T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEMİN ÜSTÜ TEMAS PATLATMALARININ YERALTI YAPILARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Doğan İNCE

Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mekanik Bilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

ZEMİN ÜSTÜ TEMAS PATLATMALARININ YERALTI YAPILARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Tez Yazarı
Doğan İNCE

Danışman
Doç. Dr. Sedat SAVAŞ

TEMMUZ 2024
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Zemin Üstü Temas Patlatmalarının Yeraltı Yapılarına Etkisinin Araştırılması
Yazarı:	Doğan İNCE
İlk Teslim Tarihi:	13.06.2024
Savunma Tarihi:	10.07.2024

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

		İmza
Danışman:	Doç. Dr. Sedat SAVAŞ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Tacettin GEÇKİL İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Mesut GÖR Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun ...../...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım "Zemin Üstü Temas Patlatmalarının Yeraltı Yapılarına Etkisinin Araştırılması" Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

10.07.2024

Doğan İNCE

ÖNSÖZ

Özellikle yerleşim merkezlerinin yol altyapısı altında bulunan yer altı yapıları (doğalgaz, kanalizasyon, telekomünikasyon, elektrik, içme suyu boru hatları ve metro tünelleri gibi) herhangi bir sabotaj ve saldırı sonucu oluşabilecek patlamalardan etkilenebilecektir. Bu saldırılar yapıldığında yeraltı yapısına gelecek olan basınç ve ivmenin hesaplanması ile altyapı tesisleri bu yüklemeye dayanıklı olarak tasarlanabilecektir. Bu amaçla, gerçekleştirilen tez çalışmasında, yer üstü patlaması sonucu yeraltı yapısına gelebilecek yükü belirlemek amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında, Malatya ili özelinde Güney Kuşak Yolu'nda ve Altay Kışlası Yakınlarında bir dizi çeşitli patlatmalar yapılmıştır. Elde edilen patlatmalara ait ivme-zaman grafikleri çizilerek elde edilen tüm sonuçlar literatürdeki kaynaklardan da yararlanılarak değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Eğitimim ve tez çalışmam boyunca benden değerli katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Sedat SAVAŞ'a saygı ve sevgilerimi sunarım.

Bu süreçte, sağlamış olduğu imkânlardan dolayı çalıştığım kurumum Malatya Büyükşehir Belediyesi'ne, her türlü bilgi ve desteklerini esirgemeyen değerli aile büyüğüm Fırat Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ragıp İNCE'ye ve Dr. Arş. Gör. Dursun BAKIR'a, İnş. Yük. Müh. Muharrem BAŞPINAR'a, mesai arkadaşlarım Namık Kemal ÖZBEY'e ve Ekrem ŞAHİN'e, ayrıca eğitimim boyunca her koşulda yanımda olan kardeşim Malatya Turgut Özal Üniversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Ceren Beyza İNCE'ye teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, tüm hayatım boyunca desteklerini devamlı hissettiğim anne ve babama, sevgili eşim Sena İNCE'ye ve biricik oğlum Çınar Mert İNCE'ye sonsuz sevgilerimi ve minnetlerimi sunarım.

Doğan İNCE
ELAZIĞ, 2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... İV
İÇİNDEKİLER V
ÖZET ..... Vİİ
ABSTRACT ..... Vİİİ
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... İX
TABLOLAR LİSTESİ ..... XİV
SİMGELER VE KISALTMALAR XV

1. GİRİŞ 1
1.1. Hasar Sınıflama, Uluslararası Titreşim Değerlendirme Normları ve Yaşanan Çevresel Sorunlar ... 4
1.1.1. Hasar Sınıflaması 5

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI 7
2.1. BIGM ve EGM Uyarılmaları 17
2.2. Kontrollü Patlatma 19
2.2.1. Yapısal Titreşimler 19
2.2.2. Kontrollü Patlatma Teknikleri 20

3. SAHADA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR 26
3.1. Kullanılan Patlayıcılar 27
3.1.1. Kullanılan Patlayıcının TNT Eşdeğerliliğinin Tespit Edilmesi 28
3.2. Güney Kuşak Yolunda Yapılan Patlatmalar 29
3.2.1. 28/12/2022 Tarihinde Yapılan Patlatmalar 32
3.2.2. 29/12/2022 Tarihinde Yapılan Patlatmalar 33
3.2.3. 30/12/2022 Tarihinde Yapılan Patlatmalar 35
3.2.4. 06/01/2023 Tarihinde Yapılan Patlatmalar 37
3.2.5. 09/01/2023 Tarihinde Yapılan Patlatmalar 39
3.3. Altay Kışlası Yakınlarında Yapılan Patlatmalar 44
3.3.1. Sıralı Patlatmalar 45
3.3.2. Elektrik Direği Yanındaki Patlatmalar 46
3.3.3. Şev Yanındaki Patlatmalar 47

4. DENEYSEL ÇALIŞMALARA AİT ÇIKTILAR 48
4.1. Güney Kuşak Yolu Patlatmaları 48
4.1.1. 28/12/2022 Tarihli Ölçüm Sonuçları 48
4.1.2. 29/12/2022 Tarihli Ölçüm Sonuçları 50
4.1.3. 30/12/2022 Tarihli Ölçüm Sonuçları 52
4.1.4. 06/01/2023 Tarihli Ölçüm Sonuçları 54
4.1.5. 09/01/2023 Tarihli Ölçüm Sonuçları 57
4.2. Altay Kışlası Patlatmaları 64
4.2.1. Sıralı Patlatma-1.Patlatma Sonuçları 64
4.2.2. Sıralı Patlatma-2.Patlatma Sonuçları 66
4.2.3. Sıralı Patlatma-3.Patlatma Sonuçları 67
4.2.4. Sıralı Patlatma-5.Patlatma Sonuçları 71
4.2.5. Sıralı Patlatma-6.Patlatma Sonuçları 72
4.2.6. Sıralı Patlatma-7.Patlatma Sonuçları 74

4.2.7. Sıralı Patlatma-8.Patlatma Sonuçları 76
4.2.8. Sıralı Patlatma-9.Patlatma Sonuçları 77
4.2.9. Sıralı Patlatma-10.Patlatma Sonuçları 79
4.2.10. Sıralı Patlatma-11.Patlatma Sonuçları 81
4.2.11. Sıralı Patlatma-12.Patlatma Sonuçları 82
4.2.12. Sıralı Patlatma-13.Patlatma Sonuçları 84
4.2.13. Sıralı Patlatma-14.Patlatma Sonuçları 86
4.2.14. Sıralı Patlatma-15.Patlatma Sonuçları 87
4.3. Direk Yanı Patlatma Grafikleri 92
4.4. Şev Patlaması Patlatma Grafikleri 97
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 99
KAYNAKLAR 101
ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Zemin Üstü Temas Patlatmalarının Yeraltı Yapılarına Etkisinin Araştırılması

Doğan İNCE

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2024, Sayfa: xv + 103

Yapıların yüksek frekanslı patlama yer hareketine karşı dinamik tepkisi ve hasar görmesi, inşaat ve madencilik patlatmalarının ve mühimmat depolamanın tasarlanmasında oldukça önemli bir husustur. Patlatma uygulaması sırasında kaçınılmaz olarak yer hareketleri meydana gelir ve bu hareketler, çevredeki yapıların güvenliği üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Yapısal tepki ve patlama titreşimine verilen hasara ilişkin yapılan çalışmalarda, yapısal hasarı sınırlamak için temel yer titreşim frekansıyla birlikte tepe parçacık hızları (PPV) veya tepe parçacık hızları cinsinden ampirik izin verilen yer titreşimi seviyelerinin belirlenmesine odaklanılmıştır. Bununla birlikte, bu kriterler, patlamaları tasarlarken yapısal performansı tahmin etmek için mevcut uygulamalarda benimsenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, kalker zemin üzerindeki zemin üstü temas patlatmalarının yeraltı yapılarına etkisi araştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, patlatma hızının zeminde oluşturduğu tepe parçacık ivmesi (PPA) ve PPV değerleri ile birlikte ertelemeli patlatmanın yapılara vereceği ivme belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, çalışmada, Güney Kuşak Yolu'nda ve Altay Kışlası Yakınlarında olmak üzere 2 ana bölge üzerinde çeşitli patlatma testleri yapılmıştır. Güney Kuşak yolunda, 5 farklı günde kontrollü patlatma, Altay Kışlası yakınlarında ise sıralı patlatmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda, Güney Kuşak Yolu üzerindeki patlatmada maksimum ivme değeri 10m/s^2 üzerinde elde edilmiştir. Altay Kışlası yakınlarında yapılan patlatma sonuçlarında ise herhangi bir yapısal sorunlarla karşılaşılmamıştır. Bununla birlikte, kalker zemin sınıfında yakın temas patlatmalarında kullanılabilmesi için genel bir denklem geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PPV, PPA, Patlatma dalgası, Yapı dinamiği, Yüksek frekanslı yer hareketi, Ertelemeli patlatma.

ABSTRACT

Investigation of the Effect of Above Ground Contact Blasting on Underground Structures

Doğan İNCE

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

July 2024, Pages: xv + 103

The dynamic response and damage of structures to high-frequency blast ground motion is a very important consideration in designing construction and mining blasting and munitions storage. Ground movements inevitably occur during blasting, and these movements have a negative impact on the safety of surrounding structures. Studies on structural response and damage to blast vibration have focused on determining empirically allowable ground vibration levels in terms of peak particle velocities (PPV) or peak particle velocities along with the fundamental ground vibration frequency to limit structural damage. However, these criteria have been adopted in current practices to predict structural performance when designing explosions. Within the scope of this thesis study, the effects of above-ground contact blasting on limestone ground on underground structures were investigated and the results obtained were evaluated. Within the scope of the study, it was tried to determine the peak particle acceleration (PPA) and PPV values created by the blasting speed on the ground, as well as the acceleration that delayed blasting would give to the structures. For this purpose, various blasting tests were carried out in two main regions, on the Southern Zone Road and near the Altay Barracks. Controlled explosions were carried out on the Southern Zone road on 5 different days, and sequential explosions were carried out near the Altay Barracks. As a result of the study, the maximum acceleration value in the blasting on the Southern Zone Road was obtained over $10 m/s^2$. As a result of the blasting carried out near Altay Barracks, no structural problems were encountered. However, a general equation has been developed to be used in close contact blasting in the limestone soil class.

Keywords: PPV, PPA, explosion wave, Structural dynamics, High frequency ground motion, Delayed detonation.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Yer üstü ve yer altı yapılarıyla ilgili çeşitli patlama senaryoları 2

Şekil 1.2. Kaya patlatmasında patlayıcı enerji parçacıkları 3

Şekil 1.3. P, S, ve R dalgalarının sanal görünümü 4

Şekil 2.1. Patlayıcı kaynakların sismik dalga süreçlerini harekete geçirmesi 7

Şekil 2.2. Dinamik tepki analizi yapılan kagir baca 9

Şekil 2.3. Ertelemeli patlama mekanizması 11

Şekil 2.4. Patlama testlerinin gerçekleştirildiği arazi 15

Şekil 2.5. Patlama kaynaklı yer hareketinin modellenmesi 19

Şekil 2.6. Kontrollü patlatma teknikleri (CBT) 21

Şekil 3.1. Veri toplama sistemi şematik görünümü 26

Şekil 3.2. Kullanılan ivme ölçer ve arazide yerleşim şekli 26

Şekil 3.3. Burgu Makinesi Tamrock Ranger 780 ile deney sahasında yapılan delme işlemi ve ivme ölçer yerleştirilmesi 27

Şekil 3.4. İvme ölçerin açılan deliklere yerleştirilme işlemi 27

Şekil 3.5. Anadolu patlayıcıdan temin edilen Anfo, jelatin dinamit ve elektrikli fünye görünümü 28

Şekil 3.6. Sensör Yerleşimi 29

Şekil 3.7. Solar(TNG2) Patlayıcısının Patlama basınç zaman grafiği 29

Şekil 3.8. Güney kuşak yoluna ait görseller 30

Şekil 3.9. İvme ölçerlerin sahaya yerleştirilmesi 31

Şekil 3.10. Patlatma görüntüleri 31

Şekil 3.11. Patlatmanın yapıldığı vaziyet planı 32

Şekil 3.12. Vaziyet planı 34

Şekil 3.13. Vaziyet planı 36

Şekil 3.14. Patlatma alanı vaziyet planı 38

Şekil 3.15. İlgili tarihte yapılan patlatmaya ait vaziyet planı 40

Şekil 3.16. Palyeye ivme ölçerlerin yerleştirilmesi 44

Şekil 3.17. Sıralı patlatmaya ait görüntü 44

Şekil 3.18. Şev patlatmasına ait görüntü 45

Şekil 3.19. Sıralı patlayıcının palyeye yerleştirilme durumu 45

Şekil 3.20. Palyelerin yerleştirilme durumunun tespitinde kullanılan grafik 46

Şekil 3.21. Sıralı patlatmanın yapıldığı sahaya ait bilgiler 46

Şekil 3.22. Elektrik direği yakınındaki patlatma için ilgili alanın vaziyet planı 47
Şekil 3.23. Şev yanındaki patlatma için ilgili alanın vaziyet planı 47
Şekil 4.1. İlk patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği 48
Şekil 4.2. İlk patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği 48
Şekil 4.3. İlk patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği 49
Şekil 4.4. İkinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği 49
Şekil 4.5. İkinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği 49
Şekil 4.6. İkinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği 50
Şekil 4.7. Birinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği..... 50
Şekil 4.8. Birinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği..... 50
Şekil 4.9. Birinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği..... 51
Şekil 4.10. İkinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği 51
Şekil 4.11. İkinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği 51
Şekil 4.12. İkinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği 52
Şekil 4.13. İlk patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği 52
Şekil 4.14. İlk patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği 53
Şekil 4.15. İlk patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği 53
Şekil 4.16. İkinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği 53
Şekil 4.17. İkinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği 54
Şekil 4.18. İkinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği 54
Şekil 4.19. İlk patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği 55
Şekil 4.20. İlk patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği 55
Şekil 4.21. İlk patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği 55
Şekil 4.22. İkinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği 56
Şekil 4.23. İkinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği 56
Şekil 4.24 İkinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği 56
Şekil 4.25. İlk patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği 57
Şekil 4.26. İlk patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği 57
Şekil 4.27. İlk patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği 57
Şekil 4.28. Sıralı patlatma -1. patlatma 1. ivme-zaman grafiği..... 64
Şekil 4.29. Sıralı patlatma -1. patlatma 2. ivme-zaman grafiği..... 64
Şekil 4.30. Sıralı patlatma -1. patlatma 3. ivme-zaman grafiği..... 65
Şekil 4.31. Sıralı patlatma -1. patlatma 4. ivme-zaman grafiği..... 65
Şekil 4.32. Sıralı patlatma -1. patlatma 5. ivme-zaman grafiği..... 65

Şekil 4.33. Sıralı patlatma -2. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 66
Şekil 4.34. Sıralı patlatma -2. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 66
Şekil 4.35. Sıralı patlatma -2. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 66
Şekil 4.36. Sıralı patlatma -2. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 67
Şekil 4.37. Sıralı patlatma -2. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 67
Şekil 4.38. Sıralı patlatma -3. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 67
Şekil 4.39. Sıralı patlatma -3. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 68
Şekil 4.40. Sıralı patlatma -3. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 68
Şekil 4.41. Sıralı patlatma -3. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 68
Şekil 4.42. Sıralı patlatma -3. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 69
Şekil 4.43. Sıralı patlatma -4. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 69
Şekil 4.44. Sıralı patlatma -4. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 69
Şekil 4.45. Sıralı patlatma -4. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 70
Şekil 4.46. Sıralı patlatma -4. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 70
Şekil 4.47. Sıralı patlatma -4. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 70
Şekil 4.48. Sıralı patlatma -5. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 71
Şekil 4.49. Sıralı patlatma -5. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 71
Şekil 4.50. Sıralı patlatma -5. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 71
Şekil 4.51. Sıralı patlatma -5. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 72
Şekil 4.52. Sıralı patlatma -5. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 72
Şekil 4.53. Sıralı patlatma -6. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 72
Şekil 4.54. Sıralı patlatma -6. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 73
Şekil 4.55. Sıralı patlatma -6. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 73
Şekil 4.56. Sıralı patlatma -6. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 73
Şekil 4.57. Sıralı patlatma -6. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 74
Şekil 4.58. Sıralı patlatma -7. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 74
Şekil 4.59. Sıralı patlatma -7. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 74
Şekil 4.60. Sıralı patlatma -7. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 75
Şekil 4.61. Sıralı patlatma -7. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 75
Şekil 4.62. Sıralı patlatma -7. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 75
Şekil 4.63. Sıralı patlatma -8. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 76
Şekil 4.64. Sıralı patlatma -8. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 76
Şekil 4.65. Sıralı patlatma -8. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 76
Şekil 4.66. Sıralı patlatma -8. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 77

Şekil 4.67. Sıralı patlatma -8. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 77
Şekil 4.68. Sıralı patlatma -9. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 77
Şekil 4.69. Sıralı patlatma -9. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 78
Şekil 4.70. Sıralı patlatma -9. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 78
Şekil 4.71. Sıralı patlatma -9. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 78
Şekil 4.72. Sıralı patlatma -9. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 79
Şekil 4.73. Sıralı patlatma -10. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 79
Şekil 4.74. Sıralı patlatma -10. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 79
Şekil 4.75. Sıralı patlatma -10. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 80
Şekil 4.76. Sıralı patlatma -10. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 80
Şekil 4.77. Sıralı patlatma -10. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 80
Şekil 4.78. Sıralı patlatma -11. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 81
Şekil 4.79. Sıralı patlatma -11. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 81
Şekil 4.80. Sıralı patlatma -11. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 81
Şekil 4.81. Sıralı patlatma -11. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 82
Şekil 4.82. Sıralı patlatma -11. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 82
Şekil 4.83. Sıralı patlatma -12. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 82
Şekil 4.84. Sıralı patlatma -12. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 83
Şekil 4.85. Sıralı patlatma -12. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 83
Şekil 4.86. Sıralı patlatma -12. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 83
Şekil 4.87. Sıralı patlatma -12. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 84
Şekil 4.88. Sıralı patlatma -13. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 84
Şekil 4.89. Sıralı patlatma -13. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 84
Şekil 4.90. Sıralı patlatma -13. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 85
Şekil 4.91. Sıralı patlatma -13. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 85
Şekil 4.92. Sıralı patlatma -13. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 85
Şekil 4.93. Sıralı patlatma -14. patlatma 1. ivme-zaman grafiği 86
Şekil 4.94. Sıralı patlatma -14. patlatma 2. ivme-zaman grafiği 86
Şekil 4.95. Sıralı patlatma -14. patlatma 3. ivme-zaman grafiği 86
Şekil 4.96. Sıralı patlatma -14. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 87
Şekil 4.97. Sıralı patlatma -14. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 87
Şekil 4.98. Sıralı patlatma -15. patlatma 4. ivme-zaman grafiği 87
Şekil 4.99. Sıralı patlatma -15. patlatma 5. ivme-zaman grafiği 88
Şekil 4.100. Direk yanı 1.patlatma 1. ivme-zaman grafiği 92

Şekil 4.101. Direk yanı 1.patlatma 2. ivme-zaman grafiği 92
Şekil 4.102. Şev patlatması 1.patlatma 1. ivme-zaman grafiği 97
Şekil 4.103. Şev patlatması 1.patlatma 2. ivme-zaman grafiği 97

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Patlayıcıların nispi etkinlik faktörü 1

Tablo 1.2. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birim fiyat listesindeki sert kaya ve çok sert kaya kazılması ile ilgili patlamalı ve patlama yapılmadan imalatlar arasındaki birim fiyatların oranı 3

Tablo 1.3. Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri 5

Tablo 1.4. ABD standardı 5

Tablo 1.5. Alman DIN4150'den sonra Alman standardı (1986) 5

Tablo 1.6. SSCB standardı 6

Tablo 1.7. Avustralya standardı 2006 6

Tablo 1.8. Maden bölgesindeki yapıların temel seviyesinde mm/s cinsinden izin verilen Pik Parçacık Hızı (PPV) (1997 DGMS Genelgesi 7) 6

Tablo 2.1. Hat delme ve ön ayırmanın titreşimler ve diğer etkiler üzerindeki etkisi 21

Tablo 3.1. Düzeneğin yerleşim detayı 28

Tablo 3.2. TNG2 patlayıcısının sensör okumaları 29

Tablo 3.3. Günlere göre patlayıcı yerler, mesafeler, atım sayıları ve delik sayıları 41

Tablo 4.1. 28/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler 59

Tablo 4.2. 29/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler 60

Tablo 4.3. 30/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler 61

Tablo 4.4. 06/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler 62

Tablo 4.5. 09/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler 63

Tablo 4.6. Sıralı patlatmalarda elde edilen tüm veriler 89

Tablo 4.7. Sıralı patlatmalarda elde edilen tüm veriler 90

Tablo 4.8. Sıralı patlatmalarda elde edilen tüm veriler 91

Tablo 4.9. Direk yanı patlatmasından elde edilen veriler 93

Tablo 4.10. Literatürdeki formüller ile ölçülen ivme sonuçlarının karşılaştırılması 94

Tablo 4.11. Yapılan deney selsonucu üretilen formül ile deneysel değerlerin karşılaştırılması 95

Tablo 4.12. Deney,literatür ve üretilen formül karşılaştırılması 96

Tablo 4.13. Şev yanı patlatmasından elde edilen veriler 98

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E	: Elastisite modülü
R	: Patlayıcı ile yapı arasındaki mesafe
W	: Patlayıcı ağırlığı
cm	: Santimetre
MPA	: Megapaskal
kg	: Kilogram
m	: Metre
g	: gram

Kısaltmalar

TNT	: Trinitrotoluen
ANFO	: Amonyum nitrat
PPV	: Tepe parçacık hızı
PPA	: Tepe parçacık ivmesi
g	: Yer çekimi ivmesi

1. GİRİŞ

Patlama olayı, büyük ölçekli, hızlı ve ani bir enerji salımı olarak tanımlanan darbeli bir yükleme türüdür. Patlamalar, doğası gereği fiziksel, nükleer ya da kimyasal olaylar olarak sınıflandırılabilirler. Patlayıcı malzemeler fiziksel durumlarına göre katı, sıvı veya gaz halinde bulunurlar. Katı patlayıcılar, temel olarak patlama etkileri en iyi bilinen yüksek patlayıcılardır. Birincil veya ikincil patlayıcı olarak tutuşmaya karşı hassasiyetleri temelinde de sınıflandırılabilirler. Cıva ve kurşun gibi malzemeler birincil patlayıcılardır. Patlayıcılar infilak ettirildiğinde oluşan (şok) dalgalar çevreye yaygın bir şekilde zarar verebilir. Dünyada yaygın olarak kullanılan patlayıcı cinsleri arasında trinitrotoluen (TNT) ve ANFO (Amanium Nitrat Fuel Oil) bulunur. Patlayıcıların şiddetinin belirlenmesinde standart oluşturma ve karşılaştırma yapılabilmesi için TNT etkisine çevirme katsayıları belirlenmiştir. Bunun için eşdeğer etkinlik faktörü ile belirlenmiştir. Tablo 1.1'de patlayıcı maddelerin TNT'ye göre eşdeğer etkinlik faktörleri verilmiştir [1].

