



Çimento-Kumlu Kil Karışımının Statik Analiz Üzerine Etkisi

Suadad Al Asadi^{1*}, Kaveh Dehghanian^{2*}

¹ Istanbul Aydın University, 0000-0003-3459-5797, astevan24@gmail.com

² Istanbul Aydın University, 0000-0002-6372-4984, kavehdehghanian@aydin.edu.tr

* Sorumlu Yazar: astevan24@gmail.com; Tel.: 0534 624 64 46

(First received September 05, 2022 and in final form December 28, 2022)

2nd International Conference on Design, Research and Development
December 14 - 17, 2022

Reference: Asadi, S. A., Dehghanian, K. Çimento-Kumlu Kil Karışımının Statik Analiz Üzerine Etkisi. Orclever Proceedings of Research and Development,1(1), 94-110.

Özet

Killi zeminlerin aşırı oturması ve yapıda hasara ve çökmeye yol açan düşük taşıma kapasitesi altyapı inşasında sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunu çözmek için çeşitli zemin iyileştirme kullanılmaktadır. Çimento karışımın yer aldığı bu yöntemlerin amacı zemin taşıma gücünü artırıp ve zemin oturmasını düşürmektir.

Bu çalışma, farklı yüzdelerde (%5, %10, %15) çimento ile karıştırılan kumlu-killi zemin modelinin, toplam plastik ve konsolidasyon oturma analizi yapılmıştır. İyileştirilmiş kil-çimento zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri, literatürde mevcut ve İstanbul Aydın Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan sonuçlara dayanarak elde edilmiştir. Statik analiz yapabilmek için sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Zeminin statik analizi farklı yükler (50, 100, 150, 200 kPa) altında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, plastik analizde, çimento ile %15 oranında işlem görmüş zeminin, statik yüklerden kaynaklanan toplam deformasyonun işlem görmemiş zemine göre %25 daha az oturma göstermiştir. Aynı zemin profilleri için, konsolidasyon analizinde 7 günün sonunda, %28 azalma görünmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kumlu killi zemin, Sonlu Elemanlar Yöntemi, PLAXIS 2D, Mohr-Coulomb modeli, Deformasyon



Effect of Cement-Sand-Clay Mixture on Static Analysis

Abstract

Excessive settlement of clayey soils and low-bearing capacity leading to damage and collapse of the structure induce problems in infrastructure construction. Various ground improvement methods are used to solve this problem. The purpose of these methods, in which the cement mixture is included, is to increase the soil bearing capacity and to reduce the soil settlement.

In this study, total plastic and consolidation settlement analysis of sandy-clay soil model mixed with cement by different percentages (5%, 10%, 15%) are made. The physical and mechanical properties of the improved clay-cement soil are obtained based on the results available in the literature and in the laboratories of Istanbul Aydın University. A Finite Element program was used to perform static analysis. Static analysis of the soil was carried out under different loads (50, 100, 150, 200 kPa). The results showed that for the plastic analysis, the 15% cement treated soil had 25% total deformation less than the untreated soil. Considering the same soil profile, for consolidation analysis, the decrease was observed to be 28% at the end of 7 days.

Keywords: Sandy-clay soil, Cement, Finite Element Method, PLAXIS 2D, Mohr-Coulomb model, Deformation

1. Giriş

İnşaat mühendisliğinde tüm projeler zemin üzerine inşa edilir. Çoğu durumda zemin özellikleri, üzerlerine yapıların inşası için mühendislik açısından uygun değildir ve bu nedenle inşaat mühendisliği işlerinde çok önemli olan bu soruna çözümler bulunmalıdır. Bu nedenle, herhangi bir yapının yeterli taşıma kapasitesine sahip bir temele ihtiyacı vardır. Mukavemeti değişen zemin üzerine inşa edilen yapıların farklı oranlarda yıkılma olasılığı daha yüksektir (Nelson et al., 2015). Yumuşak killi zeminlerden çok gevşek olanlara kadar büyük zorluklarla ilişkilidir. Bu tip zeminler deformasyonlara karşı hassas olduklarından ve minimum kesme dayanımına sahip olduklarından, uygulama sırasında ve proje ömrü boyunca yapısal hasarlara neden olabilir. Bu tip zeminin ya diğer uygun zeminlerle değiştirilmesi ya da üzerine uygun makinelerle işlenmesi gerekir. Zemin iyileştirme işlemi, zeminin taşıma kapasitesinde bir artışa, yapıların oturmasında bir azalmaya, zeminin kayma direncini artırarak ve zeminin hacimsel değişikliklerini azaltarak stabilitesinde bir artışa yol açar. Zemin mukavemeti, genel olarak, zeminin binalar veya yapılar tarafından uygulanan yüke hatasız olarak mükemmel şekilde dayanma kabiliyetini ifade eder. Modifiye edilmiş yumuşak zeminler, farklı yüklerle farklı davranırlar ve bu da bina amaçları için temeli desteklemek için değişen derecelerde



ilk dayanım kazancı ve son dayanım gelişimi ile sonuçlanır (Kalantari, 2012; Al-Busoda & Al-Taie, 2010; Al-Jeznawi et al., 2019).

Dünyanın birçok bölgesi çok miktarda ince killi zeminle kaplıdır. Bu zemin, inşaat amaçları için zor zemin olarak nitelendirilir. Bu zeminler üzerine inşa edilen yapı, kesme eksiklikleri, farklı oturma ve düşük taşıma kapasitesi yaşar (Arulrajah et al., 2012; Bhavsar et al., 2014). Yumuşak killi zeminler, üzerlerine bir yük uygulandığında nispeten düşük bir sertliğe ve yüksek bir deformasyon seviyesine sahiptir. Yumuşak kilin deformasyonu, nispeten düşük sertliği nedeniyle yüksektir. Bu nedenle, deformasyon analizi, yumuşak kilin büyük deformasyona sürekli bir yaklaşım olduğunu düşünmelidir (Nelson et al., 2015). Zemin belirli bir miktar yüke maruz kaldığında, yükün uygulama yönünde deforme olma eğilimi gösterir. Deformasyonun türü ve değeri zeminden zemine değişir.

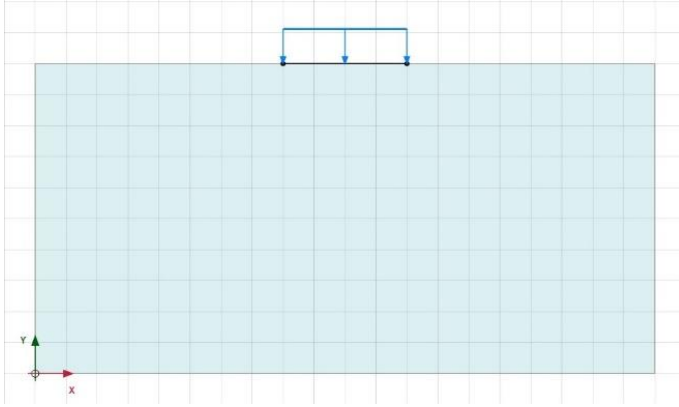
Yumuşak killi zeminler, aynı yük altında sert zeminlerden farklı şekilde deforme olma eğilimindedir. Zemin deformasyon özellikleri zemin kökenine, zemin parçacık yapısına, moleküller arası bağlara, zemin su içeriğine vb. bağlıdır (Teunissen & Zwanenburg, 2017; Moriwaki et al., 1982; Fu et al., 2021). Düşük dayanım özelliklerine ve yüksek basınç duyarlılığına sahip zeminler tüm dünyada bulunur. Özellikleri nedeniyle ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri, böyle bir temel üzerindeki yükleri destekleme sorunlarıdır. Düşük dayanımlı zeminler üzerine inşa edildiklerinde yapıların stabilitesi zorluklarla karşılaşmaktadır (Fu et al., 2021; Por et al., 2017). Bu çalışmada, çimento kumlu kilin oturma analizi yapılmıştır. Bu analizde dünya çapında yaygın olan Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır.

