

DOLGU YÜKLERİNDEN KAYNAKLANAN DEPLASMANLARIN KAZIKLAR ÜZERİNDEKİ YATAY YÜK ETKİSİ

M.Kubilay KELEŞOĞLU

Araş.Gör.
İstanbul Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

S.Feyza ÇİNİCİOĞLU

Prof.Dr.
İstanbul Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Yatay yüklü kazıkların analizi geoteknik mühendisliğinin önemli konularındandır. Özellikle yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen dolgulardan kaynaklanan deplasmanların kazıklar üzerindeki yatay yük etkisinin incelenmesi son yılların önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Literatürde sıklıkla inceleme alanı bulan bu geoteknik problemi tipik bir zemin-yapı etkileşim problemi olarak hem zemine ait belirsizliklerden hem de davranışın modellenmesindeki zorluklardan etkilenmektedir. Yumuşak zeminin davranışını etkileyen yükleme ve deformasyon hızı gibi etkenlerin yanı sıra ve bu etkenlerle birlikte zeminle yapı arasında gerçekleşen gerilme nakli davranışının anlaşılması önemli zorluklar içermektedir. Son yıllarda yatay yüklü kazık davranışının analizinde sonlu elemanlar yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerin doğruluğu sınır şartlarının ve parametrelerin gerçek davranışı yansıtması ile orantılıdır. Laboratuvar deneyleri ile elde edilen parametrelerin arazi davranışını yansıtmakta yetersiz kaldığı görülmektedir.

Bu çalışmada yukarıdaki görüşlerin ışığında sonlu elemanlar yöntemi ile yatay yüklü kazık analizi yapılırken öncelikle kazıksız ortamda parametrelerin temsil yeteneği arazi ölçümleri ile sonlu elemanlar yöntemi

bulguları karşılaştırılarak sorgulanmış ve doğrulanmış parametrelerle kazıklı durum için analiz yapılmıştır.

GİRİŞ

Yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen mühendislik yapılarının tasarımında klasik yaklaşım zeminin nihai taşıma gücünün hesaplanmasıdır. Zemin problemlerinin ana bileşenlerinden olan deplasmanların oluşumu ve gelişimi ise genellikle gerilmelere bağlı olarak tayin edilir. Halbuki deplasmanlar zemin davranışının ve karşılaşılabilecek göçmenin en belirgin göstergeleridir. Bunun sonucu olarak yumuşak zeminlerin üzerine yapılan mühendislik yapılarından kaynaklanan düşey ve yatay deplasmanların belirlenmesi ve bu deplasmanların zamana bağlı değişimlerinin tespiti geoteknik mühendisleri için önemli ipuçları içerir. Bu anlayış çerçevesinde günümüz araştırmalarında klasik yaklaşımdan farklı olarak deformasyona bağlı hesap yöntemleri geliştirilmektedir. Günümüz bilgi birikiminin bir sınıflandırmasını yapan Stewart [1], Stewart ve diğ. [2] yatay yüklü kazıkların analizi ile ilgili yöntemleri dört gruba ayırmıştır: (i) amprik yöntemler (ii) gerilmeye dayalı yöntemler (iii) deformasyona dayalı yöntemler (iv) sonlu elemanlar programları. Stewart ve diğ. [2] amprik ve gerilmeye dayalı yöntemleri tasarım açısından kullanışlı ama sınırlı kapasitede bulmaktadır. Bunun yanında deformasyona dayalı yöntemleri ve sonlu elemanlar programlarını daha hassas ve her türlü zemin durumu için kullanılabilir olarak tanımlamaktadır. Ancak Stewart ve diğ. [2], Goh ve diğ. [3] deformasyona dayalı yöntemlerdeki esas zorluğun serbest zemine (free-field) ait deplasmanların tahmininden kaynaklandığını ifade etmektedirler.

Doğru model ve parametreler kullanılarak hazırlanmış bir sonlu elemanlar analizi problemlerin çözümünde son derece önemlidir. Dolgu ve yumuşak zemin davranışı gibi konularda, sonlu elemanlar yöntemleri çok sık kullanılmaktadır. Hara ve diğ. [4] Japan Highway Public Corporation

tarafından yapılan iki adet dolguda yapılan deney ve ölçümleri kullanarak iki dolguyu da sonlu elemanlar yardımıyla modellemiştir. Dolgular yumuşak zemin üzerinde yer almaktadır ve köprü yaklaşım dolguları olarak imal edilmişlerdir. Stewart [1], Stewart ve diğ. [2], Springman [5], Springman ve Bolton [6], Ellis ve Springman [7] tarafından yapılan çalışmalarda kazıklı köprü yaklaşım dolgularının davranışı santrifüj deneyleri ile incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemleri ile yapılan nümerik çalışmalar deney sonuçları ile kıyaslanarak verilmiştir. Yukarıda adı geçen veya literatürdeki mevcut diğer sonlu elemanlar çalışmalarında dikkati çeken önemli bir nokta da sonuçların arazi veya labaratuvar model deneyleri ile kıyaslanarak değerlendirilmesidir. Özellikle problemlı zeminlere ait sonlu elemanlar modellerinde, analiz sonuçlarının doğruluğunun kıyaslanabileceği nitelikteki bilgiler doğru tasarım için önemlidir.

