INS308
Zemin Mekaniği II

Kil Mineralleri ve Zemin Yapısı

Doç. Dr. İnan KESKİN

inankeskin@karabuk.edu.tr, inankeskin@gmail.com

www.inankeskin.com

ZEMİN MEKANİĞİ

Haftalık Konular

Hafta 1:	Zemin Etütleri Amacı ve Genel Bilgiler
Hafta 2:	Kil Minarelleri ve Zemin Yapısı
Hafta 3:	Zeminlerde Kayma Direnci Kavramı, Yenilme Teorileri
Hafta 4:	Zeminlerde Kayma Direncinin Ölçümü; Serbest Basınç Deneyi, Kesme Kutusu Deneyi, Üç Eksenli Basınç Deneyi, Vane Kanatlı sonda Deneyi
Hafta 5:	Zeminlerde Kayma Direncinin Belirlenmesine Yönelik Deneyler; Laboratuvar Uygulaması
Hafta 6:	Zeminlerde Kayma Direncinin Belirlenmesine Yönelik Problem Çözümleri
Hafta 7:	Yanal Zemin Basınçları
Hafta 8:	Yanal Zemin Basınçları; Uygulamalar
Hafta 9:	Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi; Temel Kavramlar
Hafta 10:	Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi Örnek Problemler
Hafta 11:	Zeminlerin Taşıma Gücü; Sığ Temeller
Hafta 12:	Zeminlerin Taşıma Gücü; Kazıklı Temeller
Hafta 13:	Zemin Sıvılaşması ve Analizi
Hafta 14:	İleri Zemin Mekaniği Problem Çözümleri
Hafta 15:	Bu ders için Ara Sınav, 7. ve 15. haftalar arasındaki bir tarihte yapılır. Sınavın yapıldığı tarihten itibaren konular bir hafta ileri alınır.

KİLİN TANIMI





Kil, doğada yaygın olarak bulunan kimyasal bileşimi ***hidratlı alüminyum*** ve ***magnezyum silikatlardan*** oluşan, kayaçların kimyasal ayrışmasıyla oluşmuş, tane boyu çok küçük (< 2 mikron) doğal bir malzeme olarak tanımlanabilir.

Kilin mühendislikteki tanımı ise; su ile karıştırıldığında hamur gibi kolayca şekil verilebilen (plastiklik özelliği), kuruduğu zaman *büzülen ve* dayanımı artan, kohezif özelliğe sahip, ıslandığı zaman şişen, ve sıkıştığı zaman suyunu dışarı atabilen kolloidal (çapları 2 mikrondan daha az) tane boyundaki ince dokulu malzeme olarak tanımlanabilir (Kasapoğlu, 1989).

Plastiklik, bir malzemenin deformasyon davranışını tanımlayan bir terimdir. Bir malzeme plastik olduğunda, mekanik stres altında şeklini kalıcı olarak değiştirebilir. *Cisim, mekanik gerilim altında uğradığı şekil değişimini, bu etki kalktıktan sonra da sürdürdürebilir. (geoteknik mühendisliğinde genellikle su içeriği cinsinden ifade edilir (PL)).*



KİLLER ve NEDEN OLDUĞU PROBLEMLER

Özellikle kurak iklimli bölgelerde suya doygun olmayan killi zeminlerin su muhtevasındaki artış, önemli hacim değişikliklerini oluşturmaktadır. Bu tür zeminlerin su ile temas etmesi halinde meydana gelen hacim değişikliklerinin büyük olması ve oluşan hacim değişiminin üst yapı veya var olan mühendislik yapıları tarafından engellenmesi ile ortaya çıkan basınç, yapılarda büyük maddi hasara neden olabilmektedir. Bazı kil zeminlerin, su ile etkileşimde bulunarak bünyelerine su almasına bağlı olarak meydana gelen hacim artışı ve ortaya çıkacak ilave basınç, kilin ***şişme (swelling)*** özelliği olarak tanımlanmaktadır. Oluşan bu basınçlar; **temel sisteminde veya döşeme elemanında mimari ve hatta yapısal hasarlar** oluşturabilmektedir.











KİLLER ve NEDEN OLDUĞU PROBLEMLER

Ağırlığı oldukça düşük olan kaldırımlarda, karayollarında ve havaalanı pistlerinde, şişme problemi sık sık görülmektedir. Ayrıca sistemin zaman zaman yüklenip boşaltıldığı, sızma ve kaçak sulardan dolayı temel zemininin su ile temas etme ihtimalinin yüksek olduğu kanal kaplaması, borulu sulama ve içme suyu şebekeleri gibi hafif su yapılarında çatlama, kırılma ve kabarma, ve sifon, menfez ve sel alt geçidi gibi yardımcı yapılarda da yer değiştirme, dönme ve devrilme problemleri ile karşılaşılmaktadır.







KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

Kil mineralleri, bol miktarda silikat mineralleri içeren, Mağmatik, bazik–ultra bazik volkanik ve metamorfik kayaçlar ile kumtaşı ve şeyllerin atmosfer etkilerine maruz kalarak oksidasyon redüksiyon, hidrasyon-dehidrasyon, iyon değişimi, taşınma vb. kimyasal/jeolojik süreçler sonucunda meydana gelmektedir.

Oksidasyon, bir kimyasal bileşenin *elektronlarını diğer bir bileşene vermesi* sonucu meydana gelir.

Redüksiyon, diğer adıyla indirgenme, *bir bileşenin elektronları alması* sonucu meydana gelir.

Hidrasyon, bir bileşiğin su moleküllerini içine alması veya su ile reaksiyona girmesi sonucu oluşur.

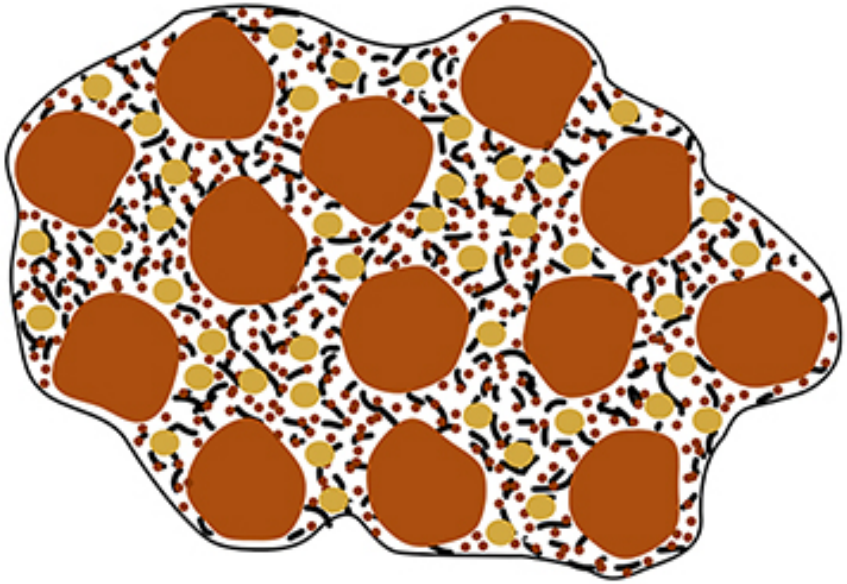
Dehidrasyon, su moleküllerinin bir bileşiğin içinden çıkması veya bir bileşiğin su moleküllerini kaybetmesi sonucu meydana gelir.

KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

Genel olarak zemin sınıflama sistemlerinde kil taneleri, 2 mikron (0.002 mm) veya daha küçük tane çapına sahip *hidratlı alüminyum veya magnezyum silikat*lardan oluşan ikincil minerallerdir. Partiküller veya kolloidal boyutta taneler olarak bulunurlar.

Kil mineralinin içyapısı, atomlar arası bağ kuvvetleri etkisinde atomların diziliş biçimine bağlıdır.

Atomların dizilişi düzenli ise "kristal yapı", düzensiz ve rasgele ise "amorf" yapı oluşur. Düzenli dizilişin temel niteliği tekrarlılıktır.