2. Metot ve Yöntemler

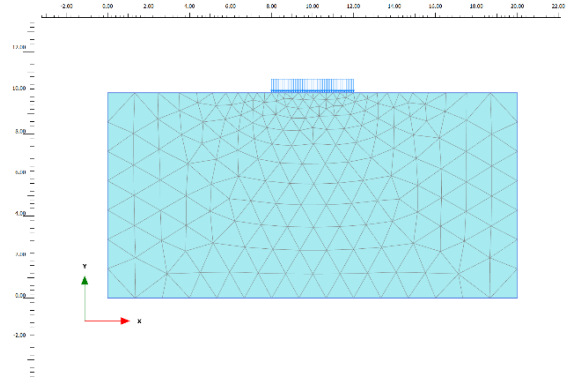
2.1. Analiz metodolojisi

Plaxis'te, bir konsolidasyon ve plastik modeli kullanılarak bir sonlu eleman modelinin oluşturulması, geometrik bir modelle başlar. Genel olarak düzgün bir kesit, yükleme şeması ve büyük ölçüde z yönünde olan düzlemsel gerilme modeli uygulama için uygundur. Normal gerilmeler tamamen z-yönünde kabul edilir, ancak yer değiştirmeler ve gerinimlerin sıfır olduğu varsayılır. Bu çalışmada 15 düğümlü bir ağ ele alınmıştır. Ayrıca malzemeler, yükler ve sınır koşulları belirtilmiş ve düzgün yayılı yük (50, 100, 150 ve 200 kPa) zeminin üst kısmına (4 m) ölçülerde uygulanmıştır. Modellerde, farklı yüzdelerde (%5, %10 ve %15) çimento ilavesi ile bir kat kumlu killi zemin kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde, bir sınır değer problemini çözmek için sınır koşulları gereklidir. Yan ve alt sınırlar yatay olarak 20 m, dikey olarak 10 m olarak belirlenmiştir. su seviyesi zemin seviyesi ile aynı konumda alınmıştır. Sınır koşullarının sonlu eleman analizi Şekil 1'te gösterilmektedir. Bu sınır koşulları statik analiz bölümünde

açıklanmıştır. Ayırıklaştırma veya ağ oluşturma, malzeme özelliklerinin ve sınır koşullarının tanımı ile birlikte, sonlu eleman modellemesinin temel bir yönüdür. Ağ boyutu, sonlu eleman analizinin doğruluğuna önemli bir katkıda bulunur. Bu çalışmada orta üçgen ağ kullanılmıştır. Şekil 2, ayrıntılı model ayırıklaştırmasını göstermektedir.



Şekil 1 Sınır koşulları



Şekil 2 Model geometrisinin ağ yapısı

2.1.Mohr-Coulomb modeli

Mohr-Coulomb, zemin elastikliği için Young modülü (E) ve Poisson oranı (ν), Zemin plastisitesi için zemin içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyon (c) ve dilatasyon açısı (ψ) için beş girdi parametresi içeren bir elastik-plastik modeldir. İlk deformasyonların değerlendirilmesi için MohrCoulomb kullanılması tavsiye edilir. Bunun nedeni, diğer gelişmiş modellerin Mohr-Coulomb'dan daha fazla yer verisine ihtiyaç duymasıdır. Mohr-Coulomb modeli zemin davranışını iyi bir şekilde modelleyebilmiştir (Heerten, 2007) ve bu model ile tam plastik zemin davranışı yapılmıştır.

2.3.Plaxis'te Kullanılan Zemin Özellikleri

Mohr-coulomb modeli, gerçek zemin davranışının birinci dereceden bir yaklaşımı olarak kabul edilir. Bu elastik mükemmel plastik model beş temel girdi parametresi gerektirir: E , ν , ϕ , c , ve ψ . Bu numunede sürtünme açısı 30 derecenin altında olduğu için, ψ değeri sıfır alınmıştır. Tablo 1'de modellemede kullanılan tüm parametreler verilmiştir.



Tablo 1 Zemin parametre özellikleri

Parametre	Sembol	Kumlu killi zemin	Kumlu killi zemin + %5 çimento	Kumlu killi zemin + %10 çimento	Kumlu killi zemin + %15 çimento	Referans
Malzeme modeli		Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	
Davranış tipi		Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	
Kuru birim hacim ağırlığı (KN/m ³)	γ_k	16.2	16.2	16.2	16.2	(İnan, 2019)
Doygun birim hacim ağırlığı (KN/m ³)	γ_d	19.73	19.73	19.73	19.73	(-)
X yönünde geçirgenlik (m/gün)	k_x	$4.275 \cdot 10^{-7}$	$4.98 \cdot 10^{-7}$	$3.54 \cdot 10^{-7}$	$4.439 \cdot 10^{-7}$	(-)
Y yönünde geçirgenlik (m/gün)	K_y	$4.275 \cdot 10^{-7}$	$4.98 \cdot 10^{-7}$	$3.54 \cdot 10^{-7}$	$4.439 \cdot 10^{-7}$	(-)
Elastisite modülü (KN/m ²)	E'	5000	5500	6000	7000	(Ekananda et al., 2016)
Poisson oranı (-)	$\nu'_{(nu)}$	0.33	0.32	0.31	0.30	(Obrzud & Truty, 2012)



Kohezyon (KN/m ²)	c' _{ref}	66.1	138.15	62.63	55.8	(İnan, 2019)
İçsel sürtünme açısı (°)	φ	18.53	19.9	22.13	21	(İnan, 2019)
Dilatasyon açısı (°)	Ψ	0	0	0	0	(-)
boşluk oranı	e	0.562	0.562	0.562	0.562	(-)
Hacimsel sıkışma (m ² /KN)	M _v	5.31*10 ⁻⁴	4.31*10 ⁻⁴	4.18*10 ⁻⁴	4.19*10 ⁻⁴	(İnan, 2019)
Konsolidasyon katsayısı (m ² /gün)	C _v	8.208*10 ⁻⁵	1.18*10 ⁻⁴	8.64*10 ⁻⁵	1.08*10 ⁻⁴	(İnan, 2019)

Boşluk oranı (e), Doygun birim hacim ağırlık (γ_d), X yönünde ve y yönünde geçirgenlik katsayısı (k_x ve k_y), sırasıyla denklem (1), (2) ve (3)'den hesaplanmıştır.

$$e = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_k} - 1 \dots\dots (1)$$

bu denklemde:

e = boşluk oranı

G_s = zemin katılarının özgül ağırlığı

γ_w = suyun birim hacim ağırlığı

γ_k = Kuru birim hacim ağırlığı

$$\gamma_d = \frac{(G_s + e) \cdot \gamma_w}{1 + e} \dots\dots (2)$$

γ_d = Doygun birim hacim ağırlığı

$$k = C_v \cdot M_v \cdot \gamma_w \dots\dots (3)$$

k = Geçirgenlik katsayısı

C_v = Konsolidasyon katsayısı

M_v = Hacimsel sıkışma katsayısı



2.4. Statik analizi

Statik analizde plastik tip hesaplama ve konsolidasyon kullanılmıştır. Konsolidasyon türünü hesaplarken, 7 gün olarak belirtilen interval parametresi için bir değer belirtmek gerekir. Plastik tip hesaplanırken, bir zaman aralığı belirlenebilse de, bir plastik hesaplamasında zaman etkileri dikkate alınmaz. Sonlu elemanlar analizinde, bir sınır değer problemini çözmek için sınır koşulları gereklidir. Bu nedenle PLAXIS geometrinin tabanında yer değiştirmenin hem düşey hem de yatay bileşenleri sabittir ($U_x = U_y = 0$), ayrıca, geometrinin düşey sınırlarının iki kenarı, yatay yer değiştirme olmadan (sıfır x yer değiştirme) düşey yer değiştirme serbest olarak ayarlanmıştır.

Şekil 3'de gösterilen sonlu elemanlar analizinde farklı yükler altında kumlu killi zeminin toplam yer değiştirmesi. Zemin bu yükü kaldıramadı ve çok sıkıştı. Bunun nedeni zeminin yumuşak olması ve taşıma kapasitesinin düşük olmasıdır.