Tablo 1.1 Patlayıcıların nispi etkinlik faktörü

Patlayıcılar	Eşdeğer etkinlik faktörü	Nispi darbe faktörü	Basınç aralığı (Psi)
ANFO	0.82	0.82	1-100
C-4	1.37	1.19	10-100
PETN	1.27	-	5-100
PENTOLITE	1.42	1	5-100
TNT	1	1	Standart

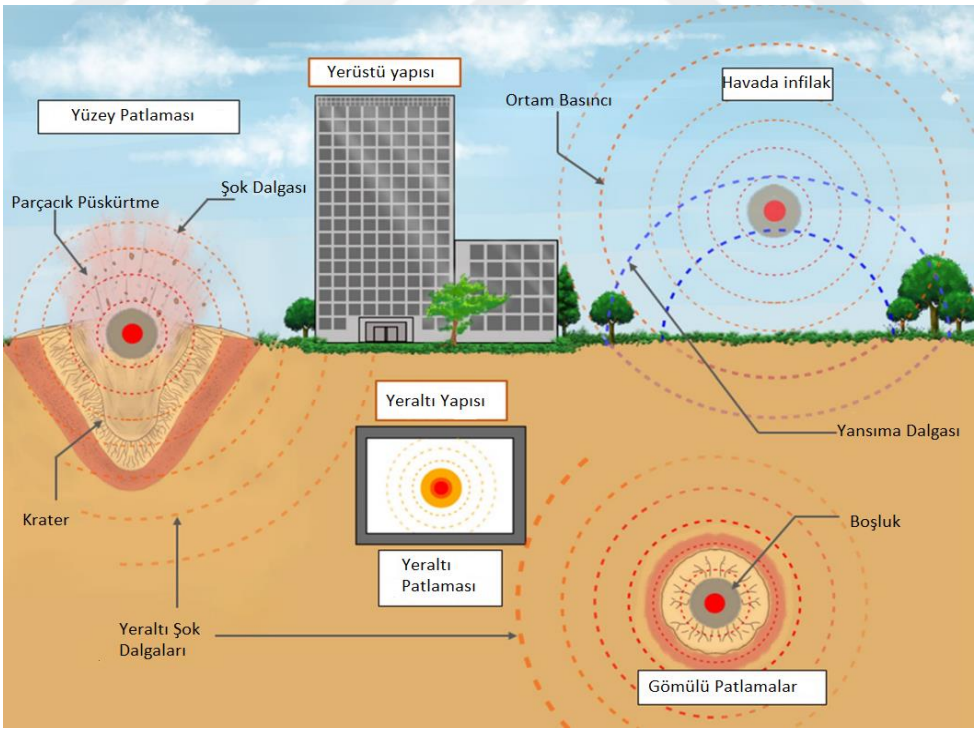
TNT gibi yoğunlaştırılmış yüksek patlayıcının infilak etmesi, ölçülebilen 300 Gpa'ya kadar basınç altında ve yaklaşık 4000-6000 °C' lik bir sıcaklık oluşturur. Patlama olayı kapalı ve açık ortamda farklı etkiler gösterir. Açık hava patlaması, patlayıcının bulunduğu yerin çevre atmosferini yüksek basınç altına alan, şok dalgası da denilen, yüksek enerjili bir yükleme çeşididir [2]. Yer üstü yapılarına etki eden bu şok dalgası yüklemesi yeraltı yapılarına ise zeminin titreşimi yoluyla etki eder. Şekil 1.1'de çeşitli senaryolara göre patlayıcı infilakı sonucu oluşan basınç dalgaları ifade edilmiştir [3].

Gösterilen senaryolardan diğer bir patlama türü ise yer temas ve yeraltı patlamalarıdır. Bu patlamalar yer altında biriken gaz patlamaları (grizu, doğal gaz vs.), TNT gibi patlama hızı yüksek patlayıcıların infilakı olarak tanımlanır. Yer üstünde patlama mekaniğinde olduğu gibi yeraltındaki patlamalarda da basınç dalgası yayılmaktadır (Şekil 1.1). Toprak ve kayaların doğası gereği izotropik olduğu ve yapısal özelliklerinin bölgeden bölgeye değiştiği göz önüne alındığında, jeo-malzemeler son derece tahmin edilemez olurlar. Farklı yükleme koşulları altında jeo-malzemenin davranışı birçok faktöre bağlıdır. İster patlama yüklemesi, ister malzeme, ister yapısal hususlar

olsun, mevcut sorunun analizini son derece karmaşık hale getiren, her seviyede yüksek derecede doğrusal olmamanın gözlemlenebileceği söylenebilir [3].

Yeraltı yapıları ulaşım, depolama, operasyon üsleri, önemli ekipman ve personelin korunması gibi birçok alanı kapsayan uygulamalarıyla onlarca yıldır sivil ve askeri altyapıların önemli bir parçası olmuştur. Bunun arkasındaki temel neden esas olarak dış etkenlerden kaynaklanan güvenlik duygusudur ve çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeraltı yapıları, her türlü dış yüklemeye karşı tampon görevi gören jeo-malzeme ile sarıldığı için üst yapılara göre çok daha az tehdide maruz kalmaktadır. Bu mantık, birçok stratejik ve operasyonel tesisin yeraltında inşa edildiği askeri sektörlerde yaygın olarak da benimsenmektedir. Bir geçiş yolu olarak, özellikle engebeli ve deniz altı bölgelerdeki zorlu arazi nedeniyle ulaşılması zor olan bölgelere erişim sağlarlar. Su, kanalizasyon veya diğer sıvıları taşıyan boru hatları yeraltı yapıları içinde büyük önem arzeder. Bu tesislerden herhangi birinin kesintiye uğraması, sosyo-ekonomik yapıyı etkileyebilir [3].

Patlayıcıların kullanıldığı terörist saldırıların artması nedeniyle, patlayıcı yükleme son yıllarda öne çıkmıştır. Ordular tarafından geliştirilen savaş başlıkları, özellikle derinde gömülü yer altı yapılarını yok edebilecek, toprağa nüfuz eden silahların geliştirilmesi de bir başka problemin kaynağıdır [3].



Şekil 1.1. Yer üstü ve yer altı yapılarıyla ilgili çeşitli patlama senaryoları

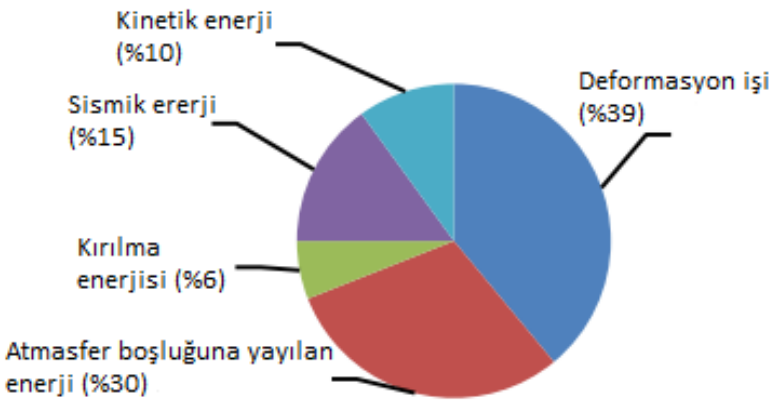
Bu dezavantajı ile birlikte patlayıcı madde kullanımı toplum yararına olan çalışmalarda da görülmektedir. Patlatmalı kazı bunlardan en fazla bilinendir. Patlatmalı kazı işlemi, maden ve inşaat

sektörlerinin vazgeçilmez faaliyetleri arasında yer almaktadır. Delme patlatmalı kazının ekonomik (Tablo 1.2) ve veya zorunlu olduğu taş ocakçılığı, madencilik, inşaat altyapı kazıları, tünel, boru hattı gibi çeşitli sektörlerde yaşanan sorunlar, yer sarsıntısı, taş savrulması ve toz emisyonu olarak sıralanmaktadır. Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı bileşenlerinin tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır. Oluşacak problemlerden dolayı üretim faaliyetlerinde aksamalar, işletmeler tazminat ödemek gibi problemlerle karşı karşıya kalmaktadır [4].

Bir patlatma olayında, tipik olarak enerjinin %15-39'unun parçalanma ve fırlatma, yani faydalı iş için kullanıldığı tahmin edilmektedir. Geri kalanı Şekil 1.2' de gösterildiği gibi patlamanın neden olduğu yer titreşimi, hava patlaması, uçan kayalar, ısı, ışık ve gürültü şeklinde israf edilir.

Tablo 1.2. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı birim fiyat listesindeki sert kaya ve çok sert kaya kazılması ile ilgili patlamalı ve patlama yapılmadan imalatlar arasındaki birim fiyatların oranı

1 m^3 Kazı			
Poz No	**İmalatın Adı**	**2023 Yılı Birim Fiyat (TL)**	**Oran**
15.120.1006	Makine ile patlayıcı madde kullanılarak sert kaya kazılması	78.86	%135.54
15.120.1007	Makine ile patlayıcı madde kullanmadan sert kaya kazılması	106.89	
15.120.1008	Makine ile patlayıcı madde kullanarak çok sert kaya kazılması	104.53	%138.28
15.120.1009	Makine ile patlayıcı madde kullanmadan çok sert kaya kazılması	144.54	



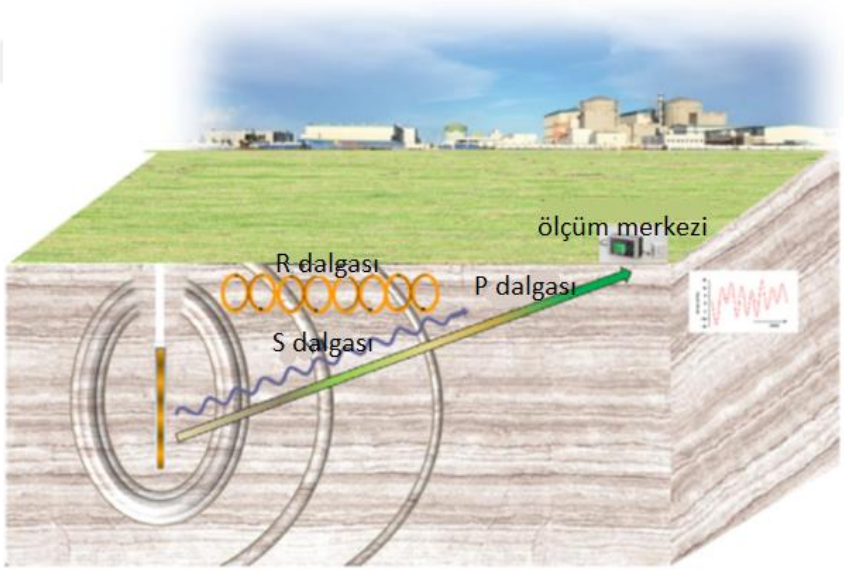
Şekil 1.2. Kaya patlatmasında patlayıcı enerji parçacıkları

Son zamanlarda, yeraltı ve yer üstü yapılarının tepkisini ve patlama yer hareketlerinden kaynaklanan hasarı araştırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Birçok araştırmacı, patlatma kaynaklı yer hareketinde yapısal tepkileri değerlendirmek için deprem mühendisliğindeki deneyim ve sonuçlarından yararlanmıştır. Bilindiği gibi genlik, frekans ve süre olmak üzere üç yer hareketi parametresi yapısal tepkileri oluşturacaktır. Patlama hareketleri deprem kaynaklı sismik harekete

göre önemli ölçüde daha yüksek genlik ve frekans içeriğine sahip olmasına rağmen daha kısa süreye sahip olduğundan, bir yapının patlama hareketine karşı tepki özellikleri ve hasar mekanizması çok farklı olacaktır [5].

Teorik olarak, küresel bir patlayıcının ürettiği elastik dalga yalnızca radyal yönde titreşir, yani yalnızca P dalgaları hesaba katılır. Ancak patlama bölgesine yakın alandaki titreşim ölçüm sonuçları, P dalgasına ilave olarak S dalgalarının da mevcut olduğunu gösterilmiştir. Oluşan bu dalgalara ek olarak, P dalgaları, S dalgaları ve jeolojik cisimler arasındaki etkileşimle Rayleigh dalgası (R dalgası) adı verilen ikincil bir dalganın da oluştuğu ölçülmüştür. R-dalgası, dalga yayılma yönüne dik eliptik bir yol boyunca zemin yüzeyi boyunca yayılır. R dalgaları bir patlama bölgesi merkezinde oluşmaz, yayılma mesafesiyle birlikte yavaş yavaş büyüyerek gelişir. R dalgalarının başlangıç konumu, dalga hızları ve yük derinlikleriyle ilişkiliydir. Bu nedenle, tipik patlatma titreşim dalgası, Şekil 1.3'de gösterildiği gibi esas olarak üç dalga bileşeninden oluşan bileşik bir dalgadır [5].

P, S ve R dalgalarının kendi gelişim özellikleri vardır. Örneğin P ve S dalgaları yakın alan bölgesinde baskın etkilere sahiptir. R dalgası yakın alan bölgesinde daha az baskın bir rol oynar, ancak patlatma titreşimine katkısı mesafeyle birlikte giderek artar [6].



Şekil 1.3. P, S, ve R dalgalarının sanal görünümü [5]

1.1. Hasar Sınıflama, Uluslararası Titreşim Değerlendirme Normları ve Yaşanan Çevresel Sorunlar

Patlatma sonucu oluşan zemin titreşimleri, kısa süreli ve düzensiz yer hareketleridir. Zemindeki bir parçacığın hareket hızına parçacık hızı denir. Parçacık hızı sıfırdan başlar en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Yer sarsıntıları açısından en önemli husus en yüksek

parçacık hızıdır (PPV). Çünkü en yüksek hız değeri ne kadar büyük ise yapı da o denli yüksek şiddette sarsılır ve hasar görür. Frekans (f) ise, zemindeki bir parçacığın 1 saniyede kaç kez sarsıldığını yani sarsılma sıklığını gösterir. Frekans Hertz (Hz) birimi ile ifade edilir.

1.1.1. Hasar Sınıflaması

Patlatma hasar normlarından en çok kulanılanları, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, ABD Madencilik Bürosu'nun hasar kriteri ve Alman DIN4150 normu, USSR standardı Avustralya standartlarıdır. Hasar sınıflaması Tablo 1.3- Tablo 1.8'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri

Titreşim frekansı (Hz)	İzin verilen en yüksek titreşim hızı (Tepe değeri-mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50

(1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir.)

Tablo 1.4. ABD standardı

Yapı tipi	PPV (mm/s)	
	Frekans (<40 Hz)	Frekans (>40 Hz)
Modern inşaat teknikleri kullanılan	18.75	50
Eski zaman tasarımları	12.5	50

Tablo 1.5. Alman DIN4150'den sonra Alman standardı (1986)

Yapı tipi	PPV (mm/s) (zeminde)		
	<10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz
Endüstriyel yapılar	20	20-40	40-50
Barınma yapıları	5	5-15	15-20
Titreşime karşı hassas yapılar	3	3-8	8-10

Tablo 1.6. SSCB standardı

Yapı tipi	Müsaade edilen PPV (mm/s)	
	Repeated	One fold
Hastaneler	8	30
Büyük panel yapılar	15	30
Konut ve kamu binaları	30	60
Ofis ve endüstriyel binalar, yüksek betonarme bacalar, demiryolu ve su tünelleri, trafik üst geçitleri	60	120
Tek katlı iskelet tipi sanayi yapıları, metal ve blok betonarme yapılar, ana yapıların parçası olan toprak şevler, ana maden açıklıkları, ocak dipleri, ana girişler, galeriler	120	240

Tablo 1.7. Avustralya standardı 2006

Yapı tipi	Maksimum değer
Tarihi bina ve anıtlar ile özel değere sahip binalar	15 Hz'den düşük frekanslar için 0.2 mm yer değiştirme
Evler ve alçak konut binaları, aşağıda yer almayan ticari binalar	15 Hz'den büyük frekans için 19 mm/s sonuç ppv
Ticari binalar ve endüstriyel binalar veya betonarme veya çelik konstrüksiyon yapılar	0.2 mm maksimum yer değiştirme, 10 Hz'de 12,5 mm/s ppv'ye ve 5 Hz'de 6.25 mm/s'ye karşılık gelir

Tablo 1.8. Maden bölgesindeki yapıların temel seviyesinde mm/s cinsinden izin verilen Pik Parçacık Hızı (PPV) (1997 DGMS Genelgesi 7)

Yapı tipi	Baskın uyarılma frekansı, Hz		
	< 8 Hz	8-25 Hz	> 25 Hz
(A) Sahibine ait olmayan binalar/yapılar			
1. Evler/yapılar (kuchcha, tuğla ve çimento)	5	10	15
2. Endüstriyel binalar	10	20	25
3. Tarihi öneme sahip nesneler ve hassas yapılar	2	5	10
(B) Sahibine ait olan ve sınırlı ömrü olan binalar			
1. Evler/yapılar	10	15	25
2. Endüstriyel binalar	15	25	50

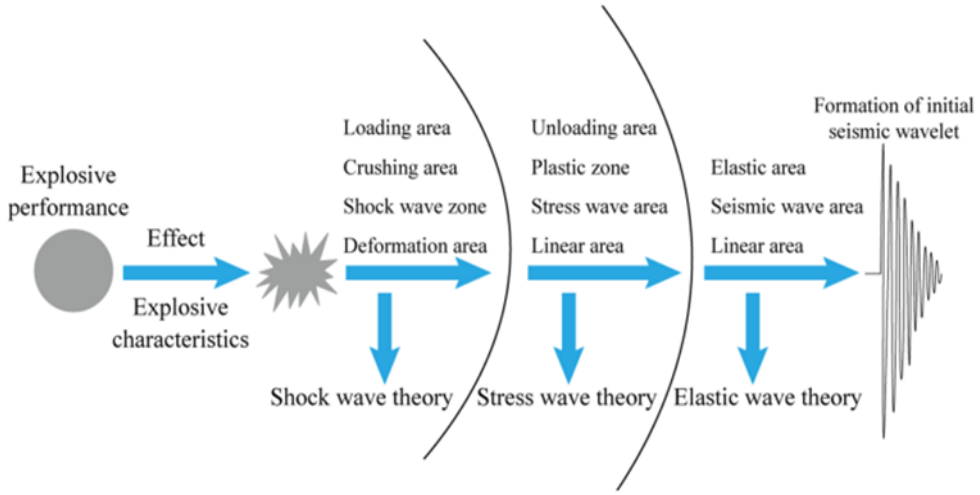
Yukarıda bahsedilen genel bir özetleme ile birlikte bu tez çalışmasında ise Zemin Üstü Temas Patlamalarının Yeraltı Yapılarına Etkisi araştırılmıştır. Araştırmamızda, kalker zemin üzerindeki yapıya gelen parçacık hızı (PPV) yerine genel olarak dinamik hesaplamalarda kullanılan pik paracık ivmesi (PPA) üzerinde yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

Tezin 1. Bölümünde patlatma olayı ile ilgili bir giriş yapılmış, 2. Bölümünde konu ile ilgili literatür çalışması, 3. Bölümde sahada yapılan deneysel çalışmalar, 4. Bölümde yapılan deneysel çalışmalara ait çıktılar ve 5. Bölümde ise elde edilen sonuçların genel değerlendirilmesi ve önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Araştırmacılar zemin üzerinde temas halinde ve zemin altında yapılan patlatmalar ile ilgili yaptığı çalışmalarda deneysel, sayısal ve simülasyon olarak uzun yıllardır çalışmışlardır. Ancak ölçüm cihazlarındaki gelişmeler bu araştırmalardaki gerçeğe yakın davranışın belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla son 20 yıl içerisindeki literatür taramasının tez konusunun yansıtılmasında aydınlatıcı olacağı belirlenmiştir.

Patlayıcı kaynaklı sismik dalgaların yayılma özelliklerini etkileyen birçok faktör vardır. Patlatma titreşimleri sadece dinamit ile kaya kütlesi arasındaki etkileşimi değil aynı zamanda sismik dalganın tabakadaki yayılımını da içerir. Patlama kaynağının, sismik dalgaların uyarılma yasası üzerindeki etkisi nispeten karmaşıktır ve sismik dalganın patlayıcı kaynak tarafından uyarılma süreci Şekil 2.1'de gösterilmektedir [7]. Kaya-toprak ortamı ile sismik dalga arasında yakın bir ilişki vardır. Patlayıcı kaynağın yayılması dinamit tarafından üretilen sismik dalgacık pratikte çok karmaşık bir problemdir ve sismik dalgacık kendisi de karmaşık bir cisim olan tabakalı kayanın özelliği ile ilgilidir. Pek çok çalışma, kaya kütlesi özelliklerinin, kaya türü, kayanın ayrışması, yeraltı suyu seviyesi, topografya, jeomorfoloji ve diğer faktörler de dahil olmak üzere patlayıcı kaynaklı sismik dalgaların yayılma özelliklerini etkileyen ana faktörlerden biri haline geldiğini göstermiştir. Bazı akademisyenler, yer şekillerinin patlayıcı titreşim dalgalarının yayılma kanunu üzerindeki etkisini araştırmışlardır ve araştırma sonuçları temel olarak düz arazi altında patlatma titreşimi ve zayıflama kanununa, içbükey yer şekillerinin zayıflama etkisine, dışbükey yer şekillerinin büyütme etkisine vb. odaklanmaktadır.



Şekil 2.1. Patlayıcı kaynakların sismik dalga süreçlerini harekete geçirmesi

Hong Hao ve vd. 2001'de eklemli kaya kütlesindeki patlamaların neden olduğu yüzey yer hareketlerinin özellikleri konulu çalışmada dik çatlaklı kayalarda gerilme dalgası yayılımı üzerindeki etkilerini araştırmak için bir deneysel program uygulamışlardır. Eşdeğer TNT patlatma ağırlığı 2,5 ila 50,0 kg arasında değiştirilmiştir. Çalışmada kaydedilen veriler ve bu verilerden yapılan analizler sunulmuştur. Çalışmada, kayadaki çatlakların sönümleme görevini gördüğü ifade edilmiştir. Yazarlar, saha çalışmasında çok sayıda patlatma yapmış ancak sadece kaya yüzeyinde ölçtükleri ivme değerlerini yayınlamışlardır. İvmeölçerlerin örnekleme hızı 100 ms ve kayıt süresi otomatik tetiklemeden dolayı 2 sn olarak belirtilmiştir. İki eksende ivme ölçümü yapılmıştır. Pik yer ivmesi için Denklem (2.1) kullanılmıştır [8].

$$\mathrm{PGA} = 0.81\mathrm{g}\left(\frac{30.5}{R}\right)^{1.84}\left(\frac{c}{3050}\right)^{1.45}\left(\frac{W}{4.54}\right)^{0.28}\left(\frac{2.4}{p}\right)^{0.28} \tag{2.1}$$

Burada g; yerçekimi ivmesi, R; patlayıcı ile ivme ölçer arasındaki mesafe, s; sitedeki sismik dalga hızı, Ro; kayanın yoğunluğu, W; tnt cinsinden patlayıcı ağırlığıdır. Çatlağa paralel ve dik uzaklıkta 50 m uzakta 25 kg yük için 2.5, 8 ve 6.14 m/s^2 ivme ölçülmüştür. İvme zaman hız zaman ve frekans zaman eğrilerini çizilmiştir. Yazarlar yükü 50 kg'ye çıkarmış ve 6-20 ve 7-24 ivme ölçümü yapmıştır. Sonuçta çatlağın sönümlemeye etkisini ispatlamışlardır [8].

