

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN ZEMİN
DAVRANIŞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülnisa ÖZKAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

TEMMUZ, 2023

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN ZEMİN
DAVRANIŞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülnisa ÖZKAN
(Y2113.090004)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kaveh DEHGHANIAN
Eş Danışman: Prof. Dr. Ali KAHRİMAN

TEMMUZ, 2023

ONAY FORMU



ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Zemin Davranışına Etkisi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadar bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakça’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (/ /2023)

Gülnisa ÖZKAN

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimime başladığım ilk andan itibaren bilgi ve desteğini esirgemeyen, sorularıma bıkmadan usanmadan cevaplayan, anlamadığımda tekrar tekrar uğraşan, gece gündüz demeden tüm sorunlarıma ışık tutan, bana inanarak yol gösteren ve güler yüzü hiç eksik olmayan saygıdeğer tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Kaveh DEHGHANIAN;

Bu çalışma için destek olan, patlatma bölgelerine göndererek ölçüm almayı ve delme-patlatmayı sahada tecrübe edinmemi sağlayan, bana güvenini hissettiren 2. Danışmanım saygıdeğer Prof. Dr. Ali KAHRİMAN;

Sahadaki delme-patlatma konusunda engin bilgileriyle hiçbir desteğini esirgemeyen, bir şeften çok abi olan Sayın Jeofizik Mühendisi-Patlayıcı Yüksek Mühendisi Berat HOCAOĞLU;

Beni zorla bu yola sürükleyen, destekleriyle her şeyi başarabildiğim, “ben şunu yapmak istiyorum” dediğimde benden önce harekete geçen, varlıklarıyla güç kazandığım, düştüğüm zaman tekrar tekrar elimden tutup kaldıran, canımdan çok sevdiğim çok değerli ve sevgili ailem;

Hep yanımda olan, “yaparsın sen” cümlesiyle heyecan ve stresimi alan, bu çalışmadaki her aşamada bulunan İnşaat Mühendisi Murat Altın;

Sizlere yanımda olduğunuz ve destekleriniz için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. İyi ki varsınız. Bana inandığınız için minnettarım.

Temmuz,2023

Gülnisa ÖZKAN

PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN ZEMİN DAVRANIŞINA ETKİSİ

ÖZET

Yapılar bulundukları ortama göre birçok dinamik yükün etkisi altında kalır. Bu dinamik yüklere deprem, rüzgâr, hidrodinamik kuvvetler, makine titreşimleri ve patlatma gibi örnekler verilebilir. Yapıya birdenbire gelen ve kısa süreli etkiyen bu dinamik yükler büyük şekil değiştirmeye neden olabilir. Eski zamanlarda askeri ve savunma amaçlı kullanılan patlayıcı malzemeler zamanla inşaat sektöründe kullanılmaya başlamıştır. İnşaat mühendisliğindeki en önemli konulardan biri de yapıların mukavemeti olduğundan patlatma kaynaklı titreşimler yapıların kararlılığını etkiler. Patlatma yükü, patlayıcının şiddet ve yerine göre değişmekte olan deterministik bir yüküdür. Yapılar üzerindeki herhangi bir etkiyi önlemek için, patlamadan kaynaklanan en yüksek parçacık hızı ve frekansı için önerilen maksimum değerler, genellikle mevcut uygun hükümet kuralları ve endüstri standartları referans alınarak belirlenir. Bu çalışmanın amacı; genellikle sert zeminlerde yapılan bu patlatma sonucundaki titreşimlerin yumuşak zeminlerin davranışını nasıl etkileyeceği incelemektir. Bu çalışmada, patlatma kaynaklı titreşimlerin saha tepkisi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Tepe (pik) yer ivmesi, maksimum gerilme ve şekil değiştirme gibi parametreler T.C. Çevre, Şehircilik ve İklimlendirme Bakanlığı tarafından 04/06/2010 tarihinde yürürlüğe giren eski yönetmelik ve 30/11/2022 tarihli son yönetmelikte tavsiye edilen sınır değerlerine göre seçilen patlatma verilerinin $V_s = 120 \cdot (1+d)^{0,32}$ formülü ile tasarlanan teorik zeminde DeepSoil v7.0 programında eşdeğer doğrusal lineer analiz ve doğrusal olmayan analizle karşılaştırılmıştır. Daha sonra patlatma çalışmalarının yapıldığı sahanın zemin etüdündeki sondaj verilerinden alınan bir zemin profiliyle teorik zemin modeli eşdeğer lineer analiz ve nonlinear analiz ile karşılaştırılmıştır. Yumuşak zemin katmanlarında belirtilen parametrelerin değişiminin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar, yumuşak zeminin önemli bir etkiye sahip olduğunu, girdi parametrelerini önemli ölçüde etkilediğini ve güçlendirdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Patlatma Kaynaklı Titreşim, Saha Tepki Analizi, Eşdeğer Doğrusal (Lineer) Analiz, Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz, Tepe Yer İvmesi (PGA), Maksimum Gerilme, Maksimum Şekil Değiştirme



THE IMPACT OF BLAST VIBRATIONS ON THE SOIL BEHAVIOUR

ABSTRACT

Structures are under the influence of many dynamic loads according to their environment. Examples of these dynamic loads are earthquakes, wind, hydrodynamic forces, machine vibrations and blasting. These dynamic loads, which come to the structure suddenly and act for a short time, can cause large deformations. Explosive materials, which were used for military and defense purposes in the past, have started to be used in the construction sector over time. Since one of the most important issues in civil engineering is the strength of structures, blasting-induced vibrations affect the stability of structures. The blasting load is a deterministic load that varies according to the intensity and location of the explosive. In order to avoid any impact on structures, the recommended maximum values for the highest particle velocity and frequency resulting from blasting are usually set with reference to the appropriate existing government rules and industry standards. The aim of this study is to investigate how these blasting-induced vibrations, which usually occur in hard soils, will affect the behavior of soft soils. In this study, the effect of blasting-induced vibrations on site response is investigated. Parameters such as peak ground acceleration, maximum stress and strain are compared by equivalent linear analysis and nonlinear analysis in DeepSoil v7.0 program on the theoretical soil designed with the formula $V_s = 120 \cdot (1+d)^{0.32}$ of the blasting data selected according to the recommended limit values in the old regulation dated 04/06/2010 and the latest regulation dated 30/11/2022 by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. Then, the theoretical soil model was compared with a soil profile taken from the drilling data in the soil survey of the site where the blasting works were carried out by equivalent linear analysis and nonlinear analysis. It was observed that the variation of the specified parameters was high in soft soil layers. The results show that the soft ground has a significant influence, significantly affecting and reinforcing the input parameters.

Keywords: Blasting Induced Vibration, Site Response Analysis, Equivalent Linear (Linear) Analysis, Nonlinear Analysis, Peak Ground Acceleration (PGA), Maximum Stress, Maximum Strain



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ONUR SÖZÜ	i
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xix
I. GİRİŞ	1
A. Amaç.....	1
B. Kapsam	2
II. DELME - PATLATMA.....	3
A. Patlatmanın Tarihçesi	3
B. Delme - Patlatma	5
C. Basamak Patlatması	6
D. Çevresel Faktörler.....	9
1. Kaya Fırlaması	10
2. Toz Emisyonu	11
3. Yer Sarsıntısı (Patlatma Kaynaklı Titreşim).....	12
a. Ölçekli mesafe kavramı	12
b. Maksimum parçacık hızının (PPV) tahmini	13

4. Gürültü	13
E. Hasar Sınıflandırması ve Yönetmelikler.....	14
1. USBM Alternatif Patlatma Hasar Ölçütü.....	15
2. DIN 4150 Alman Normu	16
3. İsveç Standardı.....	17
a. Kılavuz seviyeleri	17
4. İngiliz Standardı.....	18
5. Hindistan Standardı.....	19
6. Fransa Standardı.....	20
7. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklimlendirme Bakanlığı Ses ve Gürültü Kontrol Yönetmelikleri.....	20
III. SAHA - TEPKİ ANALİZLERİ.....	23
A. Doğrusal Analiz	23
B. Eşdeğer Lineer Analiz	24
C. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz.....	25
IV. VERİLERİN TOPLANMASI VE ZEMİN MODELLEME	27
A. Verilerin Toplanması	27
B. Zemin Modelleme.....	28
1. Eşdeğer Doğrusal (Lineer) Analizler İçin Modellenen Zeminler	30
a. Sondaj verilerinden oluşturulan zemin modeli	30
b. Denklemden oluşturulan zemin modeli (Teorik Zemin)	34
2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analizler İçin Modellenen Zeminler	35
a. Sondaj verilerinden oluşturulan zemin modeli	35
b. Denklemden oluşturulan zemin modeli (Teorik Zemin)	37
V. TEK BOYUTLU DİNAMİK ANALİZLERİN SONUÇLARI.....	39
A. Eski ve Yeni Yönetmeliklere Göre Seçilen Verilerin Karşılaştırılması	39

1. Eşdeğer Doğrusal (Lineer) Analiz	40
a. Tepe Yer (Pik) İvmesi (PGA).....	40
b. Maksimum Gerilme	45
c. Maksimum Şekil Değiştirme	51
2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz	56
a. Tepe Yer (Pik) İvmesi (PGA).....	56
b. Maksimum Gerilme	62
c. Maksimum Şekil Değiştirme	67
B. Sondaj Zemini ve Teorik Zemini Arasında Yapılan Analizlerin	
Karşılaştırılması	72
1. Eşdeğer Doğrusal (Lineer) Analiz	73
a. Tepe Yer (Pik) İvmesi (PGA).....	73
b. Maksimum Gerilme	76
c. Maksimum Şekil Değiştirme	79
2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz	82
a. Tepe Yer (Pik) İvmesi (PGA).....	82
b. Maksimum Gerilme	85
c. Maksimum Şekil Değiştirme	88
VI. TARTIŞMA VE SONUÇ	91
A. Eski ve Yeni Yönetmeliklere Göre Seçilen Verilerin Karşılaştırılması	91
B. Sondaj Zemini ve Teorik Zemini Arasında Yapılan Analizlerin	
Karşılaştırılması	92
C. Sonuç	93
VII.KAYNAKÇA	95
EKLER.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	115



KISALTMALAR LİSTESİ

[c]	]: Viskos Sönümlleme Matrisi
[K]	: Rijitlik Matrisi
[M]	: Kütle Matrisi
ANFO	: Amonyum Nitrat Fuel Oil
B	: Dilim Kalınlığı
b1	: Yeni Yönetmelikte Evler, Tuğla, Beton gibi Dayanıklı Yapılar için 1-10 Hz Arasında Seçilen Sınır Değere Sahip Patlatma Verisi
b2	: Yeni Yönetmelikte Evler, Tuğla, Beton gibi Dayanıklı Yapılar için 10-50 Hz Arasında Seçilen Sınır Değere Sahip Patlatma Verisi
b3	: Yeni Yönetmelikte Evler, Tuğla, Beton gibi Dayanıklı Yapılar için 50 Hz ve Üzerinde Seçilen Sınır Değere Sahip Patlatma Verisi
Btn	: Yeni Yönetmelikte Evler, Tuğla, Beton gibi Dayanıklı Yapılar için Seçilen Sınır Değere Sahip Patlatma Verisi
d	: Derinlik
D	: Sönüm Oranı
dB	: Desibel
e1	: Yeni Yönetmelikte Endüstriyel Yapılar için 1-10 Hz Arasında Seçilen Sınır Değere Sahip Patlatma Verisi
e2	: Yeni Yönetmelikte Endüstriyel Yapılar için 10-50 Hz Arasında Seçilen Sınır Değere Sahip Patlatma Verisi
e3	: Yeni Yönetmelikte Endüstriyel Yapılar için 50 Hz ve Üzerinde Seçilen Sınır Değere Sahip Patlatma Verisi

End	: Yeni Yönetmelikte Endüstriyel Yapılar için Seçilen Sınır Değere Sahip Patlatma Verisi
Eski	: Eski Yönetmelik için Seçilen Sınır Değere Sahip Patlatma Verisi
F_d	: Patlatma ile Ölçüm Noktası Arasındaki Mesafe
F_k	: İnşaat Kalite Faktörü
F_t	: Proje Süresi
G	: Kayma Modülü
G_{sec}	: Sekant Kayma Modülü
H	: Basamak Yüksekliği
Hz	: Hertz
K	: En Fazla Olabilecek Basamak Yüksekliği
K	: Saha İletim Kat Sayısı
L	: Delik Boyu
PGA	: Tepe Yer (Pik) İvme
PPV	: Maksimum Parçacık Hızı
R	: Patlatma Noktası ile Ölçüm Alınan Nokta Arasındaki Mesafe
S	: Delikler Arası Mesafe
SD	: Ölçekli Mesafe
TZ	: Teorik Zemin
ú	: Relatif Hız
ű	: Relatif İvme
U	: Relatif Yer Değiştirme
USBM	: United States Bureau of Mines
V₀	: Düzeltilmemiş Parçacık Hızı
V_s	: Kayma Dalgası Hızı
W	: Gecikme başına maksimum patlayıcı miktarı

Z1	: Sondaj Zemini 1
Z2	: Sondaj Zemini 2
B	: Saha Sönümleme Katsayısı
γ	: Birim Hacim Ağırlık
τ	: Kayma Gerilmesi





ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.	Patlatma Tasarım Parametreleri.....	9
Çizelge 2.	Hasar Sınıflandırması	15
Çizelge 3.	Alman DIN 4150 Normunda Yapı Türü ve Frekansa Göre Parçacık Hızı Sınır Değerleri.....	16
Çizelge 4.	Düzeltilmemiş Düşey Parçacık Hızı	18
Çizelge 5.	Bina Faktörü (F_b)	18
Çizelge 6.	Proje Zaman Faktörü (F_t).....	18
Çizelge 7.	Kozmetik Hasar için Geçici Referans Titreşim Seviyeleri	18
Çizelge 8.	Hindistan Standardına Göre Madencilik Alanlarında Yapılan Altyapı Düzeyinde İzin Verilen Maksimum PPV	19
Çizelge 9.	Fransa Standardı	20
Çizelge 10.	04/06/2010 Tarihli Yönetmeliğin Sınır Değerleri	21
Çizelge 11.	30/11/2022 Tarihli Yönetmeliğin Sınır Değerleri	21
Çizelge 12.	Zemin 1'in eşdeğer lineer analiz için parametreleri	31
Çizelge 13.	Yerel zemin sınıfları	32
Çizelge 14.	Zemin 2'nin eşdeğer lineer analiz için parametreleri	34
Çizelge 15.	Teorik zeminin eşdeğer lineer analiz için parametreleri.....	34
Çizelge 16.	Zemin 1'in nonlinear analiz için parametreleri.....	36
Çizelge 17.	Zemin 2'nin nonlinear analiz için parametreleri.....	37
Çizelge 18.	Teorik zeminde nonlinear analiz için kullanılan parametreler	38



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.	Basamak Patlatması.....	7
Şekil 2.	Delme – Patlatma İşlemleri	8
Şekil 3.	Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkiler.....	10
Şekil 4.	Patlatma Sırasında Oluşan Taş Savrulması	11
Şekil 5.	Toz Emisyonu	11
Şekil 6.	Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerler	14
Şekil 7.	USBM Alternatif Kriter Analizi.....	16
Şekil 8.	DIN 4150 Alman Normu.....	17
Şekil 9.	İngiliz Standardı	19
Şekil 10.	Kelvin-Voight katısı	24
Şekil 11.	Titreşim Ölçer Cihaz	28
Şekil 12.	DeepSoil “Analysis Type Definition” ara yüzü	30
Şekil 13.	DeepSoil zemin tanımlama ara yüzü.....	31
Şekil 14.	Eşdeğer lineer analizde sondaj zemini için seçilen azalım eğrileri	32
Şekil 15.	Ana kaya parametrelerinin tanımlanması.....	33
Şekil 16.	DeepSoil “Analysis Control Definition” ara yüzü	33
Şekil 17.	Yumuşak zemin için azalım eğrilerinin seçilmesi.....	35
Şekil 18.	Nonlineer analiz seçilmesi	35
Şekil 19.	Viskoz Sönüm Matrisi ara yüzü	36
Şekil 20.	Nonlineer Analiz için Analysis Control Definition ara yüzü.....	37

Şekil 21.	Z1 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	40
Şekil 22.	Z2 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	41
Şekil 23.	TZ için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	42
Şekil 24.	Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	43
Şekil 25.	Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	44
Şekil 26.	TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	45
Şekil 27.	Z1 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	46
Şekil 28.	Z2 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	47
Şekil 29.	TZ için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	48
Şekil 30.	Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	49
Şekil 31.	Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	50
Şekil 32.	TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	51
Şekil 33.	Z1 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	52
Şekil 34.	Z2 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	53
Şekil 35.	TZ için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	54

Şekil 36.	Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	55
Şekil 37.	Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	55
Şekil 38.	TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	56
Şekil 39.	Z1 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	57
Şekil 40.	Z2 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	58
Şekil 41.	TZ için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	59
Şekil 42.	Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	60
Şekil 43.	Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	61
Şekil 44.	TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	62
Şekil 45.	Z1 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	63
Şekil 46.	Z2 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	64
Şekil 47.	TZ için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	64
Şekil 48.	Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	65
Şekil 49.	Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	66
Şekil 50.	TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	67

Şekil 51.	Z1 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	68
Şekil 52.	Z2 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	69
Şekil 53.	2. TZ için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	69
Şekil 54.	Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	70
Şekil 55.	Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	71
Şekil 56.	TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	72
Şekil 57.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	73
Şekil 58.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	73
Şekil 59.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	74
Şekil 60.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri.....	74
Şekil 61.	Endüstriyel gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	75
Şekil 62.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	75
Şekil 63.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	76
Şekil 64.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	76
Şekil 65.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	77

Şekil 66.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	77
Şekil 67.	Endüstriyel gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri.....	78
Şekil 68.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	78
Şekil 69.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	79
Şekil 70.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	79
Şekil 71.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	80
Şekil 72.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	80
Şekil 73.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	81
Şekil 74.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	81
Şekil 75.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	82
Şekil 76.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	82
Şekil 77.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	83
Şekil 78.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri.....	83

Şekil 79.	Endüstriyel gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	84
Şekil 80.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri	84
Şekil 81.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	85
Şekil 82.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	85
Şekil 83.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	86
Şekil 84.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	86
Şekil 85.	Endüstriyel gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	87
Şekil 86.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri	87
Şekil 87.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	88
Şekil 88.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	88
Şekil 89.	Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	89
Şekil 90.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	89
Şekil 91.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	90

Şekil 92.	Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri	90
-----------	---	----





I. GİRİŞ

A. Amaç

Dünyada ve ülkemizde insan nüfusu hızla artmaktadır. Bu artan nüfus gereksinim duyulan barınma, enerji, su ve ulaşım gibi temel ihtiyaçları da arttırmaktadır. Yöneticiler bu ihtiyaçları karşılayabilmek için baraj, otoyol, metro gibi projeler üreterek ihtiyaçlara çözüm bulmaya çalışmaktadır. Bu projeler tasarlanırken zemin tabakalarının geoteknik özellikleri, statik ve dinamik yükler etkisindeki davranışlarının bilinmeli ve bu projelerin yapılabilmesi için de coğrafi ve jeolojik etütlerin yapıldıktan sonra zemin profilleri çıkarılmalıdır. İhtiyaç duyulan alanlarda patlatmaların yapılması gerekmektedir. Konut, ulaşım ve altyapı gibi önemli sorunlarda ise yeraltında ve zeminde karşılaşılan zemin farklılıklarından dolayı sert kayalarda genellikle patlatmalar yapılmaktadır. Bu patlatmalardan ortaya çıkan titreşimler sismik dalgalar halinde tüm zemin profiline direkt etki etmektedir. Sismik dalgalar büyük ölçekte kayalarda yayılırken, yayılımı boyunca zemin tabakaları içerisinde de zemin tabakalarıyla etkileşim halinde olurlar. Bu etkileşim sonucunda zemin tabaksının rijitliğini azaltırlar. Bu sismik dalgalar, zemin yüzeyinde kayma deformasyonu oluşturacağından çevresindeki veya yakınındaki yapılara hasar verebilir. Zemin cinsi, zeminin kayma dalgası hızı, sönüm oranı ve zeminin kayma modülü de patlatma kaynaklı oluşan sismik yüklerin dinamik parametrelerdendir. Zemin tabakalarının davranış göstermesiyle zeminlerde oluşacak deplasman ve deformasyonların yanı sıra zemin büyütmesi etkisi ile mühendislik yapılarında oluşacağı tahmin edilen hasarların saptanarak yapıların tasarımında kullanmak amacı ile serbest saha davranışı analizleri yapılır. Bu analizler 1 boyutlu, 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak topoğrafyaya, arazinin eğimli olmasına ve sınır koşullarına göre gerçekleştirilirken, zeminlerin genelde yatay tabakalar halinde bulunduğu durumlarda 1 boyutlu (1D) dinamik analiz yeterli olur. Sadece sahada gerçekleştirilmekte olan tepki analizleri dinamik yüklemeler altında doğrusal

olmayan davranışlar gösteren zemin tabakalarına ait dinamik parametrelerin kullanılması ile yapılır.

B. Kapsam

Bu çalışmada bir adet sondaj verilerinden oluşturulan zemin ve bir adet teorik zemin tanımlanarak yönetmeliklere uygun düzeyde seçilen patlatma kaynaklı titreşimlerin eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan bir boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Analizler neticesinde tepe yer (pik) ivmesi, maksimum gerilme ve şekil değiştirme grafikleri incelenerek yorumlanmıştır. Genellikle sert zeminlerde yapılan patlatma kaynaklı titreşimlerin yumuşak zeminlerin davranışını nasıl etkilediği incelenmek istendiğinden teorik zemindeki iki rijit tabaka arasına yumuşak zemin yerleştirilmiştir. Bunun sonucunda da iki rijit tabaka arasında bulunan yumuşak zeminde parametrelerin güçlendiği gözlemlenmiştir.

II. DELME - PATLATMA

A. Patlatmanın Tarihçesi

İnsanoğlu M.Ö başlayan yaşam serüveninde ilkel yaşamdan kabile hayatına, kabile hayatından da yerleşik toplumsal hayata geçişinde etnik ve sosyolojik etkilerle kendi oluşturdukları toplulukları koruma içgüdüleriyle hareket etmişlerdir. Topluluklar kendi muhafazakâr yapısı içerisinde birliği ve dirliğini korumak amacıyla dış etkenlere karşı korunmak için birtakım savunma araç ve gereçlerini geliştirmişlerdir. Buna ilk örnek olarak da insanlığın varoluşuyla başlayan ihtiyaçlarından avlanma ve korunma amacıyla sert taşları yontarak yapmış oldukları mızraklar verilebilir. Daha sonra ok, yay, mancınık gibi aletler bulunmuştur. İlk başlarda sadece temel ihtiyaçları gidermek amaçlı ortaya çıkan bu aletler ilerleyen zamanlarda ateşin ve barutun bulunup topun geliştirilmesiyle ateşli silahlar ortaya çıkarak insanların birbirleri üzerindeki güç savaşlarında kullanılmaya başlanmıştır.

Yerleşik hayata geçtikten sonra farklı bölgeleri benimseyen insanlar dünya üzerinde birçok yola, köprüye, maden cevherine ve esere imza atmışlardır. Yaptıkları tünel, mabed, taş ocağı gibi önemli yapılarda doğanın izin vermediği durumlarla karşılaşmış ve bu mücadele için bir maddeye ihtiyaç duymuşlardır. M.Ö. Hz. Süleyman Mabedi inşa edilirken işçiler taşlara ufak delikler oluşturduktan sonra bu deliklere ağaç kazıklar çakmışlardı. Bu kazıkları ıslatarak da taşın kırılmasını sağladılar. Bu olaylar ışığında da patlayıcı maddeler ortaya çıkmaya başlamıştır. Tarihin ilk bilinen patlayıcı maddesi ise Çinliler tarafından bulunan baruttur. 904 yılında barutu “uçan ateş” adıyla patlayıcı olarak kullanmışlardır. 1320 yıllarında tabanca patlayıcısı olarak, 1600’lerde ise tahrip edici olarak kullanılmıştır (Bağdatlı, 2013: 9-10). Barut, 13. Yüzyılda batıya; M.S. 7. Asırda Türkler aracılığı ile de Avrupa’ya taşınmıştır. “%75 Güherçile, %15 Yumuşak Odun Kömürü, %10 Kükürt” patlayıcı barutun en uygun formülüdür (Demirtürk, 2015: 4).

Kaya gevşetme yapılırken; kara barutun bulunmasından önce kaya yüzeyleri üzerlerinde odunlar yakılarak ısıtılır sonrasında ısıtılmış olan kaya yüzeylerine su dökülüp kayalar yavaş yavaş kırılırdı. Örneğin M.S. I. Asırda Mate Silviano Dağı'nın altından Roma'ya su getirmek amacıyla İmparator Claudius tarafından tünel yaptırmak istenmiştir. Bu tüneldeki ilerleme de aynada ateş yakıp kayalar iyice ısıtıldıktan sonra su serpilerek çatlatılarak sökülmesi ile olmuştur (Bağdatlı, 2013: 4). Barutun bulunmasıyla kaya gevşetme işlemleri hız kazanmış olsa da yemleme işlemi çok zor oluyor ve ateşleme sistemi de tehlikeli olduğundan çeşitli kazalar meydana geliyordu. 1831 yılında emniyet ve güvenliğini arttıracak olan “Emniyetli Fitol” William Bickford tarafından bulundu (Demirtürk, 2015: 4).

Kaya gevşetme piyasasındaki talep artışı sebebiyle daha güçlü patlayıcılar geliştirilmeye başlandı. Ascanio Sobrero 1846 yılında Nitrogliserini keşfetse de tahrip amaçlı kullanılabilirliğini Alfred Nobel ortaya çıkarıp 1864'te ilk Nitrogliserin fabrikasını kurmuştur. Buradaki sorun ise yalnız Nitrogliserin kullanımının çok riskli olmasıydı. Bu problemi, Nobel 1863 yılında kapsülü keşfederek çözmüştür. Kapsülleri emniyetli fitil ve Nitrogliserin yemlerken beraber kullanmıştır. Nitrogliserin üretimi zamanla tüm dünyaya yayılmıştır. 1866 yılında A. Nobel “Kieselgür”ü keşfetmiştir. Kieselgür, Nitrogliserin'i absorbe eder. Kieselgür – Nitrogliserin'in şoka karşı hassaslığı çok azdır. Bu nedenle çalışmalar sonucunda dinamit keşfedilmiştir. Dinamitin, baruttan en az 20 kat daha güçlü olduğu ortaya çıkmıştır. Bundan sonra da dinamitteki gelişmeler devam etmiştir (Demirtürk, 2015: 5).

Jeloturn bazlı patlayıcılar, A. Nobel tarafından 1875 yılında Nitrogliserinin nitroselüloz içerisinde tutmayı başararak ortaya çıkmıştır. 1913 yılında ilk defa yanan bir petrol kuyusunu söndürmek ve 1914'te 77 km'lik Panama Kanalı'nı açmak için patlatma yapılmıştır. Panama Kanalı dinamit kullanılan ilk büyük proje olup 31 milyon dinamit kullanılmıştır. 1920'deyse dinamite Nitroglolikol eklenerek donma noktası düşürülmüştür (Demirtürk, 2015: 5).

Dinamiti ateşlemek için yeni metotlar araştırılırken 20. Yüzyılın başlangıcında bulunan elektrikli kapsüllere pratik bir kullanım sunan ilk elektrikli gecikmeli kapsüller (1 saniyelik) 1922'de bulundu. 1940'ta modern patlatma tekniğinde en büyük gelişme olan kısa gecikmeli kapsüller (10-100 mm/s) bulundu. 1950'li yılların başında madencilik ve patlayıcı madde kullanımı için

dönüm noktası olan Amonyum Nitrat'ın patlayıcı özelliği bir kaza sonucu keşfedilmiştir. 1955 yılında Amonyum Nitrat ve Karbonun karışmasıyla kolaylıkla hazırlanabilen Akremite isimli patlayıcı Robert W. Akre tarafından bulunmuştur. ANFO (Amonyum Nitrat Fuel Oil) adı verilen patlayıcı madde 1956 yılında Amerika'da piyasaya sürüldü. Ucuz, kolay üretilabilir ve güvenilir olması sebebiyle kısa sürede sektörün en yaygın patlayıcı maddesi haline gelmiş olsa da İki dezavantajı vardır. Bunlardan bir suya dayanıksız olması diğeri ise düşük yoğunluğudur. Düşük yoğunluk da delme maliyeti yüksek kayaçlarda maliyeti yükseltir. Bu dezavantajlar yeni ürünlerin araştırılmasına zemin hazırlamıştır (Günay, 2019: 2-4).

Slurry diye bilinen karışımlar 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu karışımlarda yüksek konsantrasyonlu amonyum nitrat ve diğer nitrat tuzları çözeltisi, kimyasal kolloidal maddeler kullanılarak kıvamlı bulamaç haline getirilse de temel ana patlayıcı amonyum nitrattır. Bu kolloidal maddeler karışıma su girmesini yavaşlatarak sulu deliklerde belli bir süre bozulmasan kalabilmesini sağlamaktadır. Slurry karışımları içine alüminyum tozu, TNT ve MAN gibi enerji veren maddeler ilave edilerek patlayıcı maddenin gücünde atış sağlamak amaçlanmıştır. ANFO'ya göre en önemli avantajları arasında bir de yoğunluk bulunmaktadır. Slurry patlayıcılarından sonra yeni nesil patlayıcılardan olan yüksek konsantrasyonlu Amonyum Nitrat tuzları çözeltisi ve kolloidal maddeler yerine emülsifiyerler kullanılarak suya dirençli emülsiyonlar oluşturulmuştur (Günay, 2019: 2-4).

Son zamanlarda ise ucuzluğun yanında güç faktörünü de arttırmak için ANFO ile emülsiyon karışımları da yapılmaktadır. ANFO'nun suda çözünme özelliğini ortadan kaldıran suya dayanıklı bir ANFO türü geliştirilmiş ve AKNAVOL adıyla piyasaya sürülmüştür. 1970 yılındaysa elektrikli ateşleme sistemlerinin yarattığı riskleri ortadan kaldırıp daha güvenli bir ateşleme sistemi olarak bilinen "elektriksiz ateşleme sistemleri (non-electric initiating systems) geliştirildi ve kullanılmaya başlandı (Özkan, 2019: 8-10).

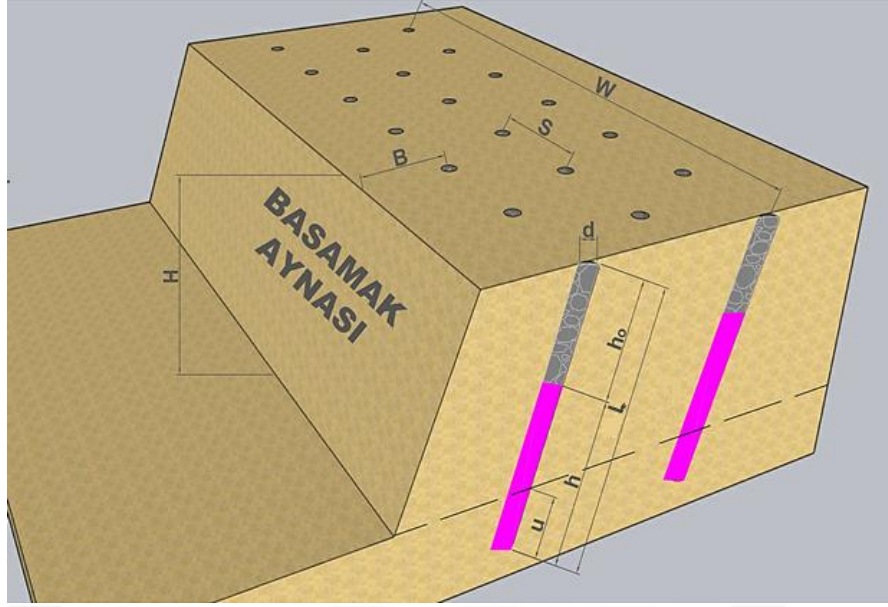
B. Delme - Patlatma

Askeri ve savunma amaçlı kullanıldığında büyük zararlar veren patlayıcı malzemeler doğru amaçlarla kullanıldığında ise kaya kazılarında kullanılmaya

değer bulunmuştur. Gelişen teknolojiyle delme ekipmanları gelişmiş, patlayıcı maddeler seri üretilmeye başlanarak uygun fiyatlı olmaya başlamıştır. Böylelikle delme ve patlatma yöntemiyle yapılan kazı büyük ölçekte kullanılmaya başlanmış ve hatta yaygınlaşmıştır. Makinalı kazının yapılamadığı büyük ölçekli inşaat projelerinde (Tünel, Havalimanı, Baraj, Yüksek Standartlı Karayolu vb.) süre ve maliyet açısından avantajlı olduğundan tercih sebebi olmuştur (Karakaş vd., 2015: 235). Primer kırıcıları devre dışı bırakıp kütle ötelenmesini hedefleyebilmek de mühendislik açısından nihai bir ideal olmaktadır (Sağlam vd., 2023). Delme-patlatma uygulanan bu tip projelerde planlama ve uygulama fazları diğer kazı yöntemlerine göre farklı bir boyuttur. Genellikle deliklerin delinmesi, şarj ve patlama, yükleme, taşıma, kırma-öğütme şeklindeki işlemlerden meydana gelmektedir (Bağdatlı vd., 2015: 295-296). Patlatmalı kazı çalışması olarak adlandırdığımız bu çalışmalara başlamadan önce sahanın jeolojik özellikleri, kazı işlemi için gereken enerji, üretim miktarı ve gereken süre hesaplanır. Daha sonra planlama yapılarak gerekli sayıda ve amacına uygun ekipman tedarik listesi yapılır. Çalışma süresi boyunca da patlatma kayıtları tutularak çalışma metotları devamlı olarak incelenir ve gerek görüldüğü takdirde geliştirilir. Zemin gevşetmesi veya doğrudan kazı yapılması yöntemi olan bu delme-patlatma faaliyetleri zeminlerin madde-kütlesel özellikleri ve kullanım teknolojisi sınırlı olan makinalı kazı gibi konvansiyonel yöntemlere göre maliyet ve süre açısından daha avantajlı bulunduğu yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde delme – patlama temel kazıları, tünel açma faaliyetleri gibi alanlarda kullanılmaktadır. (Ceylanoğlu vd., 1993: 127-138). Çevresel faktörlerin de kontrolüyle birlikte uygulanmaktadır.

C. Basamak Patlatması

Açık maden, temel kazıları gibi patlatmalı kazı çalışmalarında farklı kotlara sahip taban ve tavan yükseklik farkından kaynaklanan kademelere basamak denilmektedir. Bu kademelerin her birinde yapılan patlatma çalışmasına ise basamak patlatması denir.



Şekil 1. Basamak Patlatması

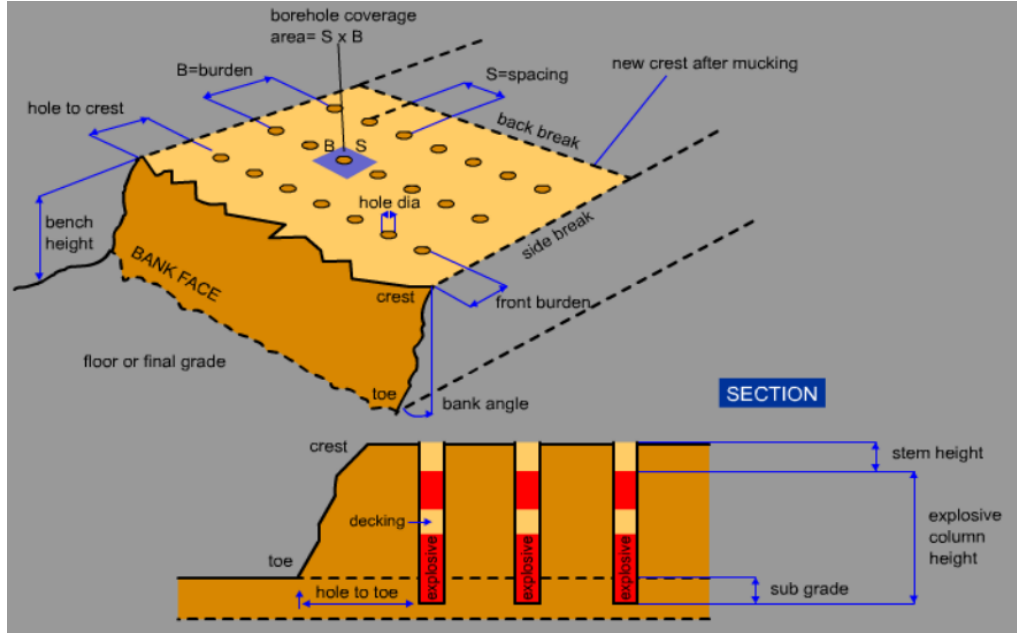
Kaynak: (Kahrıman, 2022)

Kayanın sağlamlığı, yapısına ve delik eğimine bağlı olarak dik veya 90° den az meyilli şev oluşturan basamak alını kayanın parçalanmasını ve parçalanmış kayanın ileriye hareket etmesini sağlayan basamak aynasıdır. Basamağın serbest açıklığı veya serbest yüzeyi olarak da ifade edilebilir. Şekildeki H değeri basamak yüksekliğidir. H değeri taban ve tavan kotlarının farkından bulunur. B (Burden), basamak aynası ile ilk sıradaki delikler arasındaki mesafeyi ifade eden dilim kalınlığıdır. Basamak patlatması olabilmesi için B değerinin, en fazla basamak yüksekliği olan K'nın yarısı kadar olmalıdır. S (Spacing) ile gösterilen ise serbest yüzeye paralel olarak aynı sırada yer alan deliklerin arasındaki mesafeyi ifade eder. Kısaca delikler arası mesafe de denilebilir. L ile ifade edilen delik boyları ise basamak tabanının düzgün olması için basamak yüksekliğinden biraz fazla delinir. Fazla delinen kısım da delik taban payı olarak adlandırılır (Kahrıman, 1999).

Deliklerin dibine yerleştirilen patlayıcı maddelere dip şarjı, onun üzerinde bulunan şarja ise kolon şarjı denir. Genelde dip şarj, kolon şarjına göre miktar ve kuvvet olarak fazla seçilir. Bunun sebebi de tabana yakın yerlerde kaya parçalanmasının daha zor olmasıdır. Dolumlar tamamlandıktan sonra deliği tamamen dolduracak şekilde patlayıcı olmayan malzemeler kullanılmaktadır. Bu olay sıkılama olarak adlandırılır ve şekilde h_0 ile gösterilmektedir. Sıkılama

malzemesi olarak çakıl, kum, kırmataş veya delme makinesi kırıntıları gibi malzemeler kullanılmaktadır (Adıgüzel, 2007: 142).

Genelde patlatmalı kazı çalışmalarında sırasıyla delme-patlatma, kazı-yükleme, nakliye, kırma gibi faaliyetler yapılmaktadır.



Şekil 2. Delme – Patlatma İşlemleri

Kaynak: (URL-1)

Patlatma çalışmalarındaki temel amaç, ekonomik ve güvenli bir atım yapılmasıdır. Bu da iyi bir patlatma tasarımı ile mümkündür. İyi ve güvenilir bir patlatma tasarımı ise yükleyici ekipmanın verimliliği ve kullanım açısından istenilen parçalanma derecesinde, kısmen hareket ettirilmiş, gevşek bir yığının elde edilmesine izin veren ve sonraki bölümde bahsedilecek çevresel sorunları (yersarsıntısı, hava şoku, fırlayan kaya gibi) veya en aza indirilmiş bir patlatmanın sonuçlarını önceden tahmin edebilmektir. Gereğinden daha fazla delik delmek veya daha fazla patlayıcı madde kullanmak hem delme ve patlatmanın maliyetini hem de daha homojen ve daha küçük parça boyutunda bir yığın oluşturulması ihtimalini artırır. Patlatma tasarımları her bir deliğe konacak en uygun patlayıcı madde miktarının ne olacağı ve istenen parçalanma derecesinde istenen konumda bir yığını oluşturmak için delik paterninin nasıl olacağı temeline dayanmaktadır. Yani özgül şarj ve dilim kalınlığının ne olacağı önemlidir. Bu iki temel parametrenin belirlenmesi durumunda diğer parametreler hesaplanabilmektedir. Çizelge 1’de görüldüğü üzere teknik, ekonomik ve emniyet

açısından güvenli bir patlatma tasarımında birçok parametre yer almaktadır (Kahriman, 2022: 27).