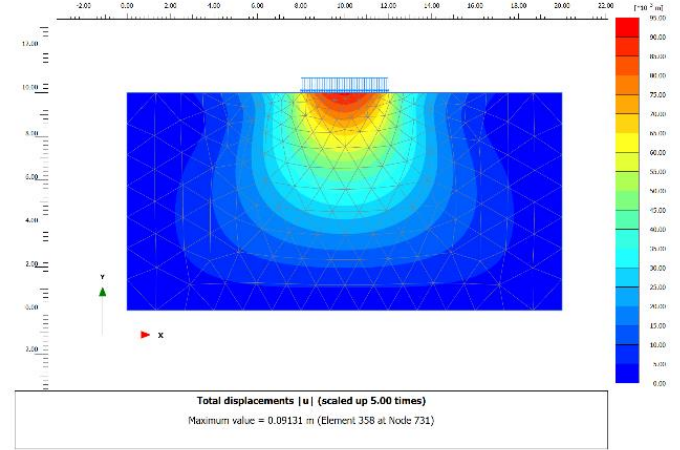
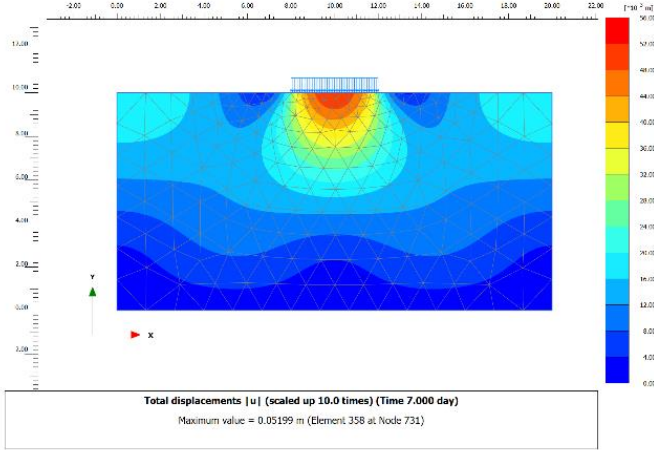
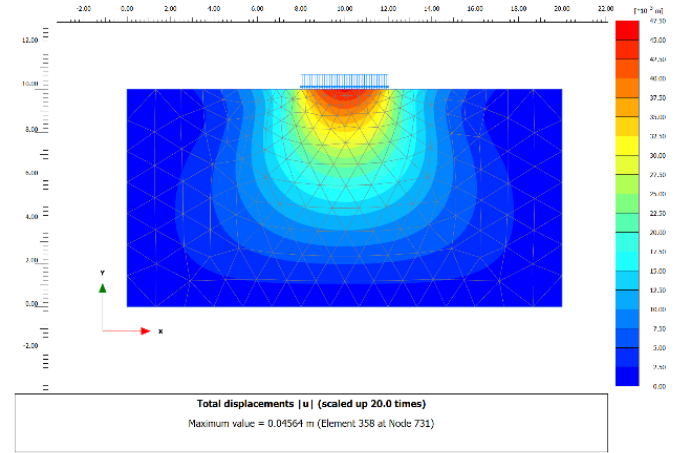
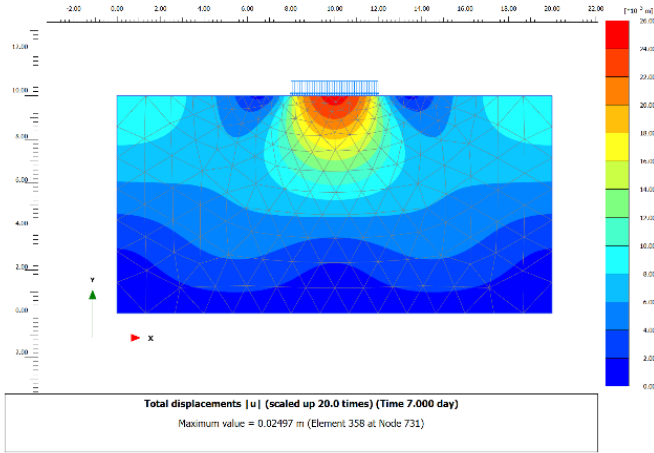
Oturma, Mohr-Coulomb model yöntemi kullanılarak 50 kPa'dan 200 kPa'ya kadar farklı yükleme aralıkları içindi. 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa ve 200 kPa için işlenmemiş kumlu killi zemin için konsolidasyon hesap türü oturması sırasıyla 24.97 mm, 51.99 mm, 80.13 mm ve 109 mm'dir. Ancak 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa ve 200 kPa için işlenmemiş kumlu killi zemin için plastik hesaplama tipi için sırasıyla 45.64 mm, 91.31 mm, 137 mm ve 182.7 mm idi. Sonuç, kumlu killi zemin için sürşarj yükü arttıkça deformasyonun arttığını ortaya koymuştur.

Şekil 4 ve Tablo 2, %5 çimento ile stabilize edilmiş kumlu killi zeminin yük ve toplam oturmaları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafikten, uygulanan yük arttıkça oturma da artar, ancak doğal kumlu killi zemin ile karşılaştırıldığında, konsolidasyon ve plastik hesap tipi için son uygulanan yükte toplam oturmanın büyüklüğü sırasıyla 99.31 mm ve 168.8 mm'dir. 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa ve 200 kPa için ortalama oturma %5 çimento katkılı kumlu killi zemin, konsolidasyon hesap tipi için işlem görmemiş zeminden sırasıyla %9.77, %9.14, %8.94 ve %8.89 düşmüştür. plastik hesap türüne göre de tüm numunelerde %7.60 elde edilmiştir. Grafiğin zemin-çimento reaksiyonu nedeniyle düşük değerlerde oturma ile lineer ölçekte arttığı da açıkça gösterilmiştir.

Şekil 5 ve Tablo 2, %10 çimento stabilize edilmiş kumlu killi zemin için PLAXIS yazılımından çıkarılan sonuçları aşağıda göstermektedir. 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa ve 200 kPa için ortalama oturma %10 çimento katkılı kumlu killi zemin, konsolidasyon hesap tipi için işlem görmemiş zeminden sırasıyla %17.34, %16.85, %16.62 ve %16.43 düşmüştür. Plastik hesap türüne göre de tüm numunelerde %14 hesaplanmıştır. Çimento stabilize edilmiş kumlu killi zeminin %5'ine kıyasla taşıma kapasitesinin yüksek değerinden dolayı oturma değerleri daha az olmuştur.

Şekil 6 ve Tablo 2, %15 çimento ile stabilize edilmiş kumlu killi zeminin yük ve toplam oturmaları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa ve 200 kPa için ortalama oturma %15 çimento katkılı kumlu killi zemin, konsolidasyon hesap tipi için