Hao ve ekibi (2001), eklemli kaya kütlesindeki patlamaların neden olduğu yüzey yer hareketlerinin özelliklerini araştırdıkları çalışmada, üç farklı açıda (paralel, dik ve 45°) 8 patlatma gerçekleştirerek elde ettikleri verileri değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, gerilme dalgasının, kaya eklem setine dik yönde yayılırsa en hızlı zayıfladığı, kaya eklem setine paralel yönde yayılırsa ise en yavaş zayıfladığı tespit edilmiştir [9].

Köksal ve Karaca (2020), çalışmalarında patlatma kaynaklı yer hareketlerinin istinat duvarları üzerindeki dinamik etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, donatı istinat duvarının üç boyutlu sonlu elemanlar modeli ile tasarımı yapılmış ve donatı istinat duvarının maksimum gerilmeleri ve yer değiştirmeleri araştırılmıştır. Sonuçta, yük ağırlığı arttığında (sabit yük merkezi), yer değiştirmeler ve Von Misses gerilmelerinin de arttığı görülmüştür. Bu nedenle, istinat duvarları, köprüler, barajlar ve tarihi binalar gibi önemli yapılar için patlamanın neden olduğu yer hareketinin de dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir [10].

Kemal Hacıefendioğlu ve arkadaşları (2014), yaptıkları çalışmada yapay olarak oluşturulan yüzey patlaması kaynaklı yer şokuna maruz kalan endüstriyel kagir bacanın dinamik tepki analizini sunmuşlardır (Şekil 2.2). Yüzey patlamalarından kaynaklanan yer şoklarının yakındaki yapılar üzerindeki etkileri, patlama merkezi ile yapı arasındaki mesafeye ve şarj ağırlığına oranı ile bacaya yer ivmeleri verilerek dinamik analiz yapmışlardır [11] .

Şekil 2.2. Dinamik tepki analizi yapılan kagir baca

Chengqing Wu vd (2004) yaptıkları çalışmada yeraltındaki bir boşlukta oluşacak olan patlama nedeniyle granit sahasındaki stres dalgasını simüle etmek için bir sayısal model kullanmışlardır. Simüle edilmiş stres dalgası kullanılarak, PPV ve PF zayıflaması gibi ilişkilerin yanı sıra zemin yüzeyinde ve serbest alandaki hareketlerin yerel değişimi türetmişlerdir. 10mx10mx10m boyutlarındaki bir boşluk ve merkezinde bulunan patlayıcı için, serbest alandaki simüle edilmiş verilerden elde edilen PPVF ve PPAF değerleri Denklem (2.2)- Denklem (2.5) ile hesaplanmıştır [12].

$$PPV^{F}=1.814f1^{F}\,(R/Q^{1/3})^{-1.1452} \tag{2.2}$$

$$PPA^{F}=210g1^{F}(R/Q^{1/3})^{-1.9024} \tag{2.3}$$

$$f1^{F}= 0.117\,(Q/V)^{0.299} \tag{2.4}$$

$$g1^{F}= 3.776\,(R/Q^{1/3})^{-1.9024+1.548(Q/V)0.00295}\,(Q/V)^{-0.1844} \tag{2.5}$$

Simülasyon sonucunda bulunan Denklem (2.6)- Denklem (2.9) ise;

$$PPV^{S}=2.981f1^{S}\,(R/Q^{1/3})^{-1.3375} \tag{2.6}$$

$$PPA^{S}=351g1^{S}(R/Q^{1/3})^{-2.0975} \tag{2.7}$$

$$f1^{S}= 0.121\,(Q/V)^{0.2872} \tag{2.8}$$

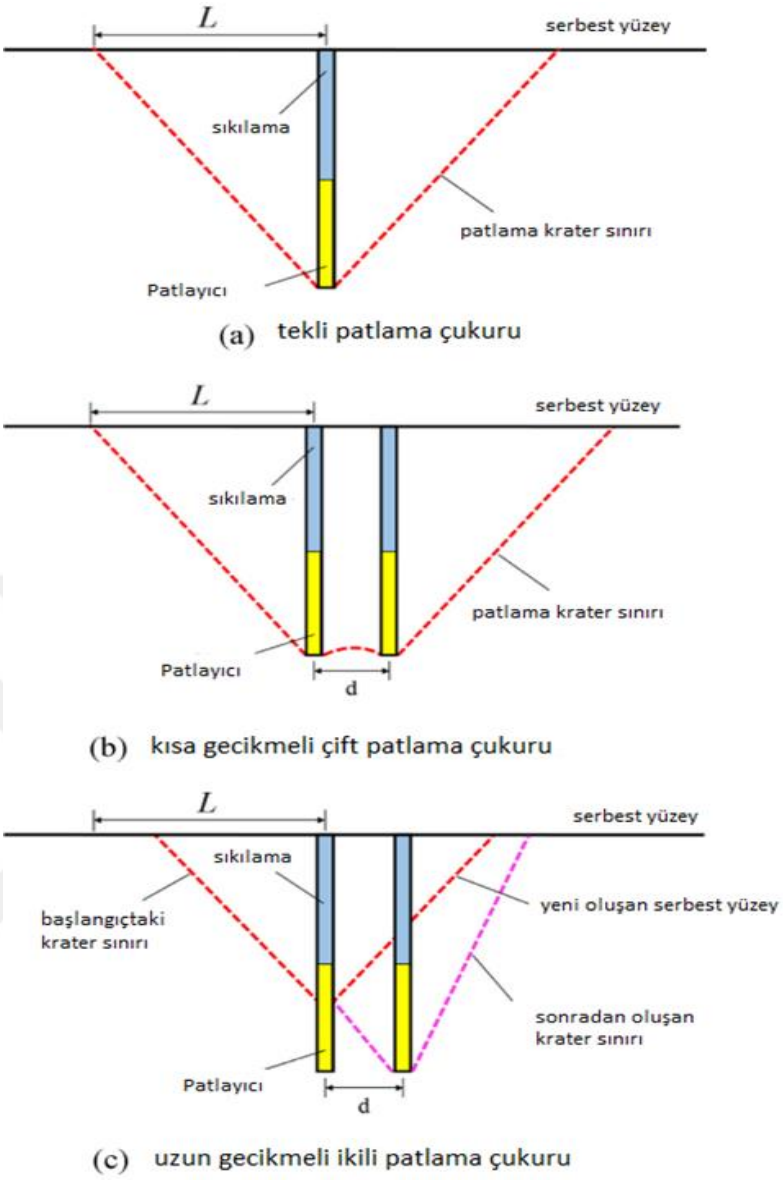
$$g1^{S}= 2.996\,(Q/V)^{-0.1514} \tag{2.9}$$

Zemin yüzeyinde ve serbest alanda stres dalgası yayılımının özelliklerini bulmak için simülasyon yapılmıştır. Zemin yüzeyinde ve serbest alanda farklı yükleme yoğunlukları altında gerilme dalgasının PPV, PPA ve PF zayıflama ilişkileri elde edilmiştir. Yüzey yansımasının kaya yüzeyindeki gerilme dalgasının özelliklerini büyük ölçüde etkilediği bulunmuştur [12].

Yu Yan vd. yer titreşimini belirleyen mekanizmayı açıklamışlardır. Serbest yüzeyler, delik çapı, delik derinliği, yük tipi, patlatma gecikmesi ve jeolojik koşullar gibi parametrelerin yer titreşiminin belirlenmesini etkilediğini göstermişlerdir. Ayrıca, patlayıcı miktarı ve delik sayısının yer titreşimi üzerindeki etkilerinin tartışmalı olduğu ifade edilmiştir. Yer titreşimini belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılırken, bu incelemede ampirik denklem ve sayısal simülasyon yöntemleri özetlenmiştir [13].

Gecikmeli patlatma, kaya parçalanmasını iyileştirmek ve patlamanın neden olduğu titreşimi azaltmak için etkili bir tekniktir. Bu teknik, sadece kaya kırma verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda patlatma titreşiminin etkisini de fark eder [14]. Gecikmeli patlatmanın amacı, istenen kaya parçalama etkisini elde etmek ve patlatma titreşiminin yoğunluğunu azaltmak için patlatıcının patlama süresini ve patlama sırasını kontrol etmektir [15]. Ancak farklı patlatma türleri için birkaç milisaniyelik kısa zaman adımlarının optimizasyonu delme ve patlatmanın özel koşullarına bağlıdır. Uygulamada, farklı projelerde istenilen etkiyi elde etmek için farklı gecikme başlatma süreleri seçilir. Örneğin, uzun gecikmeli patlatma, bir sonraki patlama deliği patlaması için yeni serbest yüzeyler üretebilir ve madencilikte yaygın olarak kullanılır [13].

Qiu ve arkadaşları, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, farklı koşullar altında bir patlatma kraterinin oluşum mekanizmasını açıklamışlardır [16]. Yük, tek yüzeyli bir patlama deliğinde patlatıldığında, patlama basıncı ve yüksek basınç nedeniyle bir patlama krateri oluşmuştur [17]. Elektronik kapsüllerin gelişmesiyle elektronik kapsüllerin doğruluğu 1 ms içerisinde kontrol edilebilmektedir. Yükün sınırı nedeniyle, tek bir patlatma deliği, özellikle artan sondaj derinliği ile büyük bir krater oluşturamaz. Yakın aralıklı çok sayıda patlatma deliği ile kısa gecikmeli bir patlatma ideal bir krater oluşturabilir [13].



Şekil 2.3. Ertelemeli patlama mekanizması [13]

Gecikmeli patlatma yalnızca kaya parçalanma seviyesini etkilemez, aynı zamanda gecikme başına maksimum şarj azaldığından patlamanın neden olduğu titreşimi de kontrol eder. Şu anda, spektral analiz, gecikme aralığını optimize etmek ve patlamanın neden olduğu titreşimi azaltmak için ana yöntemdir [13,16,18,19]. Blair ve Armstrong (1999), delikten aynı uzaklıktaki farklı noktalarda yer titreşimi seviyesini azaltmak için patlatmayı geciktirmenin gerekli olmadığını öne sürmüştür. Gecikmeli patlatma patlatma titreşimini azaltabilirken, kaya kırma etkisi ve diğer patlatma etkileri beklenen parçalanmaya ulaşamayabilir [20]. Rossmanith (2002), kaya parçalanmasını iyileştirmek ve patlamanın neden olduğu titreşimi azaltmak için kısa gecikmeli patlatma gerçekleştirilmiştir [21]. Shi ve Chen (2011), farklı gecikme sürelerinde (15 ms, 25 ms, 30 ms, 35 ms ve 40 ms) testler gerçekleştirerek gecikme süresinin patlama kaynaklı titreşim

üzerindeki etkisini analiz etmek için saha testleri gerçekleştirmiş ve 15 ms'nin olduğu bulunmuştur. Sonuçta gecikme süresi en iyi titreşim azaltımını gerçekleştirmiştir [22]. Qiu ve diğerleri. (2018), farklı gecikme aralıklarına (0 ms, 8 ms, 13 ms ve 17 ms) sahip iki deliğin PPV'lerini karşılaştırmış ve kısa gecikmeli patlatmanın eş zamanlı patlatmaya kıyasla yer titreşimi seviyesini azaltabildiğini bulmuşlardır. Farklı gecikme aralıkları için (8 ms, 13 ms ve 17 ms), gecikme süresinin yer titreşimi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Eş zamanlı başlatmayla karşılaştırıldığında, gecikmeli patlatma, gecikme başına maksimum şarjın kalitesini düşürür, bu da enerji salınımını azaltır ve yer titreşimini etkili bir şekilde etkiler [16]. Qiu ve diğerleri (2018) ve Blair ve diğerleri (1993) tarafından önerildiği gibi, gecikmeli patlatmanın yer titreşimi üzerinde etkisi vardır [16,20]. Bu nedenle gecikmeli patlatma, yer titreşimini azaltacak bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Ancak gecikme süresinin yer titreşimini azaltmadaki etkisi literatürde açık değildir.

Yer titreşimi için tahmin modellerinin ilk PPV'yi tahmin etmeye yönelik ampirik denklemin USBM (1930) tarafından önerildiği ve bu, yüzey topluluklarına verilen hasarın temel tahmin denklemi olarak kabul edildiğinden bahsedilmektedir. PPV, boyuna hız (VL), enine hız (VT) ve dikey hız (VV) olmak üzere üç bileşene ayrılabilir ve PPV, Denklem (2.10) kullanılarak hesaplandığını belirtmişlerdir [13].

$$\text{PPV} = \sqrt{VL^2 + VT^2 + VV^2} \tag{2.10}$$

Duvall ve Fogelson (1962) yaptıkları çalışmadan bahsederek patlayıcı sismik dalgaların zayıflamasını ve çeşitli binalar için sismik standartlar oluşturduklarını belirtmişlerdir. Hız için Denklem (2.11) önerilmiştir [23].

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{\mathrm{R}}{\sqrt{Q}}\right)^{-\propto} \tag{2.11}$$

Burada; R, patlama deliği konumu ile izlenen nokta arasındaki mesafedir; Q, gecikme başına yükün maksimum ağırlığıdır; k ve α ampirik sabitlerdir. k sabiti, kaya özelliklerinin ve jeolojik süreksizliklerin etkisi ile ilgilidir. Sabit, α mesafe ve tasarım parametreleriyle birlikte kayıp enerjiyi temsil eder [23].

Sonraki yıllarda araştırmacılar (Langefors ve Kihlstrom), PPV'yi tahmin etmek için farklı bir denklem (2.12) önermişlerdir [24]:

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{\mathrm{Q}}{\sqrt{R^{2/3}}}\right)^{\propto} \tag{2.12}$$

USBM araştırmacıları (1968), gerçek mesafenin patlayıcı ağırlığının küp köküne bölünmesini önererek Denklem (2.13)'ü küresel geometri için değiştirdiler. Değiştirilen denklem şu şekilde yazılmıştır [25]:

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{\mathrm{R}}\right)^{\propto} \tag{2.13}$$

Hint Standartları Bürosu 1973 yılında, mesafe ile patlayıcı ağırlığı arasında Denklem (2.14)'te gösterildiği gibi ampirik bir ilişki önermiştir [13].

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{Q}{R^{2/3}}\right)^{\propto} \tag{2.14}$$

Denklemler (2.11)-(2.14) farklı ülkelerde en yaygın ampirik denklemlerdir. Ancak bu denklemlerde gösterilen parametreler (Q, R ve jeolojik durum), PPV'yi tahmin etmek için kullanılan tek parametreler olmasından dolayı PPV'nin tahmini doğru olmamaktadır [13]. Denklem (2.11) ve Denklem (2.13)'den yola çıkarak, Ghosh ve diğerleri 1983 yılında küresel yüke ve silindirik yüke göre yayılma ilişkilerini yeniden formüle etmişlerdir. Dalga yayılımı sırasındaki absorpsiyonu dikkate alarak PPV'nin Denklem (2.15) ve Denklem (2.16)'da gösterildiği gibi üstel olarak azaldığını öne sürmüşlerdir; burada b, elastik olmayan zayıflama faktörünü temsil etmektedir [26]. Denklem (2.17)'deki R/Q oranı, Gupta ve diğerlerinin (1988) de önerdiği gibi [27] elastik olmayan zayıflama faktörünü temsil etmektedir.

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{\mathrm{R}}{\sqrt{Q}}\right)^{-\propto} \mathrm{e}^{-\beta \mathrm{R}} \tag{2.15}$$

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{\mathrm{R}}{\sqrt[3]{Q}}\right)^{-\propto} \mathrm{e}^{-\beta \mathrm{R}} \tag{2.16}$$

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{\mathrm{R}}{\sqrt{Q}}\right)^{-\propto} \mathrm{e}^{-\beta(\mathrm{R}/\mathrm{Q})} \tag{2.17}$$

Patlayıcı miktarının patlatma titreşimi üzerindeki etkisi halen tartışmalı olsa da Bilgin ve arkadaşları (1998), Denklem (2.18)'de gösterildiği gibi klasik tahmin modellerine yük parametresini ekleyerek bir denklem önermişlerdir [28]. Murmu ve diğerleri (2018), deneysel modelin Mont-Carlo (MC) simülasyonu aracılığıyla yükü dikkate alarak ve göz ardı ederek Denklem 2.19 ve Denklem 2.20'de gösterildiği gibi iki yeni tahmin modeli önermişlerdir [29]:

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{\mathrm{R}}{\sqrt{Q}}\right)^{-\propto} \beta^{\beta} \tag{2.18}$$

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{Q}{Q^{2/5}}\right)^{-\propto} e^{\beta(R/\sqrt{B})} \tag{2.19}$$

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{R}{Q^{2/5}}\right)^{-\propto} \tag{2.20}$$

Burada B parametresi yükü temsil eder. Roy, 1991, Denklem (2.21)'i önermiştir [30]. Yılmaz (2016), çoklu doğrusal regresyon analizi ile yeni ampirik denklemler önermiş ve Denklem (2.22)'nin geleneksel ampirik denklemlere göre daha yüksek tahmin performansına sahip olduğunu bulmuştur [31].

$$PPV = \mathrm{n} + \mathrm{k}\left(\frac{\mathrm{R}}{\sqrt{Q}}\right)^{-1} \tag{2.21}$$

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{R^{1/4}}{Q^{1/6}}\right)^{-\propto} e^{\beta(R/\sqrt{B})} \tag{2.22}$$

Denklem 2.11-2.22'deki ampirik denklemlerin çoğu deliklerin maksimum yükünü, patlatma kaynağından izleme konumuna olan mesafeyi, yükü ve jeolojik faktörleri içermektedir. Ancak bazı araştırmacılar yer titreşimini tahmin etmek için sahaya özgü parametreleri (örneğin jeolojik süreksizlikler ve süreksizlik frekansı) dikkate almıştır [13]. Ak ve diğerleri (2009), süreksizlik frekansının etkilerini ekleyerek denklem (2.23)'ü geliştirmiştir [32]. Simangunsong ve Wahyudi (2015), Denklem (2.24)'teki gibi kömür madenleri için uygun bir tahmin denklemi geliştirmiştir [33]. Kumar ve diğerleri (2016), kaya kalitesi tanımı (RQD), jeolojik dayanım indeksi (GSI) ve tek eksenli basınç dayanımı (UCS) gibi kaya parametrelerini dikkate alarak bir tahmin modeli önermiştir. Modeller Denklem (2.25) ve Denklem (2.26)'da gösterilmektedir [34].

$$PPV = \mathrm{k}\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{\mathrm{R}}\right)^{\propto} \lambda^{\beta} \tag{2.23}$$

$$PPV = \mathrm{k}\left[(1 + cos\theta i + logNc)\frac{R}{\sqrt{Q}}\right]^{-n} \tag{2.24}$$

$$\mathrm{PPV} = \frac{fc^{0.462}R^{-1.463}}{\gamma} \tag{2.25}$$

$$\mathrm{PPV} = \frac{\left(0.3396\ x\ 1.02^{GSI}GSI^{1.13}\right)^{0.642} R^{-1.463}}{\gamma} \tag{2.26}$$

Burada, λ süreksizlik frekansını temsil eder, β bir süreksizlik frekans katsayısı; θi ve Nc sırasıyla geliş açısını ve kömür tabakalarının sayısını temsil eder [34].

Siniša Stankovi´c vd. (2022), PPV'nin yanlış ölçülen değerin model veya tahmin geliştirme sürecine dahil edilmesi durumunda, çevre yapıların zarar görmesine veya patlatma işlerinin maliyetinin artmasına yol açabilecek hatalı sonuçlar elde edilmesine neden olacağını ve titreşim hızı verilerinin nasıl doğru şekilde doğrulanacağını ve bunun patlama kaynaklı sismik ölçüm sonuçlarını nasıl etkilediğini ifade etmişlerdir. Şekil 2.4'de önermiş oldukları bu teoriyi, farklı ölçüm teknikleri ve farklı mikro jeolojik alanlarda gerçekleştirerek ispatlamaya çalışmışlardır [35].

Şekil 2.4. Patlama testlerinin gerçekleştirildiği arazi

Güvenilir değişkenlerin sayısını azaltmak için test patlamaları sabit miktarda patlayıcıyla ve sınırlı olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm patlatma delikleri, 3 m derinliğinde delinmiş ve 89 mm delme çapına sahip tek bir "ELEXIT-2" patlayıcı kartuşu ile doldurulmuştur, çünkü patlatma deliği çapının patlamanın neden olduğu yer salınım hızını etkilediği iyi bilinmektedir. Serbest yüzeyin patlatma sonuçları üzerindeki etkisini önlemek için, tüm patlatma delikleri kapatılmıştır. Patlatmaların aynı bankta, yani deniz seviyesinden aynı yükseklikte gerçekleştirilmesiyle topoğrafik faktörler ortadan kaldırılmıştır. Kullanılan patlayıcının teknik özellikleri; suya dayanıklı jelatinimsi dinamit, uzunluğu 590 mm, çapı 65 mm, toplam miktarı 2.778 kg (tek kartuşun ağırlığı), patlayıcı yoğunluğu 1400 kg/m^3 ve VoD 5500 m/s olarak belirlenmiştir. Tüm patlamalar için aynı patlayıcının tek kartuşu kullanılmasına bakılmaksızın, hesaplamalar ölçekli bir mesafe ile yapılmıştır, böylece nihai çözüm farklı tip ve miktarlarda patlayıcı ile kullanılabilmiştir [35].

