



Düzce Ovası killerin konsolidasyon özellikleri ve jeolojik evrim ile ilişkisi

Consolidation properties of the clays at Düzce plain and their relationship with geological evolution

Orhan ŞİMŞEK

Geoconsult-Consulting Engineering Stemeck Str., 50-52 5020 Salzburg

Süleyman DALGIÇ

İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar, İstanbul

Öz

Anadolu otoyolunun Gümüşova-Gerede arasındaki bölümünde yer alan Düzce killerin konsolidasyon özelliklerinin bilinmesi, mühendislik yükü altındaki oturma davranışlarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu amaçla, otoyol güzergahının Düzce kesimindeki killerin konsolidasyon özellikleri araştırılmıştır. Düzce havzası çökellerinin en kalın olduğu yer, şehrin güney kenarında olup, kalınlık bu kesimde yaklaşık 260 m'dir. Çökeller, havza ortasında ve güneye doğru kil, siltli kil ve killi siltlerin egemen olduğu istiften oluşurken, kuzey ve kuzeydoğuda ise kum ve çakıl gibi daha iri taneli malzemenin egemen olduğu seviyeler yer almaktadır. Killi seviyelerin belirlenen konsolidasyon özelliklerine göre, havza killerinin yüzeyden 5 ile 10 m arasında değişen derinliklere kadar aşın konsolide oldukları tespit edilmiştir. Aşın konsolidasyonun gelişimine, ovanın güneyindeki Düzce fayının aktivitesi ile havzanın çökelim merkezinin güneye hareket etmesi ve bunun sonucunda ovanın kuzey tarafının güneye oranla yükselmesinin sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra, ovanın bu nedenlerden dolayı yükselen kısımlarında yeraltı suyu seviyesindeki değişim, havalanma zonunun artmasına ve üst katmanların kurumması sonucunda aşın konsolidasyon düzeylerinin gelişmesine sebep olmuştur.

Anahtar Sözcükler: Düzce, Ova, Konsolidasyon, Jeolojik evrim,

Abstract

Determination of the consolidation of the Düzce clays exposed along the Gümüşova-Gerede section of the Anatolian motorway plays an important role to assess their settlement behaviour under loads of engineering structures. For this purpose, consolidation properties of these clay in the vicinity of Düzce are investigated. The deepest part of the alluvial deposits at Düzce plain takes place at the southern side of Düzce. Their thickness is about 260 m. Alluvial deposits mainly consist of clay, silty clay and clayey silts at the central and the souther parts of the basin, while granular materials, such as sand and gravel, become dominant at the north and north-east side of the plain. Based on the assessments performed for consolidation characteristics of the clayey layers, it was concluded that the upper part of these layers (up to depths of to 10 m) in the plain were over consolidated. The occurrence of over consolidation was resulted from the movement of Düzce sedimentation basin towards south due to tectonic activity of the Düzce fault. The variation in groundwater table caused an increase in the oxidation zone and the progress of overconsolidated zones due to the effects desiccation in the upper part of the basin.

Key Words: Düzce, Plain, Consolidation, Geological evolution,

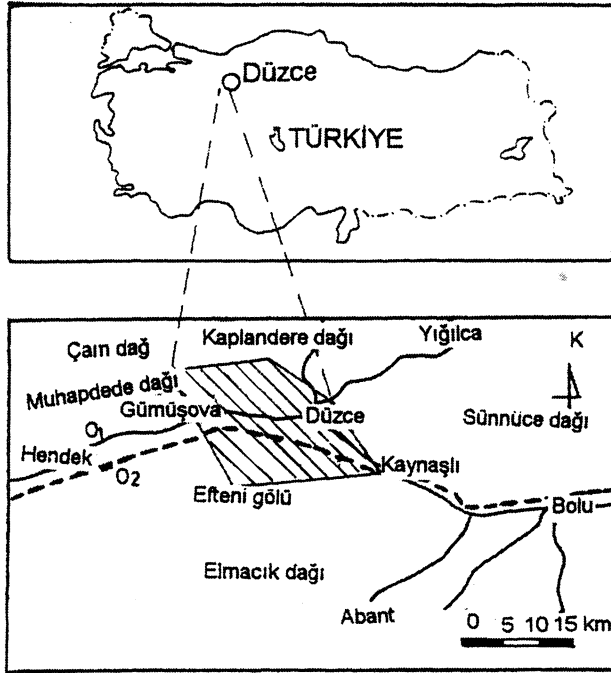
GİRİŞ

Bu çalışmada, Gümüşova-Gerede otoyolu Düzce ovası geçişindeki (Şekil 1) killi düzeylerin konsolidasyon özelliklerinin, havzanın jeolojik evrimiyle ilişkisi tartışılmıştır. Bu amaçla, Gümüşova-Gerede Otoyolu Düzce ovası geçişinin ana yüklenici kuruluşu Astaldi SPA tarafından yapılan yaklaşık 200 adet zemin sondajı ve bu sondajlarda derlenen 175 adet örslenmemiş numune üzerinde ASİM (1985) standartlarına göre yapılan konsolidasyon testleri, drenajsız makaslama dayanımı,

Atterberg limitleri, elek analizi, killerin MTA tarafından yapılan mineralojik analizleri ve DSİ tarafından yapılan jeofizik ve derin kuyu sondaj verileri değerlendirilmiştir. Ayrıca, laboratuvar deney sonuçları esas alınarak hesaplanan konsolidasyon özellikleri ve otoyol gövdesi altındaki oturmalar yerinde yapılan oturma ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.

DÜZCE OVASI VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

İnceleme alanını oluşturan Düzce ovası, Miyosen sonunda gelişen Kuzey Anadolu Fayı'nın denetiminde



Şekil 1- Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Figure 1- Location map of the study area.

açılmış bir havzadır (Şekil 2). Ovanın güneyinde, Paleozoyik yaşlı metagranit ve granodiyorit, kuzeyinde ise kumtaşı-silttaşı ve şeyi ağdalanmasından oluşan Ereğli formasyonu ovanın temelini oluşturur. Bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak Kretase yaşlı konglomera, kumtaşı, killi kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşan Akveren formasyonu gelmektedir. Dikmen volkanitleri ovanın güney batısında gözlenmiş olup, andezit, spilit ve aglomeralardan oluşur. Tersiyer, kumtaşı-çamurtaşı, aglomera ve piroklastiklerden oluşan Kusuri formasyonu ile temsil edilmiştir (Yazman ve Çokuğraş, 1984). Bu birimler ova kenarında ve tabanında Kuvaterner yaşlı Örencik formasyonu ile örtülmüştür. Bu birim az tutturulmuş, yarı yuvarlak, iyi derecelenmiş, çakıl-kum ve silt karışımından oluşur. Ova çevresindeki Kuvaterner öncesi birimlerin detaylı tanımlamaları bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Alüvyal çökellerinin stratigrafisi

İnceleme alanında gözlenen alüvyal çökeller (Şekil 2) bu çalışmanın yazarları tarafından üç ana gruba altında incelenmiş olup, her grubun genel özellikleri aşağıda özetle verilmiştir.