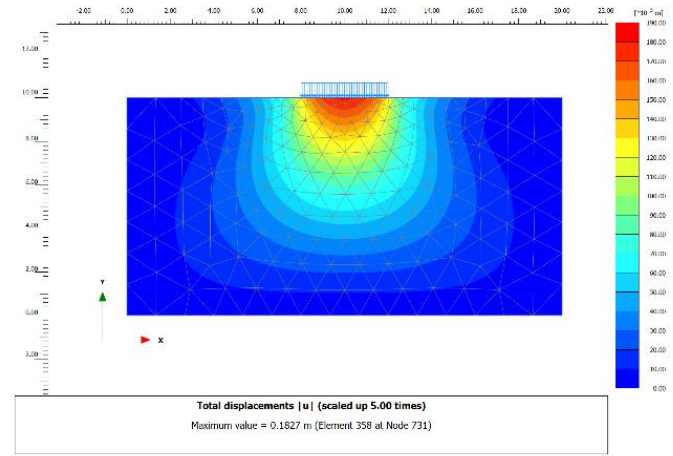
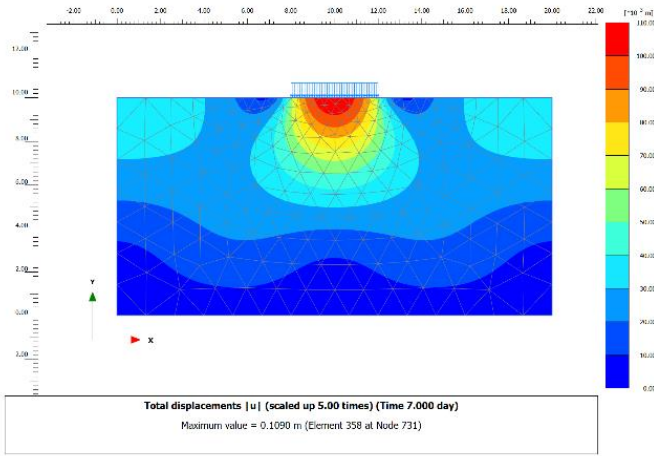
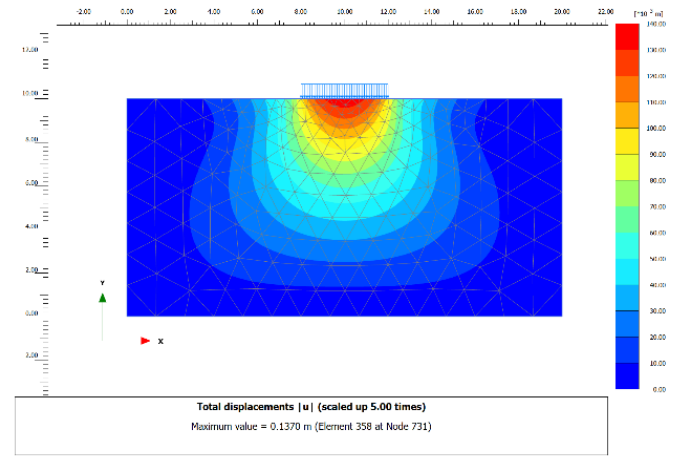
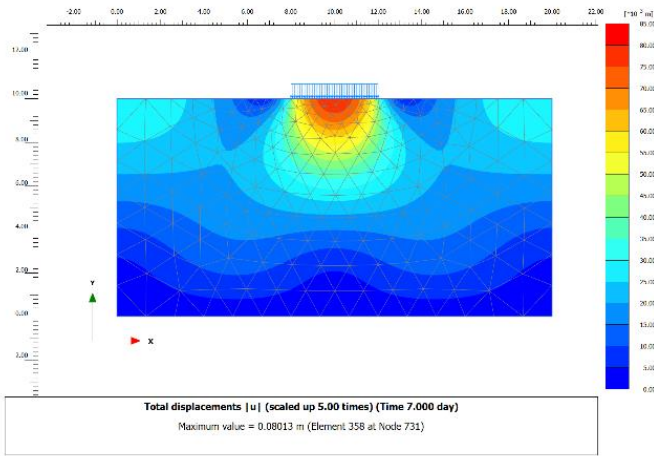
işlem görmemiş zeminden sırasıyla %29.52, %28.97, %28.58 ve %28.40 düşmüştür. plastik hesap türüne göre sırasıyla %25.22, %25.21, %25.20 ve %25.23 dir. Oturma değeri, çimento stabilize edilmiş kumlu killi zeminin %5 ve %10'una göre daha az olmuştur. Bu, kumlu killi zeminin oturmasının iyileştirilmesinin, optimum %15 çimento yüzdesinde önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca zemin-çimento reaksiyonu ve yüksek taşıma kapasitesi değeri nedeniyle grafiğin lineer ölçekte düşük değerlerle arttığı da açıkça görülmektedir.



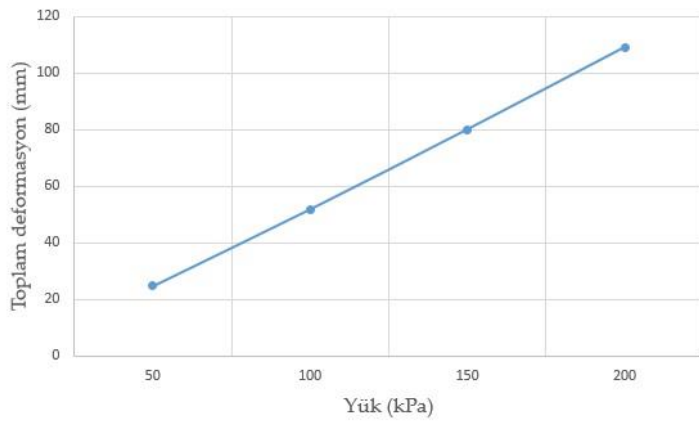
a

b

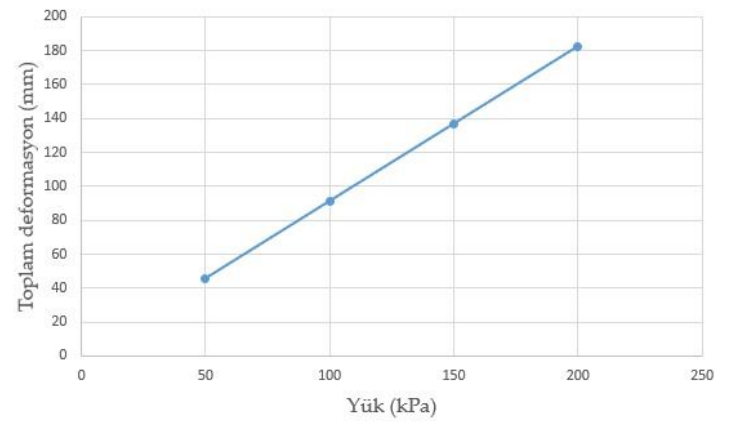
Şekil 3 Kumlu killi zemin için a-) konsolidasyon analizi b-) Plastik analizi



