

Farklı Kat Yüksekliğine Sahip Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Altındaki Davranışları

Behavior of Structures with Different Floor Heights Under Static and Dynamic Loads

Gülbahar ÜNAL¹, Süleyman GÜCEK²

ÖZET

Bu çalışmada, farklı kat yüksekliğine sahip yapılar ele alınarak, bu yapıların statik ve dinamik yükler altındaki davranışları incelenmiştir. İnceleme için iki boyutlu Plaxis programı kullanılmıştır. Yapılar, hem zemin iyileştirmesi yapılmış hem de zemin iyileştirmesi yapılmamış olarak değerlendirilmiştir. Statik analizlerde düşey yükler, dinamik analizlerde ise farklı deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. Zemin etüt ve jeofizik raporlarına göre, bölgedeki zemin alüvyon olup büyük kısmı kum zeminlerden oluşmaktadır. Bu zeminlerde sıvılaşma ve oturma riski olduğu tespit edilmiştir. Zeminin taşıma kapasitesinin düşük olduğu öngörülerek, Jet Grout yöntemleriyle iyileştirme yapılması önerilmiştir. Jet Grout uygulamaları farklı karelajlarda gerçekleştirilmiştir. Statik analiz sonuçları, zemin iyileştirmesi yapılmamış durumlarda düşey deformasyonların oturma sınır değerlerinin üzerinde olduğunu göstermiştir. Dinamik analizler, temel seviyesinde ve yapıda hasara yol açabilecek düşey deformasyonlar meydana geldiğini göstermiştir. Ancak Jet Grout ile yapılan iyileştirme sonrası, statik analizlerde deformasyonlar önemli ölçüde azalmıştır. Dinamik analizlerde ise, jet aralıkları azaldıkça düşey deformasyon değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, Jet Grout ile zemin iyileştirmenin deformasyonları önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Sonlu elemanlar yöntemi, dinamik analiz, statik analiz, zemin iyileştirme, plaxis2d.*

ABSTRACT

In this study, structures with different storey heights were considered and their behaviors under static and dynamic loads were investigated. Two-dimensional Plaxis program was used for the investigation. The structures were evaluated both with and without ground improvement. Vertical loads were used in static analyses, and different earthquake acceleration records were used in dynamic analyses. According to ground survey and geophysical reports, the ground in the region is alluvial and mostly consists of sand. It was determined that there is a risk of liquefaction and settlement in these grounds. It was suggested that the bearing capacity of the ground was low and that improvement should be made with Jet Grout methods. Jet Grout applications were carried out in different grids.

¹Yüksek Lisans Öğrencisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, baharrunal03@gmail.com

²Dr.Öğr.Üyesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, sgucek@aku.edu.tr (Sorumlu yazar)

Static analysis results showed that vertical deformations were above the settlement limit values in cases where ground improvement was not made. Dynamic analyses showed that vertical deformations that could cause damage occurred at the foundation level and in the structure. However, after the improvement with Jet Grout, deformations decreased significantly in static analyses. In dynamic analyses, a decrease in vertical deformation values was observed as the jet intervals decreased. As a result, it was found that ground improvement with Jet Grout significantly reduced deformations.

Keywords: Finite element method, dynamic analysis, static analysis, ground improvement, plaxis2d.