Kemal Hacıefendioğlu vd. (2020) yaptıkları çalışmada kazıklı radye temel sistemine sahip bir dairesel su tankı kulesinin dinamik davranışını ve fabrika dairesel kule bacalarının, toprak-kazık-yapı-akışkan etkileşimini şok-yer hareketine göre hesaplamaya çalışmışlardır. Bir bilgisayar programı kullanılarak oluşturulan yer şoku ivme zaman grafikleri, şok tepki spektrumlarıyla üretmişlerdir. Şok tepki spektrumunu hesaplamada, kontrollü patlatma tekniklerinin, bazı yapıların, tünellerin, gömülü temellerin vb. inşaat aşamalarında veya kaya kaldırma, taş ocakçılığı ve bitmiş şevlerin hazırlanması aşamalarında, her ortamın aşırı karmaşıklığı nedeniyle yararlı olabileceğini, yeraltı patlatmasının yalnızca yer hareketi dalgaları ürettiğini ve bunun da yer titreşimine neden olacağını, kontrollü patlamalar altında patlamanın neden olduğu yer hareketleri ölçülebilir uyarılar olduğunu, ancak bu uyarılar toprak tipine, patlatma mesafelerine ve şarj ağırlıklarına bağlı olarak farklı frekans genliklerinde meydana gelebileceğini açıklamışlardır. Patlama yüklerinden kaynaklanan yer hareketlerinin zaman geçmişini belirlemenin zorluğundan dolayı çeşitli genliklere sahip zaman tanım alanı analizi yerine genelleştirilmiş şok uyarımı olan tepki spektrumu yöntemini

kullanmanın mühendisler için daha doğru olacağını ve yeraltı şok yer hareketleri ampirik bir formülle belirlenebileceğini yazmışlardır. Bu denklemler yer yüzeyinde veya yakınında TNT patlamaları içindir. Yer şoku parametreleri üzerinde şarj ağırlığı ve patlamaya olan mesafe etkilidir. Denklem (2.27), kaya ortamları için zemin yüzeyinin maksimum yatay ivmesini (PPA) göstermektedir [36].

$$PPA = 3.379R^{-1.45}\ Q^{1.07}\ (g) \tag{2.27}$$

Burada R, patlama noktasından olan mesafedir (metre cinsinden) ve Q, TNT şarjının ağırlığıdır (kilogram cinsinden) [36].

Katol vd. (2015), yaptıkları çalışmada patlama kaynaklı zemin sıvılaşması üzerinde durulmuştur. Testler güçlendirilmiş ve doğal zeminlerde yer titreşimleri ölçülmüştür. -2,4 m'den -9,7 m'ye kadar gömülen ve yük ağırlıkları 0,55 kg ile 2,8 kg arasında değişen patlayıcılar, 105 ms gecikmeyle patlatılmıştır. Farklı güçlendirilmiş zeminlerle patlama kaynaklı sıvılaşma testinden elde edilen tepe parçacık hızı (PPV) ölçümlerini ve güçlendirmenin zemin titreşimleri üzerindeki etkinliğini değerlendirmek için PPV değerlerini diğer sahalarla karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, doğal toprakta maksimum 0,29 m/s'lik bir PPV'nin kaydedildiğini ve güçlendirilmiş topraklarda maksimum 0,26 m/s'lik bir PPV'nin kaydedildiğini göstermiştir. Regresyon analizi, C katsayısı ve zayıflama katsayısı n'nin, R'nin patlayıcılara olan radyal mesafe ve W'nin şarj ağırlığı olduğu tüm durumlar için Denklem (2.28) ile açıklanan en uygun matematiksel modeli sağladığını belirtmişlerdir [37].

$$PPV = C\ (R/\sqrt{W})^{-n} \tag{2.28}$$

Danqing Song vd. (2022) yaptıkları çalışmada, patlama kaynaklarının neden olduğu sismik dalgaların kaya şev sahalarının dinamik tepki özelliklerine etkisini araştırmışlar ve bunun inşaat mühendisliğini etkileyen en önemli problemlerden biri olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada kaya alanlarındaki patlayıcı kaynakların neden olduğu sismik dalgaların dalga yayılma özelliklerini ve zayıflama yasasını zaman ve frekans alanları perspektifinden araştırmışlardır. Sonuçta,

1. Dalgaların hız ve yer değiştirme alanlarının analizi, kaya şev sahasındaki dalga yayılımının yay ile karakterize edildiğini göstermektedir. Patlama süresi ve patlama kaynağından uzaklaştıkça dalgaların genliği giderek azalmıştır. Zemin yüzeyinin dalga zayıflatma etkisi ana kayadakinden daha küçük olduğunu, yüksek frekans spektrumunun genliğini büyük ölçüde azaltan patlama kaynağının yakınında (20 Hz) olduğunu, Sismik dalga enerjisi kısa sürede (0-0,3 s) hızlı bir zayıflama etkisine sahip olup, patlatma süresi >0,3 s olduğunda zayıflama etkisi giderek azalarak sabit hale geldiğini belirtmişlerdir.

2. Zaman ve frekans alanı analizi, patlama kaynağından uzaklaştıkça dalgaların kademeli olarak zayıfladığını göstermektedir. Patlama kaynağı, 25 m aralığında dinamik tepki üzerinde en

büyük etkiye sahiptir ve patlama kaynağından 100 m'nin ötesinde olduğunda etki küçüktür. Patlama kaynağından 25 m uzaklıkta dalgaların dinamik tepkisi daha büyüktür ve zayıflama oranı en hızlıdır. Zayıflama oranı küçüktür ve patlama kaynağından 100 m uzaktaki alanda kararlı olma eğilimindedir. Şev bölgesi, özellikle yüksek frekans bandındaki (>20 Hz) sismik dalgaları filtreleyerek dalgaların dinamik tepkisini zayıflatabilir, bu da yüksek frekans spektrumunun genliğini büyük ölçüde azaltır. Sismik dalga enerjisi kısa sürede (0-0,3 s) hızlı bir zayıflama etkisine sahip olup, patlatma süresi >0,3 s olduğunda zayıflama etkisi giderek azalarak sabit hale gelmektedir.

3. Şevin varlığı dalgaların dinamik tepki özelliklerini değiştirir. Ana kayada ve yer yüzeyinde, P dalgasının dinamik tepkisi S dalgasından daha büyüktür ve P dalgasının PGV ve PGA'sı S dalgasından daha büyüktür. Şev bölgesindeki S dalgasının PGV ve PGA'sı P dalgasınınkinden daha küçüktür ve P dalgasının dinamik amplifikasyon etkisi S dalgasınınkinden daha büyüktür. Şev bölgesindeki dalgalar şev yüzeyi boyunca zayıflama etkisi göstermektedir. Şev iç kısmındaki dalgaların PGV'si ve PGA'sı, tipik bir yükseklik büyütme etkisine sahip olan yükseklik artışıyla birlikte arttığını söylemişlerdir [7].

Mondal ve diğerleri (2017), yer altı patlama kaynaklı yer hareketinin (BIGM) neden olduğu bina titreşimini kontrol etmede şekil hafızalı alaşımlı kauçuk mesnetlerin performansını geleneksel Yeni Zelanda mesnetleriyle karşılaştırmışlardır [38]. Tolani ve diğerleri (2018a), üç katlı betonarme (RC) bir binanın eşdeğer statik patlama yükü altındaki tepkilerini, 500 kg ve 1000 kg'lık yük ağırlıkları için dinamik patlama yükü altındaki tepkilerle karşılaştırılmıştır. Çeşitli ölçekli mesafeler (5 m, 10 m, 15 m, 30 m, 60 m) de testleri gerçekleştirmişlerdir. Yer hareketinin tasarım seviyesi ve aşırı seviyedeki depremlerle tepki spektrumu uyumlu zaman geçmişleri için, Tolani ve diğerleri (2018b) tarafından bina çerçevesinin doğrusal olmayan bir zaman geçmişi analizi yapılmıştır. Daha sonra aynı binanın performansı çeşitli patlama yükleme yoğunlukları altında değerlendirilmiştir (iki parametreyle tanımlanır: şarj ağırlığı ve patlama mesafesi). Tolani ve diğerleri (2020, 2021), yüzey patlamasının çok katlı binalar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bulgular, hava basıncının ve zemin şokunun binalar üzerindeki göreceli etkilerinin, binanın yüksekliğinden ve duruş mesafesinden etkilendiğini göstermektedir. Hava basıncı etkisi alçak binalardaki tepkileri yönetirken, yer şoku etkisinin yüksek binalardaki tepkileri yönettiği belirtilmiştir [39–41].

2.1. BIGM ve EGM Uyarılmaları

Patlamadan Kaynaklanan Yer Hareketi (BIGM) ve Deprem Yer Hareketi (EGM),taban yalıtımlı yapıya uygulanan dış dinamik uyarımlardır. Japonya Metroloji Ajansı (JMA) istasyonunda ölçülen en yüksek ivmeli deprem 1995 yılı Kobe'sidir. 1995 Kobe depreminin en yüksek yer ivmesi (PGA) 0,86 g idi. 1995 Kobe depremi için sözde ivmenin optimum koordinatları

0,36 saniyelik periyotla 3,606 g'dir. Ayrıca birden fazla TNT şarj ağırlığına sahip yer altı konvansiyonel patlama modellenmiş ve giriş patlama uyarımı olarak kullanılmıştır [41]. Dowding'in (1996) öncü çalışmasında olduğu gibi, onlarca yıldır geliştirilen, çeşitli saha patlama testleri ve çeşitli simülasyon çalışmaları sırasında toplanan bir dizi ampirik korelasyon vardır. Başka deneysel çalışmalar da yapılmıştır, ancak bunlar kategorize edilmiş araştırma çalışmaları olduğundan birkaç savunma departmanıyla sınırlıdır. Ancak 11 Eylül 2001'de Amerika Birleşik Devletleri'ne ve Kasım 2008'de Hindistan'ın Mumbai kentine düzenlenen terörist saldırılarından sonra bu konu büyük önem kazanmıştır. Daha sonra dünyanın her yerinde hem yer üstünde hem de yer altında patlamaya dayanıklı yapılar üzerinde büyük ölçekte çalışmalar başlatıldı. Aslında sivil patlamaya karşı direnç yapılarının önemi, başlangıçta ağırlıklı olarak savunmayla ilgili yapılarla ilgili olan bu saldırılardan sonra ortaya çıkmıştır [42]. Çalışmadaki BIGM tipik olarak bir granit kayadaki geleneksel bir yeraltı patlamasıyla üretilir ve Mondal ve diğerleri (2017)'de olduğu gibi üstel olarak azalan bir fonksiyondur. Yapı üzerindeki patlama yükü, Denklem (2.29)'da ifade edildiği gibi patlama kaynaklı yer ivmesinden (BIGA) elde edilir [38]:

$$\mathrm{BIGA} = -\,(1/t_d)\ \mathrm{PPV}\ \exp\,(-t/t_d) \tag{2.29}$$

Burada PPV=Denklem ile verilen tepe parçacık hızı, t=saniye cinsinden süre; td = R⁄cp varış zamanıdır; Denklem (2.30)da ise cp=yayılma hızı; ve R = yükün merkezine olan mesafe; olarak temsil edilir.

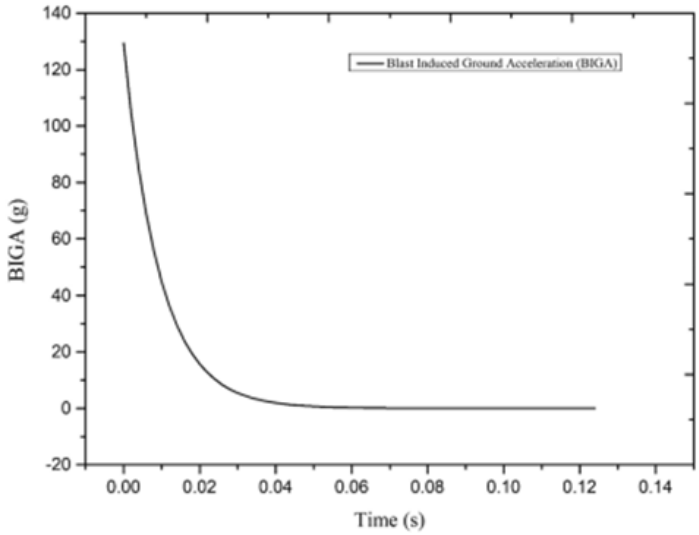
$$c_p = \sqrt{E_{lp}} \tag{2.30}$$

Burada p=toprak kütlesinin ortalama kütle yoğunluğu; E=Young Modülüdür. PPV'nin değeri Mondal ve ark. (2017) 'da verilen Denklem (2.31) ve Denklem (2.32)'deki ampirik ilişkiden hesaplanır [38].

$$\mathrm{PPV} = 2.981\ f_1\,(R/Q^{1/3})^{-1.3375} \tag{2.31}$$

$$f_1 = 0.121\ (Q/V)^{0.2872} \tag{2.32}$$

Burada f_1=PPV için ayrıştırma faktörü; Q=kilogram cinsinden eşdeğer TNT şarj ağırlığı; R= metre cinsinden ölçülür; ve V=m^3 cinsinden şarj odasının hacmidir [38,41]. Yukarıda açıklanan yüzey patlatma modelinin son zamanlarda çok katlı binaların dinamik davranışını daha iyi anlamak için kullanıldığını belirtmekte fayda vardır [39,43]. Bu model için yük odasının hacmi, yük merkezi mesafesi ve dalga yayılma hızı sırasıyla 1000 m^3, 50 m ve 5280 m/s olarak kabul edilmiştir. Bu, alt tabanın granit kaya olduğunu düşündürtmüştür. Bu çalışma için kullanılan BIGM patlama girişi yer ivmesi zaman geçmişi, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi 100 tonluk TNT şarj ağırlığı (Q) değerine karşılık gelmektedir [41].



Şekil 2.5. Patlama kaynaklı yer hareketinin modellenmesi

2.2. Kontrollü Patlatma

Herhangi bir patlatma olayında, parçalanma ve faydalı fırlatma için %7 ile %25 arasında değişen patlayıcı enerjisinin kullanılacağı tahmin edilmektedir. Kalanı ise yer titreşimi, uçuşan kaya, aşırı hava basıncı, ısı, ışık ve gürültü gibi diğer etkilerden sorumludur. Patlamaların neden olduğu bu etkiler yakındaki kaya kütlesine, yapılara ve canlılara farklı derecelerde zarar verebilir. Bazı yazarlar patlamanın neden olduğu hasarı, patlatma kazısı nedeniyle kaya kütlesinin fiziksel, mekanik ve hidrolik özelliklerinin önemli ölçüde etkilendiği, kazı sınırının ötesindeki kaya bölgesi olarak tanımlamıştır [4,44–50].

2.2.1. Yapısal Titreşimler

Yer veya yapısal titreşim, fırlayan kaya, aşırı hava basıncı, ısı, ışık ve gürültü gibi patlama etkilerinden yapısal titreşim, izin verilen seviyelerin altında kontrol edilmediği takdirde yapısal hasara yol açma potansiyeline sahip olduğundan en kritik konudur [51].

Sismik enerji aynı düzeye ulaşmadan karşılanırsa yapılar korunabilmektedir. Bu, titreşimli parçacık hareketini ve patlamanın neden olduğu yapısal hasarı tanımlayan parametreler arasında uygun ilişkilerin geliştirilmesini gerektirir. Bu amaca ulaşmak için, korunan yapıların türüne bağlı olarak ülkeden ülkeye değişen, PPV açısından yer titreşimi için çeşitli ampirik hasar ölçekleri formüle edilmiştir. Yakın patlama yüklemesine maruz kalan betonarme (RC) kolonların tepkisini değerlendirmek için bir çalışma yapılmıştır. Aynı patlama seviyesinde, nispeten daha küçük ölçekli mesafelerde, daha büyük ölçekli mesafelerde daha yüksek eksenel yüke sahip betonarme kolonların

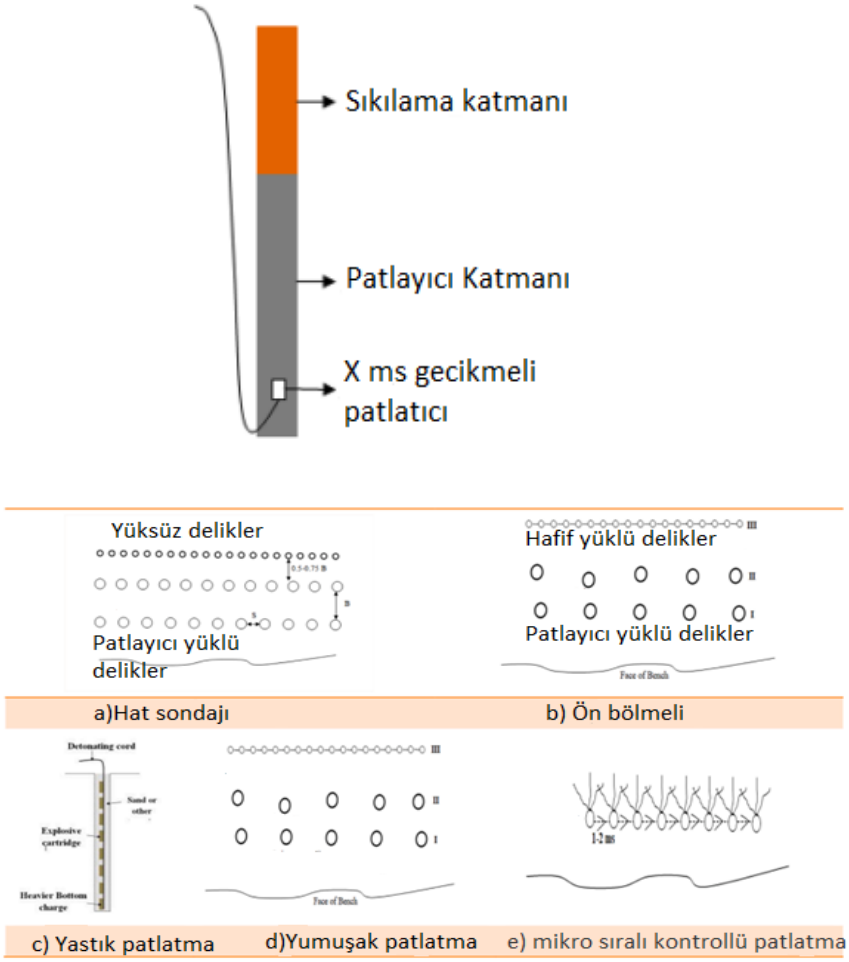
daha düşük eksenel yüklü kolonlara göre daha fazla hasara uğradığı görülmüştür. Korunan yapılar doğrudan hedef yapıya bağlandığında durum daha da kritik hale gelir [45,52].

2.2.2. Kontrollü Patlatma Teknikleri

Yer titreşimini veya yapısal titreşimi azaltmanın en etkili yolu serbest yüzeyler oluşturmaktır. Bu prensip kullanılarak geliştirilen temel patlatma tekniklerinden bazıları hat delme, ön ayırma, düzgün patlatma, tampon patlatma ve mikro sıralı kontur patlatmadır. Bunlar genellikle çalışmaya özgüdür [38,53,54].

Hat delme, aralarında bir zayıflık düzlemi oluşturmak için çatlak kılavuzları görevi görecek şekilde çok yakın delinmiş boş deliklerden oluşan bir tekniktir. Çok küçük yüklerin kazı hattının arkasında hasara yol açabileceği durumlarda avantajlıdır. Ön-bölme tekniği genellikle serbest bir yüz oluşturmak için kullanılır. Bu teknikte, üretim deliklerinden önce/eş zamanlı olarak patlatılacak ve aynı zamanda kalan kaya/beton kütlesini patlatma bloğundan ayıracak olan üretim delikleri sıralarının arkasına bir sıra patlatma deliği düzenlenir. Önceden ayrılmış deliklere ilk şok yüklemesinin, aralarında gaz basıncıyla genişleyen bir kırılma yarattığı varsayılmaktadır. Bu ayrılma, stres dalgalarının ilerlemesini önleyebilir ve hasarı istenen sınırın ötesinde azaltabilir. Ön-bölme patlatması nedeniyle oluşan çatlak, aynı zamanda ön-bölme bölgesinde üretim patlamasından kaynaklanan gerilimi hafifleterek yeni radyal kırılmayı da önler. Kutter ve Fairhurst'a göre, ön-bölme deliklerini birleştiren merkez hattı boyunca bölme performansı, aralarındaki ateşleme aralığı ve süresi ile belirlenir.

Düzgün patlatma, üretim deliği patlatılmasından sonra hafif şarjlı bir dizi patlatma deliğinin patlatılması anlamına gelir. Yer altı ve yerüstü patlatmalarında aşırı kırılma/geri kırılmanın kontrol edilmesi amacıyla kullanılır. Yastık patlatma, ayrılmış ve/veya katlı patlayıcılarla tek bir sıranın patlatılmasını içerir. Yüzey patlatmalarında geri kırılmayı kontrol etmek için kullanılır. Optimum gecikme aralıkları seçilerek zemin titreşimleri, çatlak frekansı, radyal çatlak uzunluğu ve aşırı kırılma gibi patlatma etkilerinin azaltılması için mikro sıralı kontur patlatma önerilmektedir. Bu teknik, eş zamanlı başlatmaya göre daha üstündür çünkü kontur delikleri 1-2 ms gecikmeyle ateşlenir, bu da çatlak frekansını ve yer titreşimini azaltır. Bahsedilen patlatma teknikleri Şekil 2.6' da şematik olarak gösterilmiştir. Hat delme ve ön ayırmanın titreşimler ve diğer etkiler üzerindeki etkisi Tablo 2.1 'de verilmiştir [45].



Şekil 2.6. Kontrollü patlatma teknikleri (CBT)

Tablo 2.1. Hat delme ve ön ayırmanın titreşimler ve diğer etkiler üzerindeki etkisi

Kontrollü patlatma tekniği	Gözlemler
Ön ayırma	- Açık maden ocağında %32 oranında titreşim azalması gözlemlenmektedir. - Ön-bölünmüş patlatma tasarım modeli değiştirilerek titreşim 50 g'den (700 mm/s) 29,2 g'ye (221 mm/s) düşürüldü (her ikinci deliğin doldurulmasıyla yüksüz yaka uzunluğunun 2 m'den 4 m'ye çıkarılması). -Maksimum tepe kaybı ön-bölme deliğinde 90 ° eğimde gözlenirken, en az tepe kaybına 70 ° eğim neden oldu. - Ön bölme patlatmasına bağlı olarak %48 ila 50 azalma gözlemlendi.
Hat delme	- Titreşim azaltma etkisi, hat delikleri arasındaki mesafenin azalması ve delik çapının artmasıyla artar. - Çift sıra hatlı delikler, delikler arasında 200 mm aralık bulunan tek sıra deliklerden daha etkilidir. Ayrıca iki sıralı zig-zag düzenlemesi paralel düzenlemeye göre daha etkili olmuştur. - Çevredeki deliklerdeki hat sondajı, bir yeraltı metal madeninde yüzey patlatmasından kaynaklanan aşırı kırılmanın azaltılmasında hayati bir rol oynamıştır. - Bir çekme halatı patlamasında 3 sıra hatla açılan delikler nedeniyle PPV değerleri %18 düştü.

