

ARAZİDEKİ DOLGU TASARIMI İÇİN YENİ BİR YÖNTEM

Sadık ÖZTOPRAK

Yrd. Doç. Dr.
İstanbul Üniversitesi,
İnşaat Müh. Böl.
İstanbul, Türkiye

S. Feyza ÇİNİCİOĞLU

Prof. Dr.
İstanbul Üniversitesi,
İnşaat Müh. Böl.
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Dolgu inşaatı sırasında uygun bir şekilde oluşturulacak aletsel gözlemlenin ölçüm sonuçları geldikçe, bu ölçüm sonuçlarını yapısal davranış çatısı altında doğrudan girdi olarak kullanan ve eş zamanlı olarak davranışı analiz eden yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemin uygulaması için sağlanan çatı, kritik durum teorisinin idealize edilmiş gerilme uzayıdır. Fakat davranışı analiz etmek ve ölçümler ile tasarım parametreleri arasındaki bağlantıyı sağlamak için yapısal anizotropik elastoplastik zemin modeli bu çatıya eklenmiştir. Literatürde iki önemli dolguya uygulanan yöntem oldukça iyi sonuçlar vermiş ve arazideki gerçek zemin davranışını modellemiştir. Sonuçlar göstermektedir ki yöntemin kullanılmasıyla önemli derecede zaman ve/veya para tasarrufu sağlanabilecektir.

GİRİŞ VE AMAÇ

Yük altındaki yumuşak zeminlerin davranışı halen en önemli ve bir o kadar da karmaşık araştırma konularından birisidir. Dolgu yükü gibi oldukça büyük yükler söz konusu olduğunda konu biraz daha karmaşık hale

gelmektedir. Bunun ana nedeni ise laboratuvarda elde edilen parametrelerin, özellikle sıkışabilirlik parametrelerinin arazi ile uyuşmamasıdır. Günümüzde dolgu tasarımı hala laboratuvarda elde edilen parametrelere dayanmaktadır. Oysa, arazideki davranış laboratuvardaki davranıştan oldukça farklı olabilmektedir.

Özellikle yumuşak zeminlerin bulunduğu arazilerde, dolgu yükünü bir seferde zemine etkilmek oldukça riskli bir işlemdir ve bu durumlarda inşaat sırasında çok kademeli yükleme tekniği kullanılmaktadır. Böylece temel zemininde kayma göçmesine ve stabilitesinin bozulmasına sebep olmadan dolgu inşa edilebilmektedir. Bu teknik, birbirini takip eden yükleme ve bekleme devrelerinden oluşur. Yükleme devresinde zeminin sahip olduğu kayma mukavemeti aşılmayacak şekilde zemin yüklenir ve her yükleme devresini takip eden konsolidasyon devrelerinde de zemin konsolide olmaya bırakılarak hacimsel olarak sıkışması dolayısıyla da mukavemetinin artması sağlanır. Mukavemet parametreleri gerek laboratuvar gerekse de arazi deneyleri ile elde edilebilirken konsolidasyon parametreleri genelde klasik ödometre deneyi ile bulunmaktadır. Bekleme evrelerinde konsolidasyon derecesine göre mukavemet parametrelerinde bir artış uygulanmaktadır. İlk yükleme aşamasında ve daha sonraki yükleme adımlarında ise drenajsız kayma mukavemeti (c_u) ile limit denge stabilite analizleri gerçekleştirilmektedir. Ancak limit denge stabilite analizleri deformasyonları hiç hesaba katmamaktadır. Deformasyonların hesaba katılmadığı bir analizin ise ne kadar gerçekçi olduğu tartışmalıdır. Kayma dairesi analizleri toplam gerilmelerle yapıldığında tasarım genellikle yüksek güvenliğe sahip olmaktadır. Yani “Gayri Ekonomik Tasarım” söz konusudur. Etkif gerilmelerle kayma dairesi analizi yapıldığında ise düşük güvenlik sayıları söz konusudur ki bu durum “Güvensiz Tasarım” demektir.

Dolgu inşaatlarında belirsizliğin ve büyük ekonomik kayıpların önüne geçebilmek için dolgu yapımı sırasında arazideki davranışın sürekli takip edilmesi günümüz bilgi seviyesinin önerdiği tek çıkar yoldur. Günümüzde sadece uluslararası yayınlara konu olmuş bazı önemli projelerde bu takip için gözlemsel yöntem araç olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda takip edilen yol önce sonlu elemanlar yöntemini kullanan yazılımlar ile dolgu inşaatı için ön hesap yapmak, sonra dolgu inşaatı sırasında yazılıma ilk girdi olarak girilen zemin parametrelerini geri analizlerle sürekli düzeltmektir. Yazılımlara girilen zemin parametreleri genellikle laboratuvar deneylerinden elde edilmekte ve parametreleri yenilemekte kullanılan geri analizleri yapabilmek için aletsel gözleme sonuçlarından yararlanılmaktadır. Böylece yukarıda da ifade edildiği gibi, tasarımlarda Peck (1967)'nin "Gözlemsel Yöntem (Observational Method)" olarak tanımladığı yöntem parametre revizyonunda kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yazılımlarına girilen gerilme geçmişi, akma değeri, sıkışma indisi, kabarma indisi, yanal toprak basıncı katsayısı (K_0) vb. parametreler laboratuvar deneyleri ile elde edilmektedir ve çoğu zaman araziye tam yansıtamamaktadırlar. Buna ilaveten yanal deformasyonlar ve bazen de ilave boşluk suyu basınçlarının hesabında ciddi sapmalarla karşılaşılmaktadır. Gözlemsel yaklaşımın daha kaba taslak kullanımı olarak Ülkemizde de uygulandığı gibi dolgu tasarımında sadece dolgu topuğunun hemen altındaki temel zeminindeki yanal deformasyonun ve/veya ilave boşluk suyu basıncının değişimi gözlemlenerek yoruma dayalı karar yöntemleri de bulunmaktadır.

