



KİL MİNERALOJİSİ

Dr. Gül ŞEN

2022-2023

Bahar Dönemi

GİRİŞ

- **Okuma Ödevleri**

- Brindley, G.W., (1970). The fascination of clays and clay minerals. Earth and Mineral Sciences, vol.39, no.8, 57-60.
- Grim, R.E., (1988).The history of the development of clay mineralogy.Clays and Clay Minerals, vol.36, no.2, 97-101.
- Murray H., (1991). Overview-Clay mineral applications in Applied Clay Science, 5, 379-395.
- Konta,J., (1995). Clay and man: clay raw mineralsin the service of man,.Applied Clay Science, 10, 275-335.
- Calaby Flody, M., Theng, B.K.G., Reyes, P., Mora, L., (2009). Natural nanoclays: applications and future trends- a Chilean perspective, Clay Minerals,44, 161-176.



Şekil 1. G. W. Brindley'in perspektifi (Brindley, 1982'den değiştirilmiştir.)



Şekil 2. Karikatür Peggy L. Buchman tarafından çizilmiştir.

SINIFLAMA VE TERMİNOLOJİ

- **Kil:** bir kaya terimi olarak ve ayrıca parçacık boyutu terimi olarak kullanılır.
- Bir kaya terimi olarak, sınırlı miktarda su ile karıştırıldığında plastisite geliştiren doğal, topraksı, ince taneli bir malzemeyi ifade eder. Killerin kimyasal analizi, bunların esas olarak silika, alümina ve kayda değer miktarda demir, alkali ve alkali toprak içeren sudan oluştuğunu göstermiştir.
- Parçacık boyutu terimi olarak kil fraksiyonu, Wentworth ölçeğine göre (Tablo 1) 2 μm 'den daha küçük çaplara sahip parçacıklardan oluşur.
- Kil minerallerinin kil fraksiyonunda yoğunlaşmasına yönelik genel bir eğilim vardır. Doğal malzemelerin kil minerali ve kil olmayan mineral bileşenleri en iyi 2 μm boyut sınırında ayrılır.
- **Kil malzemesi:** İnce taneli, doğal, topraksı, killi bir malzemedir. Killer, şeyller, argillatlar ve toprakları içerir. Hepsi kayda değer miktarda kil boyutunda malzeme içerir.

Tablo 1. Wentworth tane boyu sınıflamalarını, eşdeğer phi birimlerini ve çeşitli milimetre ve ABD Standart Eleklerinin elek sayılarını gösteren tortular için tane boyutu ölçeği (Boggs,1987)

İsim	U.S. standart elek no	Millimetre	Phi (Φ) birimleri	Wentworth tane boyu sınıflaması
ÇAKIL		>256	-8	Blok
		64	-6	Parça
	5	4	-2	Çakıl
	10	2	-1.0	Granül
KUM	18	1	0.0	Çok kaba kum
	35	1/2	1.0	Kaba kum
	60	1/4	2.0	Orta kum
	120	1/8	3.0	İnce kum
	230	1/16	4.0	Çok ince kum
SİLT		1/32	5.0	Kaba silt
		1/64	6.0	Orta silt
		1/128	7.0	İnce silt
		1/256	8.0	Çok ince silt
KİL		<1/126		Kil

KİL MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİNİ KONTROL EDEN FAKTÖRLER

- Bir kil materyalinin tam karakterizasyonu için aşağıdaki tanımlamalar gereklidir.

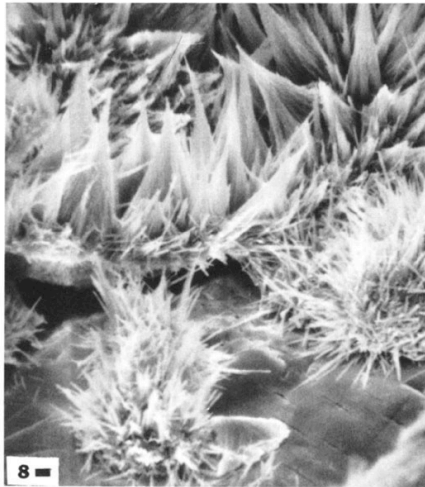
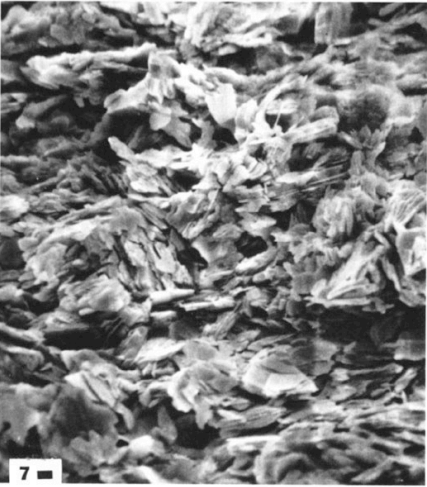
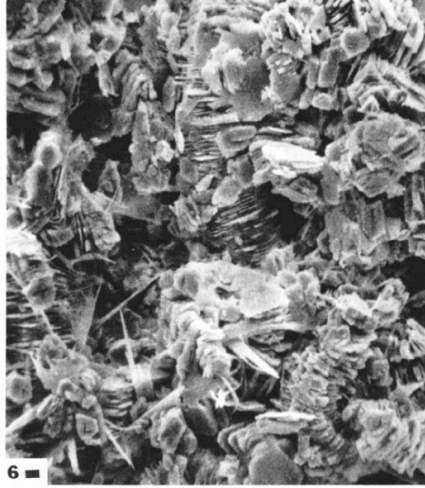
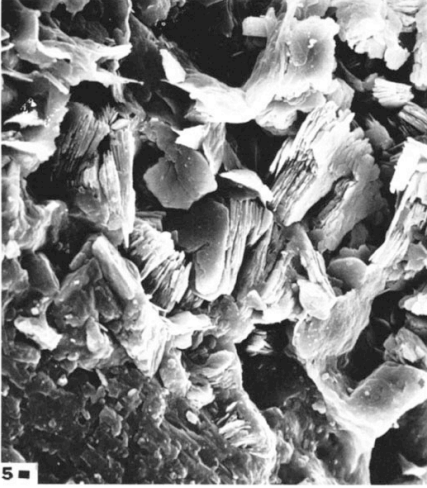
1.Kil mineral bileşimi: kimliği (özdeşliği) ve tüm kil mineral bileşenlerinin göreceli bolluğu. Tam bir kil mineral tayini yapmak için, killeri fraksiyonlarına ayırarak, minör bileşenlerini konsantre etmek gereklidir. Kil minerallerinin tam olarak tanımlanması için XRD, SEM ve kimyasal analiz gibi çeşitli teknikler kullanılmalıdır.