Kaya patlatmasında kontur delikleri arasındaki optimal gecikme süresi, yer titreşimleri, çatlak frekansındaki artış, radyal çatlak uzunluğu ve son olarak aşırı kırılma (yarım döküm faktörü) ile ilgili teorik ve ampirik araştırmalarla incelenmiştir. Tam ölçekli patlatmalar tünel açma, yol kesme ve taş ocakçılığıyla ilgilidir. Mikro-sıralı kontur patlatma tekniğinin (sırayla ve 1-2 ms düzeyinde gecikmeyle açılan kontur delikleri), hem patlamanın neden olduğu yer titreşimleri hem de kaya kütlesindeki çatlak frekansı artışı açısından eş zamanlı patlatmaya göre daha üstün olduğunu göstermektedir. Bu değerlendirme yöntemlerinin her ikisi de kalan kaya kütlesindeki daha derindeki koşulları yansıtmaktadır. Bununla birlikte eş zamanlı başlatma, hem yarı döküm faktörü hem de patlatma deliklerinden çıkan radyal çatlakların uzunluğu açısından mikro sıralı kontur patlatmasından daha üstündür. Bu iki parametre daha çok patlatma sonrası yüzey koşullarıyla ilgilidir. Kentsel alanlarda hendek patlatma veya taş ocakçılığı gibi zemin titreşimlerinin konturdan daha önemli olduğu durumlarda mikro sıralı kontur patlatmasının kullanılması ve düzgün bir kaya yüzeyi olduğunda eşzamanlı başlatmanın kullanılmasıdır [45].

Tüm kaya kazılarında önemli bir amaç stabil konturlara ulaşmaktır. Günümüzde konturları patlatmak için en yaygın teknik, kontur deliklerinin düşük doğrusal yük konsantrasyonuyla yüklendiği ve son gecikmede ve aynı anda başlatıldığı düzgün patlatma tekniğinin kullanılmasıdır. Genellikle HS patlatıcıları (yarım saniyelik patlatıcılar) kontur delikleri için kullanılır ve normal olarak nominal zamanlamada yaklaşık 200 ms'lik bir dağılıma sahiptirler [24]. Genellikle duvarlardaki kontur delikleri ayrı bir gecikmeyle, çatıdakiler ise bir sonraki gecikmeyle başlatılır. Pürüzsüz patlatma teknolojisi 1960'larda geliştirilmiştir. Bununla birlikte, kontur deliklerinin başlatılması için yaygın olarak kullanılan HS kapsüllerinin zamanlamasındaki büyük dağılım nedeniyle, piroteknik kapsüllerle eş zamanlı bir ateşlemeye ulaşmak mümkün değildir. Gerçekten yumuşak bir patlama yapmak için, elektronik kapsüller gibi hassas geciktirme tekniğinin kullanılması veya kontur delikleri arasındaki zaman gecikmesi olarak belirli bir uzunlukta şok tüpü veya patlatma kordonunun kullanılması gerekir. Eş zamanlı ateşleme kullanıldığında, komşu deliklerden gelen patlama dalgaları, kontur deliklerinin ortasında buluşacak ve üst üste binecektir. Bu, patlama dalgalarının genliğinin iki katına çıkacağı anlamına gelir ve bunun, yer titreşimleri nedeniyle patlamanın neden olduğu hasarı artırması beklenir. Aşağıdaki dört parametreyi azaltacak olan çevre patlatmasında optimal bir zaman gecikmesi olup olamayacağını araştırmaya yönelik yeni bir fikir geliştirilmiştir: Patlamanın neden olduğu yer titreşimleri: çatlak frekansında artış; radyal çatlak uzunluğu; ve teorik konturun gerisinde kayanın aşırı kırılması (yarım döküm faktörü). Kullanılan araştırma yöntemleri, laboratuvar testleri ve ardından teorik çalışmalardı ve hem yeraltında hem de daha sonra yüzeyde diğer araştırma ekipleri tarafından yürütülen ve kontur delikleri arasında optimal bir gecikme süresinin mevcut olduğu hipotezini doğrulamaya çalışan tam ölçekli testlerle devam etti. 1980'lerde sürüklenme sırasında kontur delikleri arasında yaklaşık 1,5 ms'lik gecikme süreleri kullanan mikro sıralı kontur patlatma işleminin, 0,5 yükte ve kontur

delikleri arasında 1,0 m'lik bir aralıkta optimal olması gerektiğini belirtmişlerdir. Malmberget'teki LKAB'de manyetit cevherinde sürüklenme sırasında yapılan tam ölçekli bir test, çevre deliklerinin HS ile başlatılmasıyla karşılaştırıldığında yakın alanda (6.7 m) patlamanın neden olduğu titreşimin 1/6'ya düştüğünü göstermiştir. Bununla birlikte, mikro sıralı patlatma tekniği kullanılarak aşırı kırılmada herhangi bir azalma bulunamamıştır. Çünkü yarı döküm faktörü hemen hemen aynıdır; (mikro sıralı patlatma için %85,7 ve HS başlatma için %86,0). Saha testlerinde, mikro sıralı patlatma tekniğinin zemin titreşimlerini önemli ölçüde azalttığı, 1/6'dan 1,/4'e kadar ölçüldüğü doğrulanmıştır. Ayrıca kalan kaya kütlesinde patlamanın neden olduğu çatlak sıklığını da azalttığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, eş zamanlı başlatmada yarı döküm faktörünün %0.17'ye eşit veya daha büyük olduğu ve radyal çatlak uzunluğunun eş zamanlı başlatmaya göre daha az olduğu bulunmuştur. Bu yeni bilginin, örneğin yerleşim yerlerindeki hendek patlatmalarında veya zemin titreşimlerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulan taş ocaklarının yakınında kontur deliklerinin mikro sıralı başlatılmasının kullanılmasıdır [55].

İlk yumuşak püskürtme teorisi, Lundborg tarafından Stockholm'deki Nitrogliserin AB'nin Detonik Araştırma Laboratuvarı'nda geliştirildi ve Langefors (1953, 1959) tarafından rapor edildi. Teknik, pleksiglas ve tam ölçekli patlatmaların kullanıldığı laboratuvar testlerine dayanıyordu [55].

Her patlatma deliğinden en uzun radyal çatlağın ölçülmesi ve her gecikme süresinde bu değerlerin ortalamasının hesaplanması şu sonuçları verir: Kısa gecikmeli patlatma, eş zamanlı başlatma ve adım adım başlatma ile karşılaştırıldığında her patlatma deliğinden %33 daha uzun ortalama maksimum radyal çatlak uzunluğu ürettiği ve eşzamanlı başlatma ile karşılaştırıldığında her patlatma deliğinden %13 daha uzun ortalama maksimum radyal çatlak uzunluğu ürettiği görülmüştür. Bu sonucun daha sonra gösterilen Vanga patlama testleriyle tutarlı olduğu ifade edilmiştir. [55].

Langefors, "Patlatma delikleri arasındaki gecikme süresi, eş zamanlı ateşlemenin neden olduğu patlama kaynaklı hasara uğramadan mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Pratikte bu, en fazla bir veya birkaç milisaniyelik gecikmelerle kısa gecikmeli patlatma anlamına gelir" açıklamasını yapıyor. Langefors bu nedenle çalışmasında mikro sıralı başlatma (1-2 ms) olarak adlandırılan gecikme süresine yakın bir gecikme süresi önermektedir. Langefors, bu gecikme süresinde patlamanın neden olduğu en küçük hasarı beklemiş ancak şu ana kadar gerçekleştirilen tam ölçekli patlatma testlerinden daha fazla öğrenileceği gibi, yarı döküm faktöründe bir artış veya radyal çatlak uzunluğunda bir azalma bu yöntemle elde edilememiştir. Sonuçlar sadece yer titreşimlerinin ve çatlak frekansındaki artışın azaltılabileceğini göstermektedir [24].

Brown (1968), çalışmasında pleksiglas kullanılarak yapılan model patlatma testleriyle, kontur deliklerinin aynı anda başlatılmasının, patlamanın konturu yönünde radyal çatlakların gelişimi için çok önemli olduğunu göstermiştir. Aynı çalışmada, çift kırılma malzemesinin yüksek hızda fotoğraflanmasıyla, kontur delikleri arasındaki ilk çatlakların çok erken, başlangıçtan 5 ms

sonra meydana geldiği ve çatlakların sürekli (yarı statik) basınç tarafından uzatıldığı da gösterilmiştir. Başlatma sonrasında hala 130 ms'de, radyal çatlakların patlatma delikleri arasında birleşmediği ifade edilmiştir [56].

Dally ve arkadaşlarının çalışmalarında (1978), ticari olarak “Homalite 100” olarak bilinen şeffaf polyesterini kullandıklarında, başlatmadan 5-40 ms sonra kontur delikleri arasında çatlakların geliştiği ifade edilmiştir. (Homalite 100 polimerik bir malzemedir ve son derece düşük kritik kırılma dayanıklılığının da gösterdiği gibi son derece kırılgandır.) [57].

Bununla birlikte, çeşitli araştırmacıların çalışmalarında belirttiği gibi, anında başlatılan iki patlama deliği arasında, gerinim dalgalarının üst üste geldiği yerde hiçbir çatlak başlamadığı ifade edilmiştir. Patlatma delikleri arasındaki radyal çatlak uzantısının, iki patlatma deliğindeki yarı statik basınçtan kaynaklandığı bulunmuştur.

Rustan ve diğerleri (1985), sertleştirilmiş kuvars kumu ve epoksi karışımında kontur tüneli patlamasını simüle eden 1:36 ölçeğindeki bir model testinin sonuçlarını bildirmişlerdir. Test Lülefi Teknoloji Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir. 17 mm çapındaki Gurit boru patlayıcılarını ve 1,5 mm çapındaki patlatma deliklerini simüle eden sütun patlayıcısı olarak düşük mukavemetli bir infilaklı fitil (1 g m-1) kullanıldı. Üç farklı zaman gecikmesi kullanılmış ve gecikmeler arasında 27 ms'lik bir gecikme süresiyle 1-3 arasında numaralandırılmıştır. Yükün çok büyük olması nedeniyle, tüm kontur delikleri arasında bir ön bölme oluşturuldu ve ardından uzun bir radyal çatlak oluştu. Sol duvardaki uzun çatlağın nedeninin komşu delikler arasındaki uzun süreli gecikme olduğuna inanılmaktadır. Komşu bir delik planlandığı gibi başlamadığında zaman gecikmesi sonsuz olarak kabul edilebilir. Çok az deneysel veriye rağmen, kontur delikleri arasındaki uzun gecikme süresinin kaya kütlesinde patlamanın neden olduğu daha büyük bir hasar yaratabileceğiydi [58]. Bu bulgu Langefors (1953, 1959) tarafından bildirilen bulguya benzemektedir. Bu nedenle patlatma deliklerinin aniden başlatılması delikler arasında çatlamayı teşvik edecek ve kalan kaya kütlesinin çatlamasını engelleyecektir. Çatlaklar genellikle en büyük gerilimin olduğu yönde yayılır. Bu nedenle yeni soru, Langefors'un işaret ettiği gibi aşırı kırılma ve radyal çatlak uzunluğunun en aza indirilebileceği kontur delikleri arasında optimal bir gecikme süresinin bulunup bulunmadığına ilişkin olarak gündeme getirildi [55,59].

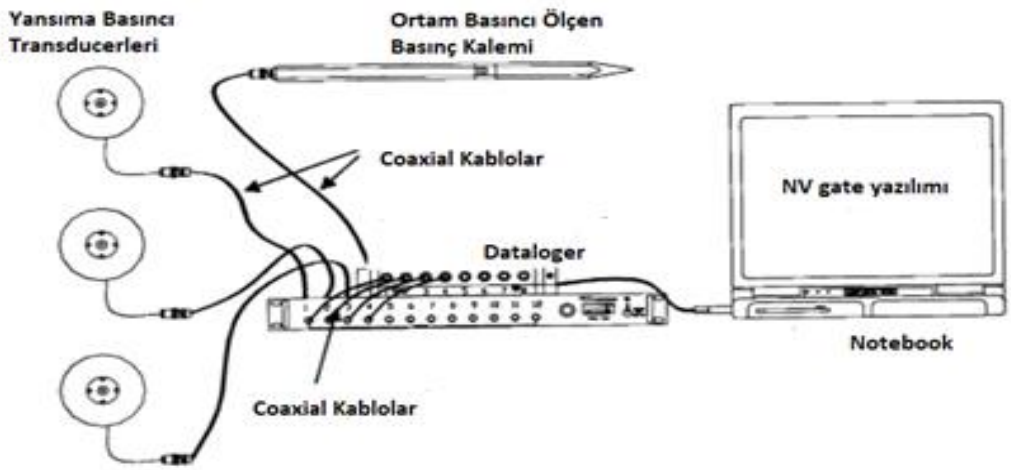
Dai ve Chen (2011)’de yaptıkları çalışmada, dinamik olarak kararlı, hafif ve güç dağıtımı üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri nedeniyle güç iletim direk yapılarının kritik öneme sahip olduğunu ve bu sebeple bu yapıların serbest titreşim davranışlarını, darbe modal testleri ve analizleri yoluyla inceleyerek değerlendirmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında, belirli bir iletim hattı tasarımında dinamik kararlılığın önemli bir parametre olması nedeniyle ayrıntılı bir çalışmaya ihtiyaç olduğunu belirterek sayısal analizler yoluyla, beton mukavemeti, öngerilme seviyesi ve toprak-yapı-etkileşimi gibi direksiz titreşim üzerinde etkisi olan faktörler araştırılmış ve bu faktörler aynı zamanda enerji hattı stabilitesi için zararlı olabilecek yapı-kablo bağlantısı

sorunlarını da çalışmada araştırmışlardır. Çalışmayan iki direk destekli iletim hattı üzerinde yazarlar çalışarak sayısal analizin karmaşıklığını azaltmak amacıyla, her iki yapı için de modal performans benzerliğine dayalı olarak basitleştirilmiş sonlu elemanlar modelleri geliştirmişlerdir. Madencilik alanlarındaki patlatma faaliyetlerinin bazen yakındaki enerji nakil hatlarını tehlikeye soktuğunu ve hali hazırda bu enerji tesislerini korumak için bir patlama tasarlamaya yardımcı olacak hiçbir kılavuz bulunmaması sebebiyle bir patlatma planı tasarlayarak bilimsel temelli bir yaklaşımın geliştirilmesini hedeflemişlerdir [60]. Çalışmada, tepki spektrumunun ve patlama sınırının gelişimini göstermek için iki aktif güç hattının bir örneği sunulmuş ve kapsamlı bir patlama tasarımı için patlamaların neden olduğu kaya fırlaması ve temel dengesizliği gibi diğer olumsuz etkiler de tartışılmıştır.

Bu çalışmadan hareketle, bu tez çalışmasında da, elektrik direkleri yakınında patlatmalar gerçekleştirilerek bu çalışmada olduğu gibi, literatüre önemli bir katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

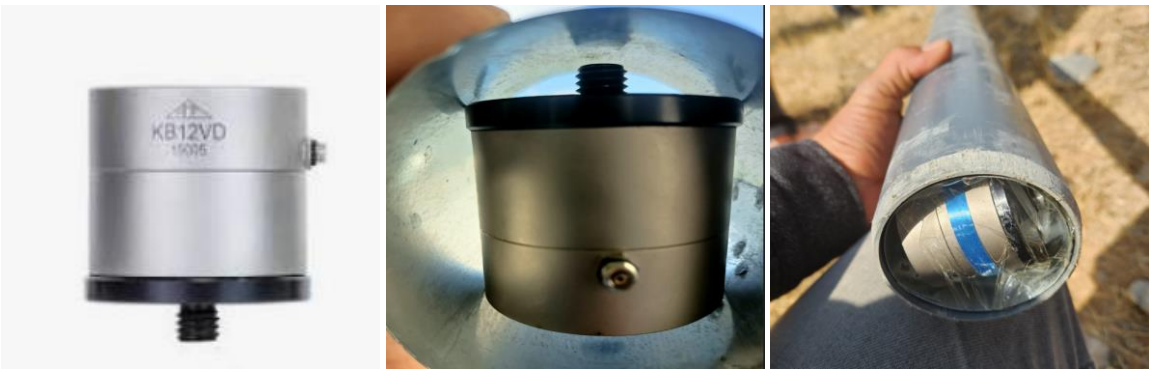
3. SAHADA YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kullanılan veri toplama sistemi üç adet PCB Piezoelektrik yansıma basınç dönüştürücüsü, bir adet PCB Piezoelektrik ortam basıncı kalemi, saniyede her kanalından 51.200 veri toplama kapasitesine sahip 16 kanallı bir Oros-OR36 marka dataloger cihazı ve NV Gate yazılımı yüklü bir dizüstü bilgisayar olmak üzere bir dizi bileşenden oluşur (Şekil 3.1). NV gate yazılımda veri örnekleme frekansı 12800 Hz ve minimum, maksimum okuma değeri 1.098 m/s^2 olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.1. Veri toplama sistemi şematik görünümü

Çalışmada, Yüksek Hassasiyetli İvme Ölçer KB12VD 13041kullanılmıştır. Şekil 3.2'de ivme ölçerin bir metal bilezik içerisine yerleştirilmiş görünümü verilmiştir. Yerleşimden önce ivmeölçer izola bant ile sarılarak her hangi bir kirliliği önlenmiştir. İvme ölçerler arazide açılan deliklerin içerisine Şekil 3.2' deki gibi PVC boru içinde yerleştirilmiştir. Böylece, patlatmadan sonra açılan kuyularda yıkılma riski olmasından hasar görmesi engellenmiştir.



Şekil 3.2. Kullanılan ivme ölçer ve arazide yerleşim şekli

Ölçüm yapılması için Burgu Makinası Tamrock Ranger 780 (Şekil 3.3) kullanılarak delikler açılmıştır. Delik derinlikleri, patlayıcıların yerleştirildikleri delik derinlikleri ortalaması alınarak ve bulanan mesafenin yarı mesafesinde açılmıştır.

Patlatma yapılacak delikler de aynı makine ile açılmıştır. Patlatma yapılan konuma göre değişken mesafelerde ölçüm kuyuları açılmıştır. İvme ölçerin açılan deliklere yerleştirilme işlemi Şekil 3.4'de verilmiştir.

Şekil 3.3. Burgu Makinesi Tamrock Ranger 780 ile deney sahasında yapılan delme işlemi ve ivme ölçer yerleştirilmesi

Şekil 3.4. İvme ölçerin açılan deliklere yerleştirilme işlemi

3.1. Kullanılan Patlayıcılar

Patlatma işlemi, genellikle TNT (Trinitrotoluen), ANFO (Amonyum Nitrat/Fuel Oil/Patlayıcı) gibi farklı patlayıcı malzemeler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kullanılan malzemenin türüne göre patlatma yoğunluğu, hızı, etkinliği ve ısı enerji miktarı da değişkenlik

göstermektedir. Çalışmada dinamit anfo patlayıcı malzeme ve ateşleme için elektrikli fünye ekipmanı kullanılmıştır (Şekil 3.5).

Şekil 3.5. Anadolu patlayıcıdan temin edilen Anfo, jelatin dinamit ve elektrikli fünye görünümü

Bu tez çalışmasında, Malatya ilinde Güney Kuşak Yolu'nda ve Altay Kışlası civarında çeşitli patlatma testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yerlere ait bilgiler alt başlıklar halinde sırasıyla verilmiştir.

3.1.1. Kullanılan Patlayıcının TNT Eşdeğerliliğinin Tespit Edilmesi

Kullanılan iki tip TNG patlayıcısının TNT eşdeğerliğini belirlemek için Eşdeğer Deney düzeneğinde yerleştirilen sensörün patlayıcıya olan mesafesi 3.2 m'dir. Patlayıcının zeminden uzaklığı (stand-off Distance), sensorlerin yerleştirildiği çelik çubukların yerden yüksekliği ve patlayıcı-sensor mesafeleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Literatürde aynı patlayıcıların eşdeğerlik değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Tablo 3.1. Düzeneğin yerleşim detayı

Patlayıcının zeminden uzaklığı, m	1.855
Patlayıcı ağırlığı (W, kg)	0.91
Sensör yüksekliği (m)	1.85
Patlayıcı-sensör mesafesi (m)	3.2

Solar markalı patlayıcı için, sensörler Şekil 3.6'daki gibi yerleştirilerek Tablo 3.2'deki veriler elde edilmiştir. Bu patlayıcının eşdeğerliğinde ise solar markalı superpower 90 patlayıcısının 0.44kg'ına karşılık gelen TNT eşdeğeri için;

Şekil 3.6. Sensör Yerleşimi

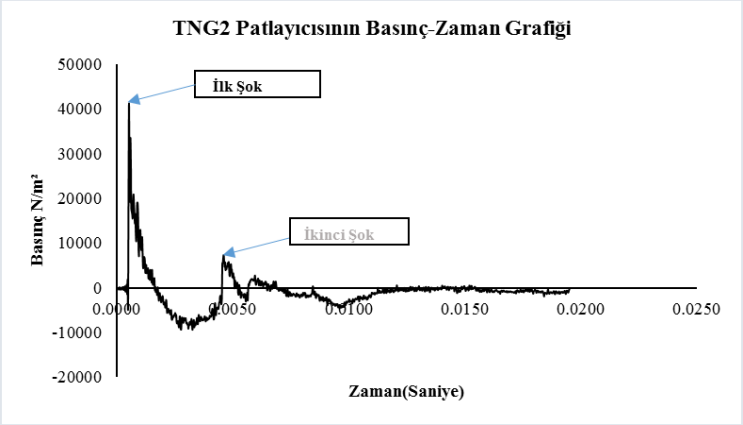
Tablo 3.2. Trinitrogliserin (TNG2) patlayıcısının sensör okumaları

Sensör	Maks basınç		Min basınç			
	Zaman	**Basınç (N/m^2)**	**Zaman**	**Basınç (N/m^2)**	**Z (m/kg$^{(1/3)}$)**	**W (kg)**
	0.000527	41197	0.00326	-9370	4.10	0.11605

Burada TNG2'e göre nispi etkinlik faktörü TNT cinsinden Denklem (3.1)'e göre;

$$\frac{W_{TNT}}{W_{TNG2}} = \frac{0.116}{0.44} = 0.26 \tag{3.1}$$

Eşdeğerlik Deneyinin ikinci deneyi olan TNG2 patlayıcısının basınç zaman grafiği ise Şekil 3.7'de görüldüğü gibidir. Grafikte ilk pik ortam basıncını, ikinci pik ise yansıma basıncını vermektedir.



Şekil 3.7. Solar(TNG2) Patlayıcısının Patlama basınç zaman grafiği

3.2. Güney Kuşak Yolunda Yapılan Patlatmalar

Malatya ili Güney Kuşak Yolu'nda 5 farklı tarihte patlatma işlemi yapılmıştır. Deneylerde gecikmeli patlatma sistemi kullanılmıştır. Arazide delikler şaşırtmalı yerleştirilmiş ve taş

savrulması gibi güvenliği riske atabilecek uygulamalara dikkat gösterilmiştir. Şekil 3.8'de bir deneyde patlayıcının sıralı ve gecikmeli olarak infilak etmesi ve patlatmadan sonra arazinin görünümü verilmiştir.

