

SIVILAŞABİLİR ZEMİNLERİN TAŞ KOLON VE JET GROUT İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

THE IMPROVEMENT OF LIQUEFIABLE SOILS BY STONE COLUMN AND JET GROUTING

Yusuf KAYAN¹, Murat TONAROĞLU², Murat E. SELÇUK³

ÖZET

Bu çalışmada, son yıllarda dünyada yaygın olarak kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerinden taş kolon ve jet grout tekniği kullanılması, üzerinde bir dolgu yer alan bir zemin profilinin sıvılaşma davranışı üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, zemin Plaxis programı ile iki boyutlu olarak modellenmiş ve model tabandan sismik bir harekete maruz bırakılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli olan gevşek kum zemin modellenirken UBC3D-PLM bünye modeli kullanılmıştır. Sismik hareketle oluşan tekrarlı yüklemeler sonucu gevşek kum zemin tabakasında aşırı boşluk suyu basıncı artışı ve bu duruma bağlı olarak sıvılaşma ve buna bağlı olarak taşıma gücü kaybı ve yüksek mertebeli deformasyonlar oluşmuştur. Taş kolon ve jet grout uygulamalarıyla gerçekleştirilen zemin iyileştirme işlemi sonrasında ise boşluk suyu basıncı ve deformasyon ya da şekil değiştirme mertebelerinde önemli ölçüde azalma gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, taş kolon, jet grout, zemin iyileştirme, nümerik analiz.

ABSTRACT

In this study, the effects of the use of stone column and jet grout technique, which are widely used soil improvement methods, on the liquefaction behavior of a soil profile under a compacted fill were investigated. For this purpose, the soil profile was modeled by 2D Plaxis program and the model was subjected to a seismic load from the base. The UBC3D-PLM model was used while modeling the loose sand soil of liquefaction potential. As a result of cyclic loadings caused by seismic load, the increase of excessive pore water pressure in the loose sand soil layer, liquefaction depending on this situation, and accordingly loss of bearing capacity and deformations of a high order have occurred. After

¹ İnş. Müh., YTÜ Fen Bilimleri Geoteknik ABD YL Öğrencisi, yusufkayan13@gmail.com (Sorumlu yazar)

² Dr.Öğr.Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi-İstanbul, tonar@yildiz.edu.tr

³ Dr.Öğr.Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi-İstanbul, meselcuk@yildiz.edu.tr

the soil improvement applications with stone column or jet grouting, a significant decrease was observed in the pore water pressure ratios and deformation and/or displacement levels.

Keywords: *Liquefaction, stone column, jet grouting, soil improvement, numerical modelling.*

1. GİRİŞ

Kuvvetli yer hareketi nedeniyle zeminde oluşması olası önemli mühendislik problemlerinden birisi de sıvılaşmadır. Suyu doygun kumlu ve/veya düşük plastisiteli siltli zeminlerde tekrarlı yükler altında boşluk suyu basıncının artması ve bu durumun sonucunda oluşacak mukavemet kaybı ile zeminlerde sıvılaşma meydana gelmektedir. Deprem nedeniyle oluşan sıvılaşma sonucu, sıvılaşan zemin içeren bir zemin profilinde yer alan yapılarda farklı tür ve mertebede hasarlar meydana gelebilmektedir.

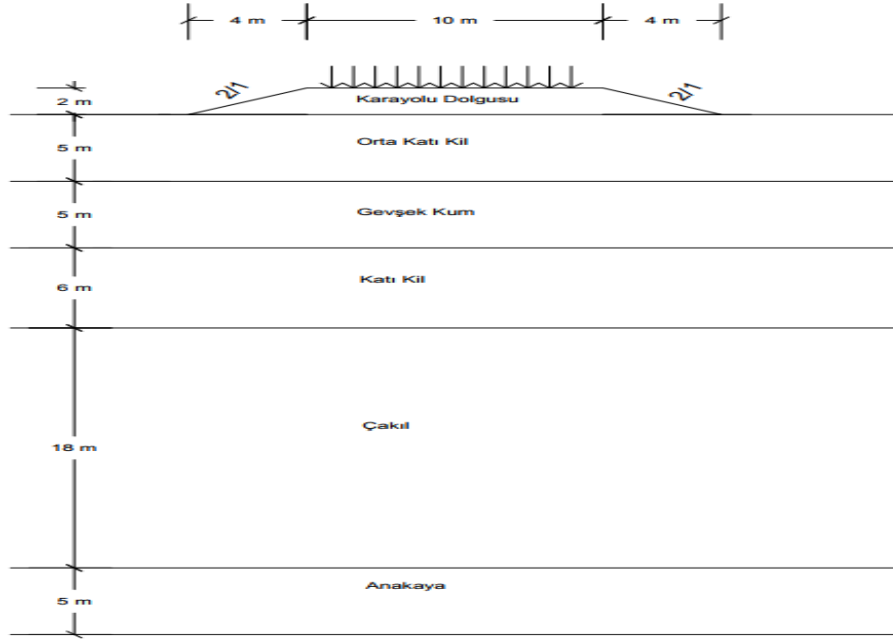
Bu çalışmada, zayıf zemin tabakalarının yerinde iyileştirilmesi için kullanılan taş kolonlar ve jet grout elemanların, zemin özelliklerinin iyileştirilmesi, taşıma gücünün artırılması ve oturmaların azaltılması yönünden etkinliklerinin, sıvılaştırılabilir bir zeminin bulunduğu bir arazide, sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılması amaçlanmıştır. Taş kolonlar ve jet grout elemanların yapım yöntemleri ve uygulama örnekleri incelenerek, zemin tabakalarında sıvılaşma sebebiyle meydana gelecek oturmalar ve taşıma gücü kayıplarının belirlenebilmesi için sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis programından yararlanılarak hesaplar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, inceleme amaçlı olarak Plaxis 2D sonlu elemanlar programında, üzerinde bir dolgu yer alacak bir zemin profili oluşturularak bu profil için gerekli parametreler belirlenmiştir.

