
**TAG OTOYOLUNDA YÜKSEK PLASTİSİTELİ AŞIRI KONSOLİDE KİLLERDE
PROJELENDİRME KRİTERLERİ**

**DESIGN CRITERIA FOR OVERCONSOLIDATED HIGH PLASTICITY
CLAYS IN TAG MOTORWAY**

H. Turan Durgunoğlu ⁽¹⁾
Tankut Balkır ⁽²⁾
Çetin Fırat ⁽²⁾
Turhan Karadayılar ⁽³⁾
Salih Aksoy ⁽²⁾
H. Fatih Kulaç ⁽³⁾
Zühal Etkesen ⁽²⁾

ÖZET

Aşırı konsolide ve yüksek plastisiteli zeminler üzerinde yer alan mühendislik yapıları taban zeminin davranışından etkilenmektedir. Otoyol projelendirmesinde bu tür zeminler uzun vadede yapımı doğrudan ilgilendiren problemlere yol açabilmektedir. Bu tür zeminlerle ilişkili geoteknik projelendirmelerde zeminlerin yüksek hacimsel değişikliğe uğrama potansiyeli ile özellikle otoyol yarmalarının uzun vadeli stabiliteleri bir vaka analizi yardımı ile incelenerek uygun projelendirme kriterlerinin oluşmasında kapsamlı özel laboratuvar deneyleri ile geoteknik etüd ve değerlendirmelerinin önemi vurgulanmıştır.

ABSTRACT

The engineering structures located on the overconsolidated high plasticity subsoils are affected by the behaviour of the subsoil to a considerable extent. Such subsoils are prone to create problems in the long term related with motorway construction. In this study, the high volume change potential of such subsoil and especially the long term stability of the motorway cuts to be excavated within these subsoils are evaluated by means of a case study with special emphasis on the importance of detailed laboratory testing, geotechnical investigations and evaluations for the establishment of the proper design criteria.

(1) Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

(2) Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı

(3) Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş.

1. GİRİŞ

Otoyol projelendirmesinde zemin koşulları projelendirmeyi etkileyen başta gelen hususlardan biridir. Özellikle taban zeminini yüksek plastisiteli aşırı konsolide kil ve kiltaşlarının oluşturduğu durumlarda otoyol yapımını doğrudan ilgilendiren projelendirme önlemleri uygulanması bir zorunluluk olarak belirmektedir.

Doygun olmayan yüksek plastisiteli zeminler üzerinde inşa edilen hafif mühendislik yapıları inşaat sonrası taban zeminin mevsimsel hacimsel değişimlerinden etkilenmektedir. Bu nedenle, yüksek plastisiteli aşırı konsolide ve doygun olmayan zeminler üzerinde inşa edilecek mühendislik yapılarının projelendirilmesinde taşıma gücünün yanı sıra taban zeminin şişme özellikleri de belirleyici olmaktadır. Ayrıca, aşırı konsolide kiltaş formasyonlarda açılacak yarmaların şev stabilitesi tahkikinde uygun analiz yöntemi ve parametre seçimi de büyük önem taşımaktadır. Bu tür zeminlerin kısa ve uzun vadeli davranışları arasındaki farklılığın göz ardı edilmesi nedeniyle oluşmuş bir çok stabilite bozukluğuna literatürde (Kulhawy,1968) [1] yer verilmektedir. Ülkemizde son yıllarda yaygın olarak yürütülen otoyol inşaatları çerçevesinde bu tür zeminlerle karşılaşılması, projelendirme açısından konunun önemini daha da arttırmaktadır.

Bu amaçla, (Tarsus-Pozantı)Ayrımı-Adana-Toprakkale-Gaziantep (TAG) Otoyolu projesi kapsamında karşılaşılan yöreye özgü aşırı konsolide ve yüksek plastisiteli kil ve kiltaş zeminlerin şişme potansiyeli ve bu tür zeminlerde açılan yarmaların kısa ve uzun vadeli stabilite durumları projelendirme kriterleri gözönünde bulundurularak incelenmiştir.