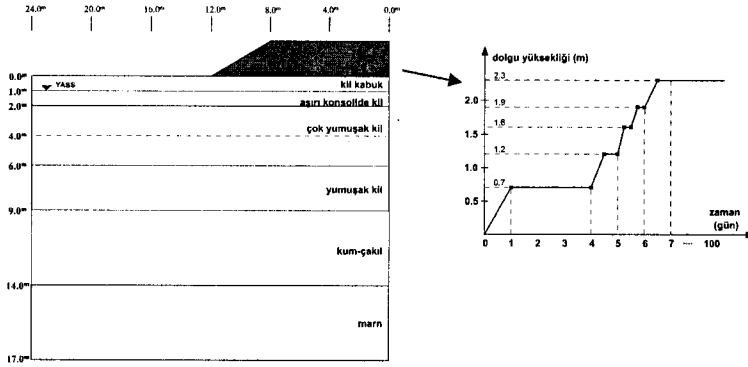
1. Amaç

Bu çalışmada Fransa'nın Cubzac-les-Ponts test sahasında inşa edilen test dolgusu incelenmektedir. Test dolgusu kazıksız olarak inşa edilmiştir. Araziden alınan deplasman ve ilave boşluk suyu basıncı bilgileri kullanılarak dolgunun kazıklı durumda inşa edilmesi halinde kazıklar üzerinde etkili olacak moment ve deplasman değerleri zamana bağlı olarak hesaplanacaktır. Modifiye cam kili ve yumuşak zemin akma modellerini kullanan Crisp ve Plaxis sonlu elemanlar programlarıyla söz konusu problem kazıksız durum için ayrı ayrı çözülmüştür. Mevcut geoteknik bilgiler arasında yumuşak zemin akma modelinin parametrelerinden ikincil sıkışma indisine (C_a) ait bilgi bulunmamaktadır. İkincil sıkışma indisinin elde edilebilmesi için dolgu inşaatı sırasında ve sonrasında arazi ölçümlerinden elde edilen deplasman ve ilave boşluk suyu basınçları da kullanılarak geri analizler yapılmıştır. Eldeki geoteknik bilgiler modifiye cam kili zemin modelinin kullanılması için yeterlidir. Analizlerden elde edilen deplasman ve ilave boşluk suyu basıncı değerleri ile araziden elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Arazi ve analiz

sonuçları arasında yeterli uyum sağlandığında her iki sonlu elemanlar modeline kazıklar eklenerek nihai analizlere geçilmiştir.

2. Test Dolgusu ve Test Sahasına ait Geoteknik Özellikler

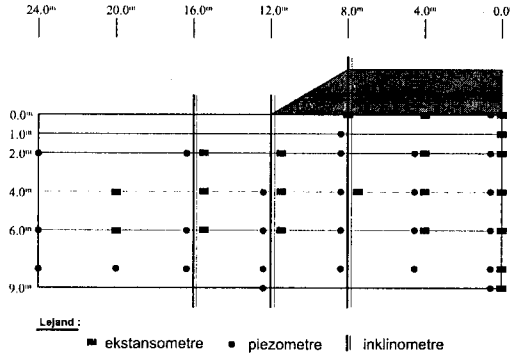
Şekil 1’de geometrisi verilmekte olan test-B dolgusu Fransa’nın Cubzac-les-Ponts bölgesinde yapılan bir test dolgusudur. 62.5 metre uzunluğundaki dolgunun genişliği 24 metre ve yüksekliği 2.3 metredir. Dolgunun altında sırasıyla 1 metre kalınlığında kil kabuk, 1 metre kalınlığında aşırı konsolide kil, 4 metre kalınlığında çok yumuşak kil, 3 metre kalınlığında yumuşak kil, 5 metre kalınlığında kum-çakıl tabakası ve marn tabakası yer almaktadır. İlk 9 metrelik kısım Magnan ve diğ. [8] tarafından çok yumuşak kil-çamur tabakası olarak ifade edilmektedir. Dolgu beş kademe inşa edilmiştir. İlk kademe 0.7 metre yüksekliğindedir ve 1. gün sonunda tamamlanmıştır. 3 günlük bekleme sürecinin ardından ikinci kademe dolgu inşaatına geçilmiştir. Dolgu inşaatı yaklaşık olarak 7 gün içinde tamamlanmıştır.



Şekil 1: Cubzac-les-Ponts test sahasına ait zemin profili ve dolgu inşaat süresi

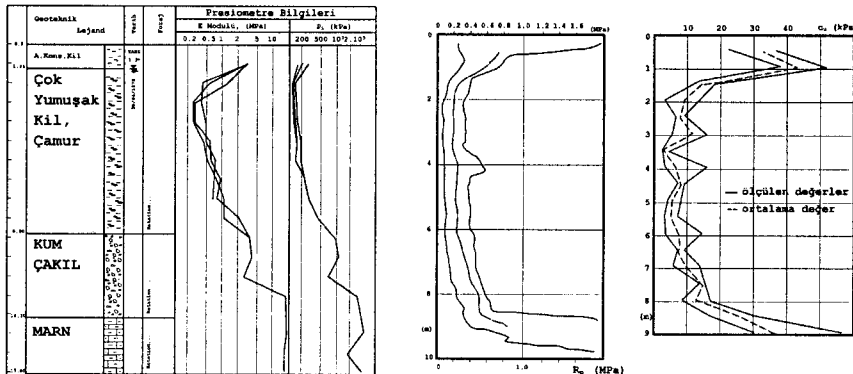
Dolgu inşaatından önce arazide belirli yerlere inklinometre, ekstansometre ve piezometreler yerleştirilmiştir. Şekil 2’de konumları verilen inklinometre, ekstansometre ve piezometreler yardımıyla sırasıyla yatay ve düşey

deplasmanlar ile ilave boşluk suyu basıncı değişimlerine ait okumalar alınabilmektedir. Bu okumalar dolgu inşaatının başlangıcından itibaren yaklaşık 6 yıl süresince alınmıştır.