Akarsu alüvyonları (Qal)

Büyükmenen, Küçükmenen, Asarsuyu ve Uğursuyu akarsularının ova içindeki akış rejimine bağlı olarak çeşitli boyuttaki malzeme oluşukları akarsu yatakları bo-

yunca gözlenmiştir. Akarsular, ovaya açıldıkları alanlarda iyi derecelenmiş, yuvarlak, yönelimli ve yüksek dayanımlı çoğunlukla kireçtaşı ve magmatik kökenli kumçakıl ve blok içerikli kaba malzeme biriktirmiştir.

Tarafımızdan hazırlanan jeolojik haritada (Şekil 2) görüldüğü gibi, Küçükmenen akarsu yatağı boyunca Sankasımlar ve Sarayyeri köyleri arasındaki alüviyal yelpaze ve Uğursuyu yatağı boyunca Beyköy, Develibesni ve Bayramöz köyleri civarlarındaki alüviyal yelpazeler bu tür oluşuklardır. Ova içinde çoğunlukla menderesli akan akarsu yataklarında ince taneli çakıl, kum, silt ve ince tabakalı kil ara düzeylerinden oluşan çökeller gözlenmiştir.

Göl çökelleri (kum-çakıl düzeyleri; Qal2)

Bu birim havzanın kuzey, kuzeydoğu ve doğu kesimlerinde yer alır. Birim kahverenkli ve derinlerde gri olup, çoğunlukla, killi-siltli kum ve çakıl düzeylerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte, killi düzeyler yanal geçişten dolayı yer yer kalınlığı 5 metreyi bulan siltli kil düzeyleri de mevcuttur. Çakıllar ince-iri boyutlu, köşeli ve yarı yuvarlak, SPT sayıları 10 ile 50 arasında değişmekte olup, gevşek ile sıkı sınıfta yer almaktadırlar. Havzanın doğu ve kuzey doğu kenarını oluşturan bu birimler, beslenmenin doğu yönünden olduğunu göstermektedir.

Göl çökelleri (kil, siltli kil ve killi silt düzeyleri; Qal3)

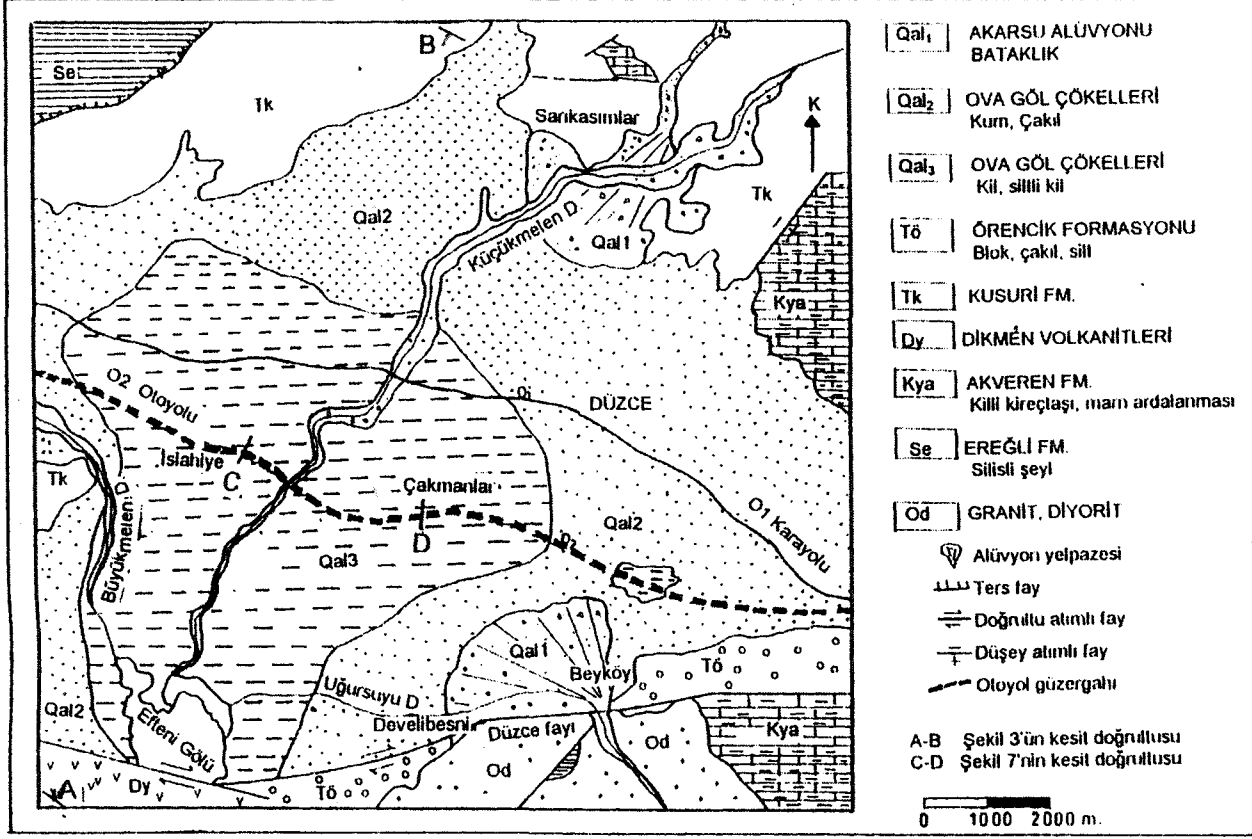
Bu çökeller, ovanın orta kesiminde ve Düzce ilçesinin güney batısında gözlenmiştir. Küçükmenen nehir yatağı yarması boyunca kesitlerden ve araştırma sondajlarından birimin kalınlığı 3 ile 8 m arasında değiştiği üst kısmının kahverengi, alt bölümünün ise gri olduğu gözlenmiştir. Kil, siltli kil, killi silt ve kumlu silt düzeylerinden oluşan birim, yumuşak, orta kaü, orta-yüksek plastisiteli olup, bol miktarda kavkı içeriklidir.

Otoyol güzergahı boyunca alınan jeolojik profilde (Şekil 3) görüldüğü gibi, otoyol güzergahının 7 ve 19'uncu kilometreleri arasında (İslahiye-Çakmanlar köyü arası) ova bu zeminler ile dolmuştur. Kil düzeylerinin kalınlıkları yer yer 40 metreyi geçmekte olup, havza kenarındaki kum ve çakıl düzeyleriyle yanal geçişlidir. Bu birim, araştırma sondaj verilerine göre yüksek oranda organik madde ve basınçlı bataklık gazı içermektedir.

Çalışma alanının genç tektonizması ve havzanın gelişimi

Kuzey Anadolu fayının Burdigaliyen döneminde oluşmasından sonra fay boyunca doğrultu aümlü fayların döneminde oluşmasından sonra fay boyunca doğrultu atımlı fayların denetiminde bir çok çökel havzaları gelişmiştir (Seymen, 1975; Şengör, 1979). Düzce ovası çökel havzası, ovanın güneyini sınırlayan ve Kuzey Anadolu fayının önemli kollarından birini teşkil eden Düzce

DÜZCE OVASI KİLLERİ



Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası.

