

PAPER DETAILS

TITLE: DINAMİK YÜKLER ALTINDA FARKLI YÜKSEKLİKTE YAPILARIN KAZIK
PERFORMANSININ İNCELENMESİ

AUTHORS: Süleyman Gücek, Gülbahar Ünal

PAGES: 1721-1731

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4168432>

DİNAMİK YÜKLER ALTINDA FARKLI YÜKSEKLİKTE YAPILARIN KAZIK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Süleyman GÜCEK^{1*}, Gülbahar ÜNAL²

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Geoteknik Anabilim Dalı, Afyon

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4839-1851>

² Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon

ORCID No: <https://orcid.org/0009-0001-9906-3460>

Anahtar Kelimeler	Öz
Sonlu elemanlar yöntemi Dinamik analiz Statik analiz Zemin iyileştirme Plaxis	<i>Bu çalışma kapsamında farklı kat yüksekliğine sahip yapıların statik ve dinamik yükler altındaki davranışları sonlu elemanlar yöntemini kullanan iki boyutlu Plaxis programı ile düzlemsel şekil değiştirme ve 15 düğüm noktalı elemanlar yardımıyla modellenmiştir. Modelleme işleminde zemin iyileştirmesi yapılarak ve zemin iyileştirmesi olmadan, düşey yükler altında statik ve dört farklı deprem ivme kaydı kullanılarak dinamik yükler altında analizler yapılmıştır. Çalışma alanının zemin etüt ve jeofizik raporu incelendiğinde zeminin alüvyon (kil, silt ve kum) ve yüksek deformasyonların oluşabileceği bir zemin olduğu görülmektedir. Zeminin taşıma kapasitesi düşük olduğu için kazık gruplarıyla iyileştirme yapılması gerektiği düşünülmüştür. Kazık tasarımında değişken parametre kazık boyu olmuştur. En doğru sonuca ulaşabilmek ve kapsamlı bir çalışma yürütebilmek için üç farklı yükseklikteki kazık grupları kullanılmıştır. Zemin iyileştirme yapılmadan önce, statik analiz çalışma sonuçlarına bakıldığında, oluşan düşey deformasyon miktarlarının oturma sınır koşuluna yakın değerlerde çıktığı gözlemlenmiştir. Dinamik analiz çalışma sonuçlarında ise, temel seviyesinde ve yapıda ciddi hasara sebep olabilecek düşey ve yatay deformasyon değerleri gözlemlenmiştir. Zemin iyileştirme çalışmaları sonrasında, statik analizler neticesinde deformasyonların ciddi oranda azaldığı görülmektedir. İyileştirme sonrası yapılan dinamik analiz sonuçlarına göre, kazık boyu arttıkça düşey ve yatay deformasyon değerlerinde azalma görülmektedir. Çalışma sonrasında elde edilen veriler dikkate alındığında, iyileştirme çalışmasının zeminin taşıma gücünü artırdığı, statik ve dinamik yükler altında meydana gelen deformasyon değerlerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.</i>

INVESTIGATION OF PILE PERFORMANCE OF STRUCTURES OF DIFFERENT HEIGHTS UNDER DYNAMIC LOADS

Keywords	Abstract
Finite element method Dynamic analysis Static analysis Soil improvement Plaxis	<i>In this study, the behavior of buildings with different storey heights under static and dynamic loads was modeled with the help of planar deformation and 15-node elements with the two-dimensional Plaxis program using the finite element method. In the modeling process, analyses were performed with and without ground improvement, under vertical loads, under static loads, and under dynamic loads using four different earthquake acceleration records. When the ground survey and geophysical report of the study area is examined, it is seen that the ground is alluvial (clay, silt and sand) and a ground where high deformations can occur. Since the bearing capacity of the ground is low, it was thought that improvement should be made with pile groups. The variable parameter in pile design has been pile length. In order to achieve the most accurate result and to conduct a comprehensive study, pile groups with three different heights were used. When the static analysis results were examined before the soil improvement, it was observed that the vertical deformation amounts were close to the settlement boundary condition. In the dynamic analysis study results, vertical and horizontal deformation values that could cause serious damage to the foundation level and the structure were observed. After the ground improvement studies, it is seen that the deformations have decreased significantly as a result of the static analyses. According to the results of the dynamic analysis conducted after the improvement, a decrease is observed in the vertical and horizontal deformation values as the pile length increases. When the data obtained</i>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

after the study is taken into consideration, it has been determined that the improvement study increases the bearing capacity of the ground and positively affects the deformation values occurring under static and dynamic loads.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 25.08.2024

Kabul Tarihi : 09.01.2025

* Sorumlu yazar: sgucek@aku.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1538486>