1. GİRİŞ

Zemin iyileştirme yöntemleri, binaların güvenliğini, dayanıklılığını ve zeminin taşıma kapasitesini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Modern zemin iyileştirme yöntemleri, 1960'larda gelişmeye başlamış ve o zamandan beri gelişmeye devam etmiştir (Evans vd., 2021). Son yıllarda artan nüfus doğrultusunda taşıma gücü düşük yumuşak zeminler üzerine bina talepleri ortaya çıkmıştır. Yumuşak zeminler, özelliklerinden dolayı bina yüklerinde etkisiyle farklı oturmalara maruz kalmaktadırlar (Wulandari vd., 2015). Taşıma gücü düşük zeminlerde meydana gelen depremlerin etkisiyle, zeminde meydana gelen oturma miktarlarında artış göstermektedir. Bu yüzden dinamik yükler altında bina-zemin davranışının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Günümüz çalışmalarında bina ve zemini birlikte analiz etmek mümkün hale gelmektedir. Parçadan bütüne gitme genel prensibine dayanan Plaxis 2D programı ile, zemin ve yapı birlikte analiz edilebilmektedir (Lu vd., 2003). Sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan Plaxis 2D yazılımı, jet grout imalatının zemin üzerindeki etkilerini ve oturma davranışlarını analiz etmede yaygın olarak tercih edilmektedir (Liu vd., 2018). Jet grout kolonlarının zemin iyileştirme üzerindeki etkilerini modellemek için Plaxis 2D'nin uygulandığı çalışmalar, zemin deformasyonlarının ve yapı performansının hassas bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır (Cheng vd., 2021). Ülkemizde son yıllarda çeşitli büyük depremler meydana gelmiştir. Bunların başında en çok yıkıma sebep olan 6 Şubat depremleri yer almaktadır. Depremlerin ardından ders alınması gereken konular meydana gelmiştir. Bunların başında zemin taşıma gücünde düşüş ve depreme bağlı düşey deformasyon değerlerindeki artışlar meydana gelmiştir. Bu sorunlar dikkate alındığında, yapılmış olan çalışmada, Afyonkarahisar Merkez'de alüvyon zeminden oluşan ve sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu bir zemin seçilmiştir. Çalışmada zemin tabakaları ve yapı yükleri Plaxis 2D ile modellenerek, iyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası analizler yapılmıştır. Zemin iyileştirme yöntemi olarak farklı aralıklarla jet-grout kolonları kullanılmıştır. Zeminin, farklı kat yüksekliklerine sahip yapı yükleri ile statik ve farklı deprem kayıtları ile dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Jet grout yöntemi, zemin özelliklerini iyileştirmek ve yapıların performansını artırmada etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Pozzi vd., 2017). Jet grout uygulamaları, zemin içindeki boşlukları doldurarak ve zemin dayanımını artırarak oturma ve sıkışma gibi sorunları en aza indirmeyi hedefler (Fang et al., 2020). Çalışma kapsamında sonlu elemanlar yardımıyla elde edilen oturma miktarları dikkate alınarak farklı aralıklardaki jet-grout kolonlarının performansı incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Yapılan çalışmada, bölgeye ait sondajlı temel ve zemin etüt raporunda bulunan arazi ve laboratuvar deneyleri kullanılarak elde edilen zemin verileri ile zemin profili oluşturulmuştur. Bölgenin yer altı su seviyesi 2.5 m olarak tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılacak temel kotu (-2.00) ile (-3.00) m arasındadır. Temel genişliği 10.5 m ve radye temeldir. Yapılacak olan çalışmada kullanılacak zemin parametreleri, bina yükleri ve deprem kayıtları sırasıyla Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Zemin Parametreleri

Derinlik (m)	Zemin Sınıfı (UCS)	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E_{ref} (kN/m ²)	C_{ref} (kN/m ²)	ν	ϕ°	k (m/gün)
0.0-3.0	SW-SP	18.5	18.5	1765.19	9.81	0.31	27	0.01
3.0-4.5	CL	18.5	18.5	2451.66	38.25	0.31	8	0.0001
4.5-10.5	SW-SP	18.5	18.5	2647.79	9.81	0.34	27	0.01
10.5-13.5	CL	18.5	18.5	3824.59	38.25	0.47	8	0.0001
13.5-16.5	SC	18.5	18.5	1765.19	9.81	0.47	27	0.001
16.5-19.5	SW-SP	18.5	18.5	3236.19	9.81	0.47	27	0.01
19.5-22.5	CL	18.5	18.5	3432.33	38.25	0.47	8	0.0001
22.5-25.0	SC	18.5	18.5	4609.13	9.81	0.47	27	0.001

Tablo 1'de verilmiş olan zemin parametreleri sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan programa aktararak 25 m derinliğinde ve 125 m genişliğinde bir zemin profili oluşturulmuştur (Şekil 1). Zemin 8 farklı tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakaların büyük çoğunluğu kum zeminden meydana gelmektedir.