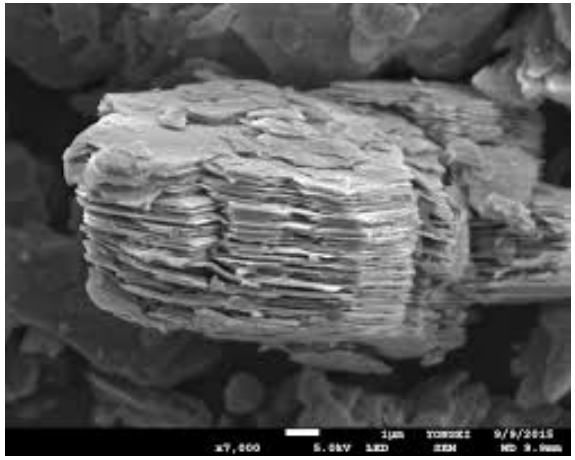


Kum

Silt

Kil

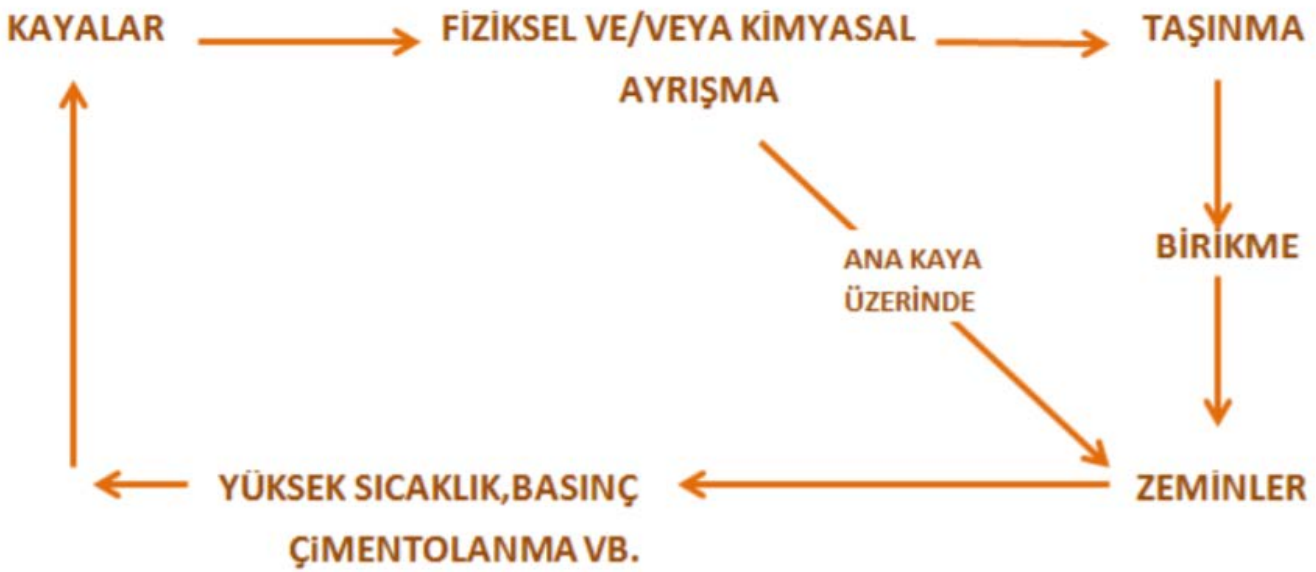
Organik Malzeme



KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

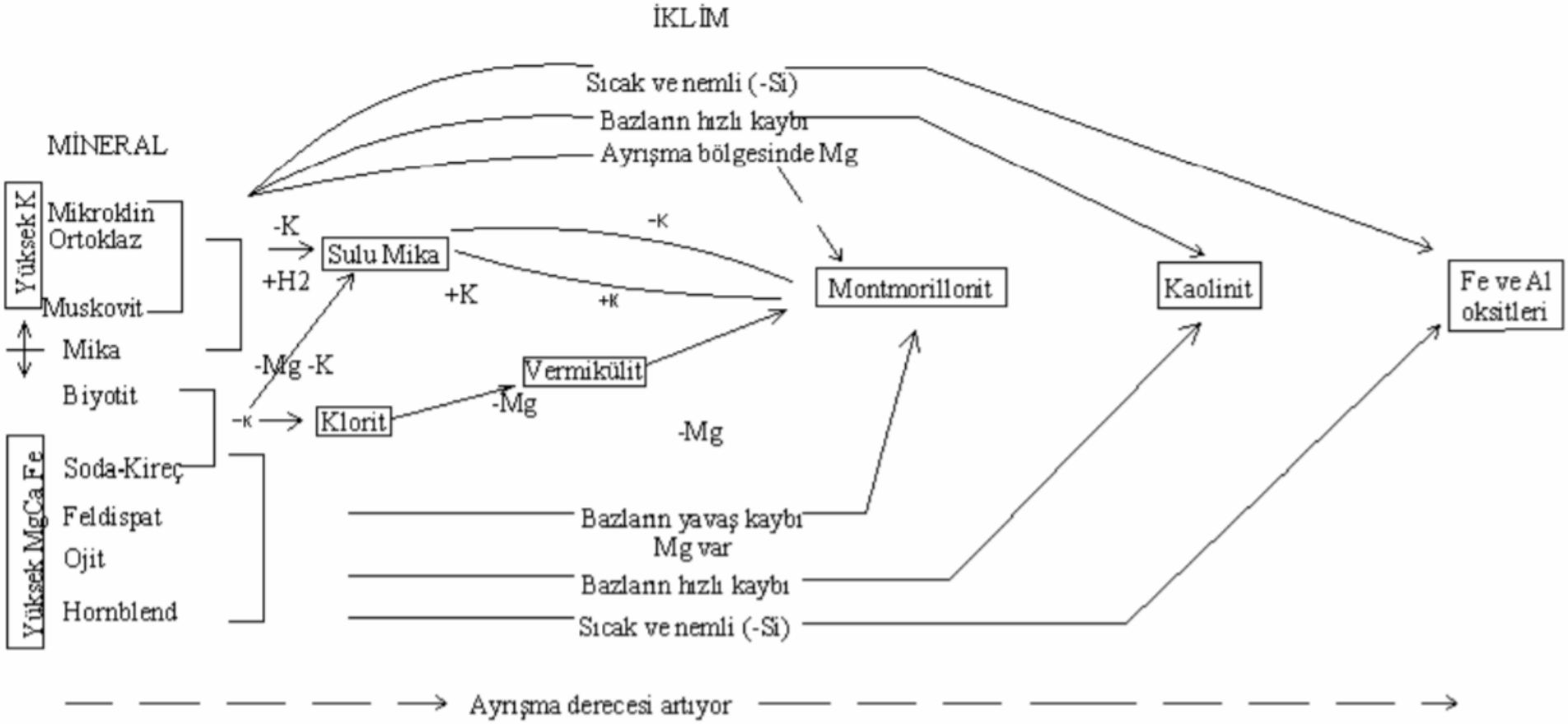
Kayacın kile dönüşmesi ve kilin karakterini kazanmasında aşağıda belirtilen faktörler önemli rol oynar.

- Ana kayaç türü
- Yağış,
- Ortam sıcaklığı,
- nemlilik,
- Yer altı suyu seviyesi,
- Drenaj koşulları,
- pH ve tuzluluk,
- Bitki örtüsü,
- Eğim



Kil minerallerini anakayanın türü ve oluşma ortamları ile birlikte değerlendirmek zemin yapısını daha gerçekçi tanımak, muhtemel mühendislik problemlerini tahmin etmek yönünden önemlidir.

KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

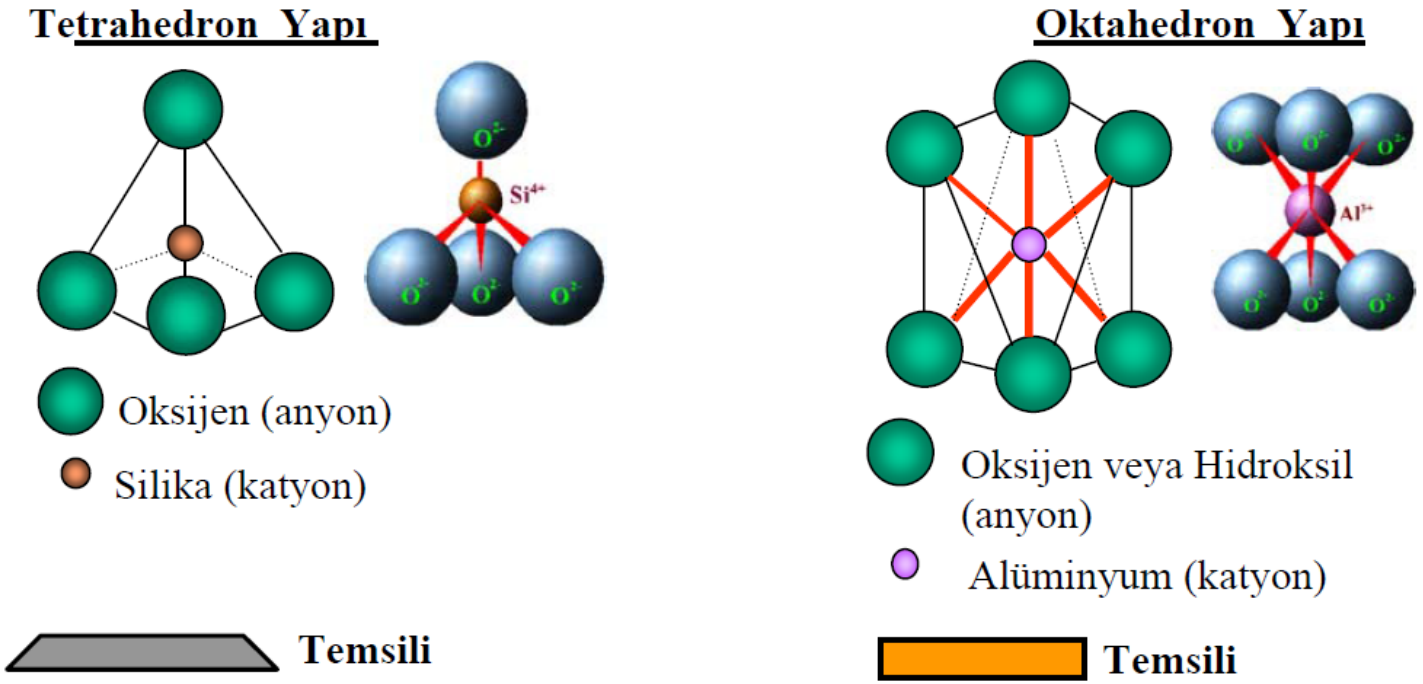


Killeşme akış diyagramı Önalp, A., 2002.

KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

Tek başına tane boyutu, kil partiküllerinin davranışını belirlemede yeterli bilgiyi sağlamaz mineralojik özeliklerinin iyi analiz edilmesi gereklidir.