Çizelge 1. Patlatma Tasarım Parametreleri

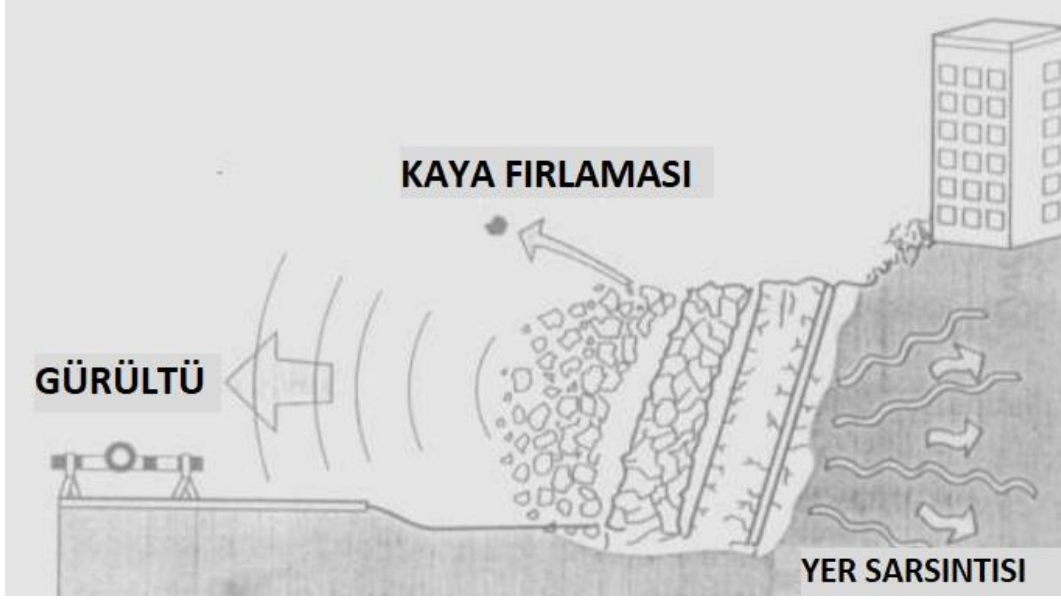
Başlıklar	Parametreler
Kaya birimlerinin malzeme ve kütle özellikleri	Yoğunluk, Basınç ve çekme dayanımları, Sismik dalga hızı, Empedans, Süreksizlik durumu ve kütsel olarak sağlamlık derecesi, Su durumu, Elastik modülü, Poisson oranı, Değişkenlik durumu (homojenlik, anizotropi ve izotropiklik), Sertlik
Patlayıcı maddenin cinsi, özellikleri ve dağılımı	Yoğunluk, Patlama hızı, Kudret (güç), Hassasiyet, Suya dayanım, Dona dayanım, Gaz özellikleri, Patlama ısısı ve özgül gaz hacmi, Depolama şekli ve süresi
Patlatma geometrisi	Delik çapı, yeri, eğimi ve boyu; Delik düzeni; Dilim kalınlığı, delikler arası mesafe; Basamak aynasının şekli, durumu, yüksekliği, eğimi; Sıkılama payı; Delik taban payı; Şarj şekli, delik içi dağılımı; Atım grubu boyutları; Yemleme, ateşleme şekli ve düzeni; Gecikme tipi ve süresi

Kaynak: (Kahriman, 2022)

D. Çevresel Faktörler

Delme-patlatma yönteminin avantajları olduğu kadar, dezavantajları da vardır. Patlatmaların gerçekleştiği anda ve sonrasında dört adet çevresel etki meydana gelmektedir. Bunlar; kaya fırlaması, toz emisyonu, yer sarsıntısı (patlatma kaynaklı titreşim) ve gürültüdür (Akyıldız, 2022: 29).

Son yıllarda patlatmalı kazı faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkilerle alakalı şikâyetler; nüfusun artmasına ve şehirleşmeye paralel olarak artmıştır. Şekil 3’de gösterilmekte olan titreşim, gürültü ve kaya fırlaması gibi çevresel problemler, bu çalışmaların yapıldığı sahaların etrafında yaşayanlar kadar, sahada çalışmakta olan personelin ve kullanılmakta olan ekipmanların da güvenlikleri konusunda sorun arz etmektedir (Arpaz, 2000). Bu sebeplerle, ekonomik ve emniyetli bir patlatmada, bu ve benzeri sorunların önlenmesi ya da tehlike sınırlarının altına indirilebilmesi de dikkate alınmalıdır.

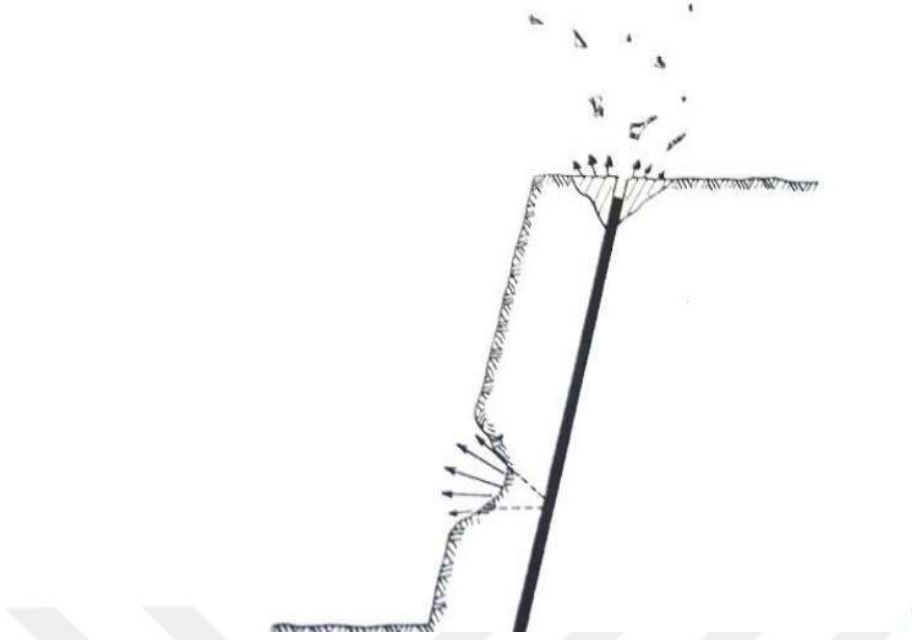


Şekil 3. Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkiler

Kaynak: (Arpaz, 2000)

1. Kaya Fırlaması

Patlayıcı madde, kaya kütlelerini parçalamak maksadıyla kullanılırken öncelikle şok enerjisinin, sonrasında reaksiyonlar neticesinde meydana gelen gazların yüksek basınçlar ile çatlaklara dolmasıyla parçalama görevini tamamlayıp, parçalanan kütlenin harekete geçmesine neden olmaktadır. Patlayıcı madde, kaya kütlesi içerisine yerleştirilirken doğru sıkıştırılamadığı durumlarda reaksiyonlar neticesinde oluşan gazlar, buldukları çatlaklardan atmosfere erken deşarj olurlar. Yüksek hızla meydana gelen gaz boşalımı kaya kütlesinde yırtılmalara sebep olur ve neticesinde kaya parçalarını hareket ettirir. Savrulan kaya parçacıkları çevrede çalışan işçiler, makine ve ekipmanlar için ciddi tehlike oluşturur. Açık sahalarda savrulan kaya parçacıklarının yüzlerce metre uzaklıklara kadar fırlayabileceğinin, ölüm ve yaralanmalara neden olabileceğinin örnekleri kayıtlara geçmiştir (Bağdatlı, 2013:35).



Şekil 4. Patlatma Sırasında Oluşan Taş Savrulması

Kaynak: (Jimeno vd., 1995)

2. Toz Emisyonu

Patlatma sırasında kayaların parçalanmasının meydana gelmesiyle iç öğütme kaynaklı bir miktar toz emisyonu gerçekleşir. Bu toz emisyonu hem çevredeki işçilerin sağlıklarını hem de kullanılan makina ve ekipmanların ekonomik ömürlerini olumsuz etkileyerek, patlatmadan kaynaklanan olumsuz bir çevresel etkidir (Bağdatlı, 2013: 36).



Şekil 5. Toz Emisyonu

3. Yer Sarsıntısı (Patlatma Kaynaklı Titreşim)

Patlatmalı kazılarda bir deliğe yerleştirilen patlayıcı patlatıldığında ortaya çıkan enerji çok büyüktür. Yaklaşık 50 GPa kadar bir basınç ve yaklaşık 5000 K'e kadar da sıcaklık ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu enerjinin %20- %30'luk kısmı kaya kütlelerinin parçalanma ve hareket etmesi için kullanılarak sönmülenirken geriye kalan sönmülenmemiş enerji ise sismik dalgalar halinde yayılarak yersarsıntısı, gürültü vb. çevresel etkilere sebep olur. Bu sismik dalgalardan geçici ve düzensiz zemin hareketi oluşur. Zemin parçacıklarındaki hareket hızı sıfırdan başlar. Maksimum değere ulaştıktan sonra da giderek sönmülenir. En yüksek hız değeri büyüdükçe yapının sarsılma şiddeti de büyür. Çevresel faktörler arasındaki en büyük olumsuzluk yersarsıntısıdır. Patlatmadan kaynaklanan titreşimler sismik dalgalar halinde yayılarak depremlere benzer şekilde uzak bölgelere kadar ulaşabilirler. Bu titreşimlerin sebep olduğu sarsıntılar taşıdıkları enerjiye göre hasara sebep olabilirler. Yer sarsıntısının frekansı ve arazi katsayıları da hasar oluşturup oluşturmama konusunda önemlidir. Bu kontrollü patlatmalı kazı çalışmaları boyut ve kapasitesindeki artış patlayıcı madde miktarlarını da etkilemektedir. Yapılara hasar verebilecek bu olayda taşınan enerji kadar yapıların temellerinin bulunduğu zeminlerin özellikleri de önemlidir. Bu sebeplerden dolayı yer sarsıntısına bağlı hasar oluşup oluşmadığının etütlerini yapabilmek adına çok kapsamlı çalışmak gerekmektedir (Bağdatlı, 2013: 37).

a. Ölçekli mesafe kavramı

En iyi yer sarsıntısının tahmin şekli gerçek atımların gözlemleriyle elde edilmektedir (Hoek ve Bray, 1991). Bunun sebebi patlatmaların geometrik ve jeolojik şartlarındaki değişimlerdir. Araştırmaların sonucunda ortaya çıkan çeşitli ampirik ilişkilerden ölçekli mesafe ve sarsıntı hızını önemseyen ilişkilere daha çok güvenilmektedir. Ölçekli mesafe, zemin hareketlerinin değişik uzaklıklarda patlatma miktarları ile olan ilişkisidir. Sismik dalgaları yaratan enerji, ateşlenen patlayıcı madde miktarına göre değişmektedir. Yer sarsıntısı ölçüm aletlerinin gelişip kullanılmaya başlamasıyla parçacık hızının tahmini önem kazanmıştır. Böylece ölçekli mesafeye bağlı tahmin yaklaşımları ortaya çıkmıştır. Ölçekli mesafenin en çok kullanılan formülü ise;

$$SD = \frac{R}{\sqrt{W}} \quad (\text{Formül 1})$$

Burada ölçekli mesafe SD, patlatma noktasına uzaklığı R ve gecikme başına maksimum patlayıcı miktarını W olarak ifade edilmektedir (Öngen, 2019: 27). Gecikme başına maksimum patlayıcı miktarı ise toplam patlayıcı miktarının delik sayısına bölünmesiyle hesaplanır.

b. Maksimum parçacık hızının (PPV) tahmini

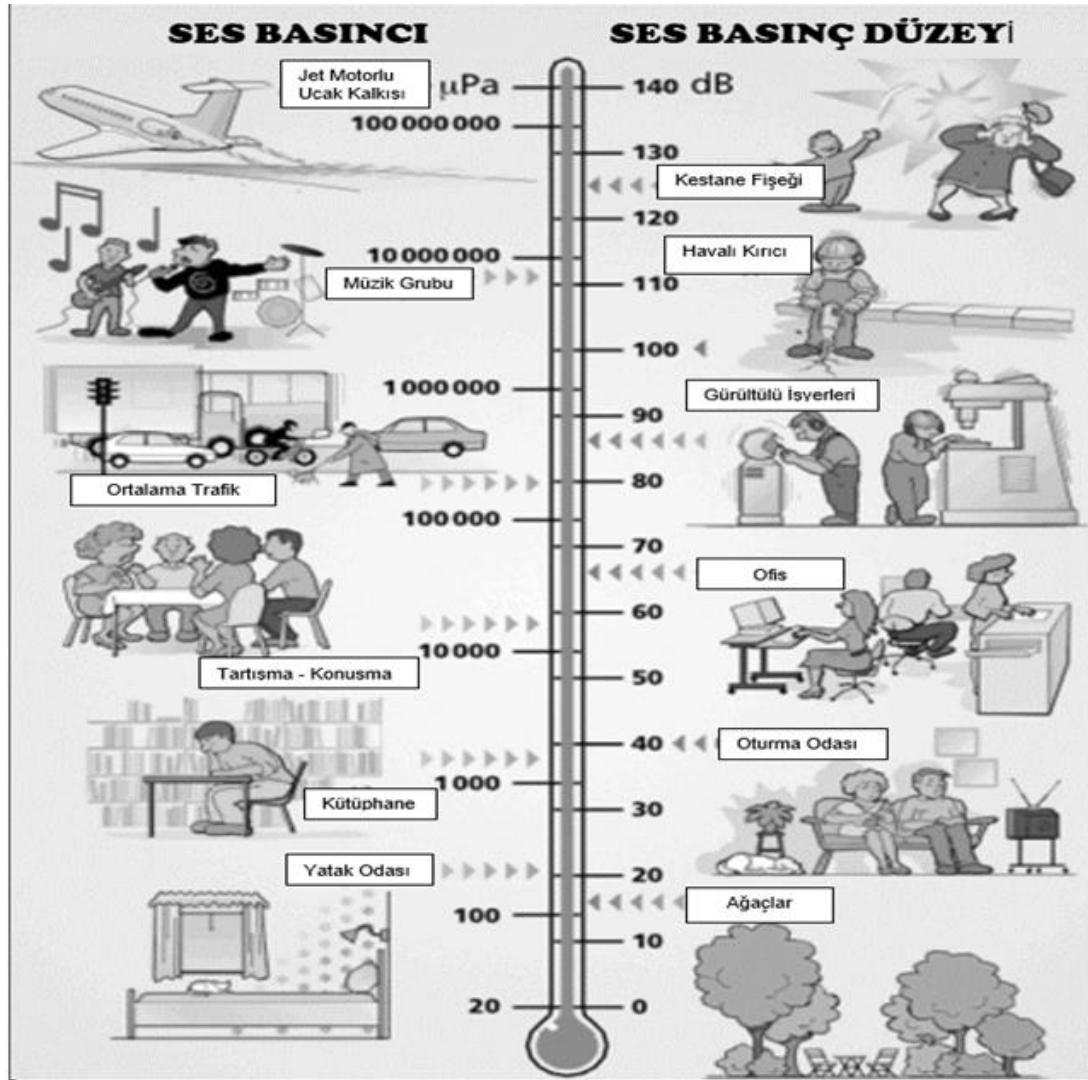
Yapılan araştırmalarda ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızının tahmininin en iyisi olduğu sonucuna varılmıştır. Maksimum parçacık hızının tahmini için geliştirilen ve yaygın kullanılan ampirik ilişki şöyledir;

$$PPV = K . SD^{-\beta} \quad (\text{Formül 2})$$

Burada PPV maksimum parçacık hızını (mm/s), SD ölçekli mesafeyi, K saha iletim katsayısını ve β saha sönümleme katsayısını ifade etmektedir (Nicholls vd., 1971). K ve β değerleri maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin (minimum 30 nokta) ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bu çalışmada da zeminlere etki edecek olan patlatma verileri projelerde uygulanan patlatmalı temel kazıları sırasında kayıt alan titreşim ölçer cihazlardan alınmıştır (Uyar ve Aksoy, 2015).

4. Gürültü

Patlatmalardan kaynaklı oluşan hava basınç dalgaları hava şoku olarak tanımlanmıştır. Hava şokunun meydana gelmesinde patlamanın haricinde hava ve arazi koşullarının da etkisi vardır. Atımdan uzaklaştıkça hava şokunun bozulması gürültüyü oluşturur. Yüksek frekanslı basınç dalgaları insan kulağı tarafından yüksek gürültü olarak duyulmaktadır. Lakin düşük frekanslı dalgalar sadece etki ettikleri yapılarda tıkırtı olarak duyulabilmektedir. Duyabileceğimiz yüksek frekans kısmı (gürültü) uzaklık arttıkça zayıflar, yapılarda ise sarsıntılara, cam kırılmasına, hasarlara sebep olur, çevredeki insanlara rahatsızlık verir. Düşük frekanslı olan ve duyamadığımız kısmı ise yapıların doğal frekansları ile eşleştikleri zaman hasara neden olabilir. Gürültüyse daha çok çevrede rahatsızlığa neden olduğundan, genellikle şikâyetlerin gelmesi için yeterli bir sebep olarak kabul edilir (Bağdatlı, 2013: 56).



Şekil 6. Günlük olaylardaki ses düzeyleri ve ses basınç değerler

Kaynak: (Kahriman,2022)

E. Hasar Sınıflandırması ve Yönetmelikler

Patlatma hasar kriterleri birçok araştırmacının yapmış oldukları geliştirmeler sayesinde farklı başarı dereceleri ile günümüze kadar uygulanarak gelmiştir. Bu araştırmalar iki ana başlıkta odaklanıp yoğunlaşır. Bunlardan ilki patlatmalardan kaynaklı olarak oluşacak titreşim ve hava şokunun tanımlanabilmesi, bunların ölçümleri ve ilgili parametrelerin analiz edilebilmesidir. İkincisi ise farklı yapılar için hasar kriterlerini belirleyerek, bu kriterlerin patlatma sonrasındaki parametrelerle eşleştirilip uygun patlatma tasarımının yapılabilmesidir. Geliştirilen bu kriterler arasında en önemli üç tanesi T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çevresel Gürültünün

Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, ABD Madencilik Bürosu’nun hasar kriteri ve Alman DIN 4150 normudur. Bu üç norm uygulama aşamasında başvuru ve kıyaslama kaynağı olarak ve kullandıkları parametreler arasında benzerlik arz eder (Kahrıman, 2022).

Çizelge 2. Hasar Sınıflandırması

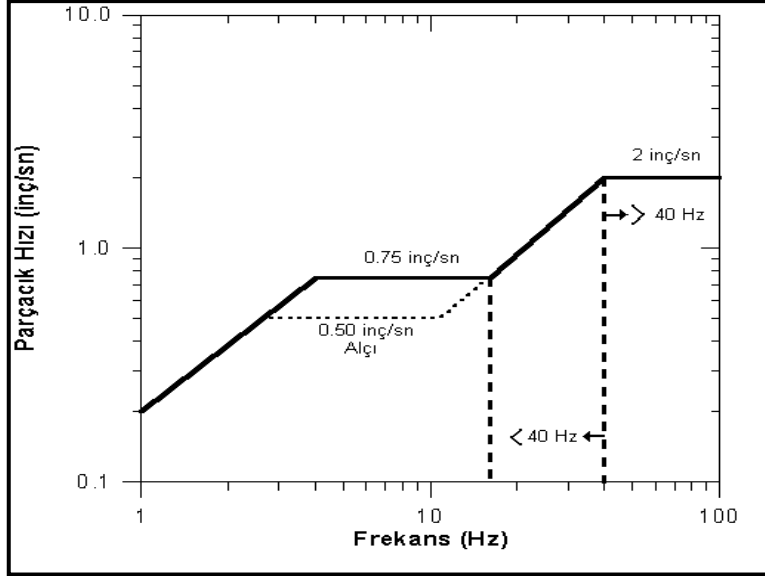
Hasar Sınıfı	Hasar Tanımı
Eşik Hasar (Hasar Başlangıcı)	Boyalardaki çatlak ve kabarmalar, eski çatlaklardaki uzamalar, yapı elemanlarının birleşim bölgelerinde meydana gelen küçük sıva çatlakları.
Hafif Hasar	Sıva kabarmaları veya sıvanın düşmeleri, taş duvarlarda bölme ve pencerelerde kılcal çatlaklar, saç teli inceliğinden 3 mm kalınlığa kadar çatlaklar, gevşemiş harç dökülmeleri.
Esaslı Hasar	Duvarlarda geniş çatlaklar, kemerlerde çatlaklar, yapının taşıyıcı elemanlarının zayıflaması, taş duvarlarda örneğin bacalarda taş, tuğla düşmesi, yük taşıma kabiliyetinde azalma

Kaynak: (USBM)

Hafif hasar daha fazla rahatsız ediyor gibi görülse de yapıların dayanımını azaltmaz. Yapı elemanlarının yük taşıma kabiliyetleri üzerinde etkisi yoktur. Esaslı Hasar Sınıfı ise yapıda kalıcı deformasyonlar oluşturup yapıyı zayıflatan tek hasar türüdür.

1. USBM Alternatif Patlatma Hasar Ölçütü

ABD Madencilik Bürosu, 1980 yılında Iskind ve arkadaşlarına patlatma kaynaklı yersarsıntılarının yapılara etkisi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. 219 patlatmanın 79 yapıda etkisini belirlemek amacıyla bir çalışma yaptırmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarını USBM RI 8507 Bülteninde yayınlamıştır (Iskind vd. 1980). Çalışma sonucunda yalnızca parçacık hızının değil frekansların da hasar oluşumunda etkili olduğu görülmüştür. Buna vurgu yapılan bültenden sonra şeklindeki “Alternatif Kriter Analizi” olarak bir metod geliştirmişlerdir.



Şekil 7. USBM Alternatif Kriter Analizi

Kaynak: (Bağdatlı, 2013).

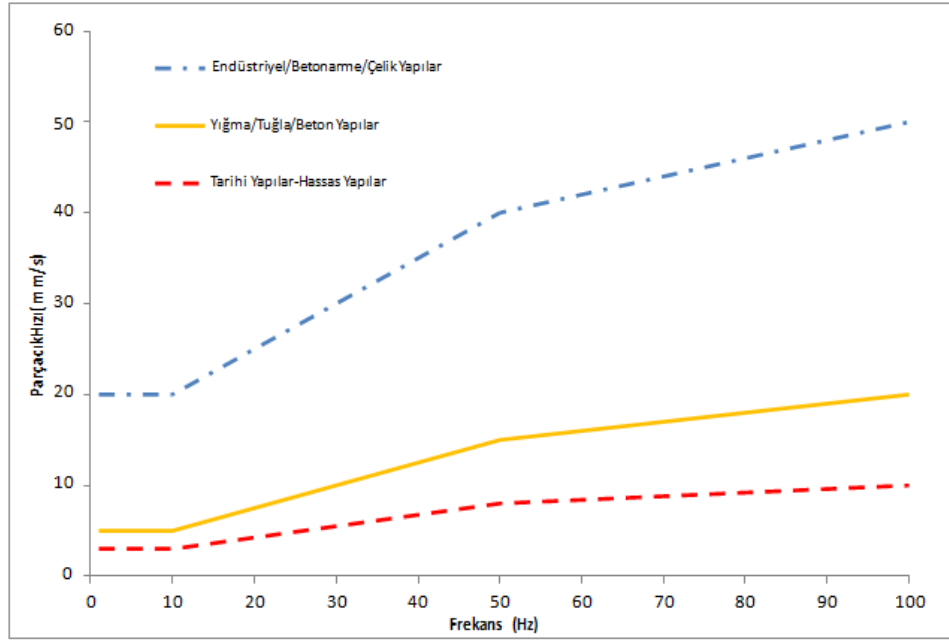
2. DIN 4150 Alman Normu

DIN 4150 Alman Normu frekansa göre değişen PPV sınır değerlerini vermektedir (DIN 4150-3, 1999:3). Şekil 6'da görüldüğü üzere yapı türlerine göre PPV değerleri değişmektedir. Kırmızı çizgi kerpiç, tarihi eser gibi eski yıpranmış (sağlam olmayan) yapıların, sarı çizgi tuğla ve beton gibi kısmi dayanıklı yapıların ve mavi çizgi ise çelik yapı gibi endüstriyel yapıların PPV sınır değerlerini göstermektedir.

Çizelge 3. Alman DIN 4150 Normunda Yapı Türü ve Frekansa Göre Parçacık Hızı Sınır Değerleri

Frekans (Hz)	Parçacık Hızı Sınır Değeri (mm/s)	Yapı Türü
0 - 10 Hz	3 mm/s	Eski Bina
0 - 10 Hz	5 mm/s	Dayanıklı bina, Yığma Tuğla
0 - 10 Hz	20 mm/s	Betonarme, Çelik Konstrüksiyon
10 - 50 Hz	3 - 8 mm/s	Eski Bina
10 - 50 Hz	5 - 15 mm/s	Dayanıklı bina, Yığma Tuğla
10 - 50 Hz	20 - 40 mm/s	Betonarme, Çelik Konstrüksiyon
50 - 100 Hz	8 - 10 mm/s	Eski Bina
50 - 100 Hz	15 - 20 mm/s	Dayanıklı bina, Yığma Tuğla
50 - 100 Hz	40 - 50 mm/s	Betonarme, Çelik Konstrüksiyon

Kaynak: (Bağdatlı, 2013: 68)



Şekil 8. DIN 4150 Alman Normu

Kaynak: (Kahriman, 2022)

3. İsveç Standardı

1989 yılında yürürlüğe girerek 1991 yılında revize edilen bu standart patlatma kaynaklı titreşimlerdeki kılavuz seviyelerinin hesaplanmasında oldukça önem arz eder. Kılavuz seviyeleri çevresel etkileri değil izin verilen titreşim ve eşik hasar seviyelerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu standart her türlü patlatma olayı için geçerli olsa da belirli durumlar hariç sadece düşey parçacık hızını kullanmaktadır. Belirli durumlarda ise üç bileşeni kullanır. Titreşim ölçümlerinin ise binanın temelinde almasını önerilmektedir (Karadoğan, 2008: 65) .

a. Kılavuz seviyeleri

Düşey parçacık hızının değişik zeminlerde yer alan binaların üzerinde oluşturduğu hasar ile oluşturulan korelasyona bağlı olan bu seviyeler V_0 düzeltilmemiş düşey parçacık hızını, F_k inşaat kalite faktörünü, F_d patlatma ölçüm noktası arasındaki mesafeyi ve F_t ise proje süresini ifade edecek şekilde şöyle formülize edilir;

$$V = V_0 \times F_k \times F_d \times F_t \quad (\text{Formül 3})$$

Çizelge 4. Düzeltilmemiş Düşey Parçacık Hızı

Zemin	V_0 (mm/s)
Gevşek buzultaş, Kum, Çakıl, Kil	18
Sağlam buzultaş, Şeyl, Yumuşak Kireçtaşı	35
Granit, Gnays, Sert Kireçtaşı, Kuvarsit, Kumtaşı, Diyabaz	70

Kaynak: (Karadoğan, 2008:65)

Çizelge 5. Bina Faktörü (F_b)

Sınıf	Bina ve İnşaat Tipi	F_b
1	Ağır inşaat, köprüler, liman ayakları ve sivil savunma inşaatları vb.	1,70
2	Endüstriyel ve ofis binaları	1,20
3	Standart oturma evler	1,00
4	Hassas özel yüksek kemerli dizayn edilmiş binalar veya geniş sütun aralıklı inşalar (örn: kilise, müze vb.)	0,65
5	Hasar alabilecek durumda belli oranda hasarlı binallar	0,50

Kaynak: (Karadoğan, 2008:65)

Çizelge 6. Proje Zaman Faktörü (F_t)

Patlatma Aktivite Türü	F_t
Tüneller, Mağaralar, Karayolları gibi inşaat işleri	1,0
Taşocakları ve maden gibi sabit işler	0,75 - 1,0

Kaynak: (Karadoğan, 2008:66)

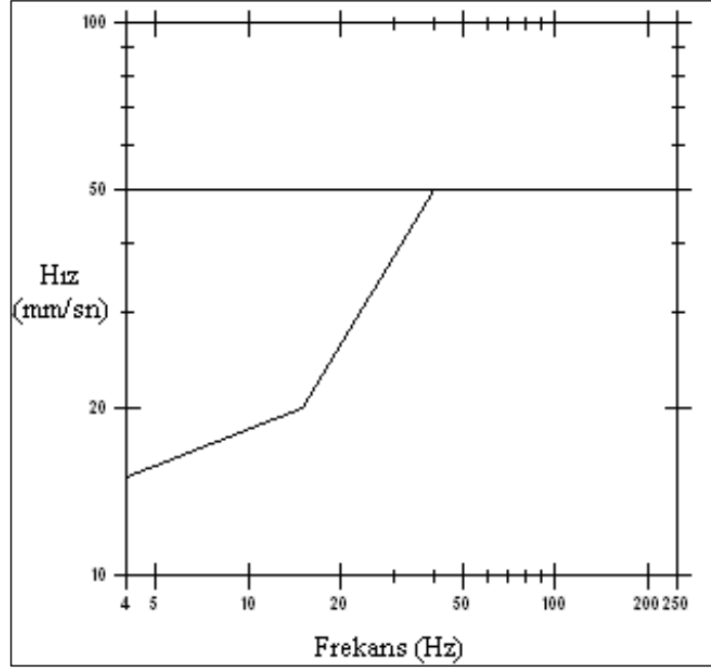
4. İngiliz Standardı

İngiliz Standardı, titreşimden kaynaklanan eşik bina hasarı olma ihtimaline karşı önerilen maksimum seviyeleri BS 7385 – Bölüm 2’de yer alan “Binalarda Titreşim Ölçüm ve Değerlendirmesi” başlığında vermektedir (Karadoğan, 2008: 66).

Çizelge 7. Kozmetik Hasar için Geçici Referans Titreşim Seviyeleri

Bina Türü	Baskın Darbenin Frekans Dağılımındaki Parçacık Hızının En Yüksek Bileşenleri (PPV)	
	4- 15 Hz	15 Hz ve üzeri
Konut ve hafif ticari binalar	4 Hz'de 15 mm/s'den artarak 15 Hz'de 20 mm/s	15 Hz'de 20 mm/s'den artarak 40 Hz'de 50 mm/s
Endüstriyel ve ağır ticari binalar	4 Hz ve üzeri 50 mm/s	

Kaynak: (Karadoğan, 2008:66)



Şekil 9. İngiliz Standardı

Kaynak: (Karadoğan, 2008:66)

5. Hindistan Standardı

1997 yılında yayınlanan genelgede yapılara bitişik zeminde olabilecek en yüksek parçacık hızı Çizelge 8'deki gibidir (Karadoğan, 2008: 67)

Çizelge 8. Hindistan Standardına Göre Madencilik Alanlarında Yapılan Altyapı Düzeyinde İzin Verilen Maksimum PPV

Yapı Tipi	Baskın Uyarım Frekansı		
	< 8 Hz	8 - 25 Hz	> 25 Hz
(A) Binalar/ Yapılar Sahibine Ait Değil			
1) Yerel evler/yapılar (tuğla ve çimento)	5 mm/s	10 mm/s	15 mm/s
2) Endüstriyel binalar (çerçeve yapılar)	10 mm/s	20 mm/s	25 mm/s
3) Tarihi nesneler ve hassas yapılar	2 mm/s	5 mm/s	10 mm/s
B) Sınırlı Açıklıklı Sahibine Ait Binalar			
1) Yerel evler/yapılar (tuğla ve çimento)	10 mm/s	15 mm/s	25 mm/s
2) Endüstriyel binalar (çerçeve yapılar)	15 mm/s	25 mm/s	50 mm/s

Kaynak: (Karadoğan, 2008: 67)

6. Fransa Standardı

Çizelge 9’da Fransa Standardı 87/70558 yer almaktadır.

Çizelge 9. Fransa Standardı

Yapı Tipi	En Yüksek Parçacık Hızı (mm/s)		
	4 - 8 Hz	8 - 30 Hz	30 - 100 Hz
Konut	8 mm/s	12 mm/s	15 mm/s
Hassas	6 mm/s	9 mm/s	12 mm/s
Çok Hassas	4 mm/s	6 mm/s	9 mm/s

Kaynak: (Karadoğan, 2008: 67)

7. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklimlendirme Bakanlığı Ses ve Gürültü Kontrol Yönetmelikleri

Patlayıcı Ülkemizde de USBM Hasar Kriteri ve Alman DIN 4150 Normu gibi referans değerlerinin yer aldığı bir yönetmelik bulunmaktadır. Bu yönetmelikte Çevresel Titreşim Değerlendirme başlığıyla belirtilen, bazı titreşim kaynaklarından kaynaklanacak çevresel titreşimlerin kontrol altında tutulmasıyla alakalı esaslar verilmektedir.

Resmi gazetelerde yayınlanmış olan bu yönetmeliklerin güncel olanı 30/11/2022 tarihli 32029 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmış olan yönetmeliktir. Bundan önceki yönetmelikse 04/06/2010 tarihli 27601 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan yönetmeliktir. İki yönetmelikte de amaç, patlatma yapılan noktaların yakın çevresinde bulunmakta olan yapılara zarar verilmemesi için sınır değerlerin belirlenmesidir. Bu değerler dikkate alındığında yüzeysel çatlakların oluşmamasına %95 oranında garanti verilir. Eski yönetmelikte farklı yapı türlerinin olmasına önem verilmeden sınır değerler bulunurken güncel yönetmelikte farklı yapı türleri de dikkate alınmış ve buna göre sınır değerler oluşturulmuştur. Maden, taş ocakları ve benzer faaliyetlerde bulunulan alanlarda yapılan patlamaların, patlatmanın yapıldığı alan çevresindeki yapılara zarar vermemesi amacıyla, patlatma noktasının en yakınındaki yapının dışında, zeminde ölçülebilecek titreşim seviyesi çizelgelerde verilmiş olan değerler arasında olmak zorundadır. Üç yönde yapılan ölçümlerden en yüksek olan alınır. Sınır değerler eski yönetmelik için Çizelge 10’da, yeni yönetmelik içinse Çizelge 11’de yer almaktadır.

Çizelge 10. 04/06/2010 Tarihli Yönetmeliğin Sınır Değerleri

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri) (mm/s)
1	5 mm/s
4 -10	19 mm/s
30 - 100	50 mm/s

Çizelge 11. 30/11/2022 Tarihli Yönetmeliğin Sınır Değerleri

Yapı Tipi	Bina Temelinde En Yüksek Titreşim Hızı (mm/s) (frekansa göre, f=Hz)			Tüm frekanslar için en üst katın döşemesinde
	f=1-10 Hz	f=10-50 Hz	f=50-100 Hz	
Endüstriyel Yapılar	20 mm/s	40 mm/s	50 mm/s	40 mm/s
Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar	5 mm/s	15 mm/s	20 mm/s	15 mm/s
Bunların dışında kalan yapılar	2 mm/s	8 mm/s	10 mm/s	8 mm/s

Bütün yönetmelikler incelendiğinde İsveç Standardı haricinde tüm yönetmelikler üç boyutta alınan ölçümlerin en yüksekini esas alırken İsveç Standardı belirli koşullar haricinde dikey yönü esas almaktadır. 30/11/2022 tarihli yönetmeliğimiz, Hindistan Standardı, İngiliz Standardı ve DIN 4150 Alman Normunda yapı türleri detaylandırılırken Fransa’da kabaca bahsedilmiştir. Bina türleri için detaylandırılan standartlarda ise değerler birbirlerine yakın olsa da referans aralıklarındaki frekans değerleri değişmektedir. Değişen bu frekanslar da tüm standartlar için düşük ve yüksek frekans değerleri birbirine oldukça yakındır. Bu yönetmeliklerden DIN 4150 Alman Normu 30/11/2022 tarihli yayınlanan son yönetmeliğimizle en yakın değerlere sahiptir. Tüm Standartlar incelendiğinde frekans ve PPV değerlerinin yakınlık göstermesinden bütün standartlarda patlatma kaynaklı titreşimlerin en fazla tüm yapı tiplerinde eşik hasara yani kozmetik hasara yol açması istenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır.



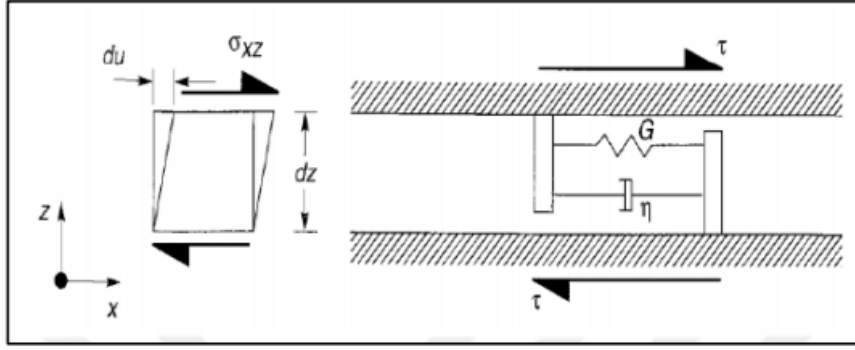
III.SAHA - TEPKİ ANALİZLERİ

Patlatma, deprem gibi sismik dalgalar her yöne yayılarak yeryüzüne ulaşırken zemin tabakaları da bu yayılım esnasında bir tepki göstermektedirler. Bu tip durumlarda zeminin tepkilerinin öngörülebilmesi amacıyla dinamik saha davranışı analizleri uygulanmaktadır. Uygulanmakta olan zemin tepki analizleri istenilen amaca göre 1 boyutlu, 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak yapılabilir. Zemin tabakalarının yatay şekilde yerleştirildiği bölgeler için genelde bir boyutlu (1D) tepki analizleri tercih edilmektedir. Yatay tabakalanabilen zeminlerde bir boyutlu (1D) saha tepki analizlerinin pratik sonuç vermesi de bir başka tercih sebebidir (Phillips ve Hashash, 2009; Kaklamanos vd 2015; Jeong ve Bradley, 2017).

Zeminler homojen olmadığından saha tepki analizlerinde farklı analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar; basit şekilde modellenen zeminlerde doğrusal analiz, karmaşık zemin modellerinde daha iyi sonuçlar verebilmesi için doğrusal olmayan (nonlinear) analiz ve karmaşık olmasına rağmen pratik sonuçlara ulaşılacak eşdeğer doğrusal (linear) analiz yöntemleridir. Bu çalışmada eşdeğer doğrusal (linear) ve doğrusal olmayan (nonlinear) analiz yöntemleri kullanılmıştır.

A. Doğrusal Analiz

Eşdeğer Doğrusal analizde, zemin katmanlarının kendileri için, her birinin sabit sönüm oranı ve kayma modulünün olmasına dayanmaktadır. Zeminler Şekil 10'da görülen Kelvin-Voight katısı özellikleriyle modellenir. Genellikle düşük kayma şekil değiştirmeleri için bu analiz türü kullanılmaktadır (Bardet ve Lin, 2000).



Şekil 10. Kelvin-Voight katısı

Kaynak: (Bardet ve Lin,2000)

Kelvin-Voight katısı özellikleriyle modellenen zemin için kayma gerilmesi şu şekildedir;

$$\tau = G\gamma + \eta \frac{\delta\gamma}{\delta t} \quad (\text{Formül 4})$$

Bu denklemde G kayma modülü, η sönümleyiciyi ve γ kayma deformasyonunu ifade etmektedir. Doğrusal analizlerde Fourier transfer fonksiyonları kullanılarak deplasman, hız, ivme, kayma gerilmesi ve kayma deformasyonu gibi tepki parametrelerinden ana kaya girdi parametreleri bulunabiliyor olsa da zeminler doğrusal davranış gösterebilecek malzeme değildir. Bu sebeple doğrusal analiz saha tepki davranışında gerçeği yansıtmaya açısından oldukça yetersiz kalmaktadır (Feyizoğlu, 2020: 26).