Şekil 1. Çalışma Alanı Zemin Profili

İnceleme alanında yapılmış olan yapıların statik proje yükleri ele alınarak kat yüksekliklerine göre detaylandırılarak bina yükleri elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Farklı kat yüksekliğindeki bina yükleri

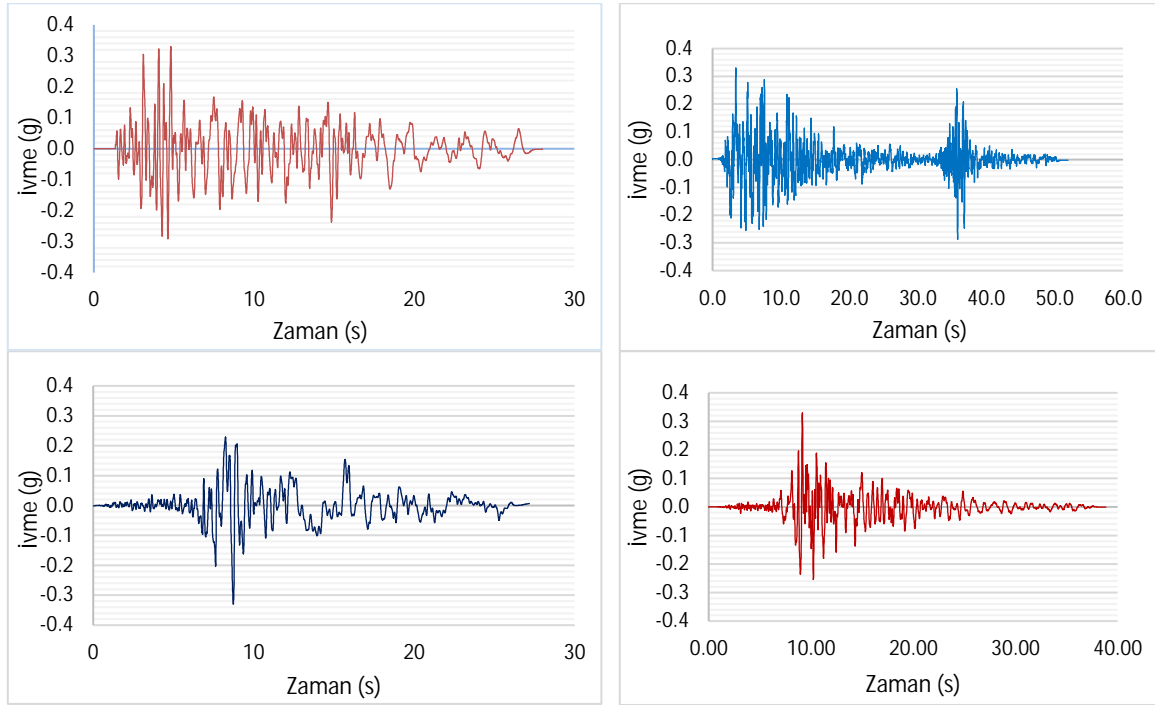
Kat Yüksekliği	Bina Yüğü
B+6	84 (kN/m ²)
B+9	120 (kN/m ²)

Sonlu elemanlar analizlerinde kullanmak için elde edilen deprem ivme-zaman grafikleri il Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (AFAD) interaktif uygulamasından elde edilmiştir. Sahaya özel olarak kullanılan deprem kayıtları fay atım türüne ve bölgede oluşabilecek deprem büyüklüklerine göre seçilmiştir. Seçilen deprem kayıtları Tablo 3'te verilmiştir. Deprem kayıtları inceleme alanının en büyük yer ivme değerine göre (0.33g) ölçeklendirilerek dinamik analizlerde kullanılmıştır.

