

Zemin Mekaniğinde Yeni Fikirler « I »

Yazan :
Hüsameddin GÜZ
Yük. Müh.

İki kısma ayırmış olduğumuz bu yazının birinci kısmında Zemin Mekaniği ile ilgili bazı yeni fikir ve çalışmaları gözden geçirmek istiyoruz. Son 20-30 sene içinde gerek elektron mikroskop, diferansiyel termal analiz ve enfra-kırmızı absorpsiyon gibi yeni fizik araştırma tekniklerinden istifade edilerek yapılan çalışmalar gerekse kolloid kimyasında kaydedilen son ilerlemeler killerin izah edilmeyen taraflarını aydınlatıcı mahiyettedir. Göze çarpan hususların takdiminden ibaret olan bu konu teorik esaslara temas eder.

Diğer bir yazımızda temel ve toprak yapılarının zelzeleye dayanması bakımından Japonya'da Zemin Mekaniği sahasına giren çalışmalardan bahsedeceğiz.

Bu konu daha pratik maksatlı olacaktır.

I. — Efektif Gerilme Denklemine ait tipik misaller :

Zemin Mekaniğinin temel denklemlerinden biri Efektif Gerilme Denklemidir.

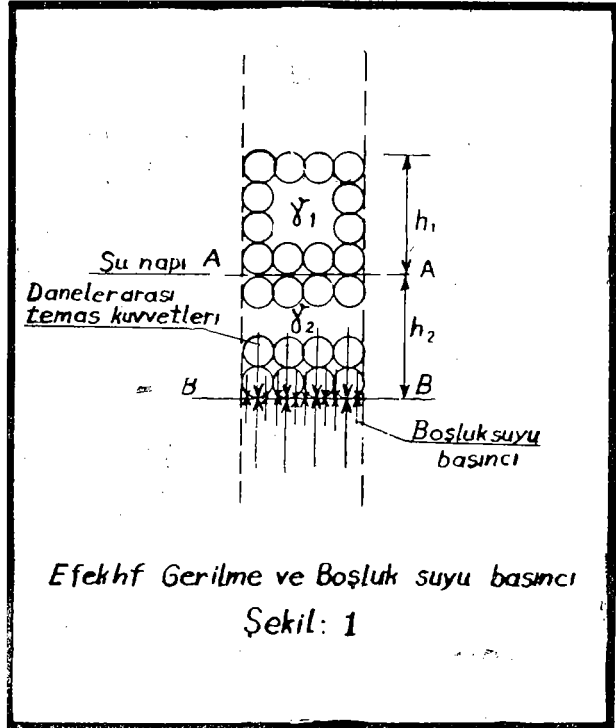
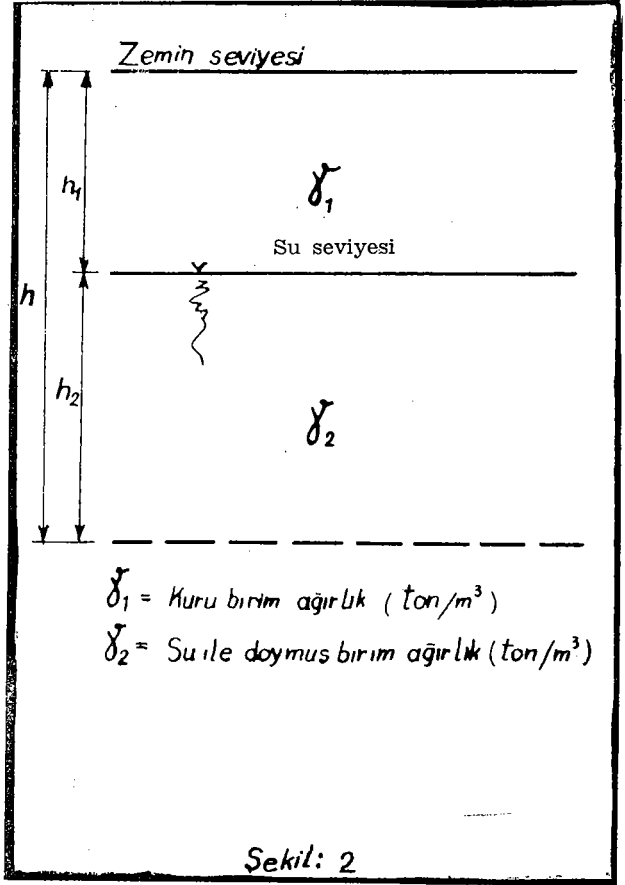
İfadesi : $\sigma = \sigma' - u$

Burada : σ : Efektif Gerilme

σ' : Toplam Gerilme

u : Boşluk Suyu Basıncıdır.

Toplam gerilme iki kısımdan teşekkül etmektedir. Bunlardan biri boşluk suyu basıncı, diğeri de efektif gerilme yani danelerin birbirile temas gerilmesi olup



efektif gerilme denklemi bu iki faktör arasında bir denge veya bir nevi ayarlamayı ifade etmektedir. Diğer bir deyimle zemin ağırlığı ve dış kuvvetlerin toplamı olan toplam gerilme boşluk suyu basıncı ve efektif gerilme olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Dış kuvvetleri ve zeminin kendi ağırlığından ileri gelen toplam gerilmeye bir değişme olmaksızın, boşluk suyu basıncının artması veya azalması, efektif gerilmenin azalmasını veya artmasını meydana getirmektedir. (Şekil : 1). Pratikte (h) derinliğindeki efektif gerilmeyi iki yoldan hesaplamak kabildir (Şekil : 2).

Birinci Yol :

(h) derinliğinde toplam gerilme bulunur ve bundan boşluk suyu basıncı düşülür :

Toplam gerilme : $\sigma = h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2$

Boşluk suyu basıncı : $u = h_2 \times 1 = h_2$

Efektif gerilme : $\sigma' = \sigma - u = h_1 \gamma_1 + h_2 (\gamma_2 - 1)$

olarak bulunur. Burada : h (metre) ve γ_1, γ_2 (ton/metre küp) tür. Ve (γ_1) kuru (γ_2) su ile doymuş birim ağırlıklardır.

İkinci Yol :

Diğer hesap şeklinde ise Arşimed prensibine göre suyun katı cisimler üzerine yitirdirme tesirinden istifade edilir :

İkinci yol :

Diğer hesap şeklinde ise Arşimed prensibine göre suyun katı cisimler üzerine yüzdürme tesirinden istifade edilir.

Ağırlık : $h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2$

Suyun yüzdürme tesiri : $V_d \times 1 \times h_2 = (1 - V_b) h_2$

Burada :

V_d : Brüt birim hacim içinde katı dane hacmi olup

V_b : Brüt hacim içinde boşluk hacmi ise

$V_d = 1 - V_b$ bağıntısından istifade edilmiştir.