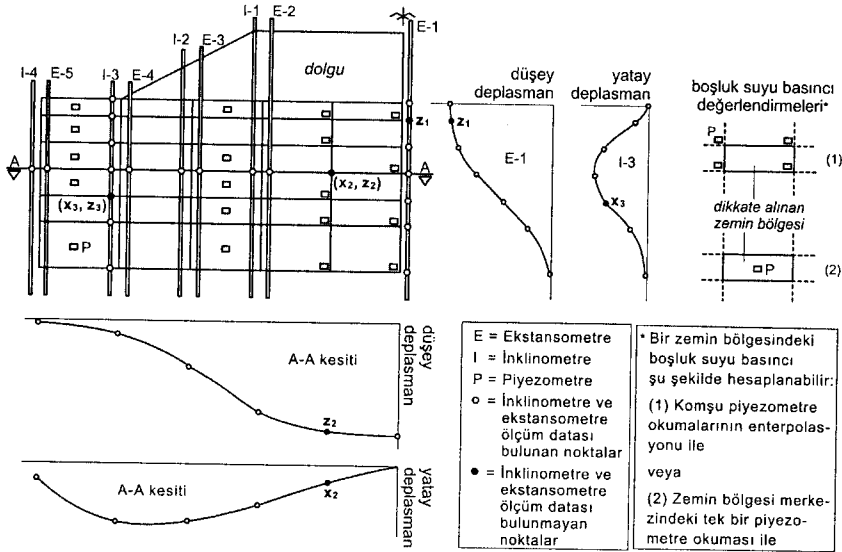
Yukarıda da anlatıldığı üzere mevcut dolgu hesap veya tasarım yöntemleri gerçek davranışı yansıtmayabilmektedir. Buna ilaveten aletsel gözlemeleden yeteri kadar yararlanılmamaktadır. Aletsel gözleme yapılsa bile bunu yorumlayacak ve değerlendirecek bir arazi yöntemi bulunmamaktadır. Buradan yola çıkarak Oztoprak ve Cinicioglu (2005) tarafından yeni bir yöntem tanımlanmıştır. Söz konusu çalışmada, yöntemin

teorik tabanı, hesap adımları ve zemin davranışını yorumlayan açıklamaları detaylı olarak anlatılmıştır. Bu çalışmada ise Oztoprak ve Cinicioglu (2005)'te tanımlanan yöntemin kısa bir tanıtımı ve pratikte uygulanması sırasında faydalı olabilecek bir akış şeması verilmiştir. Aletsel gözlemlerle çok iyi veri kaydı bulunan iki önemli dolguda yöntemin uygulanmasıyla elde edilen gerilme izleri gösterilmiş ve zemin davranışı ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Dolgu inşaatı sırasında referans bir bölgede yapılacak aletsel gözlemlerle birlikte önerilen yöntemin kullanılmasıyla güvenilir ve ekonomik bir tasarım yapmanın sözkonusu olduğu açıkça gösterilmiştir.

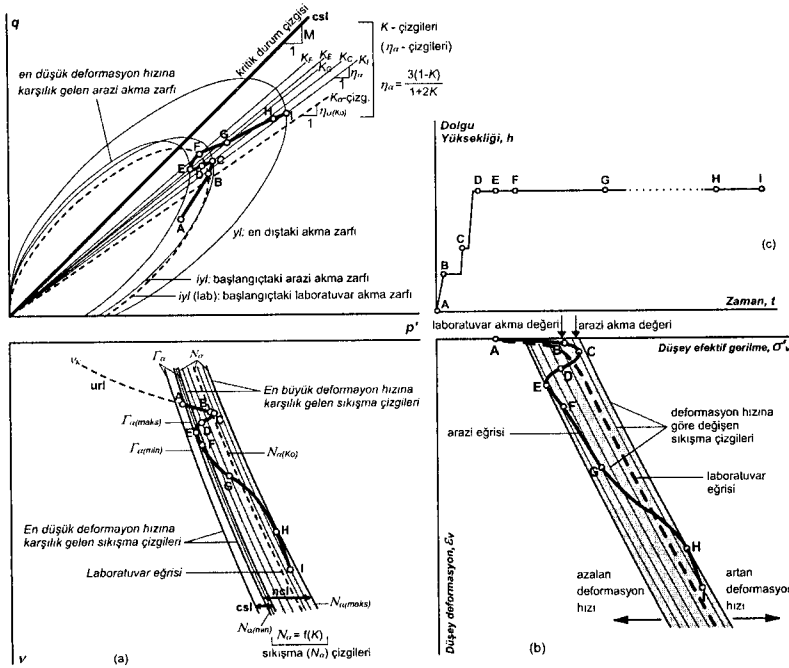
ÖNERİLEN YÖNTEM

Gözlemsel Yöntemin (observational method) ileri bir yorumu olan yöntem, arazi ölçümleri kaydedildikçe bu ölçümleri yapısal davranış çatısı altında doğrudan girdi olarak kullanmakta ve eş zamanlı olarak davranışı analiz etmektedir. Yöntem özel bir konu olan yumuşak killer üzerindeki dolgular için geliştirilmiştir. Yöntemin uygulanması için sağlanan çatı, kritik durum teorisinin idealleştirilmiş gerilme uzayıdır. Öztoprak (2002)'de kurulan çatıya davranışı analiz etmek ve ölçümler ile tasarım parametreleri arasındaki bağlantıyı sağlamak için Oztoprak ve Cinicioglu (2005)'te yapısal anizotropik elastoplastik zemin modeli eklenmiştir. Yumuşak zeminlerin deformasyon hızına olan bağımlılığı da davranışın yorumlanmasına dahil edilmiştir. Temel zemininin davranışını dikkate almak için, bir bölgeleme sistemi uygulanmıştır. Gerilme eksen dönüşümü aktif ve pasif bölgeler için etkin olarak dikkate alınmıştır. Yöntem ana hatları, teorik tabanının açıklamaları ve hesaplama adımları Oztoprak ve Cinicioglu (2005)'te verilmiştir.