Şekil 3.8. Güney kuşak yoluna ait görseller

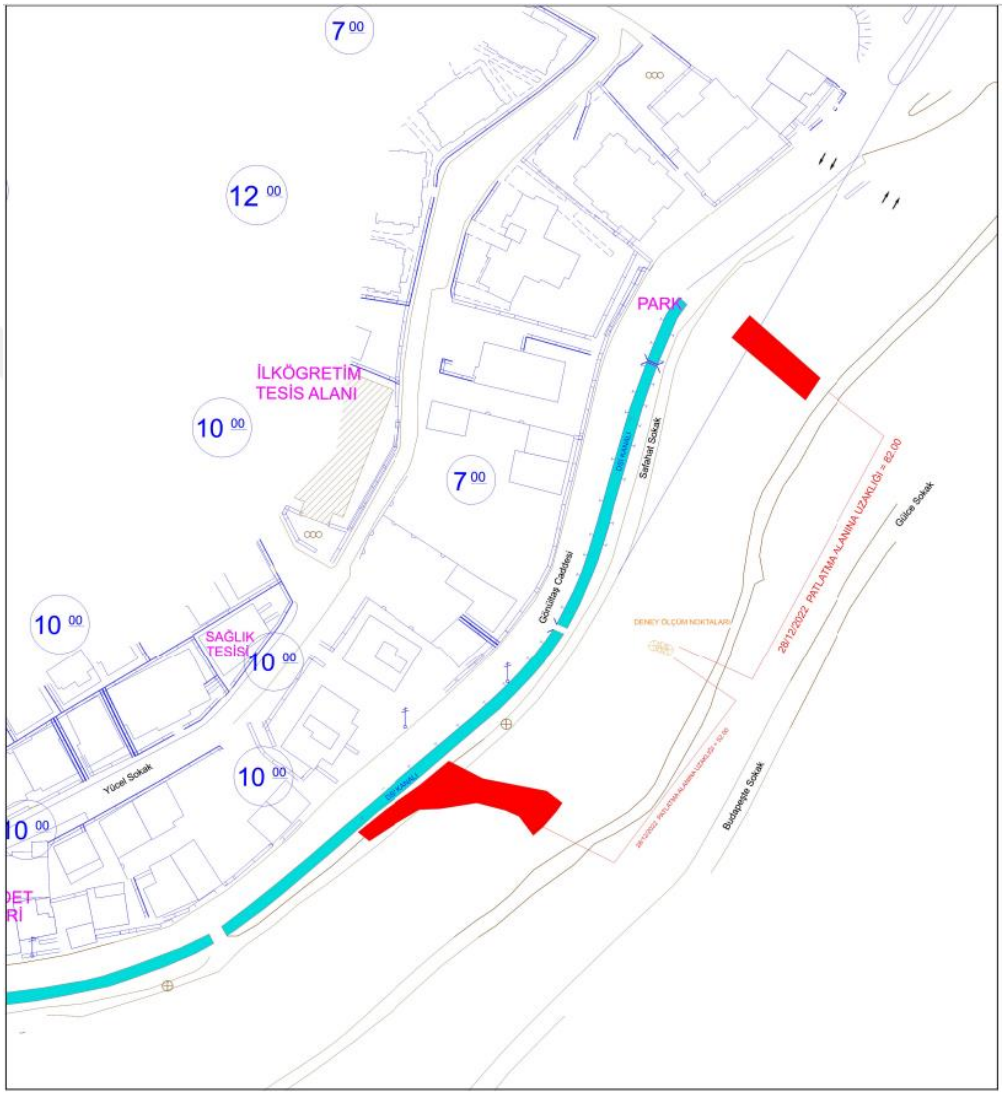
İlgili yerde, ivmeölçerlerin sahaya yerleştirilmesi Şekil 3.9'da, patlatma görüntüleri ise Şekil 3.10'da verilmiştir.

Şekil 3.9. İvme ölçerlerin sahaya yerleştirilmesi

Şekil 3.10. Patlatma görüntüleri

3.2.1. 28/12/2022 Tarihinde Yapılan Patlatmalar

İlgili tarihte, Şekil 3.11'de kırmızı olarak gösterilen iki farklı kısımda patlatma çukurları açılmıştır. Her patlatma bölgesine belirli mesafede üç çukur açılarak içerisindeki ivmeölçerler ile ölçüm yapılmıştır. İlk patlatma ölçüm mesafesi 82 m, ikinci patlatma mesafesi 52 m'dir.



Şekil 3.11. Patlatmanın yapıldığı vaziyet planı

Kernek tarafı uzak yer ilk patlatma sahası 3 atımlı patlatma yapıldı. 41 patlatma deliği açıldı. Açılan çukurlara anfo ve elektriksiz kapsül yerleştirildi. Sonra deliklerin üzerine sıkılama yapmak için çakıl malzeme kullanıldı (0-5 mm malzeme). Parça sıçramasını önlemek için Nonel Kapsüllü Gevşetme Patlatması için yerleştirildi. Elektrikli kapsülle ateşleme sistemi çukurlara yerleştirildi. Açılan delikler ve yerleştirilen patlayıcı miktarı ve sıkılama mesafesi;

-12 adet 3.0 metre derinliğinde (2.3 metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-4 adet 3.5 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.0 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-4 adet 4.0 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.5 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-3 adet 4.5 metre derinliğinde (2.7 metre sıkılama, 1.8 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-3 adet 5.0 metre derinliğinde (2.7 metre sıkılama, 2.3 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-3 adet 5.5 metre derinliğinde (3 metre sıkılama, 2.5 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-3 adet 6.0 metre derinliğinde (3 metre sıkılama, 3 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-5 adet 7.0 metre derinliğinde (3 metre sıkılama, 4 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-4 adet 7.5 metre derinliğinde (3 metre sıkılama, 4.5 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

İnfilak sıralaması;

14 Delik 1. Atım

14 Delik 2. Atım

13 Delik 3. Atım

Kanal tarafı yakın yer ikinci patlatma sahası 2 atımlı patlatma yapıldı. 75 delik açıldı. 75 elektriksiz kapsül kullanıldı.

-49 adet 3.0 metre derinliğinde (2.3 metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-3 adet 3.5 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.0 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-23 adet 2.5 metre derinliğinde (2.1 metre sıkılama, 0.4 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

İnfilak sıralaması;

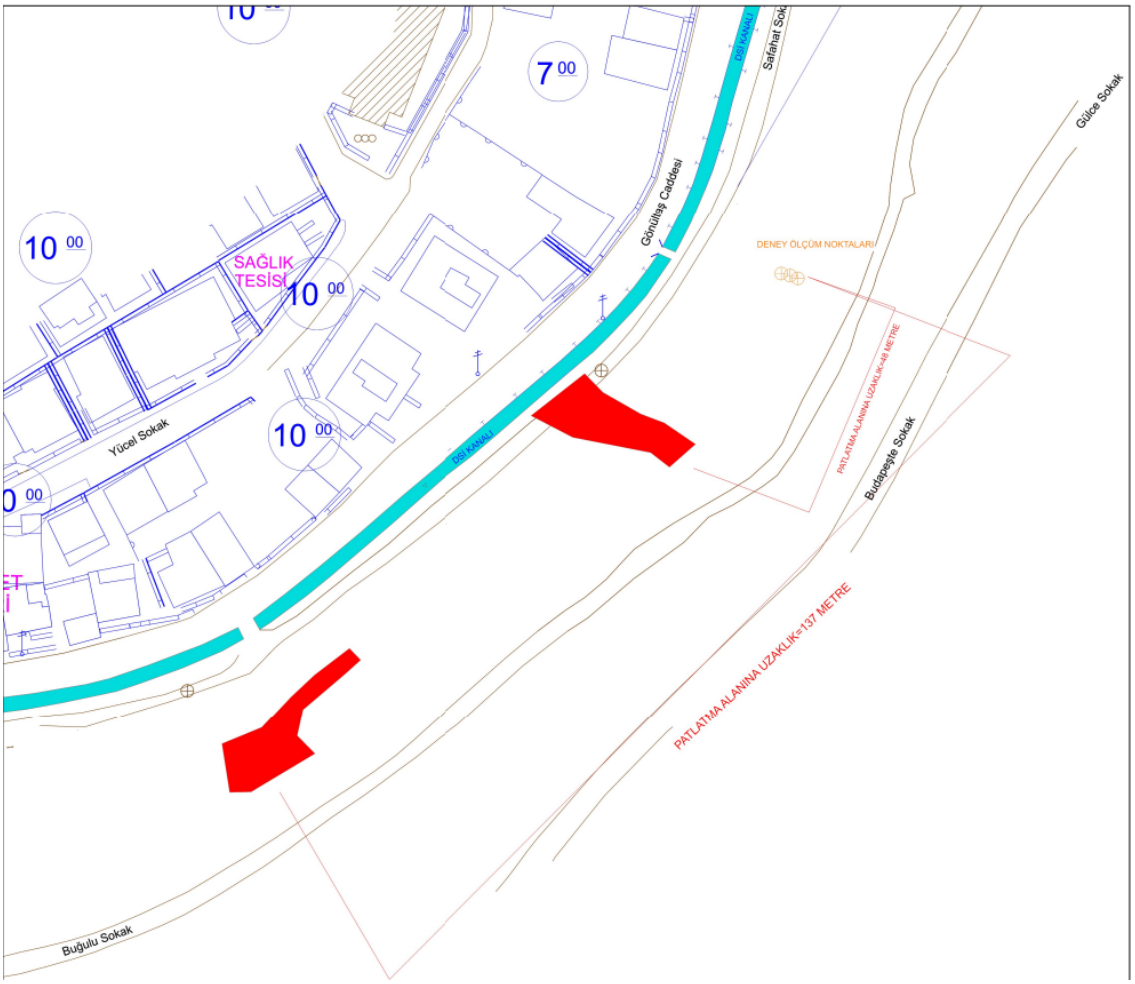
37 delik 1. Atım

38 delik 2. Atım

Belirtilen tarihte, sahada kullanılan toplam Anfo miktarı 750 kg, 58 kg dinamit ve 5 tane elektrikli fünye kullanılmıştır.

3.2.2. 29/12/2022 Tarihinde Yapılan Patlatmalar

Belirtilen tarihte, Şekil 3.12'de kırmızı olarak gösterilen iki farklı kısımda patlatma çukurları açılmıştır. Her patlatma bölgesine belirli mesafede üç çukur açılarak içerisindeki ivmeölçerler ile ölçüm yapılmıştır. İlk patlatma ölçüm mesafesi 48 m, ikinci patlatma mesafesi 137 m'dir.



Şekil 3.12. Vaziyet planı

Kanal tarafı uzak yer ilk patlatma sahası 2 atımlı patlatma yapıldı. 48 delik açıldı ve 48 elektriksiz kapsül yerleştirildi. Açılan delikler ve yerleştirilen patlayıcı miktarı ve sıkılama mesafesi;

-5 adet 2.5 metre derinliğinde (2.1 metre sıkılama, 0.4 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-6 adet 3.0 metre derinliğinde (2.3 metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-7 adet 4.0 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.5 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-7 adet 4.5 metre derinliğinde (2.7 metre sıkılama, 1.8 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-12 adet 5.0 metre derinliğinde (2.8 metre sıkılama, 2.2 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-7 adet 5.5 metre derinliğinde (3 metre sıkılama, 2.5 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-4 adet 6.0 metre derinliğinde (3 metre sıkılama, 1.8 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

İnfilak sıralaması;

24 Delik 1. Atım

24 Delik 2. Atım

Kanal tarafı yakın yer ikinci patlatma sahası 3 atımlı patlatma yapıldı. 69 delik açıldı ve 68 elektriksiz kapsül yerleştirildi. Açılan delikler ve yerleştirilen patlayıcı miktarı ve sıkılama mesafesi;

-54 adet 3.0 metre derinliğinde (2.3 metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-7 adet 3.5 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.0 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-4 adet 6.0 metre derinliğinde (3 metre sıkılama, 1.8 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-4 adet 6.0 metre derinliğinde (3 metre sıkılama, 3.0 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

İnfilak sıralaması;

23 delik 1. Atım

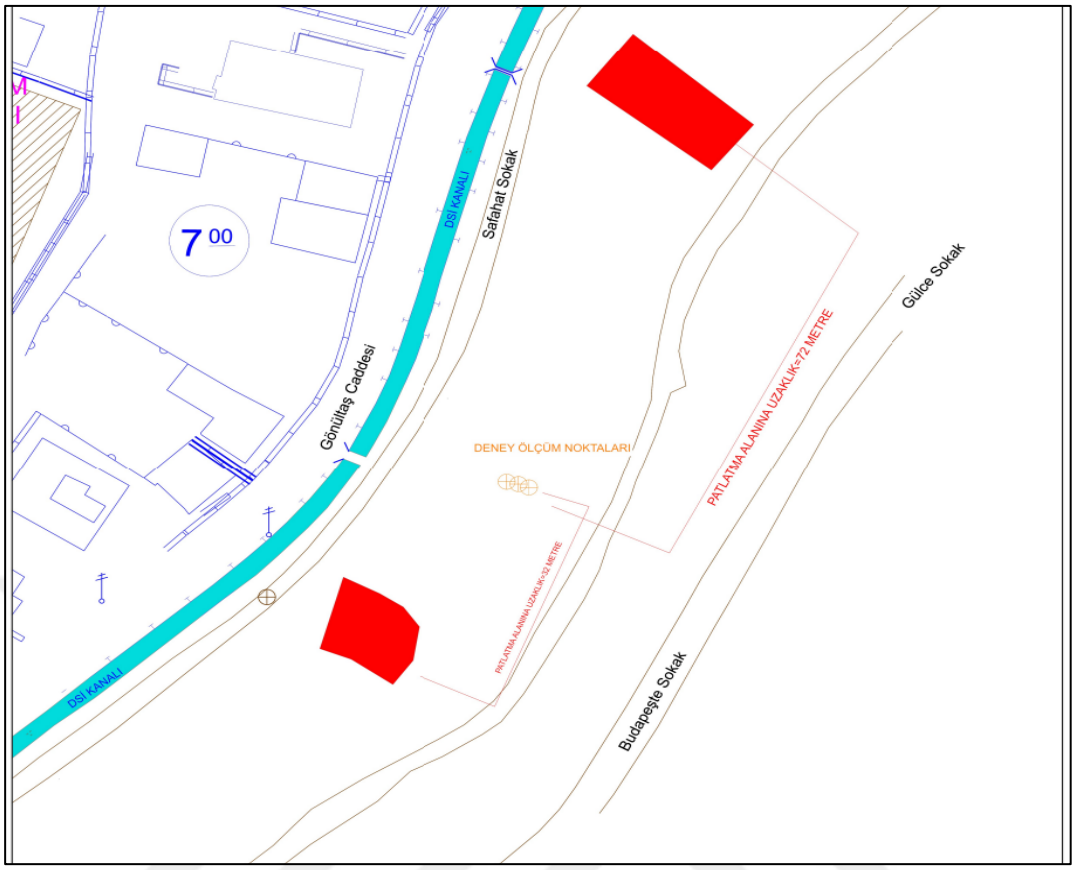
23 delik 2. Atım

23 delik 3. Atım

İlgili tarihte, sahada kullanılan toplam Anfo miktarı 750 kg, 58 kg dinamit ve 5 tane elektrikli fünye kullanılmıştır.

3.2.3. 30/12/2022 Tarihinde Yapılan Patlatmalar

İlgili tarihte, Şekil 3.13'de kırmızı olarak gösterilen iki farklı kısımda patlatma çukurları açılmıştır. Her patlatma bölgesine belirli mesafede üç çukur açılarak içerisindeki ivmeölçerler ile ölçüm yapılmıştır. İlk patlatma ölçüm mesafesi 72 m, ikinci patlatma mesafesi 32 m'dir.



Şekil 3.13. Vaziyet planı

Kanal tarafı uzak yer ilk patlatma sahası 3 atımlı patlatma yapıldı. 43 delik açıldı ve 43 elektriksiz kapsül yerleştirildi. Açılan delikler ve yerleştirilen patlayıcı miktarı ve sıkılama mesafesi;

-16 adet 3.0 metre derinliğinde (2.3 metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-4 adet 3.5 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.0 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-4 adet 4.0 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.5 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-4 adet 4.5 metre derinliğinde (2.7 metre sıkılama, 1.8 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-6 adet 5.5 metre derinliğinde (3.0 metre sıkılama, 2.5 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-3 adet 6.0 metre derinliğinde (3.0 metre sıkılama, 3.0 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-3 adet 6.5 metre derinliğinde (3.0 metre sıkılama, 3.5 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-3 adet 7.0 metre derinliğinde (3.0 metre sıkılama, 4.0 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

İnfilak sıralaması;

13 Delik 1. Atım

15 Delik 2. Atım

15 Delik 3. Atım

Kanal tarafı yakın yer ikinci patlatma sahası 3 atımlı patlatma yapıldı. Toplamda 62 delik açıldı ve 62 elektriksiz kapsül yerleştirildi. Açılan delikler ve yerleştirilen patlayıcı miktarı ve sıkılama mesafesi;

-50 adet 3.0 metre derinliğinde (2.3 metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-10 adet 3.5 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.0 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-2 adet 5.0 metre derinliğinde (2.8 metre sıkılama, 2.2 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

İnfilak sıralaması;

21 delik 1. Atım

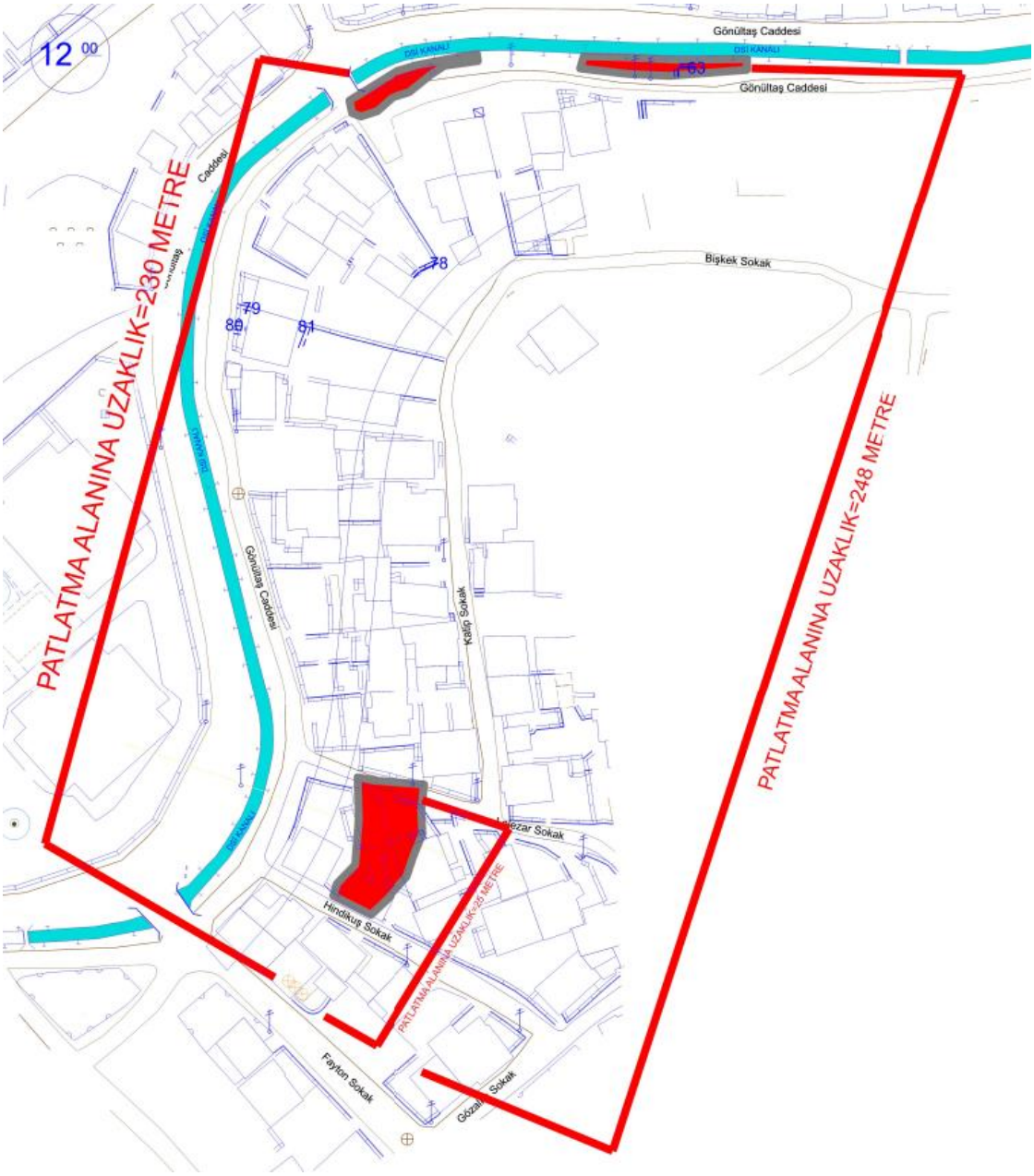
21 delik 2. Atım

20 delik 3. Atım

Sahada kullanılan toplam anfo miktarı 750 kg, 52,5 kg dinamit ve 6 tane elektrikli fünye kullanılmıştır.

3.2.4. 06/01/2023 Tarihinde Yapılan Patlatmalar

İlgili tarihte, Şekil 3.14'de kırmızı olarak gösterilen kısımlarda patlatma çukurları açılmıştır. Her patlatma bölgesine belirli mesafede çukur içerisindeki ivmeölçerler ile ölçüm yapılmıştır. İlk patlatma ölçüm mesafesi 230 m, ikinci patlatma mesafesi 248 m'dir.