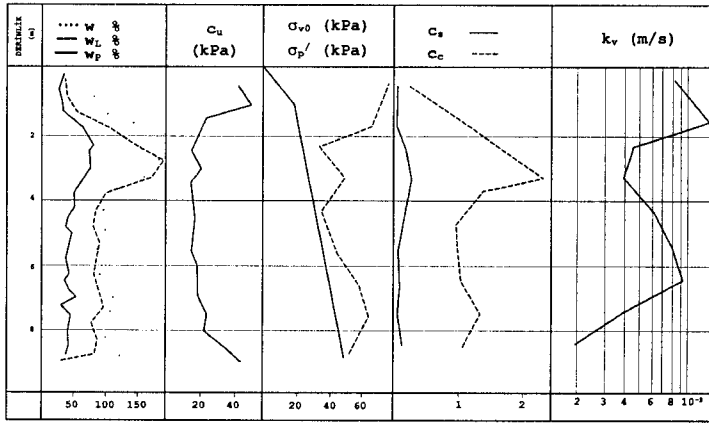
Şekil 2: İnklinometre, ekstansometre ve piezometrelerin yerleri

Zemin profilinde yer alan tabakalara ait detaylı arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Arazide yapılan presiyometre, CPT ve vane deneylerine ait sonuçlar sırasıyla Şekil 3'te verilmektedir. Her üç deney sonucu da dolgu altında yer alan tabakaların mukavemetlerinin çok düşük olduğunu göstermektedir. Özellikle 2 ila 9.0 metre arasında drenajsız kayma mukavemeti, c_u değeri 10.0 kPa'a kadar düşmektedir. Aynı derinliklerde presiyometre elastisite modülü de 500 kPa civarındadır.



Şekil 3: Presiyometre, CPT ve Vane deneylerine ait sonuçlar [8]

Arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen zemin özellikleri uyumludur. Laboratuvarda kıvam limitleri, zemin sınıflandırma deneyleri, mukavemet deneyleri ile sıkışma ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar deneylerinin sonuçları grafik olarak Şekil 4’de verilmektedir. Şekil 3 ve 4’deki sonuçlara göre zemin tabakalarının su muhtevası genellikle likit limitin bile üzerindedir, kayma mukavemeti değerleri çoğunlukla çok düşüktür ve tabakaların sıkışabilirlikleri oldukça yüksektir.



Şekil 4: Laboratuvar deney sonuçları [8]

3. Kazıksız Dolguya ait Sonlu Elemanlar Modeli

3.1. Modifiye Cam Kili ve Yumuşak Zemin Akma Modelinde Kullanılan Parametreler

Çalışmanın sonlu elemanlar bölümünde 0.0-9.0 metre arasında yer alan yumuşak kil için iki farklı zemin modeli kullanılmıştır. Birinci model Modifiye Cam Kili (Modified Cam Clay-MCC) modeli olarak bilinen ve literatürde sıklıkla kullanılan zemin modelidir. Diğer zemin modeli ise krip davranışını yani zamana bağlı olarak zeminin yeniden yapılanmasını da dikkate alan Yumuşak Zemin Akma (Soft Soil Creep-SSC) modelidir. Her iki zemin modeli de kil zeminlerde sıklıkla kullanılmakla birlikte MCC zemin modeli uzun yıllardır araştırmalarda kullanılmakta olup bu zemin modeli ile ilgili literatür bilgisi daha geniştir. Buna karşılık SSC zemin

modeli son yıllarda geliştirilmiştir ve yumuşak killerin zamana bağlı sıkışma davranışını da model kapsamı içine almaktadır. MCC zemin modelini uygulamak için Crisp sonlu elemanlar programından SSC zemin modelini ise Plaxis sonlu elemanlar programından yararlanılmıştır.

MCC zemin modeli kritik durum zemin mekaniği kurallarına göre analizler yapan bir modeldir. MCC zemin modelinin kullandığı parametreler λ , κ , M , e_{cs} olarak verilebilir. Kum-çakıl ve marn tabakaları için Mohr-Coulomb zemin modeli, dolgu için izotropik elastik zemin modeli kullanılmış ve modellere ait ilgili parametreler de Tablo 1’de verilmiştir. Cubzac-les-Ponts test sahasının modifiye cam kili zemin modeline ait parametreleri Magnan [8], Wood [9] Öztoprak [10], Öztoprak ve Çinicioğlu [11] ve tarafından kullanılan ve arazi verilerine göre önemli ölçüde düzeltilmiş değerler yardımıyla belirlenmiştir. Şekil 5.a’da verilen sonlu elemanlar ağında üst 9.0 metredeki zemin tabakaları MCC zemin modeli ile üçgen ve dört düğüm noktalı konsolidasyona izin veren elemanlardan oluşturulmuştur. 9.0-20.0 metre arasındaki zemin tabakaları ise Mohr-Coulomb zemin modeli ile üçgen ve dört düğüm noktalı drenajlı elemanlardan oluşturulmuştur. Dolgunun imalat süreci Şekil 1’de verildiği gibi gerçeğine uygun şekilde modellenmiştir. Şekil 7’de MCC modeli ile yapılan kazıksız analizlere ait sonuçların bir kısmı verilmektedir. Arazi değerleri ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmanın amacı olarak tanımlandığı gibi uygulanan parametre revizyonunun elde edilen uyum üzerindeki etkisinin önemi göz ardı edilmemelidir. Bu çalışmada analiz parametreleri tanımlanırken Cubzac test dolgusuna ait literatür çalışmalarından önemli ölçüde yararlanılmıştır.