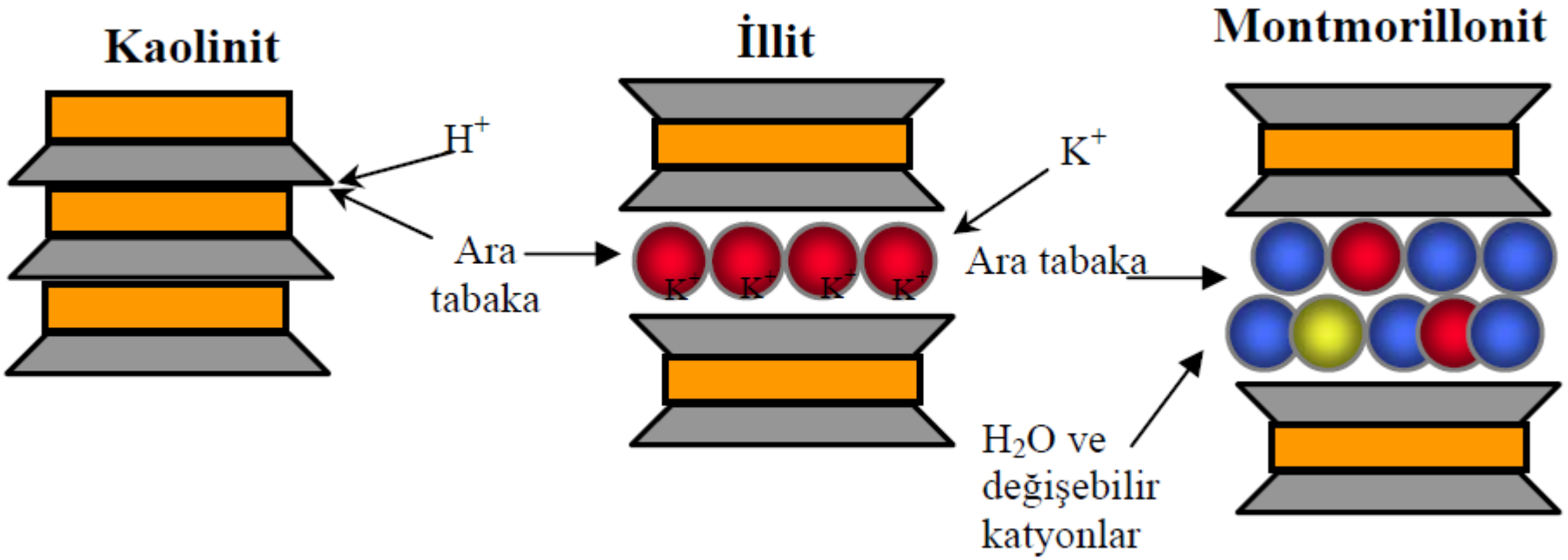
Her kil minerali; ***Silis tetrahedron (dört yüzlü)*** ile ***Alimünyum*** veya ***Mağnezyum oktahedron (sekiz yüzlü)*** olmak üzere iki adet kristal levhadan oluşmaktadır. Bu levahalar değişik bağlar ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanarak farklı kil minarallerini oluşturur.



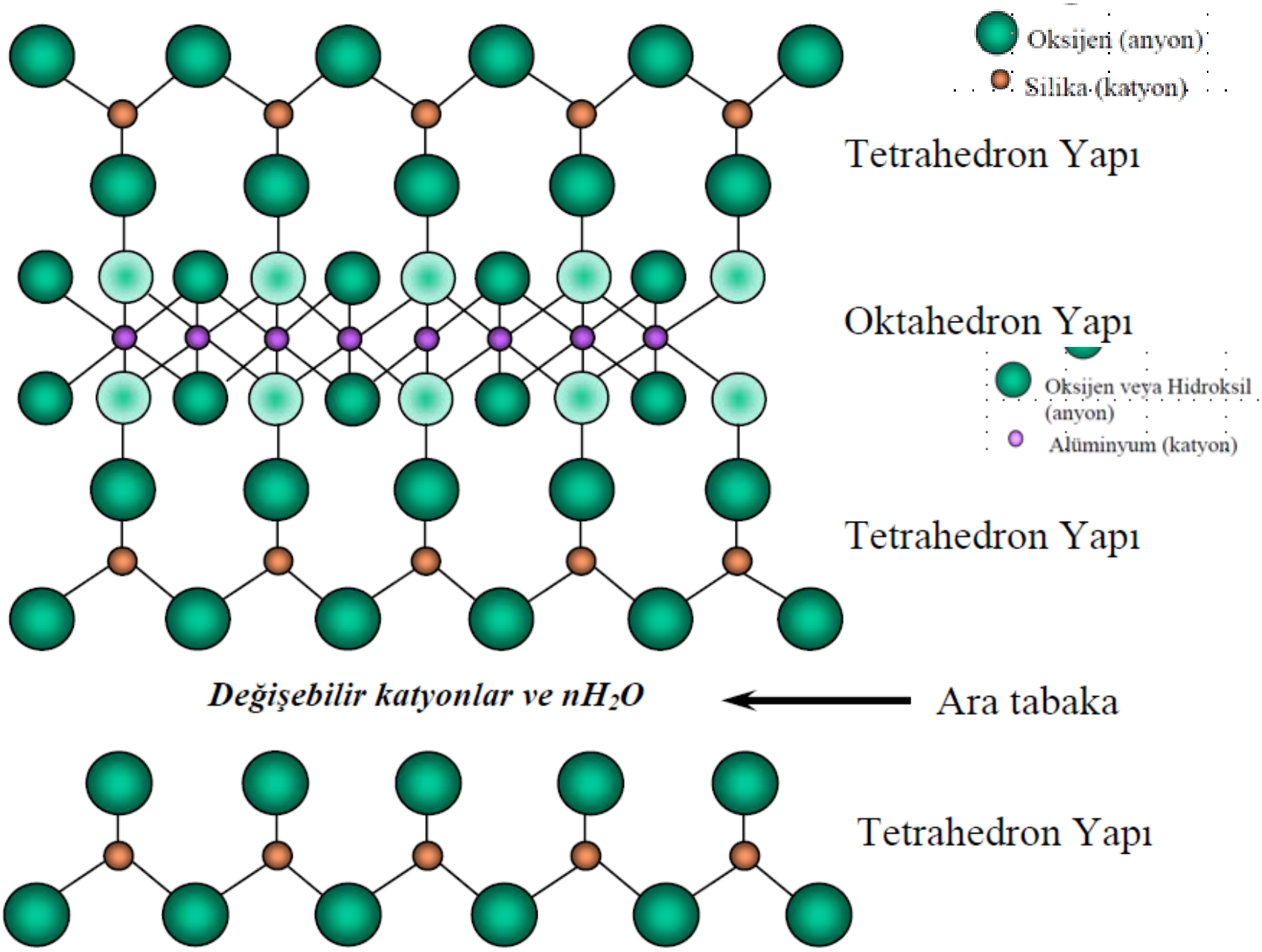
Oktahedral levhada farklı katyonların yer değiştirmesi çok yaygın bir süreç olup bunun sonucunda farklı mineraller ortaya çıkmaktadır. Mühendislik uygulamalarında kil minerallerinde bulunan sadece birkaç yaygın mineralin tanımlanması yeterlidir.

KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

Oktahedron ve tetrohedron yapılar, oktahedron ve tetrahedron levha şekillerini alarak birlikte polimer yapı oluşturur. Oluşan levhaların birleşimi ve düzenlenmesi, farklı yapıların oluşmasına sebep olur. Temel yapıdaki değişimler neticesinde bilinen kil mineralleri oluşur. Sonuç olarak tüm kil mineralleri, iki temel levha yapısının değişik şekillerde (1:1, 2:1) bir araya gelmesi ile oluşur.

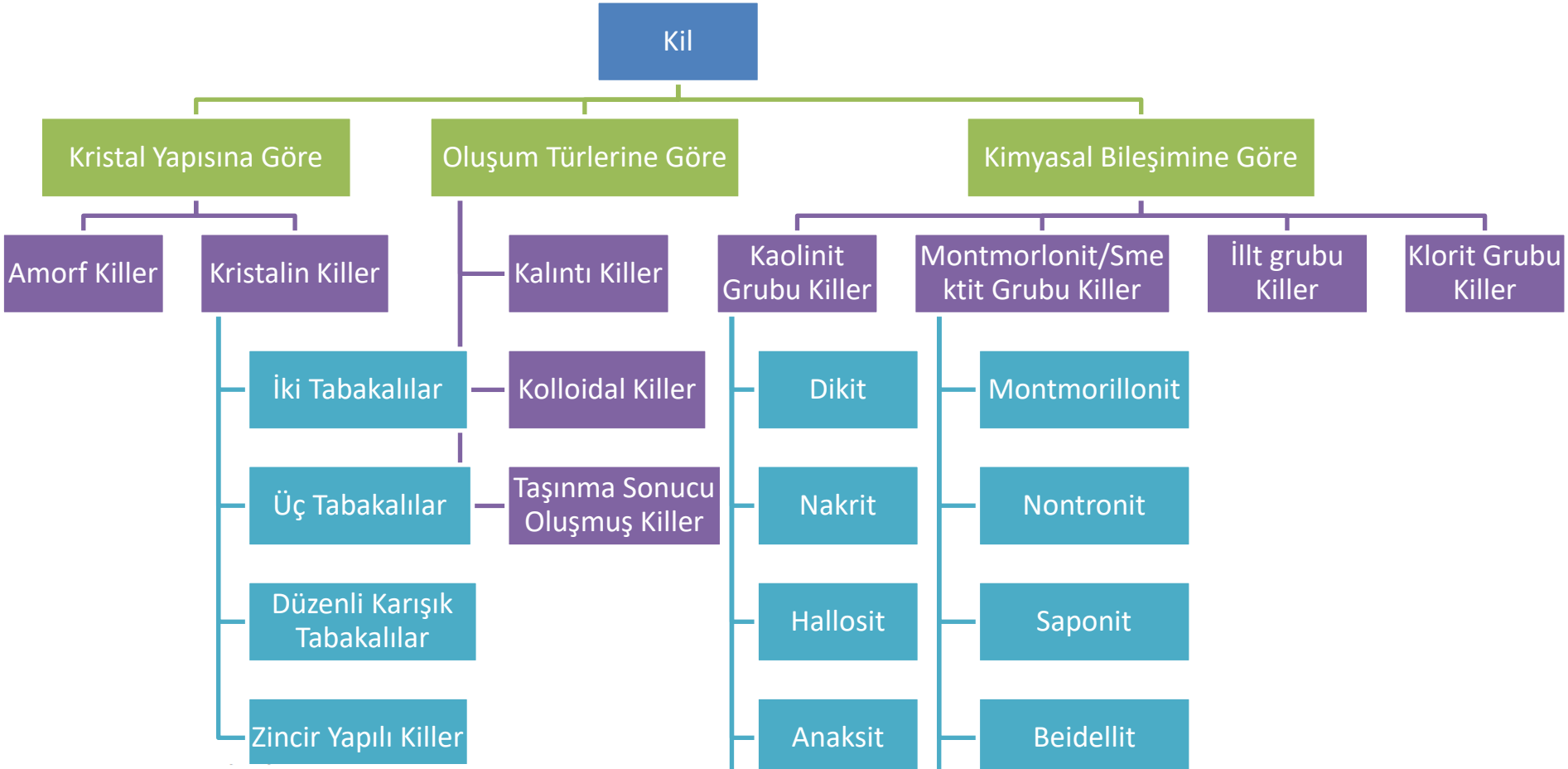


KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI



KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kilin türü; zeminin geçirimliliğine, şişme-büzülme davranışına, sıkışabilirlik ve kayma direnci gibi önemli özelliklerini doğrudan etkilemektedir.