Tablo 3. Deprem Kayıtları

Sıra	Deprem Adı	Yıl	İstasyon	M _w	PGA(g)
1	Dinar	1995	Afyonkarahisar/Dinar	6.4	0.27
2	Kocaeli	1999	Kocaeli/İzmit	7.6	0.16
3	Düzce	1999	Düzce/Merkez	7.1	0.31
4	Sultandağı	2002	Afyonkarahisar/Merkez	6.5	0.11

Sahaya özel ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kullanılan deprem kayıtlarının sahaya özel ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafikleri.

2.2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında zemin profili, iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş zemin olarak iki farklı grupta incelenmiştir. Zemin iyileştirme yöntemi olarak farklı aralıklardaki jet-grout kolonları kullanılmıştır. iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş zemin için dört farklı deprem kaydı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis 2D programı ile dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Zemin iyileştirme için kullanılan jet-grout kolon parametreleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Jet Grout Parametreleri

Malzeme Türü	EA(kN/m)	EI(kN/m ² /m)	d(m)	v	Kazık Boyu (m)	Karelaj (m)
Elastik	1.92e7	5.76e5	0.60	0.15	17	1.5x1.5
Elastik	1.92e7	5.76e5	0.60	0.15	17	2.0x2.0

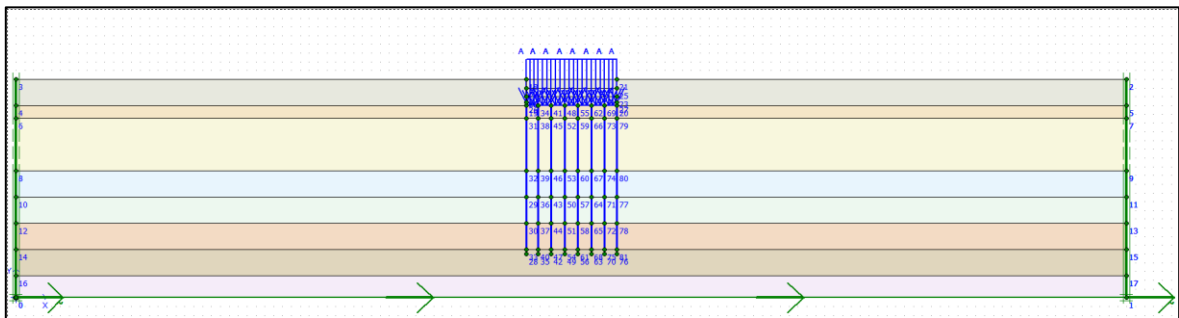
Jet-grout derinliği tabii zeminden (-20.0)m kotuna kadar sıvılaşma tehlikesi bulunduğu için 17 metre seçilmiştir.

Jet-grout imalatında C30 betonun 28 günlük değeri baz alınarak 32000 Mpa olarak alınmıştır (TS 500 (2000)). Tablo 4'te verilmiş olan kazık parametreleri bulunurken , EA ve EI değerleri (1) ve (2) numaralı eşitliklerden elde edilmiştir.

$$EA= E.h.b \quad (1)$$

$$EI= E.\frac{h^3.b}{12} \quad (2)$$

Çalışma alanının uzunluğu, yapılacak kazı derinliği ve temel genişliği programa aktarılmıştır. Zemin tabakaları çizilerek, Tablo 1'de verilmiş olan zemin parametreleri tek tek atanmıştır. Bina yükü temel genişliği üzerine yayılı yük olarak etki ettirilmiştir. Jet-grout kolonlarının yerleri belirlenerek çizilmiştir ve malzeme özellikleri atanmıştır. Deprem yer hareketi programa aktarılmıştır ve analizler başlatılmıştır. Şekil 3'te zemin tabakalarının, bina yükünün, jet kolonlarının ve depremin plaxis'e aktarılmış hali görülmektedir.