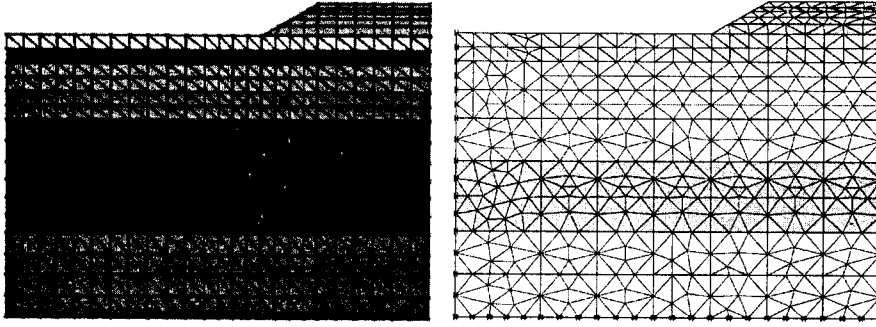
Tablo 1: MCC zemin modeli parametrelerine ait değerler [8, 9, 10, 11]

Tabaka Adı	Derinlik (m)	S. Elm. Modeli	Parametreler							
			λ	κ	e_{cs}	M	G	γ	k_x	k_y
Kil kabuk	0-1	MCC	0,12	0,017	1,00	1,29	930	17,0	4,6E-10	9,0E-10
Aşırı k.kil	1-2	MCC	0,53	0,022	2,60	1,42	1670	16,0	1,4E-9	1,2E-9
Ç.yum.kil	2-4	MCC	0,75	0,085	3,22	1,16	400	14,0	2,6E-9	7,0E-10
Ç.yum.kil	4-6	MCC	0,53	0,048	2,24	1,24	670	15,0	1,5E-9	1,0E-9
Yum. Kil	6-9	MCC	0,52	0,043	2,30	1,33	1050	15,2	1,5E-9	1,0E-9
			E_0	ν	c	ϕ	γ			
Kum-Çakıl	9-14	MC	10000	0,25	1,0	40,0	20,0			
Marn	14-20	MC	20000	0,15	1,0	50,0	23,0			
			E	ν_{vh}	γ					
Dolgu	-2,3	Is.El.	15000	0,3	20					

MCC : Modifiye Cam Kili; MC: Mohr Coulomb; Is.El.: İzotropik Elastik; kohezyon= c : [kN/m²]; γ : [kN/m³]; k_x : [m/s]; G,E : [kN/m²]

λ : sıkışma çizgisi eğimi; κ : koşaltma-tekrar yükleme çizgisinin eğimi; e_{cs} :kritik durum boşluk oranı; M: kritik durum çizgisinin eğimi

SSC zemin modeli de kritik durum zemin mekaniği kurallarına göre hesap yapmaktadır. İlgili zemin parametreleri λ^* , κ^* , μ^* , c , ϕ , ve k olarak verilebilir. λ^* , κ^* , μ^* sıkışma indislerinden hesaplanabilir (Tablo 2). Ancak Cubzac test dolgusuna ait çalışmalarda ikincil sıkışma indisi, C_α ile ilgili herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Yumuşak zeminler ilgili çalışmalarında Mesri ve Choi [12] organik kil, hassas killer, granüler zeminler gibi birçok zemin türü için C_α/C_c oranının 0.02-0.10 arasında değişeceğini belirtmişlerdir. Yazarlar yumuşak killer için $C_\alpha/C_c=0.04\pm 0.01$ değerini önermişlerdir. Test sahasının ilk 9 metresinde yer alan beş zemin tabakası için $C_\alpha/C_c=0.04$ değeri kullanılarak ilk analiz için μ^* değerleri hesaplanmıştır. Yapılan ilk analiz sonucunda tüm tabakalarda aynı oranın kullanılmasının arazi sonuçlarını doğru şekilde temsil etmediği tespit edilmiştir. Özellikle ilk iki tabakadaki farklılaşmalar dikkat çekici boyutta farklılaşmıştır. Bundan sonraki aşamada her zemin tabakası için farklı C_α/C_c oranları kullanılarak μ^* değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak araziye en iyi temsil eden parametrelere Tablo 3'deki değerlerle ulaşılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 5: a) MCC zemin modeli b) SSC zemin modeli
ile kullanılan sonlu elemanlar ağının geometrisi