2. TAG OTOYOLU

TAG Otoyolu, (Tarsus-Pozantı) Ayrımından (~ Km 44) başlayarak doğu yönünde Adana (~ Km 70) ilini geçmekte ve sonra Ceyhan, Osmaniye ve Toprakkale üzerinden Gaziantep'e (~ Km 302) ulaşan yaklaşık 260 km uzunluğunda bir otoyol olarak projelendirilmektedir. Bu otoyolun başlangıcından (~ Km 44) , yaklaşık Km 110'a kadar olan kesiminde, Seyhan Nehri'nin bulunduğu Km 70 - Km 90 arası haricinde yumuşak kiltaş en geniş yayılıma sahip formasyondur. Bu kesim dahilinde yer alan otoyol inşaatında aşırı konsolide ve yüksek plastisiteli kil ve kiltaşlarının projelendirme kriterlerinin oluşturulmasında, geoteknik parametrelerinin belirlenmesi amacı ile uzun ve kapsamlı saha, laboratuvar ve projelendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3. ZEMİN ÖZELLİKLERİ

TAG otoyolunda söz konusu zeminlerin hakim olduğu kesim genel olarak yumuşak topoğrafyalı olup yer yer az veya orta derinlikte geniş tabanlı vadiler ile kuzey güney doğrultusunda kesilmektedir. Belirgin litotip, silt, silttaş, ince kumtaş ve iri bloklu konglomera ile süreksiz bir fasiyede olan kiltaşdır. Bu birim yerel olarak Handere Formasyonu olarak bilinmektedir. Handere Formasyonu üzerinde, yer yer, pliyo-kuvaterner kalkarenetik kireçtaşından (Kaliş) oluşan formasyon bulunur. Formasyonun düşük geçirgenliğinden ötürü belirgin bir yeraltı suyu seviyesi yoktur, ancak, boşluk suyu basıncı oluşturabilecek nitelikte şuların varlığı silttaş-kumtaş arabantlarından sızıntı şeklinde gözlenmektedir.

Kiltaşının geoteknik özelliklerini belirlemek amacı ile sondajlar esnasında düzenli aralıklarla Standart Penetrasyon Testi (SPT) ve numune alınabilen tabakalardan örselenmemiş numune alımı gerçekleştirilmiştir. SPT deneylerinde genelde $N > 50$ değeri ölçülmüştür. Bu

örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonucunda toplam ve efektif gerilme kayma mukavemeti parametreleri ölçülmüştür.

Ancak, formasyonun yukarıdaki özellikleri dikkate alındığında yumuşak kiltaşının kaya veya aşırı konsolide sert kil zemin şeklinde tanımlanması mümkündür. Bu özellikleri nedeniyle bu zeminlerde numune alımı sınırlı sayıda gerçekleştirilebilmiştir. Temsili numune alımı ise düzenli aralıklar ile yapılmış ve tanımlamaya yönelik laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4. PROJELENDİRME KRİTERLERİ

Otoyol inşaatında, aşırı konsolide ve yüksek plastisiteli kil ve kiltaşlarında geoteknik açıdan yapım sonrası problemlerle karşılaşmaması, projelendirme safhasında karşılaşılan zemin özelliklerinin detaylı geoteknik etüdlerle tespit edilmesi ve değerlendirilmesi ile sağlanabilmektedir. TAG Otoyolu örneğinde karşılaşılan yüksek plastisiteli ve aşırı konsolide kil-kiltaş zeminlerle ilgili projelendirilmelerde zemin özellikleri gözönünde bulundurularak başlıca iki kriter dikkate alınmıştır:

- yarma ve dolgu tabanlarında yüksek plastisiteli kil-kiltaşının hacim değiştirme potansiyeli,
- aşırı konsolide kiltaşlarında açılacak yarmaların stabilitesi.

Bu iki kriterin projelendirme açısından değerlendirilmesi ayrı ayrı incelenmiştir.

5. LABORATUVAR DENEYLERİ

TAG Otoyolu geoteknik projelendirmesinde söz konusu formasyonların şişme ve kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi özel laboratuvar deneyi gerçekleştirilmiştir. Otoyol güzergahının ilgili kesimleri üzerinde rastlanan ve çeşitli yerlerden elde edilen toplam 22 (yirmiiki) zemin numunesi üzerinde endeks ve şişme özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde 15 (onbeş) zemin numunesi için 0.0, 10.0, 20.0 ve 40.0 kN/m² olmak üzere dört ayrı karşı yük basıncı altında yüzde şişme değerleri belirlenmiştir.[2]