Yöntemin uygulanabilmesi için temel zemini Şekil 1’de bir örneği görüldüğü üzere bölgelere ayrılmalıdır. Bu bölgeleme sistemi zemin tabakalanması, özellikleri ve aletsel gözlem noktalarına (ve sıklığına) göre seçilmektedir. Temel zeminini 15 ila 25 eleman olacak şekilde bölgelere ayırmak yeterli olacaktır. Ancak bütün elemanların takip edilmesine gerek duyulmayabilir. Seçilen bazı elemanların takibi yeterli olabilmektedir. Yöntemin şematik sunumu Şekil 2’de verilmiştir. Bu şematik sunumu destekleyecek ve açıklayacak şekilde verilen yöntem hazırlık aşamaları ve hesaplama adımları Şekil 3’te sunulmuştur. Yöntemi uygulamak için en az 2 adet inklinometre, 3 adet ekstansometre (veya değişik derinliklere koymak üzere 10 adet oturma ölçer) ve 8 adet piyezometre gereklidir. İlk bakışta aletsel gözlemeleme açısından yöntemin pahalı olacağı düşünülebilir. Ancak getireceği güvenilir dolgu inşaatının yanısıra zaman kazancı aletsel gözlemeleme maliyetinin çok üzerinde olacaktır.



Şekil 1: Örnek bölgeleme ve buna bağlı olarak arazi ölçüm sonuçları için analiz ve enterpolasyon tekniği (Oztoprak ve Cinicioglu, 2005)



Şekil 2: Yöntemin şematik sunumu. (a) Herhangi bir bölge için q-p' ve v-p' düzlemlerindeki gerilme izlerinin kurulması, (b) Dikkate alınan bölge için laboratuvar ve arazideki gerilme deformasyon davranışı, (c) Dolgunun inşaat programı (Oztoprak ve Cinicioglu, 2005)

Yöntemi uygulamak için çok az sayıda laboratuvar parametresine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu parametreler yöntemi sadece başlatmak içindir ve ileride arazideki Şekil 3'te "3" no.lu adımdaki akma bilgisi geldiğinde görevlerini tamamlamış olacaklardır. Akma bilgisine bağlı olarak AKO değişince başlangıç noktasının (A noktasının) ve akma zarfı içindeki noktaların (B noktasının) yeri değişecektir.

Kısaca özetlenecek olursa; önerilen metodolojide temel zemininde oluşturulan her bölgede veya herhangi birinde ölçüm sonuçlarından elde edilen ϵ_v ve ϵ_h ve u' değerlerinden v , V ve K değerleri hesaplanmaktadır. Böylece yöntem, sürekli değişen v , V ve K değerlerini Kritik Durum Teorisinin q-p'-v uzayında bir araya getirerek ve buna yapısal anizotropik elastoplastik zemin modelini de bu çatıya ekleyerek gerilme izlerini elde etmektedir.

A. ÖN HAZIRLIKLAR

A1 Yapılacak dolgu için zemin araştırma sonuçları yardımıyla referans bir aletsel gözlemeleme noktası seçilir.

A2 Bölgeleme sistemindeki zemin tabakalarının e_o , σ , σ , AKO, M, α değerleri elde edilir.

A3 Referans bölgedeki zemin özellikleri ve planlanan aletsel gözlemeleme göre dolgu altındaki temel zemini bölgelere ayrılır (bkz. Şekil 1).

A4 Bölgelere ve köşe noktalarına numara verilir ve koordinat sistemi belirlenir.

A5 Her bölgenin ya da takip edilmesi düşünülen bölgelerin köşe noktalarının yatay ve düşey deplasmanını elde edecek şekilde inklinometre ve ekstansometre yerleştirilir. Söz konusu bölgelerin ilave boşluk suyu basınçlarını elde edebilmek için bölgelerin merkezine piyezometre yerleştirilir. Şekil 1'de aletlerin yerleşimi ve verilerin elde edilmesi gösterilmektedir.

B. ALETSEL GÖZLEMLEME VERİLERİN YORUMLANMASI

B1 Bölgelerin köşe noktalarının sürekli değişen deplasmanları dikkate alınarak ortalama α ve α , deşerleri hesaplanır ve buradan v ve V deşerleri elde edilir.

$$\Rightarrow v = v_o \frac{V_u}{V_o} \Rightarrow v = v_o + \dots$$

Bölgelerin merkezinde sürekli elde edilen u' deşeri ve elastik teoriye dayanan L ile efektif gerilme deşeri αq hesaplanır.

$$-v' = -\frac{v}{w} + L - u'$$

B2 α ve α , deşerleri ile R , buradan da K deşerleri (Zhang ve d., 1998) hesaplanır.

$$R = \frac{\Delta \Delta_3}{\Delta \Delta} ; R = \begin{cases} R_1 & (K \leq 1) \\ 2 \{ R_1 & (K > 1) \end{cases}$$

$$\text{eğer } (-1 \sigma R, \sigma 1) \text{ ise } K = \frac{1 \cdot \sin \dots}{1 \cdot \sin \dots R}$$

$$\text{eğer } (1 \sigma R, \sigma 3) \text{ ise } K = 1 + \frac{\sin \dots}{1 - \sin \dots} (R - 1)$$

HESAP ADIMLARI (1-Başlangıç durumları, 2-Akmadan önceki durumlar, 3-Akmadan sonraki durumlar)

1a q - p' düzleminde csl ve K_o çizgisi çizilir.

$$\eta_{\eta}(K_o) = \frac{3(\eta K_{o(nc)})}{1 + 2K_{o(nc)}}$$

1b Başlangıç (laboratuvar) akma zarfı çizilir. Bu bir referans zarftır ve geçicidir.

$$f = (q - (K_o)p)^2 - (M^2 - (K_o)) (p_{p,conv} - p) p = 0$$

$$p_{p,conv} = \frac{\sigma_{p,conv} (1 + 2K_{o(nc)})}{3}$$

1c Başlangıç noktasının yeri belirlenir (Şekil 2,A)

$$q(A) = \sigma_{q(A)} (\sigma K_{o(ac)})$$

$$p(A) = \frac{\sigma_{p(A)} (1 + 2K_{o(ac)})}{3}$$

$$v(A) = 1 + e_o$$

1d v - p' düzleminde url , csl ve ncl 'nin çizimi için başlangıç ordinatlarının hesabı

$$v'(A) = v'(A) + \ln p'(A)$$

$$N_{-(A)} = -(A) + (---) \ln p_{m}$$

$$J_{J(A)} = N_{J(A)} \left(\frac{2M}{M + J_{J(K_o)}} \right)$$

2 Akmadan önceki durumların hesabı (Şekil

$$v(B) = v_o \frac{V_o v V(B)}{V_o} |$$

$$p(B) = \exp \left\{ \frac{J_{J(C)} / J_{J(B)}}{J} \right\}$$

$$q(B) = \sigma_{q(B)} (\sigma K_{(B)})$$

3a Akma kararının verilmesi

$u_o - \log t$, $q - \alpha$, $\sigma q - \alpha$ başlıntıları ile akma kararı verilir.