B. Eşdeğer Lineer Analiz

Eşdeğer doğrusal (lineer) analiz modellerde zeminin doğrusal kabul edildiği olan pratik bir analiz türüdür ve yaygın bir şekilde kullanılır (Civelekler vd., 2020: 801). Temeli SHAKE programına dayanır. Zeminin dinamik özelliklerinden kayma modülü ve sönüm oranı yinelemeli parametreler olarak kullanılır (Hashash vd, 2020). Zeminin elastik olmayan tepkisini görebilmek amacıyla 1972’de Schnabel ve diğerleri (Schnabel vd. 1972) tarafından geliştirilmiştir. Hesaplamalarını daha yüksek frekanslar arasında yapabildiği için lineer analize göre daha yüksek maksimum ivme vermektedir (Yoshida vd. 2002). Bu yöntemin birim hacim ağırlık (γ), kayma dalgası hızı (V_s), sönüm oranı (D) ve sismik yüklemeler girdi parametreleridir. Her zemin tabakasında kayma modülü (G) ve sönüm oranı (D) kayma birim şekil değiştirmesine bağlı olarak iterasyonlu

hesaplanmaktadır (Kaklamanos vd. 2015). Laboratuvar ortamında örselenmemiş numunelerle deneyler sonucunda zemin parametreleri bulunabilse de genelde kayma modülü azalım ($G/G_{maks}-\gamma$) ve sönüm oranı ($D-\gamma$) eğrileri kullanılır. Sınırlı bir kayma gerilmesi aralığında eşdeğer doğrusal (lineer) yöntemin kullanışlı olabilmesi adına γ_{max} 'ın sınırı %1 seçilmesi önerilir (Assimaki vd. 1999). Kayma modülü de sekant kayma modülüdür. Ayrıca birim şekil değiştirme genliğine paralel olarak sekant kayma modülü değişmektedir.

$$G_{sec} = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \quad (\text{Formül 5})$$

Denklemden τ_c kayma gerilmesi, γ_c kayma birim deformasyonu genliğini gösterir. Bu analiz türünde sönümlenme oranı (D) ve sekant kayma modülü (G_{sec}) için olan temsili değerler zeminde oluşan gerinim seviyesi ile tutarlı olana kadar değiştirilir (Schnabel vd. 1972).

C. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz

Sıvılaşmaya yatkın yumuşak zeminlerde eşdeğer doğrusal ve geçici doğrusal olmayan analiz sonuçları arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır [8]. Eşdeğer doğrusal (lineer) analizde zeminler dinamik yüklerin de etkisiyle oluşan veya artan gerilme ve şekil değiştirmeler doğrultusunda sonuçlar taraflı hale gelir. Bu durum büyük bir dezavantajdır. Zeminin bu denli yüksek şekil değiştirmelere maruz kalması durumunda doğrusal olmayan (nonlinear) analiz yapılması doğru sonuçlar elde etmemizi sağlar. Sahadaki zeminin davranışları da sismik hareketin etkisiyle doğrusal değildir. Bu nedenle doğrusal olmayan analiz sonuçları daha gerçekçi kabul edilmektedir. Zaman alanlı olan bu analiz türü zaman tanımında hareket denkleminin kısa zaman aralıklarındaki integrasyonu ile yapılmaktadır. Doğrusal olmayan (nonlinear) analizler zaman tanım alanındadır. Hareket denkleminin kısa zaman aralıklarında integrasyonu ile yapılır (Feyizoğlu, 2020). Nonlinear analizler için M kütle, c viskos sönümlenme ve K rijitlik matrisini ifade etmek üzere şu formül esas alınmaktadır;

$$[M](\ddot{u}) + [c](\dot{u}) + [K](u) = -[M(I)\ddot{u}_g] \quad (\text{Formül 6})$$

Burada, $\ddot{u}$ relatif ivme, $\dot{u}$ relatif hız, u relatif yer değiştirme değerleridir. Doğrusal olmayan (nonlinear) analizler zeminlerin farklı dinamik özellikleriyle ilişkili olabilmektedir (Çaycı vd., 2017). Doğrusal olmayan analizdeki çalışmalar

sonucunda birçok doğrusal olmayan model ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi tekrar tekrar yüklenen zeminlerde ise kayma şekil değiştirmeleri değişkenlik gösterebilmesidir. Bu modellerin ortak noktası yükleme ve boşaltma davranışlarına bağlı olarak rijitlik düşüşünün yansıtılmasıdır. Bunlara omurga eğrisi denilmektedir. Bu eğriler hiperboliktir. Yapılan çalışmada en yaygın kullanılan hiperbolik model olan ve Kondner ve Zelasko tarafından yapılan KZ modelinin Matasović ve Vucetic'in (1993) çalışmaları ile geliştirilerek oluşturulan MKZ modeli kullanılmıştır.

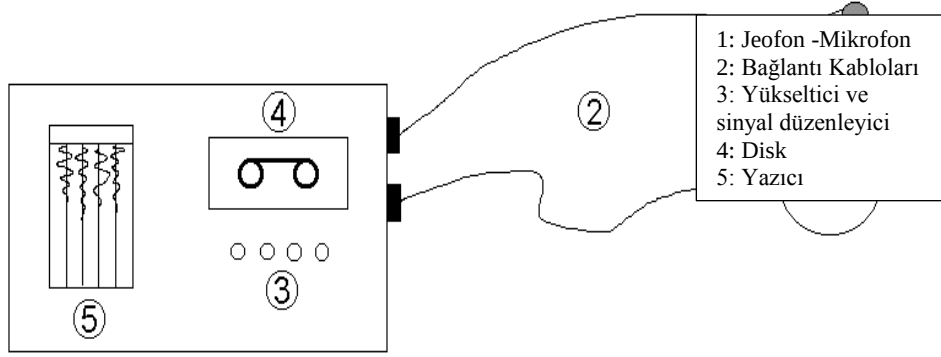
$$\tau = \frac{G_0 \gamma}{1 + \beta \left(\frac{G_0}{\tau_0} \right)^s} = \frac{G_0 \gamma}{1 + \beta \frac{(\gamma)^s}{\gamma_r}} \quad (\text{Formül 7})$$

Burada G_0 ilk durumdaki kayma modülü, τ_0 ilk durumdaki kayma dayanımını, γ_r referans kayma deformasyonunu, β ve s ise azalım eğrilerinden hesaplanan model parametrelerini ifade etmektedir.

IV. VERİLERİN TOPLANMASI VE ZEMİN MODELLEME

A. Verilerin Toplanması

Delme-patlatma faaliyetleri zemini gevşetmek ya da doğrudan kazı yöntemi amacıyla yapılmaktadır. Zemin özellikleri ve teknolojisi sınırlı olan makineli kazı vb. yöntemlere göre süre ve maliyet açısından avantajı büyüktür (Adıgüzel, 2007: 142). Delme – patlatma çalışmalarında çevresel sorunların biraz da olsa önüne geçebilmek amacıyla ölçüm yapılması gerekmektedir. Bunun için ilk amacı yer kabuğundaki titreşimi ölçmek olan cihazlar kullanılmaktadır. Titreşim ve gürültü değerlerini ölçen farklı markalarda cihazlar bulunmaktadır. Cihazlar patlatma kaynaklı yayılan sismik dalgaları enine, boyuna ve düşey olarak üç boyutta kaydeder. PPV değerini ölçmek amaçlı kullanılan titreşim ölçer cihazlar 5 milisaniye (0,0005 saniye) aralıklarla istenilen süre kadar kayıt alabilirler. Böylelikle cihaz tek olayı kaydedebilir veya sürekli olarak kayıt yapabilmektedir. Cihazın ölçüm limitleri parçacık hızı için 0.005-9.999 inç/s ve gürültü için 100-142 desibel düzeylerindedir. Kaydedilecek olay süresi, kayıt biçimi (tek veya sürekli), istenilen birimler, çalışma sahası, kullanıcıya ait bilgiler önceden istenilen şekilde programlanabilmektedir. Çoğu cihazın üzerindeki dijital gösterge istenildiğinde bu değerleri verebilip ve kaydedilmiş olan verilerin ayrıntılı bir şekilde analizi için bilgisayar ortamına aktarılmasını sağlamaktadır. Patlamalar sonucu meydana gelen yer sarsıntıları ve hava şoku izleme sistemlerinin birçoğunda aranmakta olan teknik özelliklerin daha net anlaşılabilmesi için, kullanılmakta olan titreşim izleme sisteminin bir takım teknik özellikleri şekildeki gibidir.



Şekil 11. Titreşim Ölçer Cihaz

Kaynak: (Bağdatlı,2013)

Bu çalışmada bir sahada ölçümü yapılmış olan patlatmalı temel kazı çalışmalarından kaynaklı oluşan yer hareketleri ve gürültüler titreşim ölçer cihazlarla kaydedilmiştir. Cihaz çıktısı dört sütundan oluşmaktadır. Bunların ilk üçü yer hareketini gösterirken dördüncü sütun gürültüyü (dB) göstermektedir. Bu ölçüm sonuçlarından eski yönetmeliğe uygun olanlardan 2 adet, yeni yönetmeliğe uygun olanlardan 10 adet seçilmiştir. Her marka cihazın kendine özgü olan programlarından parçacık hızını ölçülerinden yararlanılarak ivme kayıtlarına geçilmiştir. Matlab yardımıyla hızın türevini alarak geçtiğimiz ivme kayıtları ve cihaz çıktıları ek kısmında yer almaktadır. Ölçümler en yakın risk bölgesindeki binaların temel hizalarındaki zeminlerde yapılmaktadır. Dolayısıyla bu tezde ölçüm yapılan arazi özellikleri ile yeraltındaki kayaların özellikleri aynı kabul edilmiştir. Yapılan tüm ölçümler bir sahada yapılmış ve patlatma bölgelerindeki en yakın yapılarının temellerinin yanından (zeminden) ölçüm alınmıştır. Bu alınan ölçüm sonuçları dâhilinde seçilen patlatma verileri yönetmeliklere ve yeni yönetmeliğin belirlemiş olduğu bina türlerinin sınır değerlerine yakın olan ölçüm sonuçları patlatma verisi olarak kullanılmıştır. Risk noktası binasının yapı türünü ifade etmemektedir. Bu çalışma için kullanılan patlatma verilerine ait titreşim ölçer cihaz çıktıları Ek-1’de verilmiştir.

B. Zemin Modelleme

Delme-patlatma Zeminin davranışını kayma gerilmeleri ve birim şekil değiştirmeleri oluşturan dinamik yükler etkilemektedir. Dinamik yükler etkisi

altında oluşan deformasyonlar doğrusal olmayan davranışına neden olur. Yapı temellerini destekleyen zeminlerdeki deformasyonlar ise yapısal hasarı büyük ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, dinamik yükler altındaki davranışları bir boyutlu (1D) incelemek istendiğinden bir sismik tehlike analiz programı olan DeepSoil v7.0 programı kullanılmıştır. Tek boyutlu zemin davranış analizi ilkesine dayanan DeepSoil programı ilk olarak 1998 yılında geliştirilmiştir. Hem frekans hem de zaman alanı analizi, eşdeğer doğrusal (lineer) analiz ve doğrusal olmayan (nonlinear) analiz yapabilir (DeepSoil v7.0 Manual). C++ tabanlı bu programda kayma dalgası hız değişiminin detaylı gösterimi sebebiyle zemin modelleri oluşturulurken zeminler tek tabaka olarak değil de alt tabakalara bölünerek modellenmiştir (Civelekler vd., 2018: 125).

Bu çalışmada 2 adet zemin modeli kullanılmıştır. Kullanılan zemin modellerinde ana kaya için birim hacim ağırlık $\gamma = 24,0 \text{ kN/m}^3$ seçilmiş olup kayma dalgası hızı 900 m/s ve sönümleme oranı 5 olarak tanımlanmıştır (URL-2). Sondaj verilerinden oluşturulan zemin 2, denklemden oluşturulan teorik zemin ise 13 tabakadan oluşmaktadır. Teorik zeminde ise iki rijit katman arasında yumuşak zemin bulunmaktadır. Sondaj verisinden oluşturulan zemin patlatma ölçümlerinin alınmış olduğu sahada yapılan “Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizinden (MASW)” oluşturulmuştur. Teorik zemin ise Dehghanian ve Yılmaz’dan (Dehghanian, 2016: 54) alınan $V_s = 120 \cdot (1+d)^{0,32}$ formülü kullanılarak oluşturulmuştur. Bu formülde d, derinliği ifade etmektedir.

Saha tepki analizleri yapılırken eşdeğer doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (nonlinear) analizlerde dinamik zemin parametreleri olarak kayma dalgası hızı değerleri dışında rijitlik ve sönüm oranı azalım eğrileri kullanılmaktadır. Seed ve Idriss (Seed ve Idriss, 1970) rölatif sıklıklara göre üç farklı durum için azalım eğrileri hazırlamıştır. Rölatif sıklığın %30’dan düşük değerlerinde “En Düşük Limit”, %30 - %60 değerleri için “Orta Limit” ve %60’dan yüksek değerlerinde ise “En Yüksek Limit” eğrileridir. Yumuşak zemin katmanı hariç tüm katmanlarda ise Seed and Idriss (Orta Limit) kullanılmıştır. Killi zeminler için ise plastisite indisine bağlı olan, Vucetic ve Dobry (Vucetic ve Dobry, 1991) tarafından azalım eğrileri geliştirmiştir. Çalışmada yumuşak zemin katmanında bu azalım eğrisi kullanılmıştır.

1. Eşdeğer Doğrusal (Lineer) Analizler İçin Modellenen Zeminler

a. Sondaj verilerinden oluşturulan zemin modeli

i. Zemin 1 (Z1)

DeepSoil v7.0 programında zeminler tanımlanmadan önce patlatma verilerinden oluşan ivme kayıtları yüklenmiştir. Daha sonra “New Profile” denerek zemin profilleri tanımlanmaya başlanır (Aykat,2022 :65). Şekil 12’de görüldüğü gibi “Analysis Type Definition” olarak başlangıç sekmesi görünmektedir. Burada analiz ve çözüm türünü, birimler gibi seçimler yapılır. Eşdeğer lineer analiz yapacağımızdan şekilde “Analysis Method” kısmında “Equivalent Linear” seçilmiştir.

Analysis Type Definition

Analysis Method
Equivalent Linear

Solution Type
Frequency Domain

Default Soil Model
Note: The selected default soil model will be assigned to all newly generated layers.
Discrete Points

Default Hysteretic Re/Unloading Formulation
Bilinear

Automatic Profile Generation
☐ On ☒ Off

Unit System
☐ English ☒ Metric

Complementary Analyses
☒ Equivalent Linear - Frequency Domain
☒ Linear - Frequency Domain (Under development)
☒ Linear - Time Domain (Under development)

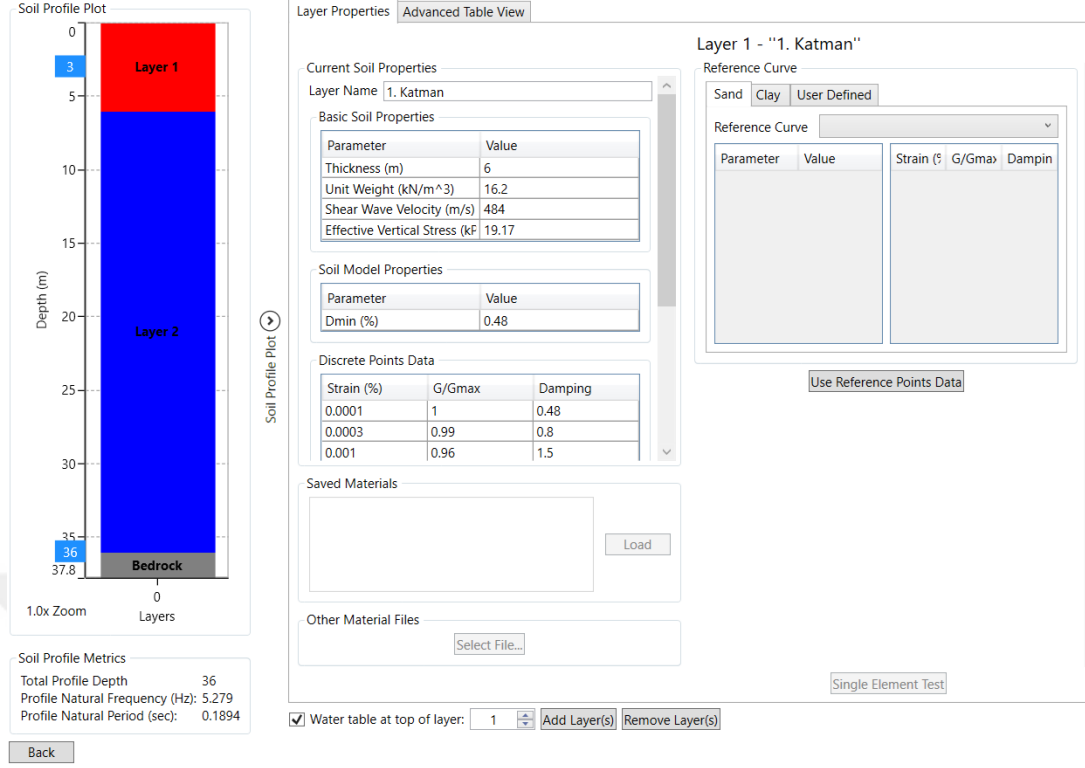
Analysis Tag
DS-EL0

Close Next

Şekil 12. DeepSoil “Analysis Type Definition” ara yüzü

Şekil 13’teki aşamada programa zemin modeli tanımlanmaktadır. Zemin tabakalarının kalınlığı, birim hacim ağırlığı ve kayma dalgası hızı değerleri girilir.

Soil Profile Definition



Şekil 13. DeepSoil zemin tanımlama ara yüzü

Çizelge 12’de sondaj zeminine ait parametreler yer almaktadır.

Çizelge 12. Zemin 1’in eşdeğer lineer analiz için parametreleri

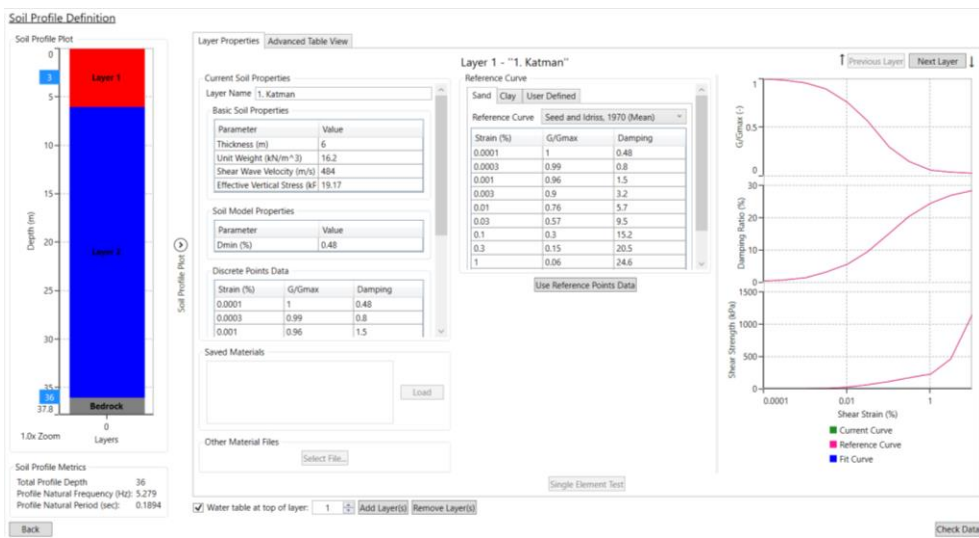
Katman	Derinlik (m)	V_s (m/s)	γ (kN/m ³)
1	6	484.00	16.2
2	36	858.00	19.8

Zemine ait azalım ilişkilerini tanımlamak üzere “Layer” sekmesinden istenilen tabakaya tıklanarak Şekil 10’da gösterildiği gibi seçilir. Zeminlerin türleri TBDY 2018’de 16. Bölümde yer alan “Yerel Zemin Sınıfları” tablosundan (Çizelge 13) yararlanılarak seçilmiştir.

Çizelge 13. Yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(Vs) ₃₀ (m/s)	(N ₆₀) ₃₀ (darbe/30 cm)	(C _u) ₃₀ (kPa)
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	>50	>250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15-50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya PI>20 ve w>%40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (cu<25 kPa) içeren profiller	< 180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler			

1. Katmanın hızı $V_s = 484.0$ m/s olduğundan ZC (çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar), 2. Katmanın hızı $V_s = 858.0$ m/s olduğundan ZB (Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar) sınıfında olduğundan dolayı iki katman için de azalım eğrilerinden Seed ve Idriss'in orta limit değerleri kullanılmıştır.



Şekil 14. Eşdeğer lineer analizde sondaj zemini için seçilen azalım eğrileri

Azalım ilişkilerinden sonra Şekil 15’teki gibi ana kaya parametreleri tanımlanmaktadır.

Şekil 15. Ana kaya parametrelerinin tanımlanması

Ana kaya özellikleri de tanımlandıktan sonra analizde kullanılması istenilen dinamik yük seçilmektedir. Yük seçildikten sonra ise analizden önceki son aşama olan Şekil 16’daki “Analysis Control Definition” bölümüne gelinir. Analizin yapılmasının istendiği katman veya katmanlar, iterasyon sayısı, efektif gerilmesi oranı ve kayma gerilmesi modülü formülü seçilerek bu bölüm tamamlanır.

Şekil 16. DeepSoil “Analysis Control Definition” ara yüzü

Analiz sonuçları programın ara yüzünde görüntülenebildiği gibi excel dosyası olarak da sonuçları çıktı alınabilir. Çalışma kapsamında analizler sonunda elde edilen PGA, maksimum gerilme ve şekil değiştirme grafikleri sonraki bölümde verilmiştir.

ii. Zemin 2 (Z2)

Bir önceki kısımda bahsedilen sırayla teorik zemin için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Teorik zemin için zemin tabakalarının kalınlığı, birim hacim ağırlığı ve kayma dalgası hızı değerleri Çizelge 14’te verilmiştir.

Çizelge 14. Zemin 2’nin eşdeğer lineer analiz için parametreleri

Katman	Derinlik (m)	V_s (m/s)	γ (kN/m ³)
1	9	429.00	16.6
2	39	671.00	18.6

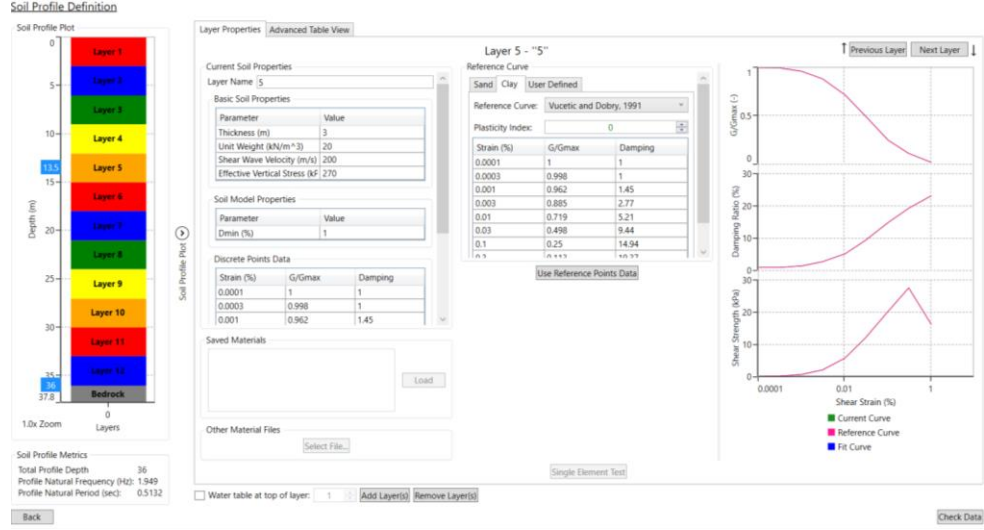
b. Denklemden oluşturulan zemin modeli (Teorik Zemin)

Yine aynı işlemler sırayla teorik zemin için de tekrarlanmıştır. Teorik zemin için zemin tabakalarının kalınlığı, birim hacim ağırlığı ve kayma dalgası hızı değerleri Çizelge 15’de verilmiştir.

Çizelge 15. Teorik zeminin eşdeğer lineer analiz için parametreleri

Katman	Derinlik (m)	V_s (m/s)	γ (kN/m ³)
1	3	187.00	20.0
2	6	223.67	20.0
3	9	250.72	20.0
4	12	272.67	20.0
5	15	200.00	20.0
6	18	307.88	20.0
7	21	322.67	20.0
8	24	336.14	20.0
9	27	348.56	20.0
10	30	360.10	20.0
11	33	370.90	20.0
12	36	381.07	20.0

4. ve 6. Katmanlar arasında yer alan 5. Katmanda yumuşak zemin bulunduğu azalım eğrisi olarak Vucetic ve Dobry tarafından hazırlanan eğri kullanılırken diğer katmanlarda Seed ve Idriss’e ait azalım eğrilerinden “Orta Limit” eğrisi kullanılmıştır (Şekil 17).



Şekil 17. Yumuşak zemin için azalım eğrilerinin seçilmesi

2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analizler İçin Modellenen Zeminler

a. Sondaj verilerinden oluşturulan zemin modeli

i. Zemin 1 (Z1)

Şekilde “Analysis Type Definition” olarak başlangıç sekmesi görünmektedir. Burada analiz türü Şekil 18’deki gibi “Nonlinear olarak” seçilir.

Şekil 18. Nonlinear analiz seçilmesi

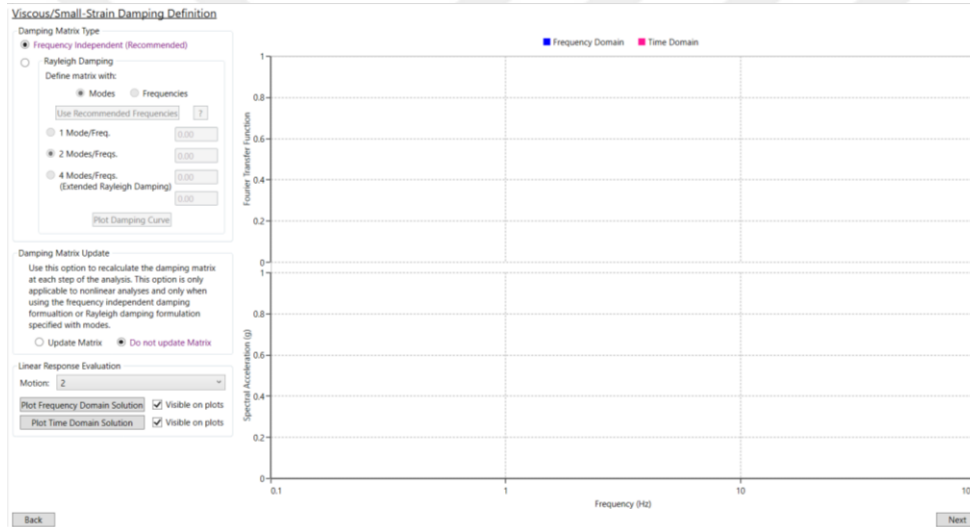
Eşdeğer doğrusal (linear) analizdeki gibi zemin parametreleri girilerek zeminler tanımlanmaya başlanır. Zemin parametreleri Çizelge 16’da verilmiştir.

Çizelge 16. Zemin 1'in nonlinear analiz için parametreleri

Kat man	Derinli k (m)	V_s (m /s)	γ (kN/m 3)	Dmin (%)	Ref. Strain* (%)	Ref. Stress* (MPa)	Bet a*	s *	d *	b *
1	6	48 4	16,2	0,48	0,03	0,18	0,8	0,7	0	0
2	36	85 8	19,8	0,48	0,03	0,18	0,8	0,7	0	0

* Bu değerler DeepSoil v7.0 Manuel'den alınmıştır (Hashash vd. 2009).

Azalım eğrileri her katman için Seed ve Idriss seçildikten sonra ana kayanın özellikleri de girilerek sismik yük seçilir. Eşdeğer doğrusal (lineer) analizden farklı olarak frekanstan bağımsız şekilde viskoz sönüm matrisi (Şekil 19) tanımlanabilir ve transfer fonksiyonları da oluşturulabilmektedir.



Şekil 19. Viskoz Sönüm Matrisi ara yüzü

Son aşama ise Şekil 20'de görüldüğü üzere eşdeğer doğrusal (lineer) analize göre farklılık göstermektedir. Doğrusal olmayan (nonlinear) analizde adım kontrollünde gerçekleştirilecek analiz için gerilme artırımının nasıl yapılacağı seçilecektir. “flexible” artım seçilirse gerilme değerinin en yüksek değeri, “fixed” artım yapılacaksa da artım yapılacak değer programa girilir (Hashash vd. 2009).

Analysis Control Definition

Frequency Domain

Number of iterations: 15

Effective Shear Strain Definition

SSR = $\frac{M_1}{10}$

Effective Shear Strain Ratio (SSR): 0.65

Complex Shear Modulus Formulation

☒ Frequency Independent (Recommended)

$G^* = G(1 + 2iE)$

☐ Frequency Dependent (Use with Caution)

$G^* = G(1 - 2iE + 2iE\sqrt{1 - E})$

☐ Simplified

$G^* = G(1 - iE + 2iE)$

Time Domain

Step Control

☒ Flexible ☐ Fixed

Maximum Strain Increment (%): 1

Number of Sub-increments: 1

Integration Scheme

☒ Implicit: Newmark Beta Method ($\beta=0.25, \gamma=0.5$)

☐ Explicit: Heun's Method ($\beta=0, \gamma=0.5$)

Time-history Interpolation Method

☒ Linear in time domain

☐ Zero-padded in frequency-domain

Output Settings

Layers

☐ Surface Only

☒ All Layers

☐ At Specific Depth

☐ At Specific Layers

Profile 1

Layer #	Layer Name	Want Output
1	1	☒
2	2	☒
3	3	☒
4	4	☒
5	5	☒
6	6	☒
7	7	☒
8	8	☒
9	9	☒

Bedrock

☐ Output deconvolution result at top of rock

Displacement Animation

☒ Output displacement animation (Warning: Generating the displacement animation will slow down the speed of analysis)

Back Analyze

Şekil 20. Nonlinear Analiz için Analysis Control Definition ara yüzü

ii. Zemin 2 (Z2)

Bir önceki kısımda bahsedilen adımlar sırayla Z2 için de tekrarlanmıştır. Teorik zemin için zemin tabakalarının kalınlığı, birim hacim ağırlığı ve kayma dalgası hızı değerleri Çizelge 17’de verilmiştir.

Çizelge 17. Zemin 2’nin nonlinear analiz için parametreleri

Katman	Derinlik (m)	V_s (m/s)	γ (kN/m ³)	Dmin (%)	Ref. Strain* (%)	Ref. Stress* (MPa)	Beta*	s*	d*	b*
1	9	429	16.6	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
2	39	671	18.6	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0

* Bu değerler DeepSoil v7.0 Manuel’den alınmıştır (Hashash vd. 2009).

b. Denklemden oluşturulan zemin modeli (Teorik Zemin)

Bir önceki kısımda bahsedilen sırayla teorik zemin için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Teorik zemin için zemin tabakalarının kalınlığı, birim hacim ağırlığı ve kayma dalgası hızı değerleri Çizelge 18’de verilmiştir.

Çizelge 18. Teorik zeminde nonlinear analiz için kullanılan parametreler

Kat man	Derinli k (m)	γ (kN/ m ³)	V_s (m/s)	Dmin (%)	Ref. Strain* (%)	Ref. Stress* (Mpa)	Beta *	s*	d *	b *
1	0	20	120.00	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
2	3	20	187.00	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
3	6	20	223.67	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
4	9	20	250.72	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
5	12	20	272.67	1.00	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
6	15	20	291.41	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
7	18	20	307.88	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
8	21	20	322.67	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
9	24	20	336.14	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
10	27	20	348.56	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
11	30	20	360.09	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
12	33	20	370.90	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0
13	36	20	381.07	0.48	0.03	0.18	0.8	0.7	0	0

* Bu değerler DeepSoil v7.0 Manuel'den alınmıştır (Hashash vd. 2009).

Azalım eğrileri olarak 5. Katmanda yumuşak zemin bulunduğundan Vucetic ve Dobry tarafından hazırlanan eğri, diğer katmanlarda Seed ve Idriss “Orta Limit” eğrisi kullanılmıştır. Daha sonra ana kaya, sismik yük seçimi, viskoz sönüm matrisi ve hesaplamaların ne şekilde yapılacağı gibi bir önceki kısımda anlatıldığı gibi yinelenerek analizler tamamlanır.

V. TEK BOYUTLU DİNAMİK ANALİZLERİN SONUÇLARI

A. Eski ve Yeni Yönetmeliklere Göre Seçilen Verilerin Karşılaştırılması

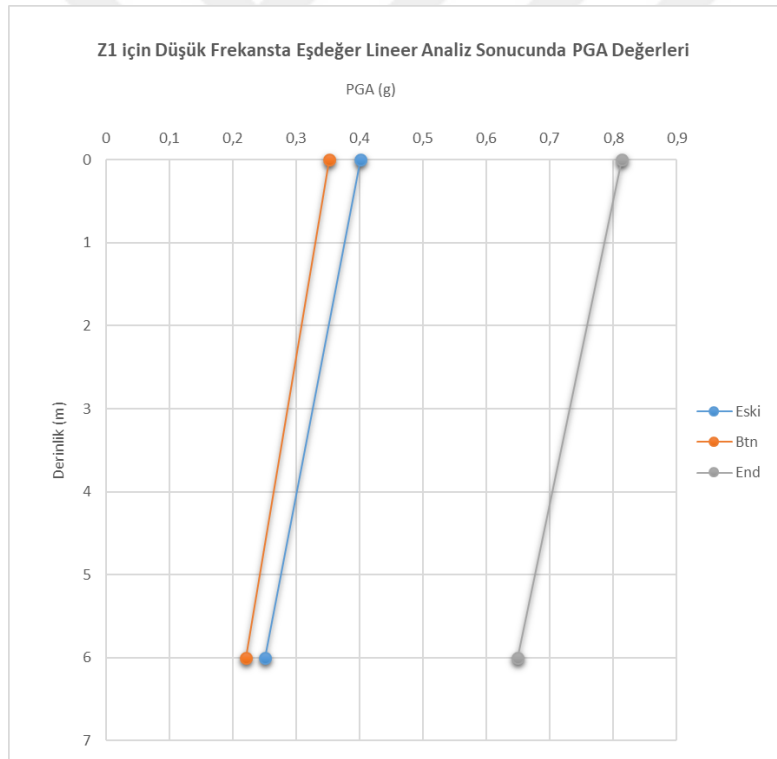
Resmi gazetelerde yayınlanan ve güncel olan 30/11/2022 tarihli 32029 sayılı gazetede yayınlanan yönetmelik bu çalışmada yeni yönetmelik olarak bahsedilmiştir. Bu yönetmelikten önce uygulanmakta olan 04/06/2010 tarihli 27601 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan yönetmelik ise eski yönetmelik olarak adlandırılmıştır. Patlatma yapılan yerlerde, yakınında veya çevresinde olan yapılara zarar vermemesi için sınır değerlerini belirleyen bu iki yönetmeliğin ortak amacı %95 oranında yüzeysel çatlak oluşmamasının garantilenmesidir. Yani çatlak oluşumunun en fazla olma olasılığı %5'tir. İki yönetmeliğin arasındaki temel fark ise eski yönetmelikte yapı türü önemsizken yeni yönetmelikte yapı türleri dikkate alınarak sınır değerler belirlenmiştir. Sınır değerler eski ve yeni yönetmelik için Çizelge 10 ve Çizelge 11'de verilmiştir. Bu çalışmada eski yönetmelik için düşük frekans yönetmeliğe göre 30 Hz altı ve PPV değeri sınır değeri olan 19 mm/s değerine yakın seçilmiştir. Yüksek frekans değerindeyse 30 Hz üstü ve PPV sınır değeri olan 50.8 mm/s değerine yakın seçilmiştir. Yeni yönetmelikte ise düşük frekans olarak 10-50 Hz arası ve yüksek frekans 50 Hz üstü olarak seçilmiştir. Bu seçilen frekanslardaki PPV değerleriyse betonarme ve endüstriyel yapılar olarak ayrılan PPV değerlerine yakın olarak iki veri seçilmiştir. Grafiklerde “eski” olarak ifade edilen çizgiler eski yönetmeliğin sınır değer sonuçlarını, “btn” şeklinde gösterilen değerler yeni yönetmelikteki evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için olan sınır değer sonuçlarını ve “end” olarak gösterilen çizgilerse yeni yönetmelikteki endüstriyel yapılar için olan sınır değer sonuçlarını göstermektedir. Eski yönetmelikte düşük frekans ve yüksek frekans olmak üzere 2; yeni yönetmelikte evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için yüksek ve düşük frekans olmak üzere 2 ve endüstriyel yapılar için düşük ve yüksek frekans olmak üzere 2 adet olacak şekilde toplam 6 patlatma verisi kullanılmıştır. Bu patlatma verileri çalışmada “teorik zemin” olarak ifade edilen Dehghanian ve Yılmaz'dan (Dehghanian, 2016: 54) alınan $V_s =$

$120 \cdot (1+d)^{0,32}$ olarak tanımlanan teorik zemin profiline ve patlatmalı temel kazılarının yapıldığı sahanın zemin etüdlerinden alınan 2 sondaj zeminine uygulanmıştır. Sondaj zeminleri ve teorik zemin için seçilen patlatma verileriyle 6'şar adet eşdeğer lineer analiz ve 6'şar adet nonlinear analiz olmak üzere toplamda 36 adet analiz yapılmıştır. Bu analizler sonucunda tepe yer ivme (PGA), maksimum gerilme ve maksimum şekil değiştirmeler karşılaştırılmıştır.

1. Eşdeğer Doğrusal (Lineer) Analiz

a. Tepe Yer (Pik) İvmesi (PGA)

Şekil 21'de sondaj zemini olan Z1 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre tepe ivme değişimlerini gösterilmektedir.

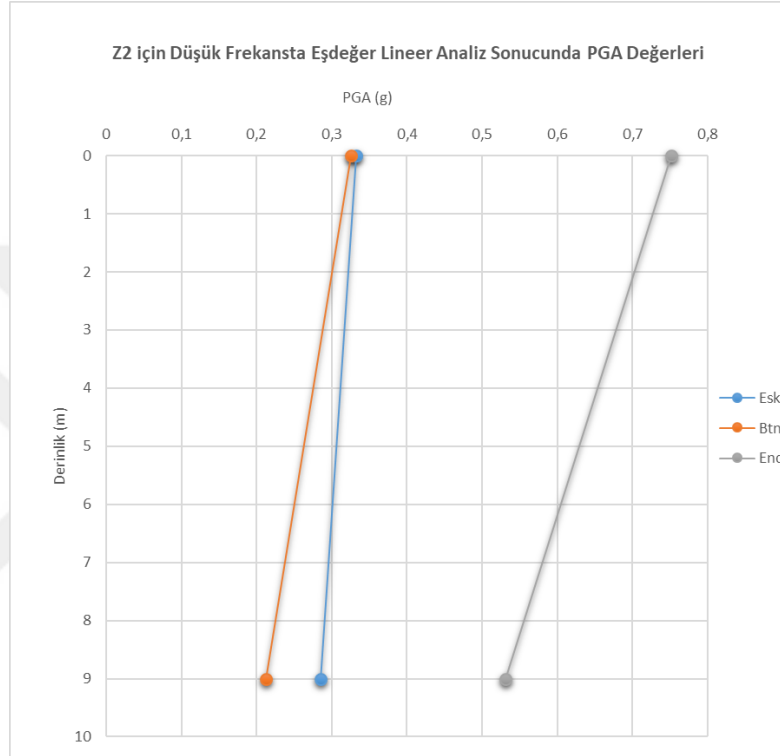


Şekil 21. Z1 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının

arasında yer alsa da derinlik arttıkça evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

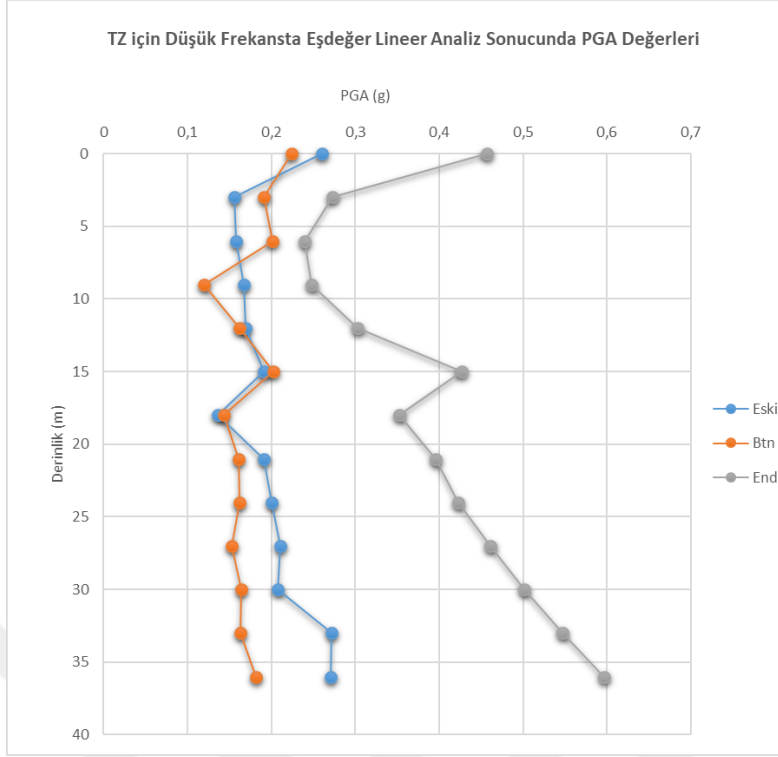
Şekil 22’de sondaj zemini olan Z2 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre tepe ivme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 22. Z2 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almaktadır.