Yapılan şişme deneylerinde zemin numuneleri şişmeye karşı daha hassas olması gözönünde bulundurularak, optimum su muhtevasının kuru tarafında hazırlanmıştır. Bu gaye ile ilgili otoyol teknik şartnamesinde belirtilen minimum su muhtevası ($w = w_{opt} - \%5$) değeri esas alınmıştır. Bu nedenle, deney sonuçlarından elde edilen yüzde şişme değerleri oluşabilecek en kötü durumu temsil etmektedir. Bu deneylerde kullanılan kiltaşının $I_p = \% 20-40+$ arası plastisite indisine sahip ve yüksek plastisiteli olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca, aşırı konsolide kil ve kiltaşlarının drenajlı pik ve rezidüel kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesine yönelik bir dizi özel deney de gerçekleştirilmiştir. Bu özel deney yönteminde örselenmiş zemin numuneleri No.4 elekten elenerek elek altında kalan kısım optimum su muhtevasında, optimumun kuru ve yaş tarafında olacak şekilde değişik su muhtevalarında "Standard Proctor" yöntemi ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılmış numuneler 6cmx6cm boyutlarındaki kare kesitli kesme kutusu aletinde 100 kPa, 150 kPa ve 200 kPa düşey gerilme altında konsolide edilmiştir. Konsolidasyon deneylerinden yararlanılarak, bu düşey yükler altında numunelerdeki boşluk suyu basınçlarının % 95 oranında sönmesi için gereken süre hesaplanmış ve kesme kutusu deneyinin drenajlı deney olabilmesi için uygulanacak maksimum kesme hızı

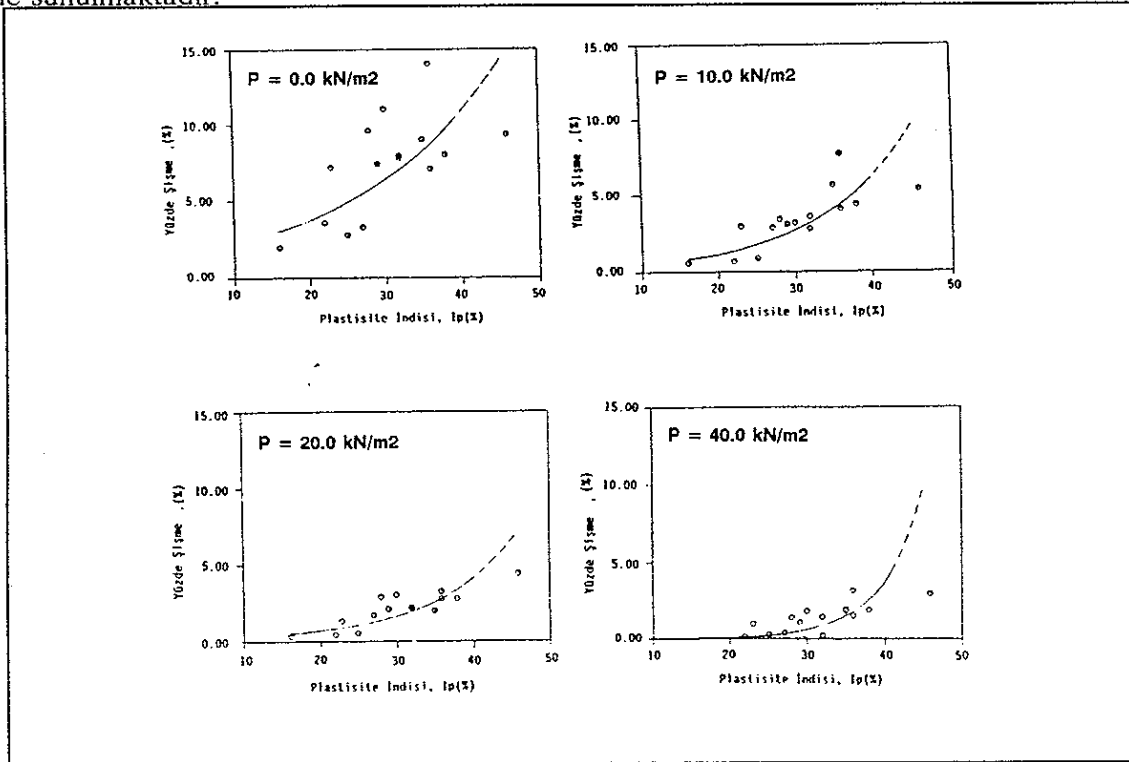
bulunarak deneylerde bundan düşük hız uygulanmıştır. Numunelerin pik mukavemet parametreleri birinci kesmede bulunmuştur. Birinci kesmeden sonra numuneler ince bir telle kesme düzleminde kesilmiştir. Telle kesilen numunelerin kayma dayanımında dikkate değer bir düşme görünmeyinceye kadar deney tekrarlanmıştır. Rezidüel kayma mukavemetine 4-5 kez kesme sonucunda ulaşılarak rezidüel mukavemet parametreleri elde edilmiştir.