2.1. Sayısal Modelin Oluşturulması

Zemin profilinin geometrisi, yapının model sınırlarından etkilenmemesi için 160 metre genişliğe ve 39 metre derinliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Yeraltı su seviyesi -1.0 metre kotundan başlamaktadır. Analizde kullanılacak model; dolgu, 4 zemin tabakası ve anakayadan meydana gelmektedir. Profil; 5 metre orta-katı kil, 5 metre sıvılaşma potansiyeli yüksek gevşek kum tabakası, 6 metre katı kil, 18 metre çakıl tabakası ve tabanda anakaya olacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Model Geometrisi

2.2. Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi

Modeldeki zemin tabakalarına ait olarak seçilmiş parametreler aşağıda tablolar halinde sunulmuştur.

Tablo 1. HSsmall zemin parametreleri

Parametreler	Zemin Tabakaları		
	Orta Katı Kil	Katı Kil	Çakıl
E_{50} (MPa)	25	40	65
c' (kPa)	5	12	1
ϕ'	29	30	34
$\gamma_{0,7}$	0,00023	0,00040	0,00017
G_o^{ref} (MPa)	65	90	125

Dinamik analizlerde gevşek kum tabakası için UBC3D malzeme modeli parametreleri girilmiş ve dinamik durum için bu zemin tabakası kullanılmıştır.

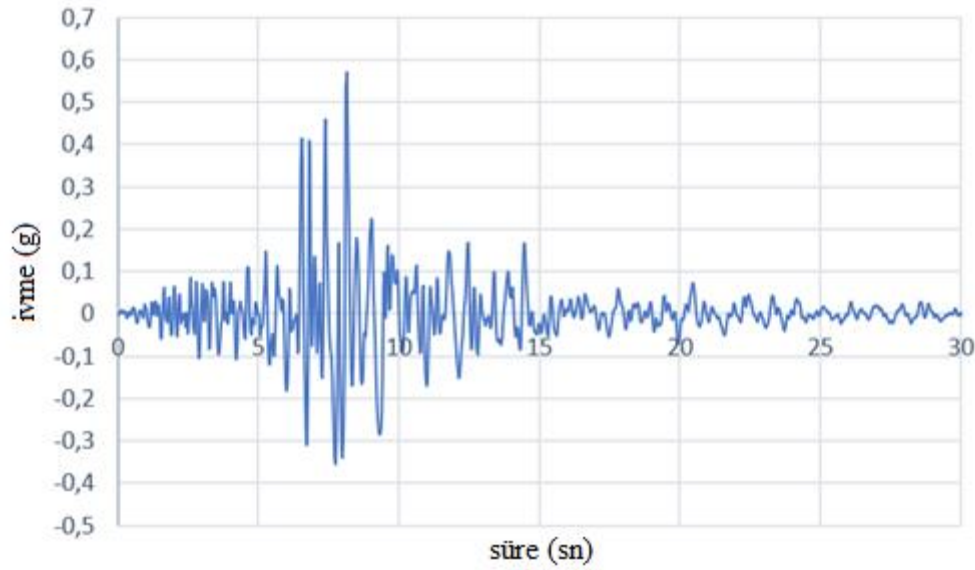
Tablo 2. UBC3D-PLM modelde kullanılan zemin parametreleri

Sembol	Değer
$\phi_{cv} (^{\circ})$	29
$\phi_p (^{\circ})$	29,5
c (kPa)	2
R_f	0,864
$(N_1)_{60}$	5

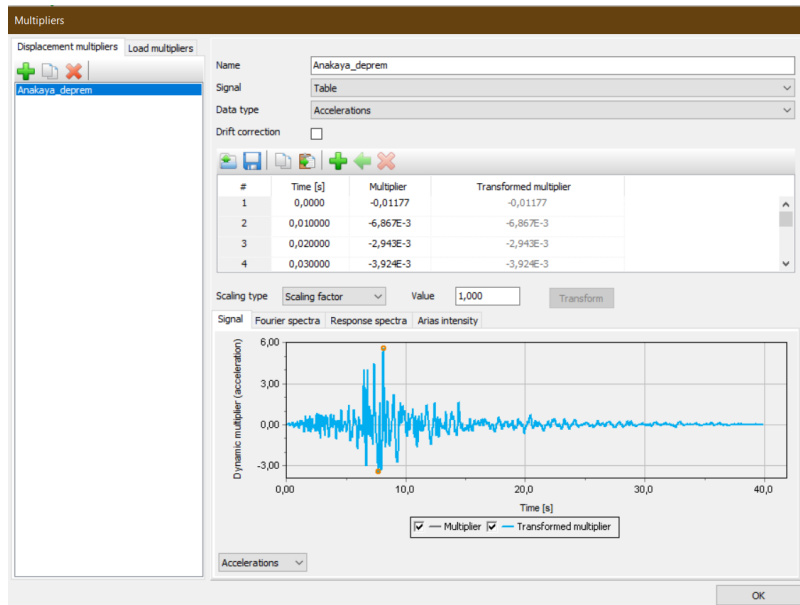
2.3. Deprem Kaydının Girilmesi

Bu çalışmada kullanılmış olan deprem kaydına ait ivme-zaman grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Bir doğrultuda deprem kaydı alınmış olup; deprem süresi 30 saniye ve

maksimum PGA değeri 0,58g (5,69 m/s²)'dir. Kayıtın programa tanımlanması ise Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. İvme-deprem süresi