Efektif gerilme : $h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 - (1 - V_b) h_2 = h_1 \gamma_1 + h_2 (\gamma_2 - 1)$

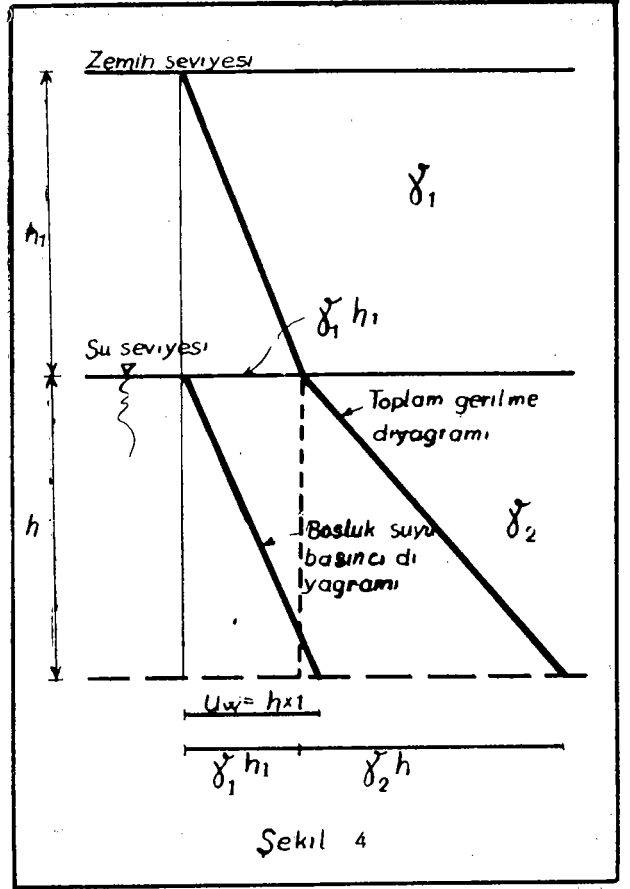
bulunur, zira : $\gamma_2 = \gamma_1 + V_b \times 1$ dir.

Fiziki olayları ifade eden cebir denklemleri bir olayı her zaman değişkenlerin bütün değerleri için ifade edemez. Bazen sınır şartlarının mevcut bulunması bazen de olaya dahil olan faktörlerin mahiyet değiştirmesinden dolayı cebrik denklemlerin cari olduğu saha sınırlıdır.

Deney yoluyla isbat edilerek 1923 senesinde Terzaghi tarafından verilen efektif denklemi o zamandan bu yana İnşaat Mühendisliği pratiğinde hep tatbik edilmiş ve hiçbir defasında bu tatbikat hakikate uymayan netice vermemiştir.

Zemin Mekaniğinin başlıca iki konusu zeminlerin taşıma gücü ile sıkışabilen tabakalarda konsolidasyon olayı dolayısıyla çökmeleridir. Her iki konuda da efektif gerilme mefhumu kilit pozisyon teşkil eder.

Tatbikat her zaman efektif gerilme denklemini teyid etmekte ise de aksini hissettiren bazı emareler yok değildir. Bu bahse geçmeden evvel efektif gerilme denkleminin pratikteki limit haller için aldığı şekli görelim :



Şekil 4

a) Kuru zemin hali :

Zemin boşluğunda su bulunmadığı için $U = 0$ dir ve efektif gerilme toplam gerilmeye eşit olup ifade : $\sigma = \sigma = \gamma h$ şeklini alır.

b) Yer altı suyu hali : (Şekil : 4).

ve $\gamma_2 = 1.6-1.8 \text{ t/m}^3$ olduğundan derinlik ne olursa olsun efektif gerilme hiçbir zaman sıfır olamaz.

c) Deniz tabanı hali : (Şekil : 5).

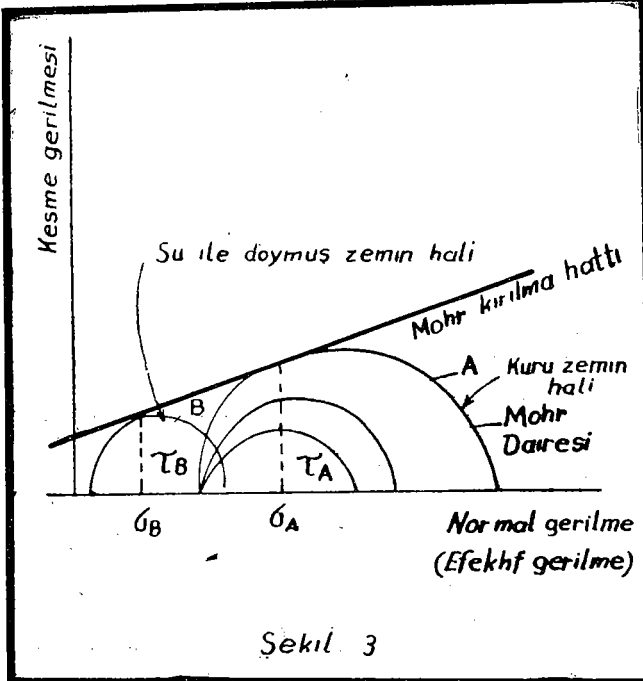
Bu sefer de :

$$\sigma = h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 - h = h_1 \gamma_1 + h (\gamma_2 - 1)$$

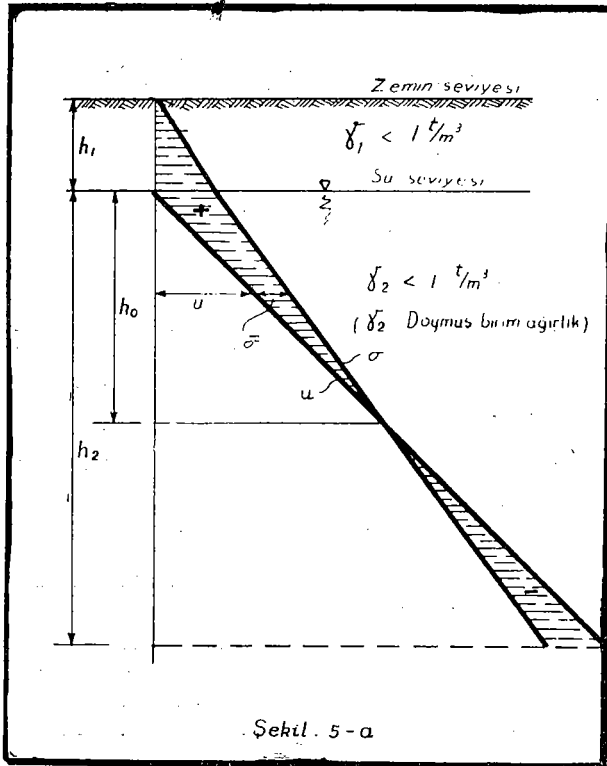
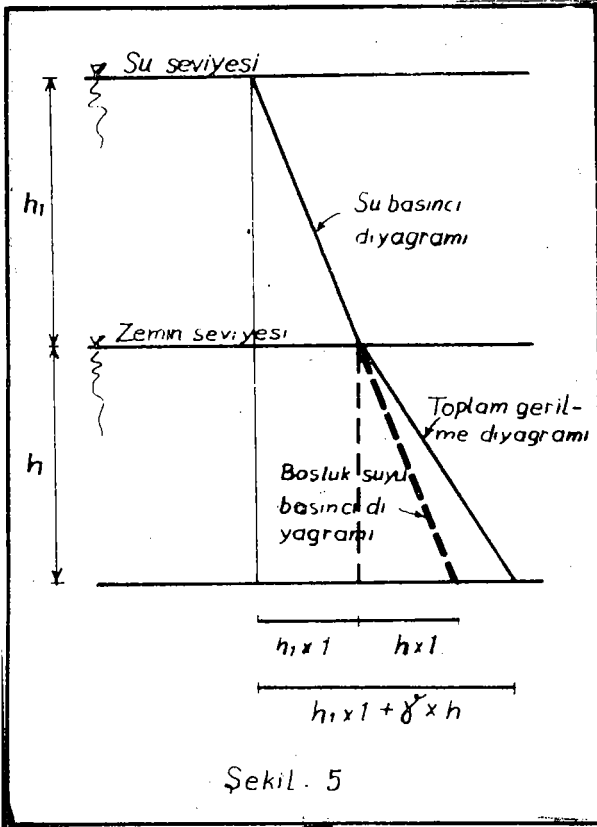
burada derinlik ne olursa olsun efektif gerilmeyi sıfır yapmak kabil değildir. Efektif gerilme denklemi boşluk basıncının bir haddin üstüne çıkıncaya kadar artması halinde efektif gerilmenin de artacağını ifade etmekte ise de fiilen bu hususu killerde tahkik etmek henüz kabil olamamıştır. Bununla beraber İnşaat Mühendisliğinde geçen derinlikler ve boşluk suyu basıncı mertebeleri için bu denklem hakikatı yeter derecede hassasiyetle ifade etmektedir. Yüksek boşluk basıncı altında yapılacak deneyler bu şüpheleri izale edebilir.