Figure 2. Geological map of the study area and its vicinity

\ fayı ve bu faya verev konumunda gelişmiş Çayköy-İçmeler arasında 9 km kadar izlenebilen (Şaroğlu vd., 1987; Şaroğlu vd., 1992) fayların denetiminde açılmıştır (Şekil ; 4). Sağ yönlü Düzce fayı ve onun verev kolunun hareketi ile ovanın batı kısmı yükselirken (Muhappede dağı ve Hendek sırtı), gerisinde ise çekme gerilmesi sonucu olarak Düzce havzası açılmıştır. Aynı zamanda Düzce fayı ile Mudurnu vadisinden geçen Kuzey Anadolu fayı arasındaki tektonik bloğun (Elmacık dağı) bu iki fayın aktivitesi sonucu güneye doğru olan rotasyonal hareketi ve gerisinde oluşan gerilme sistemi havzanın açılmasına sebep olmuştur.

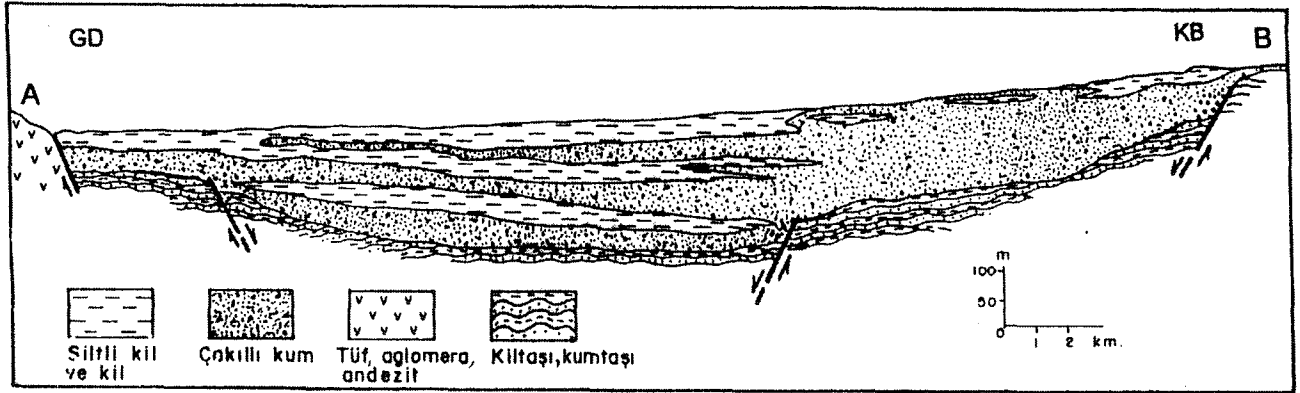
: Ovanın güney yamacı Düzce fayından dolayı oldukça dik bir topografyaya sahiptir. Buna karşın, kuzay yamaçta ise benzer bir fay belirtisi görülmemektedir. Bu durum havzanın sadece güney kenarındaki Düzce fayının denetiminde geliştiğinin göstergesidir. Şaroğlu vd., J(1987)'ne göre Düzce fayı ve ona verev gelişmiş Çayköy-İçmeler arasındaki faydan başka aktif fay bulunmamaktadır.

: Aydın ve Nur (1982), doğrultulu atımlı fayların denetiminde gelişen havzaların (çoğunlukla çek-ayır) en önemli özelliklerinden birinin havza çökelim merkezinin aktivitesini sürdüren fay tarafına doğru hareket et-

mesi olacağını belirtmişlerdir. Ovanın güneyini sınırlayan Düzce fayının aktif bir fay olması sebebiyle Efteni gölü, havzanın bugünkü çökelim merkezi olarak Düzce fayının yanındadır.

Havza çökelim merkezinin güneye doğru yer değiştirmesini kanıtlayan veriler aşağıda belirtilmiştir:

- Ovadaki eğimler güneye doğrudur,
- Uğursuyu'nun eski alüvyon yelpazesi, akarsuyu ovaya açıldığı yerde olup, doğrultusu ovanın ortasına doğrudur (Şekil 2). Uğursuyunun şimdiki akış yönü ise Düzce fayına paralel olarak eski alüvyon yelpazesinin güney kenarından Efteni (Şekil 2) gölüne doğru akmaktadır. Düzce fayının akti vitesi ile Uğursuyu'nun yönü değişmiş olup, nehir bugünkü çökelim merkezine akmaktadır.
- Küçükmenen akarsu yatağı kuzeyden güneye doğru, Düzce ovası çökellerinin ortasında açılmıştır. Küçükmenen akarsu yatağı otoyolun geçtiği kesimde ova çökellerini yaklaşık 8 m kadar oymuştur. Ovanın kuzey kesiminde ise akarsuyun yatağını eski biriktirdiği alüvyon yelpazesi açmaktadır. Bu veriler, Düzce fayının halen aktivitesini, sürdürdüğünü göstermektedir. Ayrıca, Düzce fayının aktivitesini destekleyen en belirgin morfolojik yapılardan birisi fayın güneyindeki vadilerde bu-



Şekil 3. Gümüşova-Gerede otoyolu boyunca alınmış jeolojik profil (AB hattı).

Figure 3. Longitudinal geological profile along the Gümüşova-Gerede motorway (section AB).

lunan asılı teraslardır. Bu veriler esas alınarak, havza ortasının bugünkü çökelim merkezine oranla yükseldiği sonucuna varılmıştır.

YERALTISUYU KOŞULLARI

Otoyol güzergahı boyunca 1987 ve 1988 yıllarında yapılan zemin etüdü sondajlarında ölçülen yeraltısuyu seviyesinin en yüksek ve en düşük değerleri arasındaki fark, güzergahın 6 ve 19'uncu kilometreleri arasında 1 ve 3 m arasında, bu kilometreler arasındaki en düşük yeraltısuyu seviyesi ise 2 ile 5 m arasında değişmektedir (Şekil 5).

Ovadaki yeraltısuyu seviyesinin en yüksek olduğu dönem Nisan ve Mayıs ayları, en düşük olanı ise Ekim ve Kasım aylarıdır. DSİ tarafından ovanın değişik alanlarında açılmış 100'e yakın kuyudan alınan ölçümlere ait veriler, yeraltısuyu tablasının en düşük ve en yüksek olduğu dönemlerdeki farklılıkların ova ortasında (Düzce'nin güneyinde ve Efteni Develibesni (Uğursuyu'nun alüvyon yelpazesi içinde) ve ovanın doğu ve kuzeydoğu kesimindeki Çavuşlar mevkiinde ise (Küçükmeden alüvyon yelpazesi içinde) 2 ile 3 m arasında değiştiğini göstermektedir.