Research Article

Submission Date : 25.08.2024

Accepted Date : 09.01.2025

1. Giriş

Mühendisler uzun zamandır yumuşak ve kaya zeminlerin özelliklerinin iyileştirilebileceğini bilmektedirler (Evans vd. 2021). Zemin iyileştirme, Milattan önce 3000 yılına dayanan en eski inşaat mühendisliği uygulamalarından birisidir (Selçukhan ve Ekinci 2021). Modern zemin iyileştirme teknikleri, 1960'larda gelişmeye başlamış ve o zamandan beri hızlı bir şekilde ilerleme sağlanmıştır (Evans vd. 2021). Zemin iyileştirme yöntemlerinin yaygınlaşma sebebi, nüfus artışına bağlı olarak artan bina talebi ile taşıma gücü elverişsiz yumuşak zeminlere yapı inşaatlarının yapılmak istenmesinden kaynaklanmaktadır. Son yıllarda yumuşak zemin üzerine inşa edilen birçok yapı projesi bulunmaktadır. Yumuşak zeminin özelliğinden dolayı üzerine inşa edilen yapılar farklı oturmalarla maruz kalmaktadırlar (Wulandari ve Tjandra 2015). Taşıma gücü düşük zeminlerde meydana gelen depremlerin de etkisi sonucunda oturma miktarları artış göstermektedir. Depremlerin oluşmasını önlemek imkansızdır (Nomaler 2018). Bu nedenle depremler neticesinde dinamik yüklemelere maruz kalan zemin-yapı davranışının değerlendirilmesi önem kazanmıştır (Zein vd. 2021). Günümüzde zemin ile yapıyı birlikte analiz etmek ve dinamik analizlerinin yapılması sonlu elemanlar yöntemi ile mümkün hale gelmektedir. Son yıllarda çok fazla tercih edilen Plaxis 2D, geoteknik mühendisliği analizi için tasarlanmış sonlu elemanlar yazılımıdır. Sonlu elemanlar yöntemi "parçadan bütüne gitme" genel prensibine dayanmaktadır (Liu ve Quek 2003). Plaxis programı, kazıklı radye temeller de dahil olmak üzere karmaşık zemin-yapı etkileşim problemlerinin modellenmesi için gelişmiş yetenekler sunmaktadır (Chimdesa vd. 2023). Zemin ve yapıyı birlikte analiz etmek Türkiye içinde büyük bir önem taşımaktadır. Çünkü Türkiye bir deprem ülkesidir (Sümbül 2010). Ülkemizde meydana gelen başlıca büyük depremler; 1999 Kocaeli, 1999 Düzce, 2011 Van, 2020 İzmir, 2020 Elazığ ve son olarak 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleridir. Yaşanan büyük depremler sonrasında çok fazla mal ve can kaybı yaşanmıştır. Bu depremlerin ardından, ders alınması gereken birçok konu ortaya çıkmıştır. Bu konuların başında zeminin taşıma kapasitesinde düşüş ve depreme bağlı yatay ve düşey deformasyonlardaki artışlar zemin büyütmesinden kaynaklı olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu problemler dikkate alınarak yapılmış olan çalışma kapsamında, Afyonkarahisar ili, Merkez ilçesi, Selçuklu mahallesi, 21J-3C Pafta, 631 Ada ve 198 Parsel'de bulunan, nüfus yoğunluğunun çok fazla olduğu alüvyon zeminden oluşan bölge seçilmiştir. Çalışma kapsamında zemin tabakaları ve yapı Plaxis 2D ile modellenmiştir. Modelleme sonrasında, zeminin doğal hali ve iyileştirilmiş zeminler üzerinde farklı kat yüksekliklerine bağlı statik ve farklı deprem ivmelerine bağlı dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Zemini iyileştirmek için farklı yüksekliklerdeki kazık grupları kullanılmıştır (10-20-30m). Son yıllarda depremlerin, kazıklı temeller üzerindeki etkisine ilişkin araştırma faaliyetleri büyük ölçüde artmıştır (Kwaak 2015). Kazık grupları, zeminin rijitliğinin ve taşıma kapasitesinin yetersiz olduğu durumlarda temel derinliğini artırmak ve yükleri, taşıma kapasitesi daha yüksek olan zemin katmanlarına (kalın çakıl, çakıllı kum, sert kil veya kaya gibi) aktarmak amacıyla kullanılırlar (Chimdesa vd. 2023). Çalışma kapsamında sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen zemindeki oturma miktarları ve yatay-düşey yer değiştirmeler dikkate alınarak kazık boylarının performansı değerlendirilmiştir.

2. Materyal Ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma alanını oluşturmak için bölgeye ait zemin etüt ve jeofizik raporlarında bulunan arazi ve laboratuvar deneyleri incelenmiştir. Zemin tabakaları oluşturulurken Şekil 1'de verilmiş olan SPT-N tablosu kullanılmıştır. Zemin parametreleri bulunurken laboratuvar deney sonuçları ve arazide yapılmış olan jeofizik ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Laboratuvar deney sonuçları Şekil 2'de ve jeofizik ölçüm sonuçları ise Şekil 3'te görülmektedir. Bölgede yer altı su seviyesi 5 metre olarak tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılacak olan temel kotu (-2,5) ile (-4,00) m arasındadır. Temel genişliği 34 metre ve radye temeldir.

KORELASYON				
SPT- ortalama	BİRİM	DERİNLİK	KIVAM	SİKİLİK
18	CL	1,50-2,00	ÇOK KATLI	-
		2,00-2,50		
		2,50-3,00		
10	CH	3,00-3,50	KATLI	
		3,50-4,00		
		4,00-4,50		
12		4,50-5,00		
		5,00-5,50		
		5,50-6,00		
		6,00-6,50		
3	CL	6,50-7,00	YUMUŞAK	-
		7,00-7,50		
		7,50-8,00		
2		8,00-8,50		
		8,50-9,00		
		9,00-9,50		
30		9,50-10,00		
		10,00-10,50		
31		10,50-11,00		
		11,00-11,50		
		11,50-12,00		-
31		12,00-12,50		
		12,50-13,00		
		13,00-13,50		
25		13,50-14,00		
		14,00-14,50		
		14,50-15,00		
18		15,00-15,50		
		15,50-16,00		
		16,00-16,50		
18		16,50-17,00		
		17,00-17,50		-
		17,50-18,00		
10		18,00-18,50		
		18,50-19,00		
		19,00-19,50		
24		19,50-20,00		
		20,00-20,50		
		20,50-21,00		
27	CL	21,00-21,50	ÇOK KATLI	-
		21,50-22,00		
		22,00-22,50		
24	CH	22,50-23,00		
		23,00-23,50		
		23,50-24,00		
34		24,00-24,50		
		24,50-25,00		
		25,00-25,50		
37	CL	25,50-26,00	SERT	
		26,00-26,50		
		26,50-27,00		
42		27,00-27,50		
		27,50-28,00		
		28,00-28,50		
41		28,50-29,00		
		29,00-29,50		
		29,50-30,00		
45	CH	30,00-30,50		

Şekil 1. SPT-N Tablosu

Sıra No	Kuyu No	Numune No	Derinlik (m)	Birim	Doğal Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Üç Eksenli Basınç Deneyi c (kg/cm ²)	Φ (°)
1	SK-1	UD-1	2,50	CH	1,92	0,64	5,00
2	SK-1	UD-2	4,00	CH	1,91	0,69	6,00
3	SK-1	UD-3	7,00	CL	1,90	0,61	6,00
4	SK-2	UD-1	2,50	CH	1,93	0,59	5,00
5	SK-2	UD-2	5,50	CL	1,94	0,55	7,00
6	SK-2	UD-3	8,50	CL	1,95	0,63	6,00
7	SK-3	UD-1	2,50	CH	1,90	0,46	5,00
8	SK-4	UD-1	4,00	CH	1,89	0,57	7,00
9	SK-4	UD-2	7,00	CL	1,92	0,68	4,00
10	SK-4	UD-3	2,50	CH	1,93	0,65	7,00
11	SK-5	UD-1	4,00	CH	1,89	0,53	5,00
12	SK-5	UD-2	7,00	CL	1,96	0,58	6,00
13	SK-5	UD-3	2,50	CH	1,93	0,59	7,00
14	SK-6	UD-1	5,50	CL	1,94	0,46	5,00
15	SK-6	UD-2	8,50	CL	1,92	0,58	7,00
16	SK-6	UD-3	2,50	CH	1,90	0,66	4,00

Şekil 2. Laboratuvar Deney Sonuçları

Zemin parametreleri, Şekil 2’de verilmiş olan deney sonuçları ve Şekil 3’te verilmiş olan jeofizik ölçüm sonuçları incelenerek, verilen sonuçların ortalama değerleri bulunarak elde edilmiştir.