d) Sudan hafif malzeme hali :

Şekil (5.a) da hipotetik sudan hafif malzeme hali görülmektedir. Boşluk oranı (e), ve özgül ağırlık (G_s) in uygun değerleri için ($h_1 + h_2$) derinliğinde efektif gerilme : $\sigma = 0$ olur ve bu derinliğin altında efektif gerilme negatiftir $\sigma < 0$ organik madde ihtiva eden zeminler için bu hal mevzuu bahis olabilir.



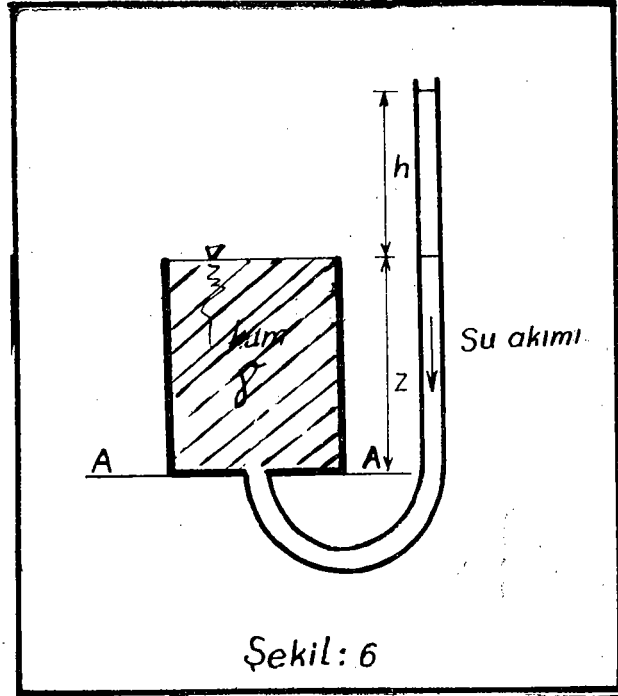
Şekil 3



e) Aşağıdan yukarıya doğru su akımı hali :

Bundan evvelki hallerde statik olarak temin edemediğimiz şeyi hidrodinamik olarak meydana getirmek kabildir. (Şekil : 6) daki tertiple kum dolup bir kabın altından $(h+z)$ yükü altında bir su akımı hâsıl edilirse (h) sıfırdan başlayarak arttırıldıkça (h) in öyle bir değerini bulmak kabildir ki bu değer için efektif gerilme sıfır olur. (A.A) seviyesindeki efektif gerilme hesaplanırsa : $\sigma = \gamma z - (h+z) = (\gamma - 1) z - h$. Buradan $h = z (\gamma - 1)$ den büyük değerleri için kum kütlelerinde bir kabarma görülür ve kum daneleri arasında temas kalmaz. Hakikatte bu olay esnasında efektif gerilmenin sıfır olduğu andan itibaren danelerin birbirleri üzerine etkisi kaybolur. Artık zerrelere birbirinden ayıran şey su moleküllerinin materyelleştirdiği akım hatlarıdır. Yani bu andan itibaren efektif gerilme denklemi cari olmaz.

Darcy kanunundaki hidrolik meyil olan $i = h/z$ büyüdükçe hidrodinamik kuvvet artar ve su akımına karşı daha az bir direnç mânasına gelen permeabilite katsayısı uygun değerini alıncaya kadar kum kütlelerinde bir hacim ayarlaması vuku bulur. Buna benzer bir olayı laboratuvarında görmek ve tabiatda su ile doy-



muş silt ve kumlu zeminlerde gevherin çok ve sarsıntı tesiriyle âni kaymalarını aynı sebebe irca etmek kabildir. Gevşek yerleşmiş ve boşluğu tamamen su ile dolu granüler zeminlerde âni bir sarsıntı danelerin sıkı yerleşmesine sebep olmakta buna mukabil boşluk hacmindeki âni azalmanın yarattığı boşluk suyu fazlalığı akabinde tahliye edilemediğinden zeminin efektif gerilmesini azaltıp kesme direncini yok etmesi ile gevde kayma olmaktadır.

(Şekil : 3) de kuru zemin (A) ile su ile doymuş aynı zeminin (B) Mohr daireleri görülmektedir. Zemin

boşluğunun su ile doyması halinde efektif gerilmeler hemen hemen yarıya düştüğü için (B) dairesi sola kaymakta ve kırılma hattı ile (Mohr) dairesinin temasına tekabül eden (σ , τ) kırılma gerilmeleri daha küçük değerler almaktadır. Bölük suyu basıncından dolayı zeminin direncinden kaybetmesine mukabil daneler arasında kapiler su bulunması halinde ve su molekülleri arasında çekme gerilmesinin bulunması $\sigma = \sigma + |u|$ gibi zeminin direncini artırıcı bir tesir olarak kendini gösterir ve tam doymamış granüller zeminlerin görünüşte kohezyon kazanmasını da bu şekilde izah etmek kabil olur.

II. — Kil zerrelerinin boyut ve şekilleri :

Bundan evvelki bahiste granüler zemin yapısı üzerinde efektif gerilme denklemini bazı tipik hallere tat-

Sekil	İsim	Boyut	
Granüler Zemin		Kum	002 ~ 006 mm den büyük
		Silt	0.02 ~ 0.06 ile 0.002 ~ 0.005 mm arasında
Killer		Kaolinit	7A* 10A* Af, Al, Cl, Oc
		Halloysit	7A* Kimyasal formül: $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ 1:1 tırlı fakat faz 1:2 tırlı 2:1 tırlı
		Montmorillonit 9.5 A*	Kimyasal formül: çok karışık
		Illit	9.5 A* 2:1 c çok karışık
		Klorit Sepolit	11A* 2:1 9.5 A* x 10 A* x 1 c çok karışık

Notlar:

- Muntazam tabakalı zerrâler çok kâğıt, mat seklinde
- Tabakalar bazuk ve da. gâş tabaka arasında su filmi kaolinit ile ay. nı özellikle
- Yavaş plaka Pul seklinde kâmsu tabakalar arasında bağ. lantı kuvvetleri zayıf su kolaylıkla aralara nü. tuz ederek kılde sisme meydana gelir
- Özelligi Montmorillonit gâbi fakat su ile temasında sisme hassasiyeti yok
- Tabakalar muntazam değil Band halinde zerrâler igrâ, sudaki neşnâde

bik ettik. Etketif gerilme denkleminin kifayetsizliğini hissettiren emarelere geçmeden evvel kil zerrelerrinin boyut ve şekilleri hakkında yeni bilgilerimizi bir göre-
lim.