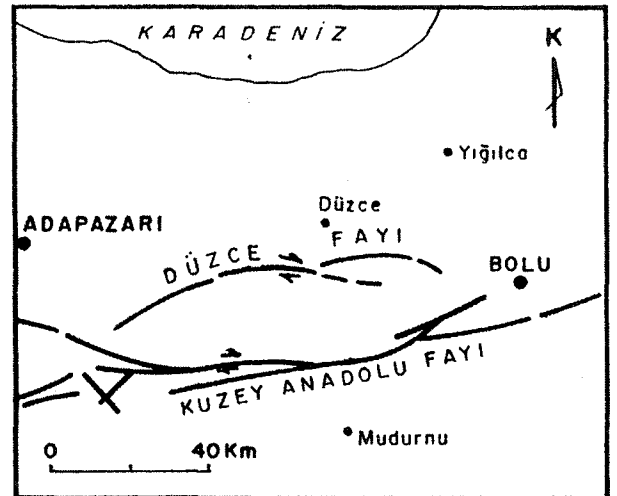
DÜZCE OVASI KİLLERİNİN JEOMÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Ova çökelleri içinde yer alan killi düzeyler, Gümüşova-Gerede otoyolu ana yüklenici kuruluşu olan Astaldi SPA tarafından yapılan 200 kadar jeoteknik etüt sondajı ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, yine bu kuruluş tarafından ASTM (1985) standartlarına göre sondajlardan elde edilen 200'e yakın örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde doğal birim hacim ağırlığı (γ), tane birim hacim ağırlığı (G_s), tane boyu dağılımı ve Atterberg limitleri tayin edilmiş ve odometre aleti ile konsolidasyon deneyi ve makaslama kutusu deneyleri yapılmıştır. Bunların yanı sıra, killerin mineralojik özellikleri 10 adet örnek üzerinde araştırılmıştır.

İndeks özellikler

Düzce ovası görsel çökellerine ait killerin tane boyu dağılımı, örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde 4, 10, 40 ve 200 no'lu elekten elenerek yapılmış 200 no'lu eleğin altındaki silt ve kil boyutu ise hidrometre deneyi yapılarak bulunmuştur (Çizelge 1). Killi düzeylerin, ağırlık-hacim ilişkileri, Atterberg limitleri ve kil yüzdesi değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Killi düzeylerin ortalama doğal birim hacim ağırlığı 18.8 kN/m^3 , tane birim hacim ağırlığı ise 27.5 kN/m^3 'tür. Killi düzeyler içindeki kil tane boyutundaki malzeme yüzdesi ise 8 ile 45 arasında değişmektedir.

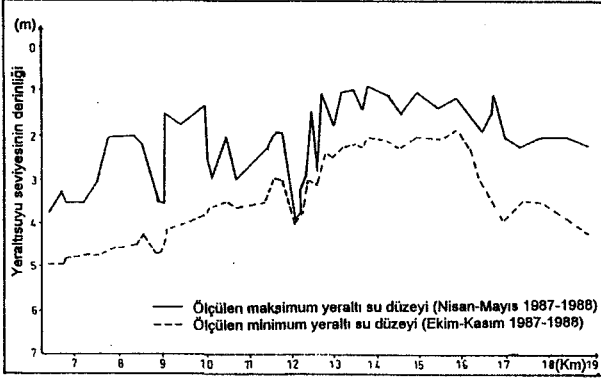
Kil örneklerinin birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre plastisite abağı üzerindeki dağılımı Şekil 6'da gös-



Şekil 4. Çalışma alanı ve çevresinin tektonik haritası (Şaroğlu vd., 1992).

Figure 4. Tectonic map of the study area and its vicinity (after Şaroğlu vd., 1992).

DÜZCE OVASI KİLLERİ



Şekil 5. 1987 ve 1988 yılları arasında Gümüşova-Gerede otomobil güzergahının 6 ve 19. km'leri arasında ölçülen yeraltısuyu seviyesinin en düşük ve en yüksek değerleri.

Figure 5- Minimum and maximum groundwater levels measured between 1987 and 1988 between the 6 and 19 th tons of the Gümüşova-Gerede motorway.

terilmiştir. Şekil 6'dan killerin büyük çoğunluğunun (% 62.5) orta plastisiteli CL grubu killer, % 29'unun yüksek plastisiteli CH grubu killeri olduğu anlaşılmaktadır. Diğer örneklerin % 6'sı düşük plastisiteli CL-ML grubu, % 2.5'u MH-OH grubu killerdir.

Killerin aktivitesi, Skempton (1953)'e göre $A=0.79$ mertebesinde olup normal aktiftir. Ayrıca aktivitenin ilk metrelerden derinlere nazaran daha fazla olduğu saptanmıştır.

Killerin mineralojik özellikleri

Killerin mineralojik yapısı ve bileşenleri şişme, aktivite ve sıkışma gibi mühendislik özelliklerini etkilemektedir. Bu amaçla inceleme alanında 5 ayrı lokasyonda farklı derinlikten alınan 10 adet örnek üzerinde, killerin mineralojik bileşenleri X-ışınları kırınım yöntemiyle tayin edilmiştir. MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Mineraloji-Petrografi Laboratuvarlarında yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Killi örneklerin mineralojik bileşenlerinin çoğunlukla montmorillonit, klorit, çok az illit, kuvars, feldispat ve kalsit olduğu belirlenmiştir. Bu durum ise killerin indeks ve konsolidasyon özellikleri üzerinde derinliğe bağlı olarak, farklı tür kil minerallerinin etkili olmadığını göstermektedir. Bu özellik itibarıyla makalenin konusunu oluşturan Düzce ovası çökellerinin derinlikle konsolidasyon farklılığı arasındaki ilişkide, kil mineralojisinin alttaki normal konsolide ve üstteki aşın konsolide özellikteki killerin ayırtlanmasına etkisi yoktur. Ancak, çoğunluğunu montmorillonit, klorit ve illit türü bileşenlerin oluşturduğu killerin yüzeye yakın düzeyleri atmosferik koşullar ve yeraltısuyu düzeyindeki

Çizelge 1. İncelenen zemin örneklerinin tane boyu dağılımı.
Table 1. Particle size distribution of the studied soil samples.

Elek No	Mak. geçen %	Min. geçen %
4	100	85
10	100	75
40	100	60
200	90	51
<0.002(%)	45	8

Çizelge 2. Doğal birim hacim ağırlığı, tane birim hacim ağırlığı, Atterberg limitleri ve kil yüzdesi değerleri.

Table 2. Values of natural unit weight, specific unit weight, Atterberg limits and percent of clay fractions.

γ (kN/m^3)	Gs (%)			LL (%)			Pl (%)			μ				
	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.		
17.0	20.6	18.8	26.3	28.8	27.5	29	67	40	12	28	20	8	45	26.5

y: Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m^3). Gs: Tane birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

LL: Likit limit (%). Pl: Plastik limit (%). μ : Kil yüzdesi (%)

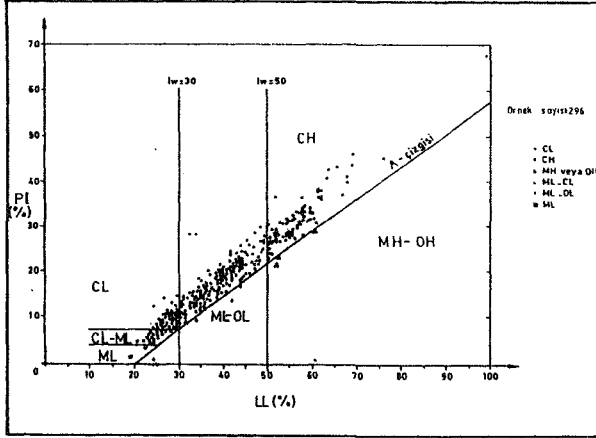
değişimlerden dolayı etkilenecek (kuruma, şişme, büzülme) aşın konsolidasyona sebep olmuşlardır.