Tabaka	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Poisson Oranı	Tabaka Aralığı (m)
1.Tabaka	903,68	0,41	0,0-4,0
2.Tabaka	3394,29	0,48	4,0-18,0

Şekil 3. Jeofizik Ölçüm Sonuçları

Çalışmada kullanılacak olan 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)	v (nu)	Φ (°)	k (m/gün)
0-2,5	CL	19,1	19,13	8,862e4	57,3	0,41	5,9	0,001
2,5-4,5	CH	18,8	18,8	8,862e4	58,6	0,41	5,7	0,001
4,5-9,0	CL	19,1	19,13	3,329e5	57,3	0,48	5,9	0,001
9,0-20,5	SM-SC	18,4	18,84	3,329e5	5	0,48	28	0,04
20,5-22,0	CL	19,1	19,13	3,329e5	57,3	0,48	5,9	0,001
22,0-24,0	CH	18,8	18,84	3,329e5	58,6	0,48	5,7	0,001
24,0-28,0	CL	19,1	19,13	3,329e5	57,3	0,48	5,9	0,001
28,0-80,0	CH	18,8	18,8	3,329e5	58,6	0,48	5,7	0,001

γ_{unsat} : Doygun olmayan birim hacim ağırlık

γ_{sat} : Doygun birim hacim ağırlık

E_{ref} : Elastisite modülü

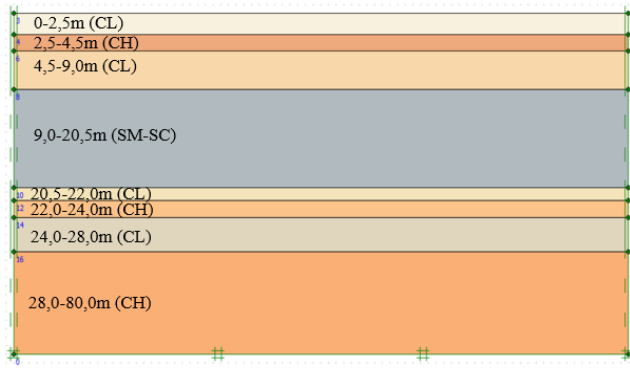
C_{ref} : Kohezyon

v : poisson oranı

Φ (°) : İçsel sürtünme açısı

k : Permeabilite katsayısı

Tablo 1’de verilmiş olan zemin parametreleri sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan programa aktarılarak 80 m derinliğinde 240 m genişliğinde bir zemin profili oluşturulmuştur (Şekil 4). Zemin 8 farklı tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakalar genellikle siltli-killi zemin sınıflarından oluşmaktadır.



Şekil 4. Çalışma Alanı Zemin Profili

Çalışma alanında inşa edilmiş yapıların betonarme projeleri dikkate alınarak farklı kat yüksekliklerine sahip yapıların bina yükleri, kat yüksekliklerine göre detaylandırılarak elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Farklı Kat Yüksekliğine Sahip Bina Yükleri

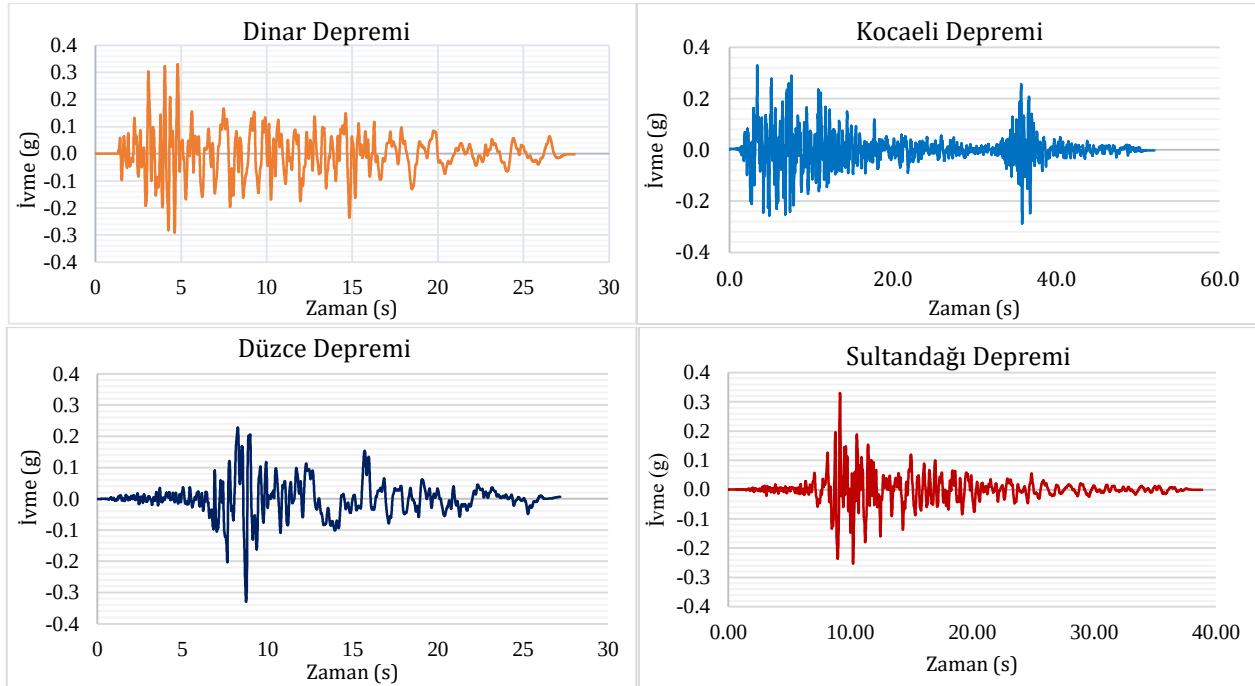
Kat Yükseklikleri	Bina Yüğü
B+3 Kat	114,3 kN/m ²
B+6 Kat	164,8 kN/m ²
B+9 Kat	215,2 kN/m ²
B+12 Kat	267,7 kN/m ²
B+15 Kat	316,1 kN/m ²

Sonlu elemanlar analizlerinde kullanmak amacıyla elde edilen deprem kayıtları İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (AFAD) (İnt. Kyn. 1) interaktif uygulamasından elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan deprem kayıtları, fay atım türüne ve bölgede oluşabilecek deprem büyüklüklerine göre seçilerek özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Analizlerde Kullanılan Deprem Kayıtları

Sıra	Deprem	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

Tablo 3'te verilmiş olan deprem kayıtları, çalışma alanının PGA değeri olan 0,33 g'ye göre sahaya özel olarak ölçeklendirilmiştir. Sahaya özel ölçeklendirilmiş ivme-zaman grafikleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Sahaya Özel Ölçeklendirilmiş İvme-Zaman Grafikleri

2.2. Yöntem

Günümüz geoteknik modelleme çalışmalarında hem statik hem dinamik durum için zemin ve yapı birlikte analiz edilerek, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda daha doğru hesaplar yapılması sağlanmaktadır. (Mungan ve Sünbül 2018). Bu analizler neticesinde meydana gelebilecek olan hasarlar en aza indirilerek can ve mal güvenliği sağlanmaktadır. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Plaxis 2D programı kullanarak statik ve dinamik analizler yapılmıştır. Güler ve Şen (2015)'e göre sonlu elemanlar yönteminde, çözüm bölgesi çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Çözüme gidilirken, sonlu elemanların hepsinde çeşitli teoriler kullanılarak, sınır koşul ve denge denklemlerinin tanımlanmasıyla yaklaşık sonuçlar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında zemin profili, iyileştirilmiş zemin ve iyileştirilmemiş zemin olarak iki grupta incelenmiştir. Zemin iyileştirme yöntemi olarak kazık grubu kullanılmıştır. İyileştirme öncesi ve sonrası için dört farklı deprem kaydı kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır. Zemin iyileştirme için kullanılan kazık parametreleri Tablo 4 'te verilmiştir.