A — Kil zerrelerinin boyut ve şekilleri :

(X) ışınları ile difraksiyonla kil zerrecilerinin küçük-
lük mertebesine inilemediğinden son senelerde bilhassa
elektron mikroskop ve kolloid kimyasındaki araştı-
r-malarla killerin hususiyetlerine biraz daha fazla gir-
mek imkânı kabil olmuştur. Killerin en enteresan
özellikleri boyut ve buna bağlı olarak şekilleridir. (Şe-
kil : 7) zemin daneleri kimyasal kompozisyonları mü-
saade ettiği nisbette mekanik ve kimyasal aşınma te-
siri altında küçülmektedir. Aşınmalara en çok karşı
koyabilen ve çatlak kumların terkiibine giren eleman
kuarz yani silistir. (Si O₂) Boyut bir haddin üstünde
kaldıkça zemin daneleri şahsiyetlerini muhafaza et-
mektedir. Bu hudut 2μ (Mikron) yani 0.002 m.m. dir.
Bu boyutun altına düşen zerrecilerin şekil itibariyle yu-
varlıklarını kaybettiklerini ve moleküller bağlanırlar

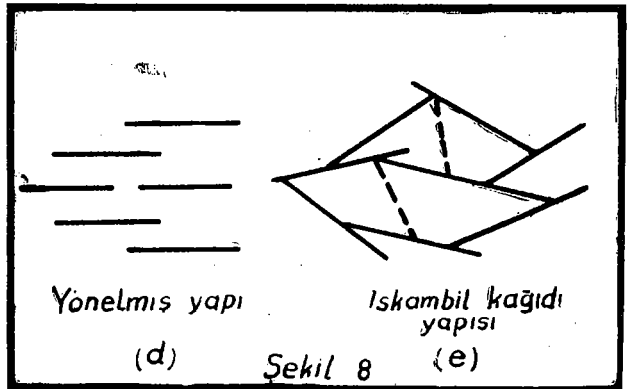
yüzünden levha, sahife, pul şeklini aldıkları görülmektedir. 2 mikronun üstündeki köşeli daneler mekanik aşınma tesiriyle yuvarlanır ve küreye yakın yuvarlak bir şekil alır. Aşınma bakiyesi zerrelerde kılınların ham maddesini teşkil eder. Kimyasal aşınmada hasıl olan kristallerin küçüklüğünü ve şeklini moleküler yapı tâyin etmektedir. Dane boyutunun küçülmesi ile zerre ağırlığı ehemmiyetini kaybediyor ve zerre yüzeylerindeki elektrostatik kuvvetlerin tesiri artıyor. Yüzey alanlarının mertebesi hakkında bir fikir vermek için şu misâl zikredilebilir :

Özgül ağırlık $G = 2.60$ için	Özgül yüzey alanı :
Dane çapı :	13 cm^2/gram
2 mm.	1.3 m^2/gram
0.0002 m.m.	2220 cm^2/gram
$10\text{A}^\circ \times 10\text{A}^\circ \times 10\text{A}^\circ$	$(1\text{A}^\circ = 10^{-8} \text{ m})$

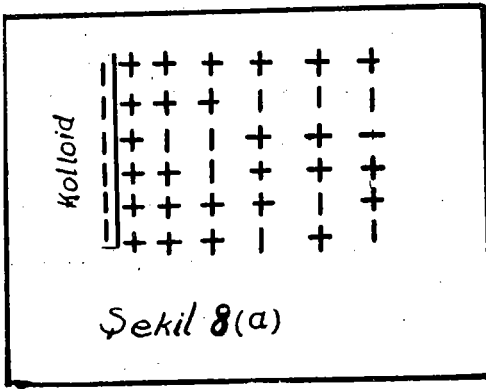
Görüldüğü üzere ağırlık birimine isabet eden zerre yüz alanı granüller zeminlere kıyasen kil zerrelere çok büyüktür. Bugün artık kolloid hassa dediğimiz olayın zerrelere yüzündeki elektrostatik kuvvetlerden ileri geldiği iyice bilinmektedir.

Boşluğu su ile tamamen dolu bir kili ele alırsak zerreler arasında başlıca iki tesirin varlığı bilinmektedir. Birincisi zerrelerin yüzeylerine yayılmış olan elektrostatik yük, diğeri de boşluk suyu içinde sıvıdaki iyonlaşmadır. (Çift tabaka teorisi). Bunlara bir de moleküller arasındaki (Van der Walls) kuvvetlerini de ilâve etmek icabeder.

Van der Waals kuvvetleri zerreler arasındaki çekme kuvvetleridir. Elektrokimyadan bir sıvı içindeki zerrelerin umumiyetle negatif elektrikle yüklendiğini biliyoruz. Şekil (8-a) da negatif yüklü zerre etrafında su moleküllerinin teşkil ettiği çift tabaka şematik ola-



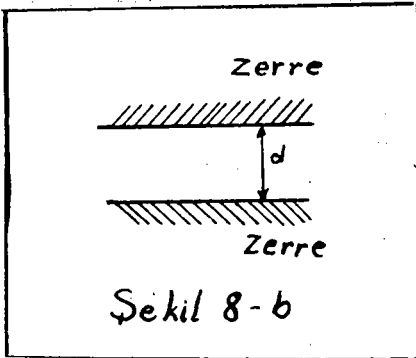
rak görülmektedir. Bu tesirlerin teker teker etüdü mümkün olmadığı gibi olay esasında gayet kompleks tir. Hâdiseyi basite irca etmek için iki zerrenin birbirlerine yaptıkları tesirlerin topunu net bir tesir olarak düşünmek cihetine gidilmiştir. Şekil (8-b) de olduğu gibi birbirinden (d) mesafesinde bulunan ve birbirine paralel iki zerreyi ele alınırsa şekil (8-c) deki grafik bu tesiri ifade etmektedir. Burada (d) ara mesafesine bağli olarak potansiyel enerji bir çekme veya itme kuvveti olarak kendini göstermektedir. 1 No. lu eğri zayıf elektrolit haline tekabül eder suyun içinde ivon-



Şekil 8(a)

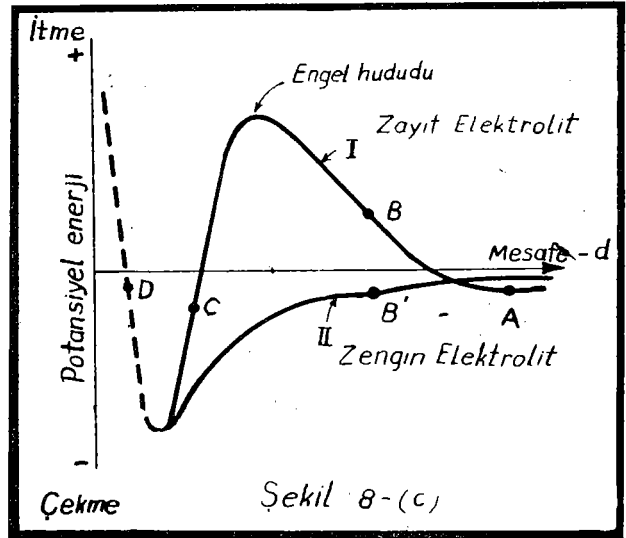
laşma azdır ve zerrelere etrafı adeta bir geçirimsiz tabaka ile sarılmıştır. Zerreler elektrik yüklerini kaybetmediklerinden birbirleri üzerine bir tesir icra edebilmektedirler. Petek, flokül ve her ikisinin kombinasyonundan başka zemin yapılarından son senelerde bir de (İskambil Kâğıdı) yapısı fikri ileri sürülmüş ve son senelerde yapılan elektron mikroskop araştırmaları bu hipotezi teyid etmiştir. Şekil (8-d) yönelmiş ve (Şekil : 8.e) de iskambil kâğıdı yapıları şematik olarak görülmektedir.