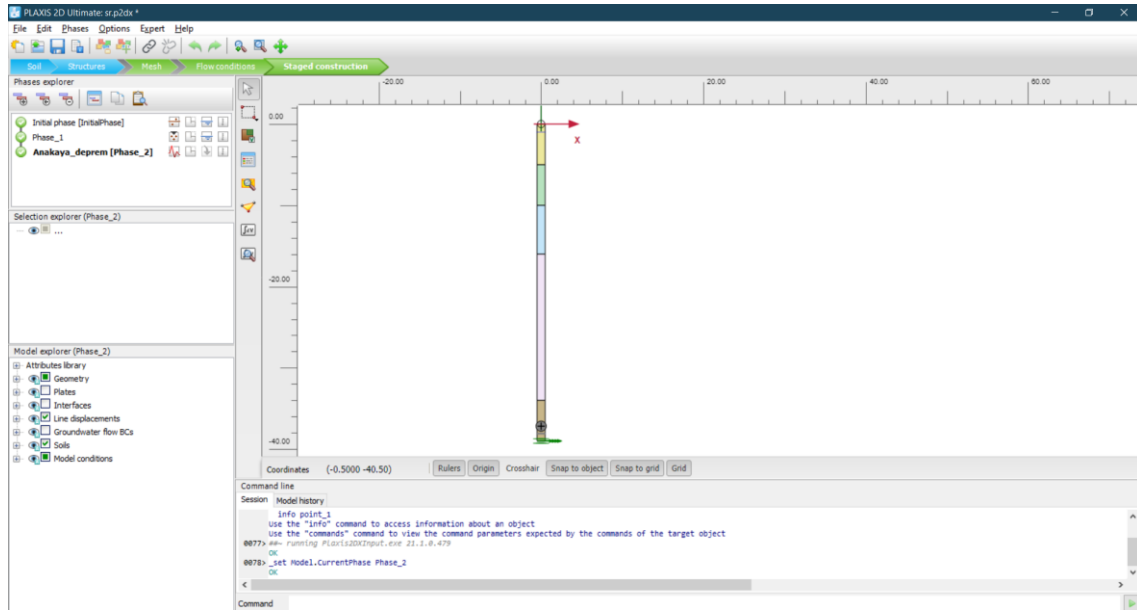
Şekil 3. Deprem kaydının programa girilmesi

Öncelikle sahaya özel davranış analizi yapılarak serbest saha yer değiştirmeleri, spektral ivme değişimleri elde edilmiştir. Deprem hareketi, profil 39 m seçilmekle birlikte; 25. metreden itibaren etkiyecek şekilde tanımlanmıştır. Sahaya özel davranış analizinden elde edilen 25. metredeki deprem verileri model tabanına etkililerek dinamik analiz kısmına geçilmiştir. Dinamik analiz ilk adımında; K0 prosedürü uygulanarak başlangıç adımı oluşturulmuştur.

3. DİNAMİK ANALİZLER

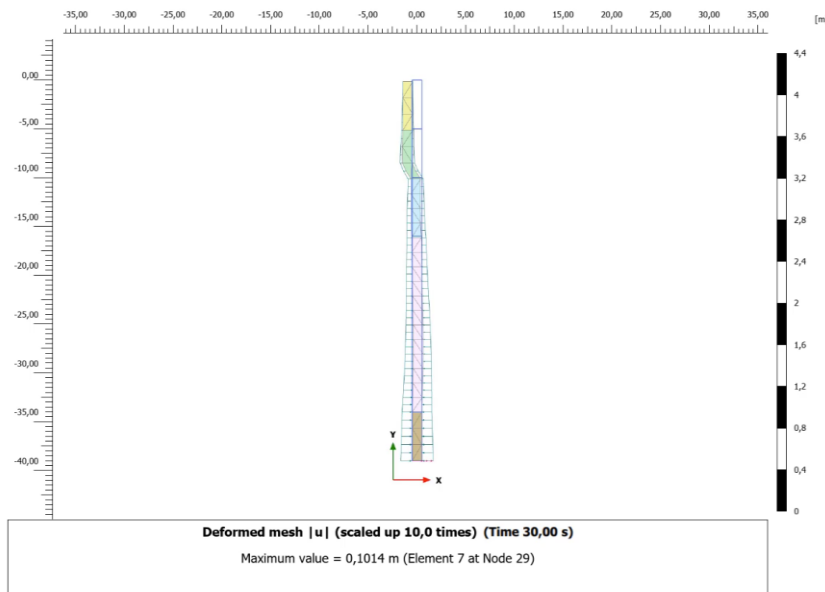
3.1. Sahaya Özel Davranış Analizi

Bu aşamada program bünyesinde yer alan saha davranış analizi (site response analysis) ile zemin tabakalarına ait bir boyutlu (1D) zemin kolonu oluşturulmuştur (Şekil 4). Program otomatik olarak; deprem girdi hareketini verebilmek için model tabanına x yönünde 0,5 m büyüklüğünde öntanımlı deplasman (prescribed displacement) uygulamıştır. (Brinkgreve vd, 2011)