Akma gerçekleşmişse "3b" adımına geçilir. Aşer akma meydana gelmemişse "2" adımı devam edilir. 3b ve 3c'deki hesaplar C noktası içindir. Şekil

3b Akmadan sonraki durumların (Şekil 2, C noktası)

$$v(C) = v_o \frac{V_o v V(C)}{V_o}$$

$$q(C) = \sigma_{q(C)} (\sigma K_{(C)})$$

$$p(C) = \frac{\sigma_{p(C)} (1 + 2K_{(C)})}{3}$$

$$v'(C) = v'(C) + \ln p'(C)$$

3c Şekil 2'deki C noktası ile ilgili q - p' deki gerilme çizgilerinin ve v - p' deki sıkışma çizgilerinin başlangıç ordinatlarının

$$\eta_{\eta}(C) = \frac{3(\eta K_{(C)})}{1 + 2K_{(C)}} ; FS = \frac{M}{\eta_{\eta}}$$

$$N_{\alpha(C)} = \alpha(C) + \alpha \ln p(C)$$

$$\lambda_{\lambda(C)} = N_{\lambda(C)} \lambda (\lambda \lambda \lambda) \ln \frac{\lambda}{\lambda} \frac{2M}{M + \lambda_{\lambda(C)}} \frac{\lambda}{\lambda}$$

Şekil 3: Şekil 2'de sunumu yapılan yöntemin hazırlık ve hesap adımları için akış şeması (Yöntemin ayrıntıları ve teorik tabanı Oztoprak ve Cinicioglu, 2005'te görülebilir)

YÖNTEMİN GERÇEK DOLGULARA UYGULANMASI

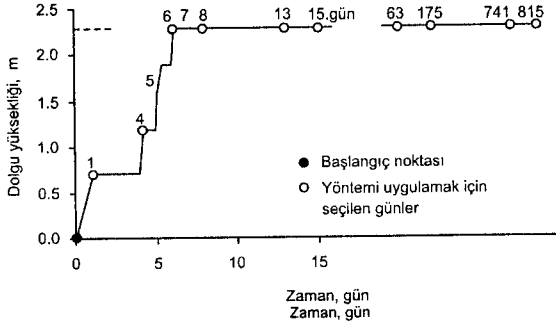
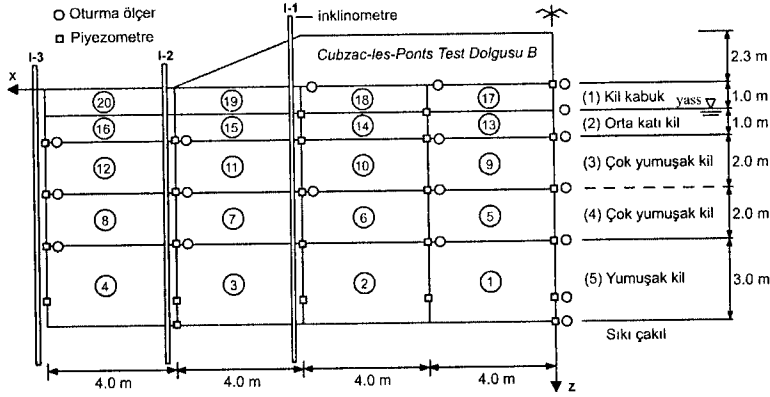
Yöntemin uygulanabilmesi için sadece aletsel gözleme yapılması yetmemekte, bu işlemin bir bölgeleme sistemine uygun şekilde ve sayıda yapılması gerekmektedir. Buna ilaveten, oluşturulabilecek bölgeler dikkate alınacak şekilde ve sıklıkta sınıflandırma, sıkışabilirlik ve mukavemet deneyleri yapılmalıdır. Bu özellikleri sağlayacak şekilde inşa edilmiş dolguların sayısı çok fazla değildir. Fransa'da çok yüksek plastisiteli, viskoplastik davranış gösteren yumuşak-katı kıvam arasındaki killer üzerine inşa edilen Cubzac-les-Ponts dolgusu ve İngiltere'de çok yumuşak turba ve yumuşak killerin bulunduğu alanda drenler oluşturularak inşa edilen Widows Plantation (Stanstead Abbots) dolgusu gerek zemin verisi gerekse de ölçüm verisi sıklığı açısından yöntemi uygulamaya çok uygundur.

Cubzac-les-Ponts Dolgusu – Test Dolgusu B

Cubzac-les-Ponts test dolgusu B, 1972 yılında Fransa'da Dordogne nehrinin kenarında bulunan ve yüksek plastisiteli killerden oluşan alüvyonel sahada inşa edilmiştir. Bu test dolgusundan önce "A" test dolgusu göçecek şekilde yapılmış ve geri analizle zemin parametreleri kontrol edilmiştir. Zemin tabakalanması ve aletsel gözlemeye bağlı oluşturulan bölgeleme sistemi Şekil 4a'da, zemin parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Sahada zemin profili olarak en üstte yaklaşık 2.0 m kalınlığında yüksek derecede aşırı konsolide siltli kil tabakası (kil kabuk), altında ise yaklaşık 7.0 m kalınlığında değişken organik içeriği olan yumuşak kil tabakası yer almaktadır. Yumuşak kil tabakası sıkı çakıl tabakasına oturmaktadır. Buradaki killer yüksek plastisiteli (likit limit=100-200% ve plastisite indisi=20-120%) ve yapılanmış (structuralized) olup viskoplastik kil olarak adlandırılabilirler. Yeraltı suyu seviyesi yüzeyden itibaren 1.0-1.5 m derinliktedir. Şekil 4b'de görüldüğü üzere 2.3 m. yüksekliğe 6. günde çıkılan dolguda yaklaşık 1000

gün boyunca aletsel gözlemlene verisi kaydedilmiştir. 1.5 güvenlikle inşa edildiği rapor edilen “B” test dolgusunda göçme oluşmamıştır.

