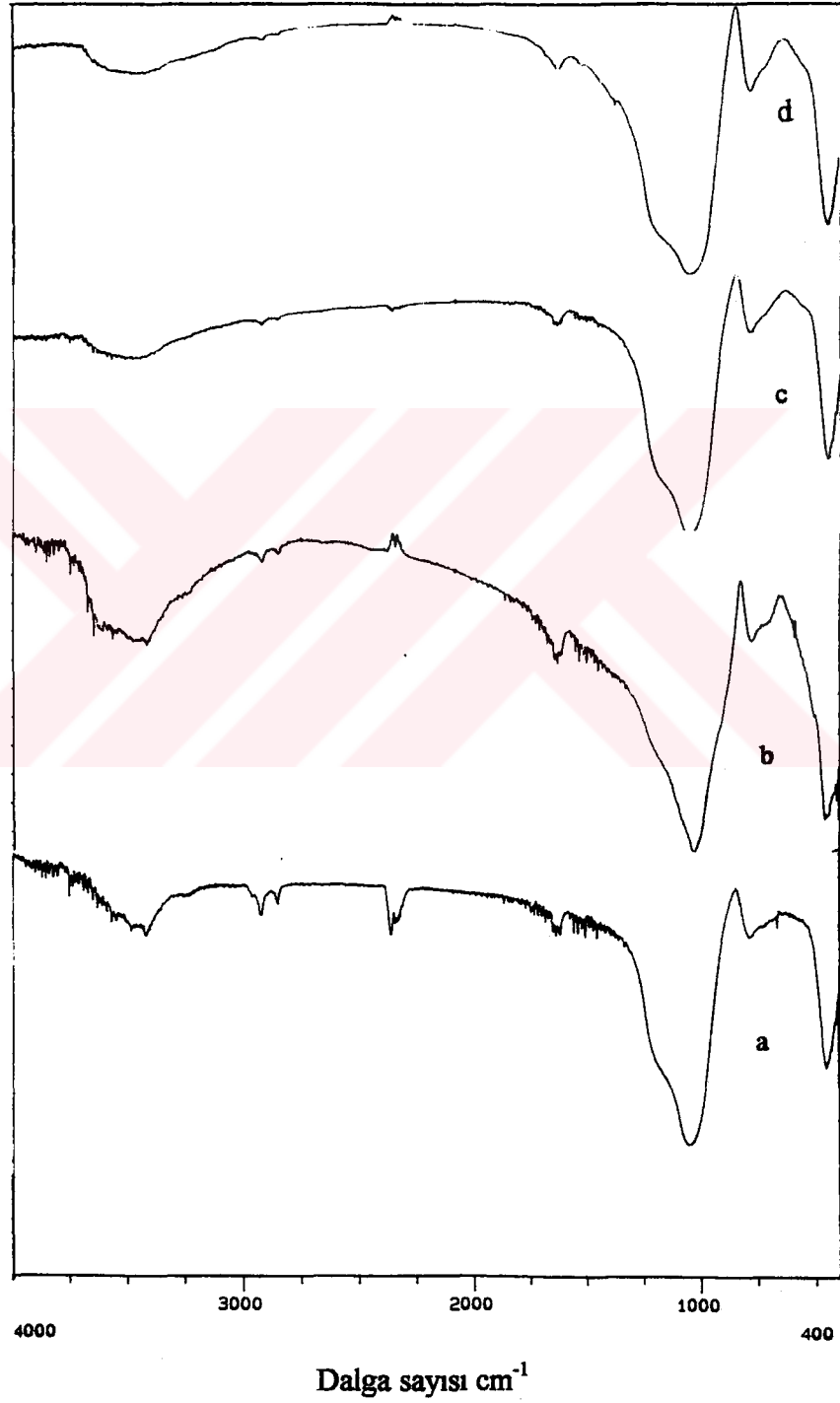
Şekil 3.1 Perlitin kation değişim kapasitesi üzerine asit aktivasyonunun etkisi

■ : Genleşmiş perlit, ▲ : Genleşmemiş perlit

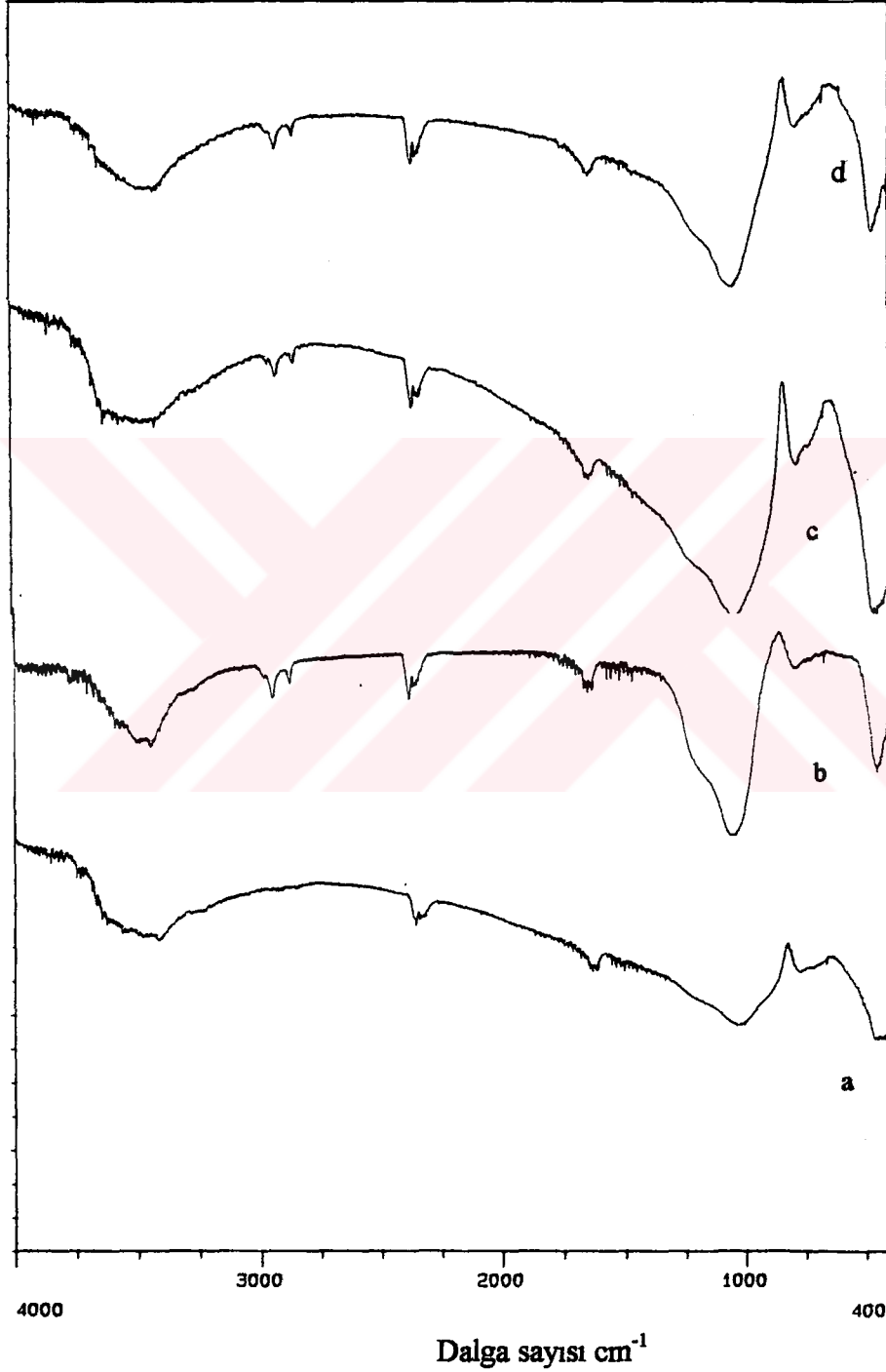
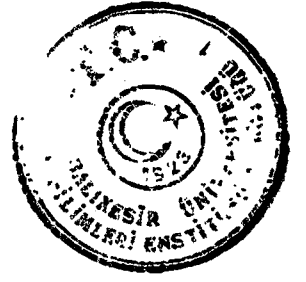
asit aktivasyonu ile hemen hemen değişmemekte, buna karşılık genleşmemiş perlitin yüzey alanı $1.22 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dan $1.99 \text{ m}^2/\text{g}$ 'a çıkmaktadır.