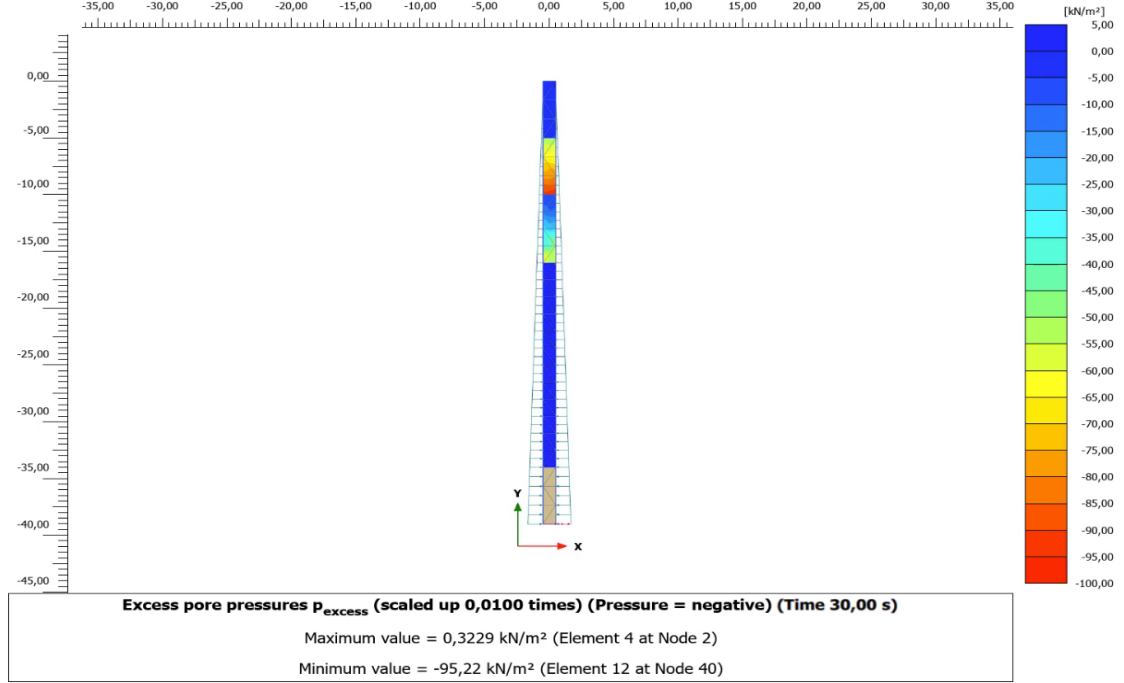
Şekil 4. Bir boyutlu zemin kolonu

Analiz gerçekleştirilmeden önce program bu zemin kolonunu alt katmanlara bölerek çok sayıda düğüm noktası oluşturmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6’da analiz sonuçları gözükmemektedir.



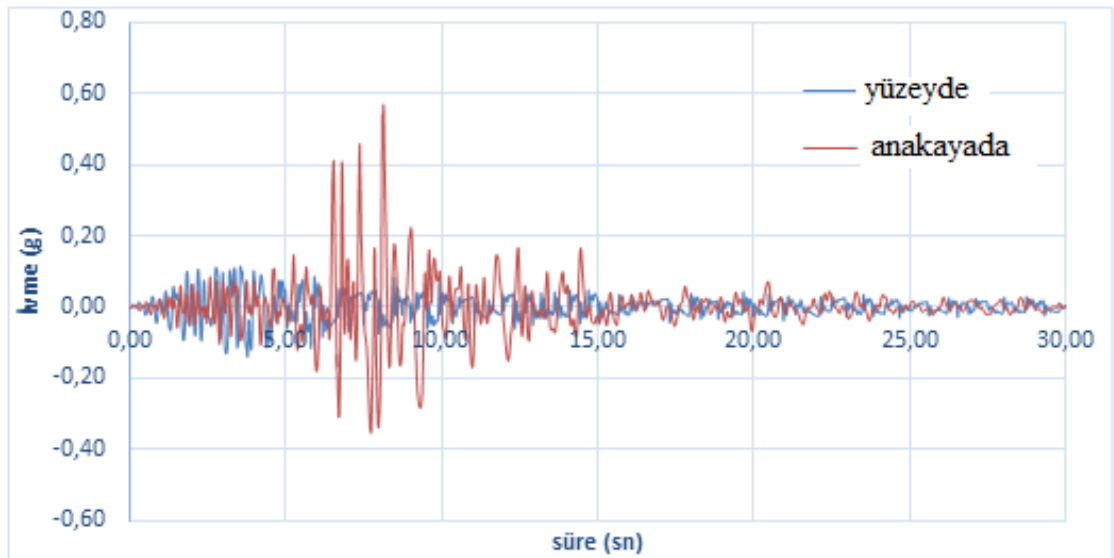
Şekil 5. Analiz sonrası deformasyon

Modele ait deformasyon şeklinden anlaşılacağı üzere gevşek kum tabakasında sıvılaşmaya bağlı yüksek mertebeli deformasyon oluşmuştur. Benzer şekilde, deprem hareketi sonucu gevşek kum zeminde yüksek oranda boşluk suyu basıncı artışı gözlenmiştir (Şekil 6).

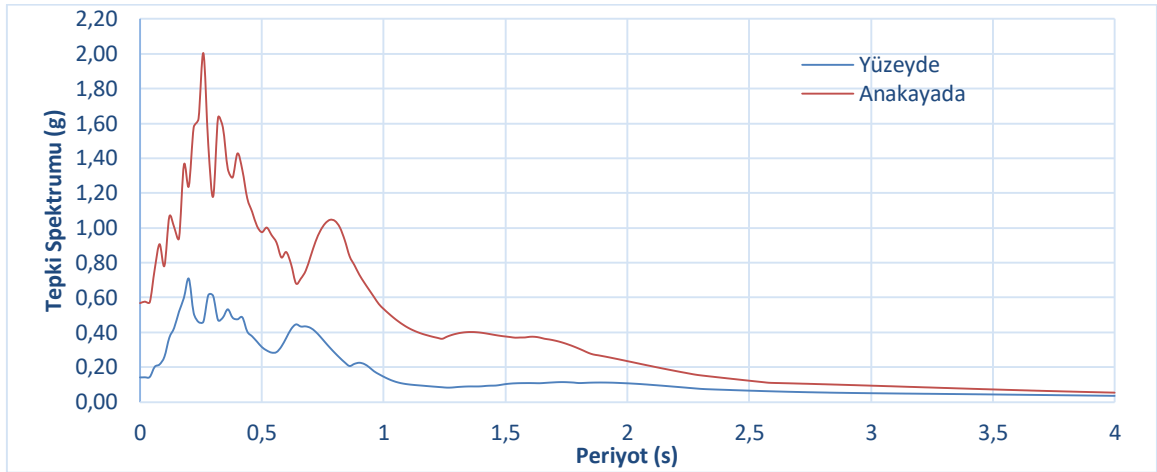


Şekil 6. Boşluk suyu basıncı artışı

Aşağıdaki Şekil 7 ve Şekil 8’de sırasıyla saha davranış analizinden elde edilen deprem girdisine ait yüzeyde ve anakayada ivme-zaman ve tepki spektrumu-periyot grafikleri bulunmaktadır. Yüzeydeki ivmelerin düşük değerlerde kalmasının gevşek kum tabakasında görülen sıvılaşma sebebiyle olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 7. Yüzeyde ve anakayadaki ivmenin zaman ile değişimi