2.Kil olmayan mineral bileşimi: özdeşliği, bolluğu ve parçacık boyutu dağılımı. Kalsit, dolomit, mika, kuvars, pirit, feldispat ve gipsit en yaygın olanlarıdır.

3.Organik madde: Kil materyalinde bulunan organik maddenin türü ve miktarı. Odun, yaprak maddesi, sporlar vb.'nin ayrı parçacıkları şeklinde ve ayrıca kil mineral yüzeylere adsorbe edilmiş organik moleküller şeklindedir. Toplam tutuşma kaybı (LOI), su, kükürt ve diğer inorganik uçucuların kaybından kaynaklanır.

4. Değiştirilebilir katyonlar ve çözünür tuzlar: Yaygın tuzlar kloritler, sülfatlar ve karbonatlardır. Değiştirilebilir iyonlar ve türleri kil malzemesini karakterize etmek için son derece önemlidir.

5. Doku: Parçacık boyutu dağılımı, parçacıkların şekli, parçacıkların uzayda ve birbirlerine göre yönelimidir. Çalışma araçları mikroskop, sedimentasyon yöntemleri vs.'dir. Şekiller lata, pul ve iğne gibidir.



Şekil 3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğraflarında
Kaolin grubu kil minerallerinin dokuları görülmektedir.

No. 5. Granit içindeki feldispattan ayrılmış kaolinit

No. 6. Arkoz içinden ayrılmış kaolinit yığınları

No. 7. Kumtaşı (Grova) türemiş kaolinit

No. 8. Kaolin , muhtemelen halloysit, üzerinde bulunduğu feldspattan türemiş

Kaynak: Keller, W.D., 1993, kaolin- oluşum, doku, fiziksel özellikler ve kullanımlarda çok çeşitli bir kayaç.
([http://bulletin.geoscienceworld.org/ content/93/1/27](http://bulletin.geoscienceworld.org/content/93/1/27))

KİL MİNERALLERİ KAVRAMI

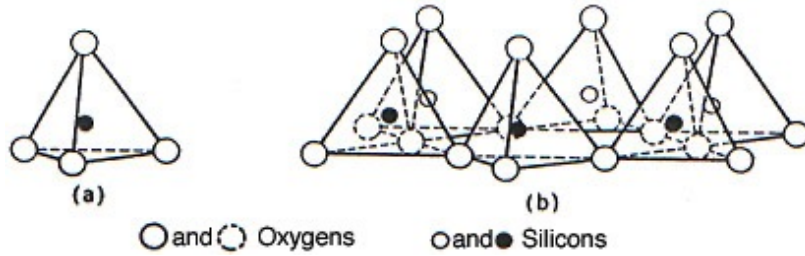
- Kil minerali kavramı yeni değildir, daha ziyade son yıllarda iyi kurulmuş ve genel olarak kabul görmüştür. 1920-1925'ten önce kil minerallerinin kristal yapısını ve çeşitlerini ayrıntılı olarak incelemek için yeterli araçlar (XRD) yoktu. 1920-1925'ten beri büyük miktarda bilgi birikmekte, ulusal ve uluslararası kil dernekleri kurulmakta, dergiler ve kitaplar yayınlanmaktadır.
- AIPEA-Uluslararası Kil Çalışmaları Derneği-<http://www.aipea.org/>
- ECGA – Avrupa Kil Grubu Derneği
- Kil Bilimleri Derneği-Kil Bilimi Derneği
- <http://claysciencesociety.org/>

KATMANLI SİLİKATLARININ VE KİL MİNERALLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE TERMİNOLOJİSİ

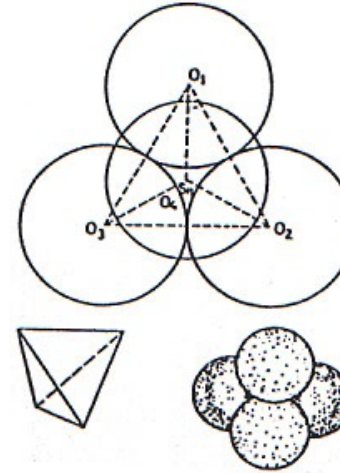
- Küçük parçacık boyutları ve kristal mükemmelliklerinin çeşitli dereceleri nedeniyle, kil minerallerinin modern analitik tekniklerin geliştirilmesinden önce yeterince karakterize edilmesi son derece zordu.
- Karakterizasyondaki problemler isimlendirme ve sınıflandırmada problemlere yol açmıştır. İsimlendirme ve sınıflandırma için öneriler ve yeni türler ulusal kil grupları tarafından yapılmaktadır. Nihai tavsiyeler, Uluslararası Mineraloji Birliği (IMA) ile yakın çalışan uluslararası isimlendirme komiteleri tarafından yapılır.