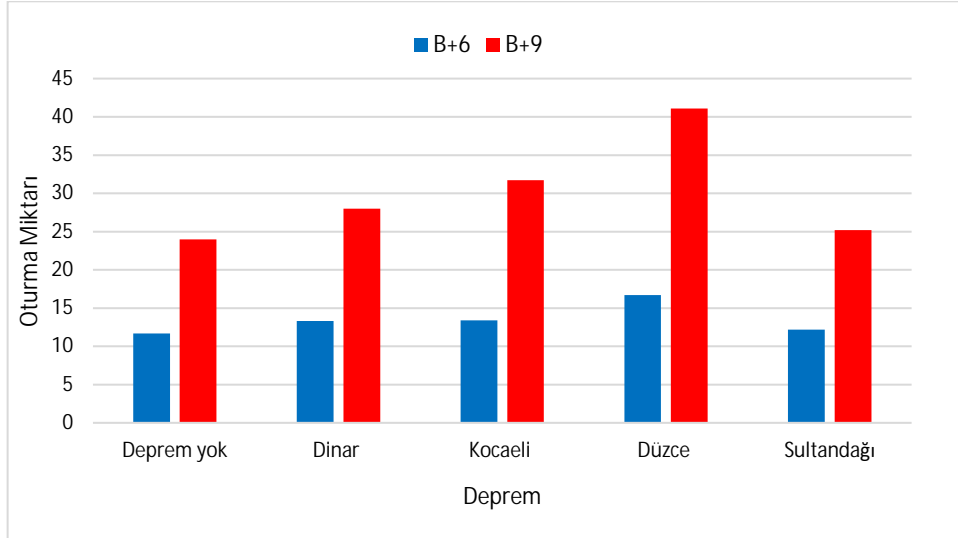
Şekil 3. Zemin tabakalarının, jet kolonlarının, bina yükünün ve deprem yer hareketinin programa aktarılması.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; B+6 ve B+9 katlı bina yükleri dikkate alınarak sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla çalışan Plaxis programı ile iki boyutlu statik ve farklı deprem kayıtları kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır. Analizler, zemin iyileştirmeli ve iyileştirmesiz olarak gerçekleştirilmiştir. Zemin iyileştirme analizi için 17m derinliğinde, 0.6m çapında, 1.5x1.5 ve 2.0x2.0 karelaj yerleşimli jet kolonları kullanılmıştır. Zemin iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş haldeki oturma miktarları incelenmiştir. Analizlerde kullanılan jet parametreleri, bina yükleri ve deprem ivme-zaman grafikleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3.1. Zemin İyileştirme Öncesi Statik ve Dinamik Yükler Altındaki Oturma Miktarları

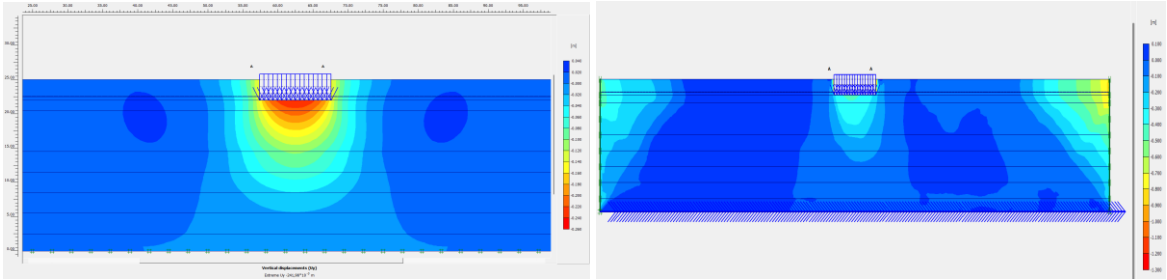
Yapılan çalışmada, Tablo 2’de verilmiş olan 2 farklı kat yüksekliğine bağlı, yapının düşey yükü ile statik analizler yapılmıştır. Zeminde meydana gelen düşey yönlü oturma miktarları incelenmiştir. Dinamik analizler için Tablo 3’te verilmiş olan sahaya özel olarak ölçeklendirilmiş sırasıyla, Dinar ($M_w=6.4$), Kocaeli ($M_w=7.6$), Düzce ($M_w=7.1$) ve Sultandağı ($M_w=6.5$) deprem kayıtları kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda meydana gelen oturma miktarları incelenmiştir. Meydana gelen oturma miktarları Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Zemin iyileştirme Öncesi Oturma Miktarları.