Tüm bu çalışmaların sonucunda, kıltaşının kısa vadeli davranışını belirleyecek toplam gerilme (c_u, ϕ_u) ve uzun vadeli davranışını belirleyecek efektif gerilme pik ve rezidüel ($c_p', \phi_p'; c_r', \phi_r'$) kayma mukavemeti parametreleri otoyolun sözkonusu kesimi boyunca çeşitli mevkilerden alınan numunelerde ölçülmüştür.[3]

Yapılan deneylerde pik kayma mukavemeti değerlerinde Skempton [4] tarafından önerildiği şekilde deformasyonların artması halinde dikkate değer bir azalma olmaktadır. Diğer bir deyişle, c_p', ϕ_p' değerleri büyük deformasyonlarda rezidüel değerlere yani c_r', ϕ_r' yaklaşmaktadır. Sıkıştırılmış killerde ölçülen bu davranışın yumuşak kaya niteliğindeki kıltaşı için de geçerli olduğu bilinmektedir. Bu durum, Noble (1973)[5] ve Grefsheim (1988)[6] tarafından da belirtilmiştir.

6. ŞİŞME POTANSİYELİNİN ZEMİNİN PLASTİSİTE İNDİSİNİN BİR FONKSİYONU OLARAK DENEYSEL TAYİNİ

Yukarıda özetlenen tipteki zeminlerde şişme potansiyeli, zeminin plastisite indisinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Bu nedenle, TAG Otoyolu güzergahında rastlanan zeminlerden elde edilen değişik numuneler üzerinde gerçekleştirilen şişme deneyleri sonucunda belirlenen yüzde şişme değerleri, değişken plastisite indisi değerleri için 0.0, 10.0, 20.0 ve 40.0 kN/m² olmak üzere dört ayrı karşı yük basıncı altında grafikler halinde ifade edilerek Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1 - Değişik Karşı Yük Basıncıları Altında Plastisite İndisi ile Yüzde Şişme Değişimi

Bu grafiklerdeki korelasyon bağıntısını bulmak amacıyla deney sonuçlarından uygun bir bilgisayar programı kullanılarak üstel bir "en iyi korelasyon" grafiği elde edilmiştir. Özellikle aşırı konsolide, yüksek plastisiteli killer için elde edilen bu grafiklerle, değişik karşı yük basınçları altında ve belirli plastisite indisi değerleri için yüzde şişme miktarı belirlenebilecektir. Başka bir deyişle, plastisite indisi değeri bilindiği takdirde, beklenen yüzde şişme miktarı ilgili şekil kullanılarak bulunabilecektir. Ancak, yüzde şişme doğrudan toplam şişme miktarını belirlemeye yeterli değildir. Toplam şişme miktarı

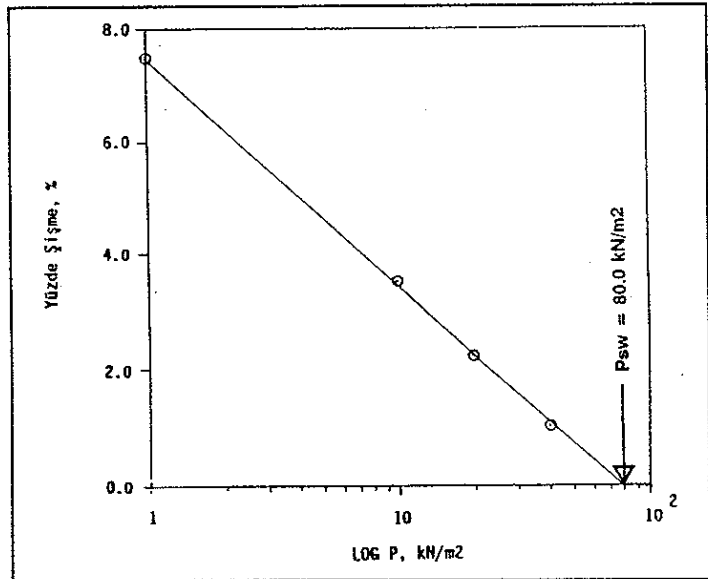
• beklenen karşı yük basıncı altında taban zemininin şişme potansiyeli,
 • taban zemininin şişme basıncı,
 • şişmesi beklenen taban zemini kalınlığı
 parametrelerinin birlikte bilinmesi halinde belirlenebilir.

Yukarıdaki parametrelerden şişme potansiyelini Şekil 1'de verilen grafiklerden belirlemek mümkündür. Ancak, şişme basıncı, taban zemininin ortalama plastisite indisi değerine göre, şişme deneyinin değişik şekilde yorumlanması sonucunda elde edilebilir. Şişme basıncından daha yüksek jeolojik yük altında bulunan taban zemininin toplam şişmeye katkıda bulunmayacağı bilindiğinden şişmesi beklenen toplam taban zemininin kalınlığı da şişme basıncının belirlenmesi ile bulunabilir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığı altında ortalama bir plastisite indisi için 0.0 ilâ 40.0 kN/m²'lik değişik karşı yük basınçları, P altında beklenen yüzde şişme miktarları yüzde şişme - log P grafiği halinde Şekil 2'de sunulmaktadır. Bu şekilden, sıfır şişmeye karşılık gelen basınç, (diğer bir deyişle şişme basıncı) P_{sw} = 80 kN/m² olarak bulunabilir.