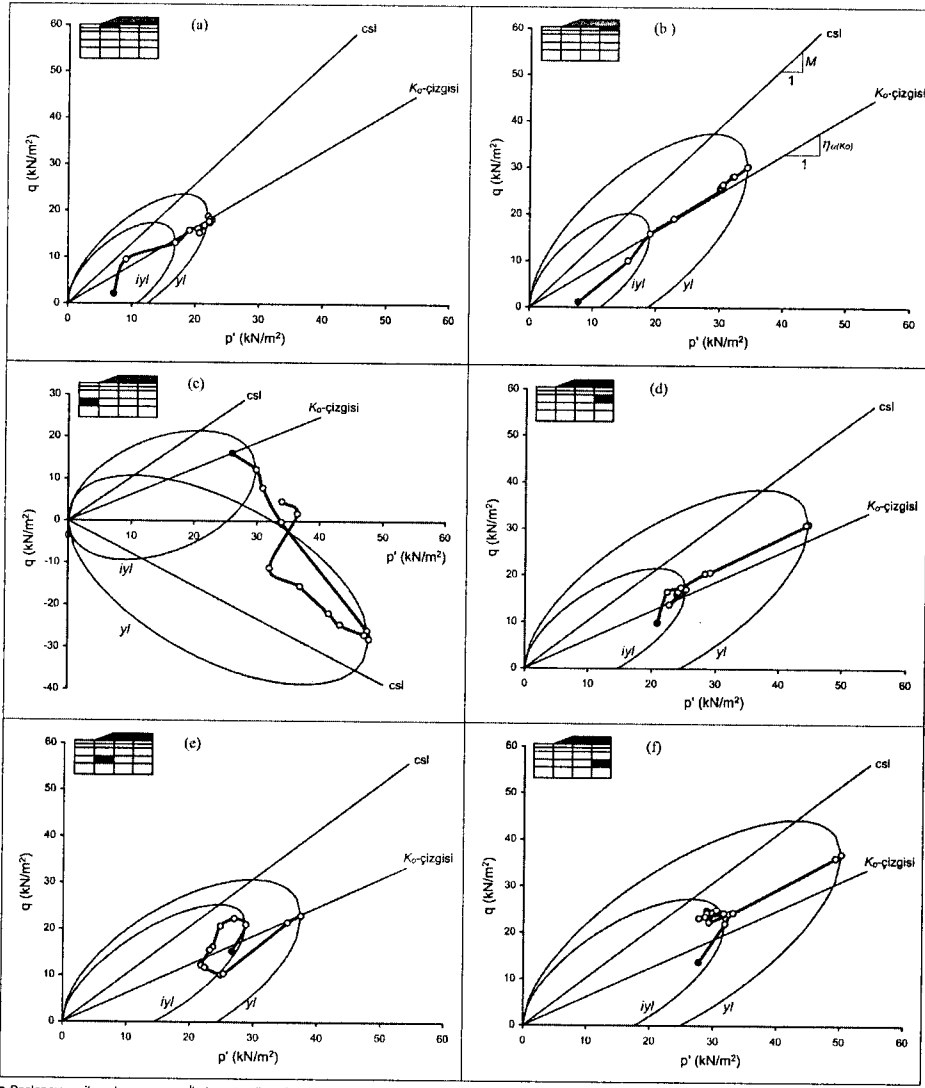
Şekil 5’te Cubzac-les-Ponts test dolgusu temel zemininin değişik bölgelerinde elde edilen $q-p'$ gerilme düzleminde gerilme izleri gösterilmiştir. Gerilme izlerinden anlaşılacağı üzere yöntem ile zeminin deformasyon hızı etkisi, viskoplastik davranışı ve gerilme eksen dönüşümü modellenebilmektedir. Elde edilen gerilme izleri ile ilgili davranış yorumları ve diğer bulgular Öztoprak (2002), Öztoprak ve Cinicioglu (2003a, 2003b) ve Cinicioglu ve Öztoprak (2003)’ta bulunabilir. Şekil 6’da dolgusu inşaatının 8. ve 817. gününde zemin zonlarındaki güvenlik sayıları verilmiştir. Şekil üzerindeki C-1, C-2, C-3 ve C-4 zemin kolonlarında güvenlik sayısının en düşük olduğu bölgeler boyalı gösterilmiştir. En riskli zemin çok yumuşak kil tabakasıdır. Dolgu inşaatı 6. günde tamamlanmasına karşılık en düşük güvenlik 6.-8. günler arasındadır. 817. günde temel zeminin dairesel bir kayma eğilimi yok olmakta ve güvenlik sayısı artmaktadır.



Şekil 4: (a) Cubzac-les-Ponts dolgusunda oluşturulan zonlama sistemi
(b) Dolgunun inşaat programı (Magnan ve d., 1983)

Tablo 1: Cubzac-les-Ponts test dolgusu temel zeminindeki zemin özellikleri (Magnan ve d., 1983; Wood, 1990)

Zemin	Derinlik (m)	σ'_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vc} (kN/m ²)	OCR	ν_o	κ	λ	M	$\phi'(^{\circ})$
(1) Kil kabuk	0.0 - 1.0	8.5	75.0	8.82	2.00	0.017	0.12	1.29	32.0
(2) Orta katı kil	1.0 - 2.0	20.1	50.0	2.49	3.60	0.022	0.53	1.16	29.0
(3) Çok yumuşak kil	2.0 - 4.0	27.4	40.0	1.46	4.20	0.085	0.75	1.03	26.0
(4) Çok yumuşak kil	4.0 - 6.0	36.8	45.0	1.22	3.25	0.048	0.53	1.03	26.0
(5) Yumuşak kil	6.0 - 9.0	50.0	60.0	1.20	3.30	0.043	0.52	1.03	26.0



Şekil 5: Cubzac-les-Ponts test dolgusu temel zemininin değişik bölgelerinde elde edilen gerilme izleri (Oztoprak ve Çinicioğlu, 2005)

Widows Plantation Dolgusu - Stanstead Abbots Geçişi

İngiltere’de Widows Plantation dolgusu olarak da bilinen Stanstead Abbots dolgusu çok yumuşak alüvyonlar üzerine drenler yardımıyla inşa edilmiştir. Dolgu altına geogridler de yerleştirilmiştir. Drenlerin teşkil edilmesine Mayıs 1988’de, dolgunun oluşturulmasına Ağustos 1988’de başlanılmıştır. Dolgu inşaatı Mayıs 1989’da tamamlanmıştır.