SİLİKAT MİNERALLERİNİN SINIFLANDIRMASI

- Silikat yapısının temel birimi SiO_4 tetrahedronudur (Şekil 4). Merkezde bir Si^{4+} ile koordineli düzenli bir tetrahedronun tepe noktalarında bulunan dört O^{2-} iyonundan oluşur. Bireysel tetrahedra, tetrahedral tabakalar oluşturmak için bazal O^{2-} paylaşılarak birbirine bağlanır. Silika kation, tetrahedral tabakada A bölgelerini işgal eder (Şekil 5).

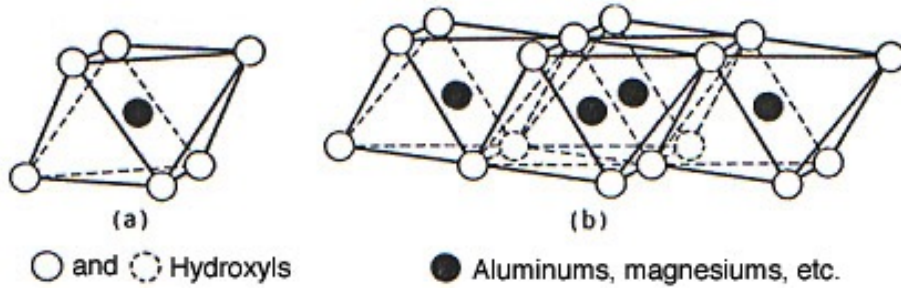


Şekil 4. (a) tek silika tetrahedronu ve (b) altıgen bir ağda düzenlenmiş silika tetrahedronların tabaka yapısını gösteren şematik çizim (Grim, 1968)

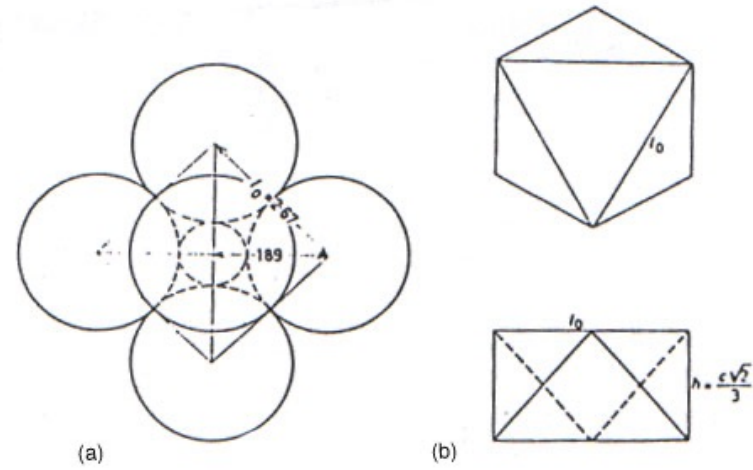


Şekil 5. SiO_4 tetrahedronundaki oksijen iyonlarının çeşitli açılardan uyumu (Nemecz, 1981)

- Kil minerallerindeki diğer bir temel yapısal birim, altı O^{2-} iyonunun B katyon bölgelerini çevreleyen ve oktahedronun tepelerinde yer aldığı oktahedrondur (Şek. 6 ve 7). Al^{3+} , Mg^{2+} genellikle B bölgelerini işgal eder. Kenarları paylaşarak oktahedronların bağlanmasıyla oktahedral tabaka oluşturur.



Şekil 6. (a) tek bir oktahedral birimi ve (b) oktahedral birimlerin tabaka yapısını gösteren diyagramatik eskiz (Grim, 1968).



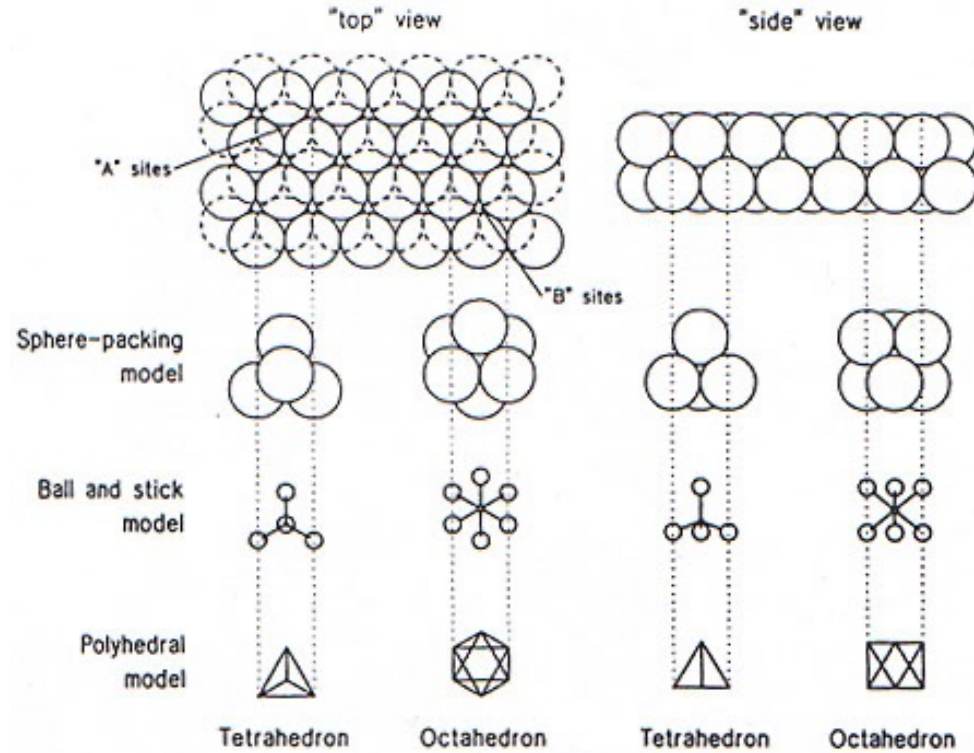
Şekil 7. (a) oktahedral koordinasyon ve (b) oktahedron plan ve yandan görünüş (Nemecz, 1981).