Dış kuvvet tesiri altında iki zerre arasındaki (d) mesafesinin değiştiğini düşünelim. İki zerrinin birbirleri üzerlerine etkileri (d) ara mesafesine bağlı olarak ya bir itme veya bir çekme kuvvetidir. (A) noktasına tekabül eden mesafede bulunan zerre üzerine küçük bir çekme kuvveti tesir eder. Dış kuvvetlerin zoru ile zerre (B) noktasına tekabül eden mesafeye yaklaştıkça itme kuvveti bağgösterir ve bir engel hududu aşılıncaya kadar bu itme kuvvetinin şiddeti artar. Bu engel aşıldıktan sonra itme kuvvetinin şiddeti sür'atle



azalır ve daha sonra etki yine bir çekme kuvveti şeklini alır. 1 Angstrom (10^{-8} cm) mesafeden itibaren şiddet mertebesi daha yüksek moleküler bağ kuvvetleri için içine girmektedir. Zengin elektrolit hali II No. lu eğride görülür. Bu takdirde zerreler elektrostatik yüklerini muhafaza etmedikleri için Van der Valls kuvvetlerinin tesiri hâkim durum almaktadır ve (A) noktasına tekabül eden mesafeden itibaren bu çekme kuvvetinin şiddeti ara mesafe azaldıkça büyük, bu da istikrarsız bir denge durumudur. Zerrelerin muayyen bir haddi fazla yaklaşması halinde moleküller bağ

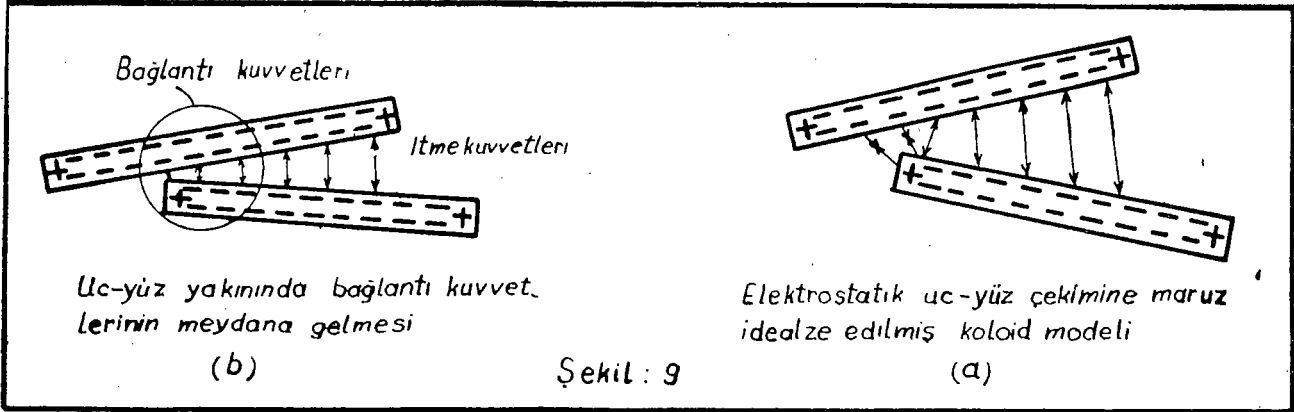
kuvvetleri iki zerreği birbirine ekler, zerreler adeta birbirine kaynar. Yüzlerinde elektrostatik yük taşıyan zerreler birer mıknatıs elemanı gibi düşünülebilir. Bir zerrinin yüzündeki negatif yüke mukabil uçlarda pozitif yük birikerek kutuplar meydana geldiği farzedilirse bir zerrinin pozitif yüklü ucu, diğer bir zerrinin yüzü üzerinde negatif yüklerin kesif olduğu muntıkaya doğru çekilecektir. Bir haddi sonra (Şekil : 9.a-b) de görüldüğü gibi moleküller bağ kuvvetleri bir zerrinin ucunu diğer bir zerrinin yüzüne bitiştirecek ve iskambil kâğıdı yapısını hâsıl edecektir. (Şekil : 8-a-b) de ki I ve II. No. lu eğriler iki tip iskambil kâğıdı yapısına yol açar. Zayıf elektrolit halinde (Şekil : 10 -



a - 1) de görüldüğü gibi bir zerrinin ucu diğer bir zerrinin yüzünde bir nokta ile temas eder, fakat her iki zerrinin yüzlerindeki karşılıklı noktaların ara mesafesi muayyen bir (d.) dan (Şekil : 10-b) büyük olduğu için yüzler arasında itme kuvvetleri bulunacaktır. Bu itme kuvvetlerini yenerek zerreleri birbirine yapıştırmak yani aralarındaki (α) açısını sıfır yapmak dış kuvvetlerin zoru altında kabil olacaktır. Killerin plâstiklik özelliğini bu şekilde gözönüne getirmek kabilirdir. Zengin elektrolit halinde ise zerreleri birbirine paralel olarak yönelmiş yapıdan başka bir de (Şekil : 10-c) de olduğu gibi kapalı üçgen sistemlerinden müteşekkil bir yapıda düşünülebilir. Yoğrulmayla yani dış kuvvetlerle bu düzeni bozarak paralel yapının meydana getirilmesi kabilirdir.

B — Killerde boşluk suyu :

Bundan evvelki bahiste temas ettiğimiz hususlardan dolayı killerde boşluk suyu hakikatte çok kompleks olayların cereyan ettiği bir sahadır. Katı ve sıvı iki değişik fazda bulunan cisimler temas haline gelince birbirine nazaran zıt elektrik yükleri taşıdıklarını görüyoruz. Umumiyetle su ile temasta olan, katı cisimler negatif yük, su pozitif yük taşıyor. Mahiyeti tamamen aydınlanmamış olmakla beraber bu olayı izah için ileri sürülen hipotezlerin başında dielektrik kat sayı-



Şekil: 9

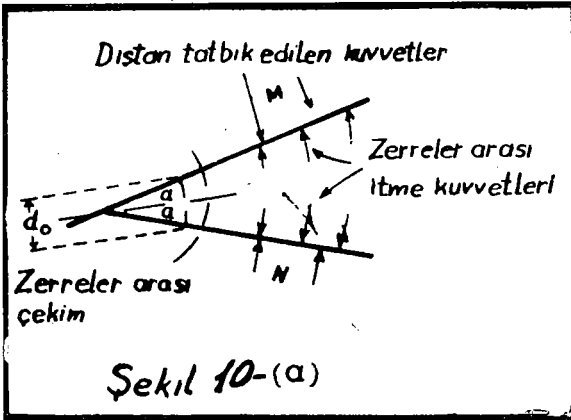
sının durumu tayin ettiği fikri ileri sürülmüş ise de bunun daima cari olmadığı gösterilmiştir.