Konsolidasyon özellikleri

Killerin konsolidasyon özellikleri 175 adet örselenmemiş örnek üzerinde ASTM (1985) standartına göre gerçekleştirilen odometre deneyleri ile belirlenmiştir. Bu deneyler yüzeyden yaklaşık 50 m'ye kadar değişen çeşitli derinliklerden alınan örnekler üzerinde yapılmıştır.

Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak killerin basınç (logaritmik)-boşluk katsayısı (C_v), hacimsal sıkışma katsayısı (M_v), sıkışma indeksleri (C_c ve C_r), ön-konsolidasyon basıncı P ile örtü basıncı (P_o) ve ön-konsolidasyon basıncı ilişkisinden aşın konsolidasyon oranı (A.K.O) tespit edilmiştir. Ön-konsolidasyon basıncının tespiti ve sıkışma indeksi (C_c =normal konsolide olmuş kesimin sıkışma indeksi, C_c^* aşırı konsolide olmuş kesimin sıkışma indeksi) değerleri grafik yöntemle belirlenmiştir.

Killerin konsolidasyon özelliklerine ait literatür bilgilerinin çoğu sıkışma indeksi ile indeks özellikleri arasında ilişkilerin belirlenmesine yöneliktir (Ansal, 1987; Gündüz ve Önalp, 1996; Bowles, 1979, Herrero, 1980). Bununla birlikte, sıkışma indisinin tahmini zeminlerin mineralojik bileşimine ve coğrafik konumuna ve gerilme tarihçesine bağlı olarak yöreden yöreye değişmekte-



Şekil 6. Kil örneklerinin plastisite abağı üzerindeki dağılımı
Figure 6. Distribution of the clay samples on the plasticity chart.

dir. Bu nedenle bu çalışmada killerin sıkışma indeksi değeri doğrudan odometre deneylerinden elde edilen sonuçlara göre değerlendirilmiştir.

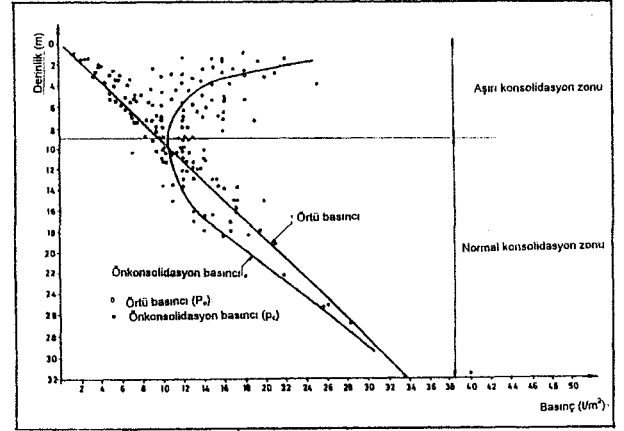
Kilin ön-konsolidasyon basıncının doğru tayin edilmesi koşuluyla geçmişte maruz kaldığı jeolojik yükleri ve dolayısıyla geçirmiş olduğu jeolojik evrimi yorumlamak mümkündür. Bu bilgiler ışığında zeminin üzerinde mühendislik yapılarından kaynaklanan ek yükler altında oluşacak oturma miktarının analizini gerçekçi bir şekilde yapmak mümkün olmaktadır.

Odometre deneylerinden elde edilen basınç (logaritmik)-boşluk oranı ilişkisi grafiğinden okunan P_c ve P_o değerleri, derinlik-basınç grafiği üzerinde gösterilmiştir

Çizelge 3.. Çalışma alanındaki killerin mineralojik bileşimi

Table 3. Mineralogical composition of the clays in the study site.

Sondaj no	Derinlik (m)	Çoktan aza doğru göreceli olarak kil bileşenleri
S-13	10.0	Montmorillonit, klorit, çok az illit, kuvars, kalsit, az feldspat
S-13	18.0	Montmorillonit, klorit, illit, kuvars, kalsit, çok az feldspat
S-120	6.0	Montmorillonit, klorit, az illit, kuvars, kalsit, çok az kalsit
S-120	19.5	Montmorillonit, klorit, az illit, kuvars, feldspat, çok az kalsit
S-12	4.0	Montmorillonit, klorit, az illit, kuvars, feldspat, az amfibol
S-12	10.0	Montmorillonit, klorit, illit, kuvars, feldspat, çok az kalsit
S-11	3.5	Montmorillonit, klorit, az illit, kuvars, az feldspat
S-11	33.0	Montmorillonit, klorit, az illit, kuvars, feldspat, kalsit
S-33	2.0	Az montmorillonit, az klorit, az illit, kuvars, az feldspat, çok az amfibol
S-33	8.0	Montmorillonit, klorit, illit, kuvars, az feldspat, çok az amfibol



Şekil 7. ön-konsolidasyon basıncı ve örtü basıncının derinliğe bağlı değişimi (CD kesiti).

Figure 7. Variation of pre-consolidation and overburden pressures with depth (Section CD).

(Şekil 7). Bu ilişki, yüzey ile ortalama 10 m derinlik arasındaki seviyenin aşırı konsolidasyona maruz kaldığını göstermektedir. Bu seviyenin altında kalan katmanlar P_c ve P_o değerlerinin birbirlerine yakın olmasından dolayı normal konsolide kil özelliği göstermektedir. Otoyol güzergahı boyunca aşırı konsolidasyonun derinliği her sondaj için hesaplanmış ve boyuna profil üzerinde gösterilmiştir (Şekil 8). Buna göre, otoyol güzergahı boyunca aşırı konsolide olmuş seviyenin kalınlığı 5 ile 10 m arasında değişmektedir (Şimşek, 1994).

Ön-konsolidasyon basıncının gelişimi ve killerin jeolojik evrim ile ilişkisi

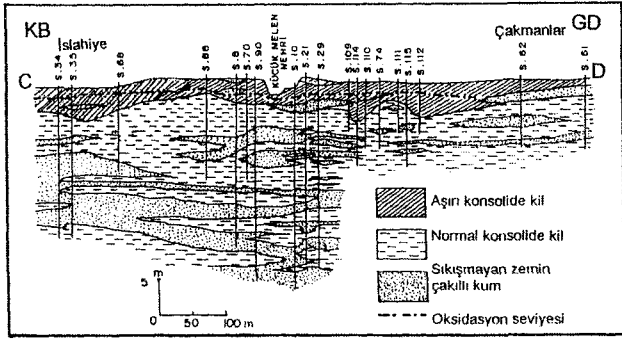
Ön-konsolidasyon basıncının (P_c), güncel örtü basıncından büyük olduğu durumlarda aşağıda belirtilen koşullardan birinin oluşması gereklidir.

- Erozyona bağlı olarak ortamdan yük azalması, diğer bir ifadeyle kilin jeolojik devirlerde bugünkünden daha fazla örtü yüküne maruz kalması (P_o değerinin azalması),
- Yeraltısuyu tablasındaki değişim (Kenny, 1964)
- Zeminin kurulması (P_c değerinin, P_o değerine oranla artması).