Geri analizler sonucunda elde edilen C_α/C_c oranları Mesri ve Choi tarafından önerilen değerler ile benzerdir. Yalnız ilk iki metredeki kil kabuk ve aşırı konsolide kil tabakalarında C_α/C_c oranı yazarların önerdiklerinden daha düşüktür. Zira bu iki tabakada aşırı konsolide kil zemin özelliği göstermektedir. Deplasman bilgileri kullanılarak yapılan geri hesaplar yardımıyla elde edilen bu sonuç tasarım sırasında son derece önemlidir. Zira amprik ifadelerle tanımlanmış olan zemin parametrelerinin sıklıkla kullanılmakta olduğu geoteknik mühendisliğinde amprik ifadenin kabullerini gözardı ederek yapılacak değerlendirmeler yanlış tasarım yapılmasına neden olacaktır. Görüldüğü gibi arazideki ilk iki metrelik aşırı konsolide bölgeye ait C_α/C_c oranı Mesri ve Choi tarafından yumuşak killer için önerilen 0.04 ± 0.01 değerlerinden oldukça küçük olduğu gibi birçok zemin tipini içine alan $0.02-0.10$ aralığının da altındadır. Araziden gelen ilave bilgiler bu hataların fark edilmesine veya amprik ifadeler yerine geri analizlere dayalı parametre tayinine olanak sağlayacaktır.

Tablo 2: SSC zemin modeli ile konsolidasyon parametreleri arasındaki ilişki

[13]

$$\lambda^* = \frac{C_c}{2.3(1+e)} \quad \kappa^* = \frac{2}{2.3} \frac{C_s}{(1+e)} \quad \mu^* = \frac{C_\alpha}{2.3(1+e)}$$

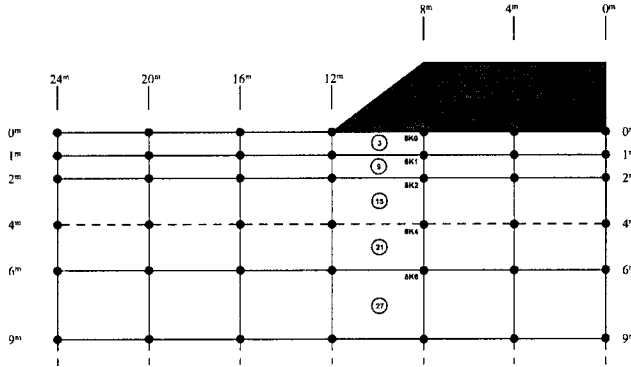
C_c : sıkışma indisi, C_s : kabarma indisi, C_α : ikincil sıkışma indisi
 λ^* : modifiye sıkışma indisi, κ^* : modifiye kabarma indisi, μ^* : modifiye akma indisi

Tablo 3: SSC zemin modeli parametrelerine ait değerler [8, 9, 10, 11]

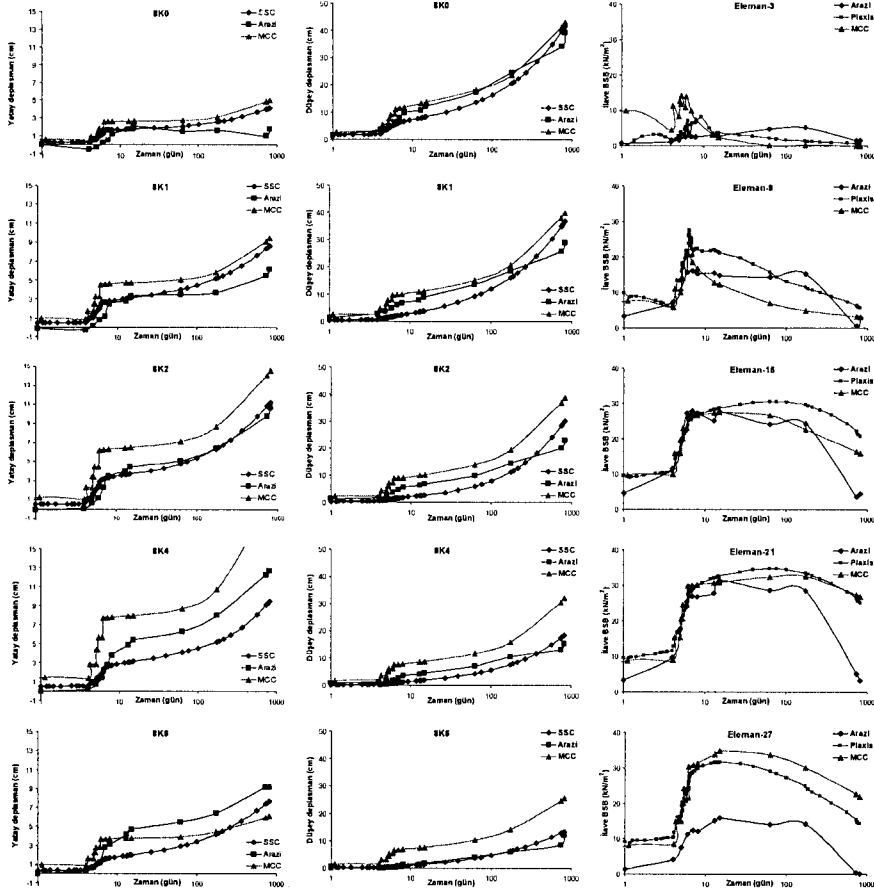
Tabaka Adı	Derinlik (m)	S. Elm. Modeli	Parametreler							
			λ^*	κ^*	μ^*	c	ϕ	k_x	k_y	C_d/C_c
Kil kabuk	0-1	SSC	0,060	0,008	0,0003	1,0	32,0	4,6E-9	9,0E-9	0,005
Aşırı k.kil	1-2	SSC	0,147	0,006	0,0007	1,0	29,0	1,4E-9	1,2E-9	0,005
Ç.yum.kil	2-4	SSC	0,178	0,020	0,0089	1,0	26,0	2,6E-9	7,0E-10	0,050
Ç.yum.kil	4-6	SSC	0,164	0,015	0,0082	1,0	26,0	1,5E-9	1,0E-9	0,050
Yum. kil	6-9	SSC	0,160	0,012	0,0064	1,0	26,0	1,5E-9	1,0E-9	0,040
			E	v	c	ϕ	γ			
Kum-Çakıl	9-14	MC	10000	0,25	1,0	40,0	20,0			
Marn	14-20	MC	20000	0,15	1,0	50,0	23,0			
			E	v_{vh}	γ					
Dolgu	-2,3	Lin.El.	15000	0,3	20					