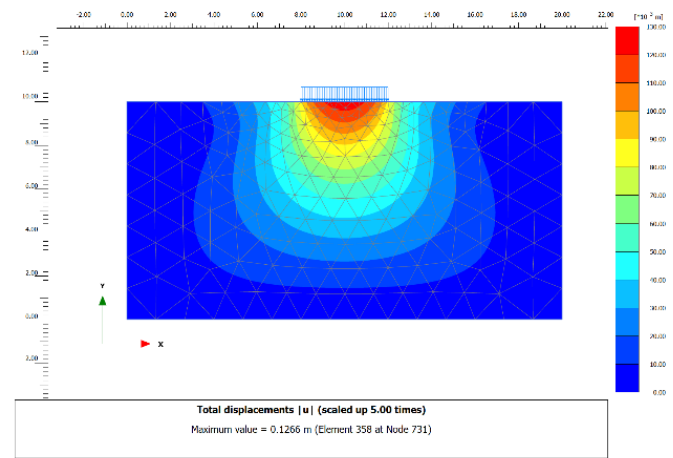
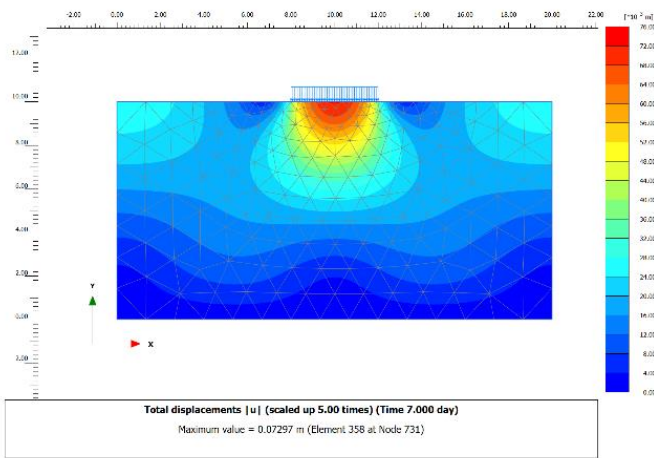
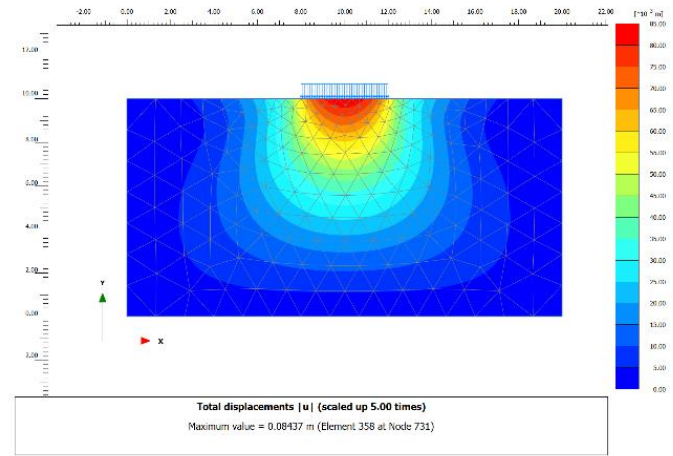
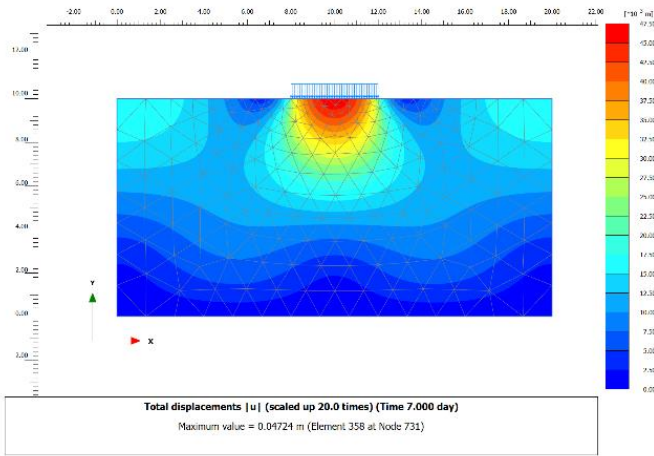
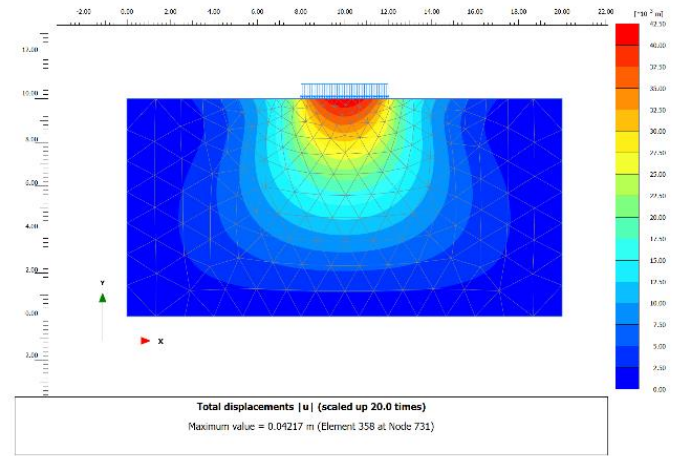
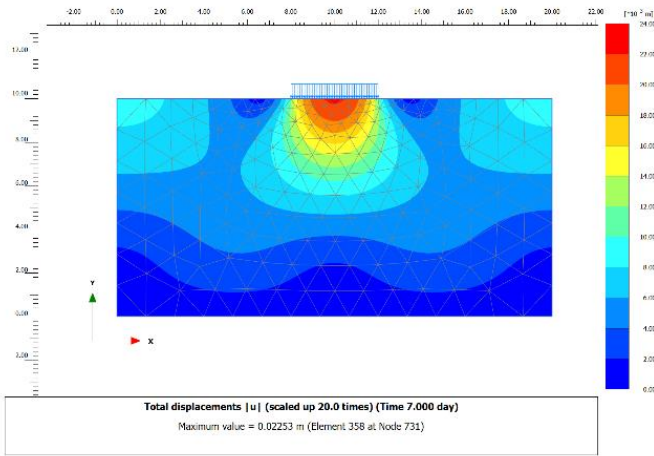
Kumlu killi zemin



Kumlu killi zemin



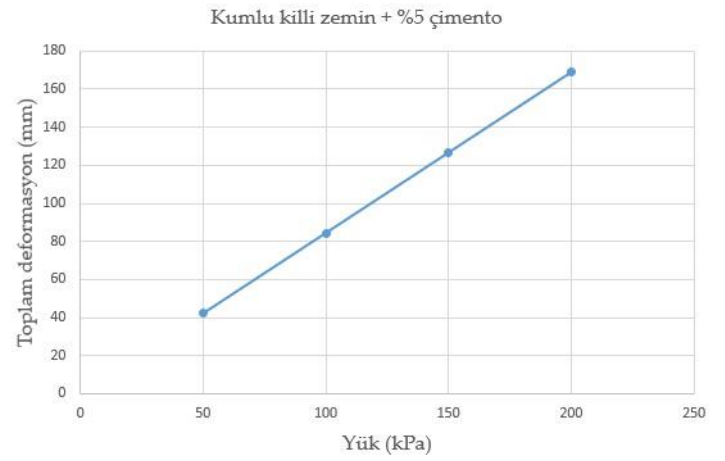
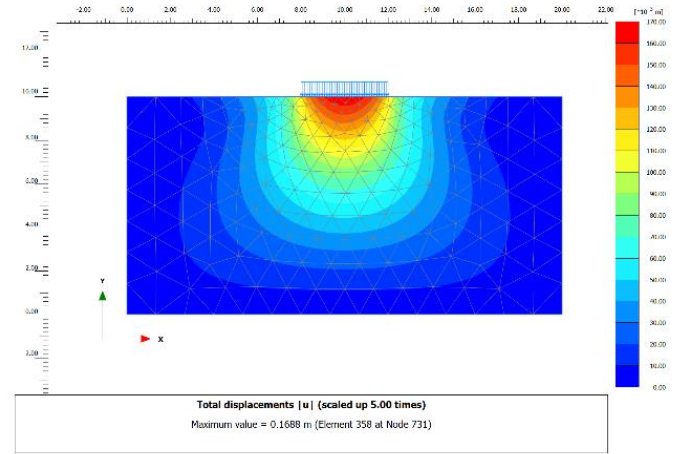
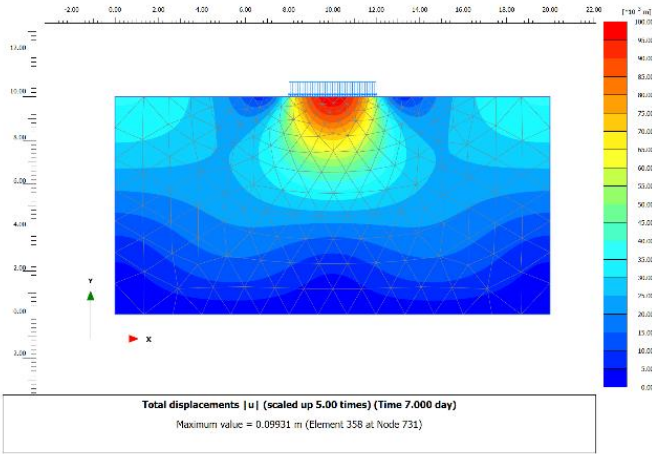
Şekil 3 (devam)