3.2 Infrared Spektrumları

Çizelge 3.1 'de verilen perlit örneklerinin Infrared spektrumları Şekil 3.2 ve 3.3 'te görülmektedir. Özellikle genleşmemiş ve genleşmiş perlit örneklerinin Infrared spektrumları karşılaştırıldığında bazı farklılıkların olduğu gözle çarpılmaktadır.



Şekil 3.2 Perlit örneklerinin İnfrared spektrumları; a) Genleşmiş perlit, b) 0.2 M H-Genleşmiş perlit, c) 0.4 M H-Genleşmiş perlit, d) 0.6 M H-Genleşmiş perlit



Şekil 3.3 Perlit örneklerinin İnfrared spektrumları; a) Genleşmemiş perlit, b) 0.2 M H-Genleşmemiş perlit, c) 0.4 M H-Genleşmemiş perlit, d) 0.6 M H-Genleşmemiş perlit



3.3 X-Işınları Difraksiyon Desenleri

Çizelge 3.2-3.8 'de X-ışınları difraksiyon verileri ve Şekil 3.4a ve b' de X-ışınları difraksiyon desenleri görülmektedir. Bu çizelgede;
I/I₀: gelen ışığın şiddetinin yansıyan ışığın şiddetine oranı,
d: düzlemler arası uzaklık(A°)
hkl: Miller indisi'dir.





Çizelge 3.2 $\text{CaAl}(\text{SiO}_4)\text{OH}$ (Vuagnatite) (JCPDS No: 29-289)'ün X-ışınları difraksiyon verileri

I/I_0	d (Å ⁰)	hkl
9	4.27	020
95	2.99	201
40	2.84	002
14	2.71	220
100	2.51	112
70	2.45	221
20	2.24	122
85	2.21	230
65	2.14	212
13	2.05	320
30	2.04	140
14	1.92	141
14	1.78	113
9	1.74	232
12	1.73	023
19	1.70	042
12	1.66	203
25	1.63	420
35	1.52	332

Çizelge 3.3 $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Gismondine) (JCPDS No: 20-452)'ün X-ışınları difraksiyon verileri

I/I_0	d (Å ⁰)	hkl
2	9.99	100
35	4.27	121
12	4.19	121
100	3.34	130, 300
14	3.13	013
18b	2.7	213
2b	2.51	232, 400
2b	2.40	223
4	2.24	313
6	2.13	214
2b	2.04	151
2	1.91	410
16	1.81	440
2	1.78

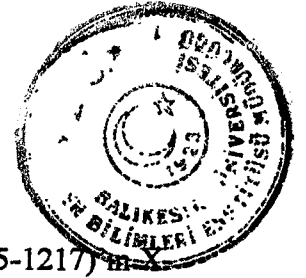


Çizelge 3.4 CaAl_2O_9 (Hibonite) (JCPDS No: 25-121)'in X-ışınları difraksiyon verileri

I/I_0	$d (\text{Å}^0)$	hkl
10	4.19
10	3.97	103
70	3.33
50	2.71	112
80	2.49	114
20	2.39	201
40	2.20	404
90	2.13	205
80	2.02	206
20	1.73	214
30	1.63	216
90	1.58	302
90	1.54	304
30	1.52	1112
100	1.40	2110
10	1.38	221
30	1.37	0016
70	1.32	1016
10	1.25	3011
60	1.23	2113
20	1.22	0018

Çizelge 3.5 SiO_2 (Stishovite) (JCPDS No: 15-26)'in X-ışınları difraksiyon verileri

I/I_0	$d (\text{Å}^0)$	hkl
100	2.96	110
18	2.24	101
14	1.87	210
50	1.53	211
18	1.47	220
10	1.33	002
4**	1.32	310
25	1.23	301
10	1.21	112



Çizelge 3.6 $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ (Fassaite, Ferroan) (JCPDS No: 25-1217)

ışınları difraksiyon verileri

I/I_0	$d (\text{Å}^0)$	hkl
10	3.67	111
5	3.34	021
100	2.98	221
40	2.93	310
100	2.55	202
70	2.50	221
30	2.20	222
30	2.13	330
30	2.09	421
60	2.01	041
15	1.83	422
5	1.81	332
30	1.73	150
30	1.66	313
30	1.63	223
30	1.61	441
30	1.52	351
30	1.40	352
40	1.27	404

Çizelge 3.7 $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (Chrysotile-2orel) (JCPDS No: 25-645)'ın X-ışınları

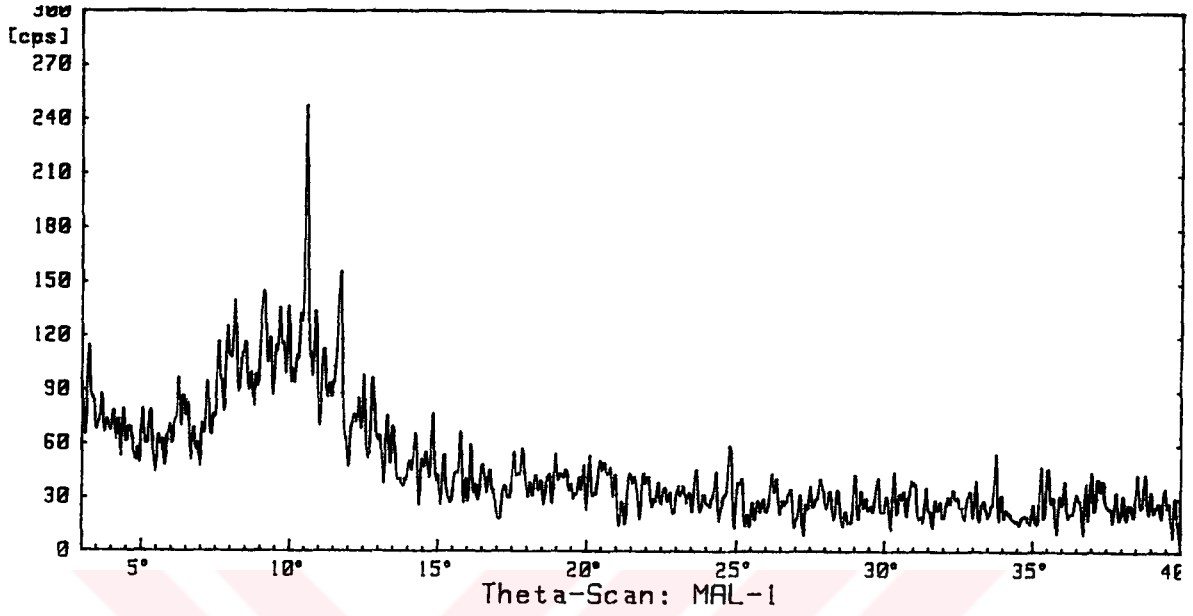
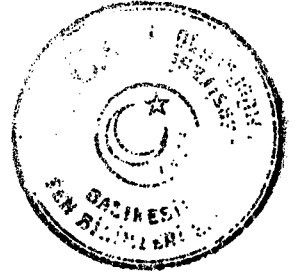
difraksiyon desenleri

I/I_0	$d (\text{Å}^0)$	hkl
100	3.66	004
50	2.60	033
25	2.55	210
63	2.50	202
81	2.45	006
50	2.09	007
50	1.74	310
81	1.53	060
38	1.46	0010
50	1.31	0111
50	1.31	071

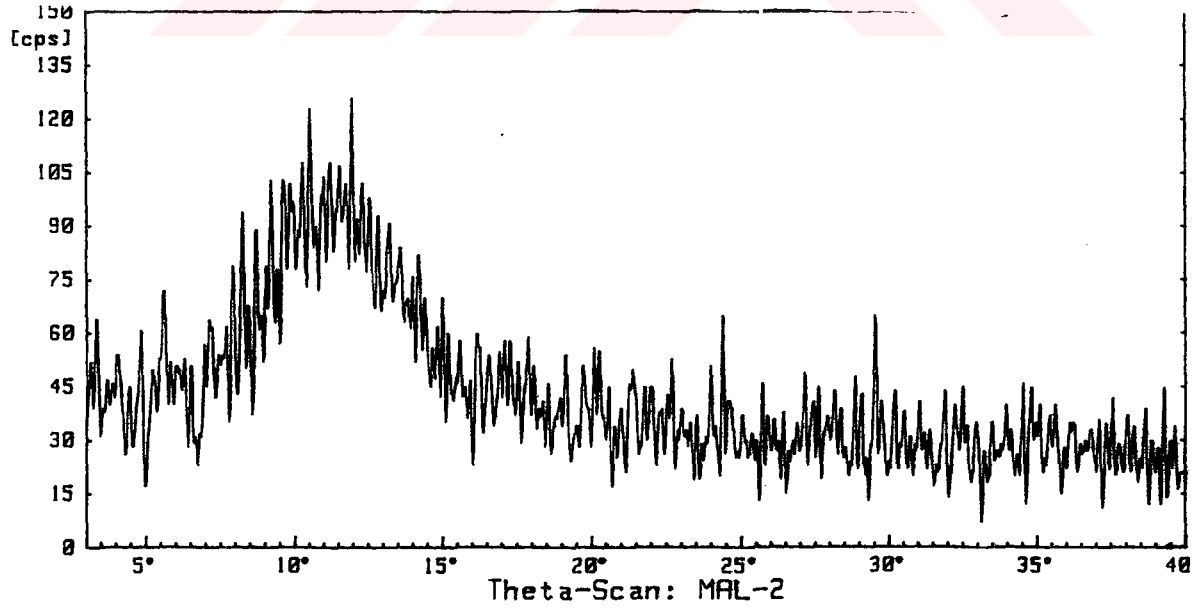


Çizelge 3.8 NaAlSi₂O₆H₂O (Analcime) (JCPDS No: 19-1180)'ın X-ışınları difraksiyon verileri