SSC : Soft Soil Creep; MC: Mohr Coulomb; Lin.El.: Lineer Elastik; kohezyon= c : [kN/m²]; içsel sürt. açısı= ϕ : [°], $k_{x,y}$: [m/s],

Şekil 6'da araziden seçilen belirli noktalar ve elemanların yerleri verilmektedir. Şekil 7'de ise bu nokta ve elemanlara ait analiz ve arazi sonuçları verilmektedir. MCC ve SSC analizlerinden arazi değerleri ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Geri analizlere dayalı parametre tayininin ve arazi bilgilerinin bu uyumun elde edilmesinde son derece önemli olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 6: Şekil 7'de verilen grafiklere ait düğüm noktaları ve elemanların yerleri



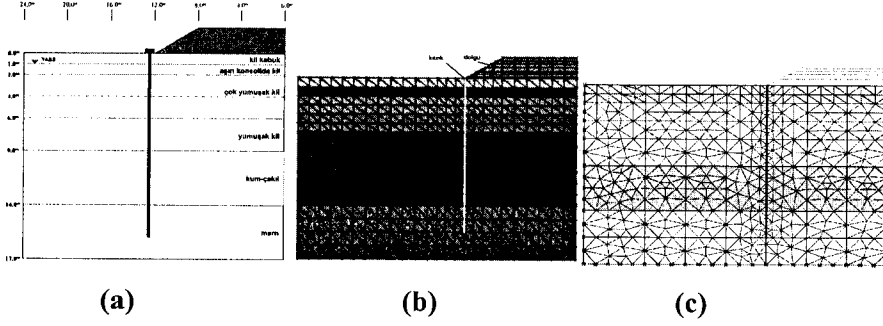
Şekil 7: Yatay ve düşey deplasman ve ilave boşluk suyu bas. değişimleri

4. Kazıklı Dolguya ait Analiz Sonuçları

4.1. Kazık Geometrisi

Şekil 8.a'da dolgu topuğunda inşa edilmiş 1 metre çapında ve 17 metre boyunda kazıkların konumları verilmektedir. Kazıklar ve zemin eksenal simetrik şartlara göre modellenmiştir. Kazık başları ve uçları dönmeye ve

yerdeğiştirmeye karşı serbest olarak tanımlanmışlardır. Sonlu elemanlar modeli kazıkların dolgu inşaatından önce imal edildiği durum için oluşturulmuştur.



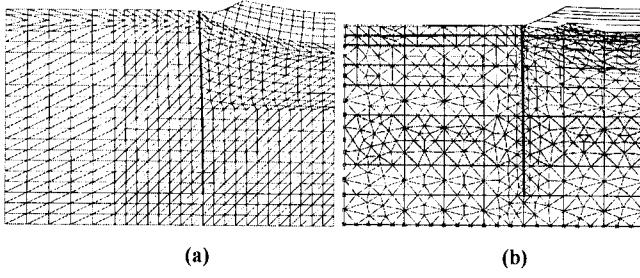
Şekil 8: Cubzac test dolgusu topuğundaki kazıklar (a) arazi (b) MCC (c) SSC

Tablo 4: MCC ve SSC modellerindeki kazıklara ait parametreler

MCC	Boy	Mode	E	ν	A	I
	17,0	Kiriş	2,5E	0,15	0,78	0,049
SSC	Boy	Mode	EA	EI	ν	
	17,0	Kiriş	1,8E	1,5E	0,15	

Boy: [m]; E: [kN/m²]; A: [m²]; I: [m⁴]; EA: [kN]; EI: [kNm²]