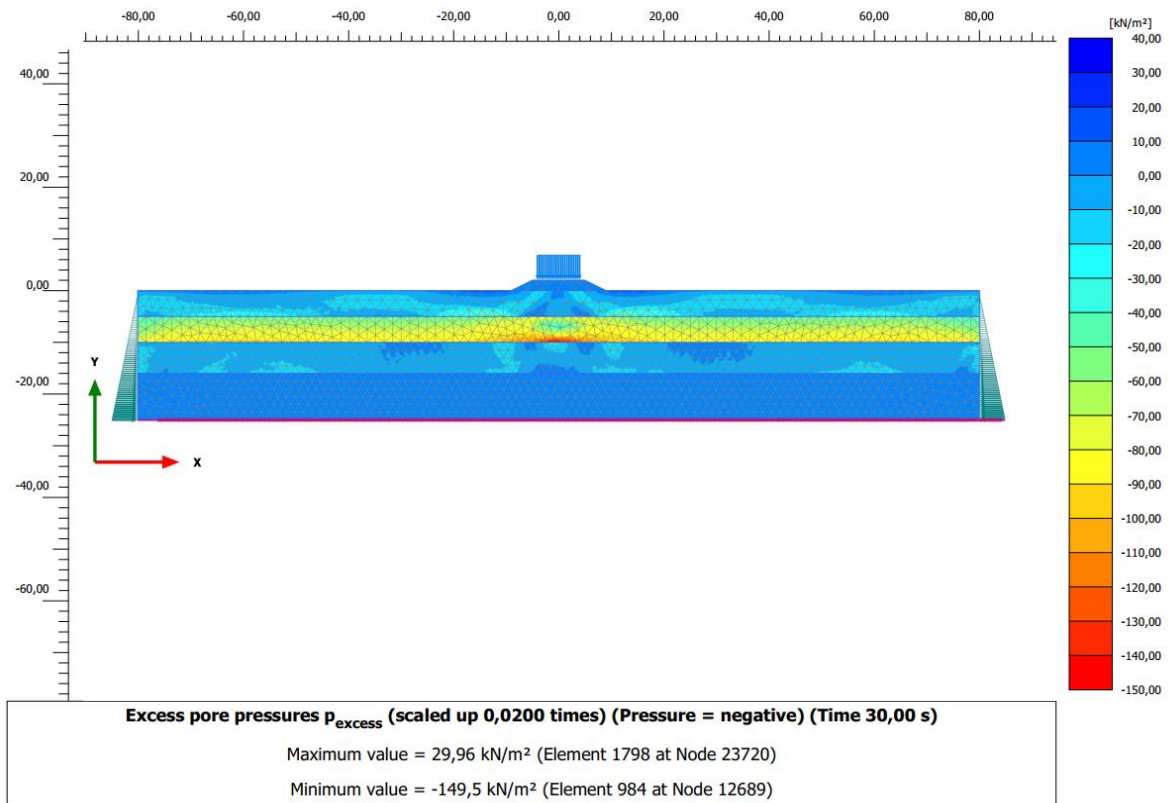


Şekil 8. Yatay tepki spektrumları

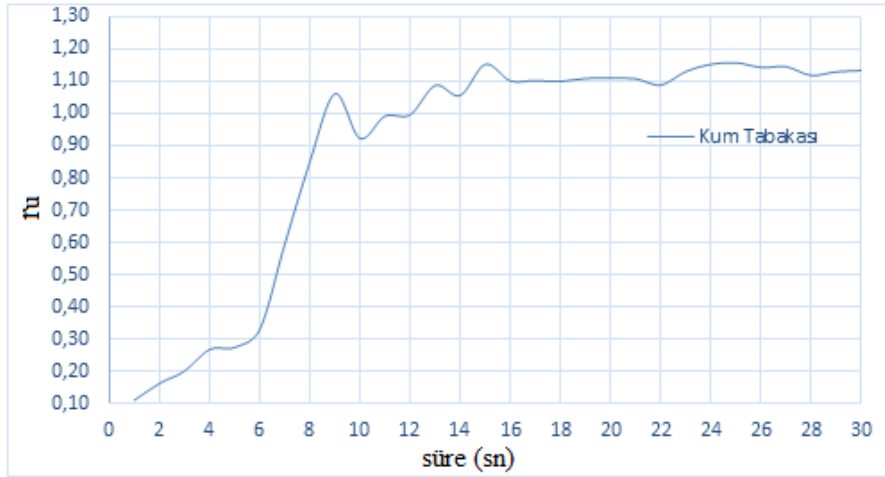
3.2. Model Dinamik Analizleri

Profilin, iyileştirme yapılmamış durumda deprem etkisi altındaki performansını belirlemek amacıyla dinamik analiz yapılmıştır. Modelin taban sınırı 25 metre olarak belirlenip; deprem dalgaları modele bu noktadan etkilmiştir.

Şekil 9 ve Şekil 10'dan anlaşılabacağı üzere gevşek kum tabakasında dinamik tekrarlı yükler altında boşluk suyu basınçlarında artışlar olmuştur. Depremin yaklaşık sekizinci saniyesinde boşluk suyu basınç oranı kritik duruma ulaşmış ve zeminde sıvılaşma meydana gelmiştir.