- Tetrahedra ve oktahedrayı temsil etmenin birkaç yolu vardır (Şekil 8).

1. Küre paketleme modeli: atomların kapladığı alanı gösterir

2. Top ve çubuk modeli: bağları gösterir

3. Polyhedral model: en iyi tetrahedra ve oktahedra izlenimini verir, atomlar noktalar olarak temsil edilir.



Şekil 8. Sıkı paketlenmiş kürelerin iki düzleminin bir sonucu olarak oktahedra ve tetrahedra oluşmaktadır. Oktahedra ve tetrahedra temsil edilmesinin üç yolu yukarıda gösterilmiştir. (Schulze, 1989, s.10).

KOORDİNAT NUMARASI

- İyonik yarıçap ve yük, bir atomun tetrahedral veya oktahedral bir alanı işgal edip edemeyeceğini belirler. Tetrahedral alana yerleştirilebilecek en büyük küre, oktahedral alana yerleştirilebilecekten daha küçüktür. Hesaplamalar, tetrahedral bölgeye uyacak en büyük kürenin 0.414 yarıçap oranına sahip olduğunu göstermiştir. Al ve Si en yaygın iyonlardır. Oktahedral sitelere yerleştirilecek en büyük kürenin yarıçap oranı 0.732'dir. Yani Mg^{2+} iyonu 6 kat koordinasyon için uygundur. Al^{3+} aradadır, hem 4'lü hem de 6'lı koordinasyonlarda görülebilir (Tablo 2).

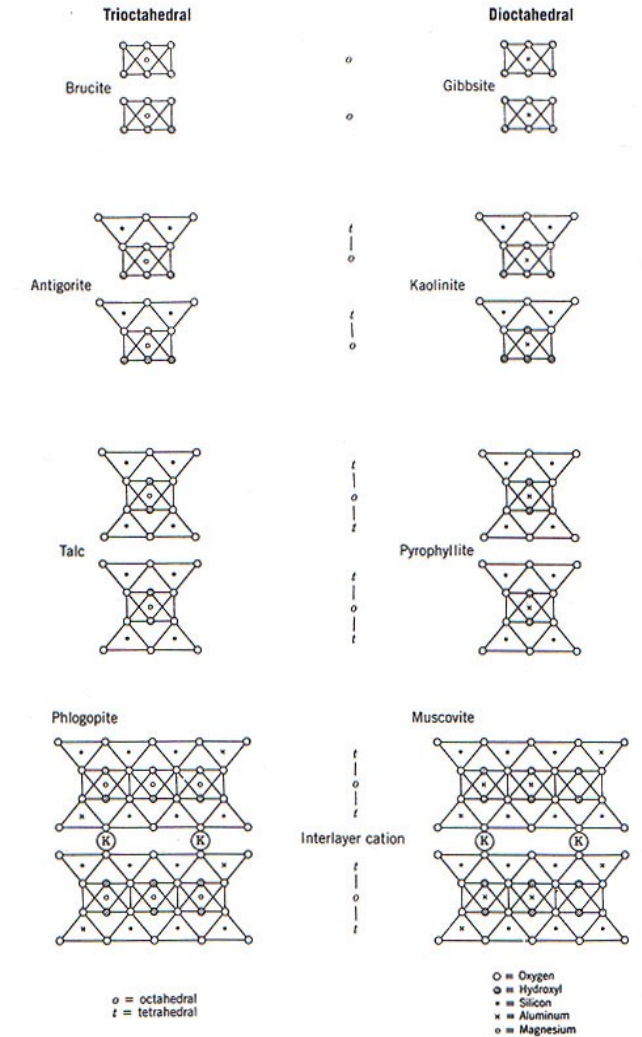
Tablo 2. Silikat minerallerinde ortak elementlerin iyon yarıçapı, yarıçap oranı ve koordinat sayısı (Shulze,1989, s. 11)

Iyon	Iyon yarıçapı, nm	$R_x:R_o^*$	Koordinat no.
O^{2-}	0.140	-	-
F^-	0.133	-	-
Cl^-	0.181	-	-
Si^{4+}	0.039	0.278	4
Al^{3+}	0.051	0.364	4,6
Fe^{3+}	0.064	0.457	6
Mg^{2+}	0.066	0.471	6
Ti^{4+}	0.068	0.486	6
Fe^{2+}	0.074	0.529	6
Mn^{3+}	0.080	0.571	6
Na^+	0.097	0.693	8
Ca^{2+}	0.099	0.707	8
K^+	0.133	0.950	8-12
Ba^{2+}	0.134	0.957	8-12
Rb^+	0.147	1.050	8-12

*Katyon yarıçapının O^{2-} yarıçapına oranı ($O^{2-} = 0.140nm$)

TETRAHEDRAL VE OCTAHEDRAL TABAKALAR

- Tetrahedral ve oktahedral tabakaların farklı kombinasyonları, farklı kil mineral yapılarının oluşmasını sağlamaktadır (Şekil. 9-12).