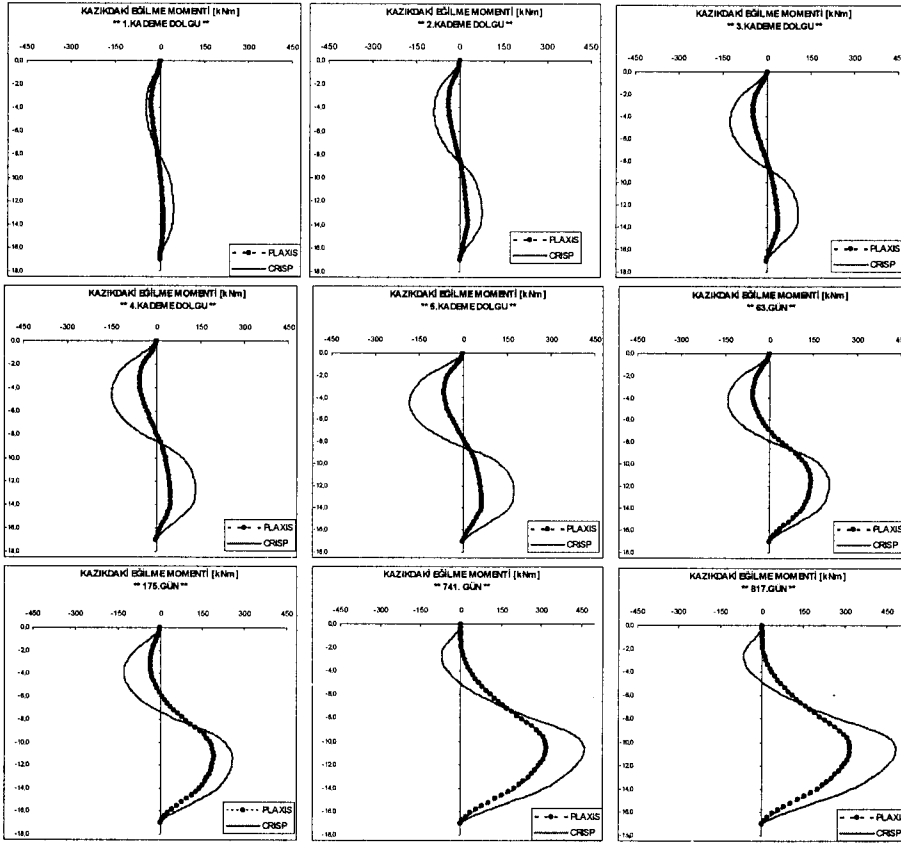
Dolgu ve zemin tabakalarına ait özellikler Tablo 1 ve Tablo 3'deki değerlerdir. Dolgu inşaatı Şekil 1'de verildiği gibi gerçeğine uygun şekilde modellenmiştir. Tüm bu koşullar altında yapılan analiz sonunda Şekil 9.a ve 9.b'de sırasıyla MCC ve SSC zemin modelleri ile çözülen probleme ait sonlu elemanlar ağının deformasyona uğramış şekilleri verilmektedir. Her iki şekilde de 9 metre kalınlığındaki düşük mukavemetli ve yüksek sıkışabilirliğe sahip kil zeminin aşırı deformasyona maruz kaldığı açıkça görülmektedir.



Şekil 9: a)MCC zemin modeli ile b)SSC zemin modeli ile 817 gün sonunda oluşan deplasmanlar (5 kat büyütülmüştür)

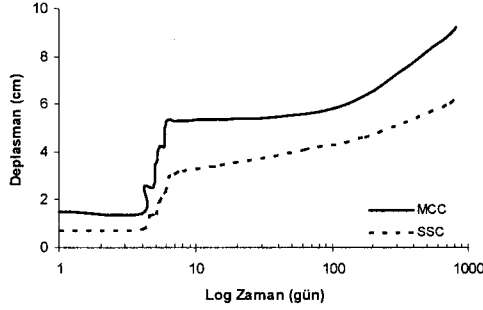
Dolgunun simetri ekseninde düşey yöndeki deplasman miktarı yaklaşık 60 cm mertebesindedir. Yatay yönde deplasmanlar dolgu topuğundaki düşey ekseninde 10 cm mertebesine ulaşabilmektedir. Dolgu yüksekliği fazla olmadığı halde (çoğu yaklaşım dolgularında 5-8 metre mertebelerinde yüksekliklere rastlamak mümkündür; Stewart ve diğ. [3]; Ellis ve Springman [6]) oluşan deplasmanlar oldukça yüksektir.

Şekil 10'da dolgu inşaatı süresince ve sonrasında kazık üzerinde etkili olan eğilme momenti değerleri verilmektedir. Grafikler incelendiğinde MCC zemin modelinden elde edilen sonuçların SSC modelinden elde edilenlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum modifiye cam kili ile hesaplanan kayma gerilmelerinin normalden daha fazla olması ile açıklanabilir [13]. Dolgu inşaatının sonu olan 7.günde oluşan moment değerleri 817. gün sonunda oluşan moment değerinin yaklaşık dörtte biri mertebesindedir. Kazıklar üzerine etkiyen momentlerin çoğu dolgu inşaatı tamamlandıktan sonra yumuşak zeminin konsolidasyonu sırasında oluşmuştur.



Şekil 10: Dolgu topuğundaki kazık üzerine etkiyen eğilme momenti değerleri

Şekil 11’de kazık başında oluşan yatay yöndeki deplasmanlar verilmektedir. Grafiğin 1. ve 8. günler arasındaki bölgesinde deplasmanların hızla arttığı görülmektedir. Şekil 7’de verilen ilave boşluk suyu basınçlarının da aynı günler arasında yükselmesi dikkat çekicidir. Dolgunun tamamlandığı 7.gün MCC ve SSC analizlerinden elde edilen yatay deplasmanlar sırasıyla 5,3 ve 3,2 cm. olarak hesaplanmıştır. 817. günde MCC ve SSC modelleri ile yapılan analizlerde kazık başındaki yatay deplasmanlar sırasıyla 9,2 ve 6,1 cm. olarak elde edilmiştir. Literatürde, dolgudan kaynaklanan deplasmanların yaklaşık %70’inin dolgu inşaatı sırasında olduğu bilinmektedir [14]. Elde edilen değerler literatürde tanımlanan değerlerden bir miktar düşüktür (MCC: %58; SSC:%52).