Dinamik ve statik analiz sonuçları incelendiğinde, kat yüksekliği arttıkça meydana gelen oturma miktarlarının arttığı görülmüştür. Şekil 4’te verilen oturma miktarlarına bakıldığında en büyük oturmanın B+9 katlı binada ve Düzce depreminde 41.1 cm, en küçük oturmanın ise B+6 katlı binada ve Sultandağı depreminde 12.2 cm meydana geldiği görülmektedir. En büyük ve en küçük oturma miktarları örnek olarak verilmiştir. Deprem etkisi göz ardı edilse bile binaların düşey yükler altında zeminde meydana getirdiği oturma miktarları binaları riskli hale getirmektedir. Kat yüksekliği arttıkça zemine iletilen düşey yükler arttığından meydana gelen oturma miktarları aynı doğrultuda artmaktadır. Radye temeller için izin verilen oturma miktarları kumlu zeminler için 60mm, killi zeminler için 100mm olarak

belirlenmiştir (Önalp vd., 2010). Analizler sonrasında tüm sonuçların oturma sınır değerinin üzerinde kaldığı görülmüştür.



Şekil 5. Oturma miktarları a) B+9 kat 24cm b) B+9 kat-Düzce depremi 41.1cm

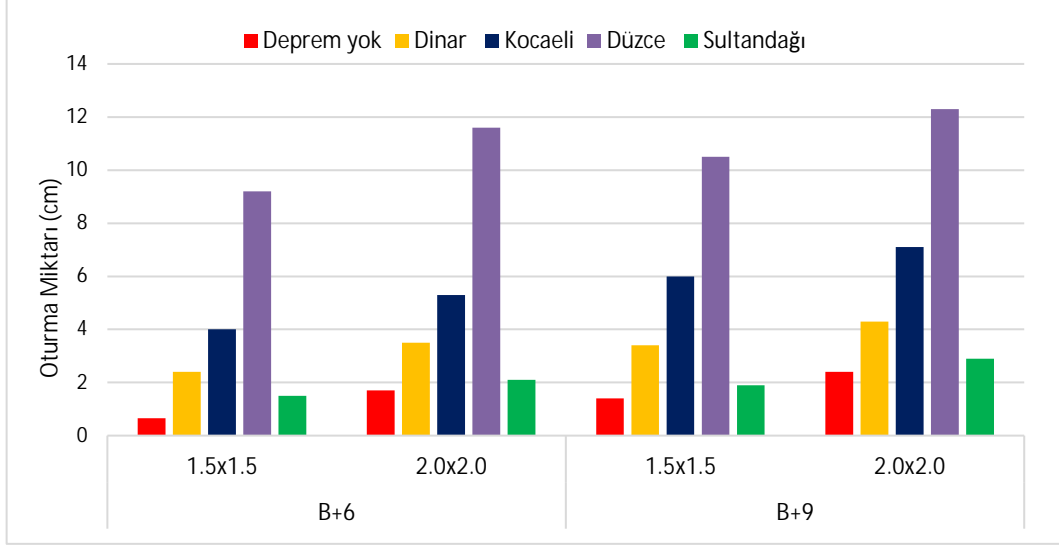
Şekil 5'te B+9 katlı binanın düşey yükler altındaki statik analiz sonucunda 24cm oturma yaptığı görülmüştür. Dinamik analizler sonrasında ise en yüksek değerin Düzce depreminde 41.1cm olarak meydana geldiği görülmektedir. Deprem sonrasında oluşan oturma miktarının 1.7 kat arttığı görülmüştür.