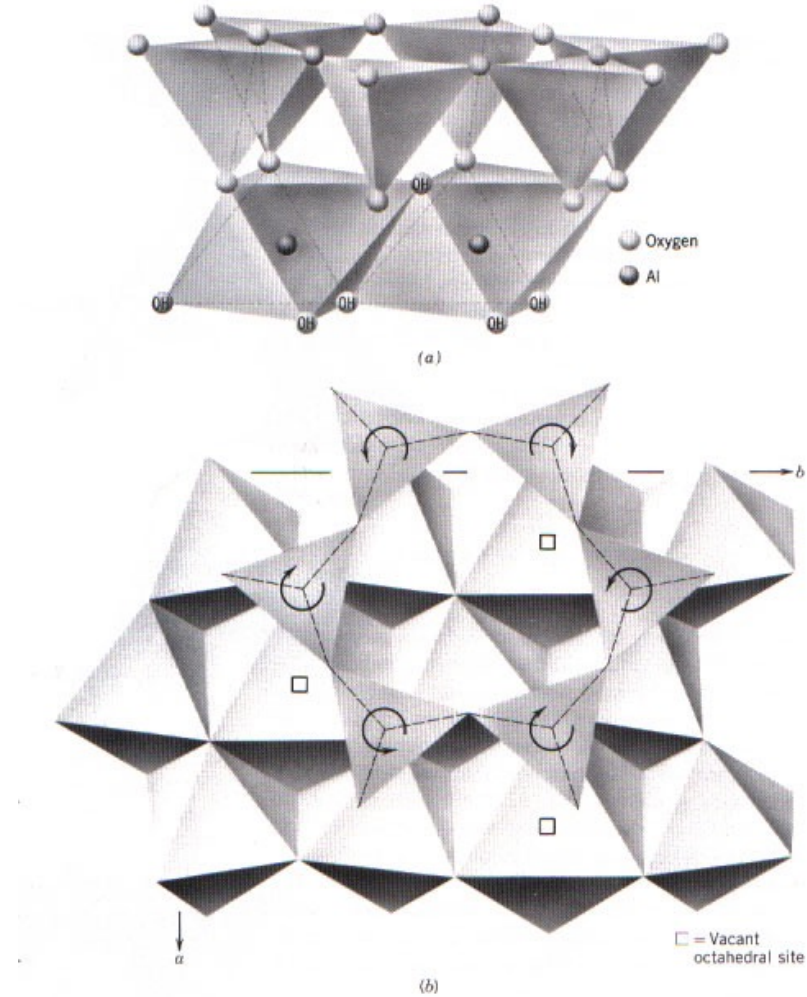


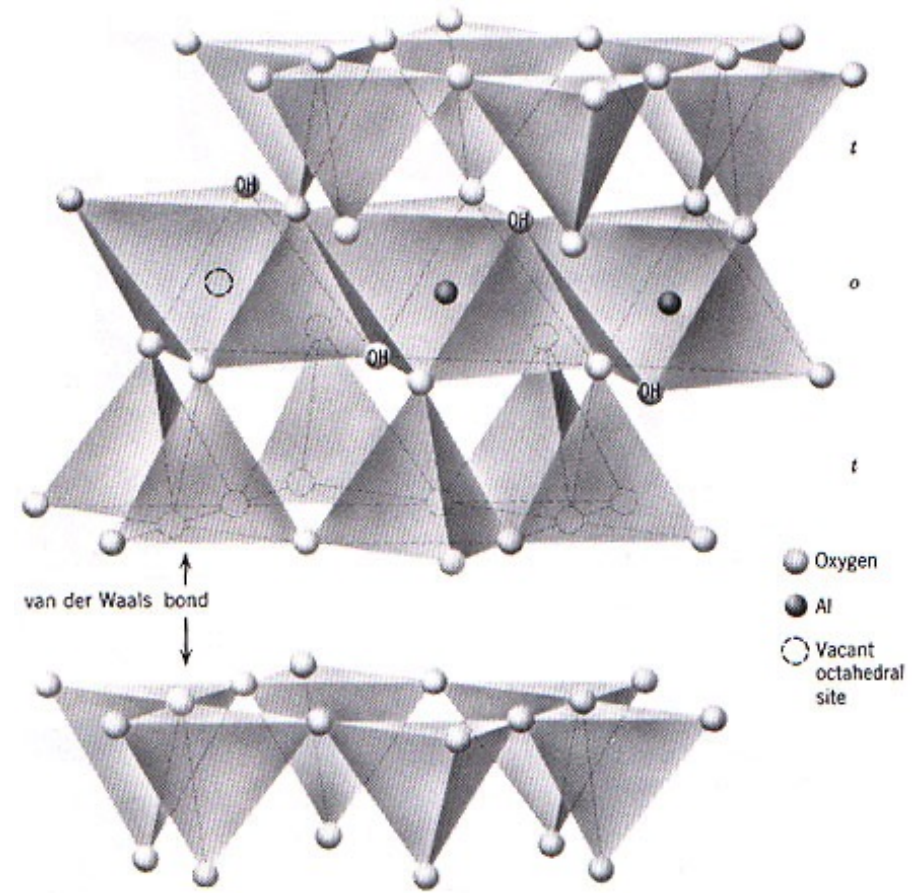
Şekil 9. Bazı fillosilikat yapılarının şematik gelişimi (Klein ve Hurlbut, 1993, s.502).