Tabaka	Grup	Cins
2 Tabakalı olanlar	**Kaolinit Grubu** a- Eş boyutlu olanlar b- Bir yönde uzamış olanlar	Kaolinit, Dikit Halloysit
3 Tabakalı olanlar	**Smektit Grubu** İllit Grubu Vermikülit Grubu	Montmorillonit Bediellit, İllit Vermikülit
4 Tabakalı olanlar	**Klorit Grubu**	Klorit
Zincir yapısı olanlar	**Sepiyolit Grubu**	Sepiyolit Atapulgit Paligorskit

KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Şişmeye neden olan kil minerallerinin oluşumu, ana kayanın ayrışma şartlarına ve mevsimsel özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Genel olarak kil mineralleri volkanik kökenli ana kayanın kimyasal yollarla ayrışması sonucu oluşmaktadır.

Kil Minerali	Oluşumu
Kaolinit	Volkanik kayaçların aşınması sonucu genellikle tropik ve astropik alanlarda oluşur.
Klorit	Metamorfik ana kaya alanlarında, genellikle deniz tortularda ve çökelti kayalarda oluşur. Normal olarak yüksek oranlarda bulunmaz.
İllit	Sıcak ve kurak bölgelerde çökelti kayaların aşınması ile oluşur.
Montmorillonit	Zayıf drenaj şartlarında volkanik kül ve kayaların aşınması sonucu, genellikle kurak alanlarda illit ile beraber bulunur.

Kil minerallerinin iklim ve ana kaya koşullarına göre oluşumu (Genç, 2009)

KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

	BİLEŞİM	KÖKEN
A. KAOLİNİT GRUBU		
1- Kaolinit	$Al_2SiO_5(OH)_4$	Ayrışma, hidrotermal ayrışma
2- Dikit	$Al_2SiO_5(OH)_4$	Hidrotermal ayrışma
3- Nakrit	$Al_2SiO_5(OH)_4$	Hidrotermal ayrışma
4- Anaksit	$Al_2SiO_5(OH)_4$	Hidrotermal ayrışma
5- Halloyisit	$Al_2SiO_5(OH)_4$	Ayrışma
6- Endellit	$Al_2SiO_5(OH)_42H_2O$	Ayrışma
B. SMEKTİT GRUBU		
1- Montmorillonit	$Mg_2Al_{10}Si_{24}(OH)_{12}(Na,Ca)$	Hidrotermal ayrışma
2- Nontronit	$FeSi_{22}Al_{22}O_{60}(OH)_{12}(Na_2)$	Hidrotermal ayrışma
3- Saponit	$Mg_{18}Si_{22}Al_{22}O_{60}(OH)_{12}(Na_2)$	Hidrotermal ayrışma
	BİLEŞİM	**KÖKEN**
4- Beidellit	$Al_{13}Si_{19}Al_5O_{60}(OH)_{12}(Na)$	Hidrotermal ayrışma
5- Hektorit	$Li_2(Al,fe,Mg)(Si_2Al_2)O_5(OH)$	Ayrışma
C. İLLİT GRUBU		
1- İllit	$(Al_4Fe_4Mg_6)O_{20}(OH)4Ky(Si_{8-y}Al_y)$	Ayrışma(Hidromika Grubu)
D. KLORİT GRUBU		
1- Atapulgit	$Mg_5Si_8O_{20}(OH)24H_2O$	Ayrışma, kimyasal çökelim
2- Sepiyolit	$Mg_6Si_8O_{20}(OH)4.nH_2O$	Ayrışma, kimyasal çökelim
3- Allofan	$Al+SiO_2+H_2O$	Ayrışma

R.L. Bates'e göre killerin sınıflandırılması (Poyraz 2019)

KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kaolinit Sulu alüminyum silikattır.	Kaolinit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Magmatik ve volkanik kayaçların ayrışmasıyla oluşur. Tabakalı bir yapı gösterir.
	Dikit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Hidrotermal ayrışmayla oluşur.
	Nakrit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Hidrotermal ayrışmayla oluşur. Yapısı kaolinit ve dikite benzemez.
	Anoksit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Hidrotermal ayrışmayla oluşur. Yapısı kaolinite benzer.
	Halloysit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Sadece ayrışma ile oluşur.
	Endellit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4.2H_2O$	Sadece ayrışma ile oluşur.
Simektit Magnezyum veya demirle birlikte potasyum dışı alkalileri ve bazı toprak alkalileri içeren kil mineral grubudur.	Montmorillonit	$Mg_2Al_{10}Si_{24}(OH)_{12}.(Na,Ca)$	Hidrotermal ayrışmayla oluşur.
	Nontronit	$FeSi_{22}Al_{22}O60(OH)_{12}.(Na2)$	Hidrotermal ayrışmayla oluşur.
	Saponit	$Mg_{18}Si_{22}Al_2O_{60}.(OH)_{12}.(Na_2)$	Hidrotermal bozuşmayla oluşur.
	Beidellit	$Al_{13}Si_{19}Al_5O_{60}.(OH)_{12}.(Na)$	Hidrotermal bozuşmayla oluşur.
	Hektorit	$Li_2(Al,Fe,Mg)(Si_2Al_2)O_5.OH$	Ayrışmayla oluşur.
İllit Potasyum içermektedirler.	Muskovit	$K_2O_3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$	Birbirinden kolayca ayrılan ince yapraklar halindedirler.
	Biyotit	$K(Mg,Fe)_3.(Al,Fe).Si_3O_{10}.(OH)_2$	Kahverengi veya siyah mikadır.
	Flogopit	$H_2KMg_3Al(SiO_4)_3$	Kristalleşmiş dolomitler ve dolomitik mermerlerde siyah lekeler şeklinde görülür.
Klorit Magnezyumlu sulu alüminyum silikatlı killerdir.	Atapuljit	$Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2.4H_2O$	Ayrışma veya kimyasal yolla çökelmek suretiyle oluşur.
	Sepiyolit	$Mg_2Si_3O_8.2H_2O$	Uygun karasal şartlar doğunca manyezitin magnezyum hidrosilika dönüşmesiyle oluşur.
	Allofan	$Al.SiO_2.2H_2O$	Ayrışma ile oluşur.

Tabaka Sayısı ve Yapısı	Levha Kalınlığı	Kil Minerali Adı	Tabaka Yapısı	Açılma (Şişme)	Yüzeylerde Tutulan Katyonlar	Katyon Değiştirme Kapasitesi
2:2 1:1 Si:Al	7.2 Å	Kaolinit	Di.	Yok	-	3-5
		Halosit	Di.	10.1 Å	-	5-10
		Serpantin*	Tri.	Yok	-	
3 2:1 Si:Al:Si	10 Å	Mika	Di.	Yok		
		Glokonit			K ve diğer**	5-40
		İllit	Di.	10-20 Å	K 0.58 Diğer***0.17	20-50
		Vermikülit	Tri.	15 Å	Diğer***0.66	100-200
		Montmorillonit	Di.	15-20 Å	Diğer***0.33	80-120
		Profillit*	Yok	Yok	-	
		Talk*	Yok	Yok	-	
4 2:2 Si:Al:Si:Al	14 Å	Klorit	Di.	Yok	-	10-40
			Tri.	Yok	-	10-40
Amorf		Alofan				≤100

Scheffer-Schachtschabel,1970

KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Özelik	Montmorillonit	İllit	Kaolinit
Tane Boyutu (μm)	0.01-1.0	0.02-2.0	0.5-5.0
Tane Şekli	Eş boyutlu yaprak	Pul	6 köşeli pul
Dış Yüzey Alanı (m^2/g)	70-120	70-100	10-30
İç Yüzey Alanı (m^2/g)	550-650	-	-
Plastisite	Yüksek	Orta	Düşük
Likit Limit	110-710	60-120	29-70
Plastisite İndisi	51-100	34-60	26-38
Kohezyon	Yüksek	Orta	Düşük
Şişme Kapasitesi	Yüksek	Orta	Düşük
Elektrik Yükü	0.5-0.9	1.0-1.5	0
KDK (meq/100g)	80-150	10-40	3-15
Özgül Gravite	2,35-2,7	2,6-3,0	2,6-2,8
Tabakalar arası mesafe (nm)	1.0-2.0	1.0	0.7
Tabakalar arası bağ	Van der Waal's bağları (zayıf çekim kuvveti)	Potasyum iyonları	Hidrojen
Net negatif yük ($cmol_c/kg$)	80-120	15-40	2-5

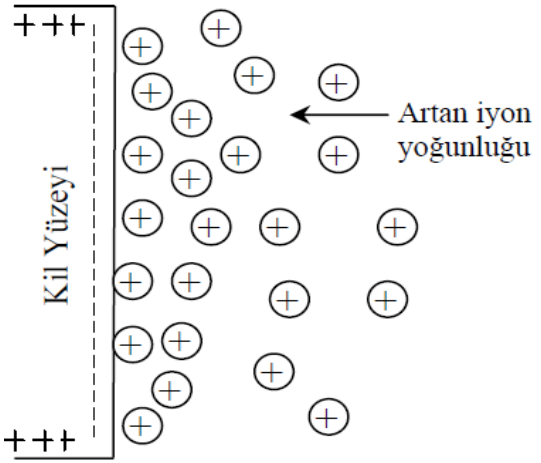
Kil minerallerinin karşılaştırmalı özelikleri (Mitchell, 1993).