3.2. Zemin İyileştirme Sonrası Statik ve Dinamik Yükler Altındaki Oturma Miktarları

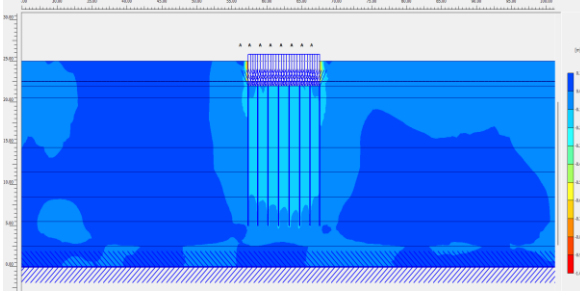
Yapılan çalışmada, zemin iyileştirme yöntemi olarak 17 metre derinlikte, 0.60 metre çapında jet grout kolonları kullanılmıştır. Bu jet kolonlar, iki farklı karelaj (1.5x1.5 metre ve 2.0x2.0 metre) ile uygulanmıştır. Jet kolon parametreleri Tablo 4'te verilmiştir. İyileştirme yapılan zeminlerin, B+6 ve B+9 katlı binalar üzerindeki etkileri, hem statik hem de dinamik yükler altındaki oturma miktarları Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 5'e göre, en büyük oturma miktarları Düzce depremi sırasında meydana gelmiştir. B+9 katlı yapıda, iyileştirme öncesinde Düzce depremi etkisiyle oturma miktarı 41.1 cm olarak ölçülmüştür. İyileştirme sonrasında, 1.5x1.5 metre aralıklı jet kolonlarla yapılan iyileştirmede oturma miktarı 10.5 cm'ye, 2.0x2.0 metre aralıklı kolonlarla yapılan iyileştirmede ise 12.3 cm'ye düşmüştür. B+6 katlı yapıda ise, iyileştirme öncesinde Düzce depreminde 16.7 cm oturma görülmüştür. İyileştirme sonrası, 1.5x1.5 metre aralıklı jet kolonlarla 9.2 cm, 2.0x2.0 metre aralıklı kolonlarla ise 11.6 cm'ye düşmüştür.

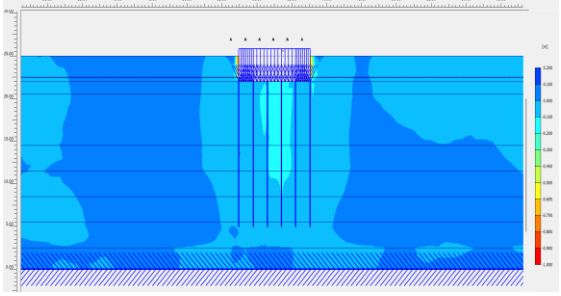
İyileştirme sonrasında elde edilen tüm oturma miktarları, depremlili ve depremsiz durumlarda Şekil 6'da verilmiştir. Ancak, iyileştirmeye rağmen, Düzce depreminde görülen oturma miktarları izin verilen oturma sınır değerlerinin üzerinde kalmaktadır. Bu nedenle, sahaya özel detaylı analizlerin yapılması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 6. İyileştirme Sonrası, depremsiz ve depremsiz oturma miktarları.



Şekil 7. B+9 kat, 1.5x1.5 karelaj, Düzce depremi



Şekil 8. B+9 kat, 2.0x2.0 karelaj, Düzce depremi

4. SONUÇ

Taşıma kapasitesi düşük zemin tabakaları üzerinde, farklı kat yüksekliğine sahip bina yükleri ve dört farklı deprem kaydı ele alınarak iyileştirme öncesi ve iki farklı aralıkta yerleştirilmiş jet kolonları ile iyileştirme sonrası sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla çalışan plaxis 2d programı ile statik ve dinamik analizler yapılmıştır.

Zemin iyileştirmesi yapılmayan çalışmalarda; Statik durumda en fazla oturma B+9 katlı binada 24 cm ve en az oturma ise B+6 katlı binada 11.7 cm olarak görülmüştür. Dinamik analiz sonuçlarında ise en fazla oturma B+9 katlı binada ve Düzce depreminde 41.1 cm, en düşük durumda ise B+6 katlı binada ve Sultandağı depreminde 12.2 cm olarak tespit edilmiştir. Statik ve dinamik durumlarda kat yüksekliği arttıkça oturma miktarlarının arttığı görülmüştür.