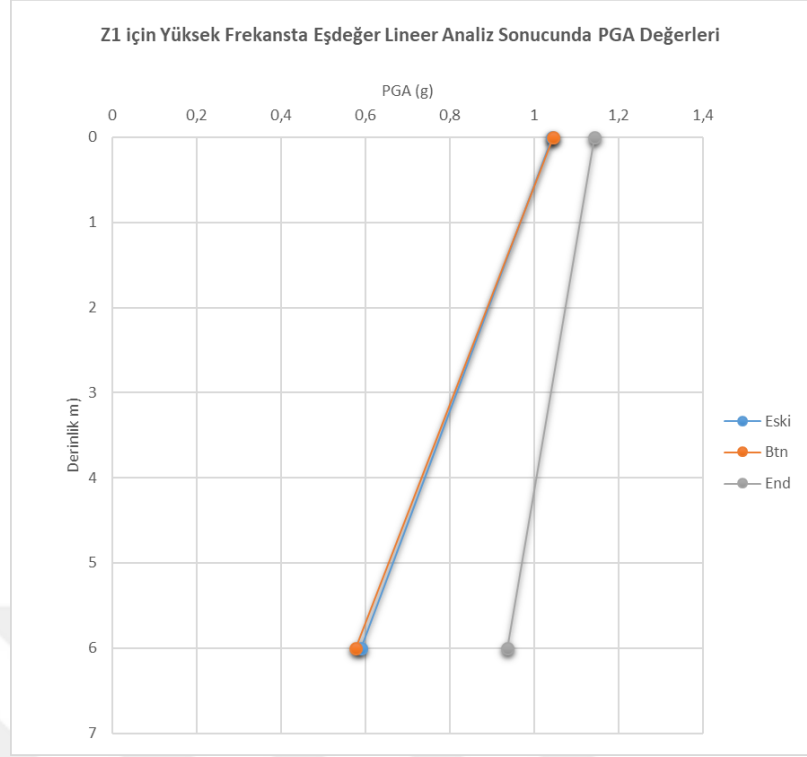
Şekil 23’te denklemle oluşturulan zemin olan TZ için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre tepe ivme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 23. TZ için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer alsa da derinlik arttıkça evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir. Yumuşak zemin dışında yaşanan artışlar o katmandaki zeminin hakim periyodu ile patlatma verilerinin periyodlarının birbirine yavaşmasından kaynaklanmaktadır. Eski yönetmelik için seçilen sınır değerindeki patlatma verisi ile 30 m derinlikteki zemin hakim periyodu neredeyse aynıdır.

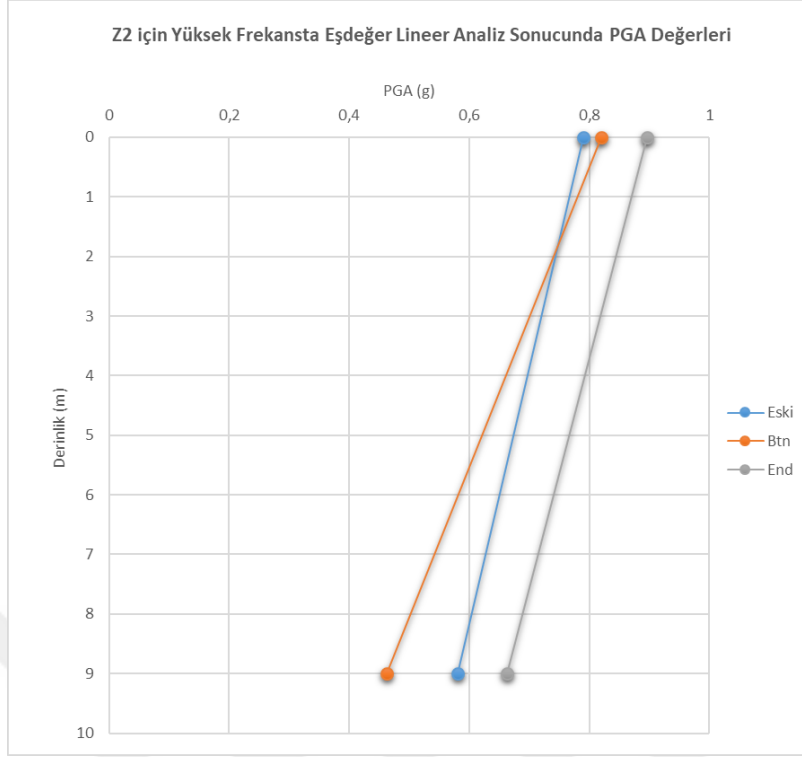
Şekil 24'te sondaj zemini olan Z1 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre tepe ivme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 24. Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer alsa da iki katmanda da evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna aşırı yakındır.

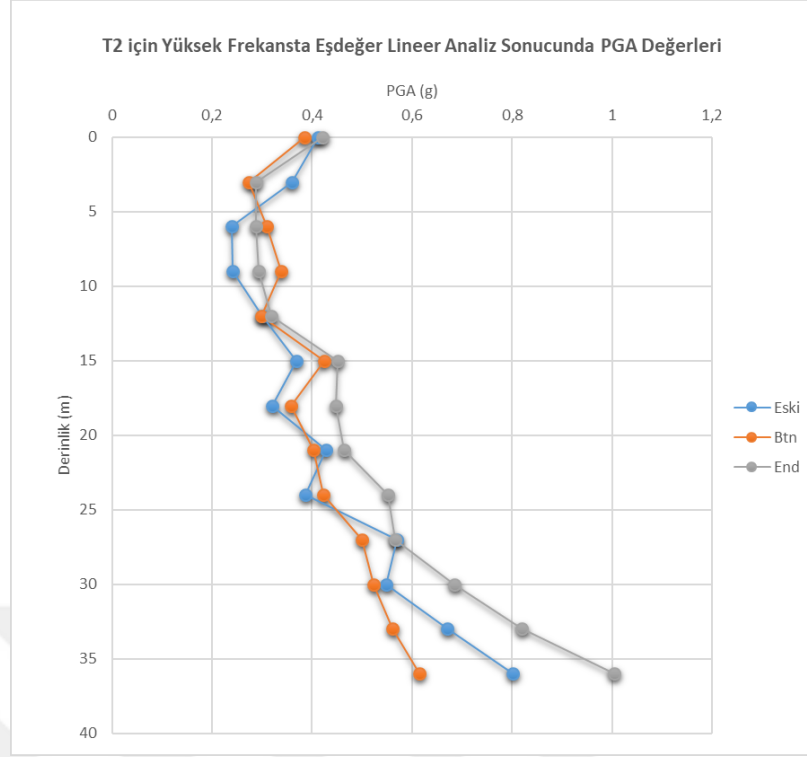
Şekil 25'te sondaj zemini olan Z2 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre tepe ivme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 25. Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının sığ derinliklerde evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yakın olsa da derinlik arttıkça endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisinin sonuçları iki bina tipi için seçilen sınır değerlerinin arasında kalmaktadır.

Şekil 26'da denklemle oluşturulan bir zemin olan TZ için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre tepe ivme değişimlerini gösterilmektedir.

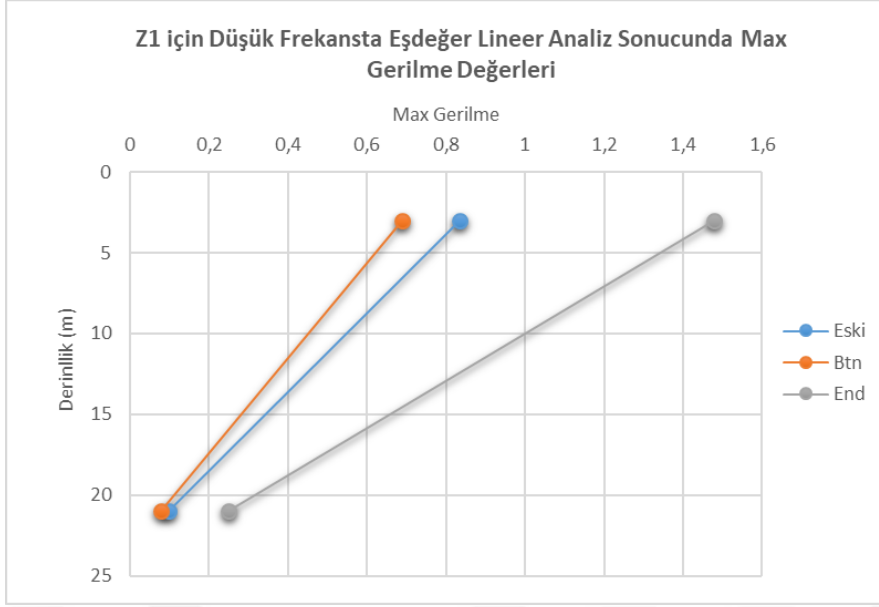


Şekil 26. TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir. Yumuşak zemin dışında yaşanan artışlar o katmandaki zeminin hakim periyodu ile patlatma verilerinin periyodlarının birbirine yavaşmasından kaynaklanmaktadır.

b. Maksimum Gerilme

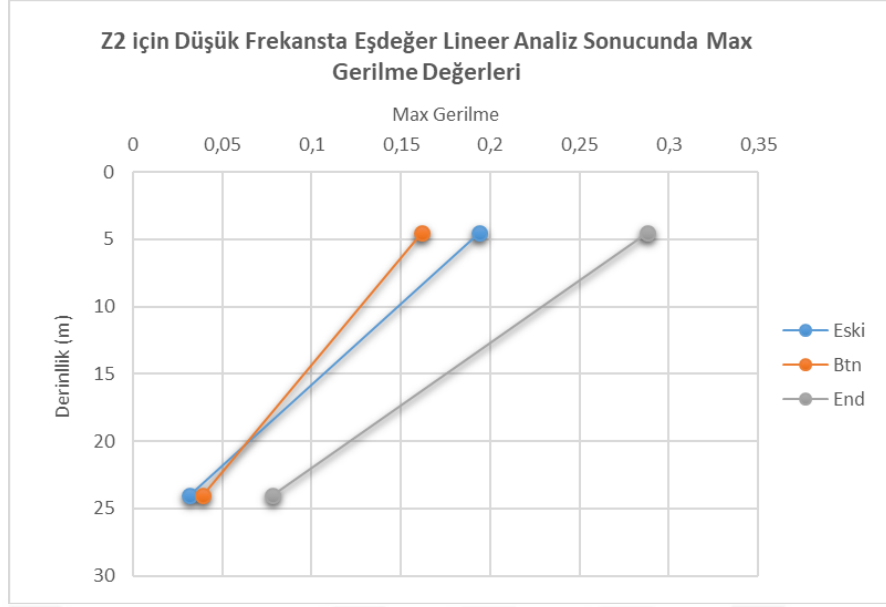
Şekil 27'de sondaj zemini olan Z1 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 27. Z1 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer alsa da iki katmanda da evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

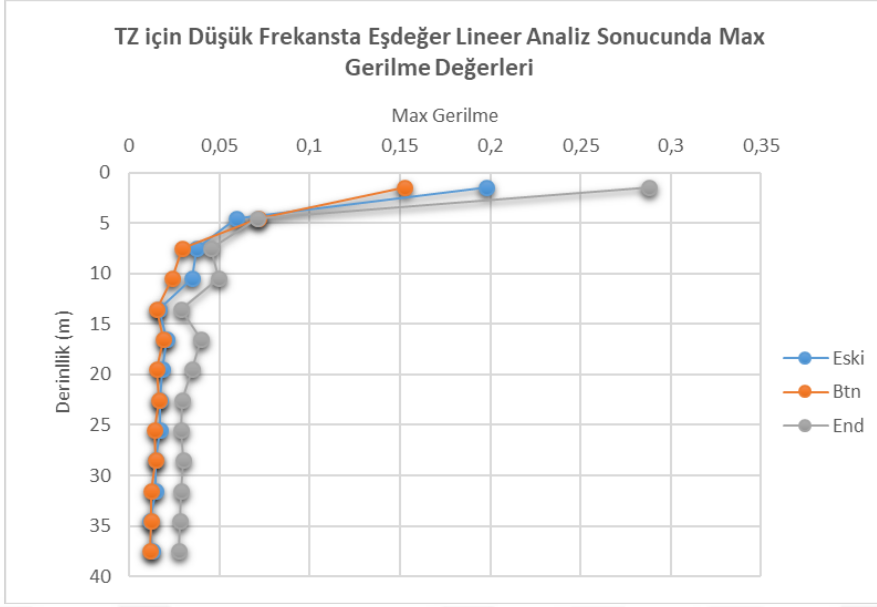
Şekil 28’de sondaj zemini olan Z2 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 28. Z2 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi 20 m derinliğe kadar iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almaktadır. Tüm derinliklerde evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yakındır.

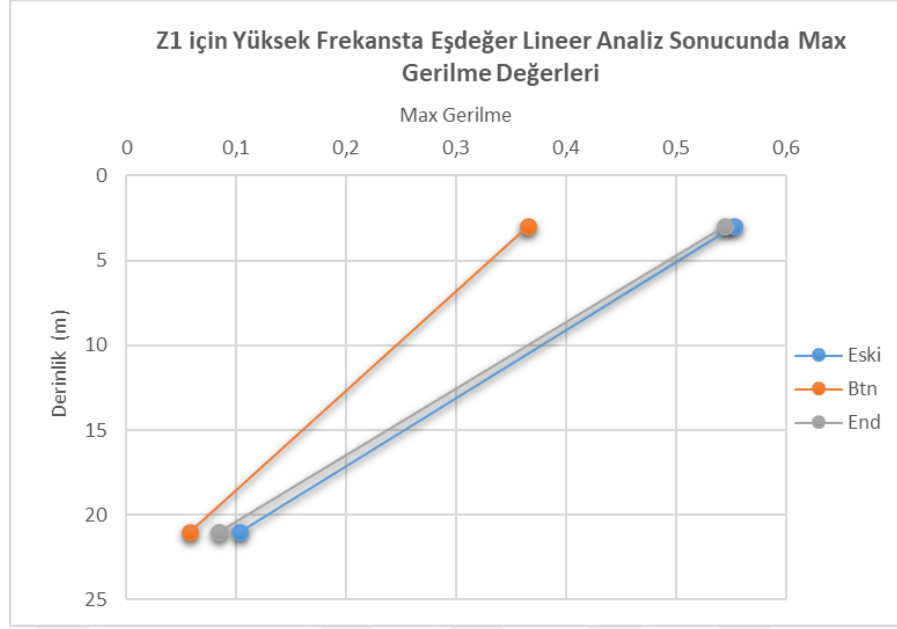
Şekil 29’da denklemle oluşturulan bir zemin olan TZ için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 29. TZ için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almakta ve 20 m derinlikten sonra evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için seçilen patlatma verisinin sonuçları ile birebir aynı olmaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

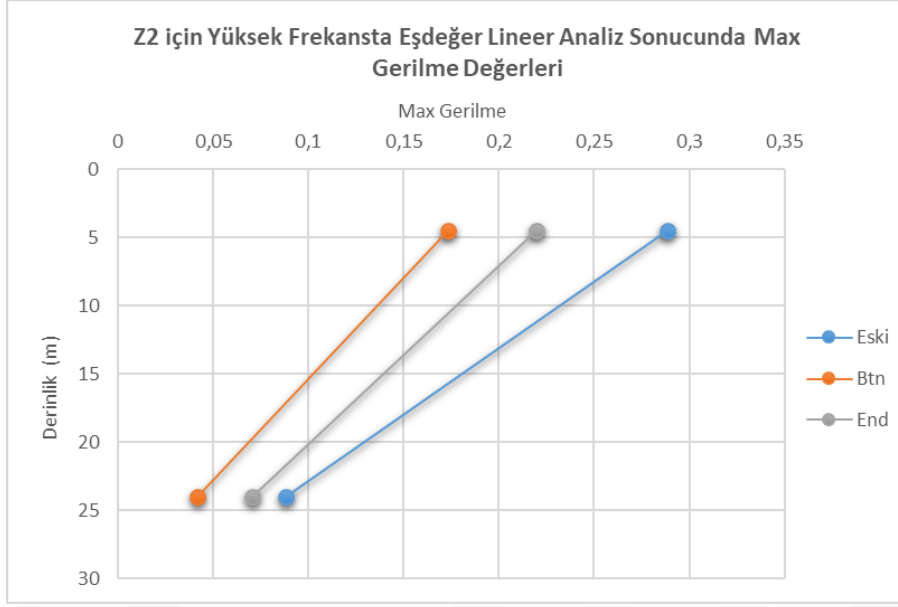
Şekil 30'da sondaj zemini olan Z1 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 30. Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer alsa da iki katmanda da endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

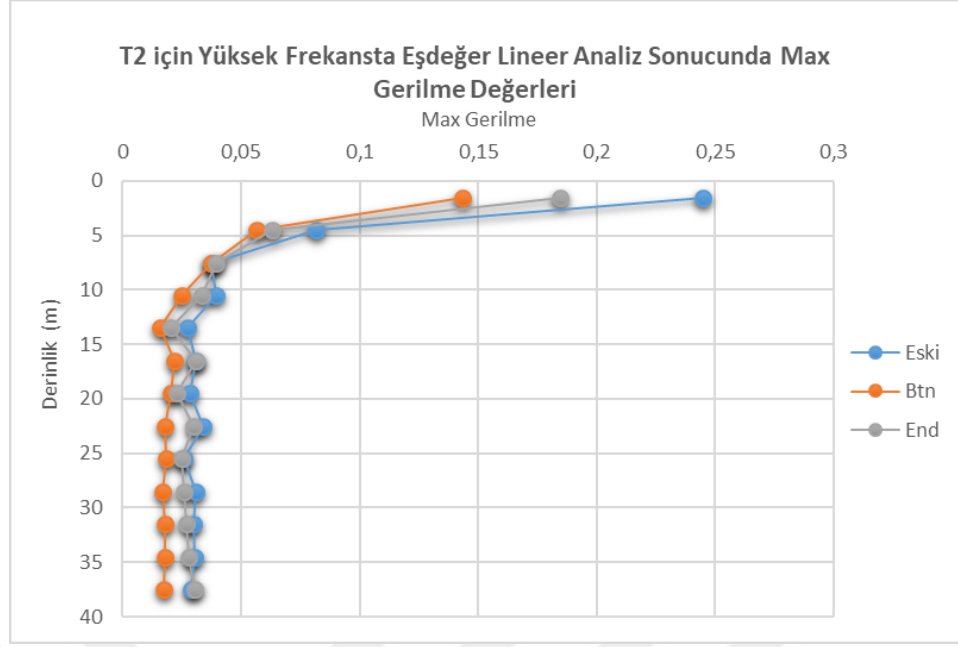
Şekil 31’de sondaj zemini olan Z2 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 31. Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almaktadır. Tüm derinliklerde endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna yakındır.

Şekil 32’de denklemle oluşturulmuş olan TZ için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.

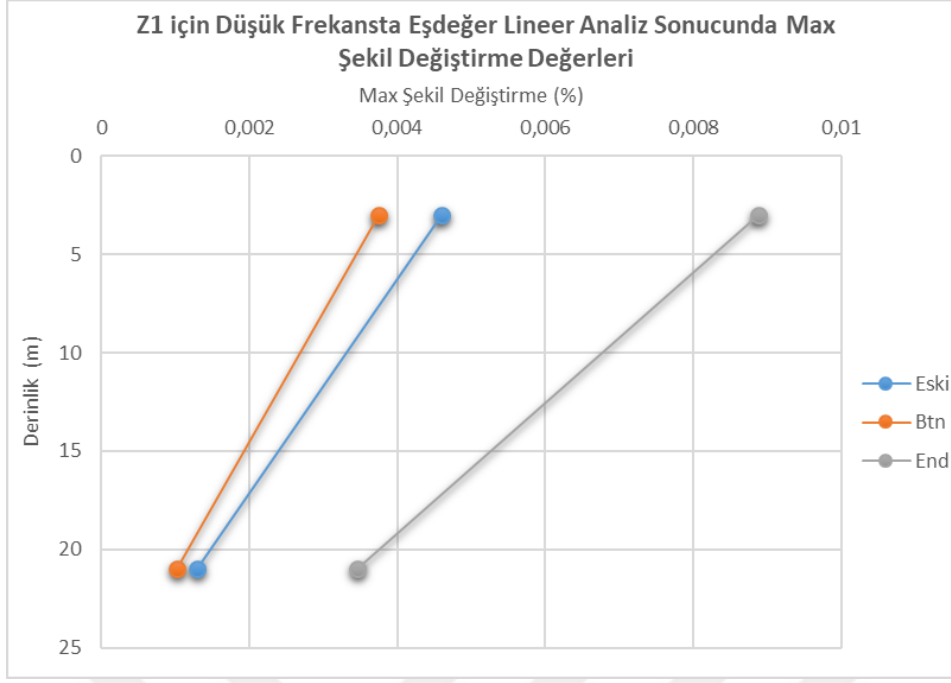


Şekil 32. TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almakta ve derinlik arttıkça endüstriyel yapılar için seçilen patlatma verisinin sonuçlarına yaklaşmaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

c. Maksimum Şekil Değiştirme

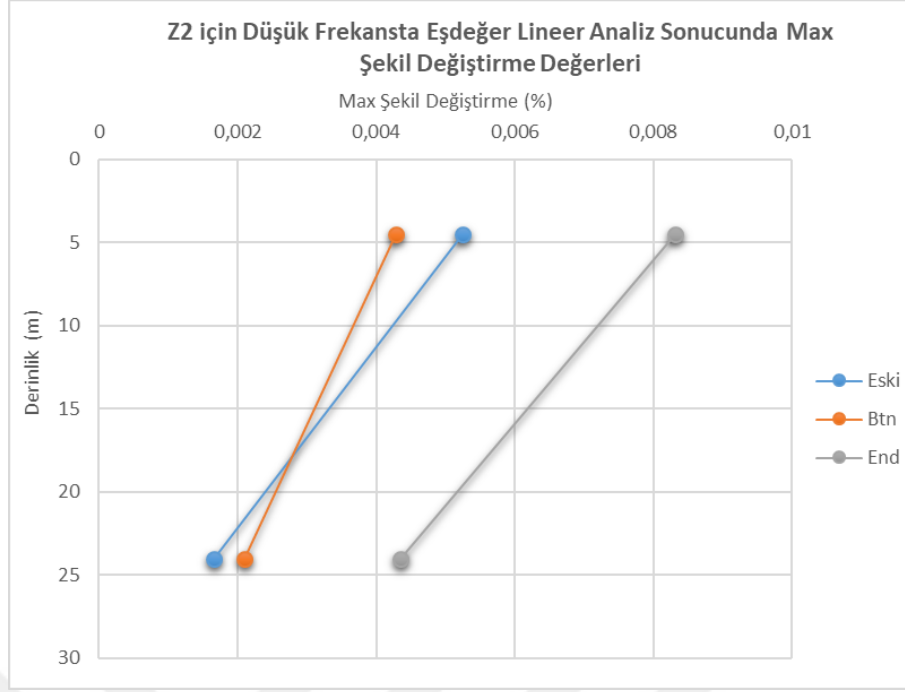
Şekil 33'te sondaj zemini olan Z1 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 33. Z1 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer alsa da iki katmanda da evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

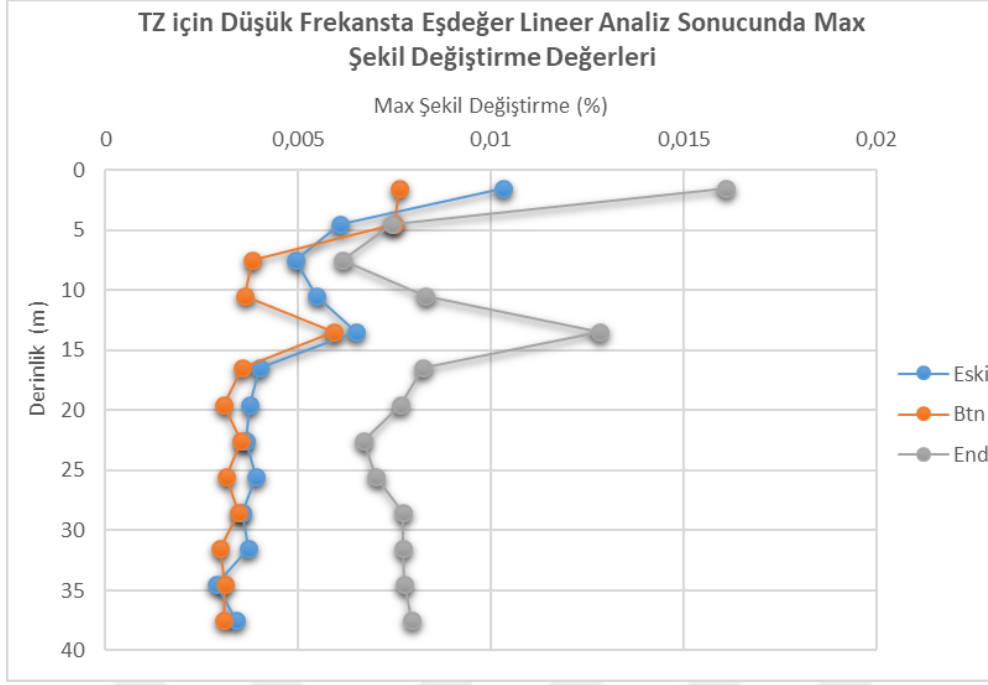
Şekil 34'te sondaj zemini olan Z2 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 34. Z2 için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi 20 m derinliğe kadar iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almaktadır. Tüm derinliklerde evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yakındır.

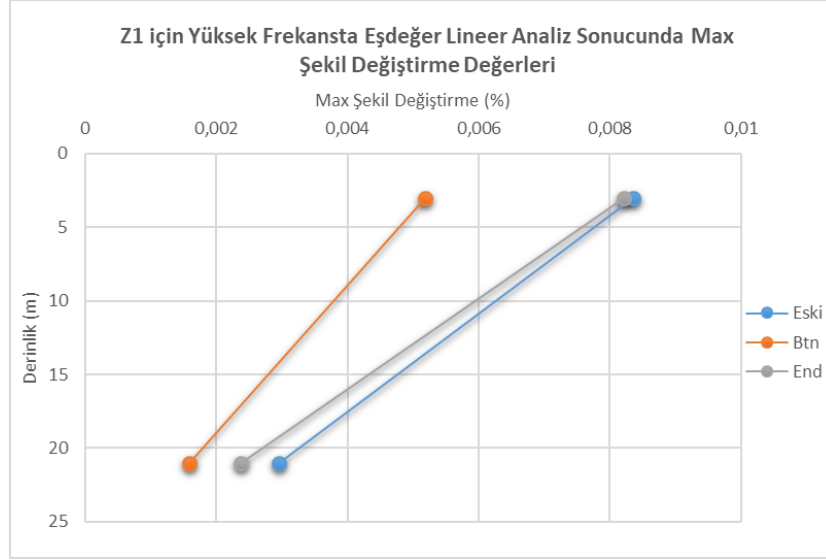
Şekil 35'te denklemle oluşturulmuş olan TZ için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 35. TZ için Düşük Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer alsa da derinlik arttıkça evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için seçilen patlatma verisinin sonuçlarına yaklaşmaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

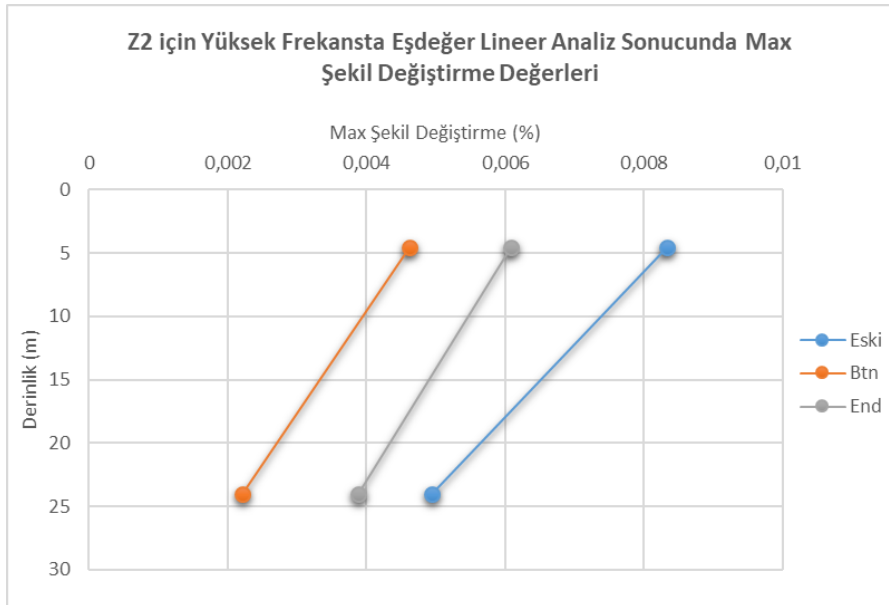
Şekil 36'da sondaj zemini olan Z1 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 36. Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna yakındır.

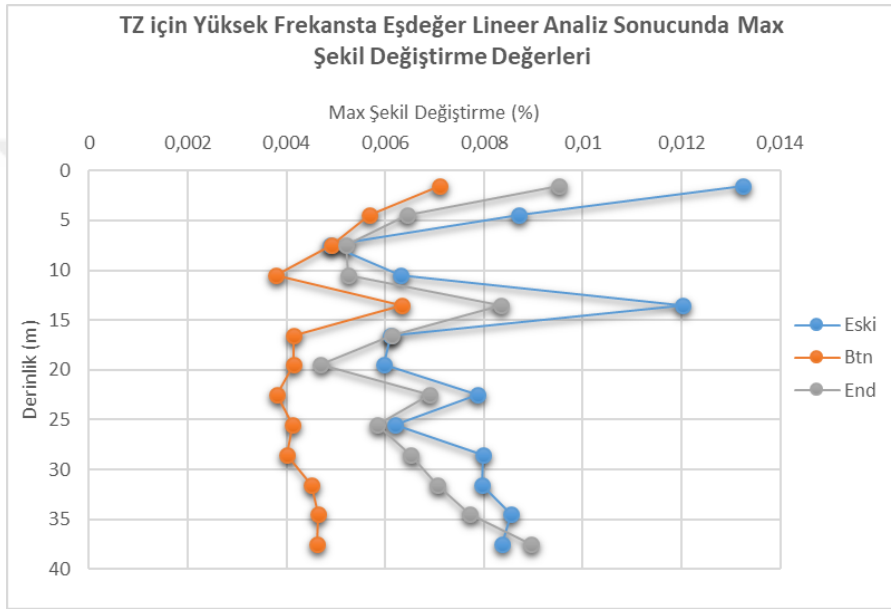
Şekil 37’de sondaj zemini olan Z2 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 37. Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonuçlarına yakındır.

Şekil 38’de denklemlerle oluşturulmuş olan TZ için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan eşdeğer lineer analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 38. TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

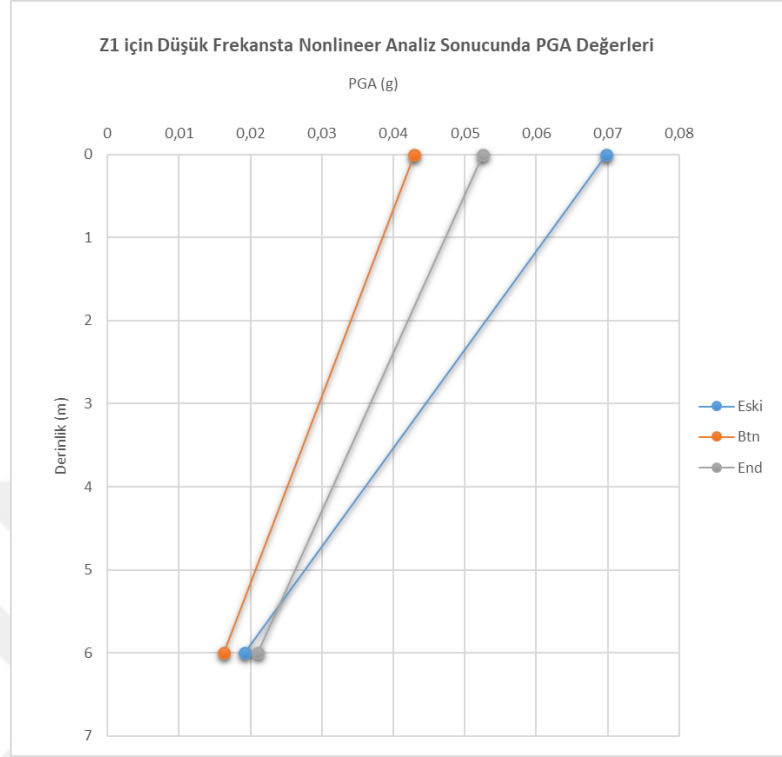
Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi endüstriyel yapılar için seçilen patlatma verisinin sonuçlarına yakındır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz

a. Tepe Yer (Pik) İvmesi (PGA)

Şekil 39’da sondaj zemini olan Z1 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma

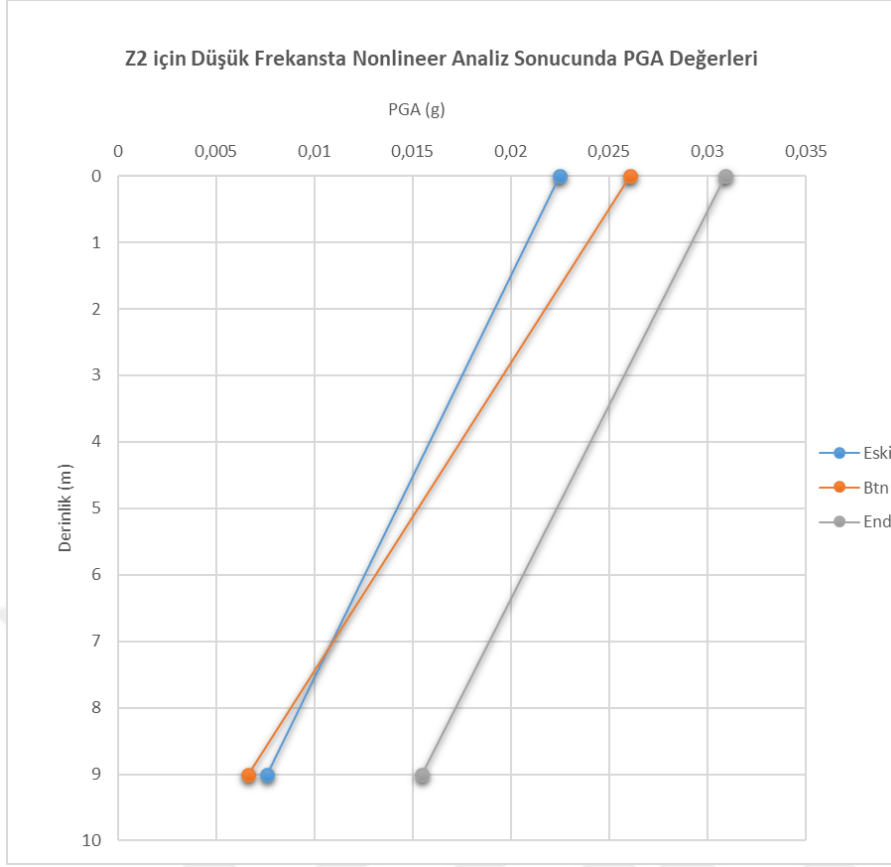
yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre tepe yer (pik) ivme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 39. Z1 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarından fazladır. Derinlik arttıkça da endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

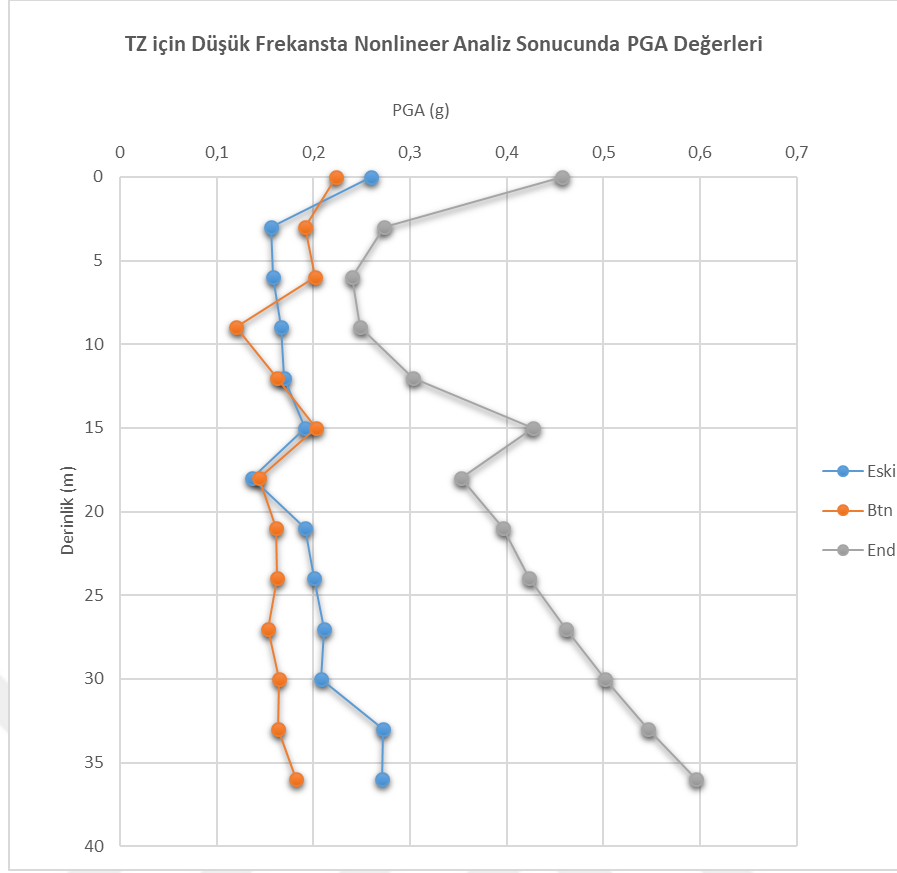
Şekil 40'ta sondaj zemini olan Z2 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre tepe yer (pik) ivme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 40. Z2 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarından arasındadır. Derinlik arttıkça da evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

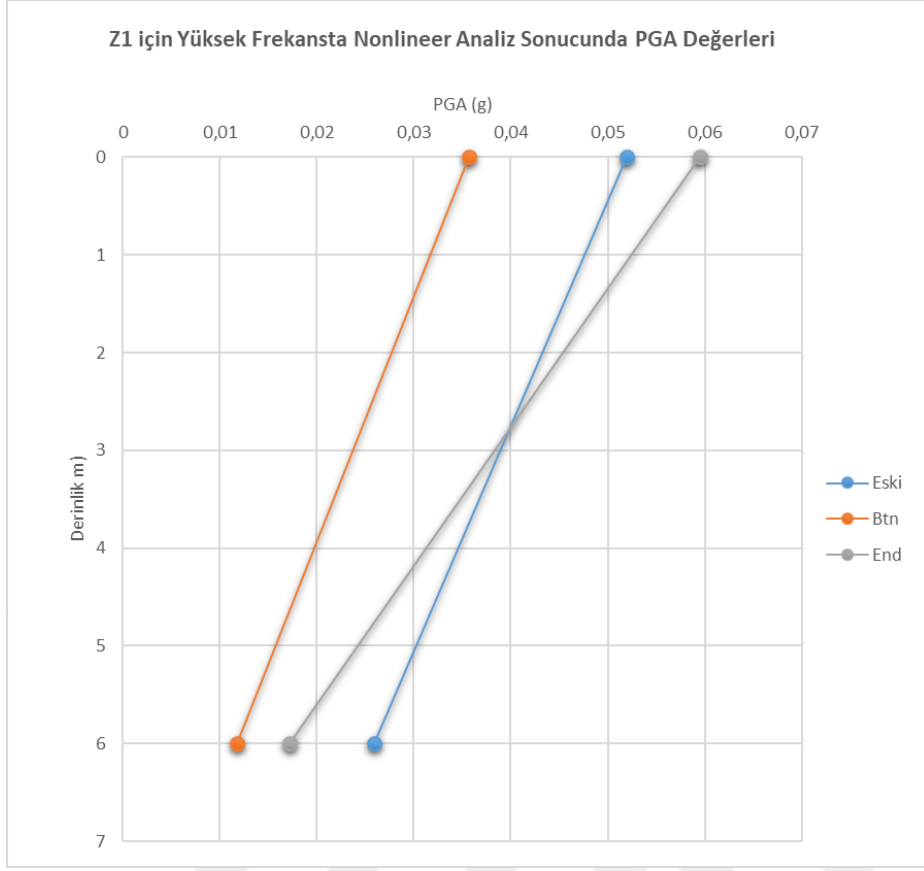
Şekil 41’de denklemle oluşturulmuş olan TZ için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlineer) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 41. TZ için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir. Yumuşak zemin dışında yaşanan artışlar o katmandaki zeminin hakim periyodu ile patlatma verilerinin periyodlarının birbirine yavaşmasından kaynaklanmaktadır.