Şekil 10. (a) bir tarafı oktahedral tabaka ile bağlanmış tetrahedral bir tabaka ile kaolinit yapısının şematik çizimi

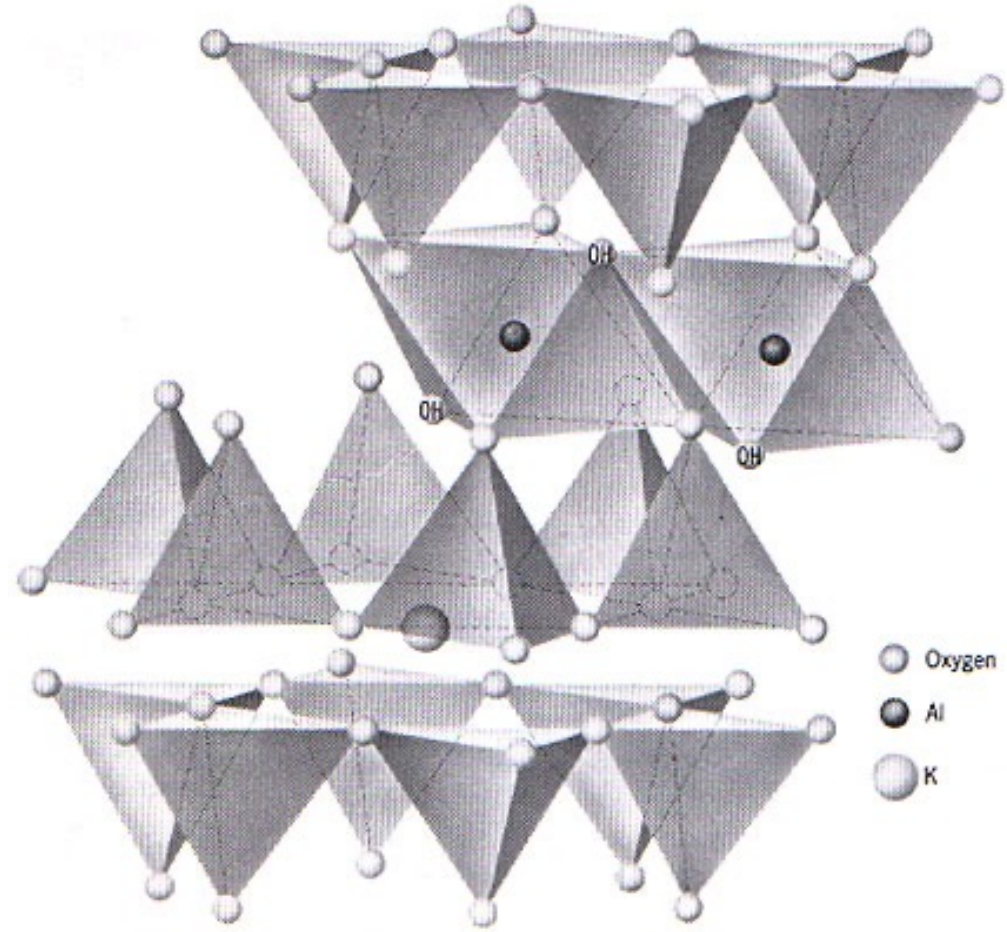
(b) oktahedral tabakanın toplam boyutlarının idealize edilmiş bir tetrahedral tabakanıkinden biraz daha küçük olduğu muskovit yapısının plan görünüşüdür.

Bu hafif uyumsuzluğa uyum sağlamak için, tetrahedral tabakadaki SiO_4 , tetrahedra tabakaya dik eksen etrafında döndürülür (Klein ve Hurlbut, 1993, s.499)





Şekil 11. Pirofillitte olduğu gibi t-o-t tipi bir katmanın şematik çizimi (Klein ve Hurlbut, 1993, s.500)



Şekil 12. Muskovit yapısının şematik çizimi (Klein ve Hurlbut, s.500,1993)

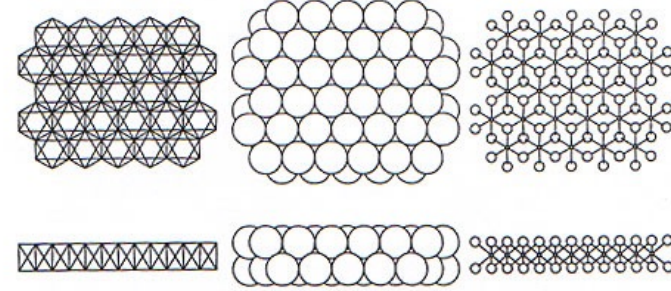
Trioktahedral tabaka

- Oktahedral bölgeleri doldurmanın iki yolu vardır, her bir oktahedral bölgeye (Trioktahedral yapı) iki değerli bir katyon (örn. Mg^{2+}) yerleştirilir. Formül $Mg_3(OH)_6$ 'dır. Tüm katyon siteleri doldurulur.