I/I ₀	d (Å ⁰)	hkl
100	5.60	211
33	4.85	220
27	2.69	431, 510
23	2.50	521
3	2.16	620
3	2.02	631
13	1.86	633
3	1.83	642
33	1.74	732, 651
10	1.69	741
3	1.66	820
10	1.41	932
13	1.35	1011



(a)



(b)

Şekil 3.4 Perlit örneklerinin X-ışınları difraksiyon desenleri; a) Genleşmiş perlit,
b) Genleşmemiş perlit



3.4 Elektrokinetik Ölçümler

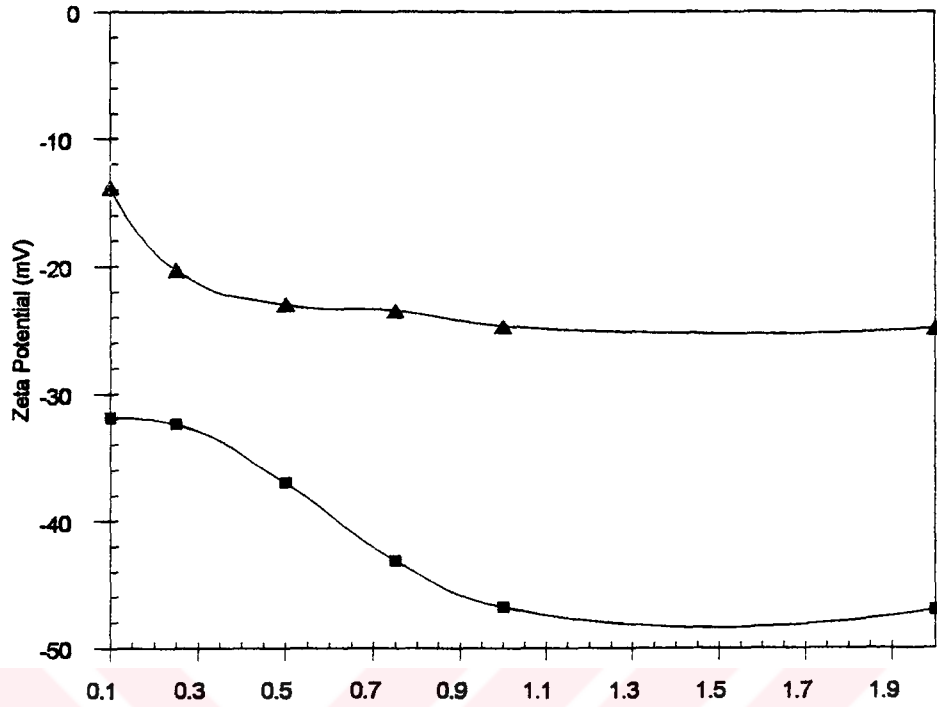
Perlit örneklerinin zeta potansiyelleri üzerine, katı konsantrasyonu, süspansiyon pH 'sı, elektrolit konsantrasyonu ve asit aktivasyonunun etkisi incelenmiştir.

3.4.1 Katı Konsantrasyonunun Zeta Potansiyeline Etkisi

Perlitin zeta potansiyeli üzerine katı konsantrasyonunun etkisi, saf su kullanılarak hazırlanan 1.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 ve 20.0 g/L konsantrasyonlarındaki perlit süspansiyonlarının, 17 ± 1 °C 'de zeta potansiyelleri ölçülmek suretiyle incelendi.

Çizelge 3.9 Perlitin zeta potansiyelinin katı/sıvı oranı ile değişimi

Örnek	Katı/sıvı oranı (g/L)	Zeta potansiyeli (mV)
Genleşmemiş perlit	1	- 13.8
	2.5	- 20.3
	5	- 23
	7.5	- 23.5
	10	- 24.7
	20	- 24.9
Genleşmiş perlit	1	- 31.9
	2.5	- 32.4
	5	- 37
	7.5	- 43.1
	10	- 46.8
	20	- 47



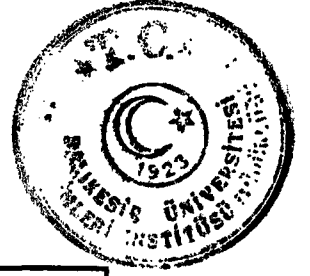
Katı Konsantrasyonu (g/100mL)

Şekil 3.5 Genleşmiş(■) ve genleşmemiş(▲) perlitin zeta potansiyeline katı konsantrasyonunun etkisi

Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.9 'da verilmiş ve Şekil 3.5 'te grafik edilmiştir. Perlitin zeta potansiyelinin 10 g/L'ye kadar azaldığı daha sonra yaklaşık olarak sabit kaldığı anlaşılmaktadır.

3.4.2 pH'nin Zeta Potansiyeline Etkisi

Perlitin zeta potansiyeli üzerine pH'nin etkisi incelenirken, süspansiyonun katı/sıvı oranı 10 g/L'de sabit tutulmuştur. Süspansiyonun pH'si 3-11 arasında değiştirilerek zeta potansiyeli değerleri ölçülmüştür. Çizelge 3.10 ve Şekil 3.6 'da verilen sonuçlar, perlitin tüm pH değerlerinde negatif zeta potansiyeli değerlerine sahip olduğu ve sıfır yük noktasının bulunmadığını göstermektedir.

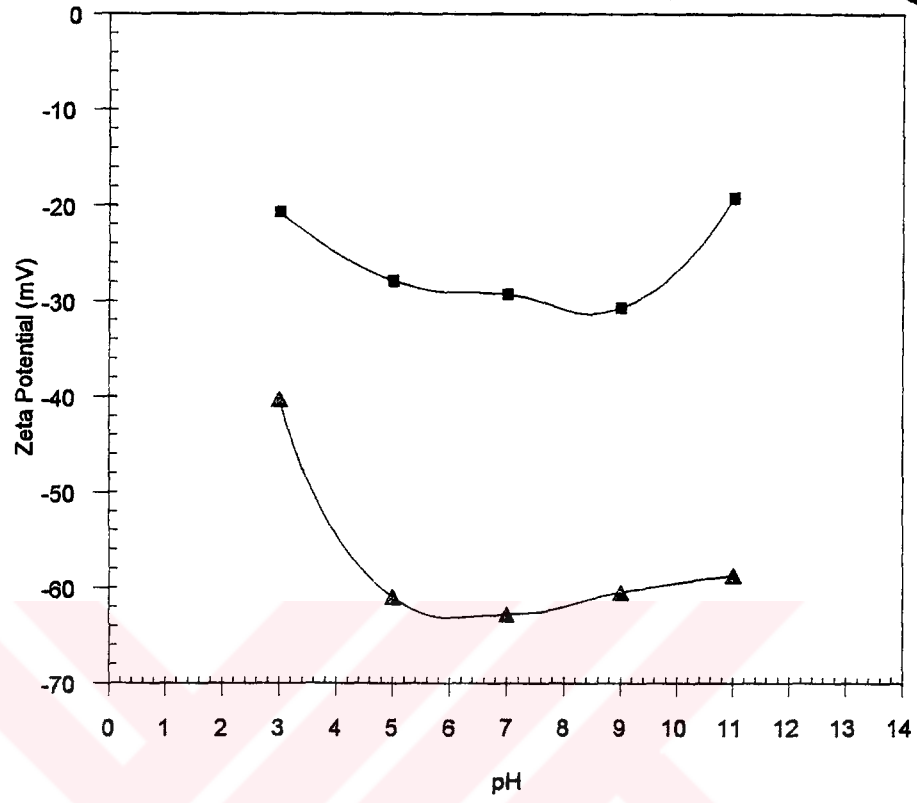
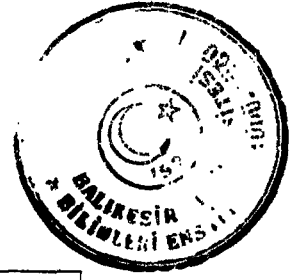