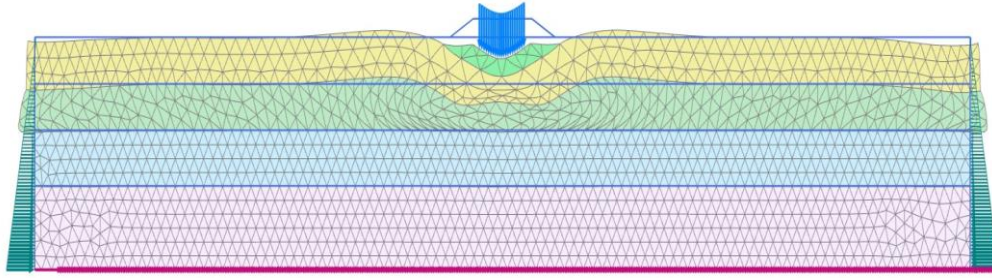


Şekil 9. Boşluk suyu basıncı artışı



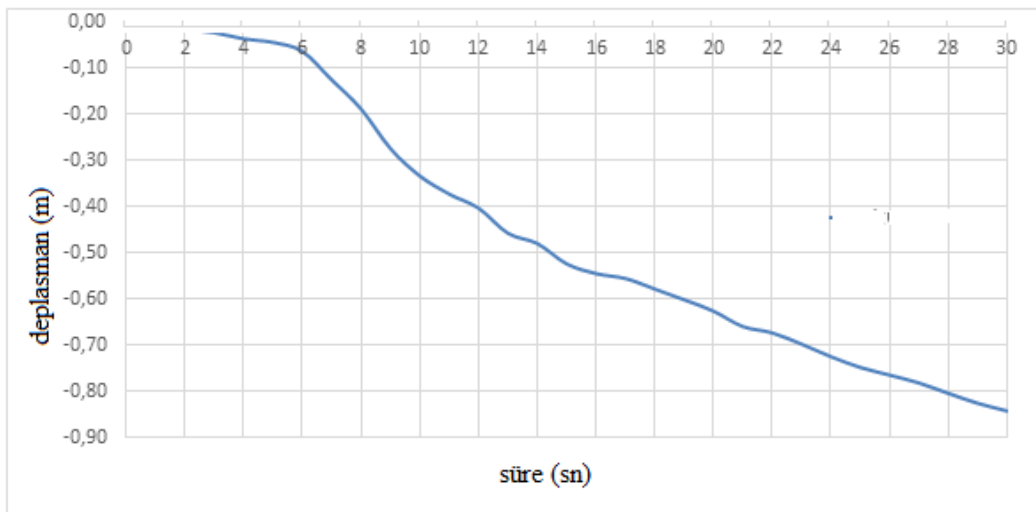
Şekil 10. Boşluk suyu basıncı oranının (r_u) zaman ile değişimi

Analiz sonrası deforme olmuş model **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**de görüldüğü gibidir. Gevşek kum birimindeki kayma mukavemetinde azalmaya bağlı olarak dolgunun üzerinde yer aldığı zeminde taşıma gücü kaybı meydana gelmiştir.



Şekil 11. Analiz sonucunda profilde oluşan deformasyonun görünümü

Şekil 12'de meydana gelen düşey deplasmanın zamana bağlı grafiği görülmektedir. Dolgu altında deprem sonunda gerçekleşen maksimum düşey deplasman değeri 84,1 cm olmuştur.



Şekil 12. Dolgu altında oluşan deplasman

3.3. Zemin İyileştirmeleri

Önceki bölümde analizi yapılan zeminde sıvılaşmaya bağlı boşluk suyu basınçlarında artış bunun sonucunda taşıma gücü kaybı meydana gelmiştir. Bu durumu elimine etmek için veya en azından kabul edilebilir seviyeye düşürmek için 2 farklı iyileştirme durumunun analizi yapılacaktır. Bunlar taş kolon ve jet grout uygulamaları olup; her iki durum için sonlu elemanlar yöntemiyle analizler yapılmıştır. Taş kolon ve jet grout uygulamaları için alınan parametreler Tablo 3 ve Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Taş kolon parametreleri

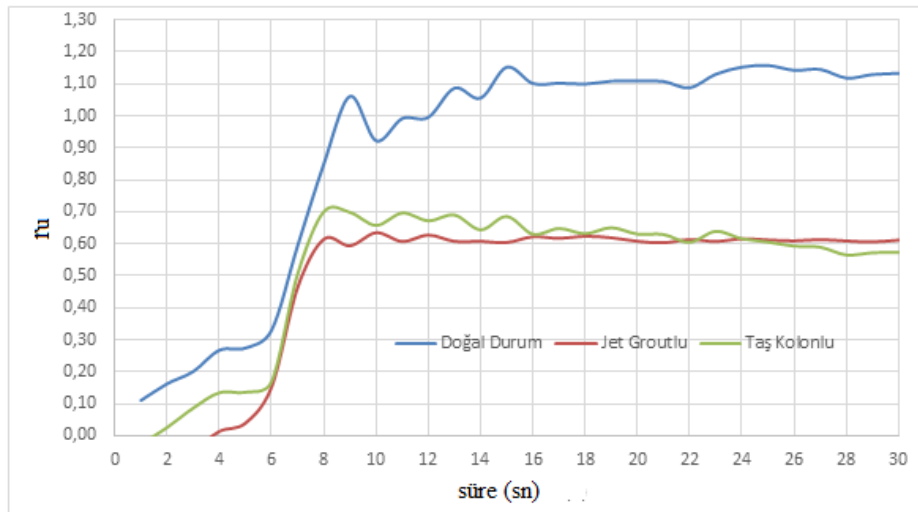
Parametreler	Taş Kolon
Malzeme Modeli	HSsmall
γ_n / γ_{sat} (kN/m ³)	20 / 21
E_{50} (MPa)	150
G_o^{ref} (MPa)	190

Tablo 4. Jet grout parametreleri

Parametreler	Jet Kolon
Çap (m)	0,80
E (GPa)	1.0
γ (kN/m ³)	23.0
$L_{spacing}$ (m)	1,80