Şekil 3.14. Patlatma alanı vaziyet planı

Konteyner önü yakın yer ilk patlatma sahasında 3 atımlı patlatma yapıldı. 115 delik açıldı ve 115 elektriksiz kapsül yerleştirildi. Açılan delikler ve yerleştirilen patlayıcı miktarı ve sıkılama mesafesi;

-89 adet 3.0 metre derinliğinde (2.3 metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-17 adet 3.5 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.0 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-7 adet 4.0 metre derinliğinde (2.5 metre sıkılama, 1.5 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-2 adet 4.5 metre derinliğinde (2.7 metre sıkılama, 1.8 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

İnfılak sıralaması;

38 Delik 1. Atım

38 Delik 2. Atım

39 Delik 3. Atım

Kanal kenarı uzak yer ikinci patlatma sahasında 2 atımlı patlatma yapıldı. Toplamda 44 delik açıldı ve 44 elektriksiz kapsül kullanıldı. Açılan delikler ve yerleştirilen patlayıcı miktarı ve sıkılama mesafesi;

-27 adet 3.0 metre derinliğinde (2.3 metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

-17 adet 3.0 Metre Derinliğinde (2.3 Metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

İnfılak sıralaması;

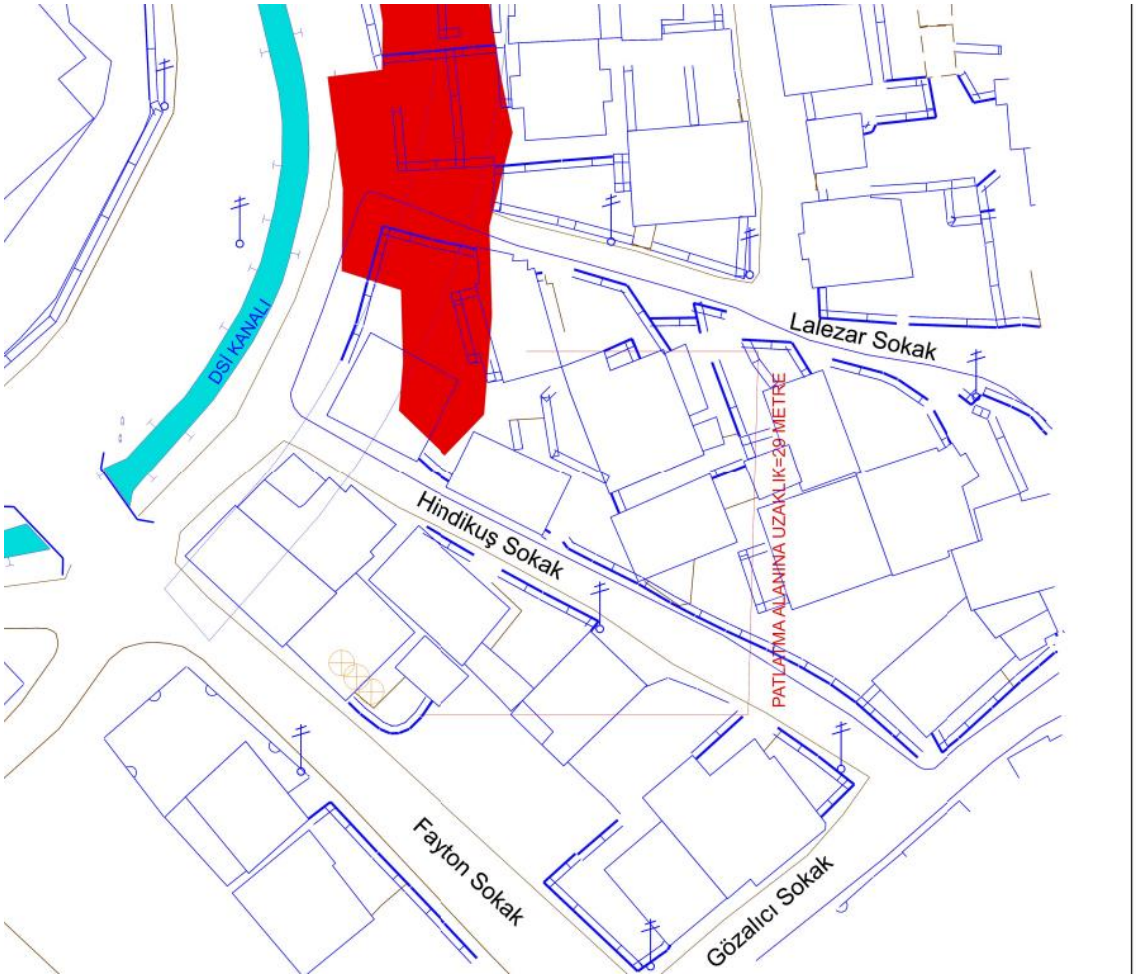
17 delik 1. Atım

27 delik 2. Atım

Belirtilen tarihte kullanılan toplam anfo miktarı 750 kg, 80 kg dinamit ve 5 tane elektrikli fünye kullanılmıştır.

3.2.5. 09/01/2023 Tarihinde Yapılan Patlatmalar

Belirtilen tarihte, Şekil 3.15'de kırmızı olarak gösterilen kısımda patlatma çukurları açılmıştır. Her patlatma bölgesine belirli mesafede çukur içerisindeki ivmeölçerler ile ölçüm yapılmıştır. İlk patlatma ölçüm mesafesi 29 m'dir ve tek patlatma ve ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.15. İlgili tarihte yapılan patlatmaya ait vaziyet planı

Konteyner önü yakın yer tek patlatma sahasında 3 atımlı patlatma yapıldı. Toplamda 170 delik açıldı ve 170 elektriksiz kapsül kullanıldı. Açılan delikler ve yerleştirilen patlayıcı miktarı ve sıkılama mesafesi;

-170 adet 3.0 metre derinliğinde (2.3 metre sıkılama, 0.7 metre anfo, yarım kilo dinamit delik başı)

İnfılak sıralaması;

57 Delik 1. Atım

57 Delik 2. Atım

56 Delik 3. Atım

Belirtilen günde kullanılan anfo miktarı toplamda 750 kg, 80 kg dinamit ve 3 tane elektrikli fünye kullanılmıştır.

Çalışmada, gerçekleştirilen 5 farklı günde kullanılan patlayıcı miktarı ve mesafeler Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Günlere göre patlayıcı yerleri, mesafeler, atım sayıları ve delik sayıları

Tarih	Sıralı patlatma	Patlatma yeri ve sensörlere mesafesi	Sensör	Atım	Delik sayısı
28.12.2022 tarihli patlatma	İlk Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kernek Tarafı Uzak Yer)	82 metre	1. sensör	1	14
				2	14
				3	13
			2. sensör	1	14
				2	14
				3	13
			3. sensör	1	14
				2	14
				3	13
	İkinci Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Yakın Yer)	52 metre	1. sensör	1	37
				2	38
			2. sensör	1	37
				2	38
			3. sensör	1	37
				2	38
29.12.2022 tarihli patlatma	İlk Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Uzak Yer)	137 metre	1. sensör	1	24
				2	24
			2. sensör	1	24
				2	24
			3. sensör	1	24
				2	24
	İkinci Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Yakın Yer)	48 metre	1. sensör	1	23
				2	23
				3	23
			2. sensör	1	23
				2	23
				3	23
			3. sensör	1	23
				2	23
				3	23

Tablo 3.3. (Devamı) Günlere göre patlayıcı yerleri, mesafeler, atım sayıları ve delik sayıları

Tarih	Sıralı patlatma	Patlatma yeri ve	Sensör	Atım	Delik sayısı
30.12.2022 tarihli patlatma	İlk Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kernek Tarafı Uzak Yer)	72 metre	1. sensör	1	13
				2	15
				3	15
			2. sensör	1	13
				2	15
				3	15
			3. sensör	1	13
				2	15
				3	15
	İkinci Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Yakın Yer)	32 metre	1. sensör	1	21
				2	21
				3	20
			2. sensör	1	21
				2	21
				3	20
			3. sensör	1	21
				2	21
				3	20
06.01.2023 tarihli patlatma	İlk Patlatma (Güney Kuşak Yolu Şantiye Binası Konteyneri Önü Yakın Yer)	25 metre	1. sensör	1	38
				2	38
				3	39
			2. sensör	1	38
				2	38
				3	39
			3. sensör	1	38
				2	38
				3	39

Tablo 3.3. (Devamı) Günlere göre patlayıcı yerleri, mesafeler, atım sayıları ve delik sayıları

Tarih	Sıralı patlatma	Patlatma yeri ve	Sensör	Atım	Delik sayısı
	İkinci Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Uzak Yer)	230 metre 248 metre	1. sensör	1	17
				2	27
			2. sensör	1	17
				2	27
			3. sensör	1	17
				2	27
09.01.2023 tarihli patlatma	Tek Patlatma (Güney Kuşak Yolu Şantiye Binası Konteyneri Önü)	29 metre	1. sensör	1	57
				2	57
				3	56
			2. sensör	1	57
				2	57
				3	56
			3. sensör	1	57
				2	57
				3	56

3.3. Altay Kışlası Yakınlarında Yapılan Patlatmalar

Belirtilen yerde, önce 15 adet sıralı patlatma testi yapılmış, ardından elektrik direği ve şev yanında patlatma işlemleri yapılmıştır. Sahada palyelere yerleştirilen ivmeölçerlerin görüntüsü Şekil 3.16'da, sıralı patlatma ve şev patlatmasına ait görüntüler ise Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de verilmiştir. Ayrıca, ilgili yere ait yapılan patlatmalara ait bilgiler alt başlıklar halinde verilmiştir.

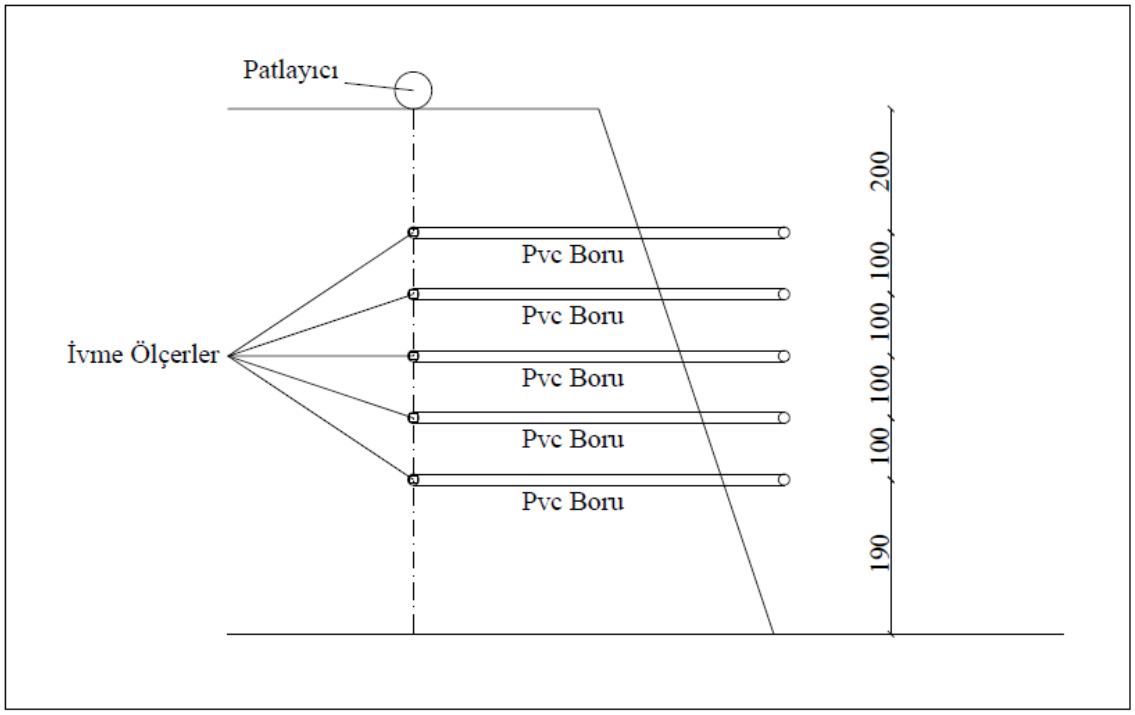
Şekil 3.16. Palyeye ivme ölçerlerin yerleştirilmesi

Şekil 3.17. Sıralı patlatmaya ait görüntü

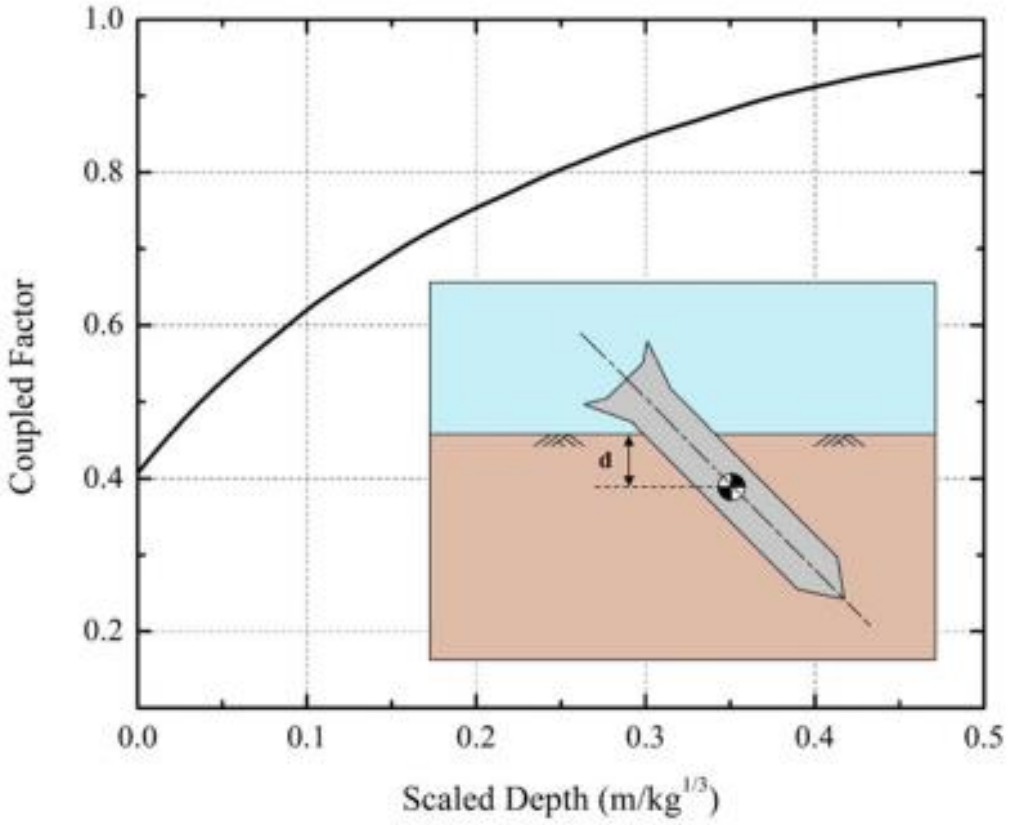
Şekil 3.18. Şev patlatmasına ait görüntü

3.3.1. Sıralı Patlatmalar

Altay kışlasında yapılan 15 adet sıralı patlatmanın palyedeki yerleştirilmiş görünüm Şekil 3.19'da verilmiştir. Palyeye ivme ölçerlerin yerleştirilmesinde Mandal ve arkadaşlarının (2020) yaptığı çalışmadan [3] yararlanılmış ve burada Şekil 3.20'de gösterilen grafikten faydalanılmıştır. Ayrıca, patlatmanın yapıldığı sahanın koordinat bilgileri Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.19. Sıralı patlayıcının palyeye yerleştirilme durumu

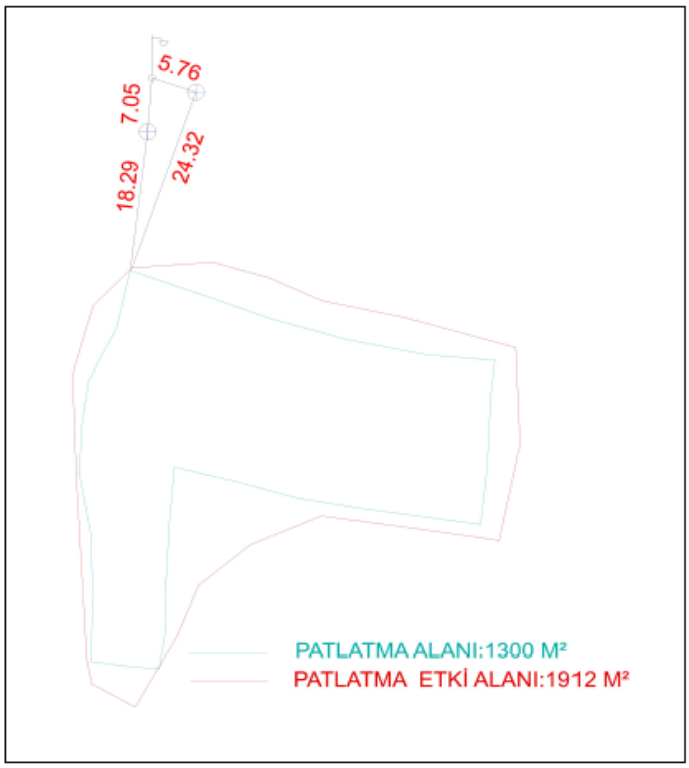


Şekil 3.20. Palyelerin yerleştirilme durumunun tespitinde kullanılan grafik [3]

Şekil 3.21. Sıralı patlatmanın yapıldığı sahaya ait bilgiler

3.3.2. Elektrik Direği Yanındaki Patlatmalar

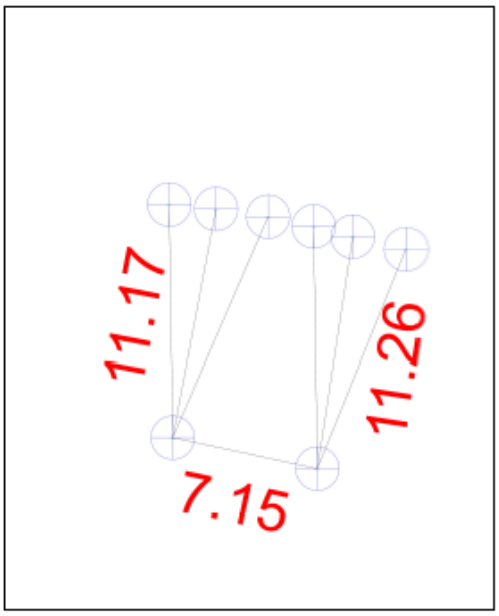
Çalışmada, elektrik direğine yakın yerde yapılan patlatmaya ait vaziyet planı Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.22. Elektrik direği yakınındaki patlatma için ilgili alanın vaziyet planı

3.3.3. Şev Yanındaki Patlatmalar

Çalışmada, şev yanında yapılan patlatmaya ait sahanın vaziyet planı Şekil 3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.23. Şev yanındaki patlatma için ilgili alanın vaziyet planı

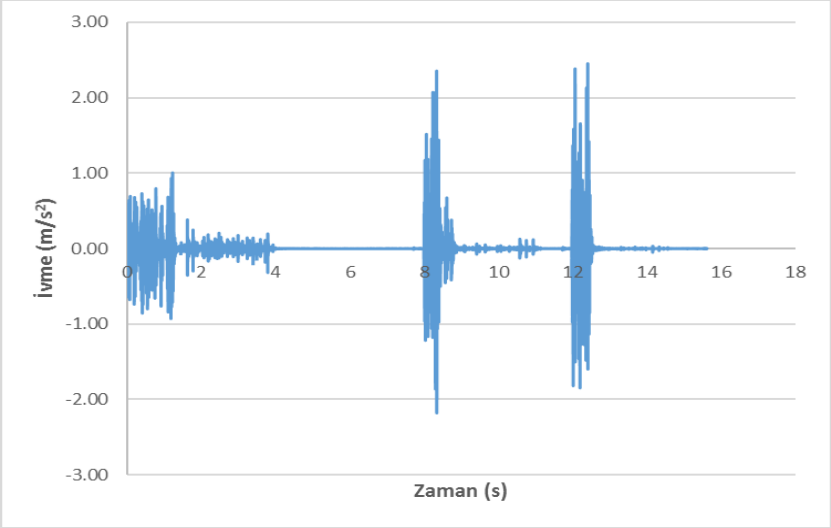
4. DENEYSEL ÇALIŞMALARA AİT ÇIKTILAR

Gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında, hem Güney Kuşak Yolu'nda hem de Altay Kışlası yanında farklı tarihlerde çeşitli patlatmalar yapılmıştır. Bu yerlere ait elde edilen sonuçlar sırasıyla aşağıdaki alt başlıklar halinde verilmiştir.

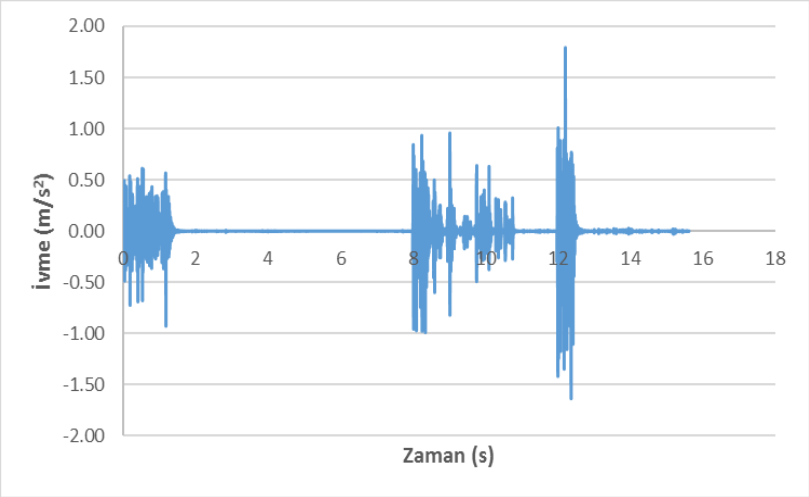
4.1. Güney Kuşak Yolu Patlatmaları

4.1.1. 28/12/2022 Tarihli Ölçüm Sonuçları

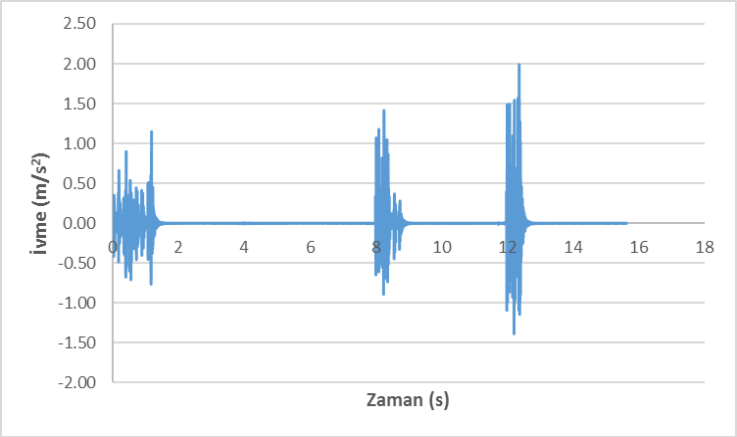
Şekil 4.1- Şekil 4.3'de patlatma bölgesine 82 m mesafede açılan üç çukur içerisine yerleştirilen bir nolu ivme ölçere ait verilerin grafik olarak görünümü verilmiştir.