Çizelge 3.10 Perlitin zeta potansiyeli üzerine pH'nin etkisi

Örnek	Süspansiyon pH'si	Zeta potansiyeli (mV)
Genleşmemiş perlit	3	- 20.7
	5	- 27.9
	7	- 29.3
	9	- 30.7
	11	- 19.2
Genleşmiş perlit	3	- 40.3
	5	- 61
	7	- 62.8
	9	- 60.5
	11	- 58.7

3.4.3 Elektrolitin Zeta Potansiyeline Etkisi

Perlitin zeta potansiyeli üzerine elektrolitin etkisi 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} , 10^{-2} ve 10^{-1} M konsantrasyonlarındaki NaCl, NaNO₃, KNO₃, Na₂SO₄, Na₂CO₃, CaCl₂ ve AlCl₃ çözeltileri ile hazırlanan perlit süspansiyonlarının zeta potansiyelleri ölçülerek incelenmiştir. Süspansiyonların katı/sıvı oranı 10 g/L'de sabit tutulmuştur. Çizelge 3.11 ve 3.12 'de verilen sonuçlar Şekil 3.7a ve b ile Şekil 3.8a ve b'de grafik edilmiştir. Görüldüğü gibi CaCl₂ ve AlCl₃ yüzey yükünü değiştirirken diğerleri değiştirmemektedir.



Şekil 3.6 Genleşmiş(▲) ve genleşmemiş(■) perlitin zeta potansiyeline pH'nin etkisi



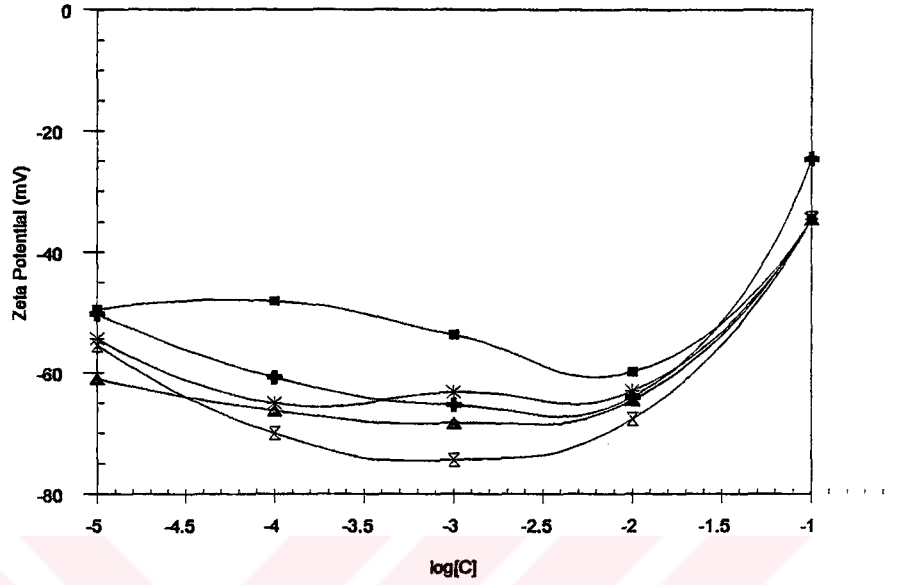
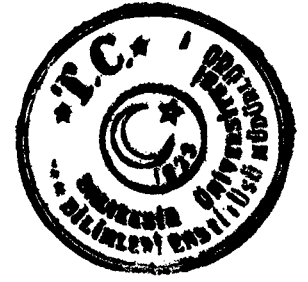
Çizelge 3.11 Genleşmemiş perlitin zeta potansiyeli üzerine elektrolit konsantrasyonunun etkisi

Elektrolit	Konsantrasyon (M)	Zeta potansiyeli (mV)
NaCl	1×10^{-5}	- 41.7
	1×10^{-4}	- 29.1
	1×10^{-3}	- 28.5
	1×10^{-2}	- 23.7
	1×10^{-1}	- 18
KNO ₃	1×10^{-5}	- 17.2
	1×10^{-4}	- 23.2
	1×10^{-3}	- 23
	1×10^{-2}	- 23.8
	1×10^{-1}	- 21.1
NaNO ₃	1×10^{-5}	- 26
	1×10^{-4}	- 31
	1×10^{-3}	- 31.8
	1×10^{-2}	- 32
	1×10^{-1}	- 17.7
Na ₂ SO ₄	1×10^{-5}	- 23.5
	1×10^{-4}	- 23.1
	1×10^{-3}	- 26.4
	1×10^{-2}	- 26.6
	1×10^{-1}	- 14.5
Na ₂ CO ₃	1×10^{-5}	- 28.4
	1×10^{-4}	- 25.4
	1×10^{-3}	- 30.2
	1×10^{-2}	- 30.2
	1×10^{-1}	- 28.7
CaCl ₂	1×10^{-5}	- 18
	1×10^{-4}	- 16.5
	1×10^{-3}	- 10.4
	1×10^{-2}	- 6.28
	1×10^{-1}	0
AlCl ₃	1×10^{-5}	- 32.2
	1×10^{-4}	- 30.2
	1×10^{-3}	- 17.8
	1×10^{-2}	- 16.9
	1×10^{-1}	0

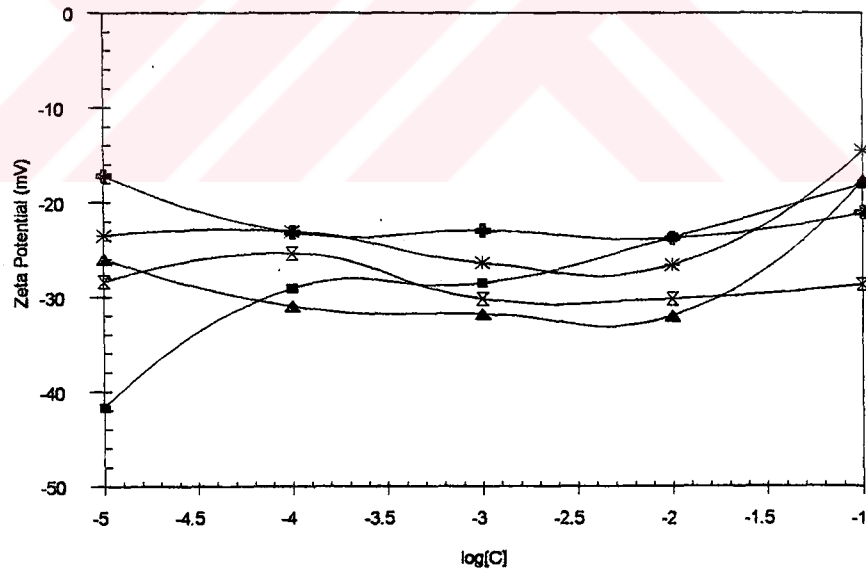


Çizelge 3.12 Genleşmiş perlitin zeta potansiyeli üzerine elektrolit konsantrasyonunun etkisi

Elektrolit	Konsantrasyon(M)	Zeta potansiyeli (mV)
NaCl	1×10^{-5}	- 49.5
	1×10^{-4}	- 48.1
	1×10^{-3}	- 53.7
	1×10^{-2}	- 59.8
	1×10^{-1}	- 34.5
KNO ₃	1×10^{-5}	- 50.3
	1×10^{-4}	- 64.7
	1×10^{-3}	- 65.3
	1×10^{-2}	- 64
	1×10^{-1}	- 24.6
NaNO ₃	1×10^{-5}	- 61
	1×10^{-4}	- 66.2
	1×10^{-3}	- 68.3
	1×10^{-2}	- 64.5
	1×10^{-1}	- 34.5
Na ₂ SO ₄	1×10^{-5}	- 54.4
	1×10^{-4}	- 65
	1×10^{-3}	- 63
	1×10^{-2}	- 63.2
	1×10^{-1}	- 34.4
Na ₂ CO ₃	1×10^{-5}	- 55.4
	1×10^{-4}	- 70
	1×10^{-3}	- 74.4
	1×10^{-2}	- 67.6
	1×10^{-1}	- 34.3
CaCl ₂	1×10^{-5}	- 18
	1×10^{-4}	- 16.5
	1×10^{-3}	- 10.4
	1×10^{-2}	- 6.28
	1×10^{-1}	0
AlCl ₃	1×10^{-5}	46.7
	1×10^{-4}	10.43
	1×10^{-3}	13.46
	1×10^{-2}	22.55
	1×10^{-1}	22