ŞİŞME MEKANİZMASI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kilin şişmesi esas olarak; kil yüzeyi, iyonlar ve su arasındaki etkileşim kuvvetlerinin dengelenmesi olayıdır. Kum zemin içinde su önemli bir hacim değişikliği oluşturmaksızın boşlukları doldururken, kil zeminlerde genellikle hacim artışı oluşturur ve şişme meydana gelir.

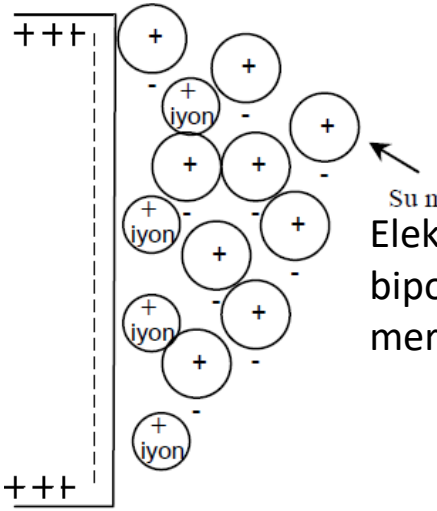
Kil mineralleri, genellikle yüzeylerinde negatif ve uç kısımlarında ise pozitif elektrik yüklerine sahip tabakalı partiküllerdir.

Su, elektriksel olarak nötr olsa da biri negatif biri de pozitif olmak üzere iki yük merkezi bulunmaktadır. Periyodik tabloda aynı kolan (H_2S) ve aynı sıradaki (NH_3) gibi elementlere bakınca gaz olması gerekirken hidrojen bağları nedeniyle sıvı durumdadır.



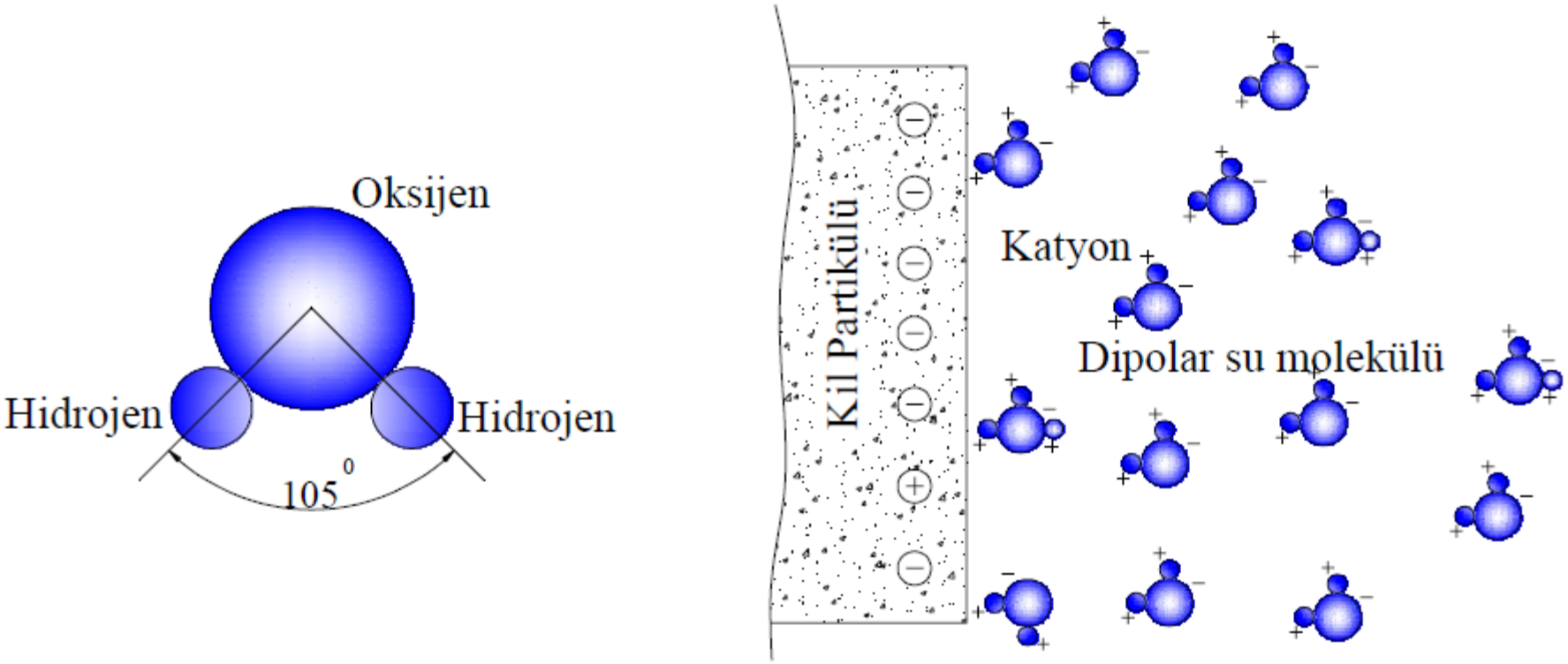
Kil partikülü etrafında suyu nasıl absorblanır?

1. Su molekülü kil kristalin yüzeyi tarafından ***elektrostatik olarak çekilmektedir.***
2. Su, kil kristali tarafından ***hidrojen bağı ile tutulur.*** Başka bir ifade ile sudaki hidrojen kil yüzeyindeki oksijenler veya hidroksiller tarafından çekilir.
3. ***Negatif yüklü kil yüzeyi, su içerisindeki katyonları çekmektedir.***



Kil yüzeyi ve adsorbe edilen su mekanizması (Mitchell, 1993).

ŞİŞME MEKANİZMASI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER



a) Suyun dipolar karakteri b) Diffüz çift tabakada dipolar moleküllerin çekimi (Das 2002).

ŞİŞME MEKANİZMASI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Çizelge. Şişme potansiyelini etkileyen zemin özellikleri (Nelson ve Miller, 1992)

Faktör	Tanım
Kil mineralojisi	Zeminde hacim değişikliklerine neden olan mineraller, genellikle, montmorillonitler, vermikülitler vb. minerallerdir. İllit ve kaolinitler genellikle, tane boyutlarının çok küçük olduğu durumlarda şişebilirler.
Zemin su kimyası	Artan katyon konsantrasyonu ve katyon değerliği, şişmeyi engeller. Örneğin, zemin suyu içerisindeki Mg^{2+} katyonları, Na^{+} katyonlarından daha az şişmeye neden olur.
Zemin strüktürü ve fabrik	Flokülleşmiş killer ayrık killerden daha fazla şişme eğilimindedir. Çimentolanma şişmeyi azaltır. Yüksek su muhtevalarında sıkıştırma veya yoğurma sonucunda fabrik ve strüktür değişir. Yoğurarak sıkıştırma, düşük su muhtevalarında statik olarak sıkıştırmadan daha düşük şişme potansiyeli ile ayrık strüktürler oluşturduğu göstermiştir.
Zemin emmesi	Zemin emmesi, doymamış zeminlerde negatif boşluk basıncıyla ifade edilen, bağımsız efektif gerilme değişkenidir. Doygunluk, yer çekimi, boşluk boyutu ve şekli, yüzey gerilmesi, zemin tanelerinin elektriksel ve kimyasal karakteristikleri ve suya bağlıdır.
Kıvam özellikleri	Genel olarak, geniş bir su muhtevası aralığında plastik davranış gösteren ve yüksek likit limite sahip zeminler daha yüksek şişme ve büzülme potansiyeline sahiptir.
Aktivite	Zemin aktivitesi genellikle, değişen nem koşulları altında zeminin su alma ve verme kabiliyeti için kullanılan bir terimdir.
Kil Yüzdesi	Kil yüzdesindeki artış veya iri tanelerin yüzdesindeki azalma, zemin içerisinde bulunan kapiler kanalların küçülmesine ve bunun sonucunda zemin emmesinin artmasına neden olmakta ve böylece zeminin şişme potansiyeli artmaktadır
Özgül Yüzey Alanı	Kil mineralinin boyutu küçüldükçe, özgül yüzey alanı ve bunun sonucunda şişme potansiyeli artmaktadır.
Katyon Değ. Kap. (CEC)	Bir kilin yük eksikliğini dengelemek için gereken değişebilir katyonların toplam miktarına ise, katyon değiştirme kapasitesi (CEC) adı verilir. Başka bir deyişle zemin katyon tutma özelliğinin yansımasıdır.
Kuru birim hacim ağırlık	Yüksek birim hacim ağırlıklar, tanelerin birbirine yaklaştığını gösterir ki bu da taneler arasında daha büyük itki kuvvetleri ve daha yüksek şişme potansiyeli anlamına gelir.