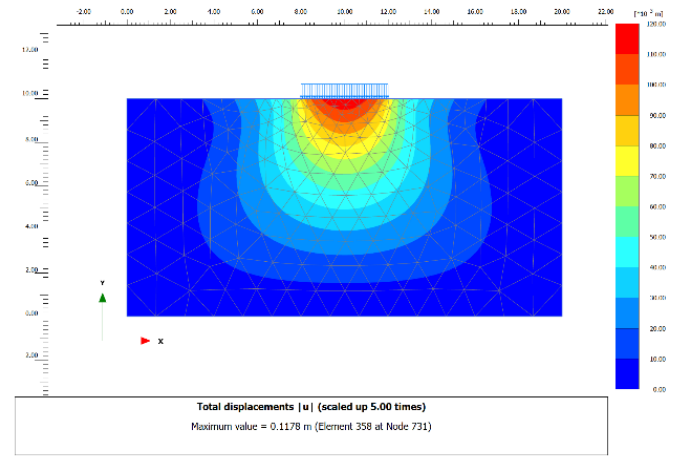
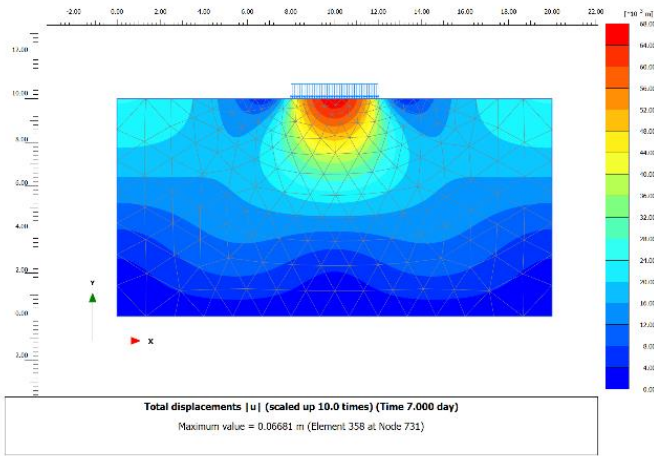
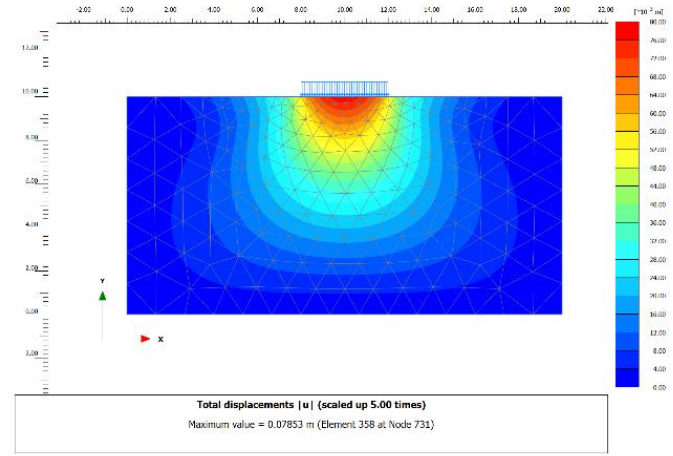
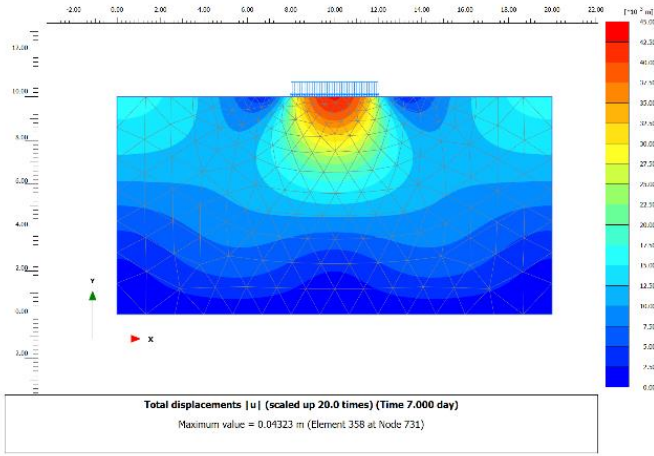
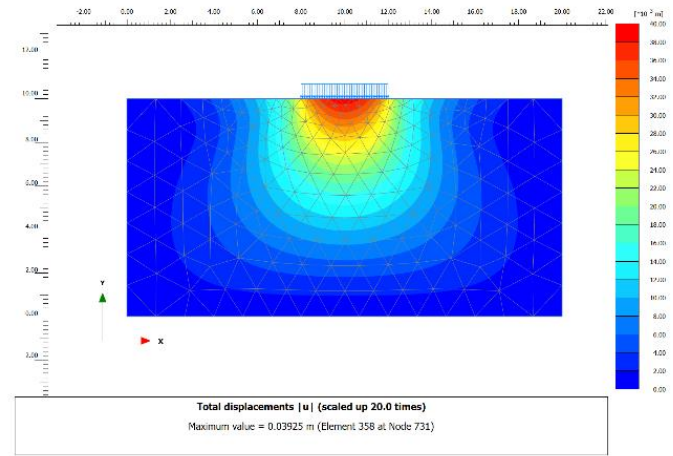
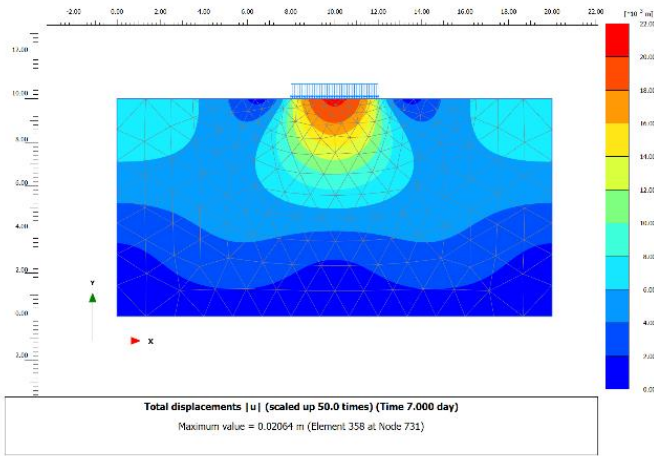
a

b

Şekil 4 Kumlu killi zemin + %5 çimento için a-) konsolidasyon analizi b-) Plastik analizi



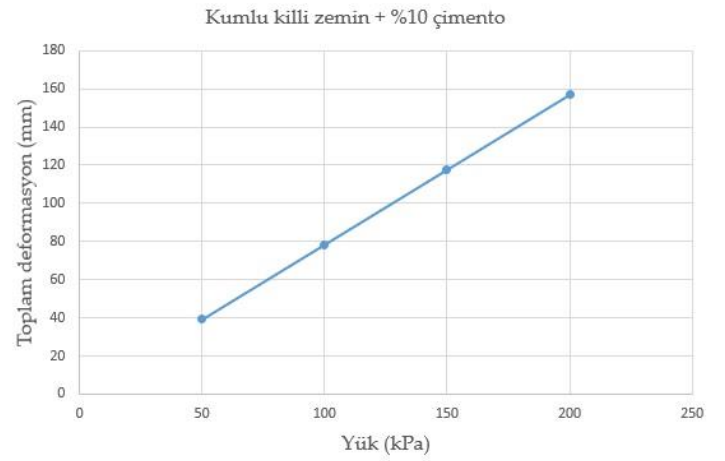
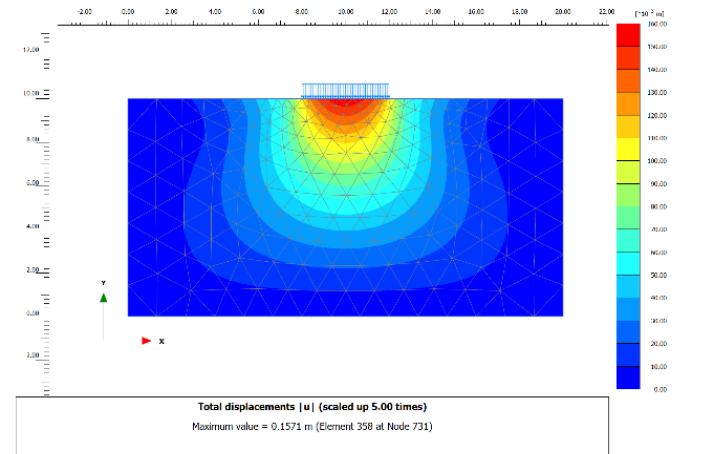
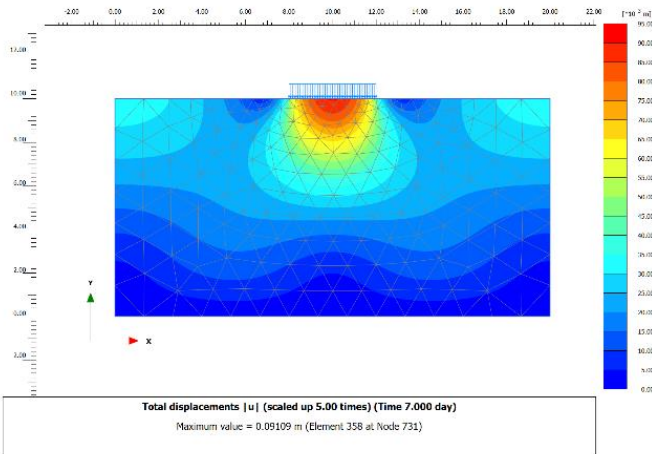
Şekil 4 (devam)