Tablo 4. Analizlerde Kullanılan Kazık Parametreleri

Malzeme Türü	EA (kN/m)	EI (kN/m ² /m)	d(m)	v
Elastik	3,2e7	2,667e6	1	0,15

Betonarme projeye göre kazıkların imalatında C30 beton kullanılmıştır. Tablo 4'te verilmiş olan kazık parametreleri bulunurken, EA ve EI değerleri (1) ve (2) numaralı eşitliklerden elde edilmiştir. Elastisite modülü, TS 500 (2000)'e göre C30 betonunun 28 günlük değeri baz alınarak 32000 MPa olarak alınmıştır.

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

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

EA=Normal Sertlik

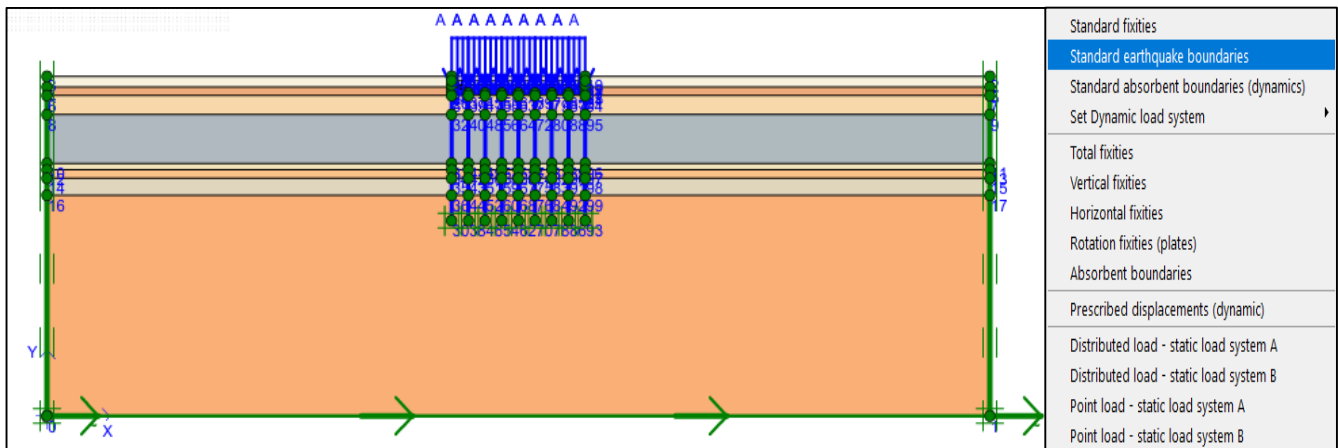
EI=Eğilme Dayanımı

E=Elastisite Modülü

h=Eleman Kalınlığı

b=Eleman Genişliği

Kullanılacak materyaller ve uygulanacak yöntem belirlendikten sonra analizlerin programda hangi model ile ve kaç düğüm noktasında yapılacağı kararlaştırılmıştır. Analizler düzlemsel şekil değiştirme ve 15 düğüm noktalı olarak yapılmıştır. Çalışma alanının uzunluğu, genişliği ve kazı yapılacak derinlik programa aktarılmıştır. Zemin tabakaları geometri doğrusu komutu yardımıyla çizilmiş ve Tablo 1'de verilmiş olan zemin parametreleri materyal setleri yardımıyla programa atanmıştır. Temelin kazılacağı alan belirlenerek geometri doğrusu komutu ile çizilmiştir. Bina yükü yayılı yük şeklinde programa aktarılmıştır. Kazık grupları plaka komutu yardımıyla programa aktarılmış ve materyal setleri ile Tablo 4'te verilmiş olan kazık parametreleri atanmıştır. Deprem yer hareketi programa aktararak analizler başlatılmıştır. Şekil 6'da zemin tabakalarının, bina yükünün, kazık gruplarının ve deprem yer hareketinin Plaxis'e aktarılmış hali sunulmuştur.



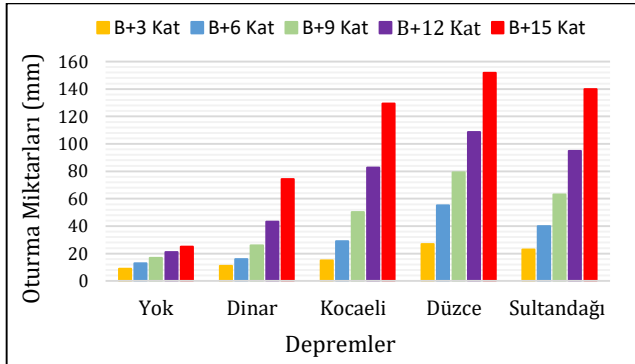
Şekil 6. Zemin Tabakalarının, Bina Yükünün, Kazık Gruplarının Ve Deprem Yer Hareketinin Programa Aktarılması

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada; B+3, B+6, B+9, B+12 ve B+15 katlı bina yükleri dikkate alınarak sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis programı yardımıyla iki boyutlu statik ve dinamik analizler yapılmıştır. Analizler, zemin iyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası olarak iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. Zemin iyileştirme analizleri için, 10m, 20m ve 30m olmak üzere farklı yüksekliklerdeki kazık grupları kullanılmıştır. Dinamik analizler sonrasında, zeminin iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş durumlarına bakılarak oturma (U_y) ve yataydaki yer değiştirme (U_x) miktarları incelenmiştir. Analizlerde kullanılan zemin parametreleri, kazık parametreleri, bina yükleri ve deprem kayıtları dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler tartışılmıştır.