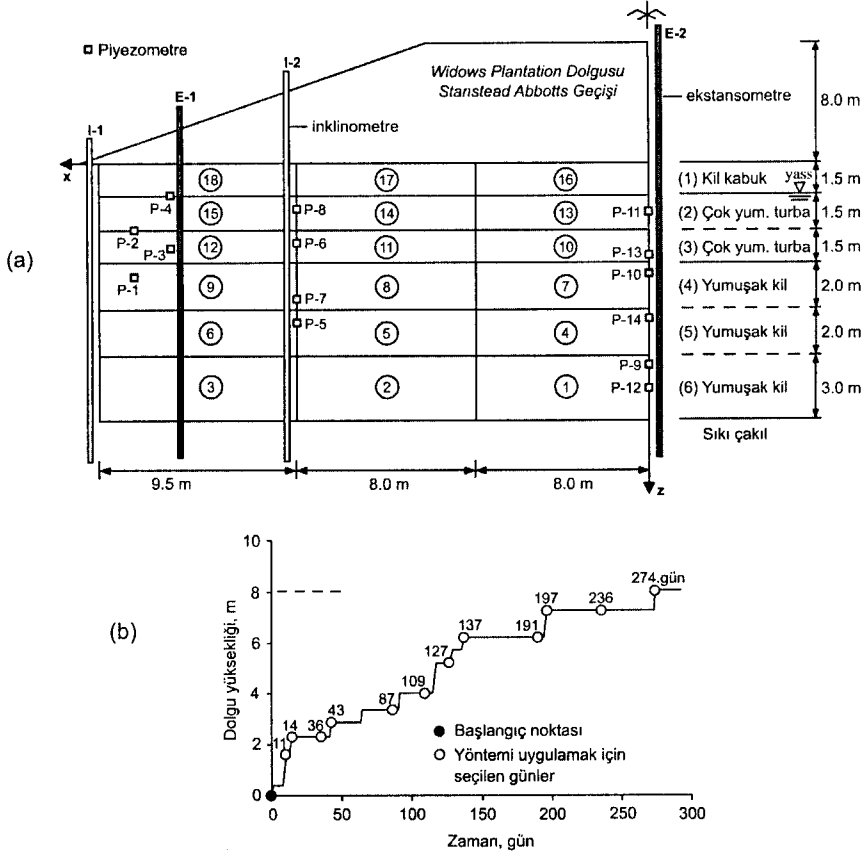
8. gün					817. gün				
Cubzac-les-Ponts Test Dolgusu B					Cubzac-les-Ponts Test Dolgusu B				
C-4	C-3	C-2	C-1		C-4	C-3	C-2	C-1	
10.41 (20)	1.59 (19)	1.43 (18)	1.52 (17)		2.47 (20)	1.63 (19)	1.44 (18)	1.47 (17)	
1.32 (16)	1.68 (15)	1.44 (14)	1.55 (13)		10.92 (16)	1.59 (15)	1.44 (14)	1.51 (13)	
1.23 (12)	2.57 (11)	1.38 (10)	1.53 (9)		2.90 (12)	1.63 (11)	1.42 (10)	1.48 (9)	
1.34 (8)	1.54 (7)	1.25 (6)	1.23 (5)		7.67 (8)	1.68 (7)	1.40 (6)	1.40 (5)	
2.61 (4)	1.65 (3)	1.39 (2)	1.43 (1)		5.84 (4)	1.66 (3)	1.47 (2)	1.52 (1)	

Şekil 6: Cubzac-les-Ponts dolgusu inşaatının 8. ve 817. günlerinde bölgelerdeki güvenlik sayıları (C-1, C-2, C-3 ve C-4 zemin kolonlarında güvenlik sayısının en düşük olduğu bölgeler boyalı gösterilmiştir)

Zemin tabakalanması Şekil 7a’da, parametreler Tablo 1’de verilmiştir. Alanda zemin profili olarak en üstte yaklaşık 1.5 m. kalınlığında yüksek derecede aşırı konsolide siltli kil tabakası (kil kabuk), altında ise yaklaşık 3.0 m. kalınlığında sıkışabilirliği çok yüksek olan çok yumuşak turba tabakası yer almaktadır. Turba’nın altında bulunan yumuşak kil tabakası yaklaşık 7.0 m. kalınlığa sahiptir ve sıkı çakıl tabakası üzerinde yer almaktadır. Yeraltı suyu seviyesi yüzeyden itibaren 1.0-1.5 m. derinliktedir. Zeminlerin başlangıç gerilme durumları, sıkışabilirlik ve mukavemet parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Özellikle turba zeminin boşluk oranı çok fazladır. Bununla birlikte bu zeminde drenajlı davranış gerçekleşmektedir. Dolgu altı temel zeminin yanal ve düşey deplasmanları ile boşluk suyu basıncı ölçümleri yaklaşık 700 gün boyunca kaydedilmiştir. Dolgusunun inşaat kademeleri Şekil 7b’de görülmektedir. Stanstead Abbots dolgusu 8.0 m.

yüksekliğe 274 günde inşa edilmiş, daha sonra 1.0 m.'lik kısmı kaldırılmıştır. Nihai dolgu yüksekliği 7.0 m. olarak gerçekleştirilmiştir.