ŞİŞME MEKANİZMASI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Çizelge. Şişme potansiyelini etkileyen çevresel faktörler (Nelson ve Miller, 1992)

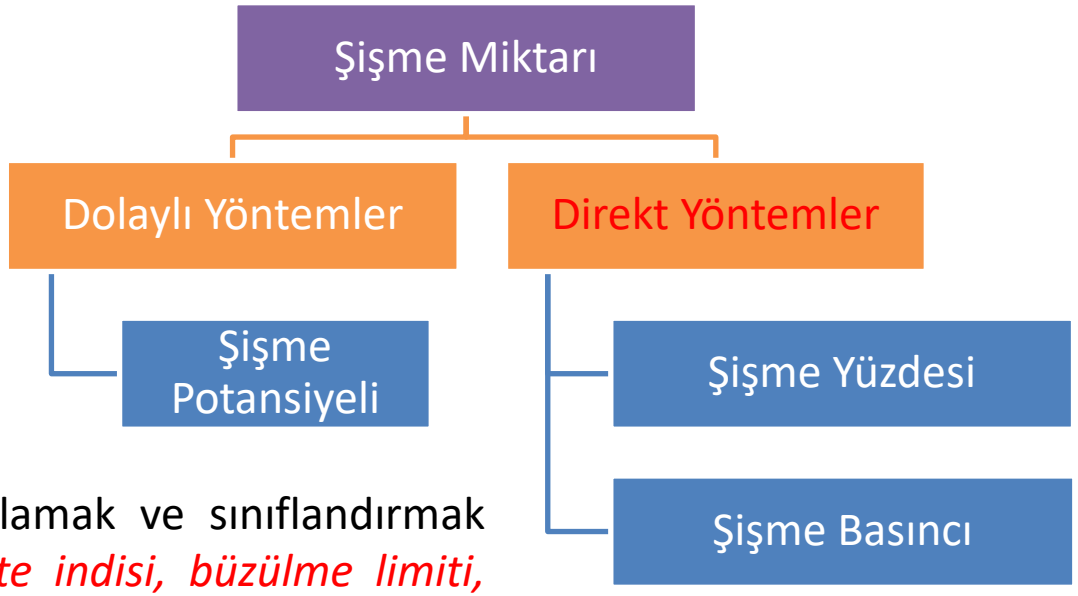
Faktör	**Tanım**
Başlangıç nem durumu	Kurumuş şişebilen bir zeminin suya eğilimi veya emmesi, yüksek su muhtevasındaki aynı zeminden daha fazladır.
Nem değişimleri	Nemdeki değişikliler, esas olarak iklim, yeraltı su seviyesi, drenaj ve yapay su kaynakları, bitkiler, permeabilite ve sıcaklıktan etkilenir.

Çizelge. Gerilme koşullarının şişme potansiyeli üzerindeki etkisi (Nelson ve Miller, 1992)

Faktör	**Tanım**
Gerilme tarihçesi	Aşırı konsolidasyon oranı, tekrarlı ıslanma-kuruma ve yaşlanmanın, şişme üzerinde önemli etkileri vardır.
Arazi şartları ve zemin profili	Bir zemindeki başlangıç gerilme durumunun, şişme potansiyeline sahip tabakaların yeri ve kalınlığının, zeminin şişmesi üzerinde önemli etkileri vardır.
Yükleme	Sürşarj yükü, taneler arası itki kuvvetlerini dengelemeye çalışır ve şişmeyi azaltır.

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Zeminlerin şişme özelliklerinin ve mekanizmalarının çok iyi belirlenmesi, zemin davranışlarının, açıklanabilmesi açısından, oldukça büyük, önem taşımaktadır. Zeminler, farklı mineralojik, dokusal, kimyasal bileşim ve konsolidasyon özelliklerine bağlı olarak değişik şişme potansiyeline sahiptirler.



Şişen zeminleri tanımlamak ve sınıflandırmak için *likit limit, plastisite indisi, büzülme limiti, büzülme indisi, serbest şişme indisi, aktivite, katyon değiştirme kapasitesi, emme indisi, zeminin mineralojik ve spektral özellikleri* gibi parametreler kullanılmaktadır

Şişme potansiyeli, genel olarak, zeminlerin şişme yeteneğini ifade eden bir kavram olarak kullanılmaktadır.

Şişme basıncı, değerleri birkaç kgf/cm^2 den birkaç tonf/m^2 ye kadar değişebilir.

Odometre kullanılarak zeminin tek eksenli şişme değerleri elde edilir.

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Çizelge: Şişme potansiyelini belirlemek için yapılan laboratuvar deneyleri (Nelson, vd.,1992)

Deney	Referans	İncelenen Özellikler	Belirlenen Parametreler
Atterberg limitleri	ASTM standartları 1991	Plastisite, Kıvam	
Likit limit (LL)	ASTM D-4308	Plastisitenin üst limiti(w)	PI=LL-PL=plastisite endeksi
Plastik limit(PL)	ASTM D-4318	Plastisitenin alt limiti(w)	LL=(w-LL)/(LL-PL)=likitlik indisi
Rötre Limiti(SL)	ASTM D-427	Zemin rötresinin alt limiti(w)	R=Büzülme oranı L_s=Lineer rötre
Kil yüzdesi	ASTM D-422	İnce tanelerin dağılımı	2 μm'den küçük tanelerin yüzdesi
Minerolojik Deneyler	Whitting (1964)	Kil partiküllerinin minerolojisi	
X ışını difraksiyonu	ASTM STP 479	Kristal boyutlarının karakteristikleri	Atom aralıkları
Diferansiyel termal analiz	Barshad (1965)	Isınma karakteristikleri	Termogramlar üzerindeki alan ve genliklerin pik reaksiyonlarının gösterilmesi
Elektron Mikroskobu	McCrone Ve Delly (1973)	Kil partiküllerinin boyut ve şekli	Partiküllerin görsel olarak değerlendirilmesi
Katyon değişim kapasitesi	Chapman (1965)	Kil partiküllerinin yük ve partiküllerin yüzey aktiviteleri	KDK(meq/100gr)
Serbest şişme deneyi	Holtz ve Gibbs(1959)	Havada kurutulmuş konsolide olmamış numunenin ıslanmaya karşı şişmesi	Serbest şişme=(Vyaş-Vkuru)/Vkuru x 100%

Kil mineralojisi şişen zemin davranışını kontrol eden en temel faktörlerden biridir. Kil mineralleri çeşitli yöntemlerle belirlenebilir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı Xray difraksiyon (XRD) yöntemidir. X ışını analizinde; x ışını dalga boyunun kil mineralinin atom düzlem ağırlığı ile uyumu, bu yöntemin kil minerallerini belirlemede en uygun yöntem olmasının temel nedenidir.

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Çizelge: Şişme potansiyelini belirlemek için yapılan laboratuvar deneyleri (Nelson, vd.,1992)

Deney	Referans	İncelenen Özellikler	Belirlenen Parametreler
Potansiyel hacim değişimi	Lambe (1960)	Arazi gerilmelerinin uygulandığı sıkıştırılmış numunenin tek eksenli şişme özellikleri	SI (şişme endeksi) (Ib/ft-) PVC (potansiyel hacim değişimi)
Şişme endeksi deneyi	Uniform Yapı kodu	%50 doygunluk derecesindeki numunenin 144 psf sürsaj yükü altında tek eksenli şişmesi	Şişme indeksi (EI)
Kaliforniya Taşıma Gücü Deneyi	Yolder ve Witczac (1975) Kassiff vd. (1969)	Sıkıştırılmış numunenin Sürsaj basıncı altında kısmen ıslatılması durumundaki tek boyutlu şişmesi	CBR (%) Şişme Yüzdesi
Lineer Genişleme Katsayısı (COLE) deneyi	Brasher vd. (1966)	Doğal zemin parçasının 5 psi'den etüv kurusu konumdaki emme basıncı değerinin lineer değişimi	COLE VE LE(%)

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişme Potansiyeli

Laboratuvar ve Arazi Verileri			Muhtemel şişme (toplam hacim değişikliğinin yüzdesi), %	Şişme derecesi
200 no'lu elekten geçen (%)	Likit Limit (%)	N-Darbe direnci		
>95	>60	>30	>10	Çok yüksek
60-65	40-60	20-30	3-10	Yüksek
30-60	30-40	10-20	1-5	Orta
<30	<30	<10	<1	Düşük

Zeminin fiziksel özellikleri ve SPT verilerine dayalı şişen zemin sınıflaması (Chen, 1988)

İndis Deney Sonuçları			Muhtemel şişme (toplam hacmin değişikliğinin yüzdesi), %	Şişme derecesi
Kolloidal yüzde (<0.001 mm)	Plastisite İndisi	Rötre Limiti		
>28	>35	<11	>30	Çok yüksek
20-31	25-41	7-12	20-30	Yüksek
13-23	15-28	10-16	10-20	Orta
<15	<18	>15	<10	Düşük

Yüksek plastisiteli killer için zemin indis özelliklerine bağlı muhtemel hacim değişikliği ilişkisi (Holtz and Gibbs, 1956).

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişme Potansiyeli

Şişme Potansiyeli	Plastisite İndisi
Düşük	0-15
Orta	10-35
Yüksek	20-55
Çok yüksek	≥35

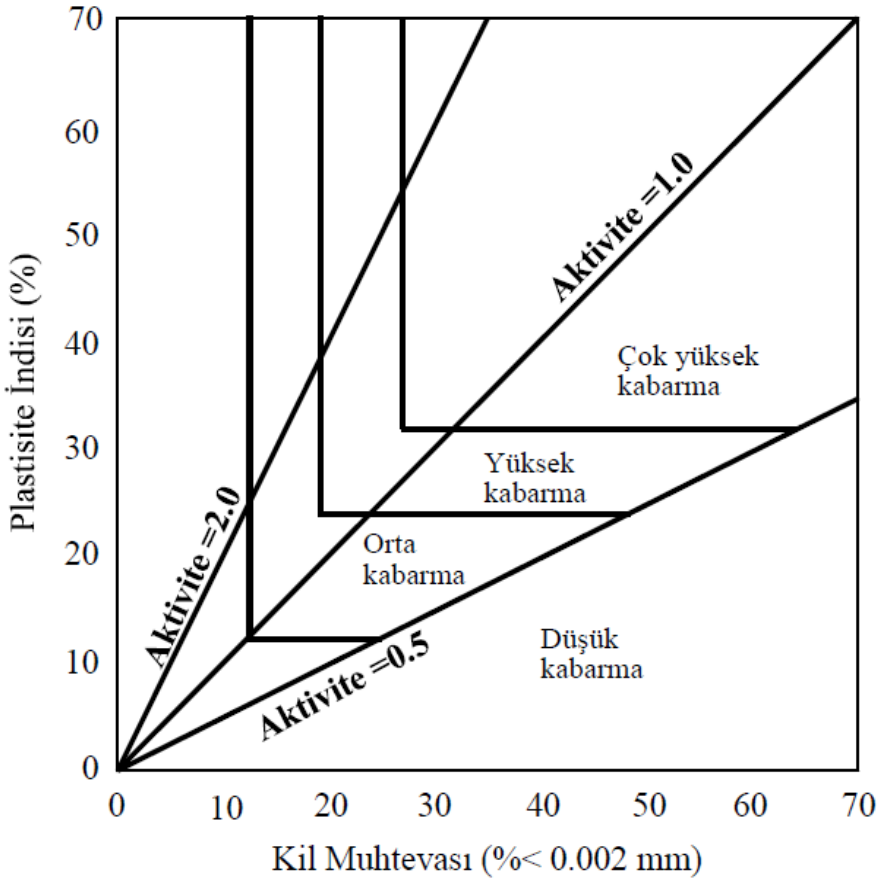
Plastisite indisine dayalı şişen zemin sınıflaması (Chen,1988)

$$A = \frac{PI}{Kil\ Yüzdesi\ (\% < 0.002mm)}$$

Zemin aktivitesi genellikle, değişen nem koşulları altında zeminin su alma ve verme kabiliyeti için kullanılan bir terimdir.