Bu şişme basıncı değerinin, ortalama bir plastisite indisi, I_p için hesaplandığından I_p = %25 ilâ I_p = %40 arasındaki bir plastisite indisi aralığı için geçerli olacağı düşünülebilir. Yukarıda belirlenen P_{sw} = 80 kN/m²'lik şişme basıncı değeri kullanılarak şişmesi beklenen taban zemini kalınlığı $\gamma_n = 18.0 \text{ kN/m}^3$ olarak alınabilecek bir ortalama birim hacim ağırlık için $h = 80/18 \sim 4.5 \text{ m}$ olarak bulunabilir.

Önerilen yöntemde herhangi bir dolgu veya yarma taban zemini olarak şişmesi beklenen tabaka kalınlığı 4.5 m olarak alınarak 8 (sekiz) eşit alt tabakaya bölünmüş ve her alt tabaka-



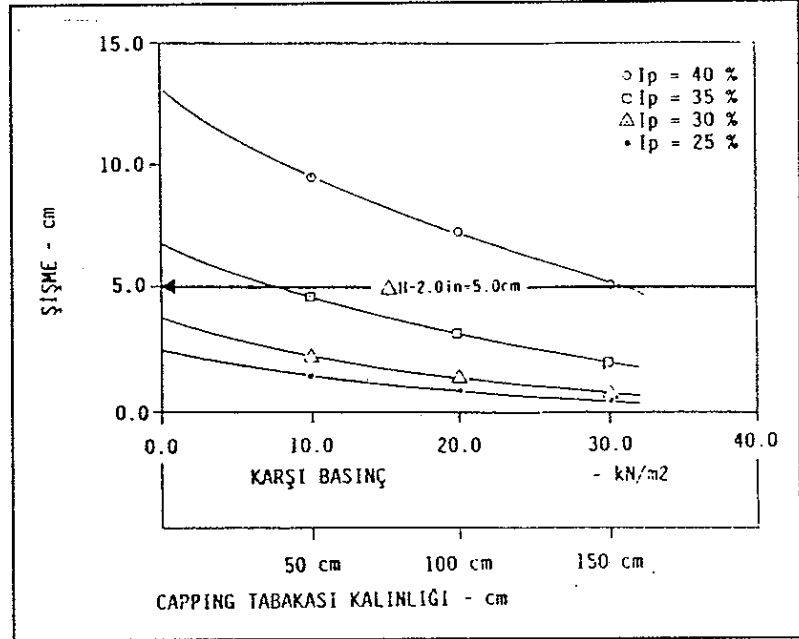
Şekil 2 - Log P ile Yüzde Şişme Değişimi

nın şişme miktarı, ΔH farklı karşı yük basınçları altında ve farklı plastisite indisi değerleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Durgunoğlu ve diğerleri, 1990).[7] Şişme miktarının hesabı için benzer yöntem Rao, Rahardjo ve Fredlund [8] tarafından önerilmiştir. Hesaplarda değişik plastisite indisi, I_p değerleri için 0.0, 10.0, 20.0 ve 40.0 kN/m²'lik karşı yük basınçları altındaki yüzde şişme değerleri Şekil 1'de verilen grafiklerden alınmış, diğer karşı yük basınçları için yüzde şişme değerleri ise lineer enterpolasyonla belirlenmiştir. Her bir alt tabakanın şişme miktarı, her 10.0 kN/m²'lik karşı yük artırımına karşılık gelecek zemin kalınlığı, $\Delta h = 10/18 = 0.55$

m için bu karşı yük arttırımına tekabül eden şişme yüzdesinin, $\Delta h=0.55$ m ile çarpılması ile belirlenmiştir.

Sonuç olarak, değişik karşı yük basınçları, P için hesaplanan toplam şişme miktarları, ΔH farklı plastisite indisi değerleri, I_p için Şekil 3'de verilmektedir. Bu şekilden değişik plastisite indisi değerlerine tekabül eden ve belirli bir müsaade edilebilir toplam şişme miktarı için uygulanması gereken karşı yük basıncı belirlenebilir.