Potansiyel farkından doğan elektrokinetik enerji fazlardan hangisinin hareket etme kabiliyeti varsa onu hareket ettirir. (Elektro osmoz) adı verilen bu olayda mukabil aksi tesirden dolayı katı faza da yani kil zerrelere bir sıkıştırma kuvveti tesir eder. Su gibi bir sıvı içinde kolloid kil zerrelere asıntı halinde bulunduğu hali ele alalım. Bir müddet sonra kil zerrelere kabın tabanına çökmeğe başladığını görürüz. Bir hadden sonra çökme olayı çok ağırlaşır ve elektrolit sun'f olarak zenginleştirilmedikçe kil zerrelere çökme faaliyeti hemen hemen tamamen durur. Ancak şap v.s. gibi kimyasal madde ilavesiyle flokülasyon hâsıl ederek asıntı halindeki kil zerrelere çöktürmek kabil olur. Flokülasyon esnasında elektrolitin zenginleşmesiyle zerrelere taşıdıkları elektrik yükü dağılır

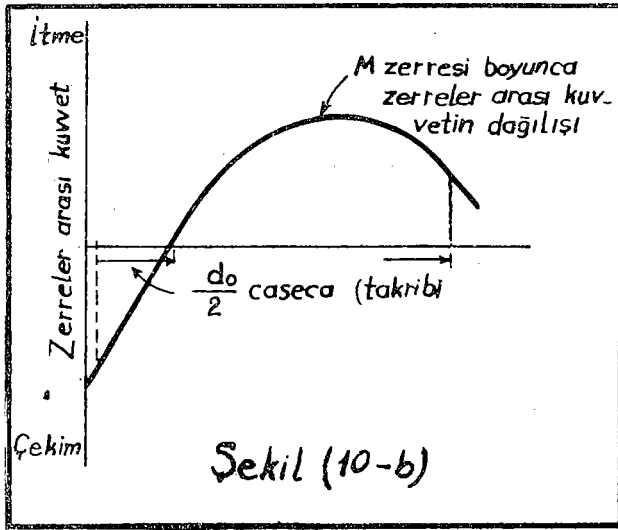
rine bir itme kuvveti tatbik ettiklerini görmek kabil-
dir. Boşluk suyu basıncının bir cüz'ü addedilmesi ica-
beden bu etkinin de boşluk suyu basıncına âmil olan
faktörler arasında bulunması ve efektif gerilme den-
kleminin bu gibi halleri de içine alması lâzım gelir.
Halbuki efektif gerilme denkleminde bu gibi faktörler
hesaba katılmamıştır. Efektif gerilme denkleminin şü-
mülü içine alamadığı olaylara ait buna benzer misâl-
ler mevcuttur. Bunlardan biri de topraktaki emmedir.
Boşluğu su ile doymuş bir zemin nümune takozunu ke-
serek arazideki yerinden çıkarttıktan sonra boşluk su-
yu basıncını ölçersek, bu basıncın atmosfer basıncının
altında olduğunu görürüz. Bu olayda kil zerrelere su
molekülleri üzerinde icra ettikleri çekme kuvveti ile
izah edilmektedir. Kil zerrelere ile direkt temas halin-
de bulunan su molekülleri sıvılık özelliğini kaybetmiş
durumdadır. Moleküler bağ kuvvetlerinin tesiri altın-
da yarı katı bir halledir. Killerin rutubetlerini tama-
men kaybetmelerini güçleştiren ve kil ile su arasın-
daki afiniteye sebep olan olay da budur. Higroskopik
su dediğimiz kilin kimyasal bünyesindeki su molekül-
leri kil zerre tabakaları arasında bulunur ve kil zer-
resinin yüzündeki elektrostatik kuvvetlerin tesiri altın-
dadır. Bu su moleküllerinin bünyeden ayrılabilmeleri
ancak cebri olarak kabildir ve kili 100°c üstünde ka-
pali yerde en az 24 saat ısıtmakla kabildir. İskambil
kâğıdı yapısını düşünürsek bu yapıda kil zerrelere bir-
birleriyle nokta teması halindedir. İki kil zerreri
birbirinden ayırmak için lâzım gelen kesme kuvvetini
iki kısımdan ibaret gibi düşünmek de teklif edilmiştir.
Birinci kısım elektrostatik yükü yüklü bir elemanı
bir elektrik saha içinde hareket ettirebilmek için sarf
edilen kuvvet, diğeri de iki zerre arasında hakiki sür-
tünme kuvvetidir. Henüz bu fikirler hipotetik merha-
leyi aşamamıştır.

III. — Efektif gerilme denklemi üzerine yapılan araştırmalar :

Son on sene içinde bu mevzuda birçok çalışmalar yapılmıştır. (Terzaghi) nin 1923 senesinde deneyle bulduğu ve $\sigma = \sigma - u$ şeklinde ifade ettiği efektif gerilme denklemini ıslâh mevzuunda Bishop 1955 sene-
sinde ilk defa olarak $\sigma = \sigma - (u_a - \chi (u_a - u_w))$ ti-
pinde bir denklem teklif etmiştir. Burada :



ve bundan dolayı zerrelere birbirlerine itme kuvveti tat-
bik edemezler. Su moleküllerinin Brown hareketi dola-
yısıyla birbirine çarpan kil zerrelere gittikçe çapı bü-
yüyen floklar teşkil ederler. Çökme hızları bundan do-
layı artar (Stokes Kanunu). Floklar aşağı doğru ha-
reketleri esnasında rastladıkları zerrelere de kendileri-
ne ilhak ederek çökme faaliyetini hızlandırırlar. Flo-
külasyondan evvel zerrelere birbirlerine itme kuvveti tat-
bik eden bir sistem teşkil etmektedir, ve ağırlık kuv-
vetleri bu dengeyi bozamaz. Bu olaydan zerrelere bir-
birile temas halinde olmamalarına rağmen birbirle-

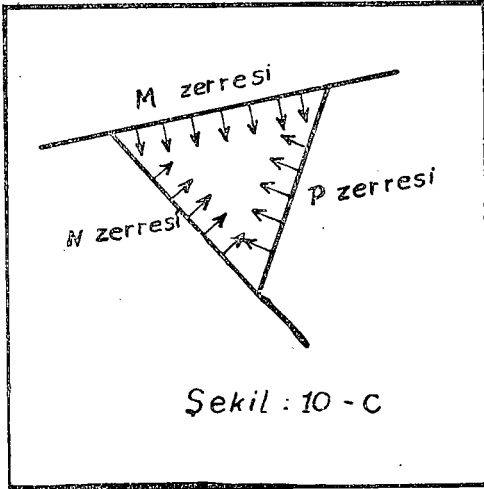


Şekil (10-b)

u_a : boşluk havası basıncı
 u_w : boşluk suyu basıncı
 ve (χ) su ile doyma derecesine bağlı bir faktör olup boşluğun % 100 ünün su ile doyması halinde $\chi = 1$ değerini almaktadır.

I. Teori :

(Şekil : 1) de zemin daneleri arasında efektif gerilmeyi tarif ederken danelerin temas alanının büyük veya küçüklüğü üzerinde durmadık. Hakikatte zemin direncinin bu temas alanının büyüklüğüne de bağlı olması icabeder. İki danenin temas ettiği noktada ki kesme direnci denklemi olan ($\tau_s = c_s + \sigma_s \tan \phi_s$) den gidilerek kesidin brüt alanı ile danelerin toplam temas alanı hesaba katılarak bir dane topluluğunda kollekt-



Şekil : 10 - c

tif bir şekilde brüt birim alana tesir eden kesme direncinin ifadesi olarak ($\tau_t = c' + [\sigma - (1-a) u] \tan \phi'$) bulunur. Burada, (Şekil : 11) $c' = \alpha m c_s$ ve $\tan \phi' = m \tan \phi_s$ olup $\alpha = \frac{A_s}{A}$ dır. A : brüt kesit alanı ve A_s dane toplam temas alanıdır. (m) katsayısı deneylerle

bulunur, (Caquot) kohezyonsuz zeminler için (μ) iki dane arasındaki sürtünme katsayısı olmak üzere :

$$\tan \phi' = \frac{\pi \mu}{2} \text{ bulunmuştur. Bu hal için : } m = \frac{\pi}{2} \text{ dir.}$$

Parantez içindeki terim efektif gerilmeyi ifade ettiğinden :