3.1. Kazıklı İyileştirme Öncesi Oturma Analizi ve Deprem Etkisi ile Birlikte Oluşan Oturma Analizi Sonuçları

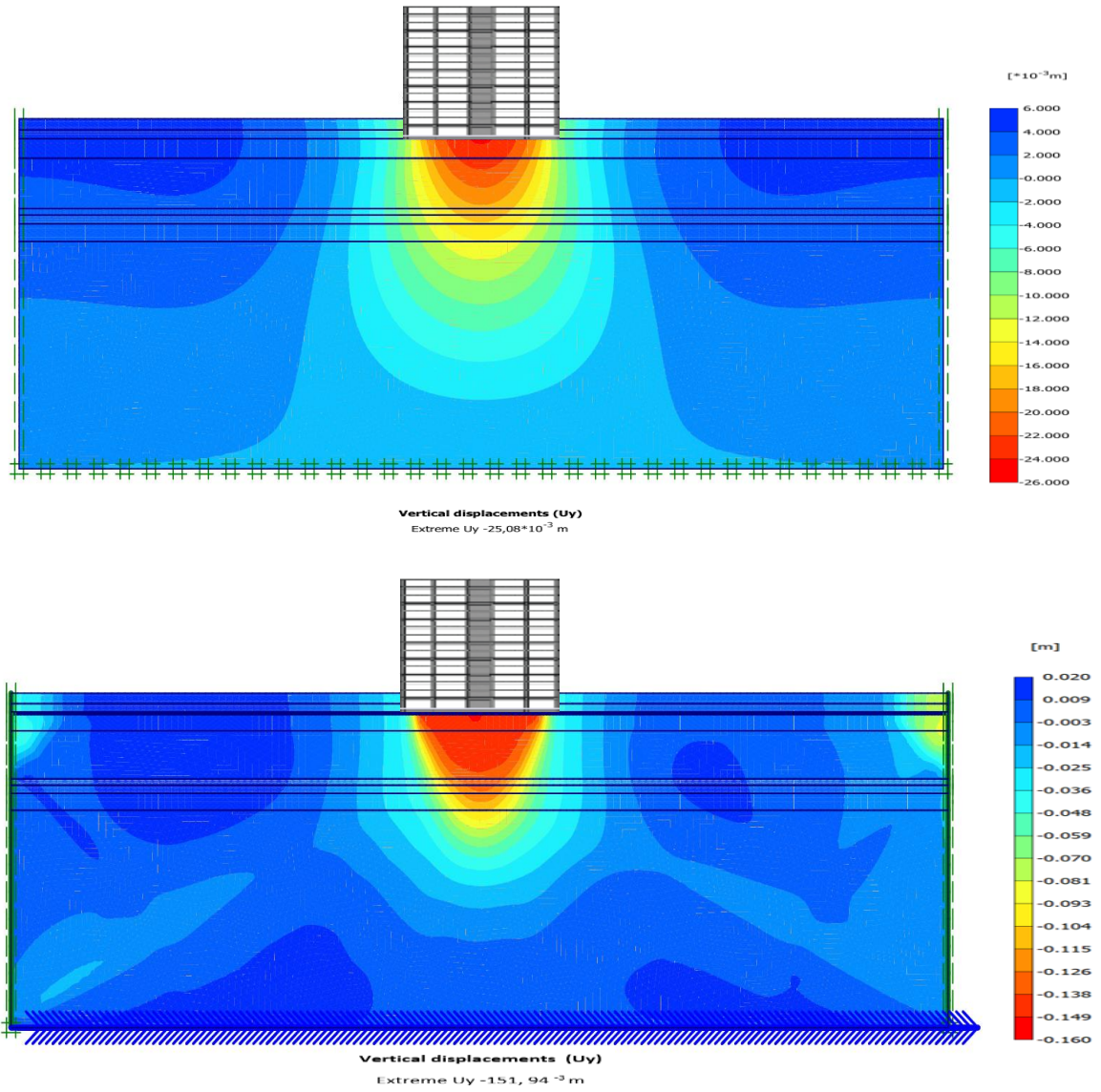
Çalışmada, Tablo 2’de verilmiş olan beş farklı kat yüksekliğine bağlı, yapının kendi yükü altında oluşan statik analizler yapılmıştır. Zeminde meydana gelen düşey deformasyon miktarları incelenmiştir. Dinamik analizler için Tablo 3’te verilmiş olan Dinar ($M_w=6,4$), Kocaeli ($M_w=7,6$), Düzce ($M_w=7,1$) ve Sultandağı ($M_w=6,5$) depremleri kullanılmıştır. Analizler sonucunda oluşan düşey deformasyon (oturma) miktarları incelenmiştir. Oluşan oturma miktarları Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Zemin İyileştirme Öncesi Meydana Gelen Oturma Miktarları

Dinamik ve statik analizler dikkate alındığında, artan kat yüksekliği ile birlikte oluşan oturma miktarlarının artış gösterdiği açıkça görülmektedir. Şekil 7’de görüldüğü üzere, depremler arasındaki oturma miktarlarına bakıldığında en büyük oturmanın B+15 katlı yapıda ve Düzce depreminde 151,94 mm, en düşük oturmanın ise B+3 katlı yapıda ve Dinar depreminde 11mm olarak meydana geldiği görülmektedir. En büyük ve en düşük oturma miktarları referans olarak verilmiştir. Deprem etkisi göz ardı edilse bile binaların kendi yükleri altında oluşan oturma miktarları yapıları riskli hale getirmektedir. Kat yüksekliği arttıkça zemine iletilen yük miktarı artacağından oturma miktarı da aynı doğrultuda artmaktadır. Bu sebepten dolayı zemin iyi analiz edilerek iyileştirme işlemi gerçekleştirilmelidir. Önalp ve Sert’e (2010) göre, radye temeller için izin verilen oturma miktarları kumlu zeminlerde 60mm, killi zeminlerde ise 100mm olarak belirlenmiştir. Analizler sonrasında yalnızca B+3 katlı binanın deprem sonrası oturma miktarları bu değerlerin altında kalmıştır. Bu yüzden zemin iyileştirme B+3 kat hariç diğer yapılarda gerçekleştirilmiştir.

Şekil 8’de B+15 katlı yapının statik analiz sonrasında 25 mm düşey deformasyon yaptığı görülmektedir. Dinamik analizler sonrasında ise, en yüksek düşey deformasyon miktarının meydana geldiği Düzce depreminin etkisiyle deformasyon değeri 151,94 mm olarak hesaplanmıştır. Deprem etkisiyle birlikte oturma miktarının yaklaşık 6 kat arttığı görülmüştür.



Şekil 8. Oturma Miktarları a) B+15 Kat 25 mm, b) B+15 Kat-Düzce Depremi 151,94 mm

3.2. Kazıklı İyileştirme Sonrası Oturma Analizi ve Deprem Etkisi ile Birlikte Oluşan Oturma Analizi Sonuçları

Çalışmada zemin iyileştirme yöntemi olarak farklı yüksekliklere sahip kazık grupları kullanılmıştır. Kullanılan kazık parametreleri Tablo 4'te verilmiştir. Şekil 9'da B+6, B+9, B+12 ve B+15 katlı binalar için farklı kazık boyları ile iyileştirilmiş zeminlerin, bina yükleri altındaki ve dinamik yükler altındaki oturma miktarları görülmektedir. Şekil 9'a göre, en büyük oturma miktarlarının Düzce depremi sırasında meydana geldiği görülmektedir.