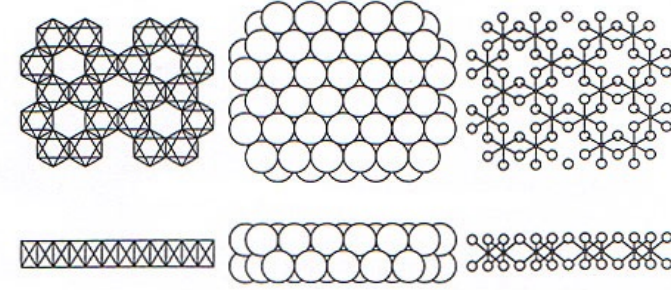
Dioktahedral tabaka

- Al^{3+} gibi üç değerlikli bir katyon oktahedral bölgededir. Yük nötrlüğünü korumak için sadece iki üç değerlikli katyona ihtiyaç vardır. Formül $Al_2(OH)_6$ 'dır. Olası katyon alanlarının 2/3'ü doldurulmuştur (Şekil 13).

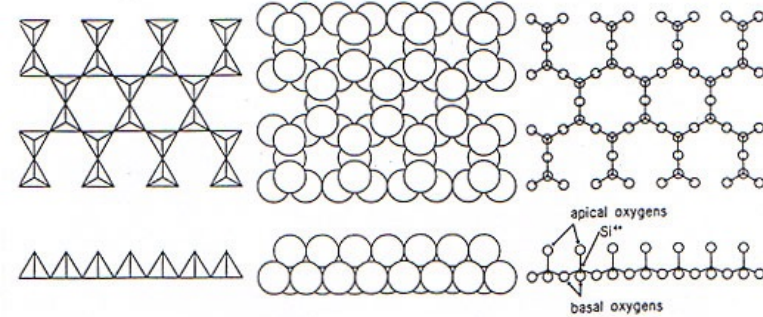
The Octahedral Sheet (trioctahedral)



The Octahedral Sheet (dioctahedral)



The Tetrahedral Sheet



Şekil 13. Oktahedral ve tetrahedral tabakaların çeşitli görünümü (Schulze, 1989, s.1315)

YAPISAL TERİMLER

- **Kafes & Yapı:** kafes, uzaydaki noktaların düzgün dağılımıdır (örn. 14 Bravais kafesi) Yapı ile eşanlamlı değildir. Yani 'katman kafesi' yanlıştır. Bunun yerine "katman yapısı", "katman silikat" ve "fillosilikat" kabul edilebilir.
- **Düzlem:** tek bir atom düzlemidir.
- **Levha:** tetrahedral ve oktahedral levha
- **Katman:** 1: 1 veya 2:1 katman. Böylece düzlem, levhadan katmana giderek daha kalın düzenlemelere atıfta bulunur.
- **Ara katman malzemeleri:** birbirinden ayrı katmanlar, katyonlar, hidratlı katyonlar, organik moleküller, hidroksit oktahedral grupları ve tabakalar gibidirler.
- **Birim yapısı:** katman artı ara katman malzemesinin toplamıdır.

Tablo 3. Kil mineral yapıları için terimler (Bailey,1980)

English	French	German	Spanish	Italian
Plane	plan	ebene	plano	Plano
sheet	couche	schicht	capa	Strato
layer	feuillet	schichtpaket	Estrato o paquete	Pacchetto
interlayer	Espace interfoliaire	zwischen-schicht	material interlaminar	interstrato
unit structure	Unité structurale	Struktur einheit	Unidad estructural	Unita strutturale

Talk tabakası ve brucite levha

- Klorit yapısını tanımlamak için kullanılır. Talk ve brucite Al ile Mg'nin çok az ikamesi meydana gelirken, bu trioktahedral kloritlerin önemli bir geleceğidir. “Talk katmanı” yerine “2:1 katman” kullanılmalıdır. 'Brucite levha' yerine 'hidroksit levha' kullanılmalıdır.

SINIFLAMA ŞEMASI

- **I.Kristal olmayan malzemeler:** Allofan
- **II.Kristal malzemeler:** Tabaka yapılı kil mineralleri (fillosilikatlar) bu gruba aittir. Tablo 4, sınıflandırma şemasını vermektedir. Fillosilikatlar, her biri dioktahedral ve trioktahedral alt grupları içeren gruplara ayrılır. Her alt grup sırayla mineral türlerine ayrılır. Grupların ve alt grupların kesin tanımları ve isimleri zamanla gelişecek ve değişecektir.

Tablo 4. Kil minerallerine vurgu yapılarak, fillosilikatların sınıflandırılması
(Moore ve Reynolds,1989, s.121)

Katman Tipi	Grup	Alt grup	Tür
1:1	Serpentine-kaolin (x~0)	Serpentines(Tr) Kaolins (Di)	Chrysotile,antigorite,lizardite, berthierine Kaolinite,dickite,nacrite,halloysite
2:1	Talc-pyrophyllite (x~0)	Talc (Tr) Pyrophyllite (Di)	
	Smectite (x~0.2-0.6)	Tr smectites Di smectites	Saponite, hectorite Montmorillonite,beidellite, nontronite
	Vermiculite (x~0.6-0.9)	Tr vermiculites Di vermiculites	
	Illite (x < 0.9 > 0.6)	Tr illite? Di illite	
	Mica (x~1.0)	Tr micas Di micas	Biotite,phlogopite,lepidolite Muscovite, paragonite
	Brittle micas (x~2.0)	Di brittle micas	Margarite
	Chlorite (x variable)	Tr,Tr chlorites Di,Di chlorites Di,Tr chlorites Tr,Di chlorites	Common name based on Fe ²⁺ , Mg ²⁺ , Mn ²⁺ ,Ni ²⁺ Donbassite Sudoite,cookeite (Li)
2:1	Sepiolite-palygorskite	x değişkenli ters çevrilmiş şeritler	

- **III. Ara tabakalı (karışık tabakalı) kil mineralleri:** Çeşitli katman türleri, düzenli veya düzensiz bir şekilde değişerek ara tabakalı killer oluşturabilir. Düzenli olarak ara tabakalı kil minerallerine özel isimler verilir. Örnek olarak:
- Aliettite 1:1 talk/saponitin düzenli katmanlaşması
- Alleverdit: Dioktahedral paragonit/smektitin 1:1 düzenli ara katmanlaşması.
- Korrensit : Trioktahedral klorit/trioktahedral simektitin (veya trioktahedral vermikülit) 1:1 düzenli katmanlaşması
- Tosudite: 1:1 düzenli klorit/dioktahedral simektit ara tabakalaşması

Bu kil mineral grubu Tablo 4'te yer almamaktadır.