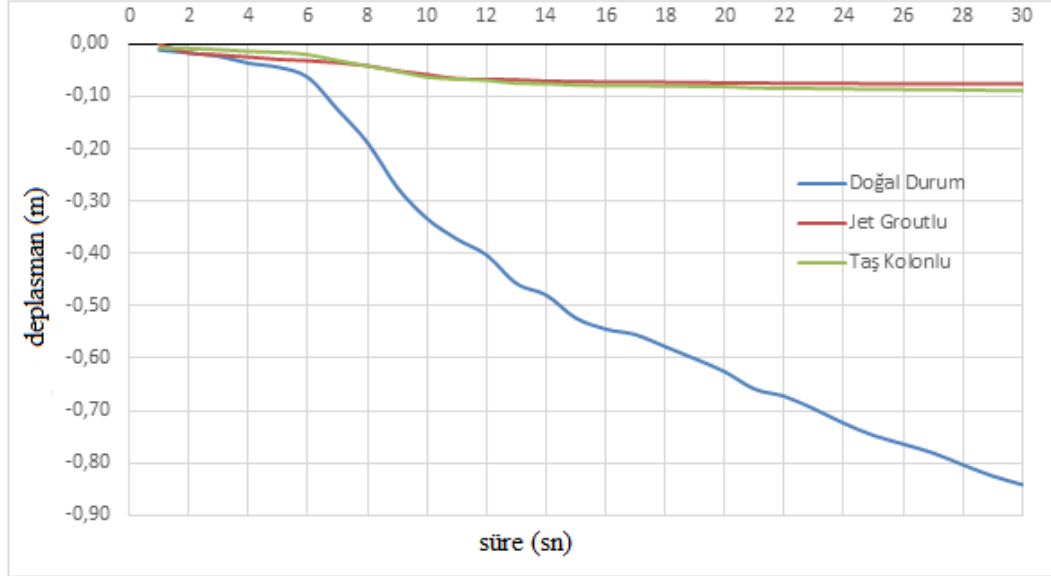
3.4. İyileştirilme İşlemi Sonrası Durumu için Analiz Sonuçları

Şekil 13’de jet grout ve taş kolon iyileştirmesine ait boşluk suyu basınç oranı zaman grafiği gösterilmiş ve iyileştirilmemiş durumla karşılaştırılmıştır. Jet grout ve taş kolon ile iyileştirme sonrasında boşluk suyu basınç oranlarının 0.6-0.7 mertebelerinde kaldığı görülmüştür.



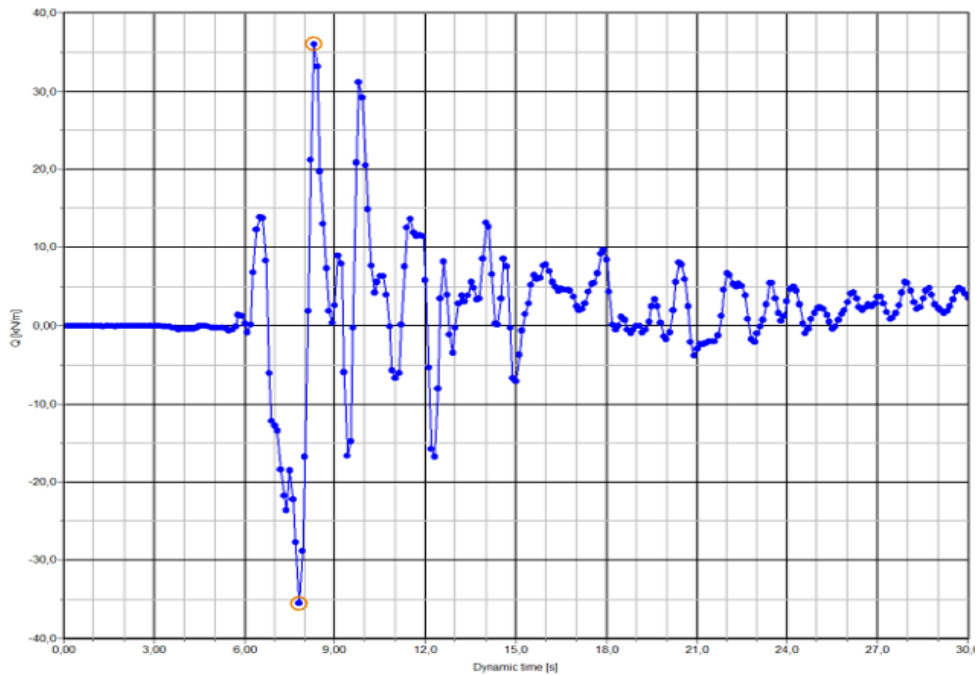
Şekil 13. Boşluk suyu basıncı oranlarının (r_u) zaman ile değişimlerinin karşılaştırılması

Benzer şekilde deplasmanlar incelendiğinde; bu değer, maksimum, jet grout uygulamalı iyileştirmede 7,6 cm, taş kolon uygulamalı iyileştirmede ise 8,9 cm olarak görülmektedir (Şekil 14).