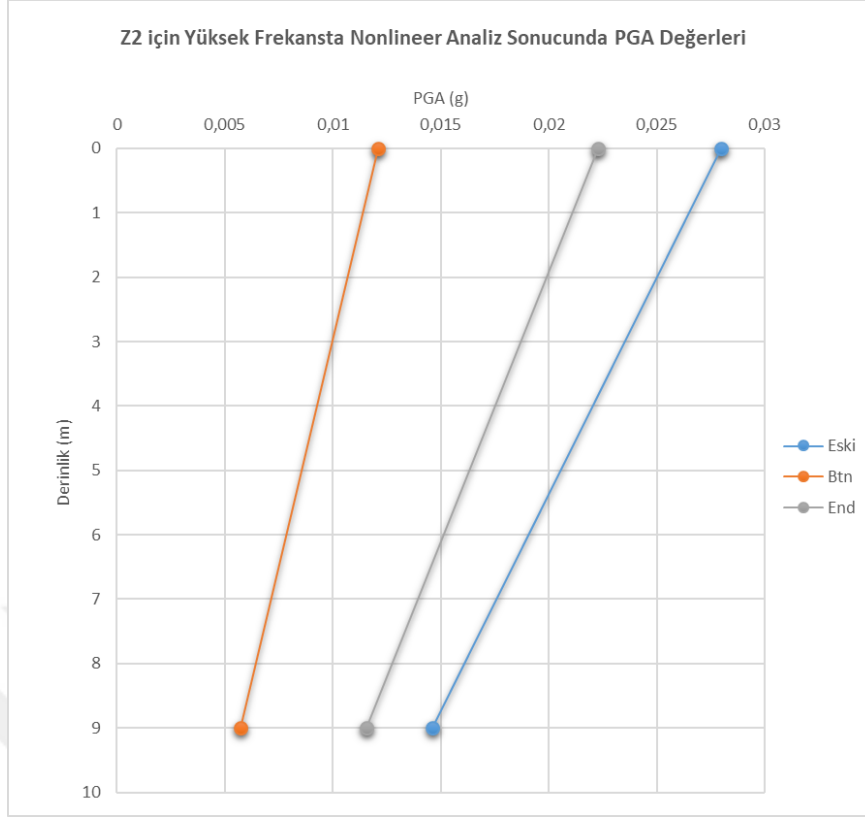
Şekil 42’de sondaj zemini olan Z1 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlineer) analiz sonucunda derinliğe göre tepe yer (pik) ivme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 42. Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisinin sonuçları endüstriyel yapılardaki sınır değerler için seçilen patlatma verilerinin sonuçlarına yakındır.

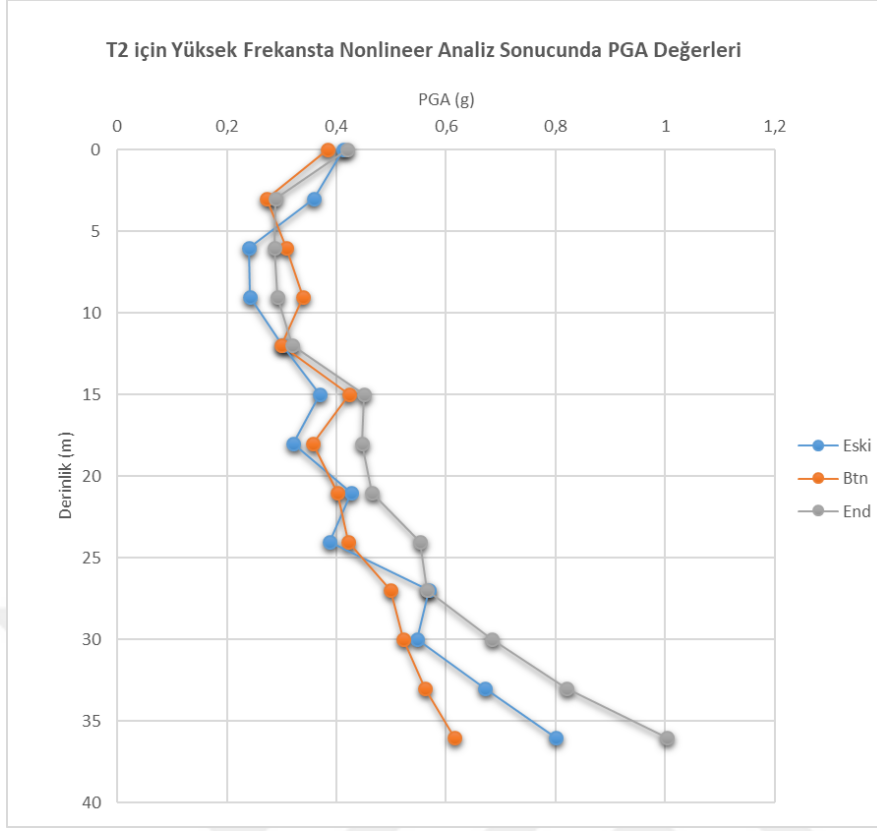
Şekil 43'te sondaj zemini olan Z2 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlineer) analiz sonucunda derinliğe göre tepe yer (pik) ivme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 43. Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarından fazladır. Derinlik arttıkça da endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

Şekil 44'te denklemle oluşturulmuş olan TZ için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.

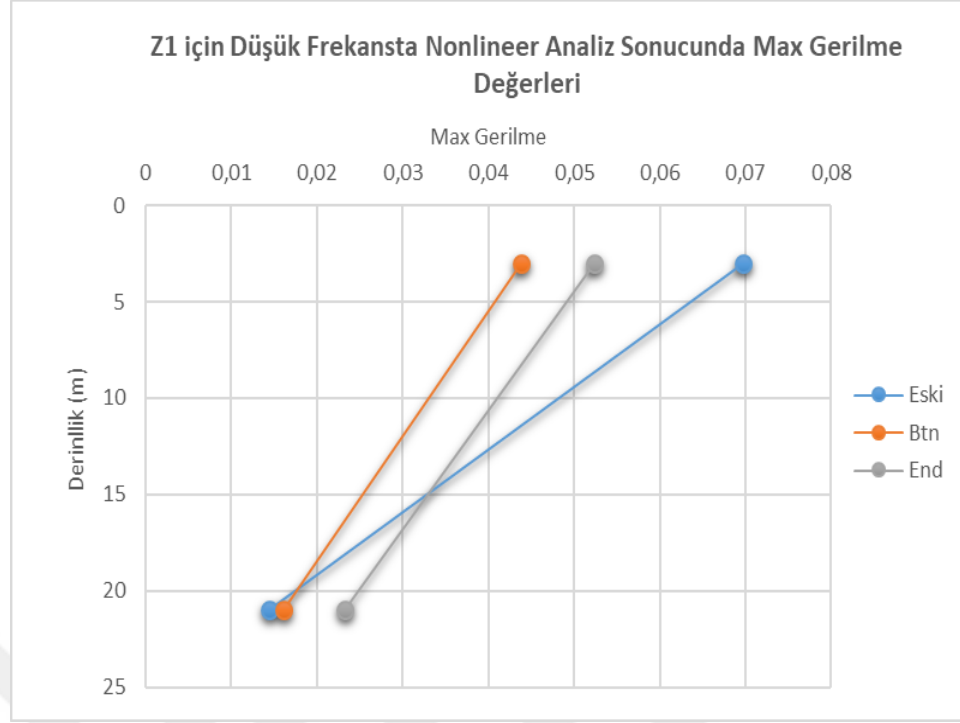


Şekil 44. T2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir. 3 patlatma verisinin sonuçları da birbirine oldukça yakındır. Yumuşak zemin dışında yaşanan artışlar o katmandaki zeminin hakim periyodu ile patlatma verilerinin periyodlarının birbirine yavaşmasından kaynaklanmaktadır.

b. Maksimum Gerilme

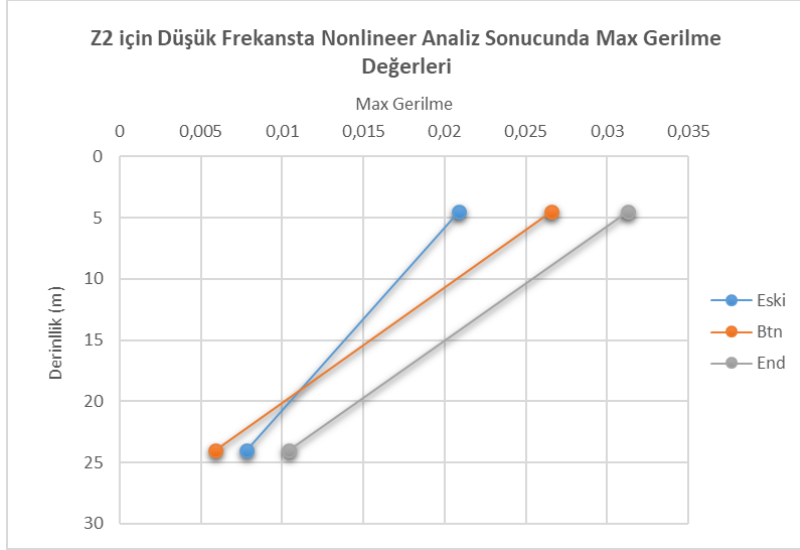
Şekil 45'te sondaj zemini olan Z1 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlineer) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 45. Z1 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarından fazla olsa da önce endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna daha sonra da evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

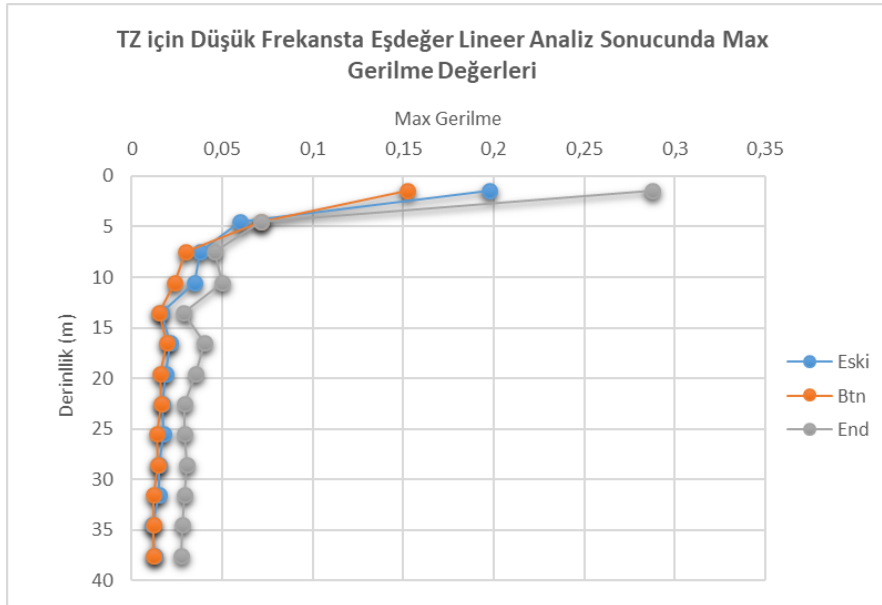
Şekil 46'da sondaj zemini olan Z2 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlineer) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 46. Z2 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yakındır.

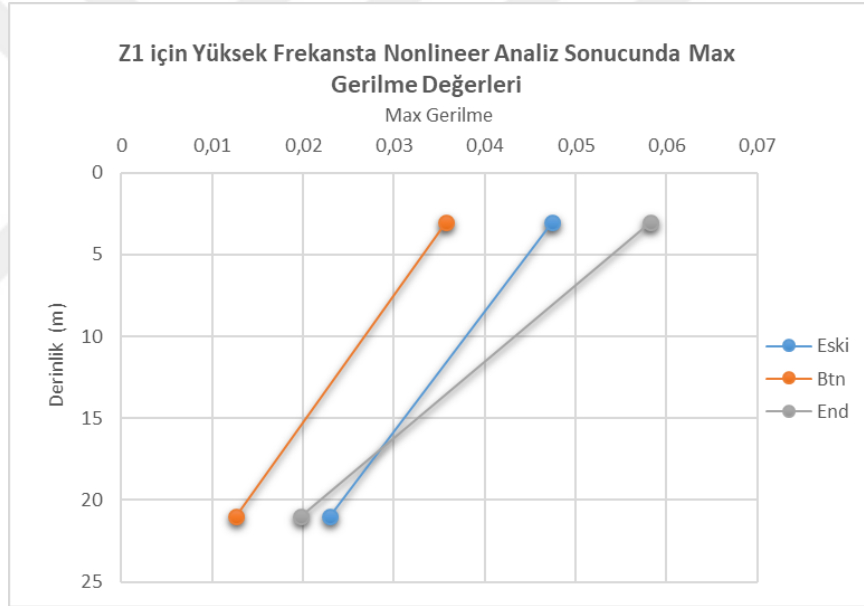
Şekil 47’de denklemle oluşturulmuş olan TZ için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlineer) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 47. TZ için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer almakta ve 20 m derinlikten sonra evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için seçilen patlatma verisinin sonuçları ile birebir aynı olmaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

Şekil 48’de sondaj zemini olan Z1 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.

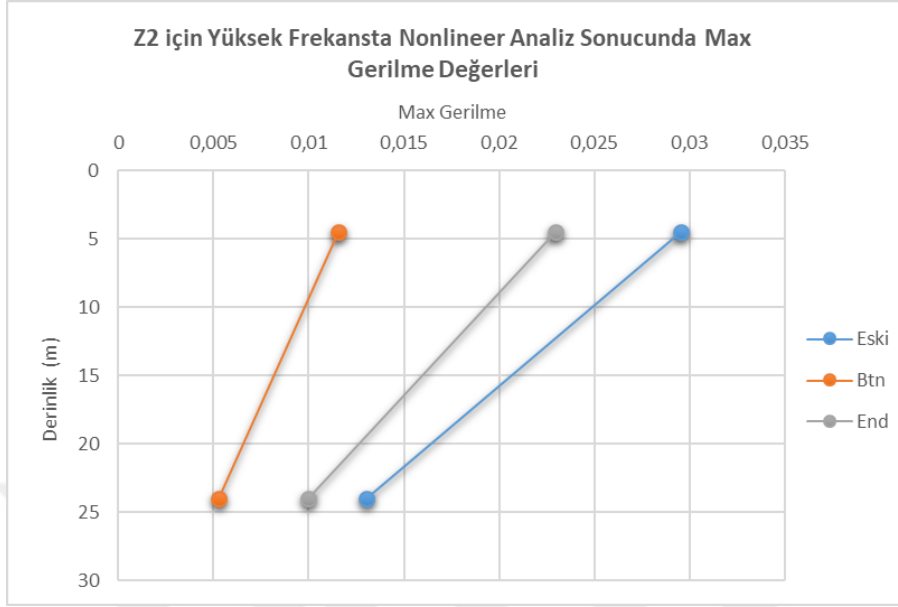


Şekil 48. Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer alsa da derinlik arttıkça endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

Şekil 49’da sondaj zemini olan Z2 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma

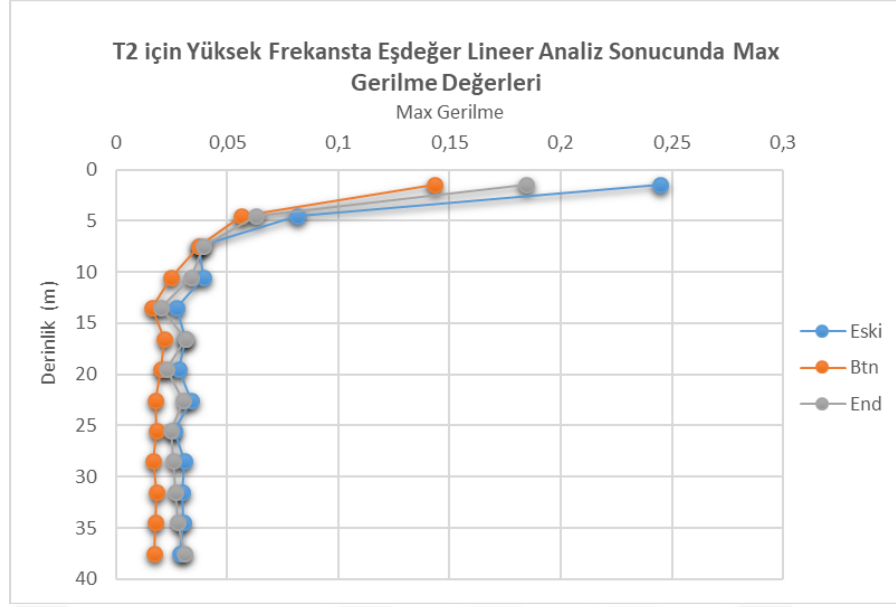
yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 49. Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarından daha büyüktür. Tüm derinliklerde endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna yakındır.

Şekil 50’de denklemlerle oluşturulmuş olan TZ için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum gerilme değişimlerini gösterilmektedir.

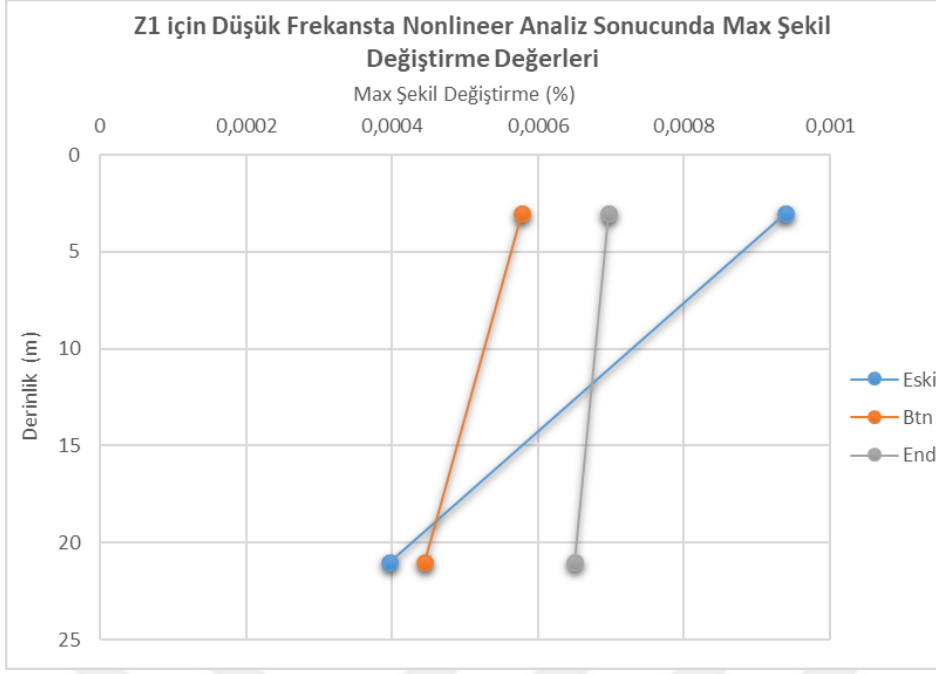


Şekil 50. TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi derinlik arttıkça endüstriyel yapılar için seçilen patlatma verisinin sonuçlarına yaklaşmaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

c. Maksimum Şekil Değiştirme

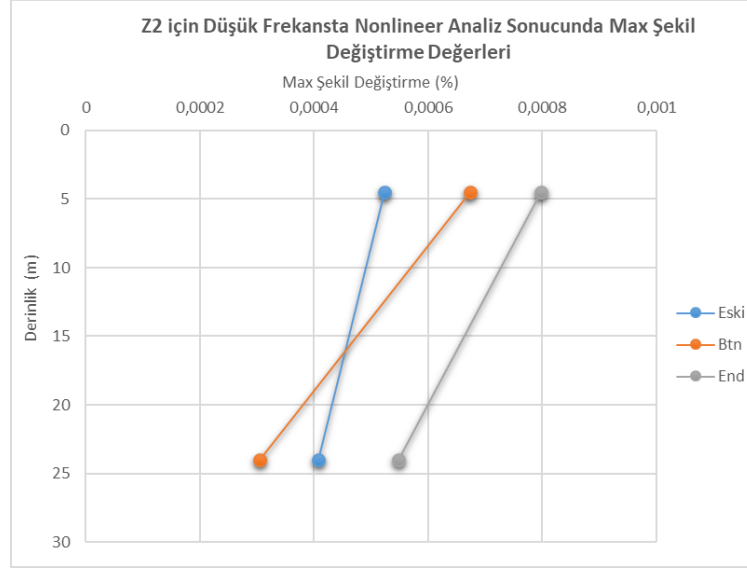
Şekil 51’de sondaj zemini olan Z1 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlineer) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum şekil değiştirme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 51. Z1 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi derinlik arttıkça önce endüstriyel yapılar sonra evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yaklaşmaktadır.

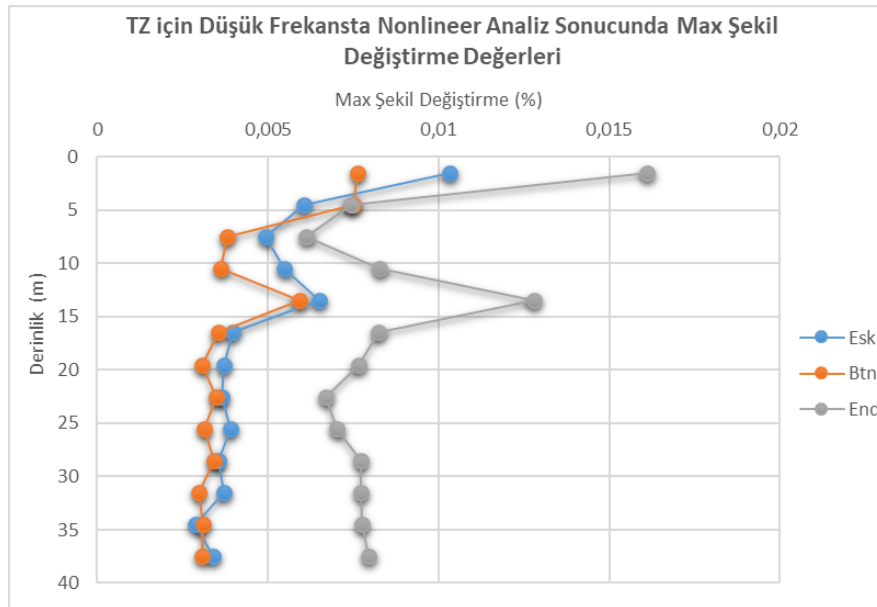
Şekil 52’de sondaj zemini olan Z2 için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlineer) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum şekil değiştirme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 52. Z2 için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Tüm derinliklerde evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapıların sınır değerlerinin sonucuna yakındır.

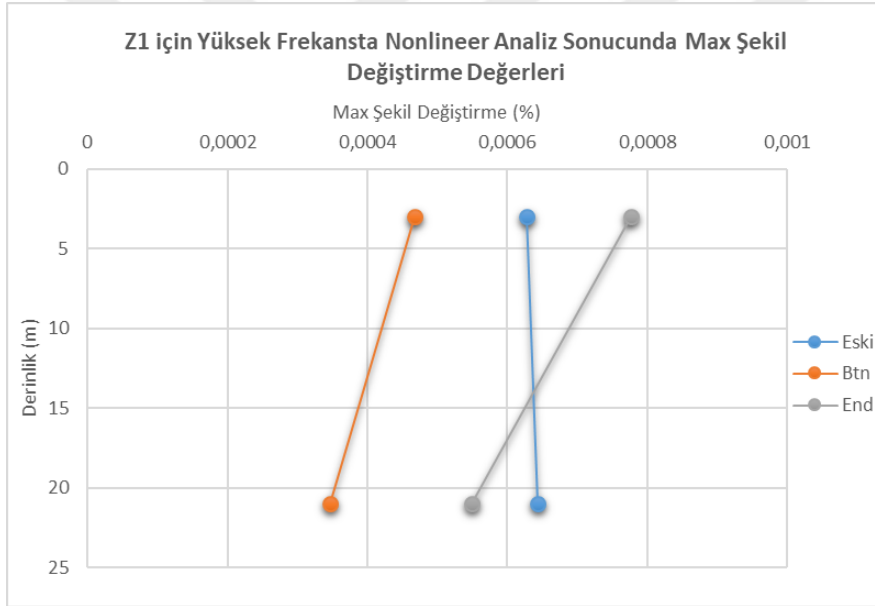
Şekil 53'te denklemlerle oluşturulmuş olan TZ için düşük frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum şekil değiştirme değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 53.2. TZ için Düşük Frekansta Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi iki bina türü için seçilen sınır değerlere sahip patlatma verilerinin sonuçlarının arasında yer alsa da derinlik arttıkça evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için seçilen patlatma verisinin sonuçlarına yaklaşmaktadır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

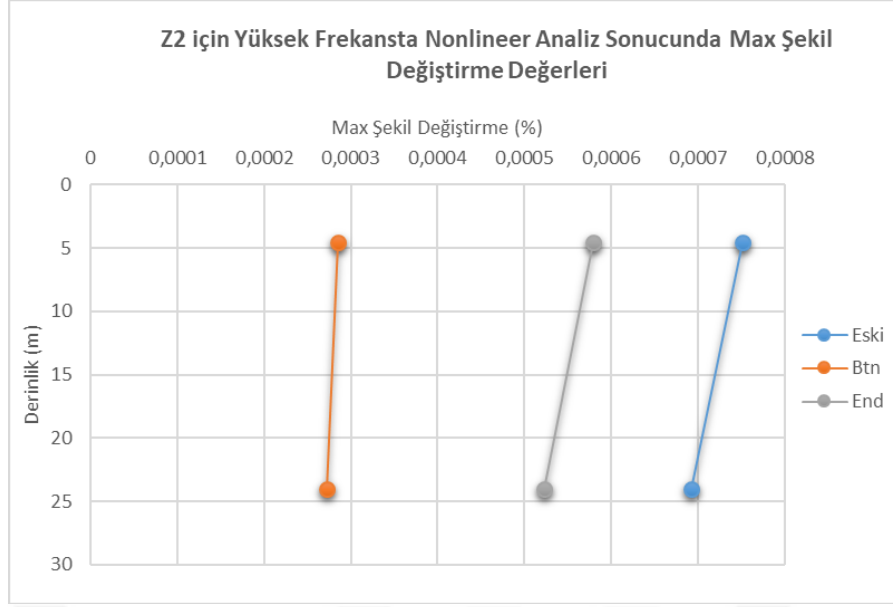
Şekil 54'te sondaj zemini olan Z1 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum şekil değiştirme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 54. Z1 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonucuna yakındır.

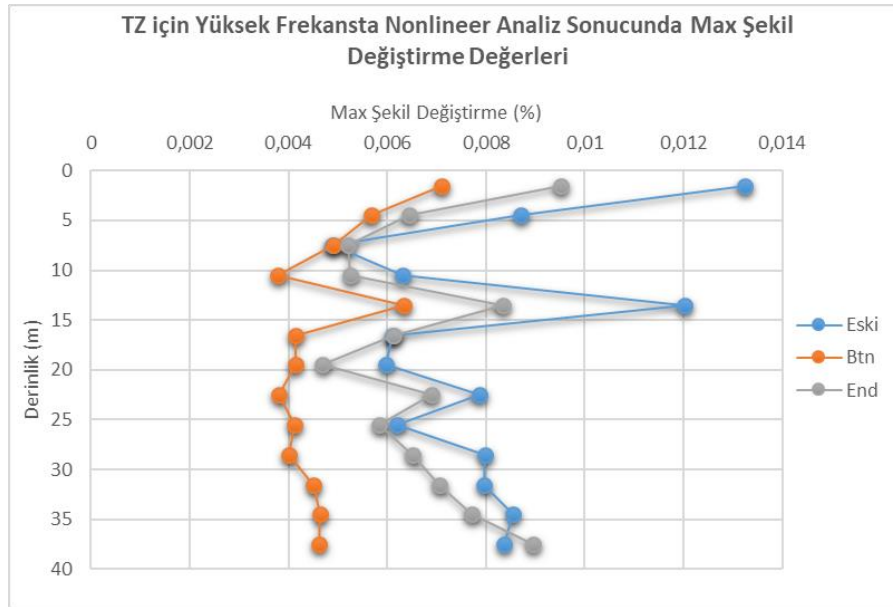
Şekil 54'te sondaj zemini olan Z2 için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum şekil değiştirme değerlerinin değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 55. Z2 için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi endüstriyel yapıların sınır değerlerinin sonuçlarına yakındır.

Şekil 56'da denklemle oluşturulmuş olan TZ için yüksek frekanslardaki eski yönetmelik, betonarme ve endüstriyel yapıların sınır değerlerinde olan patlatma yüklemeleriyle yapılan doğrusal olmayan (nonlinear) analiz sonucunda derinliğe göre maksimum şekil değiştirme sonuçlarındaki değişimlerini gösterilmektedir.



Şekil 56. TZ için Yüksek Frekansta Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafik incelendiğinde 3 patlatma verisinde de zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. Eski yönetmelik sınır değeri için kullanılan patlatma verisi endüstriyel yapılar için seçilen patlatma verisinin sonuçlarına yakındır. Zeminde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

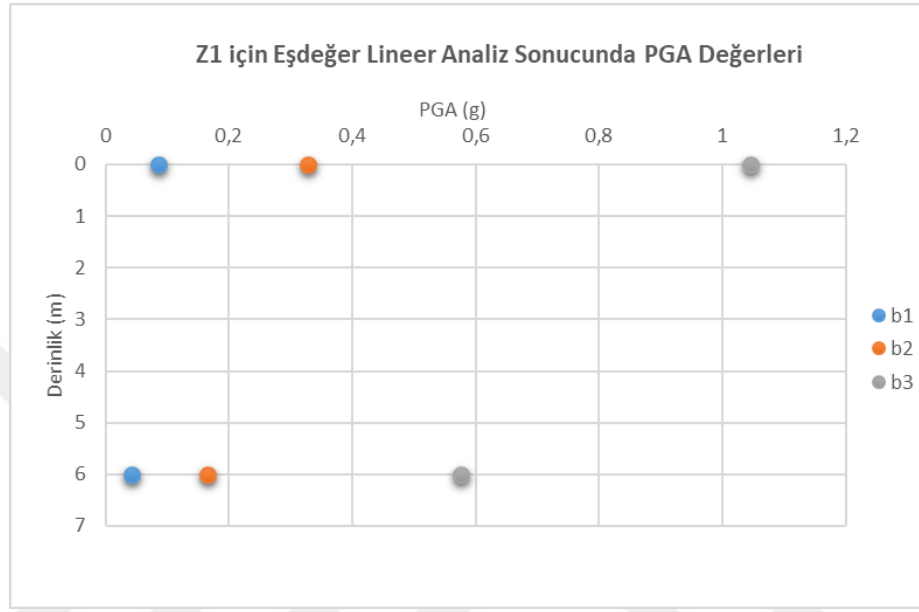
B. Sondaj Zemini ve Teorik Zemini Arasında Yapılan Analizlerin Karşılaştırılması

Güncel yönetmelikte PPV sınır değerleri hem frekanslara hem de yapı türlerine göre düzenlenmiştir. Bu bölümde 2 sondaj verisi ve 1 adet teorik zemini 1-10 Hz, 10- 50 Hz ve 50-100 Hz olarak sınır değerler için yapı türlerine de uygun sınırlardan seçilen patlatma yüklerine maruz bırakılmıştır. Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için 1-10 Hz arasında sınır değere uygun seçilen patlatma yükünün sonuçları grafiklerde “b1”, 10-50 Hz aralığında arasında sınır değere uygun seçilen patlatma yükünün sonuçları grafiklerde “b2” ve 50 Hz üzeri sınır değere uygun seçilen patlatma yükünün sonuçları grafiklerde “b3” olarak ifade edilmiştir. Endüstriyel yapılar için 1-10 Hz arasında sınır değere uygun seçilen patlatma yükünün sonuçları grafiklerde “e1”, 10-50 Hz aralığında arasında sınır değere uygun seçilen patlatma yükünün sonuçları grafiklerde “e2” ve 50 Hz üzeri sınır değere uygun seçilen patlatma yükünün sonuçları grafiklerde “e3” olarak ifade edilmiştir. Betonarme yapılar için 3 adet ve endüstriyel yapılar için 3 adet olmak üzere toplam 6 patlatma verisi kullanılmıştır. Bu patlatma verileri çalışmada “teorik zemin” olarak ifade edilen Dehghanian ve Yılmaz’dan (2016) alınan $V_s = 120 \cdot (1+d)^{0,32}$ olarak tanımlanan teorik zemin profiline ve patlatmalı temel kazılarının yapıldığı sahanın zemin etütlerinden alınan 2 sondaj zeminine uygulanmıştır. Her zemin için 6’şar adet nonlineer ve 6’şar adet eşdeğer lineer analiz yapılmış olmak üzere toplamda 36 adet analiz yapılmıştır. Bu analizler sonucunda tepe yer ivme(PGA), maksimum gerilme ve maksimum şekil değiştirmeler karşılaştırılmıştır.

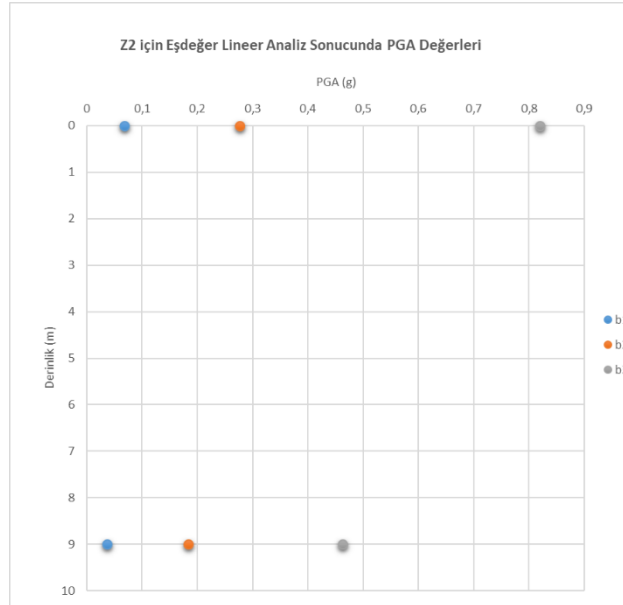
1. Eşdeğer Doğrusal (Lineer) Analiz

a. Tepe Yer (Pik) İvmesi (PGA)

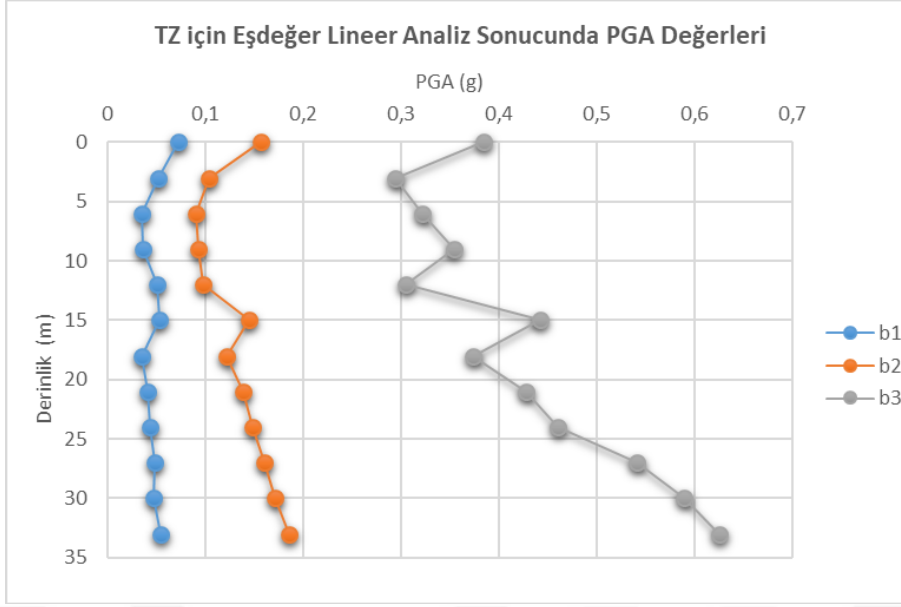
Şekil 57, 58 ve 59; evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla sondaj zemini Z1, Z2 ve TZ için PGA değişimini göstermektedir.



Şekil 57. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri



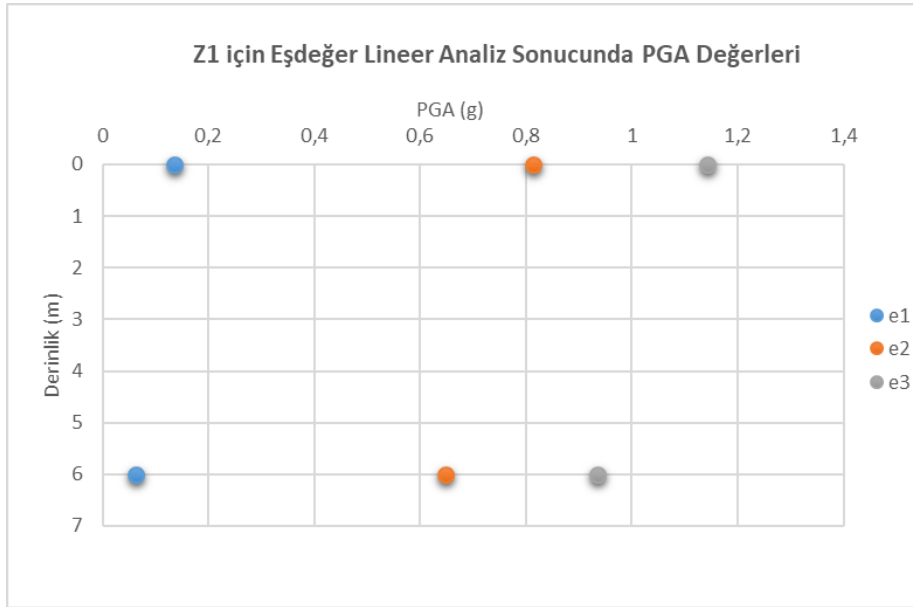
Şekil 58. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri



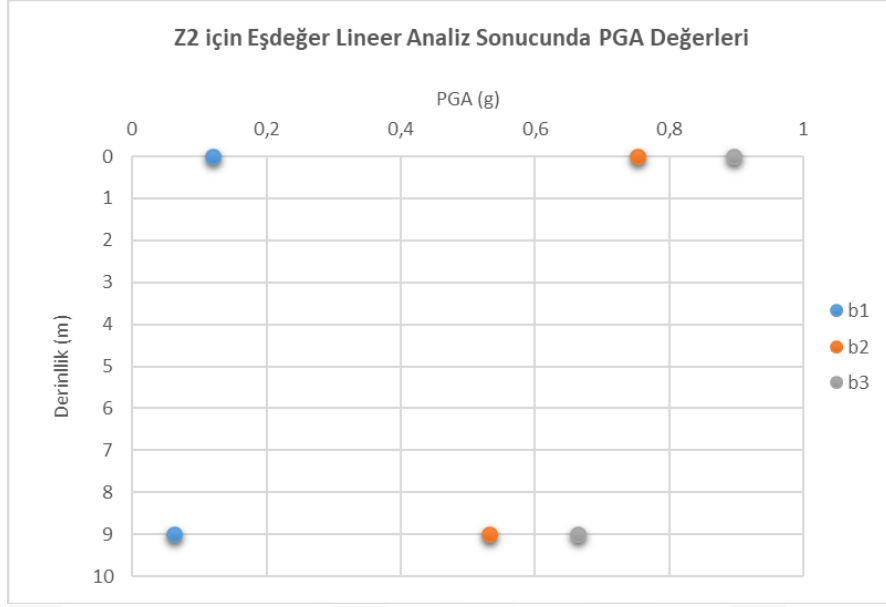
Şekil 59. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

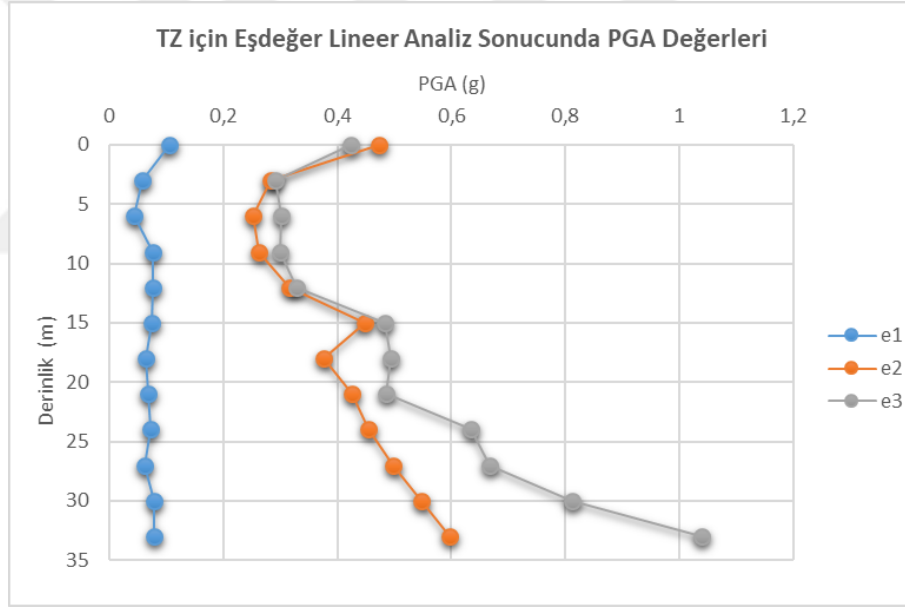
Şekil 60, 61 ve 62; endüstriyel yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için PGA değişimini göstermektedir.