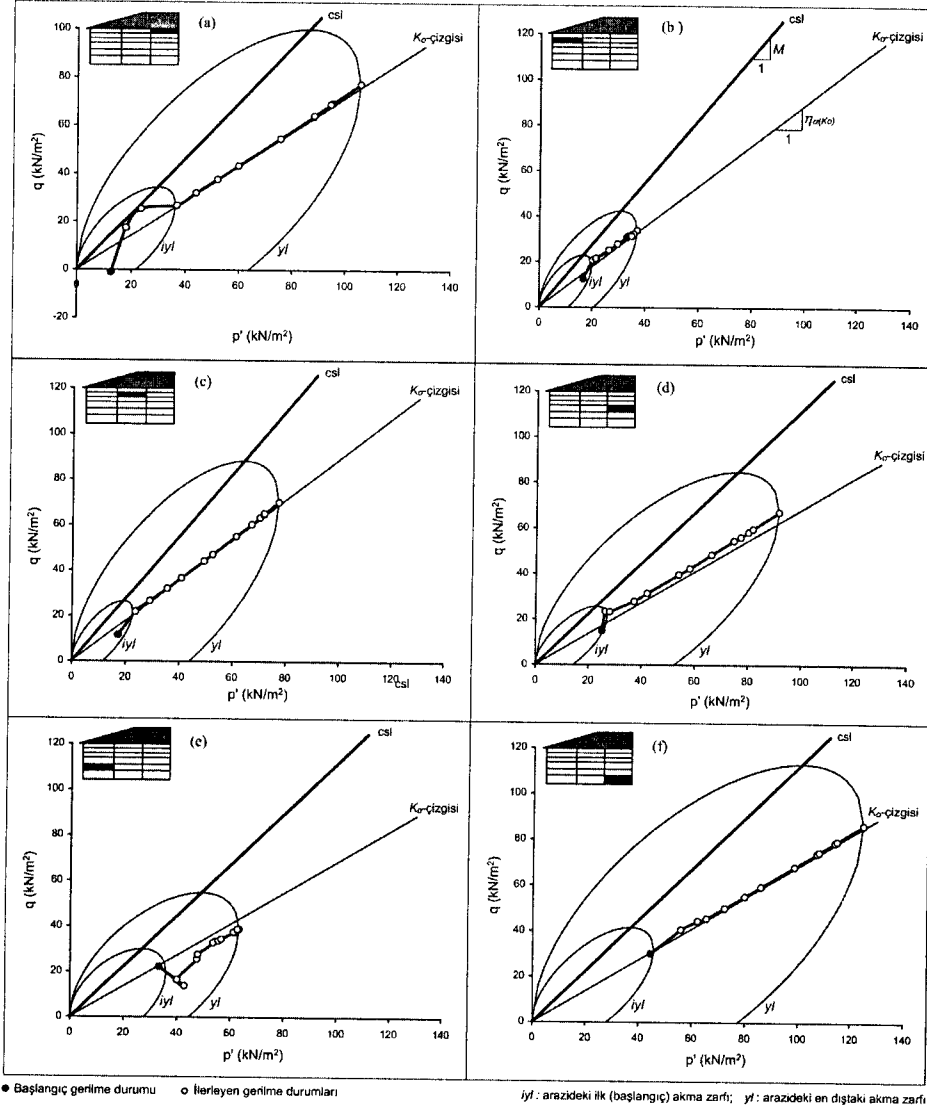
Şekil 8'de Stanstead Abbots dolgusu temel zemininin değişik bölgelerinde elde edilen $q-p'$ gerilme düzleminde gerilme izleri verilmiştir. Gerilme izlerine göre ilk 14 gündeki hızlı yükleme sonrasında hareket tamamen drenajlıdır. Bu durum drenlerin etkisini göstermektedir. Yöntem, zeminin deformasyon hızı etkisi tamamen ortaya koymaktadır. Elde edilen gerilme izleri ile ilgili davranış yorumları ve diğer bulgular Oztoprak ve Cinicioglu (2003b)'de bulunabilir. Şekil 9'da dolgusu inşaatının 11. ve 274. gününde zemin zonlarındaki güvenlik sayıları verilmiştir. Şekil üzerindeki C-1, C-2, ve C-3 zemin kolonlarında güvenlik sayısının en düşük olduğu bölgeler boyalı gösterilmiştir. 11. günde en riskli zemin turbanın altındaki yumuşak kil iken 274. günde en riskli zemin alt taraftaki turba tabakasıdır. Turba tabakalarının güvenlik sayıları zamanla çok değişmemektedir. Drenajın etkisi ve turbanın çok boşluklu olmasından dolayı topuk altındaki güvenlik sayıları düşünüldüğünden daha düşük çıkmaktadır.



Şekil 7: (a) Widows Plantation (Stanstead Abbots) dolgusunda oluşturulan zonlama sistemi (b) Dolgunun inşaat programı (Hird, 1993)

Tablo 2: Widows Plantation (Stanstead Abbots) dolgusu temel zeminindeki zemin özellikleri (Hird, 1993; Hird ve d., 1995)

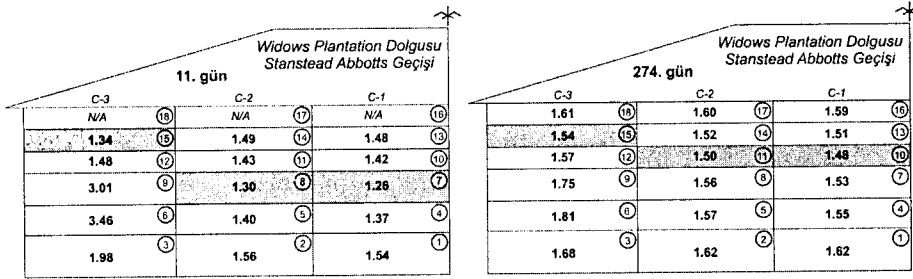
Zemin	Derinlik (m)	ϕ (°)	ϕ_c (°)	OCR	ϕ_o	ϕ	ϕ	M	$\phi\phi$ (°)
(1) Kil kabuk	0.0 - 1.5	12.0	91.0	7.58	1.80	0.035	0.190	1.16	29.0
(2) Çok yumuşak turba	1.5 - 3.0	25.0	55.0	2.20	8.30	0.450	2.290	1.38	34.0
(3) Çok yumuşak turba	3.0 - 4.5	27.5	36.0	1.31	9.20	0.470	2.390	1.38	34.0
(4) Yumuşak kil	4.5 - 6.5	35.0	38.0	1.09	2.50	0.045	0.220	1.12	28.0
(5) Yumuşak kil	6.5 - 8.5	48.0	49.0	1.02	2.45	0.039	0.205	1.12	28.0
(6) Yumuşak kil	8.5 - 11.5	64.0	65.0	1.02	2.40	0.035	0.190	1.12	28.0



Şekil 8: Widows Plantation (Stanstead Abbots) dolgusu temel zemininin değişik bölgelerinde elde edilen gerilme izleri

SONUÇLAR

Aletsel gözleme sonuçlarını anında değerlendirerek, bu bilgi ile Kritik Durum Zemin Mekaniği ortamında anizotropik elastoplastik zemin modeli kullanarak dolgu altı temel zemininin istenilen bölgesinde gerilme izleri elde eden özgün bir yöntem geliştirilmiştir.