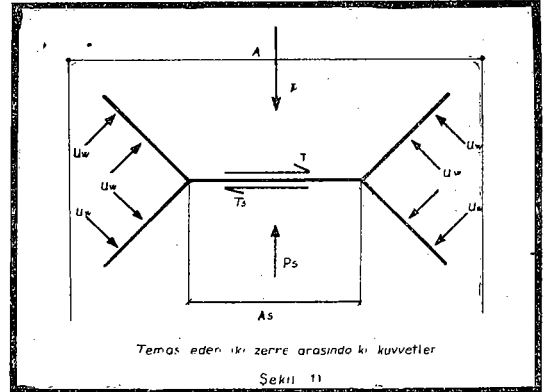
efektif gerilme = $\sigma - (1-a) u$
 neticesi elde edilir. Deneyler bu denklemin doğruluğunu teyit etmemektedir. Pratikte daneler arasındaki granüler gerilmeyi hesaplamak için :

$$\sigma_g = \frac{P - (A-A_s) u}{A} = \sigma - (1-a) u$$

bağıntısından gidilmektedir. Buradan σ_g ile efektif gerilme ifadelerinin aynı olduğu görülür. Bu sahada (Caquot) ve (Bishop) un çalışmaları (Referans: 10-12 ve 15) da bulunabilir.

2. Teori :

Bu teörinin hareket noktası temas yüzeylerinde sürtünme ile gerilme deformasyon şartları arasındaki



Şekil 11

bağıntıdır. (Terzaghi) 1925. senesinde gayet orijinal bir muhakeme ile temas halinde olan cisimlerdeki basınç direnci ile kesme direnci arasında bir bağıntı bulmuştur. Hafifce temas halinde bulunan iki yüzey her ne kadar tam intibak manzarası arzederse de hakikatte moleküler temas alanı gayet küçüktür.

Yüzeylere normal olarak (W) gibi bir yük tatbik edilince mikroskopik çıkıntılar ezilir ve toplam temas alanı A_s gibi bir limit değere ulaşacaktır.

Şöyle ki : $W = A_s \sigma_y$

σ_y : çıkıntı malzemesinin ezilme gerilmesidir.

Terzaghi malzemeyi (k) kesme direncini haiz tamamen kohezyonlu madde kabul ederek bir yüzey boyunca kesme meydana gelmesi için tatbiki icabeden maksimum teğetsel kuvvetin ifadesini $F = A_s k$ olarak

bulmuştur. Sürtünme katsayısı ise : $\mu = \frac{F}{W}$ olup

(μ) birçok malzeme için takriben 0.5 olduğuna göre $\sigma_y = 2k$ olarak bulunur ki bu da çıkıntı malzemesinin basınç direncinin bir yaklaşık ifadesidir.

Bu mevzuda (Bowden) ve (Tabor) un çalışmaları Ref. (10-13 ve 14) la verilmiştir. Hakikatte temas yüzeyindeki kesme direnci malzemenin kesme direncin-

den biraz daha küçüktür. Bunu da : $\tau_s = \beta k$ ile ifade edebiliriz. ($\beta < 1$ olmak üzere). Bundan başka ezilme direnci (σ_y) nın diğer şartlara bağlı olmaması düşünülemez, aksine kesme gerilmesi arttıkça azalması icabeder.

Buradan $\sigma_y = Nk$ gibi bir neticeye varılır ki (N) pürüzlerin geometrisine ve malzemenin gerilme deformasyon karakteristیکlerine bağlı bir faktördür.

Bir katı cismin kesme direnci : $\tau_i = k + \sigma \tan \psi$ ile ifade edilirse (k : entrensek kohezyon ve ψ entrensek delk açısı olmak üzere) birçok metallerde (ψ) 5° minerallerde ise 3°-10° civarındadır. Mükemmel bir katı cisim için $\psi = 0$ kabul ederek

$\tau_i = k$ $\psi = 0$
 $\tau_s = \beta k$ dan gidilerek
 $\tau_t = c' + (\sigma - u) \tan \phi'$ bulunur ve efektif gerilme ifadesi için $\sigma = \sigma - u$ neticesine ulaşılır. Hadisi olarak doğruluğu (Bishop) ve (Chugaev) tarafından ileri sürülen bu denklemin ispatı ilk defa olarak (Skemp-ton) tarafından Ref. (10) da verilmiştir.

3. Teori :

Bu teori katı cisimlerin kesme direnci denkleminde ve yüksek basınç altında yapılan kırılma deneylerine dayanır.

Bu deneylerin neticesine göre :

Malzeme cinsi :	k (Kg./Cm.2)	ψ (derece)
Kurşun	100	3/4
Bakır	1200	4 1/2
Nikel	1800	7 1/2
Kaya tuzu	450	3 1/2
Kalsit	1900	8
Kuarz	9500	13 1/2

ve $\tau_i = k + \sigma \tan \psi$ denkleminde (ψ) nin sıfırdan farklı olduğundan gidilerek temel noktasında : $\tau_s = \beta k + \sigma_s \tan \psi_s$ kabul ile efektif gerilmenin ifadesi :
 $\sigma = \sigma - (1 - \alpha) \frac{\tan \psi}{\tan \phi'}$ b) bulunur.

Burada (ψ) entrensek delk açısı ile $\tan \phi' = m \tan \phi_s = m \mu$ olup (Caquot) kohezyonsuz zeminler için
 $m = \frac{\pi}{2}$ bulmuştur.

4. Teoriler arasındaki bağıllık :

3. Teori diğerlerini hususi hal olarak şümüllü içine almaktadır. Şayet zeminler için de bu teori doğru ise

Terzaghi denkleminin yaklaşıklığı ($\alpha \frac{\tan \psi}{\tan \phi'}$) teriminin

minin küçüklüğüne bağlıdır. Umumiyetle kuarzlı kumlarda Mohr kırılma hattının açısı (entrensek açı $\psi = 13^\circ$ dir). ϕ' ise 30° ilâ 10° kadardır. (ψ') ise $20-30^\circ$

olduğuna göre : $\frac{\tan \psi}{\tan \phi'} > 0.15$ bulunur. Gerek kumlarda gerekse killerde Terzaghi denkleminin sıhhati temas alanının küçüklüğünden ileri gelmesi daha kuv-

vetli bir ihtimaldir. (ψ') danelerin teşkil ettiği zemin kütlesinin kırılma hattı açısidir.

5. Zeminlerin kompresibilitesi ile efektif gerilme arasındaki bağıntı :

Zeminlerin sıkışma kabiliyetinden gidilerek :

$$\text{efektif gerilme} = \sigma - (1 - \frac{C_s}{c}) \text{ bulunur.}$$

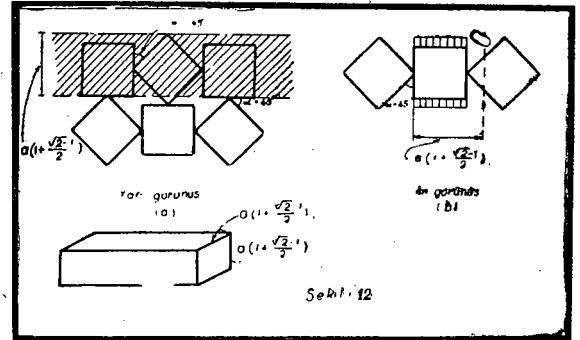
C_s : zerrelere teşkil eden malzemenin kompresibilite katsayısı,

c : boşluklu ortamın kompresibilite katsayısıdır.

6. — II. bahisteki tesirle bu teorilerde global olarak mütalâa edilmektedir.