Yukarıda değinilen genel koşulların dışında; çimentolanma, iyon konsantrasyonundaki değişim, oksidasyon (Bjerrum, 1972), çökeltme koşulları ve mineralojik bileşim aşırı konsolidasyon değerinin artmasından önemli olabilen diğer etkenlerdir.

Erozyona bağlı olarak P_o değerinin azalması Düzce havzası için mümkün görülmektedir. Çünkü havza erozyona uğrayacak ölçülerde yükselmemiş olmakla birlikte,

DÜZCE OVASI KİLLERİ



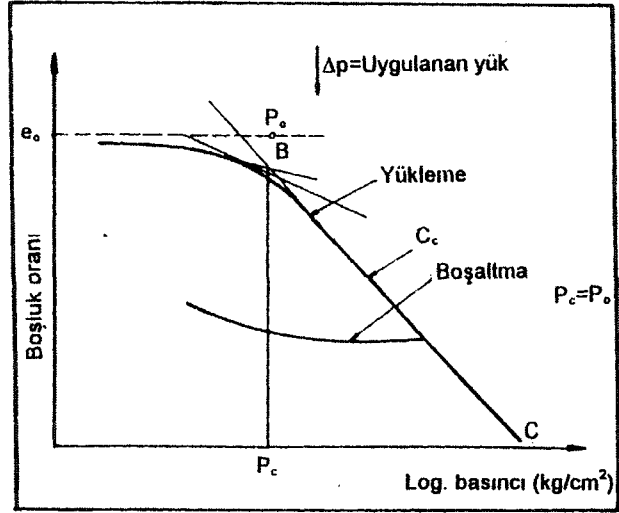
Şekil 8. Aşırı konsolidasyonun sınırlarını gösteren boyuna profil.

Figure 8. Longitudinal profile illustrating the boundaries of overconsolidation.

halen güney kenarında çökeltim sürmektedir. Bu nedenle aşırı konsolidasyon özellikleri diğer faktörlere bağlı olarak açıklanabilir. Bunlar, kuruma, çimentolanma oksidasyon, çökeltme ortam koşulları, yeraltısuyu değişimi, aktif tektonizma ve mineralojik bileşendir.

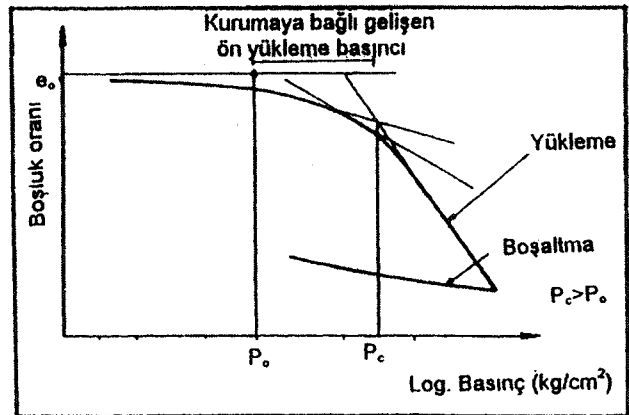
Kurumanın aşırı konsolidasyona etkisi, çökeltme ortamı koşullarına bağlı olarak, çökeltme süreci sırasında veya çökeltmeden sonra olabilir. Düzce havzasının çökeltim koşulları bugünkü Efteni gölü gibi düşünülürse bataklık ortamı özelliğindeki göl çevresinde kurak dönemlerde kuruma çatlakları gözlenmektedir. Burada kurumanın etkisi yüzeyden yaklaşık 0.5 m derinliğe kadar saptanmıştır. Bu yüzeysel kesimde artan ön-konsolidasyon basıncı örtü basıncından daha yüksek değer almaktadır ve aşırı konsolidasyona sebep olmaktadır. Otoyol güzergahı boyunca yapılan sondajlarda bataklık gazının tespiti ve çok miktarda organik malzemenin varlığı, havzanın çökeltme koşullarının bugünkü Efteni gölüne benzediğini göstermektedir.

Otoyol güzergahı boyunca alınan jeolojik profil (Şekil 8) üzerinde gösterilen aşırı konsolidasyon zonu, normal konsolidasyonun havalanma zonu sınırlarında görüldüğü gibi, yeraltısuyu seviyesindeki değişimler ve atmosferik koşullar etkisiyle oluşan havalanma zonu, aşırı konsolide olmuş seviyeyle paralellik göstermektedir. Havalanma zonu, kurumaya bağlı aşırı konsolidasyonun gelişimi ve yeraltısuyundaki değişimler havzanın tektonik evrimi ile ilgilidir. Havzanın gelişimi ve genç tektonizma bölümünde değinildiği gibi, doğrultu atımlı fayların denetiminde gelişen havzaların en belirgin özellikleri, havzanın çökeltimini tamamladığı aşamadaki en son çökeltim merkezinin aktif fayın kenarında bulunmasıdır. Düzce ovasında şu andaki çökeltim merkezi Efteni gölüdür. Dolayısıyla havzanın ortası ve kuzeyi çökeli-



Şekil 9. Normal konsolidasyon eğrisi.

Figure 9. Normal consolidation curve.

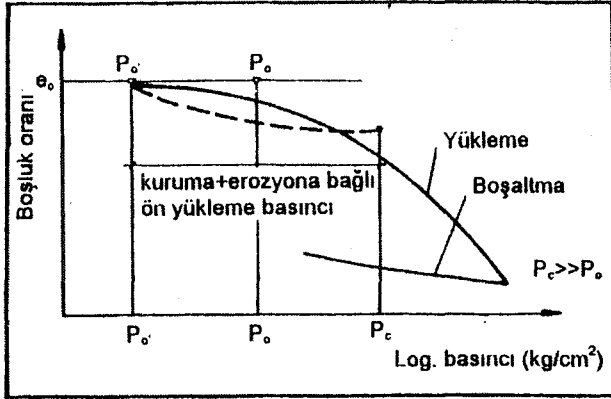


Şekil 10. Kurumaya bağlı olarak gelişen aşırı konsolidasyon durumu.

Figure 10. Overconsolidation condition occurring due to desiccation.

mini tamamlayarak güneye oranla yükselmiştir. Bu nedenle yeraltısuyu seviyesinde oluşan değişiklikler, kurumanın derinliğini artırmış olup, belirlenen mevcut aşırı konsolidasyon zonunu oluşturmuştur. Güneye doğru bu derinlik azalmakta, Efteni gölü çevresinde 0.5 metreye düşmektedir.

Bir ortamdaki aşırı konsolidasyonun gelişimi aşamaları tipik konsolidasyon eğrileri üzerinde, Şekil 9,10 ve 11'deki gibi gösterilebilir (Craig, 1978; Smith, 1974). Şekil 9'de normal konsolidasyon gösterilmiştir. Burada P_0 ile P_c birbirine eşittir. Bu koşullar, devam eden çökeltme ortamları veya henüz çökeltimini tamamlanmış or-



Şekil 11. Kurumaya ve yük azalmasına bağlı olarak gelişen aşırı konsolidasyon durumu.