Şekil 9: Widows Plantation (Stanstead Abbots) dolgusu inşaatının 11. ve 274. günlerinde bölgelerde güvenlik sayıları (C-1, C-2 ve C-3 zemin kolonlarında güvenlik sayısının en düşük olduğu bölgeler boyalı gösterilmiştir)

Geliştirilen yeni yöntem ile dolgu temel zemininde oluşturulan bölgelerde veya herhangi bir bölgedeki gerilme izi takip edilerek dolgu güvenliği anında belirlenmektedir. Başka bir deyişle, dolgunun göçmesine veya aşırı güvenli inşaat yapımına izin verilmemektedir. Böylece önemli bir zaman ve para tasarrufu yapmak mümkün olmaktadır.

Yöntem, aletsel gözlem verisi geldiği andaki arazideki zemin parametrelerini belirleyerek hesap yapmaktadır. Kil zeminlerin laboratuvarında mertebesi belirlenemeyen zaman bağımlılığı (time dependency) etkisi, yapılanma/yapı bozulması (structuralization/ destructuralization) gibi etkileri doğal olarak hesaba katmakta böylece gerçek zemin davranışını modelleyebilmektedir. Buna ilaveten, gerilme eksen dönüşümünü de gözönüne almaktadır.

Çok az zemin parametresine ihtiyaç duyan yöntem, çoğu zemin koşullarında sonuç vermektedir ve drenlerle inşa edilen ve zemin iyileştirmesi yapılan (kireç kolonları, vs.) dolgularda da kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Cinicioglu, S.F., and Oztoprak, S., "Interpretation of viscoplastic behaviour of clays in the construction of field stress paths", Proceeding of International Workshop on Geotechnics of Soft Soils-Theory and Practice, Noordwijkerhout, The Netherlands, 17-19 Sept. 2003, 511-516.
2. Hird, C.C., Numerical Modelling of the Willow Plantation Embankment (Stanstead Abbotts), Research Report No: DCSE/93/G/1, 1993, University of Sheffield.
3. Hird, C.C., Pyrah, D., Russell, D., and Cinicioglu, F., "Modelling the effect of vertical drains in two-dimensional finite element analyses of embankments on soft ground", Can. Geotech. J., 1995, 32: 795-807.
4. Magnan, J., Mieussens, C. & Queyroi, D., Etude d'un remblai sur sols compressibles: Le remblai B du site expérimental de Cubzac-les-Ponts, Rapport de recherche LPC No: 127, 1983, Laboratoire Central Des Ponts et Chaussees.
5. Oztoprak, S., and Cinicioglu, S.F., "Towards an on-time method of interpretation of field instrumentation data", Proc. of 13th European Conf. on Soil Mech. and Geotech.Eng., 25-28 August 2003a, Prague, Czech Republic
6. Oztoprak, S., and Cinicioglu, S.F., "Stress-strain behaviour of soft soils under embankment loading", Proceedings of International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 29-31 May 2003, Turkish Republic of Northern Cyprus, 67-74.
7. Oztoprak, S., and Cinicioglu, S.F., "Soil behaviour through field instrumentation", Canadian Geotechnical Journal, 2005, 42: 475-490.

8. Öztoprak, S., Yüklenmiş yumuşak zeminlerde gerilme-deformasyon davranışının teorik tanımlaması ve modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Avcılar, İstanbul, 2002.
9. Wood, D.M., Soil behaviour and critical state soil mechanics, Cambridge Univ. Press, 1992.
10. Zhang, J., Shamoto, Y, Tokimatsu, K., "Evaluation of earth pressure under any lateral deformation", *Soils and Foundations*, 1998, 38 (1): 15-33.

SEMBOL LİSTESİ

e_o başlangıç boşluk oranı	η gerilme oranı, q/p'
$\epsilon_q, \epsilon_v, \epsilon_h$ kayma, düşey ve yanal birim def.	q kayma gerilmesi
ϕ' içsel sürtünme açısı	p' efektif ortalama gerilme
v özgül hacim	$p'_{p,conv}$ laboratuvarında geleneksel adımsal yüklemeli konsolidasyon deneyinden elde edilen ön konsolidasyon basıncı
v_o başlangıç özgül hacmi	p'_y arazideki ortalama akma gerilmesi
v_x boşaltma-tekrar yükleme çizgisinin (url)	R yanal deformasyon parametresi
$p'=1.0$ kPa'daki özgül hacim değeri	R_e yanal deformasyon oranı
Γ kritik durum çizgisinin (csl) $p'=1.0$	σ'_v düşey efektif gerilme
kPa'daki özgül hacim değeri	σ'_{vo} başlangıçtaki düşey efektif gerilme
λ sıkışma çizgisinin (ncl) eğimi	σ'_{vc} düşey önkonsolidasyon basıncı
κ boşaltma-tekrar yükleme çizg.nin (url)	σ'_{vy} arazideki düşey akma gerilmesi
eğimi	u' ilave boşluk suyu basıncı
M kritik durum çizgisinin (csl) eğimi	V_o herhangi bir bölgenin başlangıçtaki hacmi
K herhangi bir deformasyon durumunda anizotropik normal konsolide killerin yanal toprak basıncı katsayısı	V herhangi bir bölgenin inşaat başladıktan sonraki hacmi
$K_{o,nc}$ sükunetteki durumunda anizotropik normal konsolide killerin yanal toprak basıncı katsayısı	FS güvenlik sayısı
AKO aşırı konsolidasyon oranı	L sürüş yükü