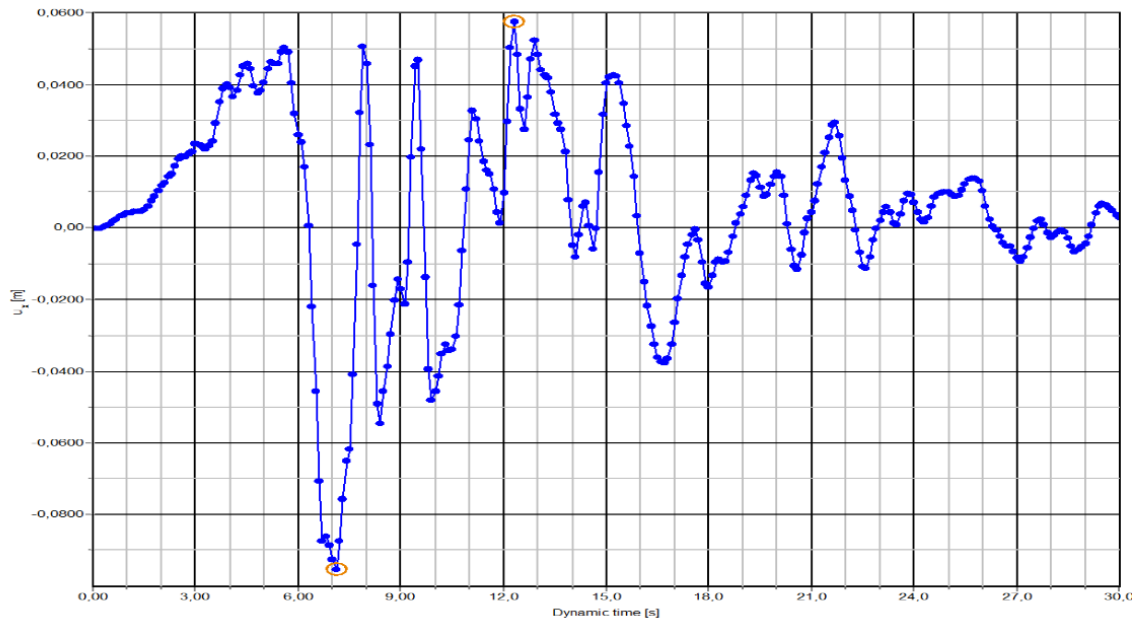
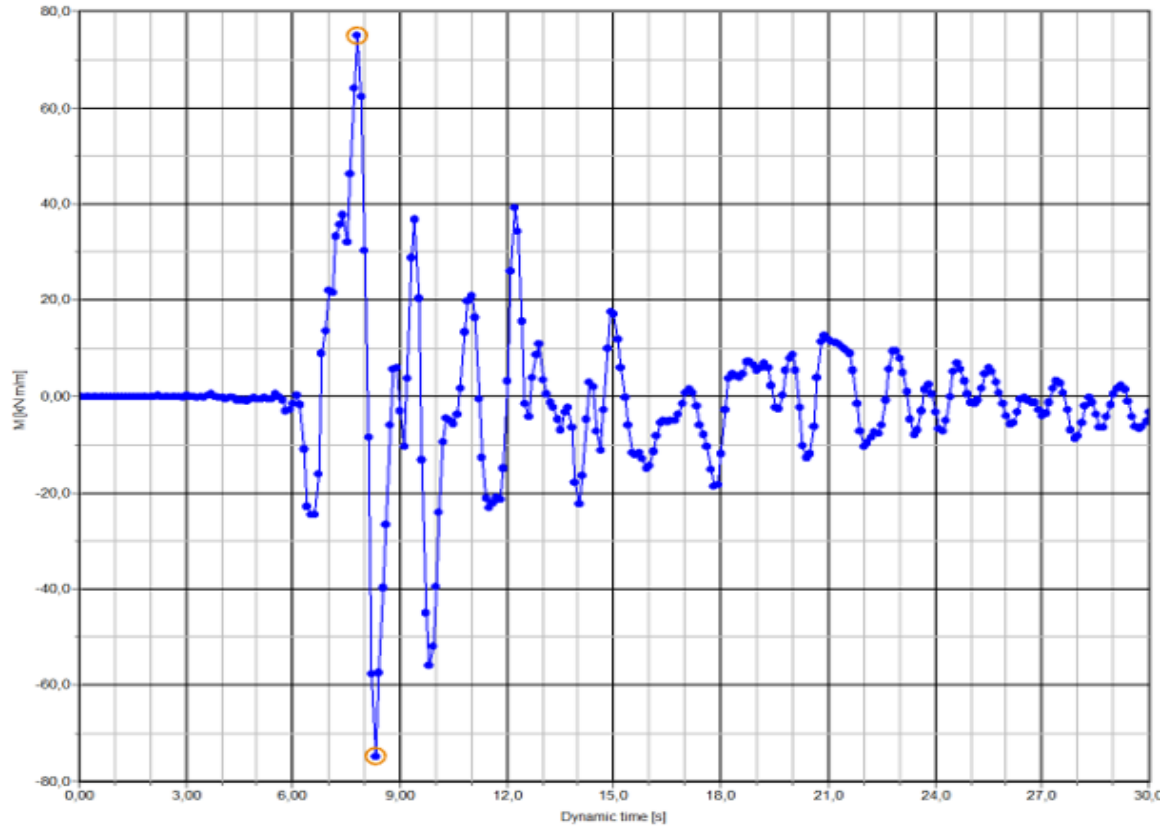


Şekil 14. Deplasmanların karşılaştırılması

Şekil 15 ve Şekil 16'da jet grout kazıklarının zamana bağlı kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri gösterilmiştir. Maksimum kesme kuvveti ve eğilme momenti sırasıyla 36 kN/m ve 75 kN.m/m'dir. Şekil 17'de kazıkların zamana bağlı yanal deplasmanları gösterilmiştir. Maksimum yanal deplasman depremin 7. saniyesinde 9,4 cm olmuştur.



Şekil 15. Zamana bağlı kesme kuvvetinin değişimi



4. SONUÇLAR

Sıvılaşma potansiyeli yüksek bir gevşek kum tabakasının yer aldığı bir zemin profilinde, Plaxis programı kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada jet grout ve taş kolon uygulamasının sıvılaşma riskini azaltan veya ortadan kaldırabilen zemin iyileştirme yöntemleri olarak kullanılabileceği görülmektedir. Böylece, yapılan iyileştirme sonucunda aşırı boşluk suyu basıncı değerleri sınırlı kalmakta ve aynı zamanda zeminde oluşturduğu mukavemet kazanımı etkisi ile de zeminin taşıma kapasitesi artmakta ve zeminde meydana gelmesi olası yüksek mertebeli deplasmanlar azalmaktadır.

KAYNAKLAR

Brinkgreve, R.B.J., Swolfs W.M., Engin E., PLAXIS User's Manual, PLAXIS, The Netherlands, 2011.