Figure 11. Overconsolidation condition occurring due to desiccation and unloading.

taamlar içinde geçerlidir. Bunu izleyen aşama Şekil 10'da gösterilmiştir. Burada yukarıda bahsedilen koşulların etkisiyle oluşan kuruma özellikleri sabit P_0 değeri karşısında P_c değerinin artmasına neden olmaktadır. Bu koşullar kurumanın etkileyeceği yüzeysel katmanlarda oluştuğu için zemin üzerine ilave bir yük gelmediği sürece P_c değeri P_0 değerinden daha büyük kalacaktır. Bu aşamayı izleyen dönemlerde ortamın yükselerek erozyona maruz kalması artan P_c değerine karşılık P_0 değerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu aşama Şekil 11'de gösterilmiştir. Bu değerlendirmelere göre Düzce ovasındaki killi düzeylerin üst katmanlarındaki aşırı konsolidasyonun gelişimi Şekil 11'da belirtilen aşama ile ilgilidir.

Arazide ölçülen oturma miktarları ile teorik yaklaşıma dayalı hesapların karşılaştırılması

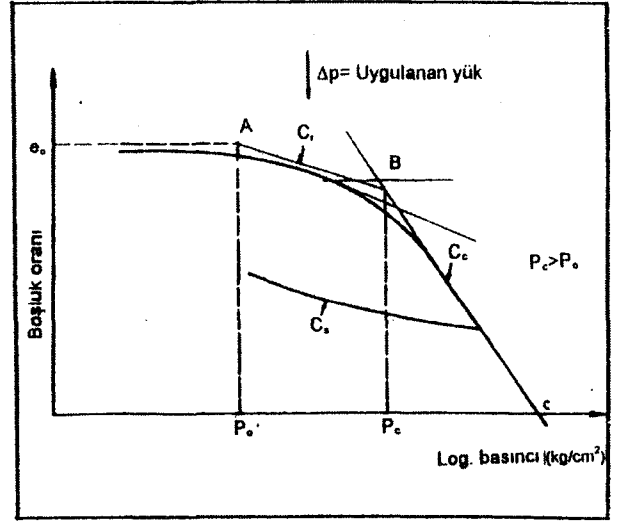
Killerin P_c değerinin doğru belirlenmesi, ortamın jeolojik evrimi ve oturma analizlerinin doğru yapılmasında önemli rol oynamaktadır. $P_c = P_0$ (normal konsolidasyon) koşulununun geçerli olduğu ortamlarda sıkışma indeksi değeri C_c . Şekil 9'de gösterilen BC hattının tanjantına eşit olduğundan uygulanan AP yükü (Düzce ovasında otoyol dolgu yükü) zemini doğrudan konsolidasyon oturması olarak etkileyecektir (Şekil 9). Bu oturma aşağıdaki eşitlikten (1) hesaplanmaktadır.

$$S = H \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{\Delta P + P_0}{P_0} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte,

S= toplam oturma miktarı

H= sıkışabilir tabaka kalınlığı



Şekil 12. Aşırı konsolidasyon eğrisi.

Figure 12. Overconsolidation curve.

e_0 = boşluk oranı

AP= uygulanan yük

C_c = normal konsolide kilin sıkışma indeksi

Şekil 12'deki koşulların geçerli olduğu haklarda P_g/P^1 (aşırı konsolidasyon) durumunda ise oturma analiz için iki koşul geçerlidir:

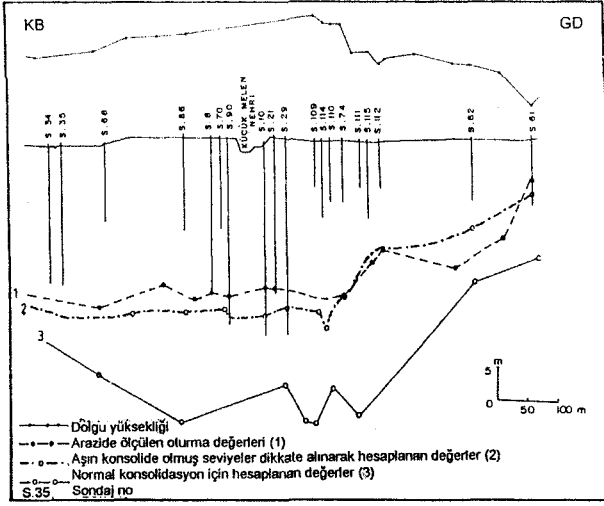
1) $AP + P_0 > P_c$ ise; uygulanan yük konsolidasyon eğrisinin AB hattı üzerinde kalacaktır. Dolayısıyla AB hattının tanjantı aşırı konsolidasyona ait sıkışma indeksini (C_r) verecektir. Bu değer Leonards, (1976)'a göre C_c değerinin % 10'u ile % 20'si arasında olup, oturma miktarı da o oranda az olacaktır. Bu aralıktaki oturma miktarları ihmal edilebilecek kadar az olmaktadır.

2) $AP + P_0 > P_c$ ise; zemin aşırı konsolide, ancak uygulanan yük ile örtü basıncının (P_0) toplamı P_c değerini aştığı için zemin yük altında normal konsolide davranış gösterecektir. Burada, aşırı konsolide olmuş alanın sıkışma indeksi ile normal konsolide olmuş alanın sıkışma indeksi birlikte değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımda aşağıdaki eşitlik (2) kullanılmıştır.

$$S = H \frac{C_r}{1+e_0} \log \frac{P_c}{P_0} + H \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{\Delta P + P_0}{P_0} \quad (2)$$

Arazi ölçümleri ise oturma plakaları kullanılarak bu makalenin yazarları tarafından yapılmıştır. Ölçüm noktaları genellikle sanat yapılarının üzerinde olup, otoyol güzergahının ekseninde, sağında ve solunda olmak üzere, her sanat yapısında üç tane olacak şekilde yerleştiril-

DÜZCE OVASI KİLLERİ



Şekil 13. Otoyol güzergahı boyunca ölçülen konsolidasyon oturmalarının teorik oturma hesaplamalarıyla karşılaştırılması (CD hata)

Figure 13. Comparison between the monitored consolidation settlement and theoretically calculated settlement (Section CD).

mistir. Sanat yapılarının olmadığı alanlarda, otoyol güzergahı boyunca her 100 metrede bir oturma plakaları yerleştirilmiştir. Okumalar, sanat yapısının ve otoyol üst yapısının tolere edebileceği oturma miktarına ulaşılan kadar sürdürülmüş olup, bu süre genellikle 6 ay ile 18 ay arasında değişmiştir.

Otoyol güzergahı boyunca arazi ölçümleri ile teorik yaklaşıma dayalı hesaplamaların karşılaştırılması Şekil 13'de sunulmuştur. Bu şekile göre, aşırı konsolide olmuş üst seviyeler dikkate alınarak yapılan oturma hesapları ile arazi ölçümleri arasında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Yukarıda tanımlanan aşırı konsolide olmuş seviye dikkate alınmayıp, tüm katmanların normal konsolide olduğu yaklaşımla hesaplama yapılmıştır. Bu değerler yerinde ölçülen değerlerden oldukça fazladır. Bu da aşırı konsolide olmuş üst seviyenin varlığını göstermektedir.