Şekil 60. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri



Şekil 61. Endüstriyel gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri



Şekil 62. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

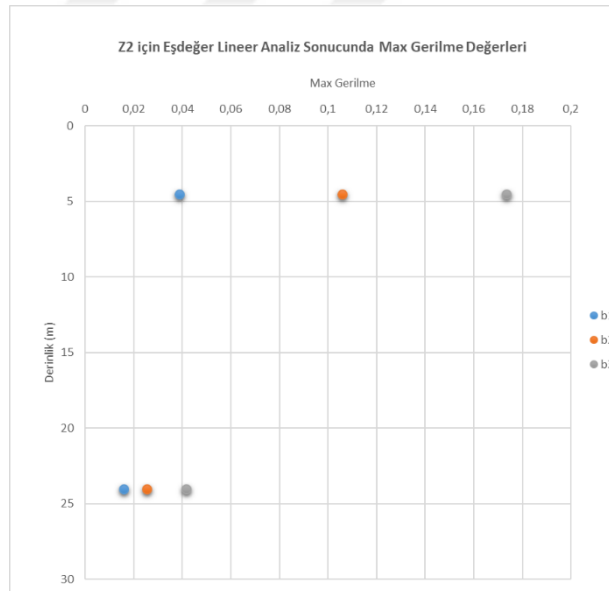
Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

b. Maksimum Gerilme

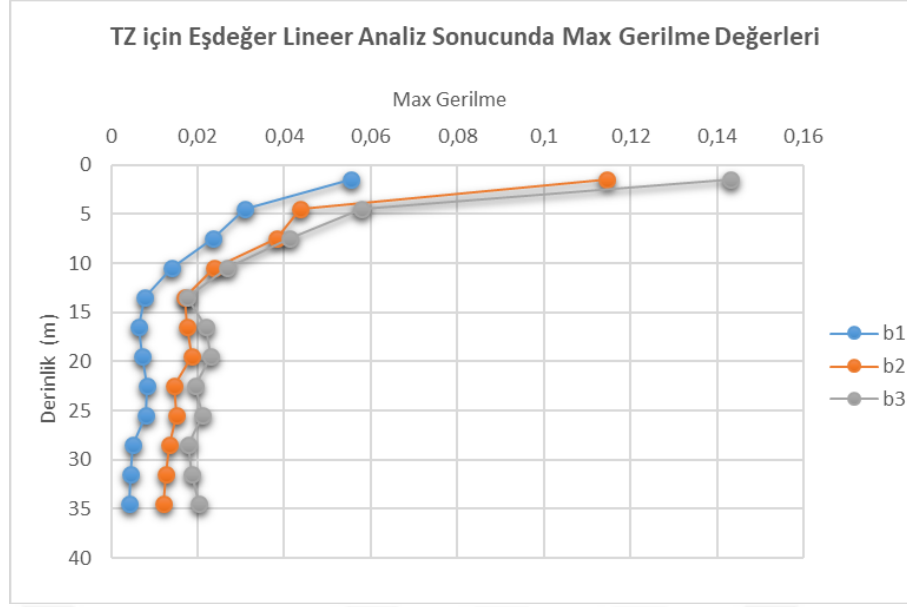
Şekil 63, 64 ve 65; evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için maksimum gerilme değişimini göstermektedir.



Şekil 63. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri



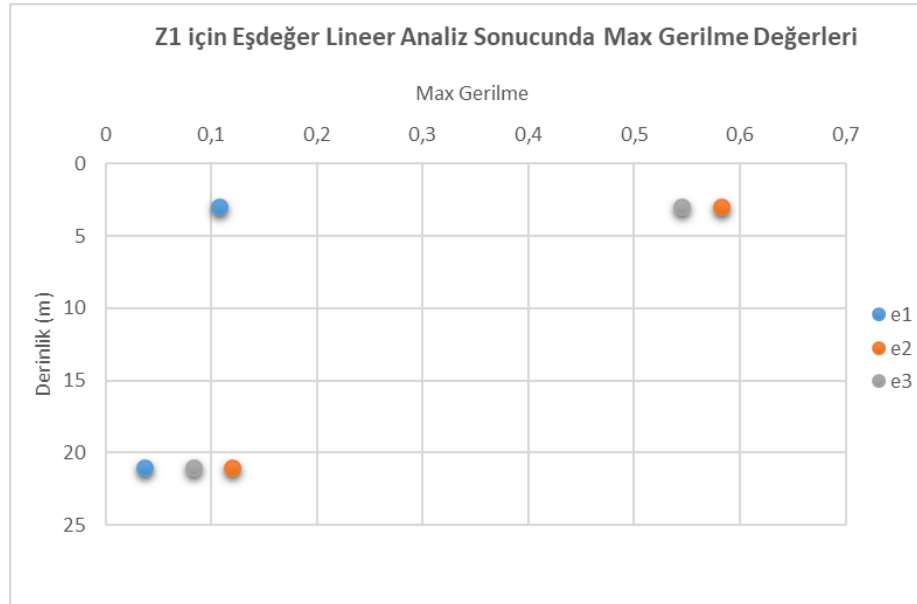
Şekil 64. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri



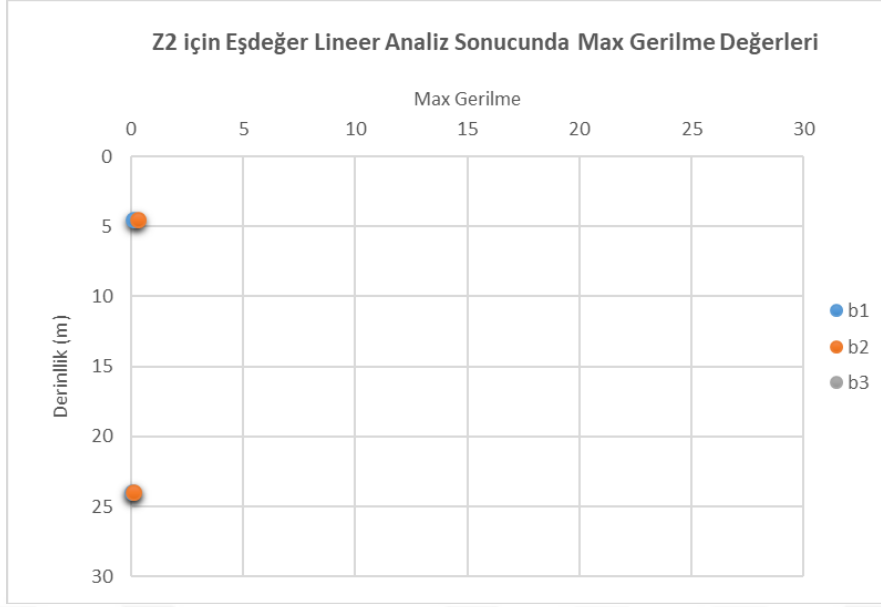
Şekil 65. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

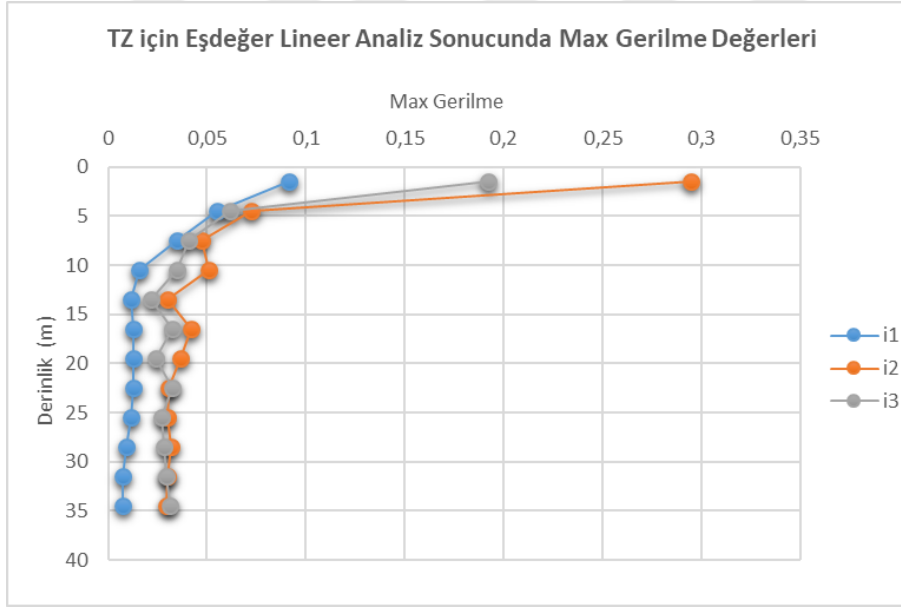
Şekil 66, 67 ve 68; endüstriyel yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için maksimum gerilme değişimini göstermektedir.



Şekil 66. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri



Şekil 67. Endüstriyel gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

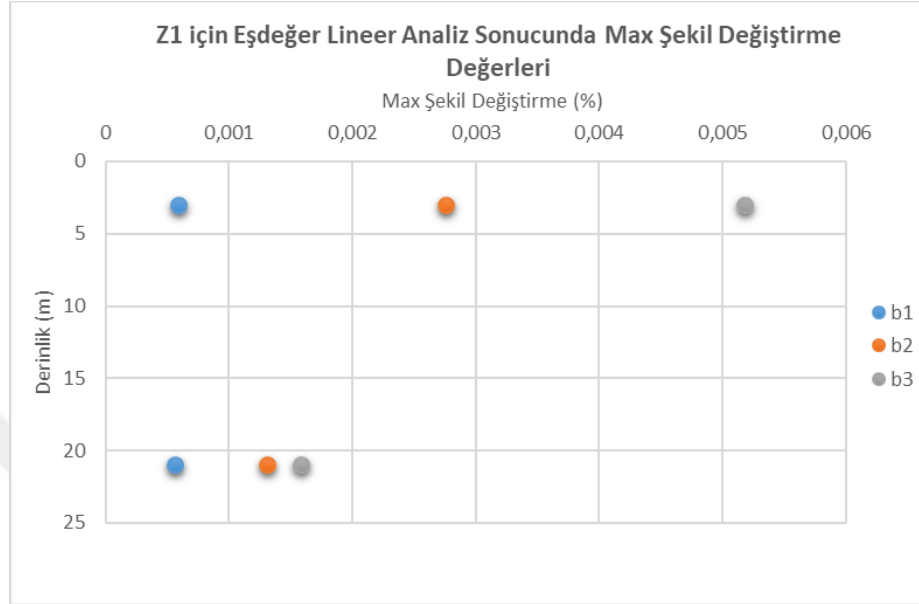


Şekil 68. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

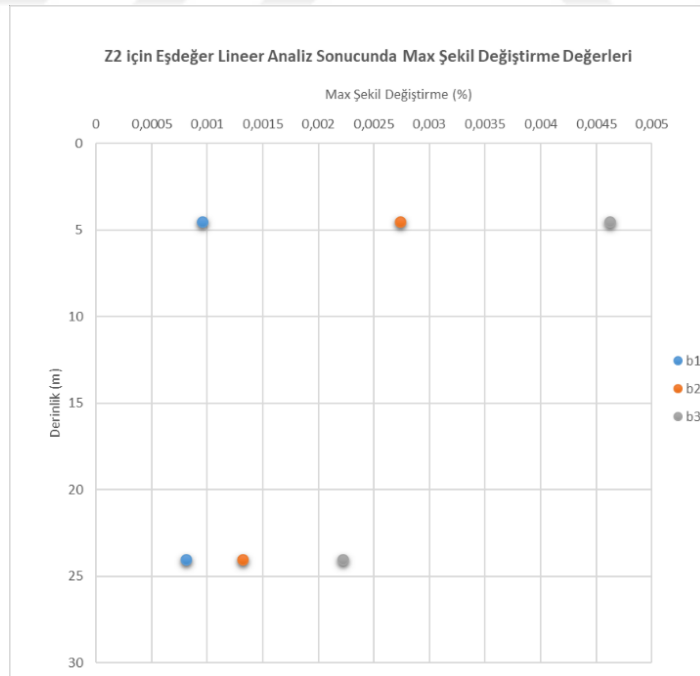
Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

c. Maksimum Şekil Değişirme

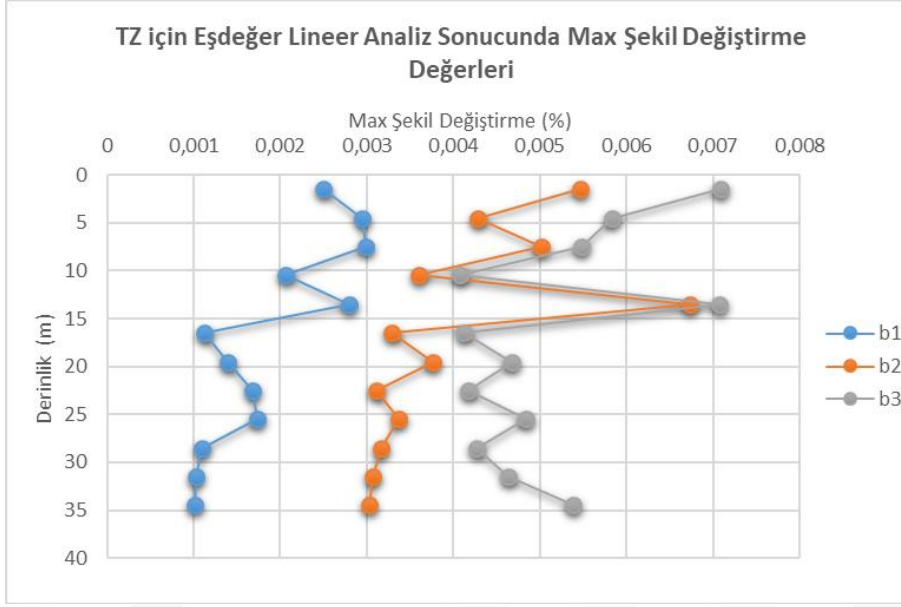
Şekil 69, 70 ve 71; evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için maksimum gerilme değişimini göstermektedir.



Şekil 69. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değişirme Değerleri



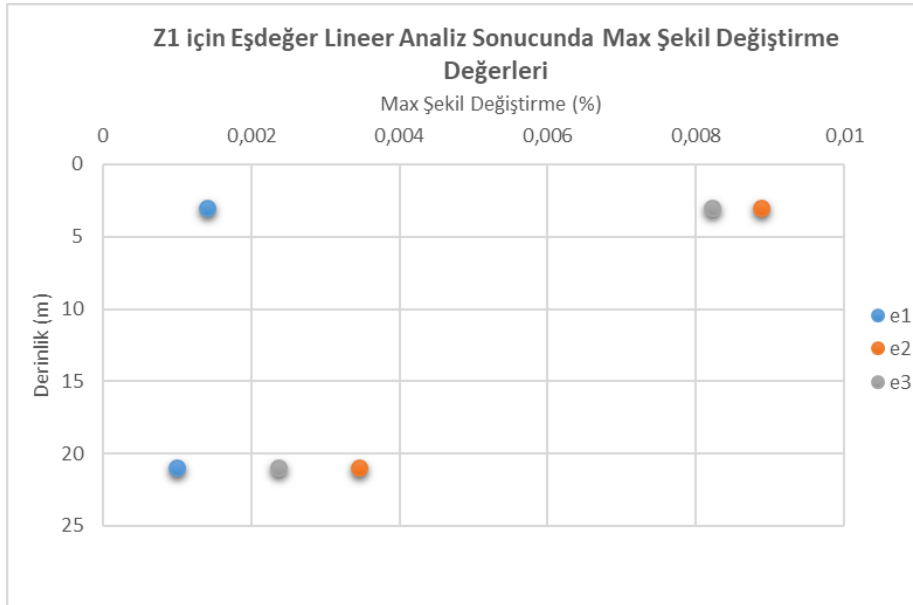
Şekil 70. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değişirme Değerleri



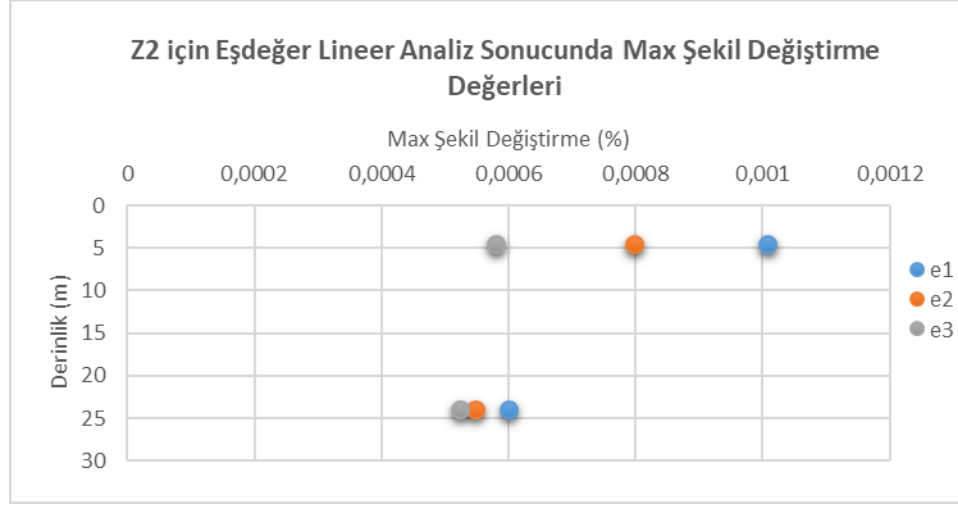
Şekil 71. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değişirme Değerleri

Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde maksimum şekil değişirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

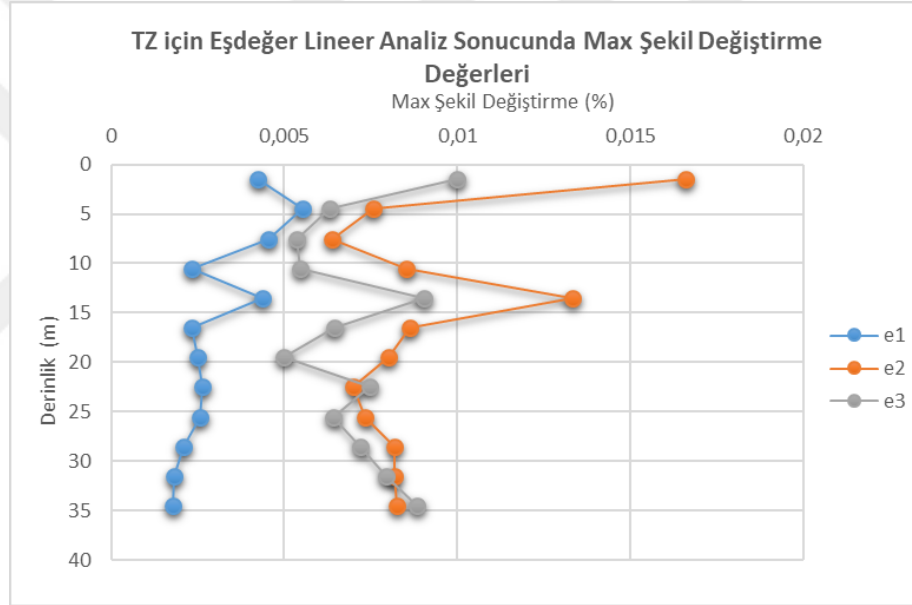
Şekil 72, 73 ve 74; endüstriyel yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için maksimum şekil değişimini göstermektedir.



Şekil 72. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değişirme Değerleri



Şekil 73. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değişirme Değerleri



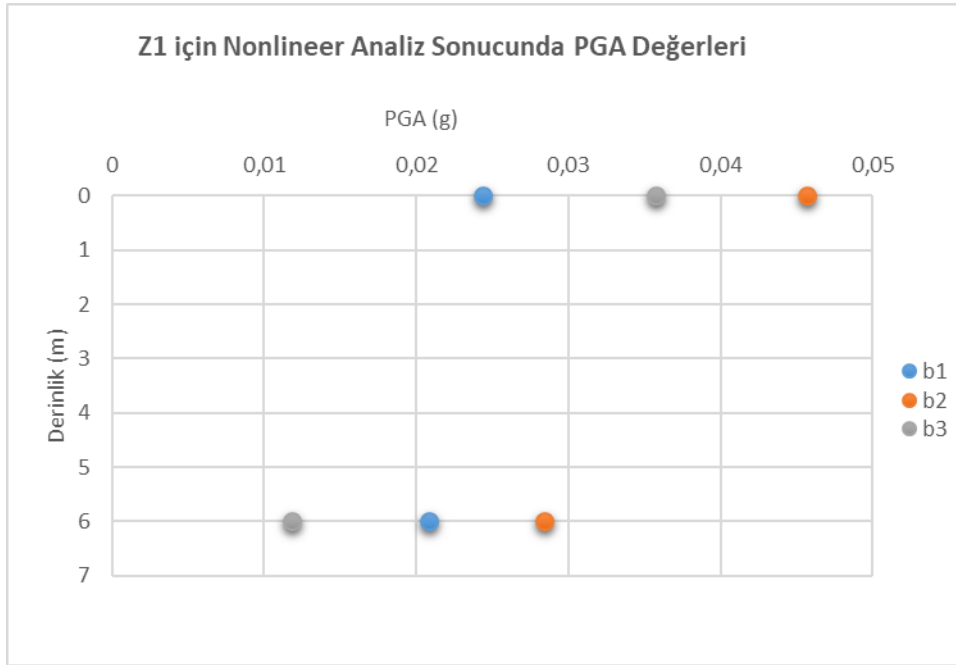
Şekil 74. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değişirme Değerleri

Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde maksimum şekil değişirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

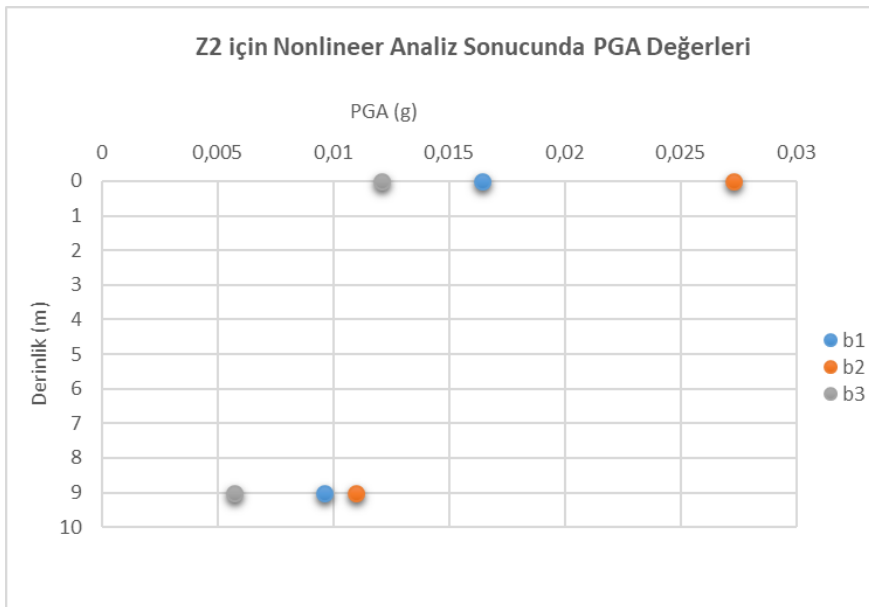
2. Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Analiz

a. Tepe Yer (Pik) İvmesi (PGA)

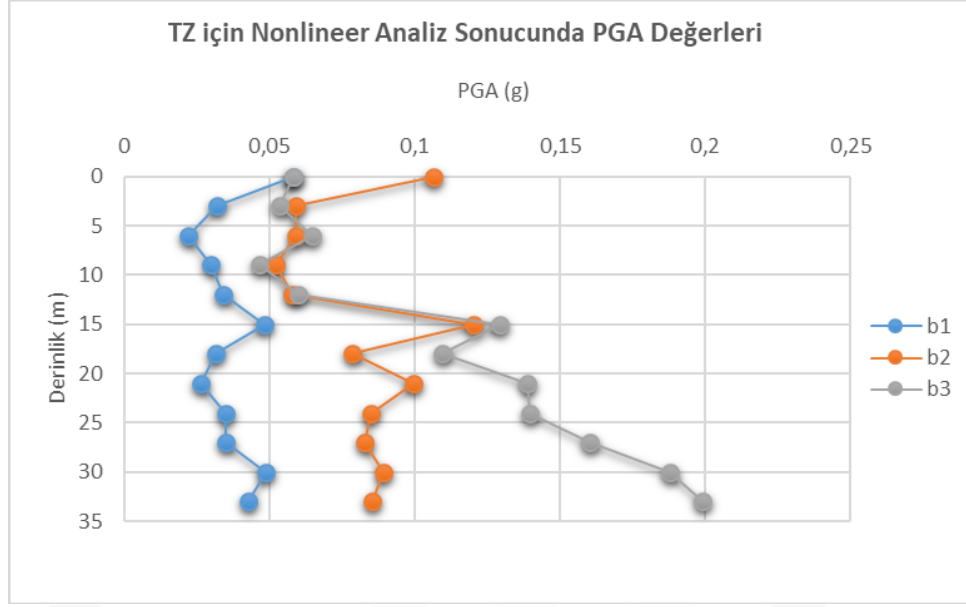
Şekil 75, 76 ve 77; evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla sondaj zemini Z1, Z2 ve TZ için PGA değişimini göstermektedir.



Şekil 75. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri



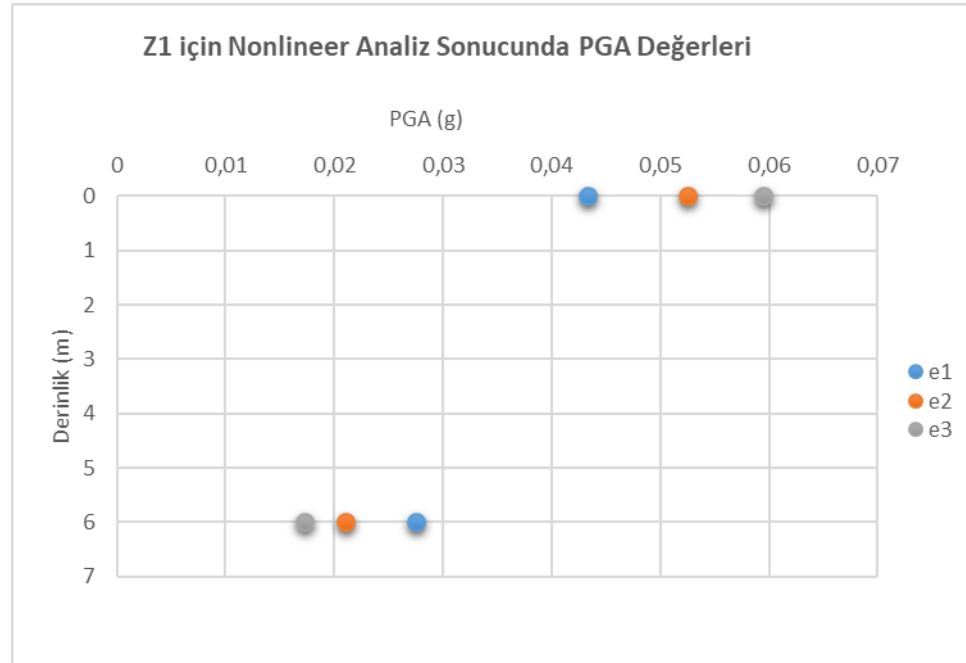
Şekil 76. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri



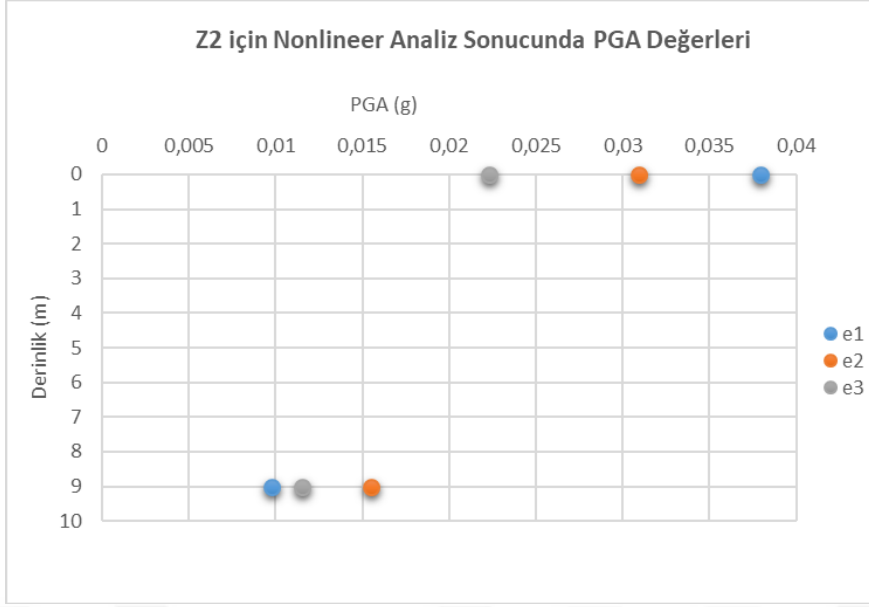
Şekil 77. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

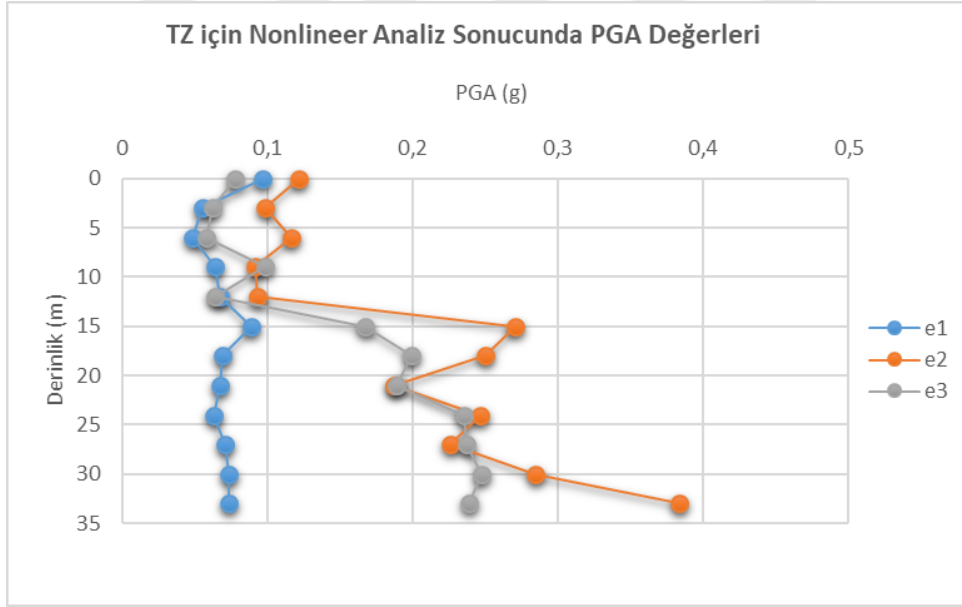
Şekil 78, 79 ve 80; endüstriyel yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için PGA değişimini göstermektedir.



Şekil 78. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri



Şekil 79. Endüstriyel gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

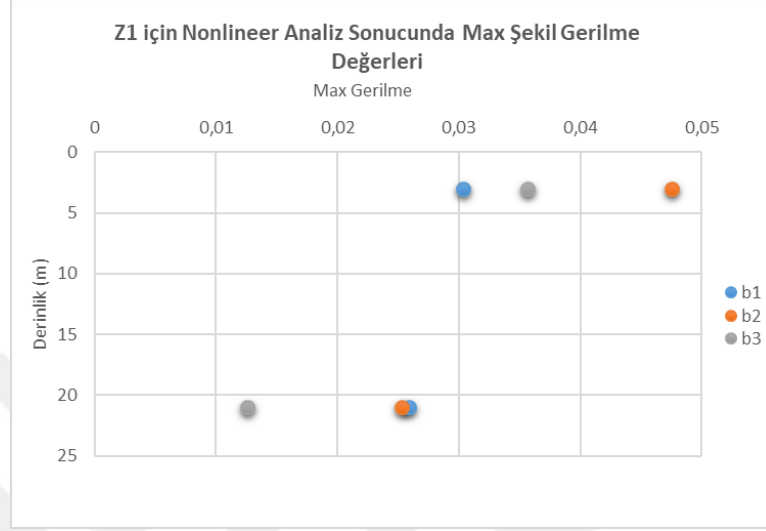


Şekil 80. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında PGA Değerleri

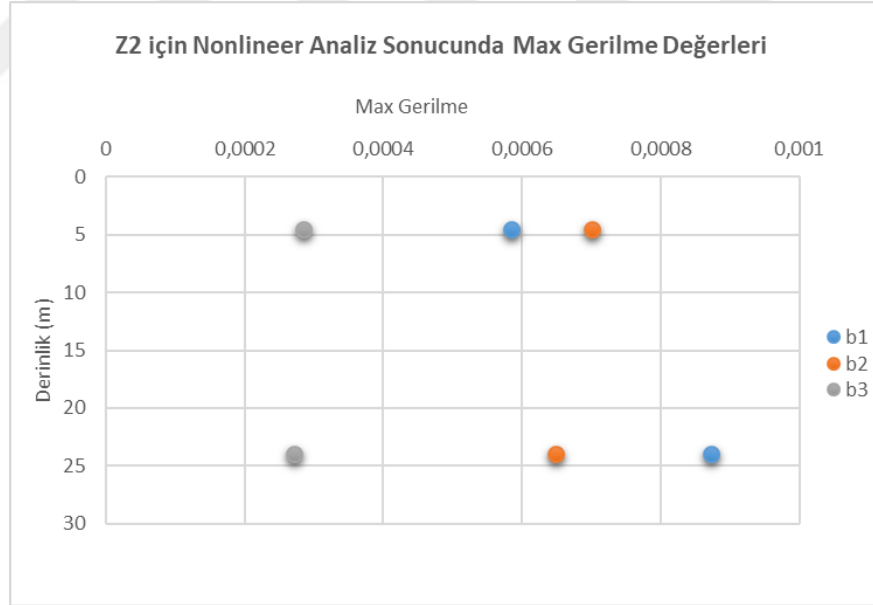
Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde PGA değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

b. Maksimum Gerilme

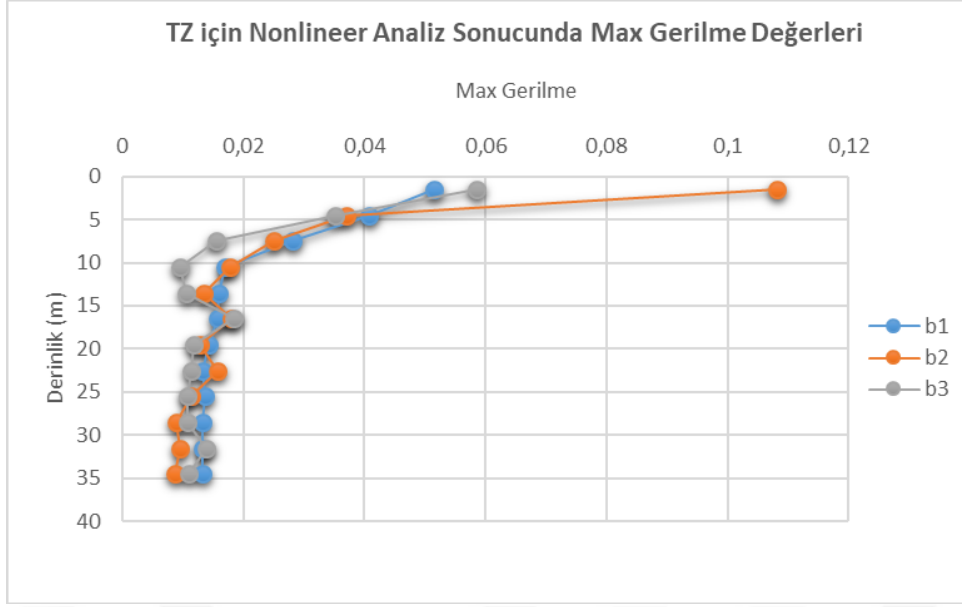
Şekil 81, 82 ve 83; evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için maksimum gerilme değişimini göstermektedir.