Otoyollarda, otoyol platformu esnek bir yapı olarak düşünüldüğünde müsaade edilebilir şişme miktarı $\Delta H = 2.0$ inç = 5.0 cm olarak alınabilir. Bu durumda şişmeyi önleyici karşı yük basıncı, otoyol terasman kotu altında uygulanacak olan "capping" tabakası kalınlığı cinsinden ifade edilebilir. Örneğin, Şekil 3'deki grafikteki karşı yük basıncı değerleri otoyol terasman kotu altında uygulanacak "capping" tabakası kalınlığı cinsinden yazıldığında değişik plastisite indisi, I_p değerleri için şişmeyi müsaade edilebilir sınırlarda tutmak için gerekli "capping" tabakası kalınlığı hesaplanabilir.



Şekil 3 - Değişik Plastisite İndisi, I_p Değerleri için Şişme Miktarlarının Capping Tabakası Kalınlığı ile Değişimi

7. KAYMA MUKAVEMETİ PARAMETRELERİ

TAG Otoyolu I. ve II. kesimlerinde karşılaşılan aşırı konsolide kil-kiltaşı numuneler üzerinde yapılan özel kesme deneyleri, optimum su muhtevasında, optimumun kurusunda ve yaşında olmak üzere değişik su muhtevaları için gerçekleştirilmiştir. Üzerinde deney yapılan yarma malzemelerinin doğal su muhtevası optimum su muhtevasının % 2 ila 5'i yaşındadır. Bu nedenle, yarma stabilite analizlerinde, optimumun yaşında sıkıştırılan numuneler dikkate alınmalıdır. Bu husus deney sonuçları dikkate alınarak sözkonusu aşırı konsolide kil ve kiltası zeminlerin stabilite tahkiklerinde aşağıdaki ortalama kayma mukavemeti parametrelerinin kullanılması uygun bulunmuştur.[3]

Toplam Gerilme : $c_u = 150$ kPa , $\phi_u = 0^\circ$

Efektif Gerilme :

-pik parametreler : $c_p' = 30$ kPa , $\phi_p' = 26^\circ$

-rezidüel parametreler : $c_r' = 5 - 10$ kPa , $\phi_r' = 22^\circ$

8. STABİLİTE ANALİZLERİ

Stabilite analizleri $H = 10.0$ m yüksekliğinde $h/v = 2/1$ eğime sahip vaka analizi olarak incelenen bir yarma geometrisi için gerçekleştirilmiştir. Analizler yarma içinde değişik boşluk suyu basınçları oluşması durumları için tekrarlanmıştır. Yarmanın kısa ve uzun vadeli stabilitesi yukarıda verilen toplam ve efektif gerilme kayma mukavemeti parametreleri kullanılarak ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuç olarak elde edilen güvenlik faktörleri gözlemler ile mukayeseli olarak değerlendirilmiştir.

Şev stabilitesi analizleri Geliştirilmiş Bishop yöntemini kullanan bir bilgisayar programı [9] ile gerçekleştirilmiştir. En kritik kayma dairesinin belirlenmesinde Nelder & Mead [10] tarafından geliştirilen Simplex optimizasyon tekniğini esas alan bir alt programdan yararlanılmıştır.

Yarma içindeki boşluk suyu basıncı oranı, r_u olarak bilinen birimsiz parametre ile simule edilmiştir. Uzun vade analizleri değişik piyezometrik seviyelere tekabül eden $r_u = 0.00$, $r_u = 0.15$, ve $r_u = 0.30$ değerleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Gerek inşaat esnasında ve gerekse otoyolun işletme sürecinde şev üstünde oluşabilecek dış yükler $q = 10.0$ kN/m² mertebesinde bir sürşarj ile simule edilerek analizlere dahil edilmiştir.

Gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarından elde edilen güvenlik faktörleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Bu tablodan kısa ve uzun vadeli stabilite analizleri için aşağıda verilen sonuçlara varmak mümkündür.

Tablo 1 - Stabilite Analizi Sonuçları Özet Tablosu - Güvenlik Faktörleri

Analiz Yöntemi	Parametre	Boşluk Suyu Basıncı, r_u		
		0.00	0.15	0.30
Kısa Vade	Toplam Gerilme	4.8	--	--
Uzun Vade	Efektif Gerilme(pik)	2.6	2.3	2.1
Uzun Vade(*)	Efektif Gerilme (Rezidüel)	1.2-1.4	1.0-1.3	0.9-1.1

(*) Rezidüel parametreler ile gerçekleştirilen analizlerde ilk güvenlik faktörü $cr' = 5$ kPa ikinci değer ise $cr' = 10$ kPa durumları için hesaplanmıştır.