(a)

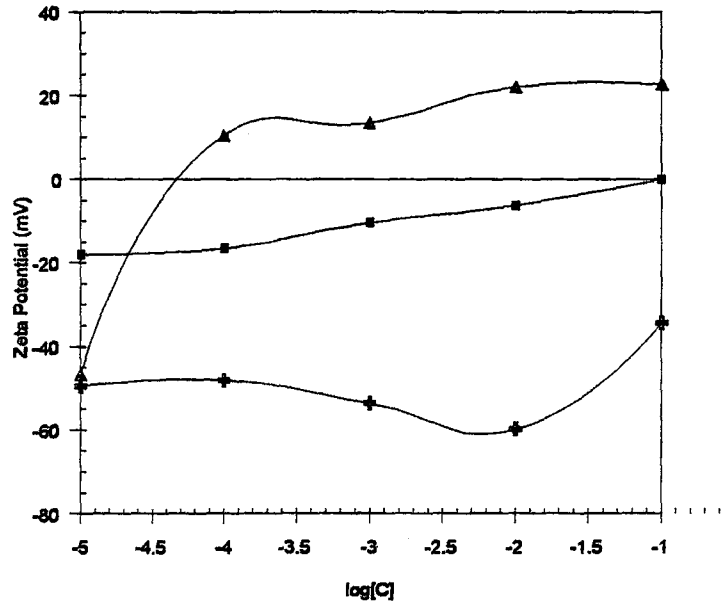
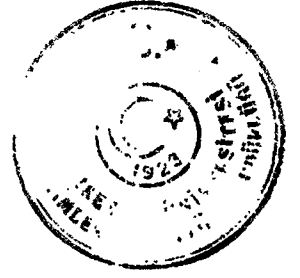


(b)

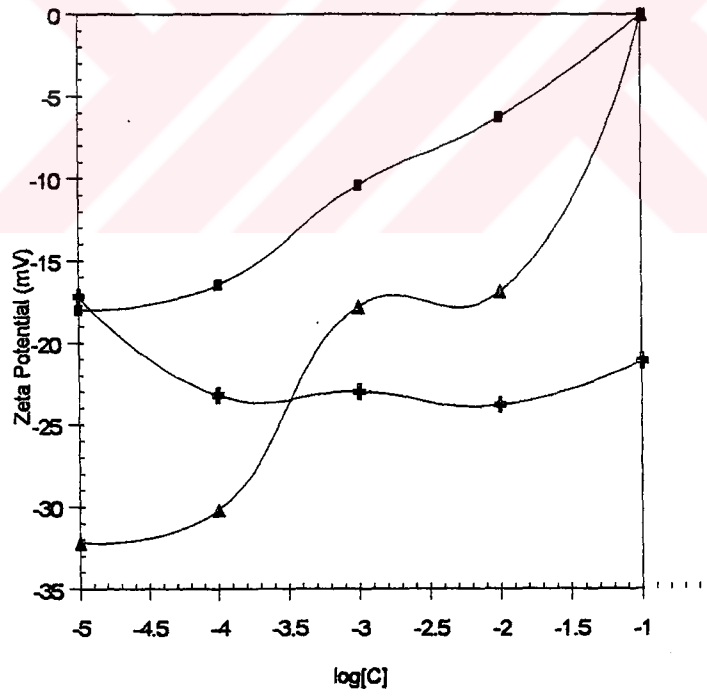
Şekil 3.7 Perlitin zeta potansiyelinin elektrolit konsantrasyonu ile değişimi;

a) Genleşmiş, b) Genleşmemiş perlit,

■ : NaCl, ⊕ : KNO₃, ▲ : NaNO₃, * : Na₂SO₄, ⊗ : Na₂CO₃



(a)



(b)

Şekil 3.8 Perlitin zeta potansiyelinin elektrolit konsantrasyonu ile değişimi;

a) Genleşmiş, b) Genleşmemiş perlit;

▲ : AlCl₃, ■ : CaCl₂, + : NaCl

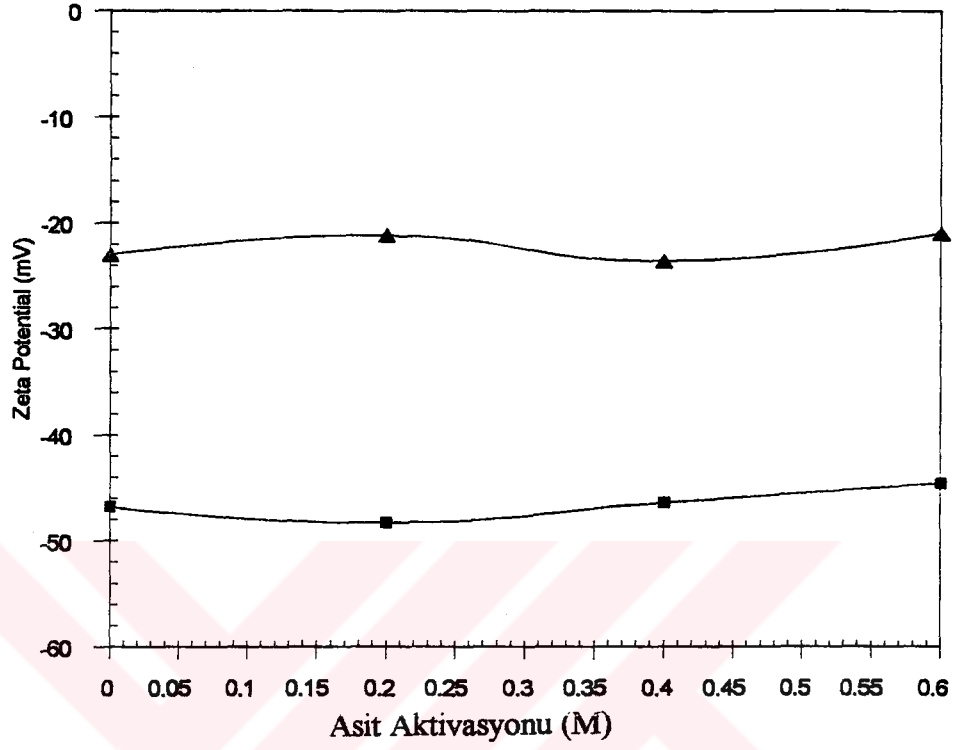


3.4.4 Asit Aktivasyonunun Zeta Potansiyeline Etkisi

Perlit örneklerinin zeta potansiyelleri üzerine asit aktivasyonunun etkisi, 0.2, 0.4 ve 0.6 M konsantrasyonlarında hazırlanan H₂SO₄ çözeltileri ile aktifleştirilmiş perlit örnekleri kullanılarak incelendi. Çizelge 3.13 ve Şekil 3.9 'da verilen sonuçlar asit aktivasyonun zeta potansiyeli üzerine önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Çizelge 3.13 Perlitin zeta potansiyeli üzerine asit aktivasyonunun etkisi

Örnek	Asit aktivasyonunda kullanılan asit konsantrasyonu (M)	Zeta potansiyeli (mV)
Genleşmemiş perlit	0	- 23
	0.2	- 23.2
	0.4	- 23.6
	0.6	- 21
Genleşmiş perlit	0	- 46.8
	0.2	- 46.3
	0.4	- 46.4
	0.6	- 45.6



Şekil 3.9 Genleşmiş (■) ve genleşmemiş (▲) perlit örneklerinin zeta potansiyeli üzerine asit aktivasyonunun etkisi



4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

4.1 Katyon Değişim Kapasitesi, Yoğunluk ve Yüzey Alanları

Çizelge 3.1 'de genleşmemiş ve genleşmiş perlit örneklerinin katyon değişim kapasiteleri, sırasıyla, 25.97 ve 33.30 meq/100 g olarak verilmektedir. Genleşme sırasında katyon değişim kapasitesinde meydana gelen bu artışın, genleşmiş perlitin üretiminde uygulanan ısı işlem sırasında kırık kenarların artmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Şekil 4.1 ve 4.2 bu görüşü desteklemektedir. Asitle aktivasyon sırasında, gerek genleşmiş gerekse genleşmemiş perlit örneklerinin katyon değişim kapasitelerinde bir miktar artış olduğu da görülmektedir (Çizelge 3.1). Bu artış muhtemelen, asitle aktivasyon sırasında meydana gelen yüzey reaksiyonları (1.4 - 1.7 denklemleri) nedeni ile, yüzeyde bir miktar yeni yüklü noktaların oluşmasından kaynaklanmaktadır.