Dhowian vd., (1987) tarafından yapılan bir çalışmada ise, laboratuvarda saptadıkları oturma değerlerinin arazide saptanan oturma değerlerinden daha az olduğunu belirlemişlerdir. Bu ölçüm sonuçlarının farklı olmasını da drenaj ve laboratuvar test koşullarına bağlamışlardır. Bu nedenle laboratuvarda daha büyük ölçekli yükleme ve drenaj ölçümlerine gerek duyulduğunu belirtmişlerdir. İnceleme alanında ise yukarıda belirtildiği gibi oturma değerleri üstteki killerin aşırı konsolide olması ile ilgili olarak açıklanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle, Düzce ovasındaki killerin konsolidasyon özelliklerine ve jeolojik evrim ile ilişkisine ait sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Anadolu Otoyolunun Gümüşova-Gerede arasındaki güzergah boyunca; Düzce ovası çökellerinin killi seviyeleri % 29 oranında yüksek plastisiteli CH grubu killer, % 62.5 oranında orta plastisiteli CL grubu siltli kil ve % 6 oranında ise CL-ML türü düşük plastisiteli killi silt ve şiltlerden oluşmaktadır. Killerin mineralojik analizleri de farklı derinliklerden alınan kil örneklerinin başlıca montmorillonit, klorit, çok az illit, kuvars, feldispat ve kalsitten oluştuğu belirlenmiştir. Bu durum, killerin indeks ve konsolidasyon özellikleri üzerinde farklı tür kil minerallerinin etkili olmadığını göstermektedir.

Killerin konsolidasyon özelliklerine göre, 3 ile 10 m arasındaki derinliklerde yer alan yüzeysel tabakaların aşırı konsolide oldukları tespit edilmiştir. Odometre deneylerinden elde edilen basınç (logaritmik)-boşluk oranı ilişkisi grafiğinden okunan P_c ve P_0 değerleri, yüzey ile ortalama 10 m arasındaki seviyenin aşırı konsolidasyona maruz kaldığını göstermektedir. Bu seviyenin altında kalan katmanlar P_c ve P_0 değerlerinin birbirlerine yakın olmasından dolayı normal konsolide kil özelliği göstermektedir.

Yüzeysel aşırı konsolidasyonun gelişimi, Düzce ovasının jeolojik evrimi ve çökeltme ortamı ile ilgilidir. Düzce ovası Kuzey Anadolu Fay sistemi içinde doğrultu atımlı fay denetiminde gelişmiştir. Havzayı oluşturan güneydeki fayın aktif bir fay olmasından dolayı havzanın mevcut çökeltim merkezinin güneye doğru fay kenarına hareketini sağlamıştır. Dolayısıyla havzanın eski merkezi güneyine oranla yükselmiştir. Bunu destekleyen saha verileri, Uğursuyu akarsu yatağının doğrultusunu kuzeyden batıya değiştirmesi, Küçükmenen akarsuyunun Efteni gölüne kadar ova içinde açtığı yatak içinde akması ve eğimlerin güneye doğru olmasıdır. Ovanın bu kesimlerinin yükselmesiyle beraber, yeraltısuyu seviyesindeki değişim havalanma zonu derinliğinin artmasına ve kurumaya bağlı aşırı konsolidasyonun hızlanmasına sebep olmuştur. Killerdeki renk değişim sınırının (kahverenginden griye) aşırı konsolidasyon sınırına yakın olması da bunu katınlamaktadır.

Otoyol güzergahı boyunca oturma plakaları ile yapılan ölçümler ve teorik yaklaşıma dayalı hesaplamaların karşılaştırılması sonucu aşırı konsolide olmuş seviyeler dikkate alınarak yapılan oturma hesapları ile arazi ölçümleri arasında birbirine yakın değerler de edilmiştir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmaya çeşitli katkılardan dolayı İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı öğretim

üyelerinden, Prof. Dr. Okay Eroskay'a, Prof. Dr. Okay Gürpınar'a ve Öğr. Gör. Dr. Ali Malik Gözübol'a teşekkür ederler.

DEĞİNİLEN BELGELER

- ASTM (American Society for Testing and Material), 1985, Annual Book of ASTM Standarts Soil and Rock, Building Stones, Section-4, Construction, V.04.08, ASTM Publication, 972,166-194.
- Ansal, M.A., 1987, Konsolidasyon özelliklerinin istatistiksel bir değerlendirmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği ikinci Ulusal Kongresi, Cilt 1, istanbul, 15-28.
- Aydın, A., ve Nur, A., 1982, Evolution of pull apart basins and their scale independence, Tectonics, 1,91-105.
- Bjerrum, L., 1972, Embankments on soft ground, Proc. Speciality Conf. Perform. Earth and Earth-Supported Struct., ASCE, 1-54.
- Bowles, J.E., 1979, Physical and Geotechnical Properties of Soils, Me Graw-Hill book Co., Inc., New York, 410 pp.
- Craig, R.F., 1978, Soil Mechanics. Van Nostrand reinhold Co., New York, 318 pp.
- Dhowian, A.W., Erol, A. O., ve Sultan, S., 1987, Settlement Predictions in complex Sabkha soil profiles, Bulletin of the International Association of Engineering Geology 36,11-21.
- Gündüz, Z. ve Önalp, A., 1996, Killerin sıkışabilirlik indisleri ile temel özellikleri arasındaki bağıntı, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Ulusal Kongresi, İzmir, 82-88.

- Herrero, O.R., 1980, Universal compression index equation, Journal of GED, Proc. of ASCE, 106, GT 11,1179-1200.
- Kenny, T.C., 1964, Sea level movements and the geologic histories of the Post-Glacial soils at Boston, Nicolet, Ottawa and Oslo, Geotechnique 14, 203-204.
- Leonards, G., 1976, Estimating consolidation settlement of shallow foundations on overconsolidated clay, Transportation Research Board, Special Report 163, Washington, D.C., 13-16.
- Seymen, L., 1975, Kelkit kesiminde Kuzey Anadolu fay zonu- nun tektonik özelliği, İTÜ Maden Fakültesi Yayını, 192s.
- Skempton, A. W., 1953, The colloidal activity of clays. Proc. of 3 rd Int. Conf. on Soil mech., Zurich, 1:57-61.
- Smith, G.N., 1974, Elements of soil mechanics for civil and mining engineers. Crosby Lockwood Staples, London, 418 pp.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Boray, A., 1987, Türkiyenin diri fay- İan ve deprenselliği, MTA Raporu, Derleme No 8174, (yayımlanmamış).
- Şaroğlu F., Emre, Ö., ve Kuşçu, I., 1992, Türkiye diri fay har- İtası, MTA Genel Müdürlüğü, 1:1000000 ölçekli harita.
- Şengör, A.M.C., 1979, The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonics significance, J. Geo. Soc. London, 136,269-282.
- Şimşek, O., 1994, Düzce ovası killerinin konsolidasyon özel- İikleri ve jeolojik evrim ile ilişkisi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 88 s., (yayımlanmamış).
- Yazman, K.M., ve Çokuğraş, R., 1984, Bolu-Kaynaşlı-Men- İen yerleşim merkezleriyle sınırlı alanın ön jeolojisi raporu. TPAO Rap. No 1999, (yayımlanmamış).

Makalenin geliş tarihi: 12.03.1996

Makalenin yayını kabul edildiği tarih: 29.03.1997

Received March 12, 1996

Accepted March 29, 1997