1. Toplam gerilme parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen kısa vadeli stabilite analizi sonucunda F.S.=4.8 mertebesinde yüksek bir güvenlik faktörü elde edilmiştir. Bu güvenlik faktörü dikkate alınarak bu şev projelendirildiği takdirde herhangi bir stabilite bozukluğu beklenmeyeceği sonucuna varılacaktır.
2. Efektif gerilme pik kayma mukavemeti parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen uzun vadeli stabilite analizleri sonucunda boşluk suyu basıncı olmaması halinde F.S.=2.6, orta ve yüksek piyezometrik seviyeler olması hallerinde ise sırasıyla F.S.=2.3 ve F.S.=2.1 güvenlik faktörleri elde edilmiştir. Bu tür analizlerde F.S.=1.5 istenen minimum güvenlik faktörü olarak alınabilir. Bu durumda bu hesap yöntemi ve efektif pik parametreleri kullanılarak değerlendirme yapıldığı takdirde de herhangi bir stabilite bozukluğu oluşmayacağı sonucuna varılacaktır.
3. Efektif gerilme rezidüel kayma mukavemeti parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen uzun vadeli stabilite analizi sonucunda $cr' = 5$ kPa için boşluk suyu basıncı olmaması halinde

F.S.=1.2, orta ve yüksek piezometrik seviyeler olması hallerinde ise sırasıyla F.S.=1.0 ve F.S.=0.9 güvenlik faktörleri elde edilmiştir. Bu hesap yöntemi ve rezidüel parametreler kullanılarak değerlendirme yapıldığı takdirde ise daha önce uygulanan yöntemlerden elde edilen sonuçların aksine, özellikle orta-yüksek piezometrik seviye oluşması halinde stabilite bozukluğunun olası olduğu belirlenmiştir.

9. SAHA GÖZLEMLERİ - VAKA ANALİZİ

TAG Otoyolu'nun Km 44 - Km 110 arasında yeralan ve inşaatı tamamlanan ve bu araştırma dahilinde incelenen kesimi dahilinde inşaat çalışmaları öncelikle otoyolun Km 92-106 arasında yeralan alt kesiminde başlatılmıştır. Bu kesim için hazırlanan geoteknik projede şev yüzeyinde uzun vadede $ru < 0.10$ şartını sağlayacak özel drenaj hendekleri uygulamak şartı ile $h/v=2/1$ şev eğiminin kıltaşı içinde açılacak yarmalarda uygulanabileceği belirlenmiştir.

Nitekim TAG otoyolunun incelenen kesimi için yapılan analizler sonunda takriben 2.0m derinliğinde drenaj kanallarından oluşan bir şev yüzeyi drenajının uygulanması halinde $h/v=2/1$ şev eğiminin stabil olacağı gösterilmiştir. Alternatif çözümün ise özel drenaj uygulamaksızın şev eğiminin yarma yüksekliği ve kıltaşının yayılımına bağlı olarak $h/v=2.5/1-3/1$ 'e yatırılması olduğu belirlenmiştir. Uygulamada uzun yapım işleri esnasında kuru ve yağışlı dönemleri kapsayan ve drenaj sistemi uygulanmadan önce $h/v=2/1$ olarak gerçekleştirilen açık yarma şevlerini takriben gözlemek mümkün olmuştur. Bu gözlemler ve ilgili değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir.

- * Yarmalar öncelikle dik olarak açılmıştır. Hafriyat işlemleri esnasında yerel dökülmeler haricinde herhangi bir stabilite bozukluğuna rastlanmamıştır,
- * Daha sonra şevler $h/v=2/1$ olacak şekilde düzenlenmiştir. Şev yüzeyleri oldukça düzgün bir görünümüne sahiptir.
- * Zamanla ve özellikle yağışlı dönemler sonucunda şev yüzeylerinde ve şev üstünde gerilme çatlakları oluştuğu gözlenmiş, ara kumtaşı bantlarından su geliri olduğu belirlenmiştir.
- * Kısa mesafelerde özellikle kıltaşı formasyonun hakim olduğu yerlerde göçmeler olmuştur. Bunlardan en önemlisi Km 104+600-105+380 yarmasında kıltaşı seviyelerinde gözlenen önemli boyuttaki stabilite bozukluğudur. [11]
- * Saha gözlemleri sonucunda $h/v=2/1$ şev eğimi uygulanması halinde kısa vadede hiç bir stabilite bozukluğu olmadığı (F.S.=4.8) ancak analizlerde kullanılan şev geometrisine (H~10.0m) sahip Km 104+600-105+380 yarmasında uzun vadede stabilite bozuklukları oluştuğu belirlenmiştir. (F.S. < 1.0)
- * İnceleme konusu aşırı konsolide kil-kıltaşlarında açılacak yarmalarda kısa vadeli stabilitenin yüksek olduğu ancak uzun vadede önemli stabilite bozukluklarının oluşabileceği proje safhasında belirlenmiş ve bu değerlendirme incelenen vaka analizi ile de kanıtlanmıştır. Bu tür yumuşak kıltaşı formasyonlar, üzerinden yük kalktığında, yani hafriyat esnasında ve dış şartlarla da karşılaştığında (yağış, ısı değişimi vb.) hacim değişikliğine uğramakta ve zamanla kayma mukavemeti azalmaktadır. Dolayısıyla uzun vadeli stabilitenin kritik olması doğaldır. Uzun vadeli stabilitenin tahkikinde en uygun yaklaşımın boşluk suyu basıncı varlığını dikkate alarak rezidüel kayma mukavemeti parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen hesaplar olduğu da teyid edilmiştir.
- * Sonuçta, drenajların gerçekleştirilmediği bir yıllık sürede gözlenen stabilite bozuklukları nedeni ile alternatif projede önerilen çözüm olan şev eğiminin azaltılması ($h/v = 2.5/1-3/1$) uygulamasına gidilmiştir.