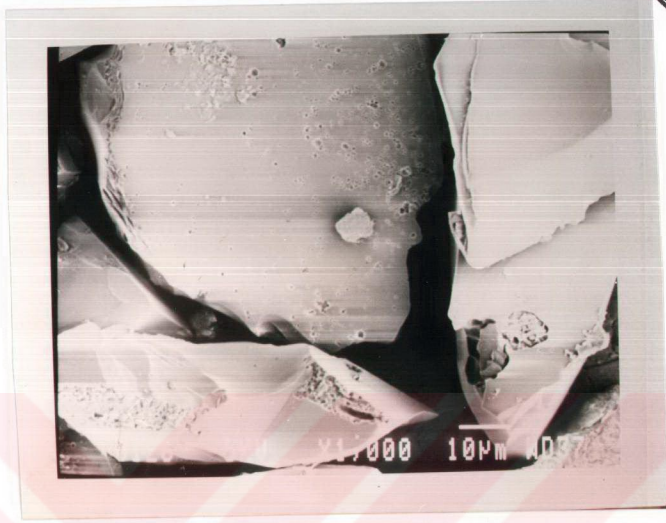
Genleşmiş perlitin yoğunluğu 2.2422 g/cm^3 , genleşmemiş perlitin yoğunluğu 2.3047 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Şekil 4.1 ve 4.2 'deki SEM fotoğrafları incelendiğinde genleşme sırasında perlit taneciklerinin şekillerinin değişerek ince levhacıklar haline geldiği, sıvı girişini engelleyecek bir yapının oluşmadığı, her iki halde de gözenekliliğin çok az olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle genleşme sırasında perlitin dökme yoğunluğu 4 ile 20 kat azalırken özgül ağırlığı hemen hemen sabit kalmaktadır. Şekil 4.1 - 4.4 'den de görüldüğü gibi asit aktivasyonu sırasında perlit örneklerinin gözenek yapısında önemli bir değişme olmamaktadır. Genleşmiş perlitin spesifik yüzey alanının, genleşmemiş perlitinkinin yaklaşık iki katı olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum perlit örneklerinin genleşme sırasında ufalanması ve ince levhacıklar haline gelmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.1 Genleşmemiş perlitin 1000 kat büyütülmüş SEM fotoğrafı



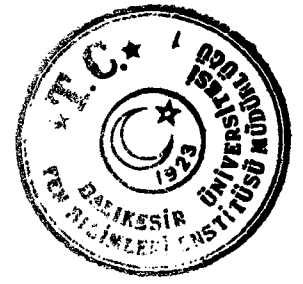
Şekil 4.2 Genleşmiş perlitin 1000 kat büyütülmüş SEM fotoğrafı



Şekil 4.3 0.6 M H-Genleşmemiş perlitin 1000 kat büyütülmüş SEM fotoğrafı



Şekil 4.4 0.6 M H- Genleşmiş perlitin 1000 kat büyütülmüş SEM fotoğrafı



4.2 İnfrared Spektrumları

İnfrared spektroskopisi silika yüzeylerini araştırmak için geliştirilmiş evrensel bir metottür. İnfrared spekturumu ile perlitin genişletilmesi ve asitle aktivasyonu sırasında yapıda meydana gelen değişiklikler incelenecektir.

3750-3000 cm^{-1} aralığındaki geniş band, yüzeydeki hidrojen bağlı hidroksil gruplarının titreşimini verir [1]. 3720 \pm 20 cm^{-1} 'deki bandlar, serbest ya da izole edilmiş hidroksil pikleridir [31-33]. 3660 \pm 90 cm^{-1} 'deki bandlar hidrojen bağı yapmış olan hidroksil gruplarının pikleridir. 3520 \pm 200 cm^{-1} 'deki bandlar, adsorbe edilmiş suyun hidroksil grubunun verdiği piklerdirler. Genleşmiş ve genişmemiş perlitin İnfrared spekturumları incelendiğinde 3750-3000 cm^{-1} arasındaki bandların şiddetlerinde farklılığın olduğu göze çarpmaktadır. Bu genişmemiş perlitin yüzeyindeki hidroksil gruplarının yoğunluğundan kaynaklanmaktadır [1].

2050-2550 cm^{-1} 'deki band Si-H'a karşılık gelmektedir. Genleşmiş perlit ve asit ile aktifleştirilmiş perlit örnekleri karşılaştırıldığında, asit aktivasyonu sonucunda Si-H piklerinin kaybolduğu gözlenmektedir. Buna karşılık genişmemiş perlitte böyle bir durum ile karşılaşılmamaktadır.

1250-800 cm^{-1} aralığındaki pikler Si-O titreşimlerinden kaynaklanan piklerdir [1,31,32]. Genleşmiş ve genişmemiş perlitin 1250-1100 cm^{-1} aralığındaki bandları karşılaştırıldığında çok küçük bir farkın olduğu göze çarpmaktadır. Bu genişmiş perlitin yüzeyinin genişmemiş perlitin yüzeyininkinden çok daha polar olması ile açıklanmaktadır. Çünkü, genişmemiş perlitin bu bölgedeki Si-O-Si titreşimi, genişmiş perlitinkinden çok daha büyüktür [1].

1650 cm^{-1} civarında gözlenen pik hidroksil eğilme frekanslarına [32] ve fiziksel olarak adsorplanmış suya karşılık gelir [1]. Bu pikler, genişmemiş perlitte biraz daha şiddetlidir. Bunun sebebi, genişmemiş perlitin daha fazla hidroksil grubuna sahip olmasıdır. Bu da daha fazla miktarda fiziksel ve kimyasal olarak adsorplanmış su içermesinin sonucudur [1].



900-850 cm^{-1} civarındaki bandlar Al-OH-Al guruplarından, 795 cm^{-1} 'deki pik serbest silikat guruplarından [33], 790-750 cm^{-1} aralığındaki band Si-O-Al titreşimlerinden [32], 630 cm^{-1} civarındaki pik Al-O titreşimlerinden, 525 cm^{-1} civarındaki pik Si-O titreşimlerinden [33], 540-420 aralığındaki bandlar ise Si-O-Al iskelet titreşiminin kaynaklanmaktadır [31].

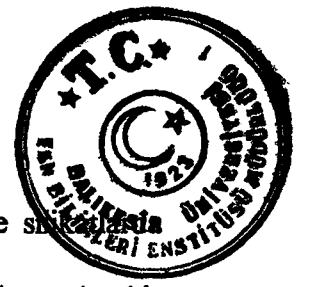
4.3 X-Işınları Difraksiyon Desenleri

Genleşmemiş perlitin X-ışınları difraksiyon desenlerine bakıldığında madde yapısının amorf olduğu görülmektedir (Şekil 3.4). Bu nedenle bu bilgilerden faydalanılarak nitel analiz yapılması mümkün olmamaktadır. Bunu, genleşmemiş perlitin cps (count per second) değerinin küçük olması da desteklemektedir.

Perlit, ani ısı aktivasyona maruz bırakıldığında yapıda değişiklikler meydana gelmektedir. X-ışınları difraksiyonları amorf yapıdan kristal yapıya geçiş olduğunu göstermektedir. Bunu ayrıca genleşmiş perlitin cps değerlerinin genleşmemiş perlitin cps değerlerinden oldukça büyük olması da desteklemektedir.

Genleşmiş perlitin X-ışınları difraksiyon desenleri incelendiğinde 4.19 Å'daki pik, birçok silikata ve oksite ait bir pik olarak JCPDS kartlarından gözlenmektedir. Bu yüzden bu pik, tek faza ait bir pik olmayıp, birden fazla fazın bileşiminden meydana gelen şiddetli bir pik olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.2 ve 3.3 'deki d değerlerine bakıldığında $\text{CaAl}(\text{SiO}_4)(\text{OH})$ (Vuagnatite) (JCPDS No = 29-289) ve $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Gismondine) (JCPDS No = 20-452) maddelerinin kristal yapılarının olduğu gözlenmektedir. Yapıdaki hidroksil fonksiyonel gurplarının varlığı, ayrıca İnfrared spektrumlarından da anlaşılmaktadır.