$A < 0.75$ >>>>>>>>>>aktif olmayan,
$0.75 < A < 1.25$ >>>>normal,
$A < 1.25$ >>>>>>>>>> aktif.

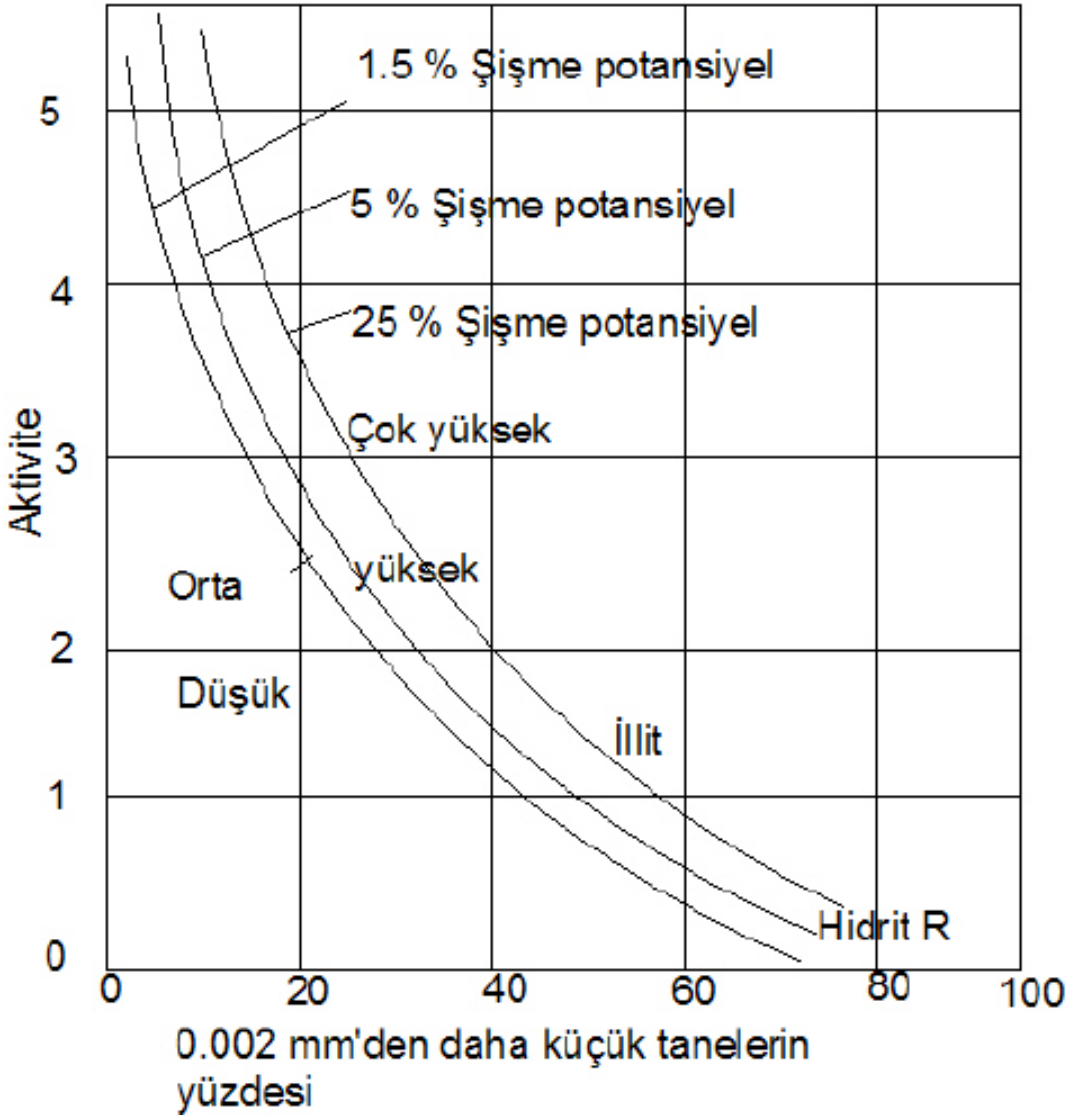
(Skempton (1953)



Şişme potansiyeli tahmini (Van Der Merve ,1964).

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişme Potansiyeli



Şekercioğlu (1998), şişme potansiyelini ampirik bir metotla belirlemek için bir bağıntı vermiştir.

$$S=3{,}6.\ 10^{-5}.\ A^{2.44}.\ C^{3.44}$$

S=Şişme potansiyeli
A=Aktivite
C=Kil yüzdesi (<0.002 mm)

Şişme potansiyeline göre sınıflandırma (Seed ve ark., 1962)

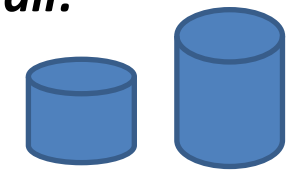
KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişme Yüzdesi

Şişme yüzdesi, örselenmemiş veya istenilen herhangi bir başlangıç koşulunda sıkıştırılarak hazırlanan zemin numunesinin su altında bırakılması sonucu hacminde meydana gelen artışın, başlangıç hacmine göre yüzdesini ifade etmektedir.

Bir boyutlu ödometre koşullarında (yanal deformasyonların engellenmesi durumunda), numunenin kesit alanı sabit tutulduğu için, şişme yüzdesinin hesaplanmasında yandaki Eşitlik 1 kullanılmaktadır.

Boy değişimi



$$S = \frac{H_1 - H_0}{H_0} \times 100\%$$

Eşitlik 1

Üç eksenli koşullarında (eksenel deformasyonların engellenmesi durumunda) numunenin yüksekliğinin sabit tutulması durumunda, yanal çap değişimi cinsinden şişme yüzdesi ise Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanabilir.

$$S = \frac{D_1^2 - D_0^2}{D_0^2} \times 100\%$$

Eşitlik 2

Çap değişimi



Burada,

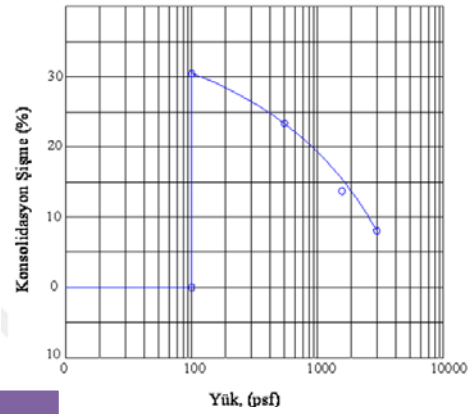
S - Şişme yüzdesi,
H 0 - Numunenin başlangıç yüksekliği,
H1 - Şişme sonrasındaki numune yüksekliğidir.

S - Şişme yüzdesi,
D0 - Numunenin başlangıç çapı,
D1 - Şişme sonrasındaki numune çapıdır.

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişme Basıncı

Şişme basıncı, su ile temas halindeki zeminde hacim genişlemesini önlemek için gereken basınçtır. Laboratuvar ödometresinde ölçülen şişme basıncının arazidekinden farklı olacağı ve gerçek şişme basıncının çoğunlukla laboratuvarda ölçülenden daha düşük olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.



Şişme Basıncı

Sabit Hacim Ödometre Deneyleri

Zemin numunesi ödometre aletine konulduktan sonra zemin numunesine su verilir.

Az miktarda yük artımları ile numunenin şişmesine engel olunur.

Numunenin şişmesine engel olan basınç şişme basıncı olarak kayıt edilir.

Sabit Yük Ödometre Deneyleri

Zemin numunesi, ödometre aletinde belli bir sürşarj yükü uygulanark su altında şişmeye bırakılır.