10. SONUÇLAR

Aşırı konsolide kil-kiltaşlarında toplam şişme miktarı zeminin plastisite indisine bağlı olarak geliştirilen pratik bir yöntemle belirlemek mümkündür. Böylelikle, şişmeye karşı duyarlı zeminlerde şişmeyi önleyici gerekli tedbirleri oluşturmak üzere uygulanması gereken karşı yük basıncı değerleri plastisite indisinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilmektedir.

Aşırı konsolide kil-kiltaşlarında otoyol projelendirmesinde dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise bu tür zeminlerde açılacak yarmaların özellikle uzun vadeli stabilitesidir.

Sonuçta, yumuşak kiltaşlarının gerek yapılan hesaplarda ve gerekse uygulamada kısa vadeli yüksek stabiliteye sahip görünümüne aldanılmaması, bu formasyonlarda açılacak şevlerde stabilite tahkikinin mutlaka uzun vade için rezidüel kayma mukavemeti parametreleri ile gerçekleştirilmesi gerektiği TAG Otoyolu bünyesinde karşılaşılan kiltaşları için gözlem sonuçları ve vaka analizi ile kanıtlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu bildiriye özel şişme deneyleri ile drenajlı kesme kutusu deneyleri Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu makaleye konu TAG Otoyolu güzergahının projelendirme çalışmaları Spea-Tecnic J.V., proje grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş. proje çalışmalarında geoteknik alt grubu olarak görev almıştır. Proje kontrolü Temat-Dar-DMM tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu proje gruplarına ve tüm proje çalışmaları boyunca devamlı koordinasyon ve işbirliğini gerçekleştiren Tekfen-Impresit J.V. merkez ve şantiye grubu teknik elemanlarına teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

- [1] Kulhawy F.H., (1968), "Case Histories of Slope Failure-A Compilation", Internal Report Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley
- [2] Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, "TAG Otoyolu, Özel Şişme Deneyleri", Eylül 1989, Araştırma Raporu, Ankara
- [3] Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, "TAG Otoyolu, Rezidüel Kesme Deneyleri", Aralık 1989, Araştırma Raporu, Ankara
- [4] Skempton, A.W., (1964), "Long-Term Stability of Clay Slopes", *Geotechnique*, Vol. 14, pp 77-101
- [5] Noble, H.L., (1973), "Residual Strength and Landslides in Clay and Shale", *JSMFED, ASCE*, Vol.99, No. SM9, Proc. Paper 10023, September, pp.705-719
- [6] Grefsheim, F.D., (1988), "Laboratory Testing for Slope Stability Design Parameters in Overconsolidated Clay", *Proceedings of Landslide Conference*, sf.169-174
- [7] Durgunoğlu, H.T., Kulaç F., Karadayılar T., Baştürk G., (1990), "Yüksek Plastisiteli Taban Zeminini Killerinin Projelendirme Kriteri", *ZMTM Türk Milli Komitesi Bülteni, Zemin Mühendisliği*, Cilt 1990/1, sf. 55-66
- [8] Rao, R.R, Rahardjo, H. ve Fredlund, D.G., "Closed-Form Heave Solutions for Expansive Soils", *ASCE, Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.114, No.5, Mayıs 1988, sf.573-588
- [9] Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş., *Bilgisayar Programları Kütüphanesi*, #002
- [10] Nelder, J.A., ve Mead, A., (1964), "A Simplex Method for Function Minimization", *Computer Journal*, 7, pp. 308-313
- [11] Durgunoğlu, H.T., Kulaç F., Karadayılar T., Baştürk G., Hoş T., (1990), "Yumuşak Kayalarda Şev Stabilitesi", *TUKMD, 2. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, 1990, Ankara, sf. 289-298