Şekil 81. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri



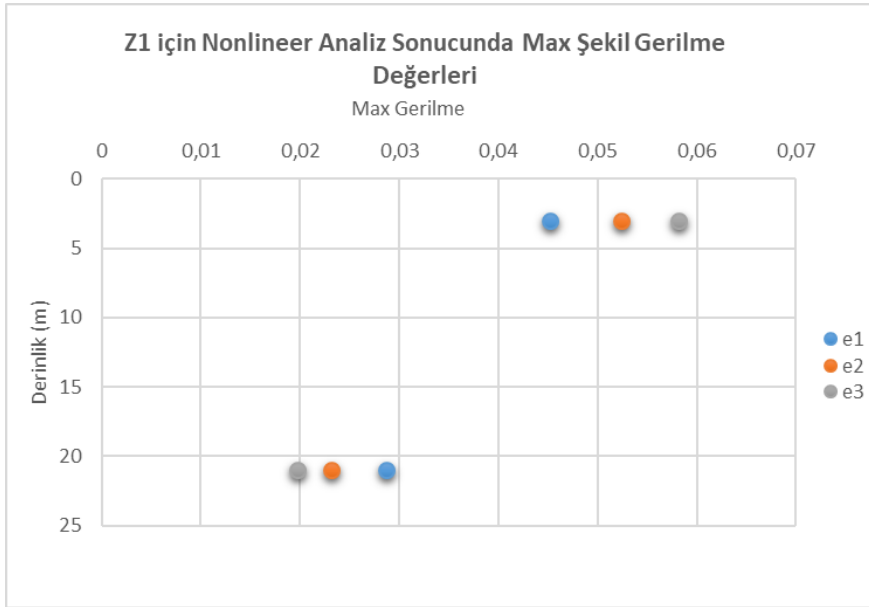
Şekil 82. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Eşdeğer Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri



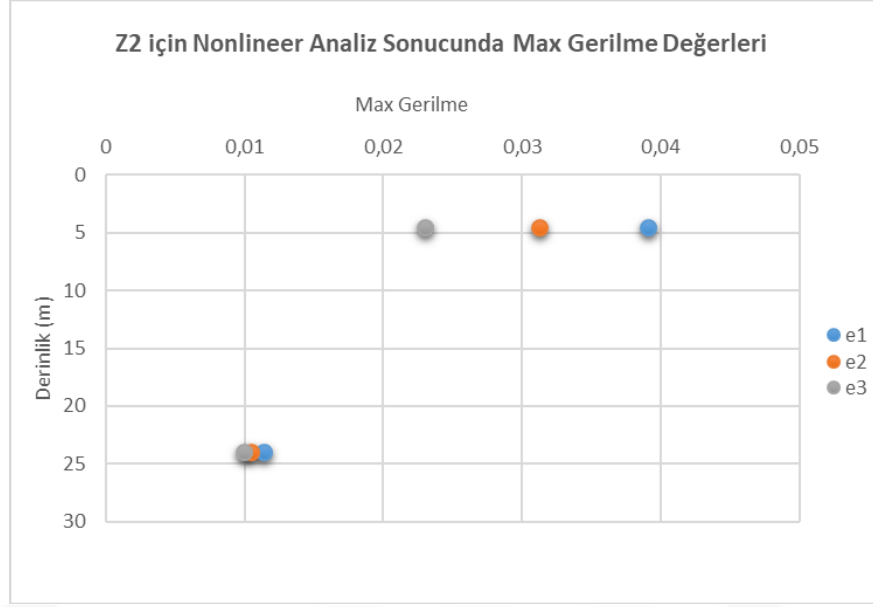
Şekil 83. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

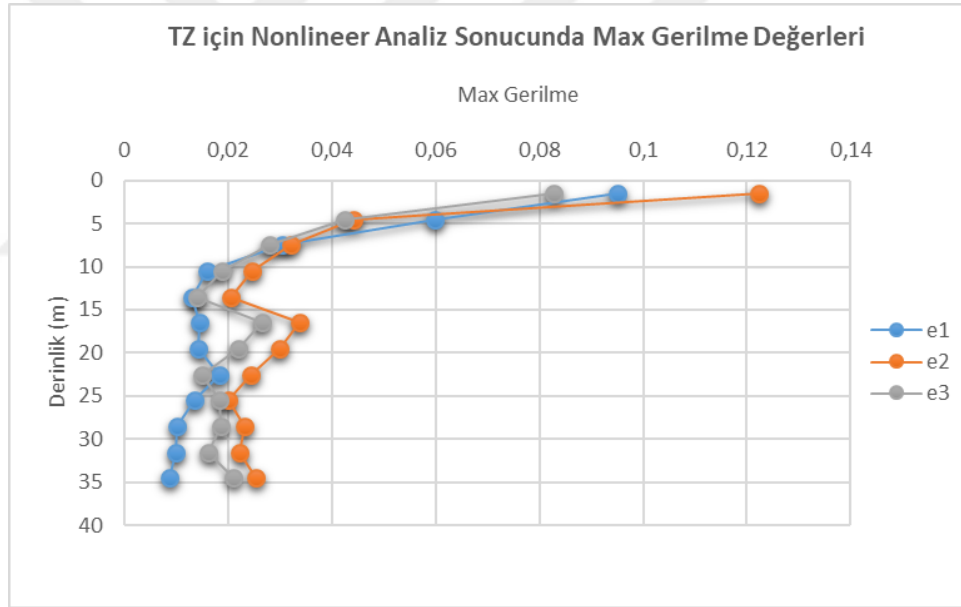
Şekil 84, 85 ve 86; endüstriyel yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için maksimum gerilme değişimini göstermektedir.



Şekil 84. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri



Şekil 85. Endüstriyel gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

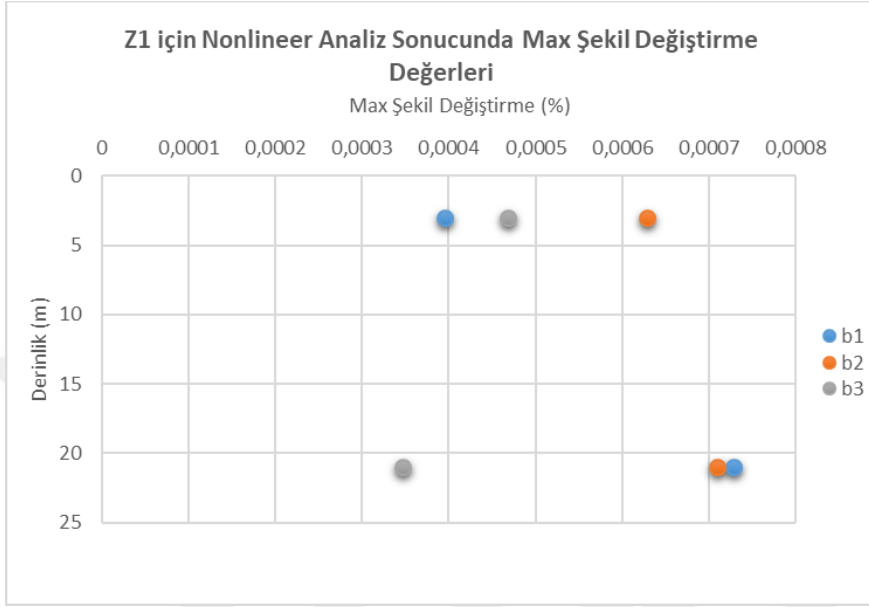


Şekil 86. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Gerilme Değerleri

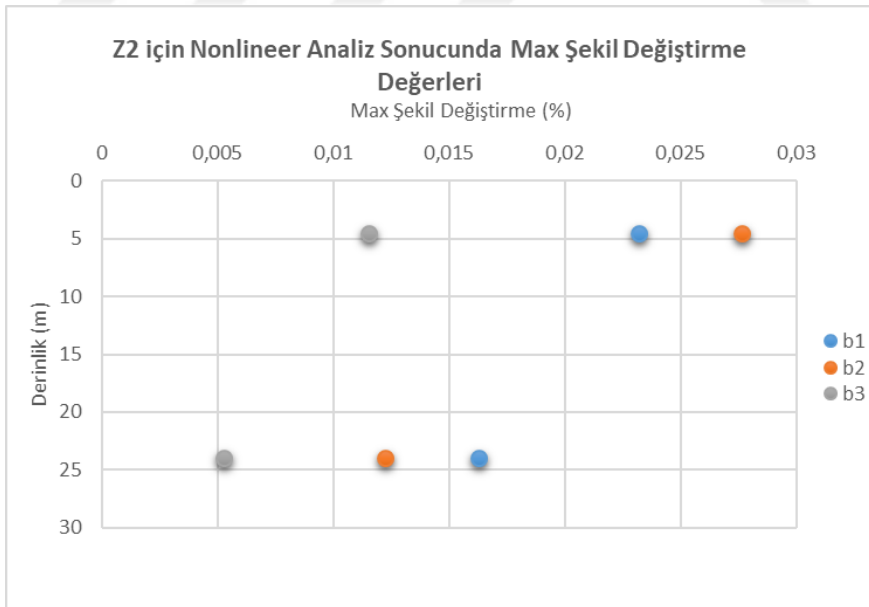
Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde maksimum gerilme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

c. Maksimum Şekil Değişirme

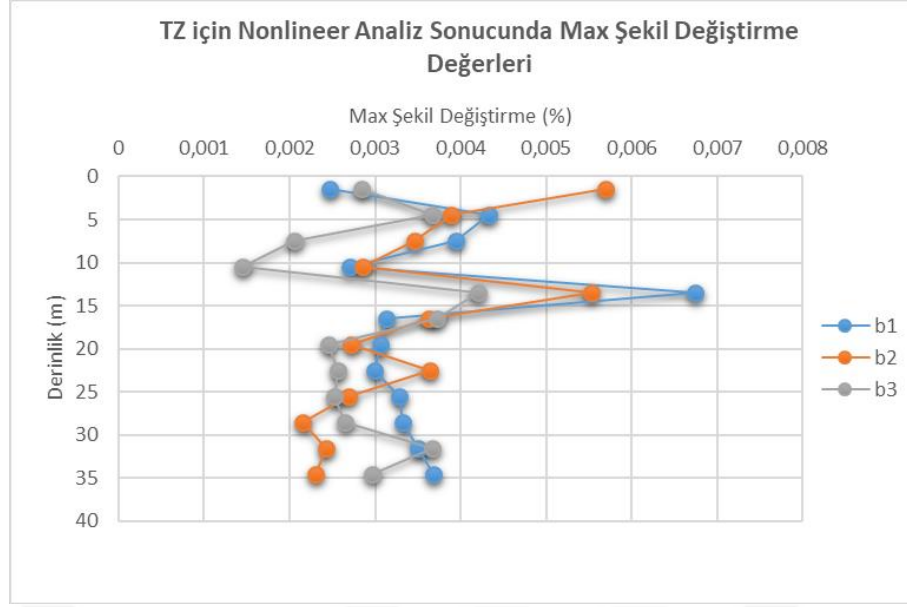
Şekil 87, 88 ve 89; evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için maksimum gerilme değişimini göstermektedir.



Şekil 87. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1’deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değişirme Değerleri



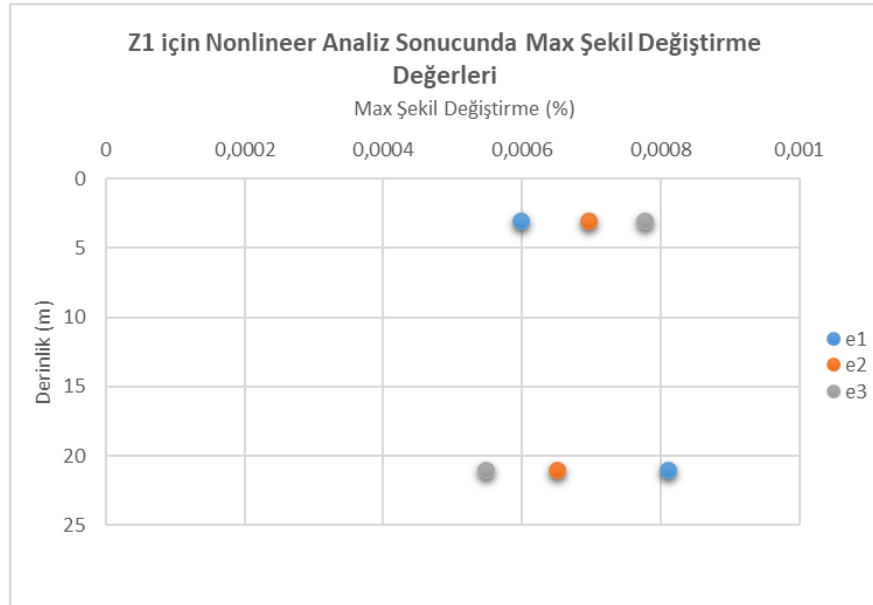
Şekil 88. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2’deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değişirme Değerleri



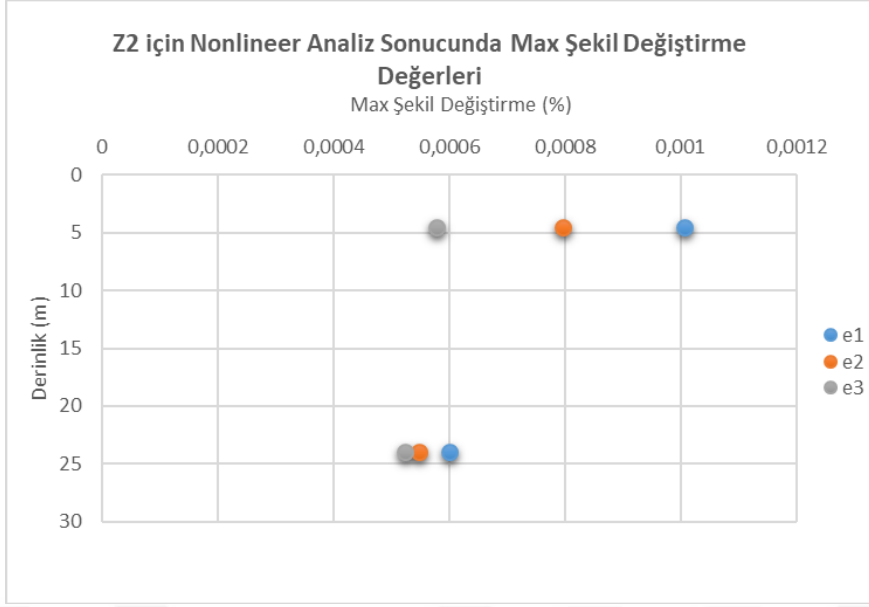
Şekil 89. Evler, Tuğla ve Beton gibi Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

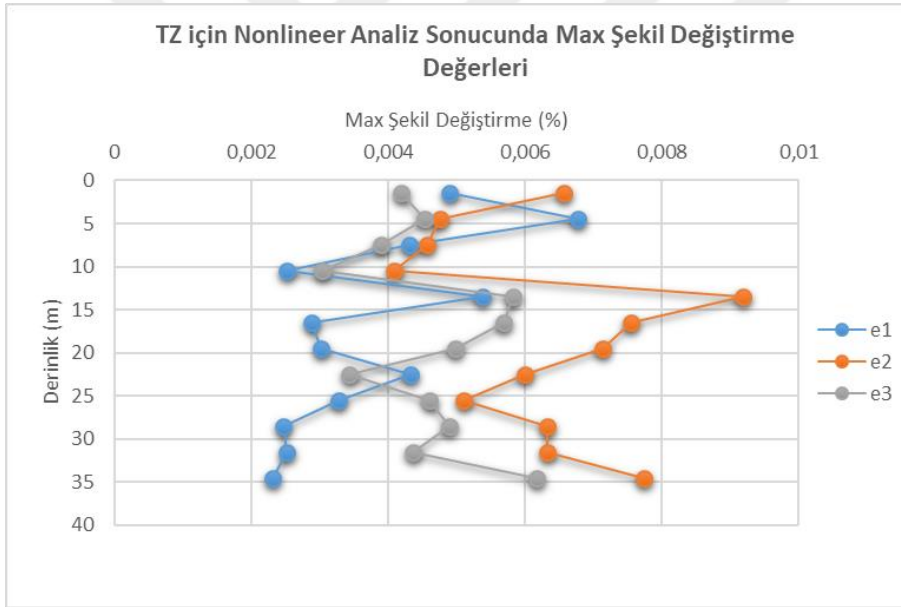
Şekil 90, 91 ve 92; endüstriyel yapılar için olan sınır değerlerdeki verilerde sırasıyla Z1, Z2 ve TZ için maksimum şekil değişimini göstermektedir.



Şekil 90. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z1'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri



Şekil 91. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde Z2'deki Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri



Şekil 92. Endüstriyel Yapılar için Sınır Değerlerinde TZ'deki Eşdeğer Doğrusal Analiz Sonuçlarında Maksimum Şekil Değiştirme Değerleri

Grafikler incelendiğinde tüm zeminler ve patlatma verilerinde zemin yüzeyinde maksimum şekil değiştirme değerlerinin en yüksek değerde olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir. TZ zemininde 15 m derinlikte iki rijit katman arasında bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış görülmektedir.

VI. TARTIŞMA VE SONUÇ

A. Eski ve Yeni Yönetmeliklere Göre Seçilen Verilerin Karşılaştırılması

Eski yönetmelik ve yeni yönetmelik arasındaki en temel fark; yeni yönetmelikte bina türlerinin bulunmasıdır. Düşük frekanslar için eşdeğer lineer analiz sonucundaki PGA değerleri incelendiğinde üç zemin için de zemin yüzeyinde PGA en yüksek değerinde ve derinlik arttıkça azalmakta olduğu gözlemlenmiştir. Eski yönetmelik sonucundaki değerlerin, tüm zeminlerde yeni yönetmelikteki evler, tuğla ve beton gibi yapıların sınır değerine yakındır. TZ’de ise 15 m derinlikte bulunan yumuşak zemin tabakasında ise PGA değerinin ani bir artış gösterdiği görülmektedir. Yüksek frekanslarda da yine PGA değerlerinin yüzeyde maksimum olduğu ve zeminin derinliği arttıkça azalmaktadır. Eski yönetmelikteki zemin davranışı endüstriyel yapılara yakın bir sonuç vermektedir. TZ’de bulunan yumuşak zemin tabakasında ani bir artış bulunmaktadır. Nonlinear analizde ise düşük frekanslarda sığ derinliklerde eski ve yeni yönetmelikte yakın olup derinlik arttıkça eski yönetmelik betonarme yapılar için sınır değerleri içinde olan veri etkisindeki davranışa yakındır. Endüstriyel yapılar için olan sınır değerlerdeki davranışlardaysa iki grafikten farklıdır. Yüksek frekanslardaki nonlinear analizlerde ise iki yapı türü için olan sınır değerleriyle eski yönetmelikteki sınır değerleri birbirine yakın sonuç vermektedir.

Tüm zeminlerde maksimum gerilme grafiklerinde düşük frekansta eski yönetmelik evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılara yakın davranış sergilemektedir. Derinlik arttıkça da birebir aynı olmaktadır. Yüksek frekanstaki analiz sonuçlarındaysa sığ derinliklerde eski yönetmelik yeni yönetmelikteki değerlere göre daha yüksek sonuç vermektedir. Derinlik arttıkça da endüstriyel yapılar için sınır değerlerindeki veri sonucuna yaklaşmaktadır. Düşük frekanslar için nonlinear analizde de eski yönetmelik değerleri betonarme ve endüstriyel yapıların gerilme grafikleri arasında sonuç vermektedir. Yüksek frekanstaki eşdeğer lineer analizlerde eşdeğer lineer analizler için Nonlinear analizdeyse eski

yönetmelikte bulunan maksimum gerilme değerleri yeni yönetmeliğe göre daha büyük sonuçlar göstermektedir.

Maksimum şekil değiştirme grafiklerinde düşük frekanslarda TZ için eşdeğer lineer analizlerde eski yönetmelikte bulunan şekil değiştirme değerleri özellikle 13 m'den sonra betonarme yapıların şekil değiştirme sonuçları ile neredeyse aynıdır. Sığ derinliklerde (5 m'den az) eski yönetmelikteki şekil değiştirme ve betonarme arasında yer almaktadır. Yüksek frekanstaki eşdeğer lineer analizdeki şekil değiştirme sığ derinlikte daha büyük olup 5 m'den sonar endüstriyel yapılara daha yakın olmaktadır. Düşük frekanstaki nonlinear analizde ise eski yönetmelikte sığ derinliklerde endüstriyel yapılara daha yakın olup derinlik arttıkça arasında yer almaktadır. Yumuşak Zemin tabakasıdaysa büyütme etkisi sonucunda eski yönetmelik ve endüstriyel yapılarda pik olduğu gözlemlenmektedir. Maksimum gerilme ve PGA grafiklerindeki yumuşak zeminlerde bulunan ani artışların sebebi ise yumuşak zeminlerin büyütme değerinin yüksek olmasıdır. Öte yandan nonlinear analizde eski yönetmelikte 10 m'den sonraki derinliklerde yeni yönetmelikte bulunan iki yapı türü için oluşan değerlerden daha büyük şekil değiştirme vermektedir.

B. Sondaj Zemini ve Teorik Zemini Arasında Yapılan Analizlerin Karşılaştırılması

Tüm zeminler ve iki analiz türü için PGA değerleri yüzeyde maksimumdur. Zeminin derinliği ve sertliği arttıkça azalmaktadır. Tüm zeminlerde eşdeğer lineer analizde evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar için 1-10 Hz aralığında ve 10-50 Hz aralığındaki veri sonuçları birbirine yakındır. Endüstriyel yapılarda ise 10-50 Hz ve 50Hz üstündeki sınır değerlerinin davranış durumları yakındır. Nonlineer analizlerde üç frekans durumu için de sığ derinliklerde yakınlık söz konusudur. TZ'de 15 m derinlikte bulunan yumuşak zeminin PGA değerlerinde ani bir artışa sebep olduğu görülmektedir.

Maksimum gerilme sonuçlarında üç zeminde de bina ve analiz türleri için yüzeyde maksimum değerinde olduğu görülmektedir. Eşdeğer lineer analizde evler, tuğla, beton gibi yapılar sınır değerleri için yapılan eşdeğer lineer analizlerde, 1-10 Hz, 10-50 Hz ve 50 Hz üzeri durumları derinlik arttıkça birbirlerine yakınlık göstermektedir. Endüstriyel yapılardaki sınır değerlerde ise

Z2 ve TZ’de neredeyse aynı sonuçları verdiği gözlemlenmektedir. Nonlinear analizlerde de derinlik arttıkça değerler birbirine yaklaşmaktadır. TZ’de bulunan yumuşak zeminde ise tüm durumlarda ani bir artış söz konusudur. Z2’de için yapılan nonlinear analizlerde diğer veriler azalırken b1 verisinde artma söz konusudur. Bunun sebebi ise; kayma gerilmesindeki artıştır.

Maksimum şekil değiştirme grafikleri incelendiğinde eşdeğer lineer analizde derinlik arttıkça azaldığı gözlemlenmektedir. Derinlik arttıkça azalan değerler zeminlerin son katmanlarında birbirine yaklaşmaktadır. TZ’de yer alan yumuşak katmanda ani bir artış mevcuttur. Z1 için yapılan nonlinear analizlerde e1 değerinde diğer verilerin aksine bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi patlatma verisinin periyodu ile zeminin hakim periyodundaki ($T_n = 4H/V_s$) yaklaşmadır.

C. Sonuç

Yapılan tüm ölçümler bir sahada yapılmış ve patlatma bölgelerindeki en yakın yapılarının temellerinin yanından (zeminden) ölçüm alınmıştır. Bu alınan ölçüm sonuçları dâhilinde seçilen patlatma verileri yönetmeliklere ve yeni yönetmeliğin belirlemiş olduğu bina türlerinin sınır değerlerine yakın olan ölçüm sonuçları patlatma verisi olarak kullanılmıştır. 1 Boyutlu (1D) modellenen zeminler üzerindeki etkiyi görmek için bu verilerle eşdeğer doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (nonlinear) analizler yapılmıştır. Üç zemin türünde de PGA, Maksimum Gerilme ve Maksimum Şekil Değiştirme değerlerinin yüzeyde maksimum değerlerinde olması ise eşdeğer doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (nonlinear) analizlerin ortak sonucudur. Zeminin sertliği ve derinliği arttıkça azaldığı gözlemlenen bu değerlerin TZ’de bulunan yumuşak katmanda oluşan ani artışların sebebi ise yumuşak zeminlerin büyütme değerinin yüksek olmasıdır. Tüm bu saha tepki analizi sonuçlarına göre, yumuşak zemin tabakasının patlatma dalgalarının doğal frekansını etkilediği açıkça ortadadır.

Yumuşak zeminlerde ana kaya ile olan sismik empedanstan dolayı zemine gelen sismik dalgaların genlikleri artacaktır. Tüm bu saha tepki analizi sonuçlarında yumuşak zemin katmanlarının patlatma dalgalarındaki doğal frekansı etkileyerek yükseltmesi sonucunda önemli artış söz konusu ortaya

çıkmiştir. Yumuşak zeminlerdeki ani artış hasar oluşturabileceğinden göz ardı edilmemelidir.



VII. KAYNAKÇA

MAKALELER

- ASSİMAKİ, D., GAZETAS, G. VE KAUSEL, E. (1999). “Effects of local soil conditions on the topographic aggravation of seismic motion: Parametric investigation and recorded field evidence from the 1999 Athens Earthquake,” **Bulletin of the Seismological Society of America**, cilt 95, sayı 3 Haz., ss. 1059.
- BOLİSETTİ, C., WHITTAKER, A. S., MASON, H. B., ALMUFTİ, I. AND WILLFORD M. (2014) “Equivalent linear and nonlinear site response analysis for design and risk assessment of safety-related nuclear structures” **Nuclear Engineering and Design**, cilt 275, ss 107–121.
- CİVELEKLER, E., OKUR, D. V. ve AFACAN, K. B. (2018). “Eşdeğer Lineer Analiz Yöntemi ile Zeminin Dinamik Davranışının Değerlendirilmesi: Eskişehir Örneği”, Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, ss. 124 -132.
- HOEK, E. ve BRAY, J.W. (1991) “Kaya Şev Stabilitesi”, **TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını**, (Çevirenler: Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C.) Ankara.
- HUANG, H. C. , SHİEH, C. S. VE CHİU, H. C. (2001). “Linear and nonlinear behaviors of soft soil layers using Lotung downhole array in Taiwan,” **Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences**, cilt 12, sayı 3, Eylül, ss. 503-524.
- JIMENO, C.L., JIMENO, E.L., ve CARCENDO, F.J.A, (1995), *Drilling and Blasting of Rocks*, **AABalkema**, Rotterdam, Brookfield.
- KAKLAMANOS, L. G. BAİSE, E. M. THOMPSON VE L. DORFMANN “Comparison of 1D linear, equivalent-linear and nonlinear site

response models at six KiK-net validation sites,” **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, sayı 69, ss. 207–219.

NICHOLLS, H.R, JOHNSON, C.F. ve DUVALL, W.L. (1971) “Blasting Vibrations and Their Effects on Structure”, **United States Department of Interior**, USBM, Bulletin 656.

RATHJE, E. M., KOTTKE, A. R. VE TRENT, W. L. (2010). “Influence of input motion and site property variabilities on seismic site response analysis,” **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, cilt. 136, sayı 4, ss 607–619.

VUCETİC, M. VE DOBRY, R. (1991). “Effect of soil plasticity on cyclic response,” **Journal of Geotechnical Engineering**, cilt 117, sayı 1, ss. 89–107.

YOSHIDA, N., KOBAYASHI, S., SUETOMI, I. VE MIURA, K. (2002). “Equivalent Linear Method Considering Frequency Dependent Characteristic of Stiffness and Damping,” **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, cilt. 22, sayı 3, ss. 205-222.

TEZLER

AKYILDIZ, Ö. (2022). “ Basamak Patlatmasında Tasarım Parametrelerinin Patlatma Verimliliği ve Çevresel Etki Açısından Değerlendirilmesi”, (Yayınlanmış Doktora Tezi), Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi.

ARPAZ, E. (2000) “Türkiye’deki Bazı Açık İşletmelerde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi”, (Yayınlanmış Doktora Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, Cumhuriyet Üniversitesi.

AYKAT, F. (2022). “Haydarpaşa Proje Alanının Sismik Saha Tepkisi ve Zemin Sıvılaşma Analizleri”, (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Harran Üniversitesi.

BAĞDATLI, S. (2013) “Üsküdar- Ümraniye- Çekmeköy Metro Hattı Libadiye İstasyonu Yaklaşım Tüneli Kazısında Yapılan Patlatmalı Kazılardan

Kaynaklanan Titreşimlerin Ölçülmesi Ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi” (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, İstanbul Okan Üniversitesi.

DEHGHANIAN, K. (2016) “A Semi-empirical method for estimation of maximum seismic shear strain in imperforated ground excited by vertically propagating shear waves,” (Yayınlanmış Doktora Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

DEMİRTÜRK, C. A. (2015) “Maya- Yapılan Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Titreşimlerin Değerlerinin Ölçülmesi ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi” Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, İstanbul Okan Üniversitesi.

GÜNAY, B. (2015) “3. Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamındaki Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Titreşimlerin Ölçülmesi ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi” Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, İstanbul Okan Üniversitesi.

KAHRİMAN, A. (1995) “Sivas-Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yan Kayaçları için Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi (Yayınlanmış Doktora Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, Cumhuriyet Üniversitesi.

ÖNGEN, T. (2019). “Yerleşim Birimlerine Yakın Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin İnsanlar Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”, (Yayınlanmış Doktora Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi.

ÖZKAN, T. (2019). “Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Farklı Regresyon Modelleri ve Yapay Sinir Ağı ile Kestirimi”, (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi.

ELEKTRONİK KAYNAKLAR

URL-1 <https://www.hardrockdrills.com/> (Erişim Tarihi: 23.05.2023)

URL -2 Geotechnical Software Suite GEO5- User's Guide Manual Version 12 @
Fine Ltd. 2011

DİĞER KAYNAKLAR

ADIGÜZEL D., ÖZER Ü., KAHRİMAN A., KARADOĞAN A., VE AKSOY M. (2007). "Kadıköy-Kartal Metrosu Tünel Güzergahındaki Farklı Kaya Birimleri İçin Patlatma Titreşim Analizi", 5. Delme-Patlatma Sempozyumu, Ankara, 7-9 Kasım 2007.

BARDET, J., ICHİİ, K., VE LİN, C. H. (2000). "EERA A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits" In University of Southern California, Department of Civil Engineering.

BAĞDATLI, S., ÇELTİKÇİ, A., KAHRİMAN A. ve YILDIZ, Z. (2015). "Mekanik ve Patlatmalı Kazı Maliyetinin Karşılaştırılması Örnek Uygulama: İstanbul Uluslararası Finans Merkezi İnşaatı", 8. Delme – Patlatma Sempozyumu, İstanbul, 19 – 20 Kasım 2015.

CEYLANOĞLU, A., KAHRİMAN, A. VE DEMİRCİ, A. (1993). "Delme-Patlatmanın Önemi, Kullanıldığı Alanlar ve Maden Mühendisliği ile İlgisi," **1. Delme ve Patlatma Sempozyumu**, pp. 127-138.

CİVELEKLER, E., OKUR, D. V. ve AFACAN, K. B. (2020). "Sismik Yükler Altındaki Zeminlerde Yüksek Plastisitenin Zemin Büyütmesine Etkisi", 6. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Gebze/ Kocaeli, 13-15 Ekim 2020.

ÇAYCI, B. T., İNEL, M. ve KAMAL, M. (2017). "Zemin Rijitliğindeki Değişimin Yapıların Sismik Davranışı Üzerindeki Etkileri", 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, 13-17 Ekim 2017.

- ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİMLENDİRME BAKANLIĞI, Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği, Resmi Gazete, no. 32029, 2022
- ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİMLENDİRME BAKANLIĞI, Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği, Resmi Gazete, no. 27601, 2010.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. (1999) “Structural vibration-Effects of vibration on structures” Document Number:DIN 4150-3.
- ELECTRONIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI). (1988) Site Response to Earthquake Ground Motion NP-5747 project 2556-7 (California) ss. 1-306
- HASHASH, Y. M. A., MUSGROVE, M. I. , HARMON, J. A., ILHAN, O., XING, G., NUMANOGLU, O., GROHOLSKI, D. R., PHILLIPS, C. A. VE PARK, D., DEEPSOIL v7.0 User Manual, 2020.
- ISKİND, D., STAGG, M. S., KOPP, J. W. VE DOWDİNG, C. H. (1980) “Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting,” United States Patent.
- KARAKAŞ, E., KAHRİMAN A., ÇELTİKÇİ, A. ve BAĞDATLI, S. (2015). “Türkiye’deki Patlayıcı Mevzuatının İncelenmesi”, 8. Delme – Patlatma Sempozyumu, İstanbul, 19 – 20 Kasım 2015.
- SAĞLAM, R., TAŞÇI, C., AYVACI Y., KAHRİMAN, A., BAĞDATLI, S., ÖZCAN S. M. Ve SEFER, İ. (2023). “Kent İçi Kontrollü Patlatma Çalışmalarında Çeşitli Hasar Kriterlerinin Tünel İlerleme Hızı ve Delme -Patlatma Maliyetine Etkileri”, 5. Uluslararası Yeraltı Kazıları Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul, 5-7 Haziran 2023.
- SCHNABEL, P. B., LYSMER J. VE SEED H. (1972) “SHAKE, a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites,” Earthquake Engineering Research Center, Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley, Report No. EERC 72-12, Aralık 1972.
- SEED, H. B. VE IDRİSS, I. M. (1970) “Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses,” Earthquake Engineering Research Center, Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley, Report No: EERC 70-10, 1970.

UYAR, G. G. VE AKSOY, C. O. (2015). “Patlatma Kaynaklı Titreşim Analizlerinde En Yüksek Parçacık Hızı – Ölçekli Mesafe İlişkisini Esas Alan Yaklaşımın Olumsuzlukları”, 8. Delme – Patlatma Sempozyumu, İstanbul, 19 – 20 Kasım 2015.



EKLER

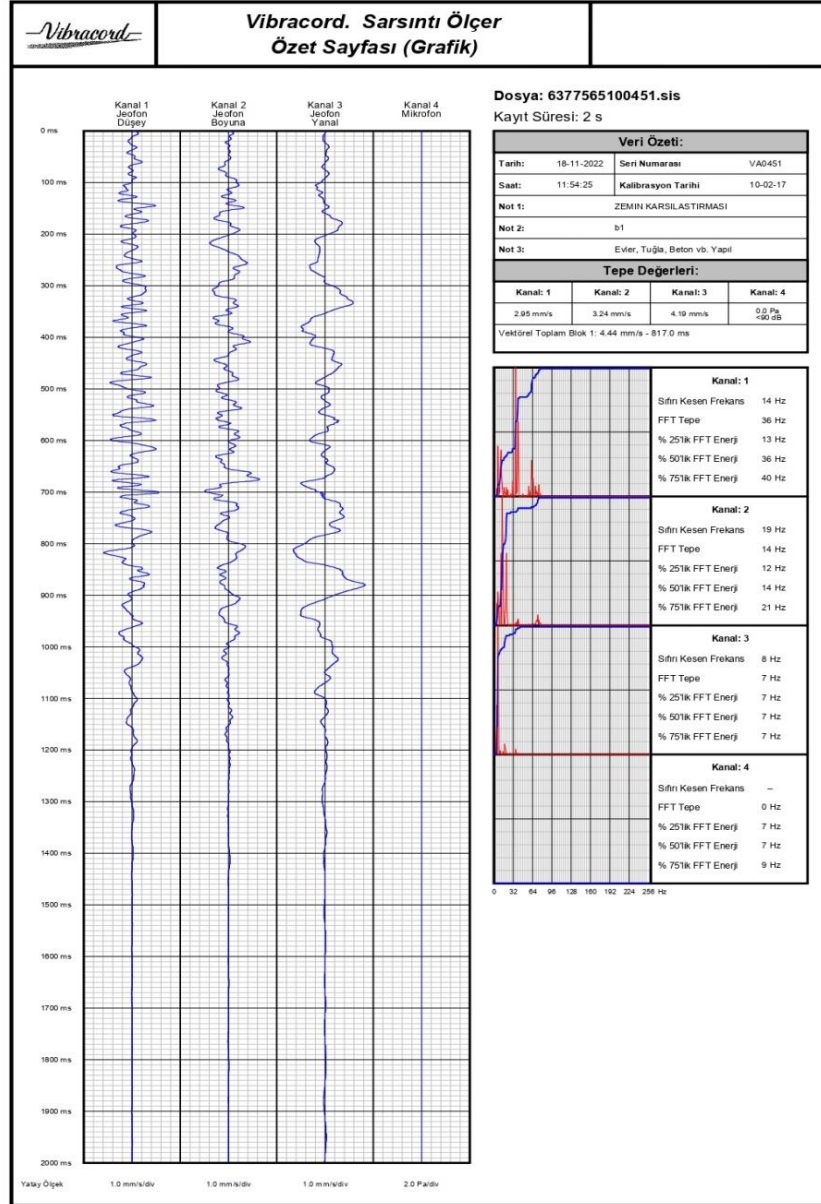
Ek 1: Titreşim Ölçer Cihaz Çıktıları



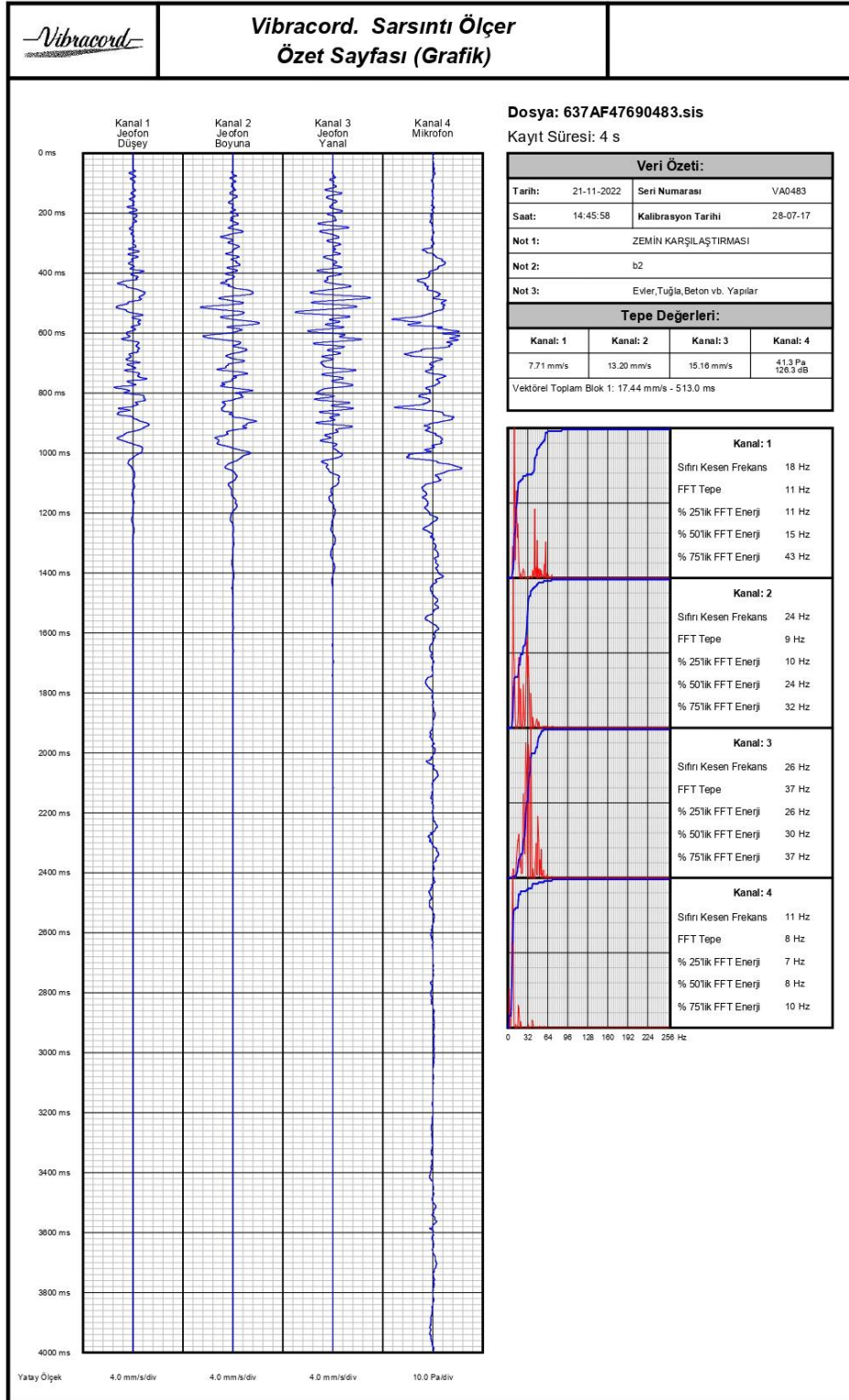


Ek 1: Titreşim Ölçer Cihaz Çıktıları

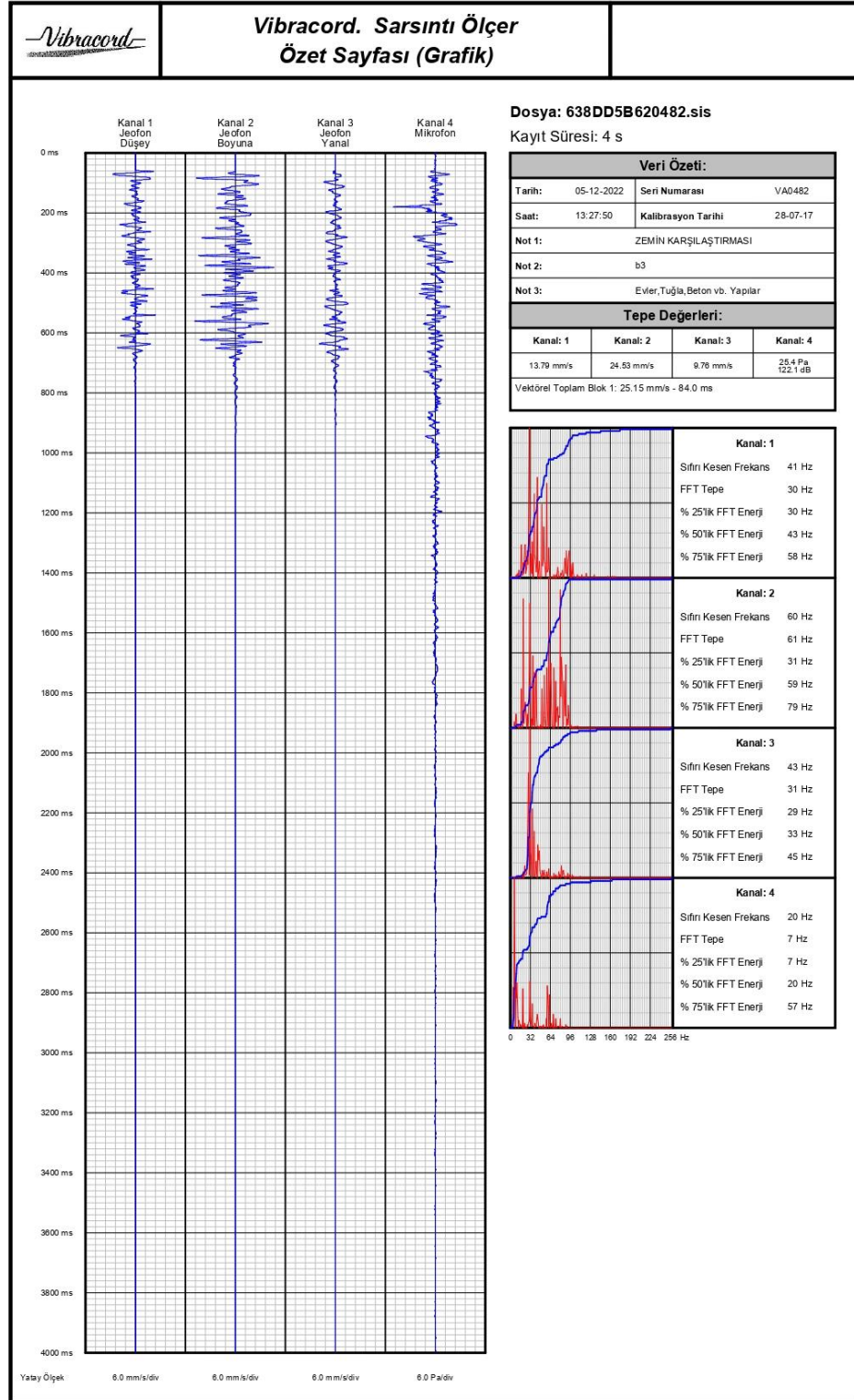
Zeminlerin Karşılaştırılması Yapılırken Evler, Tuğla ve Beton Gibi Dayanıklı Yapılar İçin 1-10 Hz Aralığında Sınır Değerine Yakın Olarak Kullanılan “b1” Verisinin Cihaz Çıktısı;