X-ışınları d değerlerine göre 4.19 \AA 'luk pikin birçok oksit ve silikatlar gözlemlendiği bilinmektedir. Bu sonuca dayanarak genişlemiş perlitin içinde heterojen bir faz olduğu ve bu fazların bazı oksit ve silikatlar olduğu X-ışınları metoduna dayanarak söylenebilir. Şekil 3.4 'teki X-ışınları desenlerine ait Çizelge 3.4-3.8 'deki değerler göz önüne alınarak bu maddelerin şunlar olabilecekleri sonucuna varılmıştır:

CaAl_2O_9 (Hibonite) (JCPDS No = 25-121), SiO_2 (Stishovite) (JCPDS No = 15-26), $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ (Fassaite, ferroan) (JCPDS No = 25-1217), $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (Chrysotile-2orel) (JCPDS No = 25-646), $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Analcime) (JCPDS No = 19-1180)

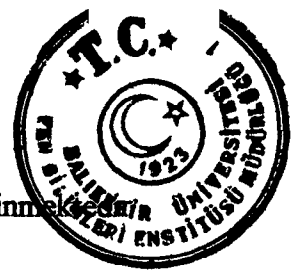
4.4 Elektrokinetik Özellikler

4.4.1 Katı Konsantrasyonunun Zeta Potansiyeline Etkisi

Şekil 3.5'de görüldüğü gibi zeta potansiyeli çözeltideki katı konsantrasyonu ile değişmektedir. Bu sonuç çözeltideki katı konsantrasyonunun yüzey yükünün oluşumunda etkili olan önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Bu, katı-sıvı arayüzeyinde oluşan iyonik türlerin katı konsantrasyonundaki artış ile arttığı ve yetersiz katı konsantrasyonu kullanılmasının zeta potansiyeli ölçümlerinin yorumunda hatalı sonuçlara neden olabileceği anlamına gelir. Bu nedenle bundan sonraki ölçümlerde katı/sıvı oranı 10 g/L olarak sabit tutulmuştur.

4.4.2 pH'nin Zeta Potansiyeline Etkisi

Şekil 3.6'da perlitin zeta potansiyeli üzerine pH'nin etkisi gösterilmektedir. Bu şekilden de görüleceği gibi perlit örnekleri sıfır yük noktasına (pzc) sahip değildir ve tüm pH değerlerinde negatif zeta potansiyeli değeri sergilemektedir. Bu sonuç kil minerallerinin elektrokinetik ölçümleri hakkında elde edilen sonuçlar ile uyusmaktadır. Bu yükün kaynağı hale tartışmalı ise de izomorfik geçişler, kristal örgüdeki boşluklar,



kırık tanecik kenarları ve yapısal hidroksil gruplarından ortaya çıktığı bilinmektedir [12].

Oksit yüzeyi/sulu faz arayüzeyindeki elektriksel yükün yüzey hidroksil gruplarının proton alması/proton vermesi reaksiyonları sonucu oluştuğu söylenebilir [28].



ve iep'de

$$[-\text{MOH}_2^+] = [-\text{MO}^-] \quad (4.3)$$

İzoelektronik noktanın oluşmaması katının yüzey yükünden esas olarak (4.2) reaksiyonun sorumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca, geliştirilmiş perlit örneği genleşmemiş perlit örneğine kıyasla daha negatif zeta potansiyeli değerine sahiptir. Bu durum muhtemelen genleşmiş perlit üretiminde, ısıtma sırasında kırık kenarların artması nedeni ile olmaktadır [12].

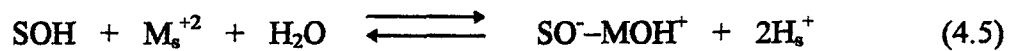
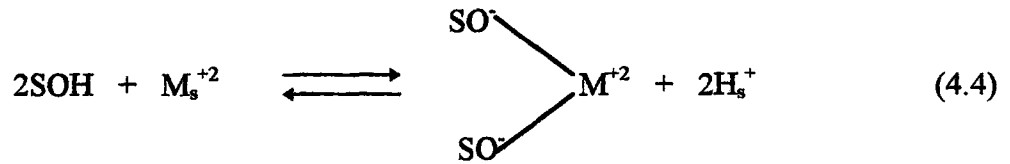
4.4.3 Elektrolitin Zeta Potansiyeline Etkisi

Ortamın tabii pH'sında NaCl, KNO₃, NaNO₃, Na₂CO₃ ve Na₂SO₄ elektrolitleri ile her iki örnek için elde edilen sonuçlar Şekil 3.7a ve b 'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi bir elektrolit mevcudiyetinde, düşük konsantrasyonlarda, katı yüzeyi daha negatif yüklü hale gelirken, elektrolit konsantrasyonu arttıkça negatiflik azalmaktadır. Düşük konsantrasyonlarda bu elektrolitlerin katı yüzeyini, daha negatif yüke sahip hale getirmesi söz konusu elektrolitlerin indifferent elektrolitler olarak davranmasından kaynaklanmaktadır. İndifferent elektrolitler, elektrostatik çekim ile adsorplanan ve bu surette katı yüzeyindeki çift tabakayı daraltarak yüzey yükünü daha



negatif hale getiren zıt-yüklü iyonlar olarak tanımlanmaktadır [28,29]. Bu literatür ile uyuşmaktadır. Örneğin; KNO_3 , $NaNO_3$ gibi basit elektrolit sistemlerde spesifik adsorpsiyon meydana gelir ve pH_{pzc} , pH_{iep} 'ye eşittir. Başka yazarlar, böyle sistemlerin pH_{pzc} 'sinin pH_{iep} 'ye eşit olması nedeni ile spesifik adsorpsiyonun olmadığını ifade etmektedirler [30]. Negatif iyonların, yüzey üzerindeki pozitif bölgelere adsorplandıkları ve yüzeyi daha negatif yaptığı düşünülmektedir. Bu nedenle NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} gibi diğer anyonların da benzer şekilde davrandıkları bulunmuştur. 0.1 M elektrolit konsantrasyonunda farklı elektrolitler için benzer değerlerin elde edildiği ve yüksek elektrolit konsantrasyonlarında zeta potansiyelinin arttığı görülmektedir. Bu artışların yüksek elektrolit konsantrasyonlarında yüzeyde katyon adsorpsiyonunun da meydana gelmesi nedeni ile olduğu sanılmaktadır. Bu sonuç, oksit yüzeyi ile tek değerli katyonlar arasında spesifik etkileşimlerin çok küçük olduğunu göstermektedir. Bu genel olarak oksitler için gözlenen bir durumdur [34]. Benzer davranışlar montmorillonit tipi kil mineralleri ve üleksit minerali içinde gözlenmiştir [12].

Zeta potansiyelinin $NaCl$, $CaCl_2$ ve $AlCl_3$ elektrolitlerinin konsantrasyonu ile değişimi her iki örnek için Şekil 3.8a ve b 'de görülmektedir. $NaCl$ bir indifferent elektrolit olarak davranırken $CaCl_2$ ve $AlCl_3$ yüzeyin elektrokinetik özelliklerini değiştirmektedir. Davis ve grubu yüzey yükünün aşağıdaki reaksiyonların kombinasyonunun bir sonucu olabileceğini ileri sürmüşlerdir [30]. Burada $M = Mg$ 'dir.



Bu çalışmada elde edilen sonuç, H^+/M^{n+} stokiyometrisini dikkate alınarak açıklanabilir [34]. Çok değerli katyonların spesifik adsorpsiyonu (4.4) ve (4.5)



Bu çalışmada elde edilen sonuç, H^+/M^{n+} stokiyometrisini dikkate alınarak açıklanabilir [34]. Çok değerli katyonların spesifik adsorpsiyonu (4.4) ve (4.5) reaksiyonları ile gösterildiği gibi, her zaman proton değişimini gerektirdiğinden bu adsorpsiyon olayının önemli karakteristiği, adsorplanan herbir katyon başına salıverilen protonların veya adsorplanan hidroksit iyonlarının sayısıdır. H^+/M^{+2} değişim stokiyometrisinin, iki değerlikli katyon adsorpsiyonu için genellikle ikiden daha küçük olması nedeni ile yüzey yükü giderek daha pozitif hale gelir. Bunun sonucu olarak yüzeyin elektrokinetik özelliklerinde bir değişme meydana gelir. Benzer bir durumun üç değerli katyonlar için de gözlenmesi mümkündür. Bu durumda Şekil 3.8 'de görüldüğü gibi yüzeyin etkin yükünün işareti değişmektedir.