B+15 katlı yapıda iyileştirme öncesinde, Düzce depremi etkisiyle meydana gelen oturma miktarı 151,94 mm olarak görülmüştür. İyileştirme sonrasında ise bu oturma miktarları, 10 metrelik kazık uygulamasında

8,96 mm, 20 metre kazık uygulamasında 1,39 mm ve 30 metre kazık uygulamasında 1,33 mm'lere kadar düştüğü görülmektedir.

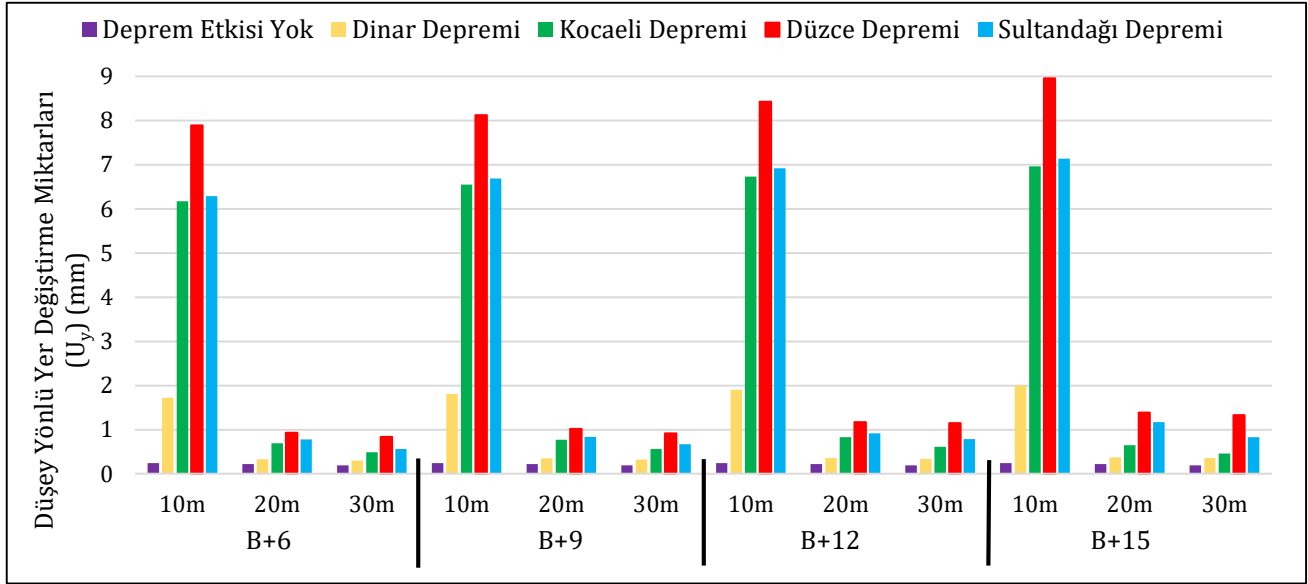
B+12 katlı yapıda ise iyileştirme öncesinde Düzce depremi etkisiyle meydana gelen oturma miktarı 108,67 mm olarak görülmüştür. İyileştirme sonrasında ise bu oturma miktarları, 10 metrelik kazık uygulamasında 8,43mm, 20 metre kazık uygulamasında 1,17 mm ve 30 metre kazık uygulamasında 1,15 mm'lere kadar düşmüştür.

B+9 katlı yapıda ise iyileştirme öncesinde Düzce depremi etkisiyle meydana gelen oturma miktarı 79,3 mm tespit edilmiştir. Kazıklı iyileştirme sonrasındaki oturma miktarları ise, 10 metre kazık uygulamasında 8,12 mm, 20 metre kazık uygulamasında 1,02 mm ve 30

metre kazık uygulamasında 0,92 mm'lere kadar düşmüştür.

B+6 katlı yapıda ise iyileştirme öncesinde Düzce depremi etkisiyle meydana gelen oturma miktarı 55,17 mm olarak görülmüştür. İyileştirme sonrasında ise bu oturma miktarları, 10 metrelik kazık uygulamasında 7,89 mm, 20 metre kazık uygulamasında 0,93 mm ve 30 metre kazık uygulamasında 0,85 mm'lere kadar düştüğü görülmektedir.

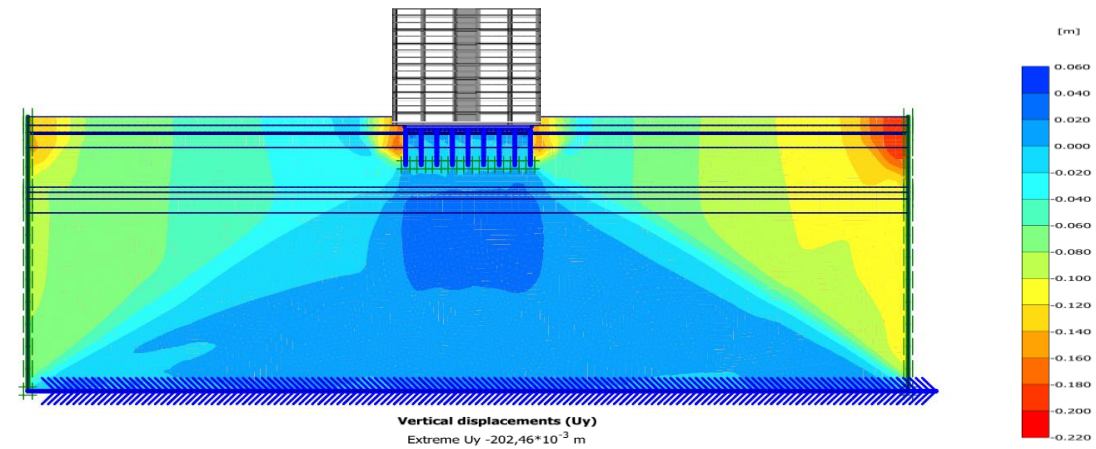
İyileştirme sonrası, depremli ve depremsiz farklı kat yüksekliklerine bağlı tüm oturma miktarları Şekil 9'da görülmektedir. Zemin iyileştirme için uygulanan 10 m kazık grubunun performansının diğerlerine göre daha ekonomik olduğu görülmektedir. İyileştirme analiz sonuçlarına göre 20 m ve 30 m kazık gruplarının ise birbirine yaklaşık performans gösterdiği tespit edilmiştir.