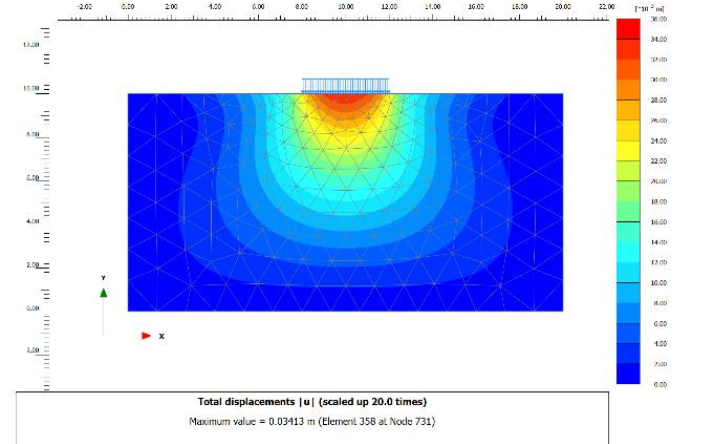
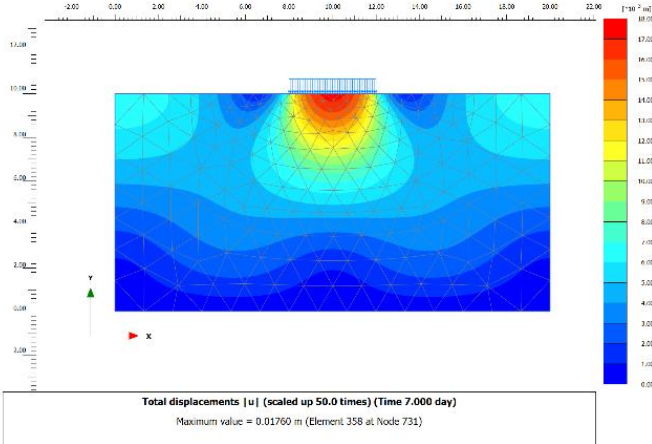
a

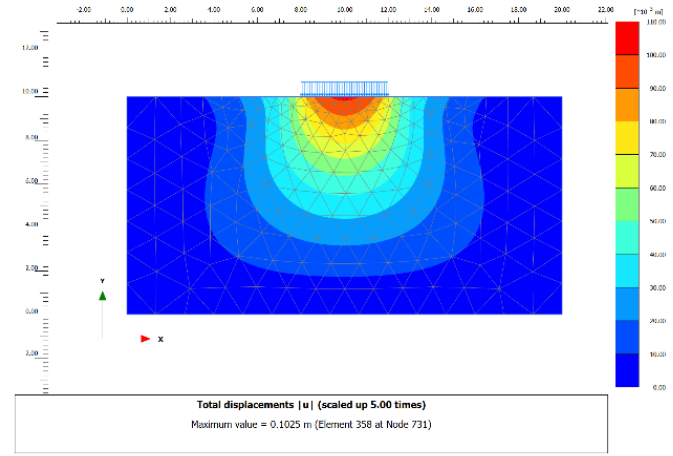
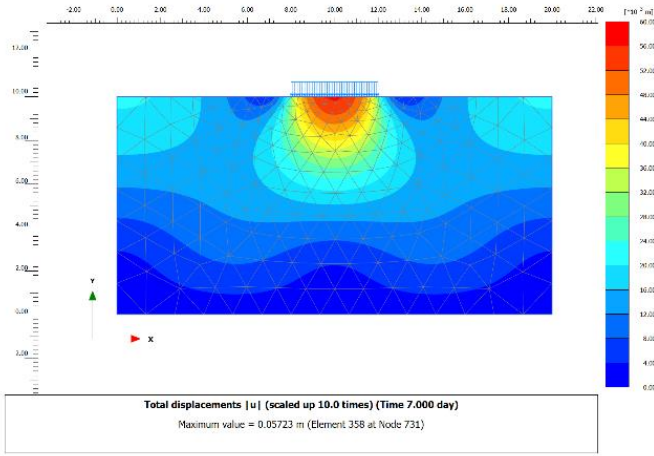
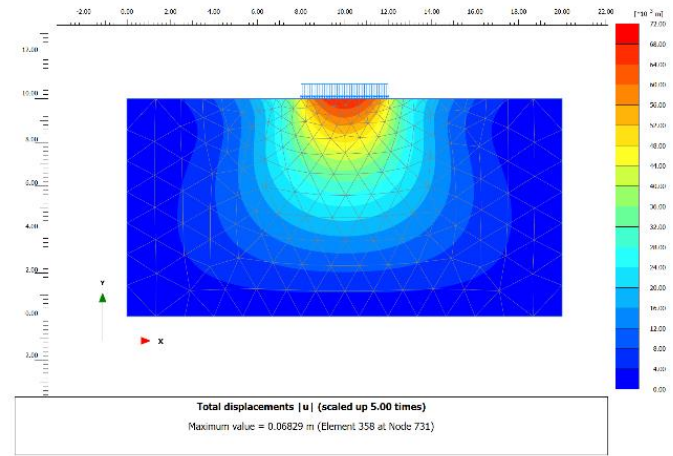
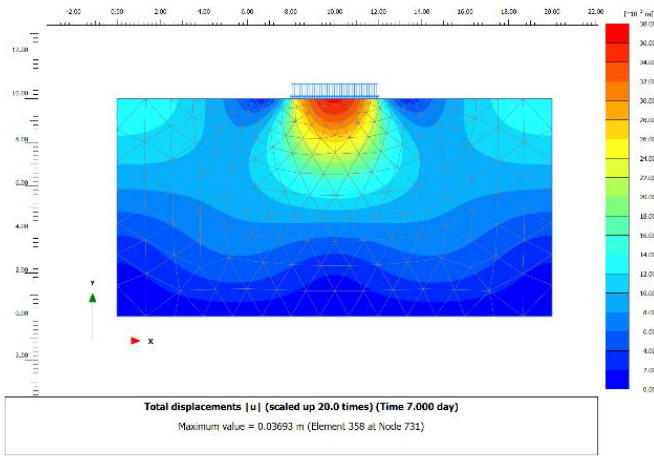
b

Şekil 5 Kumlu killi zemin + %10 çimento için a-) konsolidasyon analizi b-) Plastik analizi



Şekil 5 (devam)

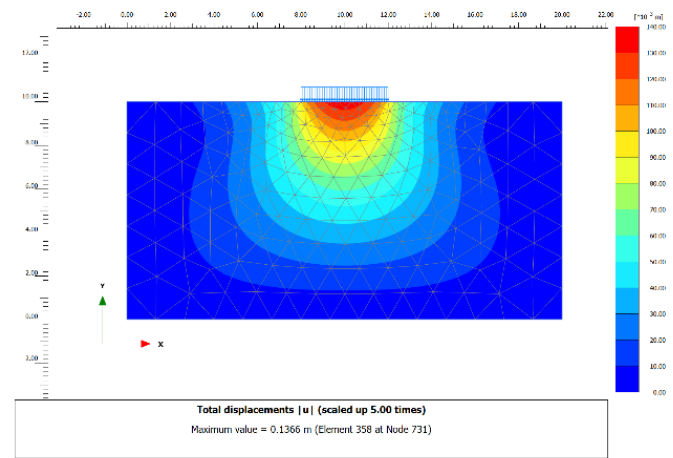
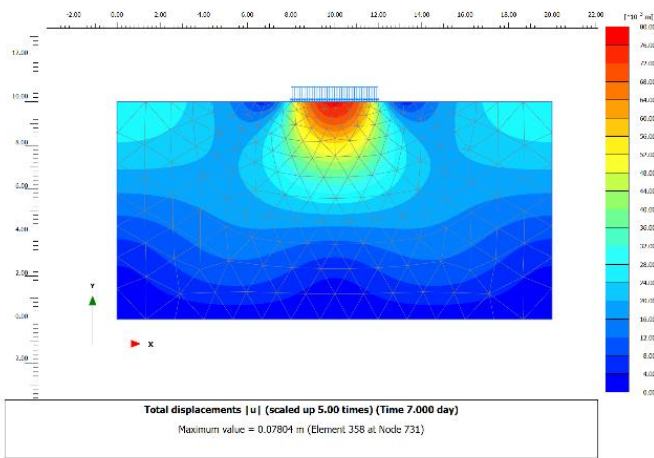