Şekil 12: Kazık başında oluşan yatay yöndeki deplasmanlar

5. Sonuçlar

Bu çalışmada 9 metre kalınlığında yumuşak, çamur kıvamında kil zemin üzerine inşa edilen 2.3 metre yüksekliğindeki dolgudan kaynaklanan yüklerin dolgu topuğunda inşa edilen 17 metre boyunda ve 1 metre çapındaki kazıklar üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Sonlu elemanlar analizleri Modifiye Cam Kili-MCC ve Yumuşak Zemin Akma-SSC zemin modelleri ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Araziden elde edilen deplasman ve ilave boşluk suyu basıncına ait veriler sonlu elemanlar çalışmalarının güvenilirliği için önemli bilgilerdir. Bu çalışmada arazi ölçümleri SSC zemin modeline ait ikincil sıkışma indisinin belirlenmesinde önemli bir kontrol bilgisi olarak kullanılmışlardır. Geri analizlerle hesaplanan C_a/C_c değerleri Mesri ve Choi [12] tarafından önerilen değerlerle uyumludur. MCC zemin modelinden elde edilen sonuçlarda arazi değerleri ile uyumludur.
- MCC zemin modeli ile hesaplanan eğilme momentleri daha büyüktür. Bu durum modifiye cam kili ile hesaplanan kayma gerilmelerinin normalden daha fazla olması ile izah edilebilir.

- Kazık başlığındaki yatay deplasmanların %70'i dolgu inşaatı sırasında oluşur [13]. Bu çalışmada bu oran %58 ve %52 olarak tespit edilmiştir. Bu durum literatür bilgilerine göre bir miktar düşüktür ancak yükleme programının ve konsolidasyon döneminin uzunluğu bu oranların doğrudan karşılaştırılmasına engeldir.

KAYNAKLAR

1. Stewart, D. P., 1992, *Lateral loading of piled bridge abutments due to embankment construction*. PhD thesis, University of Western Australia
2. Stewart, D. P., Jewell, R. J. ve Randolph, M. F., 1994, Centrifuge modelling of piled bridge abutments on soft ground. *Soils and Foundations*, Tokyo, 34(1), 41–51.
3. Goh, A. T. C., Teh, C. I. ve Wong, K. S., 1997, Analysis of piles subjected to embankment induced lateral soil movements. *Journal Geotech. Geoenviron. Eng.*, 123(9), 792–801.
4. Hara, T., Yu, Y., ve Ugai, K., 2004, Behaviour of piled bridge abutments on soft ground: A design method proposal based on 2D elasto-plastic-consolidation coupled FEM, *Computers and Geotechnics*, 31, 339-355
5. Springman, S.M., 1989, *Lateral loading of piles due to simulated embankment construction*. PhD thesis, University of Cambridge
6. Springman, S.M., Bolton, M.D., 1989, The effect of surcharge loading adjacent to piles. *Final Contractor's Report to Transport and Road Research Laboratory*, TRR/842/447. University of Cambridge
7. Ellis, E.A., Springman, S.M., 2001, Full-height bridge abutments constructed on soft clay, *Geotechnique*, 51(1), 3-14
8. Magnan, J.P, Mieussens, C. ve Queyroi, D., 1983, Etude d'un remblai sur sols compressibles: Le remblai B du site experimental de Cubzac-lesPons, *Laboratoire Central Des Ponts Et Chaussees Rapport de recherche LPC No.127*.

9. Wood D.M., Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics, Cambridge University Press, Cambridge
10. Öztoprak, S., 2002, Yüklenmiş Zeminlerde Gerilme-Deformasyon Davranışının Teorik Tanımlanması ve Modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
11. Öztoprak, S. ve Çinicioğlu, S.F., 2005, Soil behaviour through field instrumentation, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.42, No.2, 475-490
12. Mesri, G., Choi, Y.K., 1981, Settlement analysis of embankments on soft clays, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.111, No.4
13. Plaxis Manual, 2004, Edited by Brinkgreve R.B.J, Broere W. and Waterman D., Plaxis bv. Netherlands
14. Stewart, D. P., 1999, Discussion to Analysis of piles subjected to embankment induced lateral soil movements. *Journal Geotech. Geoenviron. Eng.*, May, 425-426

EMBANKMENT INDUCED DISPLACEMENTS ON LATERALLY LOADED PILES

M.Kubilay KELESOGLU

Research Assistant
Istanbul University
Istanbul, Turkiye

S.Feyza CINICIOGLU

Prof.Dr.
Istanbul University
Istanbul, Turkiye

ABSTRACT

Laterally loaded piles are one of the important subjects of the geotechnical engineering. A specific case of the laterally loaded pile behaviour is the embankment induced lateral deformations on piles. This specific subject found an extensive research area during the last two decade. Especially finite element methods are mostly used to analyze the problems such as piled bridge abutments, harbour and highway embankments and etc. In this paper piles, which are constructed at the toe of the Cubzac-les-Ponts embankment, are analyzed. Cubzac-les-Ponts embankment has 2.3 meters height and 24 meters width. Piles are 17 meters in length and 1 meters in diameter. Modified cam clay and soft soil creep soil models are used separately to analyze the problem. The bending moment and pile head deformation results of the both soil model are discussed.