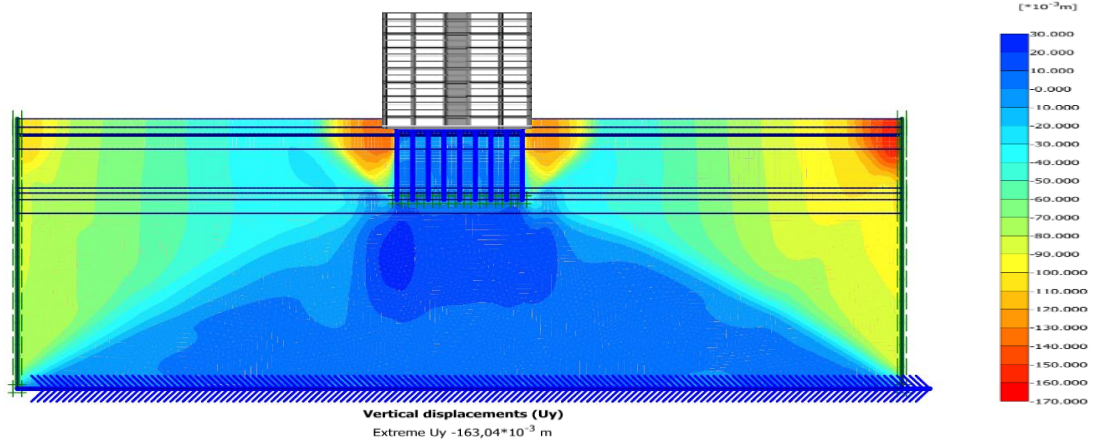
Şekil 9. İyileştirme Sonrası, Depremli ve Depremsiz Farklı Kat Yüksekliklerine Bağlı Düşey Yönlü Yer Değiştirme Miktarları (U_y)

Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de B+15 katlı yapının farklı boylardaki kazık gruplarıyla iyileştirilme sonrasında meydana gelen düşey yönlü yer değiştirme miktarları ve zeminde oluşan deformasyonların,

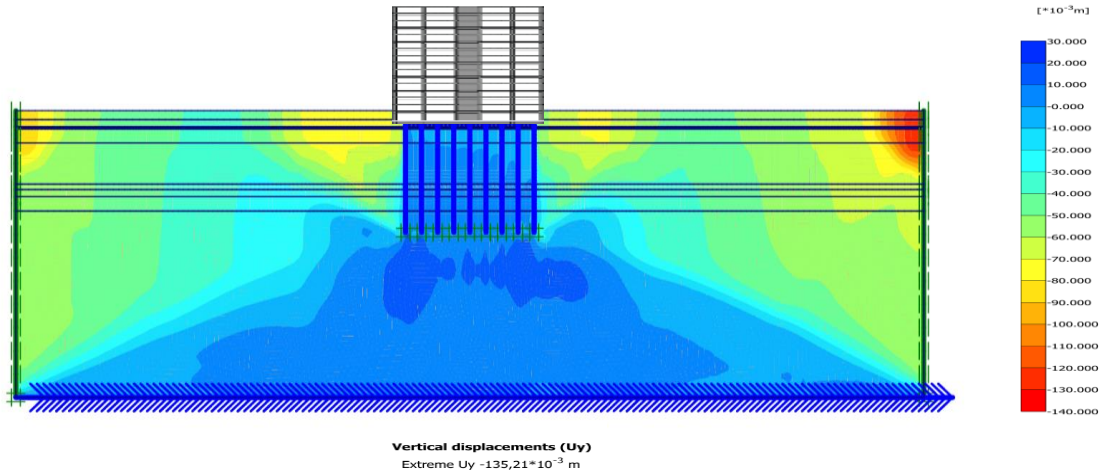
PLAXIS 2D sonlu elemanlar programının analiz çıktısı görülmektedir. Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de zeminde en fazla deformasyona sebep olan Düzce depremi verileri ile birlikte örnek olarak sunulmuştur.



Şekil 10. B+15 Kat, 10m Kazık, Düzce Depremi



Şekil 11. B+15 Kat, 20m Kazık, Düzce Depremi



Şekil 12. B+15 Kat, 30m Kazık, Düzce Depremi

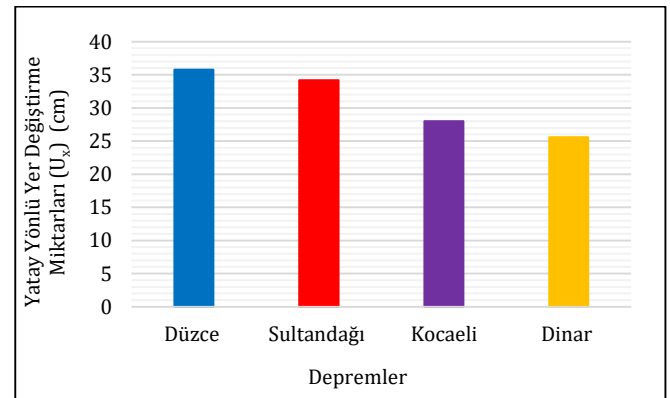
3.3. İyileştirme Öncesi ve İyileştirme Sonrası Deprem Etkisiyle Birlikte Zeminde Meydana Gelen Yatay Yer Değiştirme Sonuçları

Dinamik analizler neticesinde, iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş zeminde meydana gelen yatay yer değiştirme sonuçları elde edilmiştir. Yatay yer değiştirme miktarları yapının ve zeminin periyoduna göre farklılık gösterebilmektedir.

3.3.1. İyileştirme Öncesi Zeminde Meydana Gelen Yatay Yer Değiştirme Sonuçları

Farklı deprem ivmeleri altında zemin iyileştirme işlemi yapılmadan önce meydana gelen yatay yönlü yer değiştirme analiz sonuçları Şekil 13'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre örneğin Düzce depremi sonrasında zeminin 35,8cm, Sultandağı depremi sonrasında 34,2cm, Kocaeli depremi sonrasında 28cm ve Dinar depremi sonrasında ise zeminin 25,6cm yer değiştirmeye maruz kaldığı tespit edilmiştir. Dinamik

yüklere bağlı meydana gelen yatay yer değiştirmeler Şekil 13'te verilmiştir.