IV. — Killerin boyut ve şekillerine bağlı özellikler:

Brüt hacim içindeki (V_b) boşluk hacminin (V_d) katı dane hacmine oranı (e) boşluk oranı olarak tarif edildiğine göre umumiyetle kumlarda boşluk oranı 0.70 altında olan bu oran killerde ise hemen hemen her zaman 0.60 ın üstündedir. Killerde boşluk oranının 1.5 e hattâ organik killerde 3 e kadar yükseldiği görülür. Boşluk oranı için 0.75 değeri killerin karakteristik bir durumuna tekabül ettiği gösterebilir. Kil zerrelere hacmi $V = a^3$ olan küp şeklinde düşünersek zerrelere birbiri ile teması kaybolmadan alabilecekleri en gevşek düzene tekabül eden durum (Şekil : 12) deki gibidir.



Zerrelere birinin kenarının diğerinin yüzü ile teması halinde $\alpha = 45^\circ$ zerre teması kaybolmaksızın en büyük boşluk oranını verir. (1) uzunluğundaki bir

$$\text{prizma içindeki zerre sayısı } n = \frac{2l}{a(1 + \sqrt{2})} = 0.83 \frac{l}{a}$$

olarak bulunur.

Prizma içinde (n) adet zerrenin katı hacmi :

$$V_d = 0.83 \frac{l}{a} \times a^3 = 0.83 a^2 l$$

Bir dizi zerreye düşen ortalama brüt hacim :

$$V = a^2 (1 + \frac{\sqrt{2}-1}{2}) l = 1.45 a^2 l$$

$$\text{Boşluk hacmi : } V_d = (1.45 - 0.83) a^2 l = 0.62 a^2 l$$

$$\text{Boşluk oranı : } e_k = \frac{0.62 a^2 l}{0.83 a^2 l} = 0.75$$

Kil zerrelere küp şeklini kaybettiğçe l_k değeri

büyüyecektir ve küp şeklinde zerrelere için bile (α) açısı 45° ye çok yakındır. Buna sebep olarak da yüzeyel elektrostatik kuvvetler gösterilebilir. Diğer bir husus da küp şeklinde zerrelere müteşekkil bir kilin boşluk oranı $e = 0.75$ den büyük olması halinde zerrelere arasında maddi temas bulunmaması lâzım gelir. Esasında boşluk oranı 0.75 üzerinde olan killerin içinde çubuk veya iğne şeklinde zerrelere bulunması kolayısıyla temasın tamamen ortadan kalkması kabil değildir.

a —) Buradan boşluk oranı ile muayyen bir hacim içinde bulunan zerre adedini statistik olarak birbirine bağlamak fikri akla gelebilir. Zira dış kuvvetlerin tesiri olmaksızın muayyen bir hacim içinde muayyen bir zerre adedinin bulunması lâzım geldiği halde bulunmamasına sebep, yüzeyel kuvvetlerdir.

Bir zerrenin hacmi : $U = a^3$

Ve hacim elemanı : $V = a^3$ ise (V) hacmi içinde (n) adet (U) zerresinin bulunması ihtimali : $P_n = \frac{1}{a^n}$

$P_1 \dots P_{n-1} \dots P_n = \frac{1}{a^{(n-1)}} \cdot \frac{1}{a} = \frac{1}{a^n}$

buradan $P_n = \frac{1}{a^n}$ olarak bulunur.

ve $P_n = \frac{1}{a^n}$ olarak bulunur.

Boşluk oranı 0.75 için muayyen bir hacim içindeki zerre adedinin bulunabileceğine göre boyut, şekil ve fizik özellikleri bilinen kil zerrelere gidilerek dış kuvvetlerin etkisi dışında kil zerrelere özellikleri bağlı olarak aldıkları karakteristik boşluk oranını tesbit etmek kabilidir. Başka bir deyimle dış kuvvetler haricinde zerrelere fiziki özellikleri ile boşluk oranı arasında pratik fayda sağlayacak bir bağıntı bulunabilir.

b) Boşluklu ortamda laminar akım Darcy Kanununa uymaktadır.

Permeabilite katsayıları değişik, cinslere aynı iki zemin numunesi ele alınırsa aynı hidrolik meyil altında değişik akım hızları permeabilitesi yüksek zeminde suyun daha uzun yol katettiğini ifade eder.

Killerde (k) permeabilite katsayısı 0.0000001 Cm./San. değirinin altına düşmektedir. Aynı boşluğu haiz kil ile kumun permeabilite katsayıları birbirinden çok farklı olduğuna göre permeabilite katsayısının çok düşük olması kil zerrelere küçüklüğünden dolayı kilin içinde suyun katettiği yolun uzamasından mı, yoksa suyun kilin boşluğu içinde adsorbsyon kuvvetleri tesiri altında normal viskozitesini kaybederek yarı katı bir durumda bulunduğundan mı ileri gelmek-

tedir? Şüphesiz laminar akımda permeabilite katsayısının küçülmesi su iplikçiklerinin kattettiği yolun uzamasına bir miktar tesir eder. Fakat diğer faktörün daha müessir olması lâzım gelir. Yüzleri birbirinden 1 Angstron yani 10 cm. mesafede bulunan 2 zerrenin arasındaki su filmi düşünürsek bu filmin içindeki su moleküllerini elektrostatik kuvvetler altında harekete getirmenin gayet güç olacağı beklenebilir. Elektrosmos olayında katı ve sıvı olarak temas halinde bulunan iki fazdan dolayı hasil olan bir potansiyel farkı sıvı faz moleküllerinin hareketlerini artırıcı bir tesir icra eder. Ancak boşluk suyun basıncını bir haddin üstüne çıkarıp gerek dış kuvvetler ve gerekse moleküller bağlantı kuvvetlerini bertaraf ederek zerrelere birbirinden ayırmak kabil olabilir.

Bu yönden gidilerek bir kil kütleinde yüksek boşluk suyu basıncı altında yırtılma şartlarına intikal etmenin kabil olabileceği düşünülebilir. Zira yırtılma hâdisesine, bazı hallerde boşluk suyu basıncının artmasıyla zerrelere arasındaki moleküller, elektrostatik kuvvetlerin bertaraf edilerek zerrelere sürtüklenmesi veya aralarının açılması hâdisesi gibi bakılabilir.

Rerefrans ve Bibliyografya :

1. — Terzaghi-Peck Soil Mechanics in Engineering Practice
2. — R. E. Grim Physico - Chemical Properties of Soils : Clay Minerals ASCE Proceedings No. 1998
3. — A. W. Taylor Physico - Chemical Properties of Soils : Ion Exchange Phenomena ASCE Proceedings No. 1999
4. — I. Th. Rosenquist Ph-C Prop. of Soils : Soil - Water Systems ASCE Proceedings No. 2000
5. — T. W. Lambe The Structure of Compacted Clay ASCE Proceedings No. 1654
6. — T. W. Lambe Ph-C Prop. of Soils : Role of Soil Technology ASCE Proceedings No. 2001
7. — T. W. Lambe The Engineering Behaviour of Compacted Clay ASCE Proceedings No. 1655
8. — D. H. Trollope C. H. Chan - Soil Structure and the step Strain Phenomenon ASCE Proceedings
9. — R. E. Grim Clay Mineralogy
10. — Conference Pore Pressure and Suction in Soil
11. — W. P. M. Black D. Crone, J. C. Jacobs. Field Studies of the Movement of Soil Moisture
12. — A. W. Bishop Lecture Delivered in Oslo «The Principle of Effective Stresses»
13. — F. P. Bowden - D. Tabor The Mechanism of Metallic Friction
14. — F. P. Bowden - D. Tabor Friction and Lubrication of Solids
15. — Caquot Equilibre des Massifs a Frottement Interne