- **VI. Sahte katman yapıları**

- Atapulgit, sepiyolit, paligorskit

Okuma Ödevi:

Bailey,S.W.,1980, Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee, Clays and Clay Minerals, v. 28,no.1, 73-78.

Değerilen Kaynaklar:

Bailey,S.W.,1980, Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee, Clays and Clay Minerals, v. 28,no.1, 73-78.

Boggs,S.Jr., 1987,Principles of sedimentology and stratigraphy.

Grim,R.E.,1968, Clay mineralogy

Klein, C. and Hurlbut, C.S.Jr.,1993, Manual of mineralogy

Nemecz, E., 1981, Clay minerals

Shulze,D.G.,1989, *in* Dixon,J.B. and Weeds,S.B., Minerals in soil environments

KİL MİNERALİ İSİMLENDİRMESİ ÜZERİNE BAZI KAYNAKLAR

- AIPEA,1997, Report of the Association Internationale Pour L'etude des Argiles (AIPEA) nomenclature committee for 1996, Clays and Clay Minerals, vol. 45, no.2, 298-300.
- Bailey, S.W., 1980, Structures of layer silicates *in* Brindley,G.W. and Brown,G. (eds) Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification , Monograph no.5, Mineralogical Society, London, 1-123.
- Bailey, S.W., 1982, Nomenclature for regular interstratifications, amer. Mineral., vol.67, 394-398.
- Bailey, S.W., Brindley, G.W., Kodama, H. and Martin, R.T., 1979, Report of the Clay Mineral Society nomenclature committee for 1977 and 1978, Clays and Clay Minerals, vol. 27, no.3, 238-239.
- Bailey, S.W., Brindley, G.W., Kodama, H. and Martin, R.T., 1981, Report of the Clay Mineral Society nomenclature committee for 1980-1981, Clays and Clay Minerals, vol. 30, no.1, 76-78.
- Bailey,S.W., Brindley,g.W., Fanning,D.S., Kodama,H. And Martin,R.T., 1984, Report of the Clay Mineral Society nomenclature committee for 1982 and 1983, Clays and Clay Minerals, vol. 32, no.3, 239-240.
- Bloss, F.D., 1966, Suggested terminology for interstratified clay minerals, Amer. Mineral., vol. 51, 855-857.
- Brindley, G.W., 1981, X-ray identification (with ancillary techniques) of clay minerals *in* Longstaffe, F.J. (ed) Short course in clays for the resource geologist, Mineralogical Association of Canada, Toronto, 22-38.

- Foord, E.E., Strakey, H.C., Taggart, Jr., J.E. and Shawe, D.R., 1988, Reassessment of the volkonskoite-chromian smectite nomenclature problem: comment, *Clays and Clay Minerals*, vol. 36, no.6, 541.
- Guggenheim, S. and Martin, R.T., 1995, Definition of clay and clay mineral: joint report of the nomenclature and CMS nomenclature committees, *Clays and Clay Minerals*, vol. 43, no.2, 255-256.
- Guggenheim, S. and Martin, R.T., 1996, reply to the comment by D.M. Moore on 'Definition of clay and clay mineral: joint report of the nomenclature and CMS nomenclature committees', *Clays and Clay Minerals*, vol. 44, no.5, 713-715.
- Hower, J. and Mowatt, T.C., 1966, The mineralogy of illite and mixed-layer illite/montmorillonite, *Amer. Mineral.* vol.51, 825-854.
- Mackenzie, R.C., 1988, Reassessment of the volkonskoite-chromian smectite nomenclature problem: comment, *Clays and Clay Minerals*, vol. 36, no.6, 540.
- Martin, R.T., Bailey, S.W., Eberl, D.D., Fanning, D.S., Guggenheim, S., Kodama, H., Peaver, D.R., Srodon, J. and Wixey, F.J., 1991, Report of the Clay Mineral Society nomenclature committee : revised classification of clay materials, *Clays and Clay Minerals*, vol. 39, no.3, 333-335.
- Moore, D.M., 1996, Comment on: Definition of clay and clay mineral: joint report of the nomenclature and CMS nomenclature committees, *Clays and Clay Minerals*, vol. 44, no.5, 710-712.
- Rieder, M. et al., 1998, Nomenclature of the micas, *Clays and Clay Minerals*, vol. 46, no.5, 586-595.
- Sequet, H. and Pezerat, H., 1988, comments on the classification of trioctahedral 2:1 phyllosilicates, *Clays and Clay Minerals*, vol. 36, no.2, 184-186.
- Srodon, J., 1984, X-ray identification of illitic materials, *Clays and Clay Minerals*, vol.32, 337-349.
- Warshaw, c.m. and Roy, R., 1961, Classification and a scheme for the identification of layer silicates, *geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 72, 1455-1492.

LABORATUAR

Uygulama I :

- a. Rapor yazımı ana hattı için talimatlar**
- b. Çok yüzlü modeller yapımı**