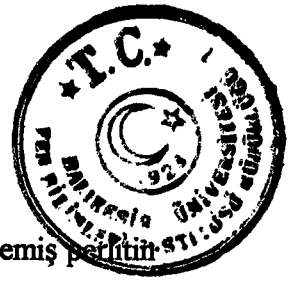
4.4.4 Asit Aktivasyonunun Zeta Potansiyeline Etkisi

Her iki perlit örneğinin zeta potansiyeli üzerine asit aktivasyonunun etkisi Şekil 3.9 'da görülmektedir. Asit ile aktivasyonun zeta potansiyeli üzerine önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Zeta potansiyelinin değişmesi için, aktivasyon sırasında yeni yüklü bölgelerin oluşması gereklidir. Çizelge 1.2 'de verilen katyon değişim kapasitelerinin çok farklı olmaması bu sonucu desteklemektedir.

4.5 Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmektedir:

- 1) Asit aktivasyonu sırasında meydana gelen yüzey reaksiyonları nedeni ile yüzeyde bir miktar yeni yüklü noktaların oluşması sonucu katyon değişim kapasitesinde çok az bir miktar artış meydana gelmektedir.
- 2) Asit aktivasyonu ile perlitin yoğunluğunun pek değişmediği görülmektedir.
- 3) Perlitin genişletilmesi sırasında yapıdaki suyun tamamen giderilemediği anlaşılmaktadır.



4) İnfrared spektrumlarından genişmiş perlitin yüzeyinin, genişmemiş perlitin yüzeyinkinden daha polar olduğu söylenebilir.

5) X-ışınları difraksiyon desenleri, perlitin geniştirilmesi ile amorf yapıdan kristal yapıya geçişin olduğunu göstermektedir.

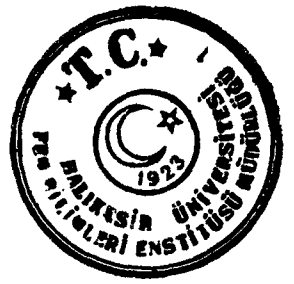
6) Perlitin geniştirilmesi sırasında Vuagnatite ($\text{CaAl}(\text{SiO}_4)(\text{OH})$), Gismondine ($\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), Hibonite (CaAl_2O_9), Stishovite (SiO_2) Fassaite ($\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$) , Chrysotile-2orel ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) ve Analcime ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$) kristal yapılarının oluştuğu belirlenmiştir

7) Genleşmiş perlit, genişmemiş perlitten daha negatif zeta potansiyeli sergilemektedir.

8) Perlitin zeta potansiyeli, katı konsantrasyonu ile değişmekte ve tüm katı konsantrasyonlarında negatif yük sergilemektedir.

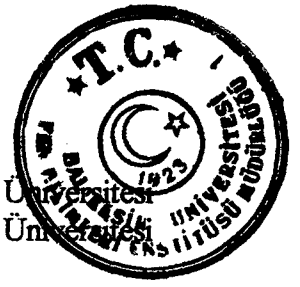
9) NaCl , KNO_3 , NaNO_3 , Na_2CO_3 ve Na_2SO_4 perlit için indifferent elektrolittir. Buna karşılık, AlCl_3 ve CaCl_2 arayüzey yükünü negatifden pozitifte değiştirmektedir.

10) Asit aktivasyonun, perlitin zeta potansiyeli üzerine önemli bir etkisinin olmadığı bulunmuştur.

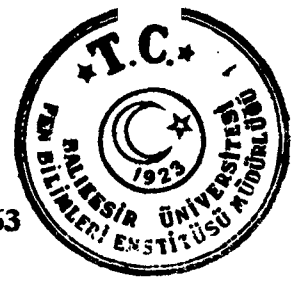


5. KAYNAKÇA

- [1] Karakaş, R., Modification of perlite by Na_2CO_3 for thin layer chromatographic adsorbent, Ph. D. Thesis, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (1996).
- [2] Chestermen, C.W., Industrial Minerals and Rocks, 4th Ed., AIMM and Pet. Eng., New York, (1975) p. 927.
- [3] Öztürk, A.E., Bazı boyar maddelerin sulu çözeltilerinden perlit yüzeyine adsorpsiyonu, M. Sc. Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, (1989).
- [4] Anonymous., *Industrial Minerals*, May, (1969)11.
- [5] Evranuz, Ö., ve Berçin, Ö., “ Perlit süzme yardımcı maddesi tipleri ve kullanım alanları”, TÜBİTAK Proje No: 05 01 14 85 01,(1978).
- [6] Uluatam, S.S., *JAWWA*, June, (1991)70.
- [7] Yurdakoç, M.K., Bazı yerli kil örneklerinin fizikokimyasal özelliklerinin ve Ni/Kil katalizörler üzerinden benzen hidrojenasyonunun incelenmesi, Ph. D. Thesis, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, (1987).
- [8] Teichner, S., *J. Chim. Phys.*, 47, (1950)118.
- [9] Çakır, Ü., Organik bileşiklerle modifiye edilmiş kil minerallerinde değişik karakterli organik maddelerin sorpsiyonunun incelenmesi, Ph. D. Thesis, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, (1991).
- [10] Kacar, B., Bitki ve toprağın kimyasal analizleri III, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme vakfı Yayınları, No; 3, Ankara, s.129.
- [11] Güzel, F., Tez, Z., *Doğa Türk Kim. D.*, (1988)180.
- [12] Gülgönül, İ., Bor minerallerinin flotasyonunda şlamın etki mekanizması, M. Sc. Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1995).



- [13] Atak, S., Flotasyon ilkeleri ve uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi sayı; 101, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, (1974).
- [14] Kelly, E.G., and Spottiswood, D.J., Introduction to Mineral processing, Ed. D. Willey, J., & Sons, New York, (1982).
- [15] Hohl, H., and Stumm, W., *J. of Colloid and Interface Sci.* **55** (1976) 281.
- [16] Yates, D.E., Levine, S., and Healy, T.W., *J.Chem.Soc., Faraday Trans.* **70** (1974)1807.
- [17] Sprycha, R., *J. of Colloid and Interface Sci.* **127** (1989) 989.
- [18] Çakır, Ü., and Tez, Z., *Doğa Türk Kimya Dergisi*, **16** (1992)59.
- [19] Perkins, A.T., *Soil. Sci.*, **74** (1952)443.
- [20] Mortland, M.M., and Mellor, J.L., *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, **18** (1954)363.
- [21] Mackenzie, R.C., *J. Colloid Science*, **6** (1951)219.
- [22] Braggs, B., Fornasiero, D., Ralston, J., and Smart, R.S., *Clays and Clay Minerals*, **42** (1994)123.
- [23] Mangalam, V., and Khangaonkar, P.R., *International Journal of Mineral Processing*, **15** (1985)269.
- [24] Kallay, N., Colic, M., Fuerstenau, D.W., Jang, H.M., and Matijevic, E., *Colloid & Polymer Science*, **272** (1994)554.
- [25] Çelik, M.S., Atak, S., and Onal, G., *Minerals and Metallurgical Processing*, (August, 1993).
- [26] Hancer, H., and Çelik, M.S., *Separation Science and Technology*, **28** (1993)1703.
- [27] Güngör, N., and Dılmaç, Ş., *Journal of Inclusion Phenomena and Molecular Recognition in Chemistry*, **26** (1996)93.
- [28] Laskowski, J.S., *J. Colloid Interface Sci.* **159** (1993) 349.
- [29] Kelly, E.G., and Spottiswood, D.J., " Introduction to Mineral Processing " p.99, John Willey and Sons, New York, 1982.



- [30] James, R.O., Davis, J.A., and Leckie, J.O., *J. Colloid Interface Sci.* **63** 481(1978).
- [31] Olejnik, S., Aylmore, L.A.G., Posner, A.M., and Quirk, J.P., *J. of Phys. Chem.*, **72** (1968)241.
- [32] Ledoux, R.L., and White, J.L., *J. of Colloid and Interface Sci.*, **21** (1966)127.
- [33] Tilak, D., Tennakoon, B., Thomas, J.M., Jones, W., Carpenter, T.A., and Ramdas, S., *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1*, **82** (1968)545.
- [34] Kinniburgh, D.G., Jackson, M.L., in "Adsorption of Inorganic Solid-Liquid Interfaces" (M.A. Anderson and A.J. Rubin, Eds.), p.104. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan, 1981.