Zemin iyileştirmesi yapılan durumda ise; Statik durumda en fazla oturma B+9 katlı binada, 2 metre arayla yerleştirilen jet kolonlarında 2.4 cm olarak görülmüştür. En düşük oturma ise B+6 katlı binada 1.5 metre arayla yerleştirilen jet kolonlarında 0.65 cm olarak görülmüştür. Dinamik analiz sonuçlarında ise en yüksek oturma B+9 katlı yapıda 2 metre arayla yerleştirilen jet kolonlarında ve Düzce depreminde 12.3 cm olarak görülmüştür. En

düşük oturma ise B+6 katlı yapıda 1.5 metre arayla yerleştirilen jet kolonlarında ve Sultandağı depreminde 1.5 cm olarak görülmüştür. Jet-grout kolonlarının aralarındaki mesafe azaldıkça, oturma miktarı aynı doğrultuda azalmıştır.

Yapılan iyileştirme çalışmalarının, meydana gelen düşey deformasyonları önemli ölçüde azalttığı görülmektedir. Artan kat yüksekliği, oluşan deformasyon miktarını artırmaktadır. Jet-grout mesafesinin artması da oluşan oturma miktarlarını artırmaktadır. İyileştirme sonrasında Düzce depremi ile yapılan dinamik analizlerde oturma değerlerinin, oturma sınır koşulunun altına düşmediği görülmektedir. Bu yüzden inşa edilecek bina için, yalnızca bina yükünü baz alan oturma hesaplarından kaçınılması gerekmektedir. Deprem kayıtları ile sahaya özel analizlerin gerçekleştirilmesi meydana gelebilecek hasarı önlemek konusunda büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Cheng, Y., Zhang, C., Li, Z., Wang, Y., 2021. "Performance of soil improvement methods under seismic loads: A comprehensive review." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 145, 106671.
- Fang, H., Liu, Y., Li, S., Liu, X., 2020. "Recent advances in jet grouting for ground improvement: A review." *Geotextiles and Geomembranes*, 48(1), 55-71.
- Liu, G, R., Quek, S, S., 2003. Computational Modelling, Liu G R And Quek S S (Ed.), The Finite Element Method: A Practical Course (1-11), Butterworth Heinemann, 365, Oxford.
- Liu, J., Zhang, L., Zhang, T., Zhang, J., 2018. "Application of the finite element method for soil-structure interaction: Review of recent developments and future directions." *Advances in Civil Engineering*, 8467372.
- Mungan, H., Sünbül, A, B., 2018. Sonlu Elemanlara Dayalı Dinamik Analiz; Zemin iyileştirme – Derin Temel Örneği, 2018 Published in 6th International Symposium on Innovative Technologies in.
- Önalp, A., Sert, S., 2010. Geoteknik Bilgisi III, Birsen Yayınevi.
- Pozzi, F., Galli, M., 2017. "Jet grouting techniques and their applications: A state-of-the-art review." *Geotechnical Testing Journal*, 40(6), 1042-1061.
- TS 500., 2000., Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE 1.Baskı, Ankara.
- Wulandari, P, S., Tjandra, D., 2015. Analysis of piled raft foundation on soft soil using PLAXIS 2D, The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5), Indonesia, 363 – 367.
- <https://tadas.afad.gov.tr/map/>, 19.10.2023

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
γ_{unsat}	Doygun olmayan birim hacim ağırlık	γ_{sat}	Doygun birim hacim ağırlık
E_{ref}	Elastisite Modülü	c_{ref}	Kohezyon
ν	poission oranı	ϕ°	İçsel sürtünme açısı
k	Permeabilite katsayısı	EA	Normal sertlik
EI	Eğilme Dayanımı	h	Eleman kalınlığı
b	Eleman genişliği		