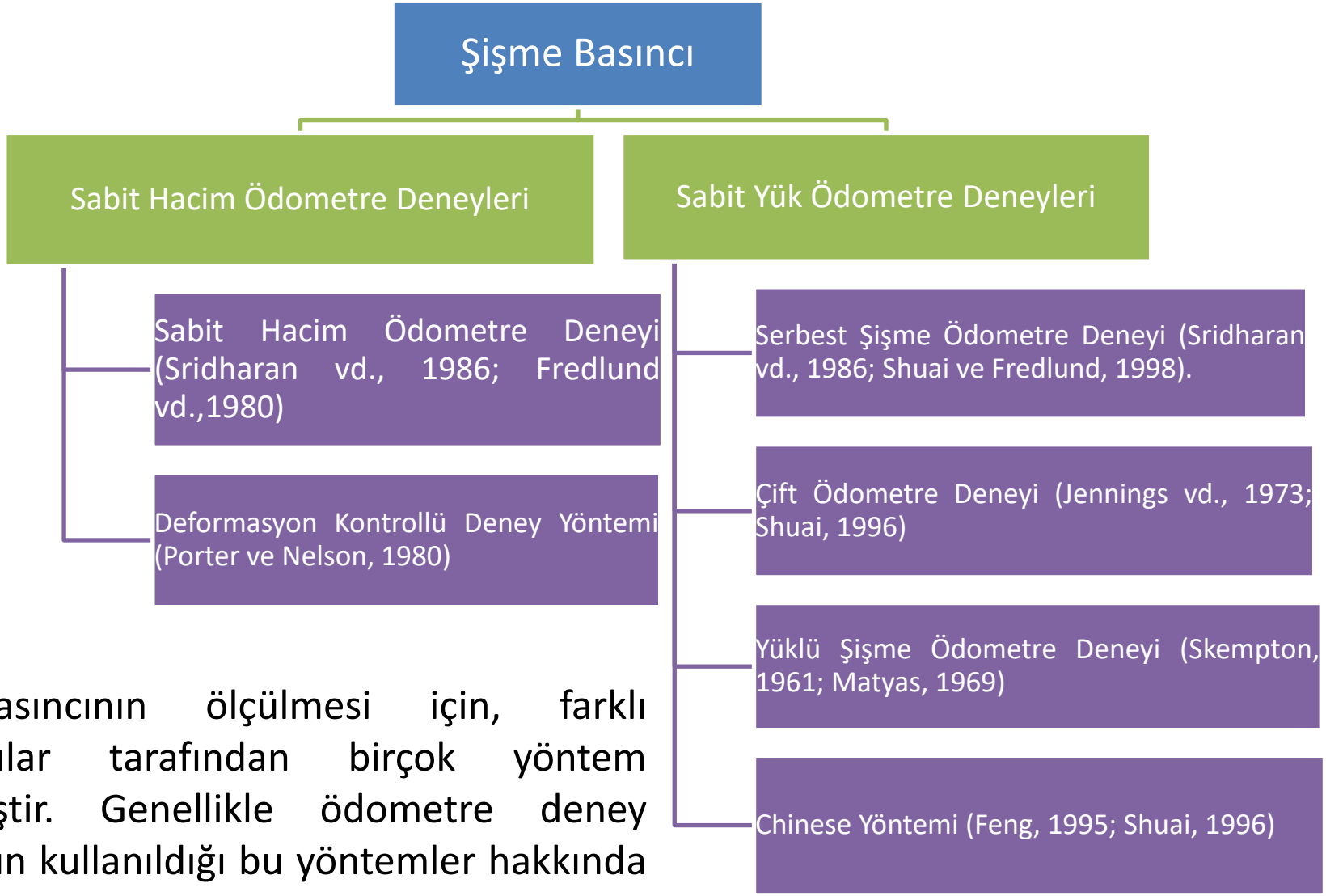
Şişme gerçekleştikten sonra konsolidasyon deneyi yapılarak şişme-logP eğrisi oluşturulur.

Zemin numunesini başlangıçtaki şartlara göre sıkıştran basınç şişme basıncıdır.

ASTM D 4546

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişme Basıncı



Şişme basıncının ölçülmesi için, farklı araştırmacılar tarafından birçok yöntem geliştirilmiştir. Genellikle ödometre deney ekipmanının kullanıldığı bu yöntemler hakkında detay bilgi yukarıdaki akademik çalışmalardan elde edilebilir.

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Direkt (Nicel) yöntemler

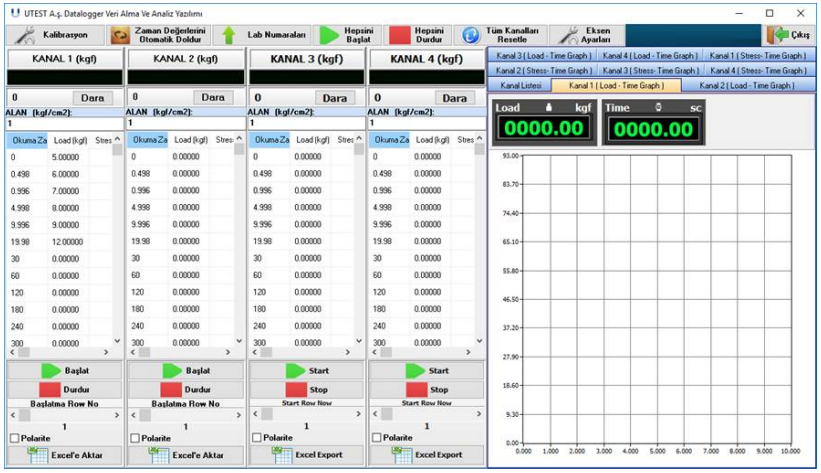
Şişme Basıncı

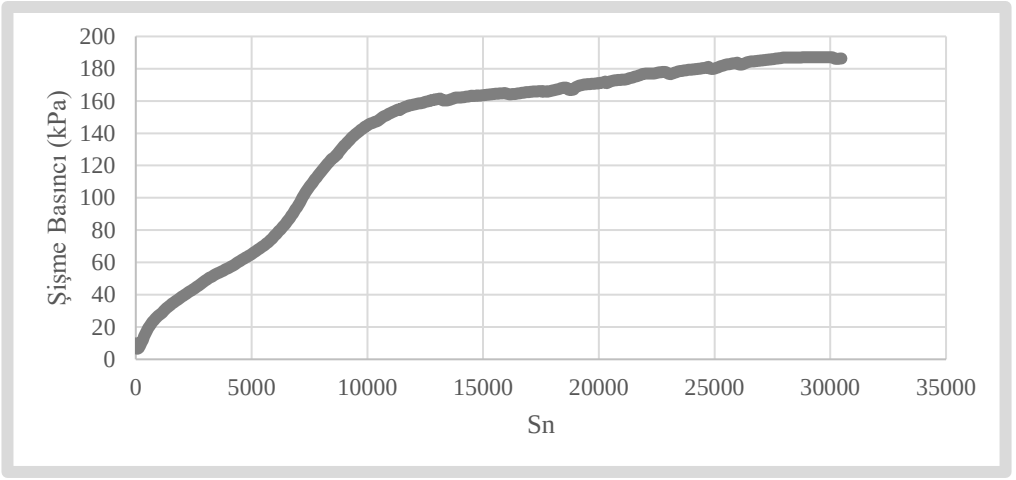












KATYON DEĞİŞİMİ

Kilin yük dengesizliğini gidermek için gereken katyon miktarına Katyon Değişim Miktarı denilmekte olup meq/100g büyüklüğü ile tanımlanır. Yüksek KDK değerine sahip zemin, yüksek şişme potansiyeli gösterir

Kil mineralleri; belirli anyon ve katyonları adsorplayarak, onları değişebilir durumda tutma özelliğine sahiptir.

Adsorbe edilen katyon miktarı zemin içindeki kil miktarıyla orantılıdır.
Değişebilir iyonlar, kil mineral yapı biriminin dış yüzeyi etrafında tutulur.
Kil minerallerinde en yaygın değişebilir katyonlar Ca^{++}, Mg^{++}, H^{+}, K^{+}, NH_4^{+}, Na^{+} ve Li^{+} Al^{+++} FE^{+++} gibi pozitif iyonlardır.

Kil yüzeyinde negatif yüklerin hâkim olması, katyonların anyonlardan çok daha kolay yüzeye çekilmesini mümkün kılar

Kil Tipi	Değişebilir İyon	Şişme İndisi
Montmorillonit	Na^{+}	2,50
	Li^{+}	2,00
	Ca^{+2}	0,51
	Mg^{+2}	0,44
	H^{+}	0,34
	K^{+}	0,30
	Fe^{+3}	0,03
İllit	K^{+}	0,27
	Ca^{+2}	0,21
	Mg^{+2}	0,18
	Fe^{+3}	0,15
	Na^{+}	0,15
	H^{+}	0,10
Kaolinit	Na^{+}	0,20
	Mg^{+2}	0,08
	K^{+}	0,06
	Ca^{+2}	0,06
	Fe^{+3}	0,06
	H^{+}	0,05

Kil minerallerinin şişme indisi değerleri (Lambe and Whitman, 1959).

KATYON DEĞİŞİMİ

Katyon Değişim Kapasitesi, kil mineralojisiyle ilişkilidir ve yüksek KDK kapasitesine sahip olan kil zeminler, yüksek yüzey aktivitesi neticesinde KDK değerindeki artışa bağlı olarak yüksek şişme potansiyeli gösterirler

Kil minerali	CEC (meq/100gr)
Montmorillonit	80-150
Vermikülit	100-150
Haloysit $4H_2O$	10-40
İllit	10-40
Klorit	10-40
Sepiyolit – Atapulgit	20-30
Haloysit 2 H_2O	5-10
Kaolinit	3-15

meq: sıvı içerisindeki elektrolit miktarını ifade eden bir birimdir.

Çeşitli kil mineralleri için katyon değiştirme kapasitesi değerleri (Grim, 1962)

Genellikle iki değerlikli katyonla (Ca^{2+}) doygun bir montmorillonit, 1nm'den 2 nm'ye kadar %100 şişebilmektedir (Azam vd. 2000). Ancak tek değerlikli katyona (Na^{+}) doygun bir montmorillonit sınırsız şişebilir. Bununla birlikte, doğal zeminler sodyuma doygun montmorillonitler kadar şişmezler.

KATYON DEĞİŞİMİ

Katyon değişimi ve flokülasyon: Kireç, su ve killi bir zemin ile bir araya geldiğinde, pozitif iki yüklü Ca^{++} katyonları kil yüzeyine adsoplanmış katyonlarla yer değiştirir.

Kireç eklenen kil mineralinden silisi sökerek reaksiyona girer ve oluşan jel kil topakları çevreleyerek boşlukları tıkar. Kil zeminler topaklanma ve çimentolanma ile yeni bir doku kazanır.

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 = CaO + SiO_{2+}H_2O$$

Kristaller elektriksel olarak nötrleşme eğilimdedir. Bu nedenle suyun içindeki katyonlar (+) mevcut negatif yük miktarına bağlı olarak kil tarafından çekilir.

Yer değiştirme kuvveti giderek artan bir şekilde sıralama yapıldığında iyonlar şu şekilde sıralanır;

$$Li^+ < Na^+ < H^+ < K^+ < NH_4^+ < Mg^{++} < Ca^{++}\ Cu^{++} < Al^{+++}\ Fe^{+++}$$

Yüksek değerlikli katyonlar düşük değerlikli katyonların yerini kolaylıkla alır.

Yukarıdaki her katyon, soldakinin yerini alabilir

ŞİŞEN ZEMİNLERİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ