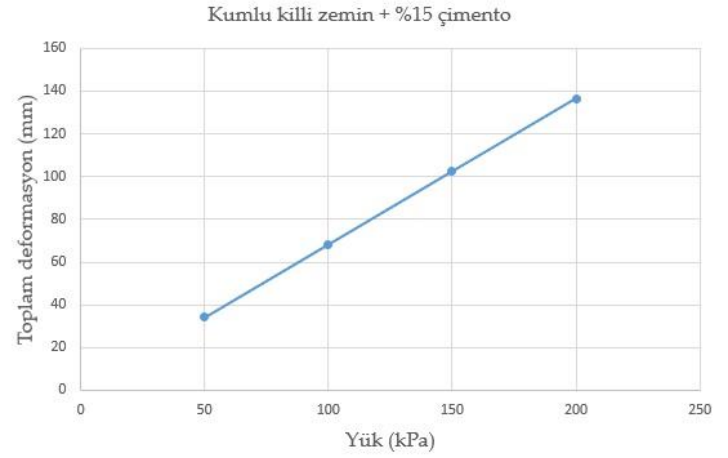


a

b

Şekil 6 Kumlu killi zemin + %15 çimento için a-) konsolidasyon analizi b-) Plastik analizi





Şekil 6 (devam)

Tablo 2a, numunenin 7 günden sonra konsolidasyon oturmasını göstermektedir. Bu tabloda çimento yüzdelerin oturma üzerinde etkisini gösterilmiştir. Sonuçlara göre en iyi sonucu veren karışım %15 çimento kum karışımıdır. Ayrıca benzer şekilde tablo 2b de plastik analiz sonuçlarına göre, %15 karışım en düşük oturma sonucu vermektedir.

Tablo 2 a-) Konsolidasyon hesap tipi b-) Plastik hesap tipi

a-) Konsolidasyon hesap tipi

Yük (kPa)	Kumlu killi zemin	Kumlu killi zemin + %5 çimento (mm)	% olarak azalma	Kumlu killi zemin + %10 çimento (mm)	% olarak azalma	Kumlu killi zemin + %15 çimento (mm)	% olarak azalma
50	24.97	22.53	9.77	20.64	17.34	17.6	29.52
100	51.99	47.24	9.14	43.23	16.85	36.93	28.97
150	80.13	72.97	8.94	66.81	16.62	57.23	28.58
200	109	99.31	8.89	91.09	16.43	78.04	28.40

b-) Plastik hesap tipi

Yük (kPa)	Kumlu killi zemin	Kumlu killi zemin + %5 çimento (mm)	% olarak azalma	Kumlu killi zemin + %10 çimento (mm)	% olarak azalma	Kumlu killi zemin + %15 çimento (mm)	% olarak azalma
50	45.64	42.17	7.60	39.25	14	34.13	25.22
100	91.31	84.37	7.60	78.53	14	68.29	25.21
150	137	126.6	7.60	117.8	14	102.5	25.20
200	182.7	168.8	7.60	157.1	14	136.6	25.23

3. Bulgular ve Sonuçlar

Plaxis 2d'nin sonuçlarına dayanarak, sonlu elemanlar analizinde çeşitli yükler ekleyerek kumlu killi zeminin toplam yer değiştirmesini araştırdık. %5 çimento ile stabilize edilmiş zemin için, artan yük ile oturma artar, ancak son uygulanan yükteki toplam oturmanın büyüklüğü, işlenmemiş kumlu killi zemine kıyasla konsolidasyon ve plastik analiz için sırasıyla 99.31 mm ve 168.8 mm'dir. Çimento ile stabilize edilmiş kumlu killi zeminin %10'u, çimento ile stabilize edilmiş zeminin %5'inden daha düşük oturma değerlerine sahipti. Bu da çimento oranı arttıkça oturma değerinin düştüğünü göstermektedir. İşlenmemiş kumlu killi zeminde görülen oturma, konsolidasyon ve plastik analiz için sırasıyla 109 mm ve 182.7 mm'dir. %15 çimentonun toplam oturması, konsolidasyon ve plastik analiz için sırasıyla 78.04 mm ve 136.6 mm'dir. %15 çimento ile kumlu killi zeminin iyileştirilmesinin oturmayı daha da iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Plastik hesabında oturma değeri konsolidasyon oturmasına göre daha yüksek çıkmıştır. Buradan, konsolidasyon oturması, plastik oturmaya göre zamana bağlı olduğu için killi zeminlerde daha yavaş gerçekleşmektedir.

Referanslar

- [1] Nelson, J. D., Chao, K. C., Overton, D. D., & Nelson, E. J. (2015). Foundation Engineering for Expansive Soils (1st ed.). Wiley.



- [2] Kalantari, B. (2012). Foundations on expansive soils: a review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(18), 3231-3237.
- [3] Al-Busoda, B. S., & Al-Taie, A. J. (2010). Statistical estimation of the compressibility of Baghdad cohesive soil. *Journal of Engineering*, 16(4), 5863-5876.
- [4] Al-Jeznawi, D., Sanchez, M., Al-Taie, A. J., & Zielinski, M. (2019). Experimental studies on curling development of artificial soils. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(6), 1264-1273.
- [5] Arulrajah, A., Piratheepan, J., Disfani, M. M., & Bo, M. W. (2012). Geotechnical and geoenvironmental properties of recycled construction and demolition materials in pavement subbase applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(8), 1077-1088.
- [6] Bhavsar, S. N., Joshi, H. B., Shorf, P. K., & Patel, A. J. (2014). Effect of burnt brick dust on engineering properties on expansive soil. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3 (4) 2319-1163.
- [7] Teunissen, H., & Zwanenburg, C. (2017). Modelling strains of soft soils. *Procedia Engineering*, 175, 165-174.
- [8] Moriwaki, Y., Idriss, I. M., & Doyle, E. H. (1982). Earthquake-induced deformations of soft clay slopes. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 108(11) 12-19.
- [9] Fu, Z., Wang, G., Song, W., Yu, Y., Wei, P., & Wu, T. (2021). Deformation behavior of saturated soft clay under cyclic loading with principal stress rotation. *Applied Sciences*, 11, 1-17.
- [10] Por, S., Nishimura, S., & Likitlersuang, S. (2017). Deformation characteristics and stress responses of cement-treated expansive clay under confined one-dimensional swelling. *Applied Clay Science*, 146, 316-324.
- [11] Georg Heerten, Improvement of Soil Properties, Bratislava on June 4 – 5, 2007.
- [12] Paudel, Ekananda; Dossa, Gbadamassi G.O.; de Blécourt, Marleen; Beckschäfer, Philip; Xu, Jianchu; D. Harrison, Rhett (2016): Appendix C. Soil properties. Wiley.
- [13] Obrzud, R., & Truty, A. (2012). The hardening soil model - A practical guidebook. Technical Report Z. Soil.PC 100701, revised 31.01.2012.
- [14] İnan, H. (2019). Çimento-kumlu kil karışım oranlarının mekanik özelliklerinin araştırılması. İ.A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.