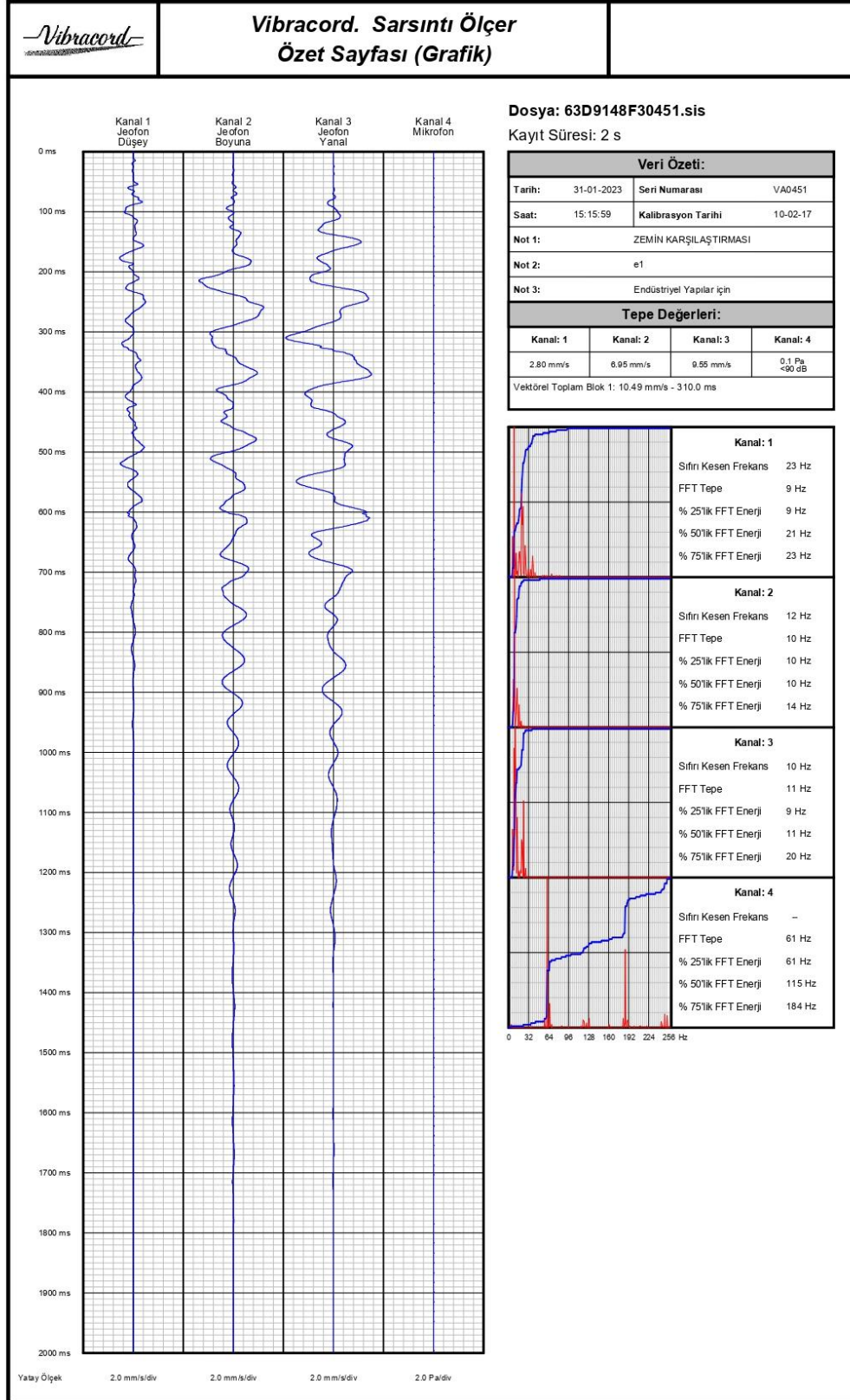
Zeminlerin Karşılaştırılması Yapılırken Evler, Tuğla ve Beton Gibi Dayanıklı Yapılar İçin 10-50 Hz Aralığında Sınır Değerine Yakın Olarak Kullanılan “b2” Verisinin Cihaz Çıktısı;



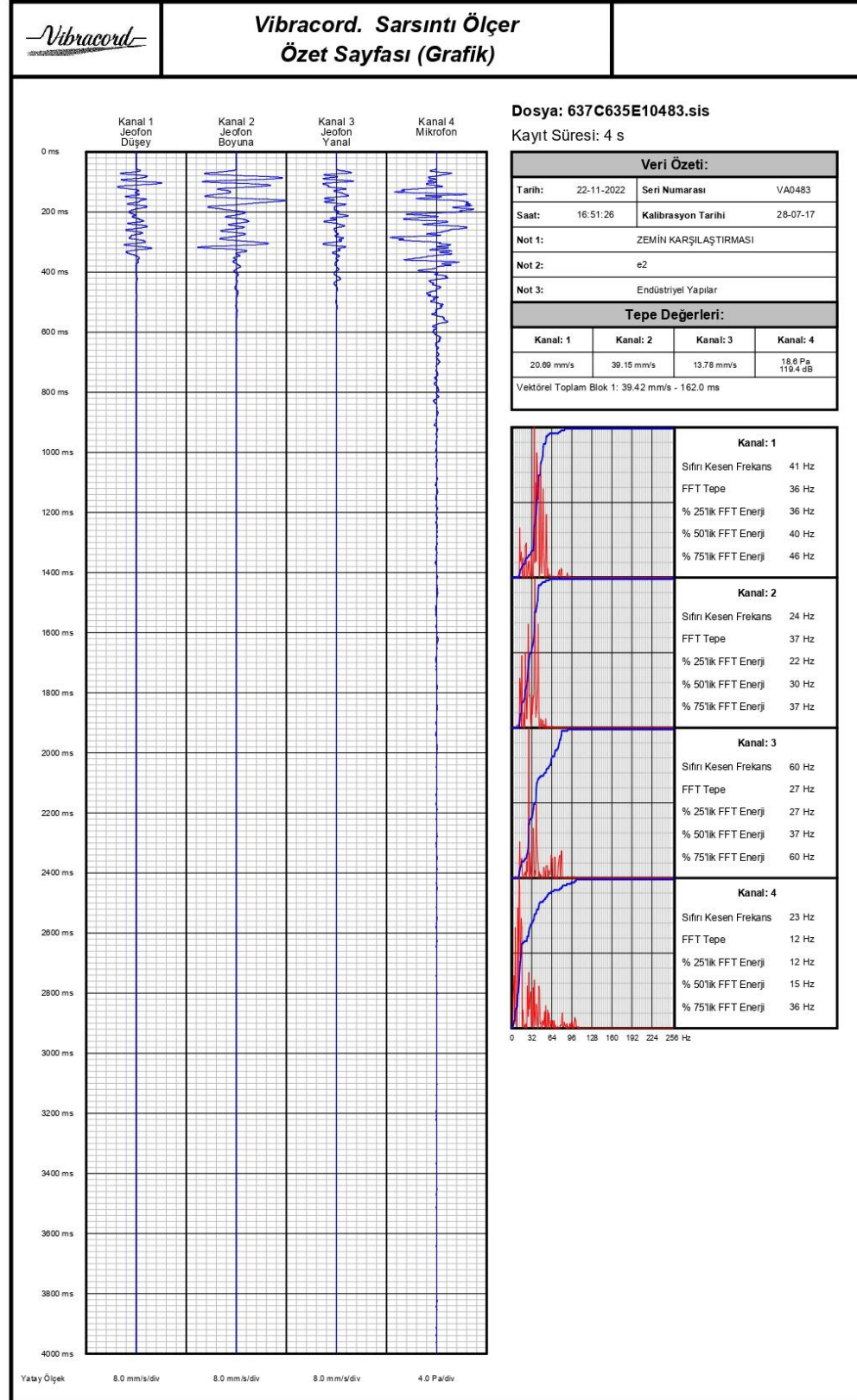
Zeminlerin Karşılaştırılması Yapılırken Evler, Tuğla ve Beton Gibi Dayanıklı Yapılar İçin 50-100 Hz Aralığında Sınır Değerine Yakın Olarak Kullanılan “b3” Verisinin Cihaz Çıktısı;



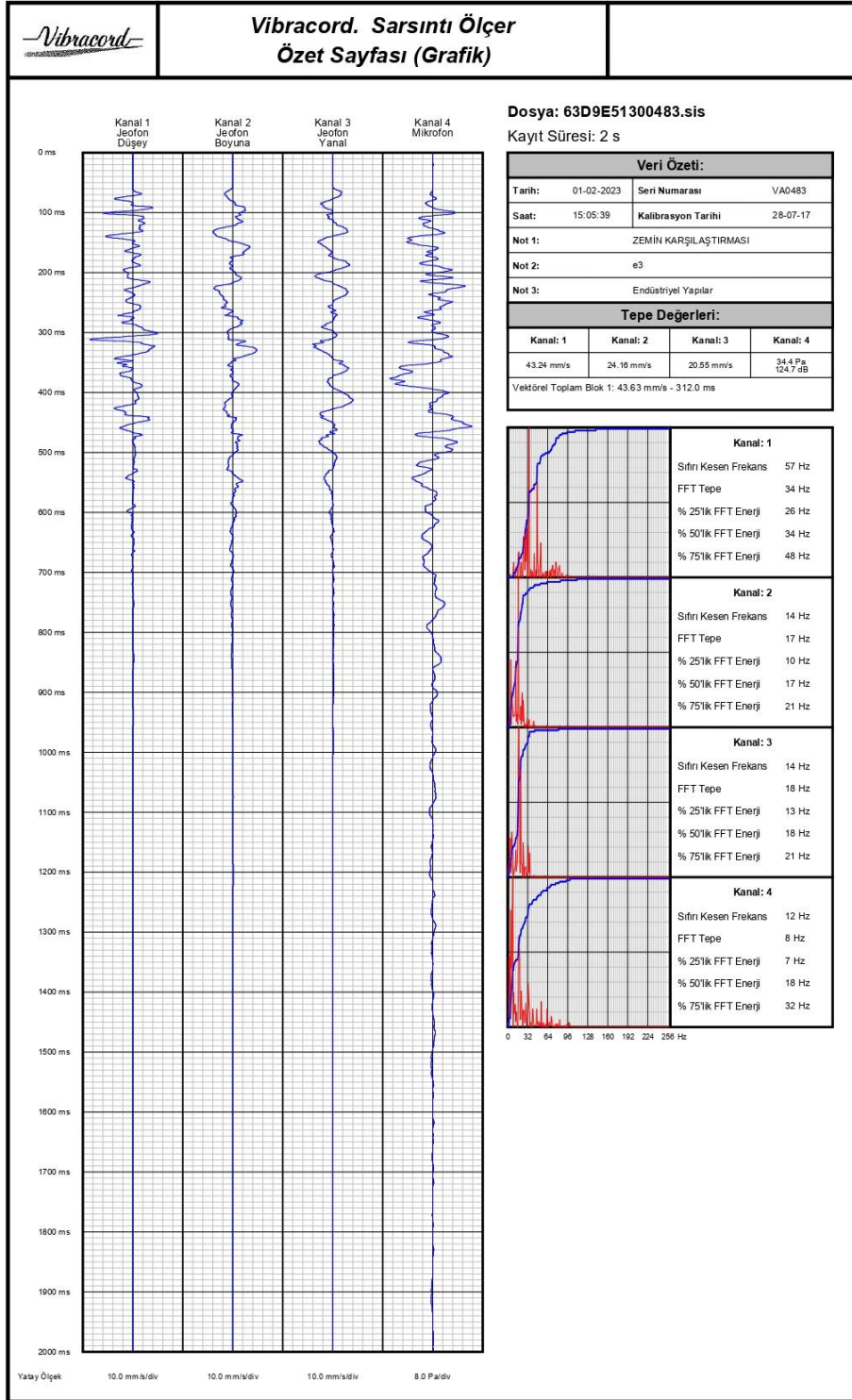
Zeminlerin Karşılaştırılması Yapılırken Endüstriyel Yapılar İçin 1-10 Hz Aralığında Sınır Değerine Yakın Olarak Kullanılan “e1” Verisinin Cihaz Çıktısı;



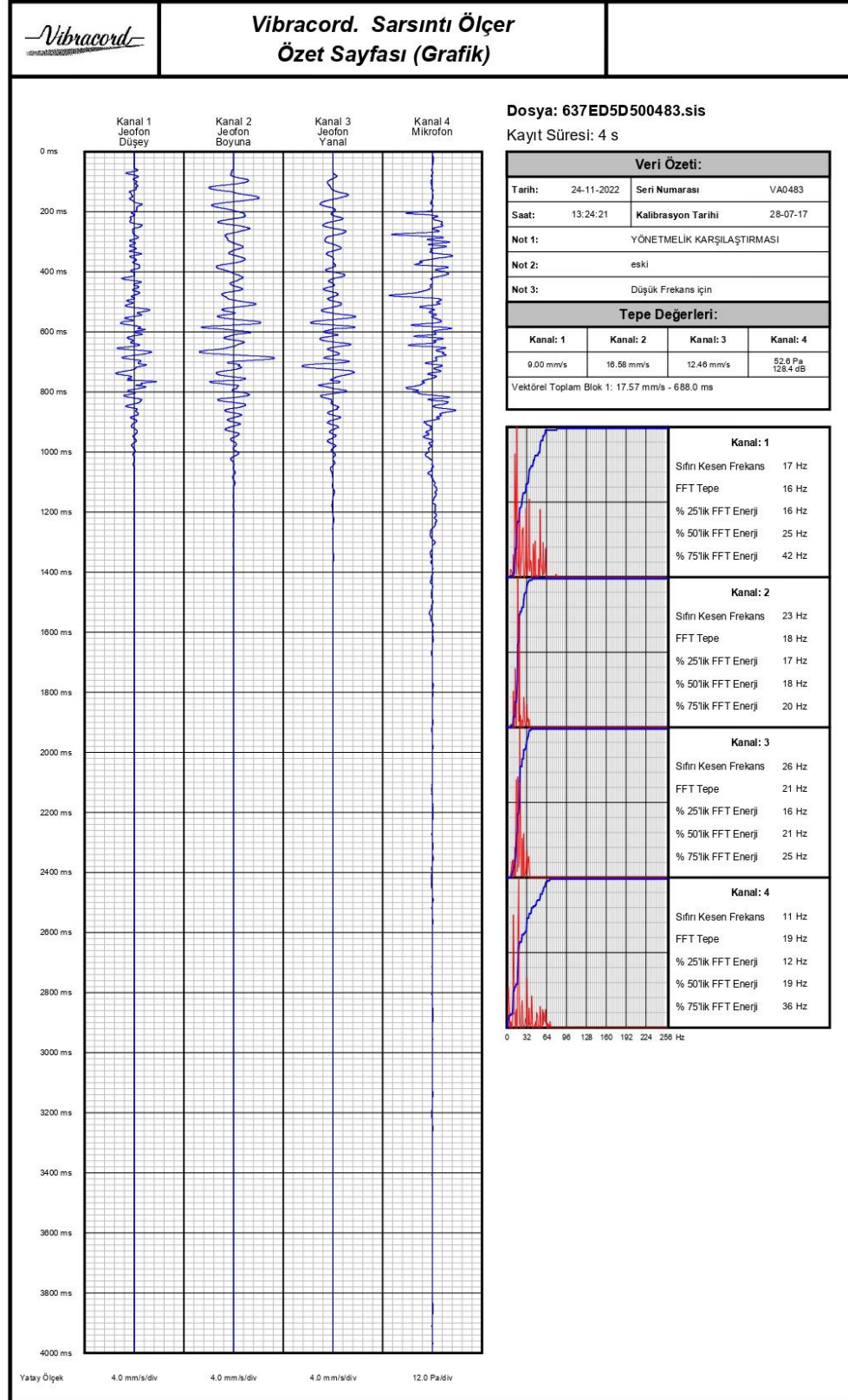
Zeminlerin Karşılaştırılması Yapılırken Endüstriyel Yapılar İçin 10-50 Hz
Aralığında Sınır Değerine Yakın Olarak Kullanılan “e2” Verisinin Cihaz Çıktısı;



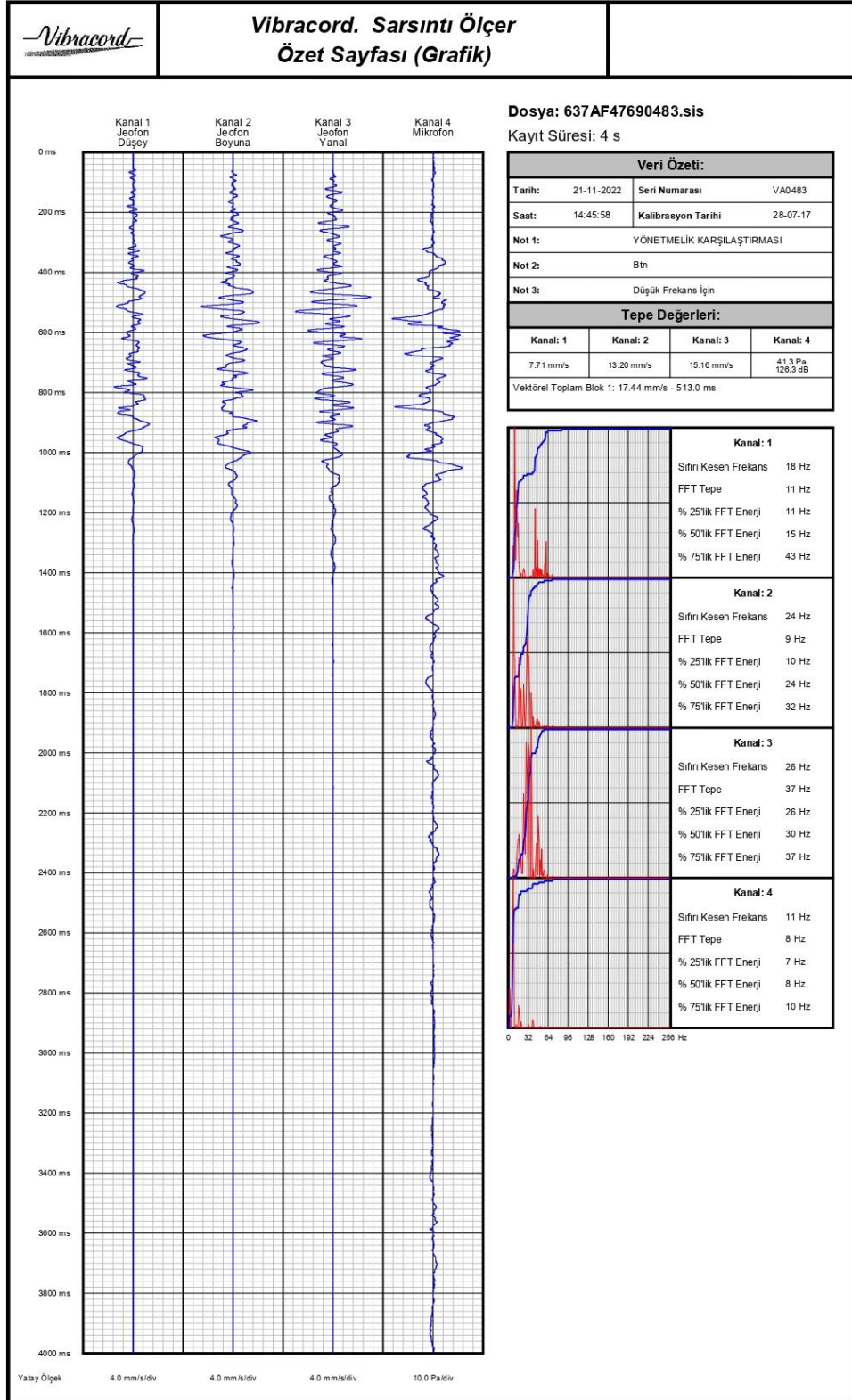
Zeminlerin Karşılaştırılması Yapılırken Endüstriyel Yapılar İçin 50-100 Hz Aralığında Sınır Değerine Yakın Olarak Kullanılan “e3” Verisinin Cihaz Çıktısı;



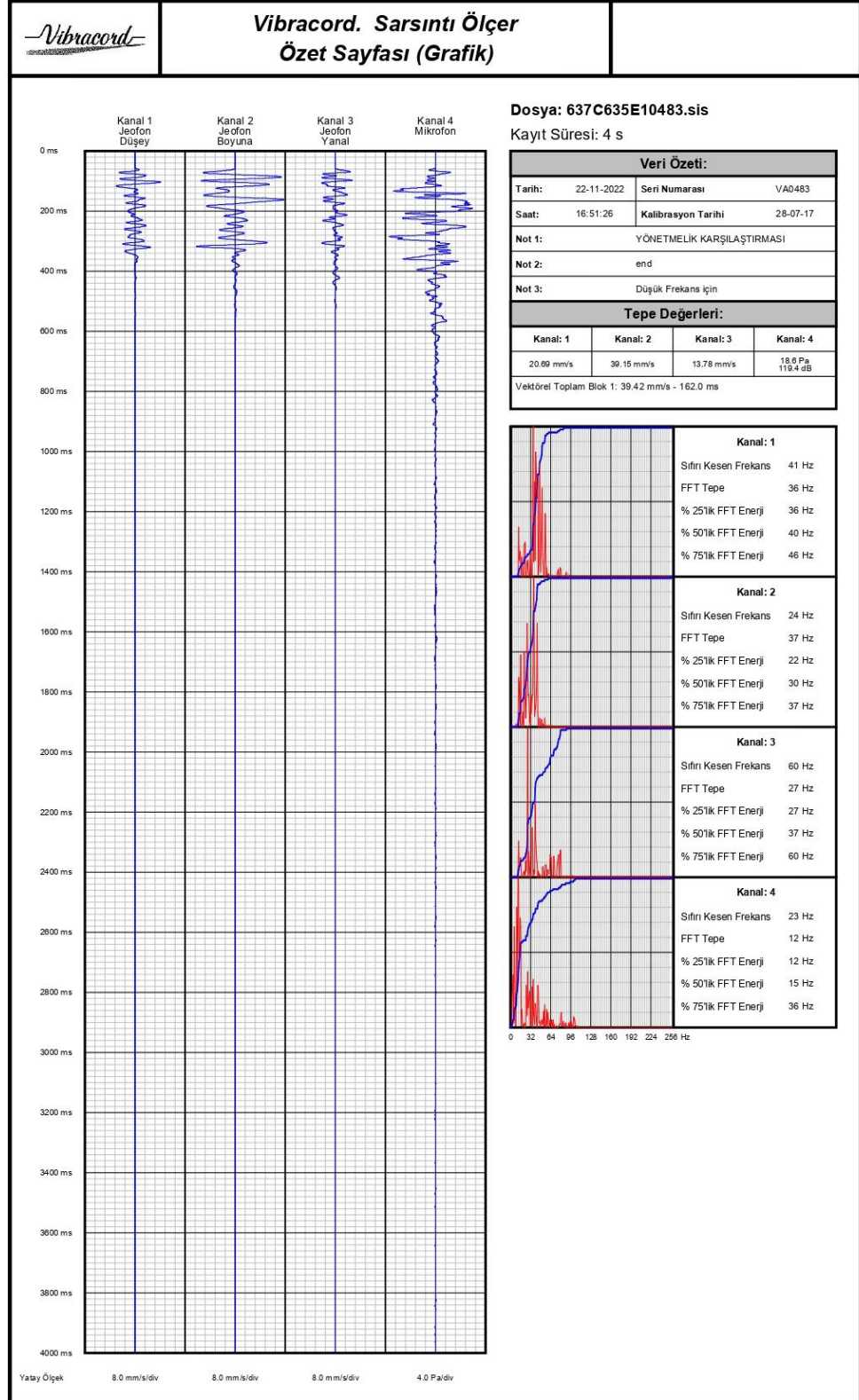
Yönetmelik Karşılaştırılması Yapılırken Eski Yönetmelikte Düşük Frekans İçin Kullanılan Sınır Değere Yakın Olan “Eski” Verisinin Cihaz Çıktısı;



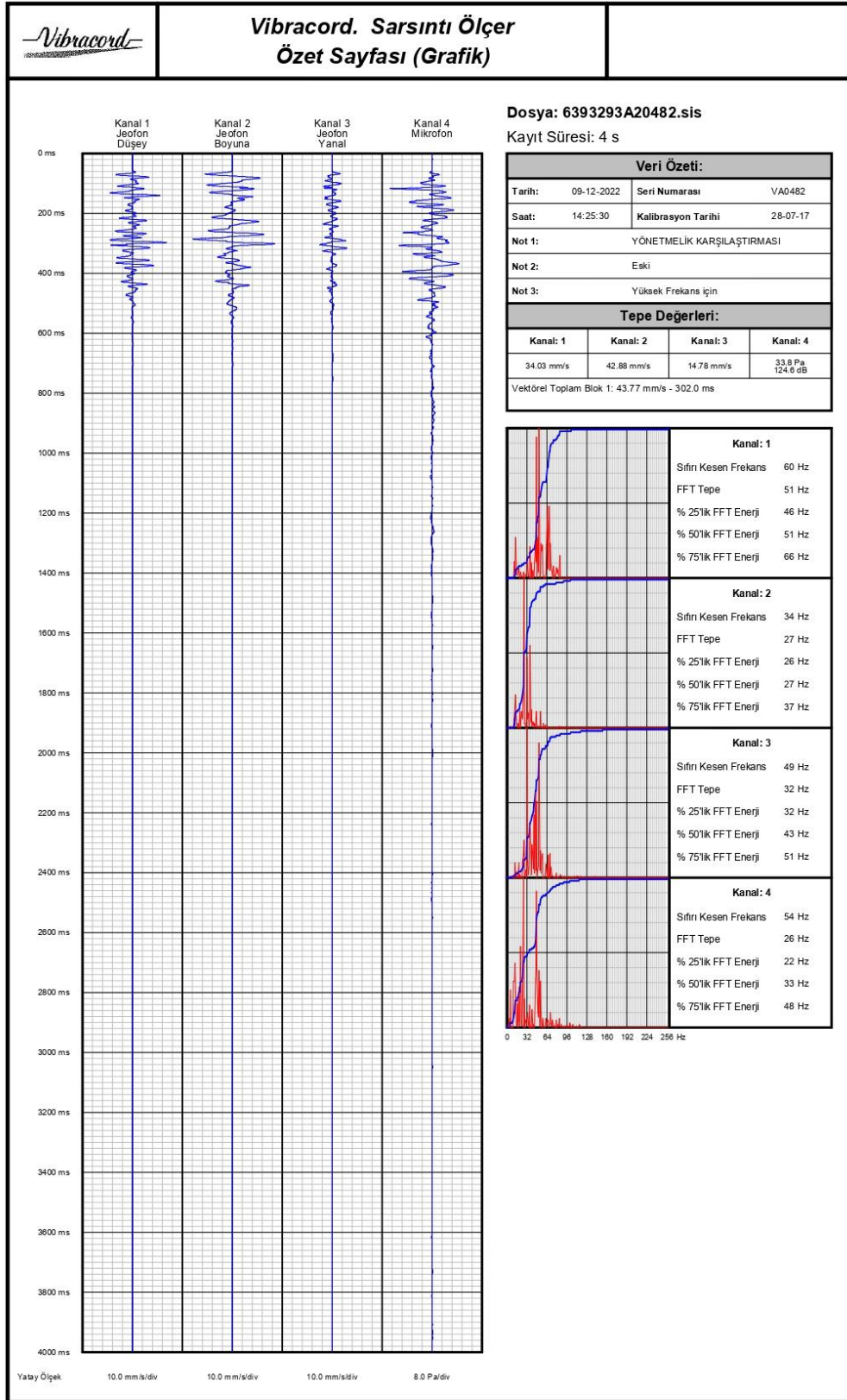
Yönetmelik Karşılaştırılması Yapılırken Yeni Yönetmelikte Düşük Frekans İçin Kullanılan Evler, Tuğla ve Beton Gibi Dayanıklı Yapıların Sınır Değere Yakın Olan “btn” Verisinin Cihaz Çıktısı;



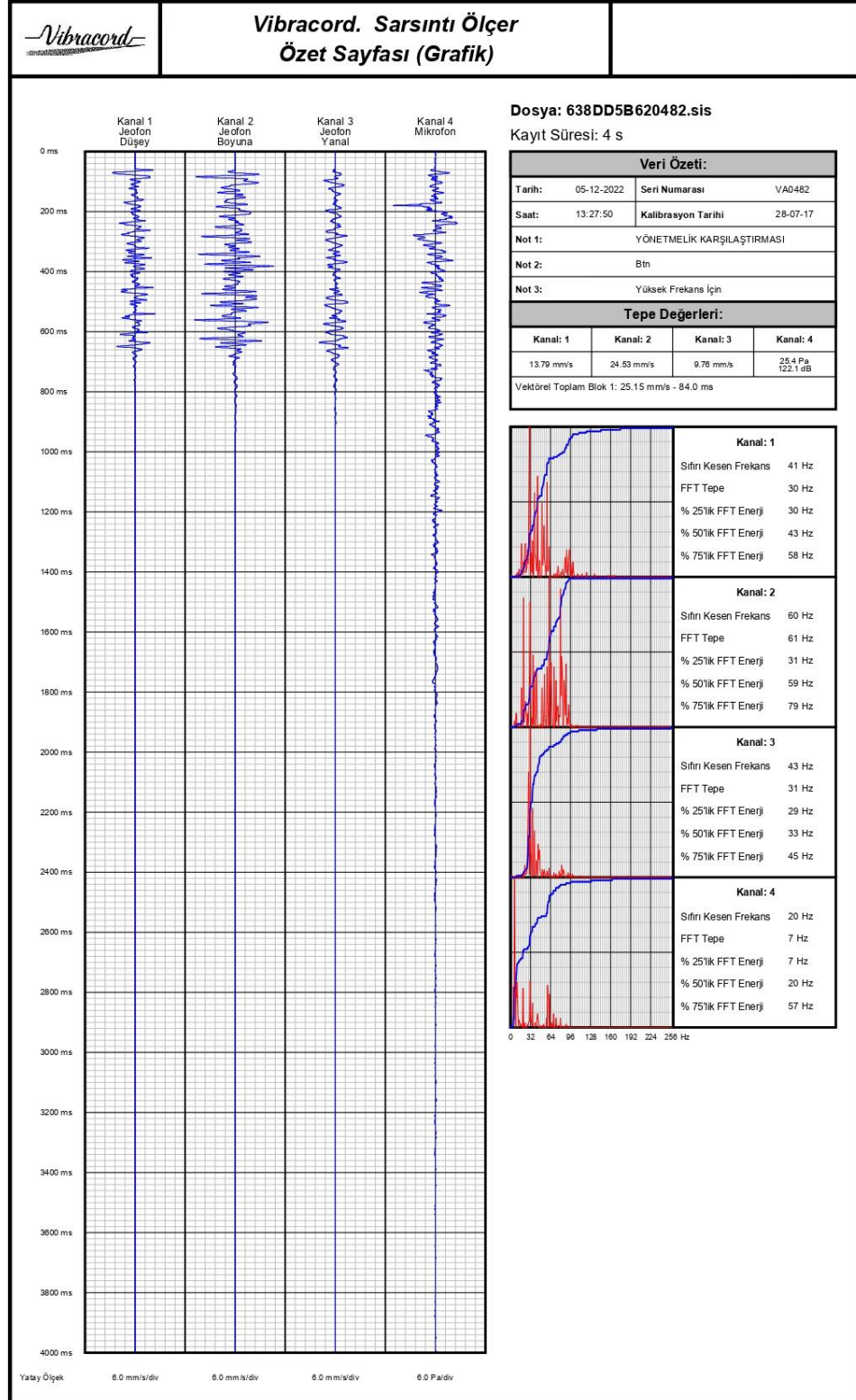
Yönetmelik Karşılaştırılması Yapılırken Yeni Yönetmelikte Düşük Frekans İçin Kullanılan Endüstriyel Yapıların Sınır Değere Yakın Olan “end” Verisinin Cihaz Çıktısı;



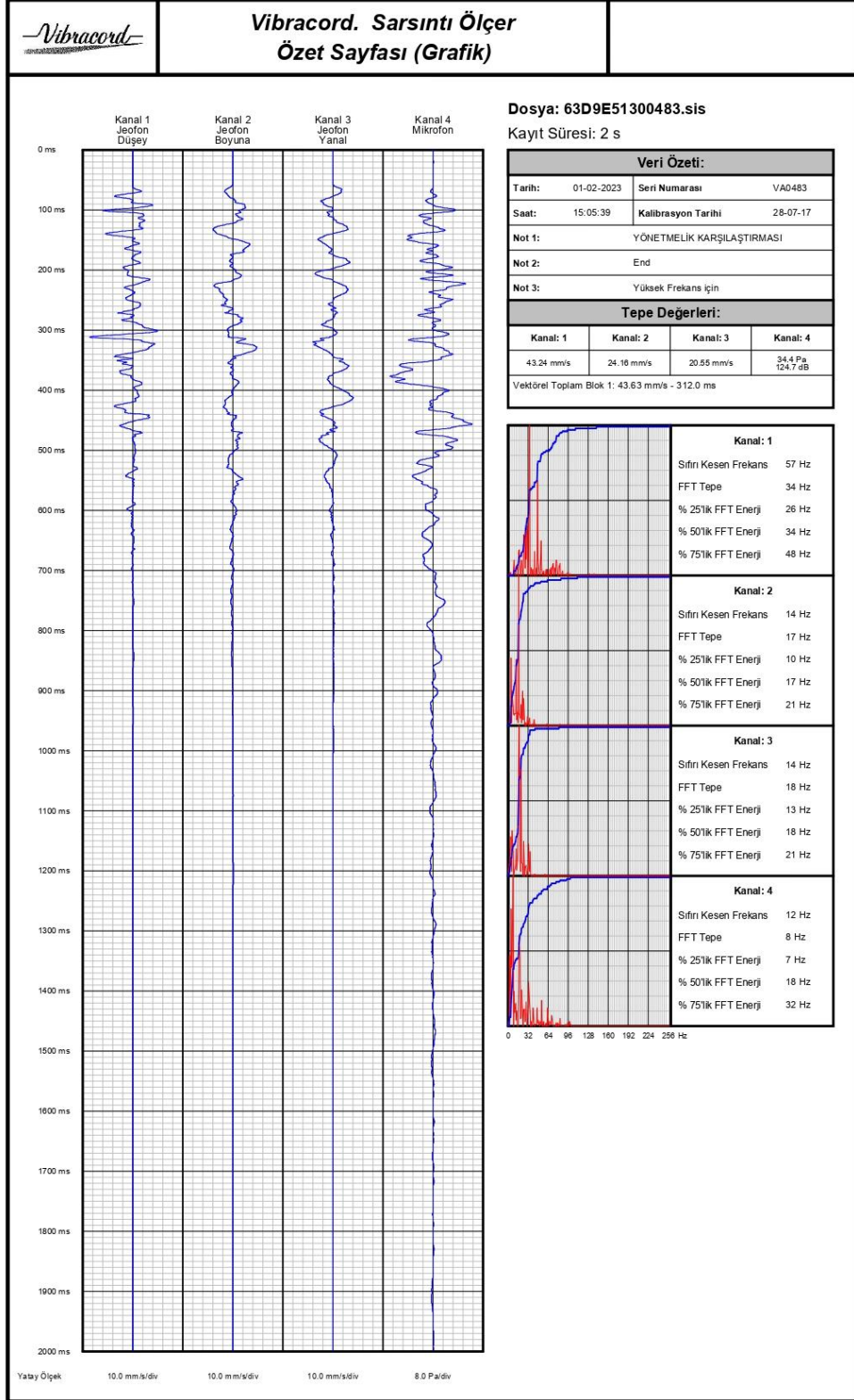
Yönetmelik Karşılaştırılması Yapılırken Eski Yönetmelikte Yüksek Frekans İçin Kullanılan Sınır Değere Yakın Olan “Eski” Verisinin Cihaz Çıktısı;



Yönetmelik Karşılaştırılması Yapılırken Yeni Yönetmelikte Yüksek Frekans İçin Kullanılan Evler, Tuğla ve Beton Gibi Dayanıklı Yapıların Sınır Değere Yakın Olan “btm” Verisinin Cihaz Çıktısı;



Yönetmelik Karşılaştırılması Yapılırken Yeni Yönetmelikte Yüksek Frekans İçin Kullanılan Endüstriyel Yapıların Sınır Değere Yakın Olan “end” Verisinin Cihaz Çıktısı;



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gülnisa ÖZKAN

Öğrenim Durumu:

Lisans: 2021, Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Yüksek Lisans: 2023, İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

2018 yılında İstanbul’da bir model okul projesinde stajyer olarak ilk iş deneyimini kazandı.

2019 yılında zorunlu stajını Tokat’ta inşaat alanında faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirirken pandemi sebebiyle okulların çevrimiçi yapılmaya başlamasıyla çeşitli firmalarda gönüllü olarak iş öğrenmek amacıyla çalıştı.

2021 – 2022 yıllarında Tokat ve İstanbul’da kaba inşaat alanında faaliyet gösteren farklı firmalarla proje bazlı çalıştı.

Ekim 2022 itibariyle Akademi Patlayıcı Mühendisliği firmasında şehir içlerinde yapılan patlatmaların kontrolünde görev almaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

OZKAN, G. ve DEHGHANIAN, K. (2023) The impact of blast vibration on the site response, Computational Civil Engineering 2023, 24-25 Mayıs 2023, Iasi, Romania.

OZKAN, G., DEHGHANIAN, K. ve KAHRİMAN, A. (2023) Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Saha Tepkisi Üzerindeki Etkisi, 4th International Symposium of Engineering Applications on Civil Engineering and Earth Sciences 2023 (IEACES2023), 30 Mayıs – Haziran 2023, Karabük, Turkey.