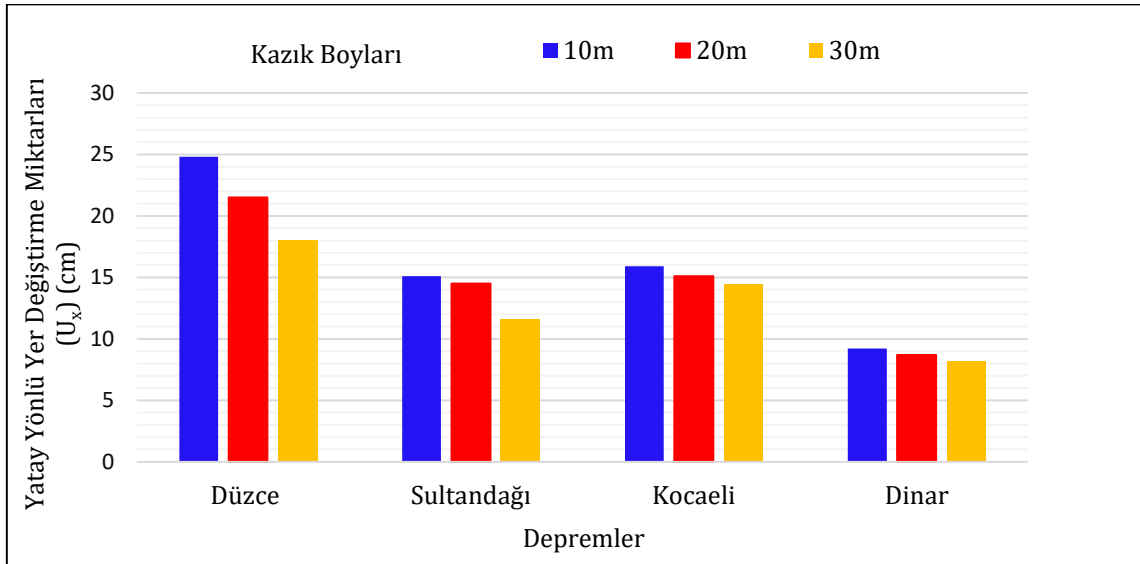
Şekil 13. İyileştirme Öncesi Yataydaki (U_x) Toplam Yer Değiştirme Değerleri

3.3.2. İyileştirme Sonrası Zeminde Meydana Gelen Yatay Yer Değiştirme Sonuçları

Farklı yüksekliklere sahip kazık grupları ile yapılan zemin iyileştirmesi sonrasında meydana gelen yatay yönlü yer değiştirme analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre örneğin, Düzce depremi etkisiyle zeminde 30,7 cm yer

değiştirme meydana gelirken, 10 m, 20 m ve 30 m kazık uygulaması sonrasında yatay yer değiştirme miktarları sırasıyla 24,8cm, 21,4cm ve 17,9 cm olarak tespit edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, kazık boyu arttıkça yatay yönlü yer değiştirme miktarının azaldığı görülmektedir (Şekil 14).



Şekil 14. İyileştirme Sonrası, Yataydaki (U_x) Toplam Yer Değiştirme Sonuçları

4. Sonuç

Taşıma gücü düşük zemin tabakaları üzerinde, farklı kat yükseklikleri ve dört farklı deprem kaydı ele alınarak sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan program yardımıyla statik ve dinamik analizler yapılmıştır.

Meydana gelme ihtimali yüksek olan oturma miktarları ve yatay yer değiştirme miktarları değerlendirilmiştir.

Statik durumda ve zemin iyileştirilmesi yapılmayan çalışmalarda, en fazla oturma B+15 katlı binada 25mm ve en az oturma B+3 katlı binada 9mm olarak tespit edilmiştir. Dinamik durumda ve zemin iyileştirilmesi yapılmayan analiz sonuçlarına göre, en fazla oturma B+15 katlı binada ve Düzce depreminde 151,4 mm oturma tespit edilirken, en az oturma ise B+3 katlı binada ve 11 mm oturma ile Dinar depreminde tespit edilmiştir. Statik ve dinamik durumlar için kat yüksekliği arttıkça oturma miktarları artmıştır. İyileştirme sonrasında oturma miktarının maksimum olduğu durumda 14 kat azalma görülmüştür.

Yapılan statik ve dinamik çalışmalar sonucunda, artan kat yüksekliği ile zeminde oluşan düşey deformasyonların doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür. Yatay yer değiştirme sonuçları ise dinamik yükün farklılıklarına göre değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte zeminin iyi analiz edilmesi, deprem

etkisinin göz ardı edilmemesi ve analizlerin yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Deprem etkisinin dikkate alınmadığı durumlarda oturma ve yer değiştirme hesaplarının güvenli olmayacağı tespit edilmiştir. Yapılacak olan dinamik analizler neticesinde güvensiz durumların oluşması engellenmektedir.

Kazıklı zemin iyileştirme analiz sonuçlarına göre, tasarımı yapılan kazık gruplarının, statik ve dinamik analizler için oturma miktarları kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı tespit edilmiştir. Zemin profili ve sahaya uygulanacak olan yapı yüküne göre dinamik ve statik analizler yapılar sahaya özel uygun iyileştirme yöntemi belirlenmelidir.

Kazık boylarının dinamik analizler neticesinde belirlenmesi mühendislik ekonomisi açısından da önem arz etmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; S. Gücek, sonuçların yorumlanması ve makalenin kontrolü ve analizler, G. Ünal, literatür hazırlığı, analizlerin yapılması ve makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Chimdesa, F. F., Jilo, N. Z., Hulagabali, A., Babalola, O. E., Tiyaşa. T. vd. (2023). Numerical analysis of pile group, piled raft, and footing using finite element software PLAXIS 2D and GEO5. Scientific Reports, 13, 1-19. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42783-x>

Evans, J., Ruffing, D., & Elton, D. (2021). Fundamentals of Ground Improvement Engineering. London: CRP Press Taylor&Francis Group.

Güler, M. S. ve Şen, S. (2015). Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(1), 56-66. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/113923>

Kwaak, B. (2015). Modelling of dynamic pile behaviour during an earthquake using PLAXIS 2D: Embedded beam (rows) (Yüksek Lisans Tezi). Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geosciences Section Geo-Engineering, Delft.

Liu, G. R. ve Quek, S. S. (2003). The Finite Element Method: A Practical Course: Computational Modelling. Oxford: Butterworth Heinemann.

Mungan, H. ve Sünbül, A. B. (2018). Sonlu Elemanlara Dayalı Dinamik Analiz; Zemin İyileştirme – Derin Temel Örneği. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 1(1), 206-215. doi: <https://doi.org/10.33793/acperpro.01.01.41>

Nomaler, G. Ş. (2018). 1999 Kocaeli Depreminde Adapazarı'nda Yapı Yüğü Altında Zemin Davranışı

(Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Önalp, A. ve Sert, S. (2010). Geoteknik Bilgisi III. İstanbul: Birsan Yayınevi.

Selçukhan, O. ve Ekinci, A. (2021). Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 23, 481-496. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.881603>

Sünbül, A. B. (2010). Yüzeysel Temelli 4-6 Katlı Binaların Deprem Sırasındaki Davranışlarının Parametrik İncelenmesi (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

TS500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Standart TS500. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Zein, Z. H., Jaber, L. & Temsah, Y. (2021). Dynamic Soil-Structure Interaction Analysis: Detecting The Reliability Of Modelling The Piles As A Plate Element For A Multistory Building Resting On Deep Foundation. Bau Journal- Science And Technology, 2(2), 8, 1-11. doi: <https://doi.org/10.54729/2959-331X.1051>

Wulandari, P. S. ve 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), 125, 363 – 367. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.083>

T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, “Deprem Dairesi Başkanlığı Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi” Erişim: 19.10.2023. <https://tadas.afad.gov.tr/map> (İnt. Kyn. 1)