Şekil 4.1. İlk patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği

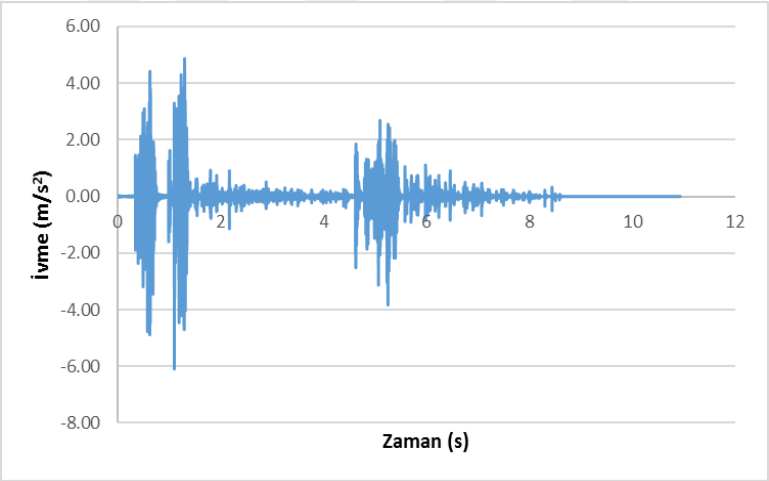


Şekil 4.2. İlk patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği

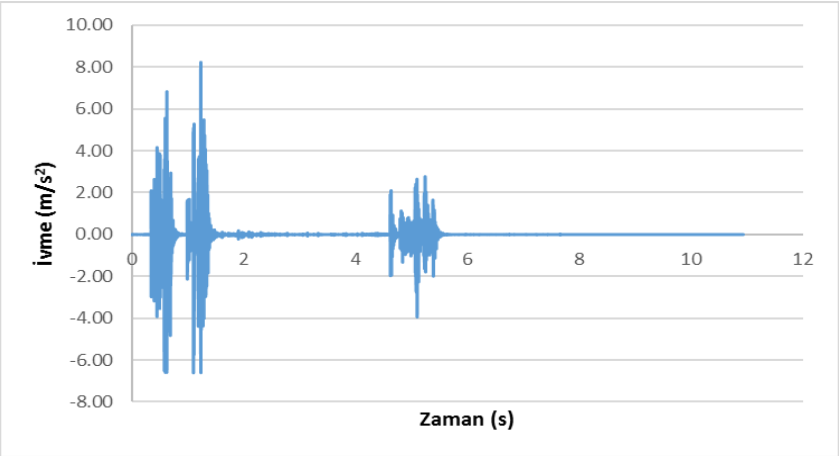


Şekil 4.3. İlk patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği

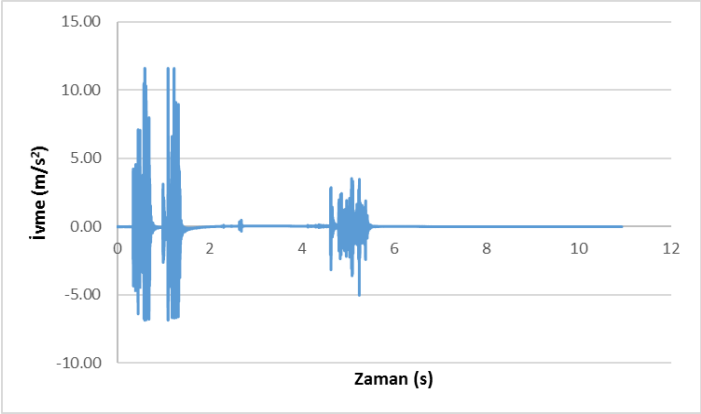
Şekil 4.4- Şekil 4.6'da patlatma bölgesine 52 m mesafede açılan üç çukur içerisine yerleştirilen bir nolu ivme ölçere ait verilerin grafik olarak görünümü verilmiştir.



Şekil 4.4. İkinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği



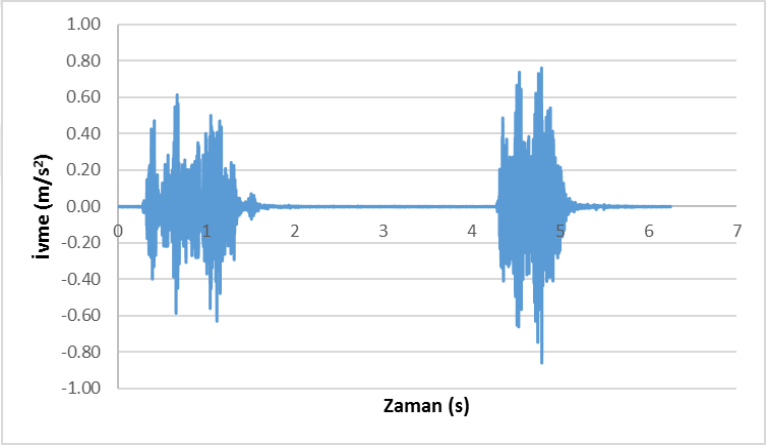
Şekil 4.5. İkinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği



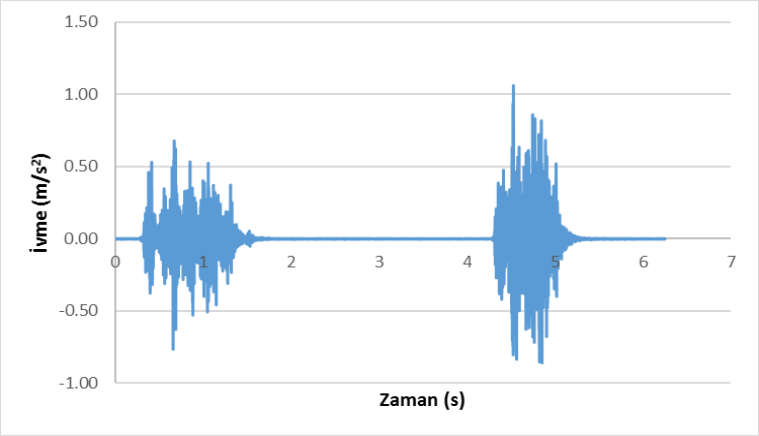
Şekil 4.6. İkinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği

4.1.2. 29/12/2022 Tarihli Ölçüm Sonuçları

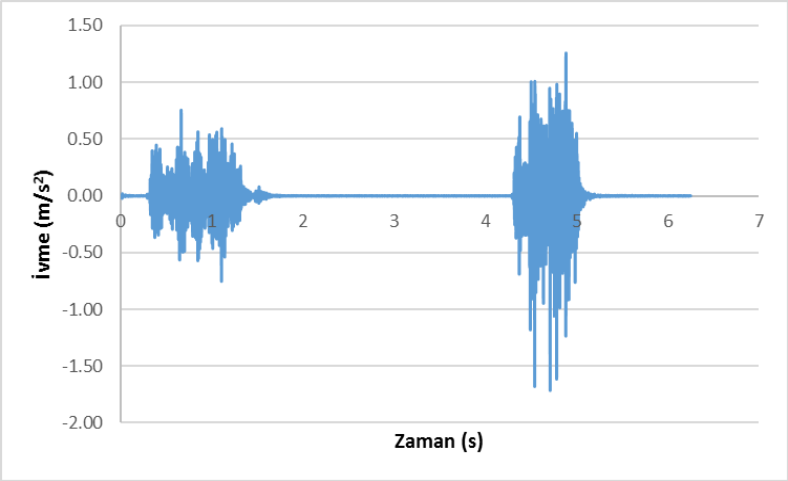
Şekil 4.7- Şekil 4.9'da patlatma bölgesine 137 m mesafede açılan üç çukur içerisine yerleştirilen bir nolu ivme ölçere ait verilerin grafik olarak görünümü verilmiştir.



Şekil 4.7. Birinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği

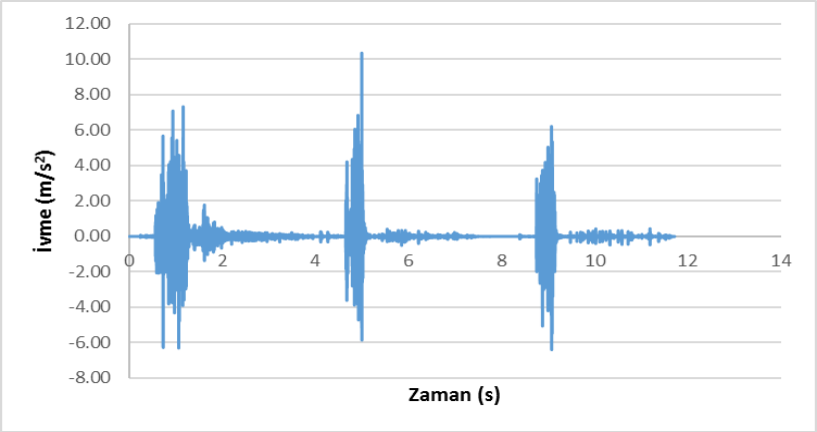


Şekil 4.8 Birinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği

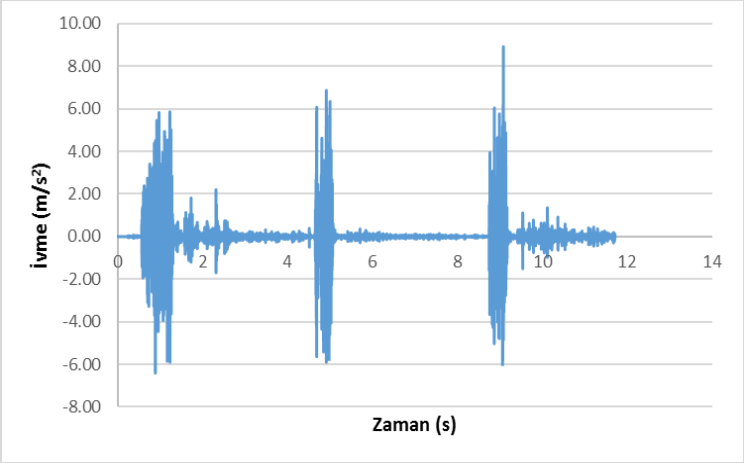


Şekil 4.9. Birinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği

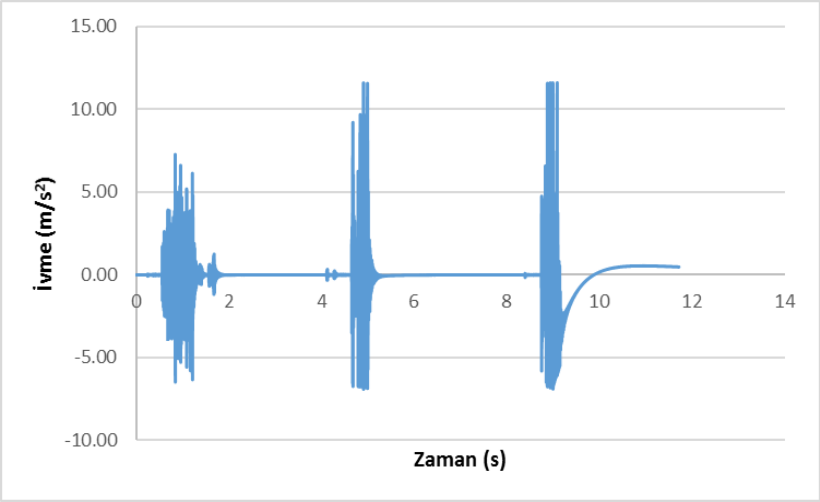
Şekil 4.10- Şekil 4.12'de patlatama bölgesine 48 m mesafede açılan üç çukur içerisine yerleştirilen bir nolu ivmeölçere ait verilerin grafik olarak görünümü verilmiştir.



Şekil 4.10. İkinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği



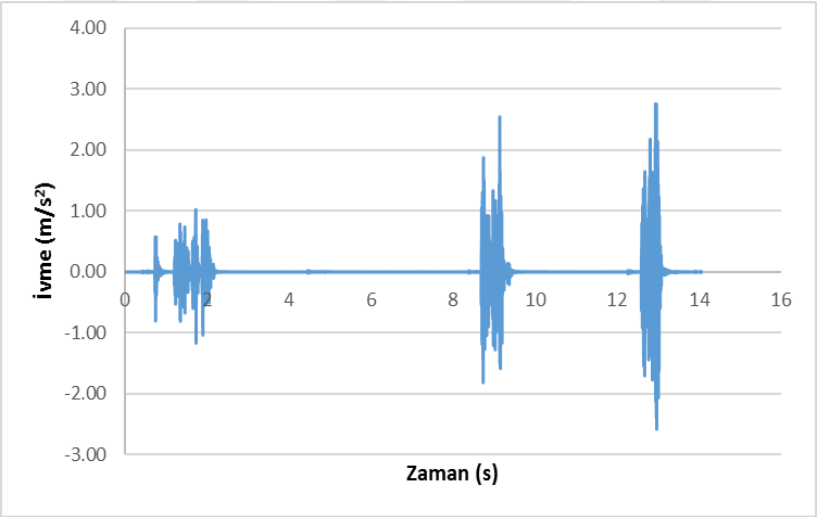
Şekil 4.11. İkinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği



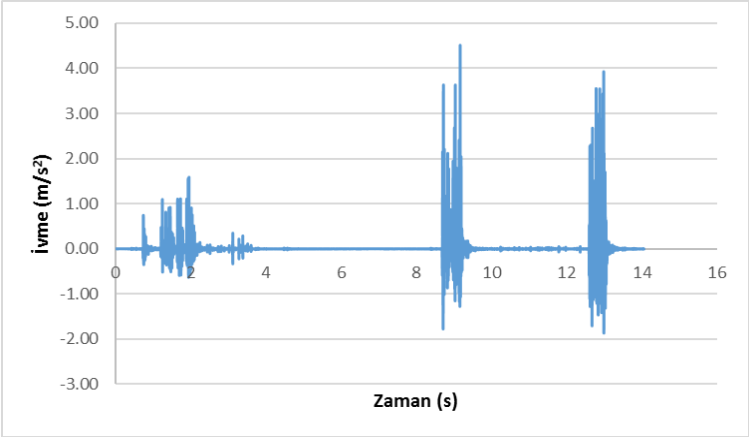
Şekil 4.12. İkinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği

4.1.3. 30/12/2022 Tarihli Ölçüm Sonuçları

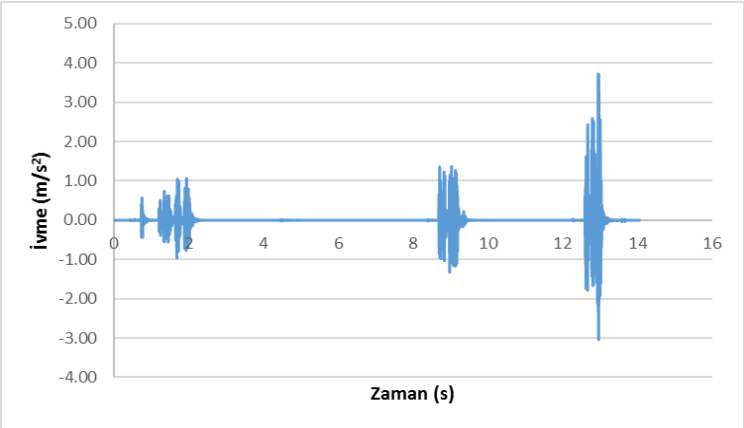
Şekil 4.13-Şekil 4.15'de patlatma bölgesine 72 m mesafede açılan üç çukur içerisine yerleştirilen bir nolu ivme ölçere ait verilerin grafik olarak görünümü verilmiştir.



Şekil 4.13. İlk patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği

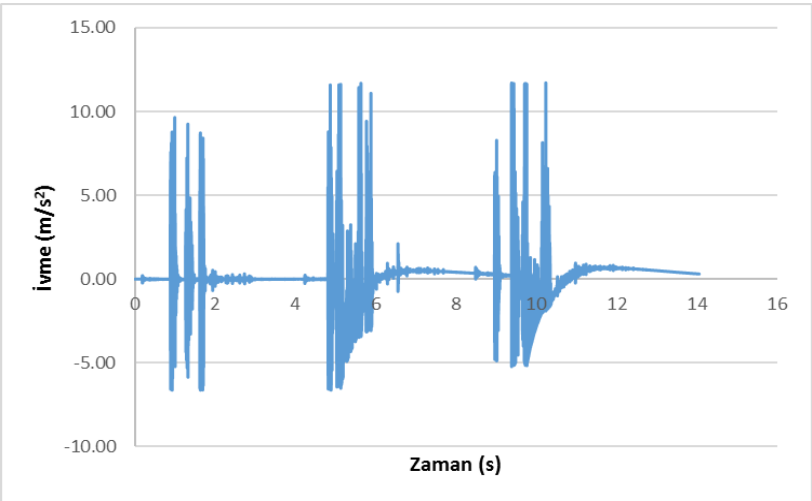


Şekil 4.14. İlk patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği

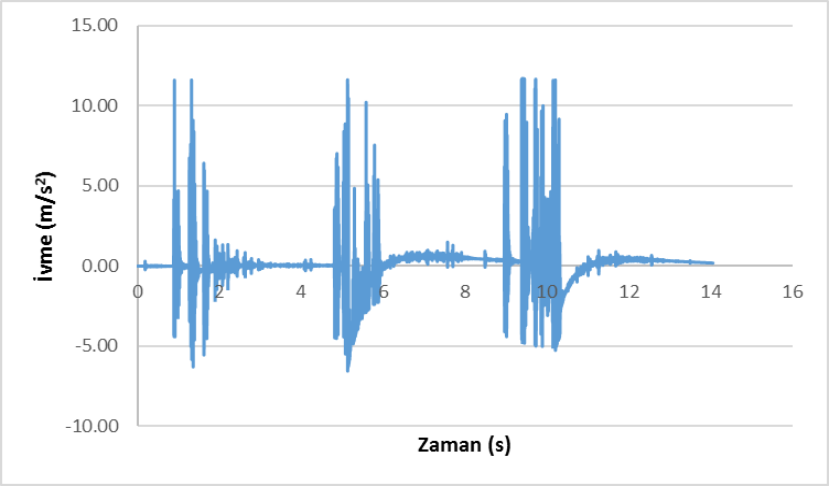


Şekil 4.15. İlk patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği

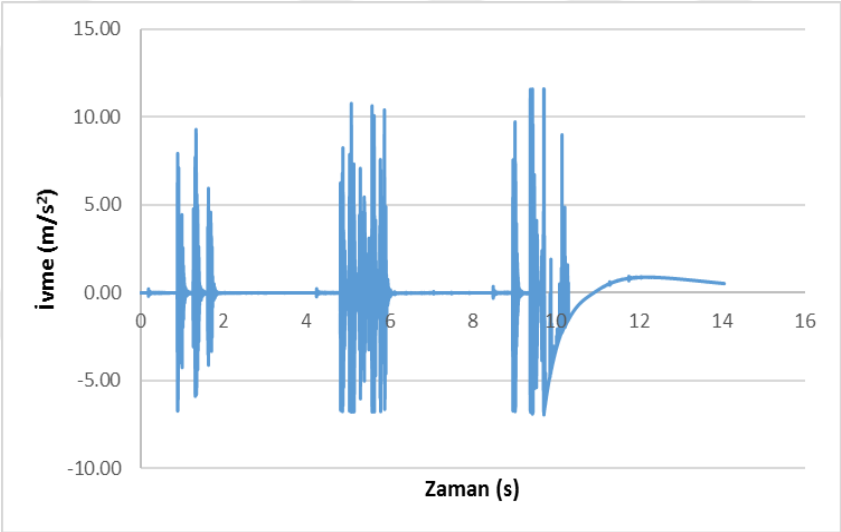
Şekil 4.16-Şekil 4.18'de patlatma bölgesine 32 m mesafede açılan üç çukur içerisine yerleştirilen bir nolu ivmeölçere ait verilerin grafik olarak görünümü verilmiştir.



Şekil 4.16. İkinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği



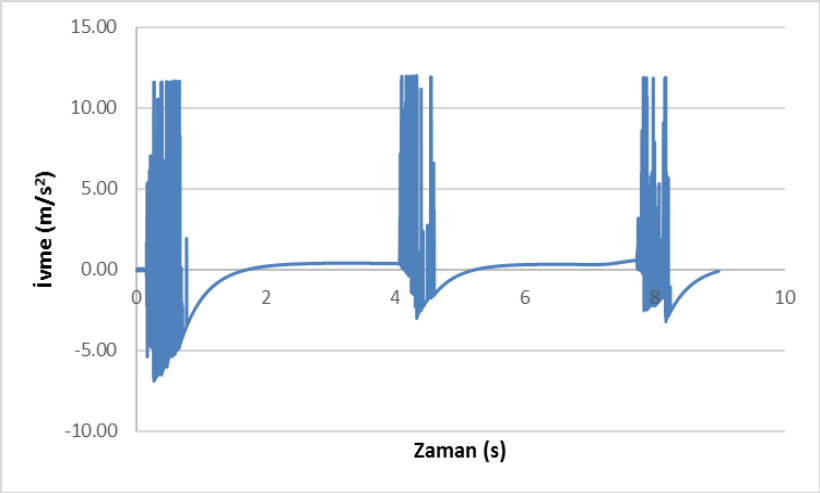
Şekil 4.17. İkinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği



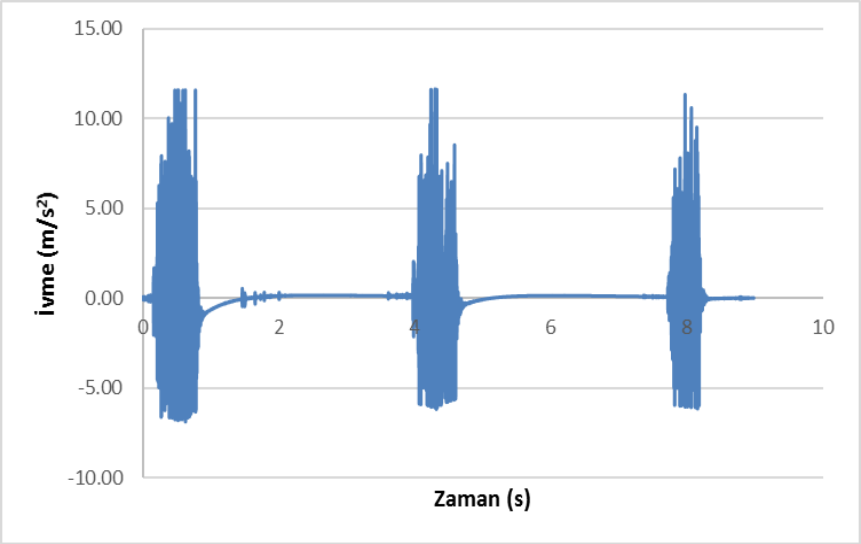
Şekil 4.18. İkinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği

4.1.4. 06/01/2023 Tarihli Ölçüm Sonuçları

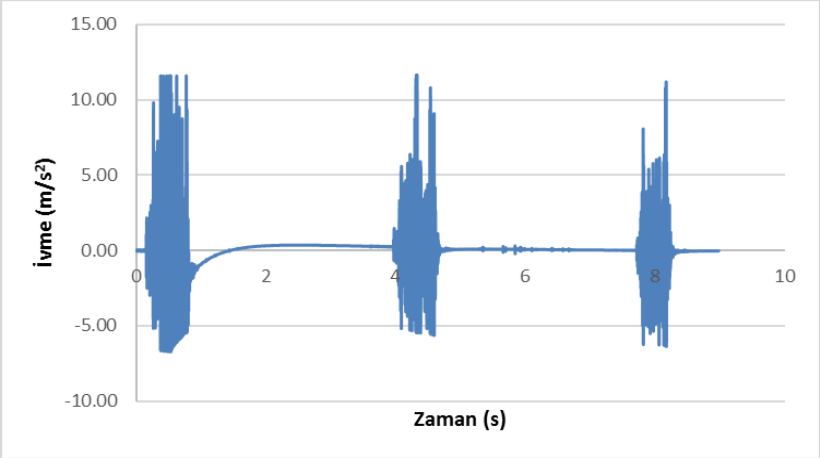
Şekil 4.19-Şekil 4.21'de patlatma bölgesine 25m mesafede açılan üç çukur içerisine yerleştirilen bir nolu ivme ölçere ait verilerin grafik olarak görünümü verilmiştir.



Şekil 4.19. İlk patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği

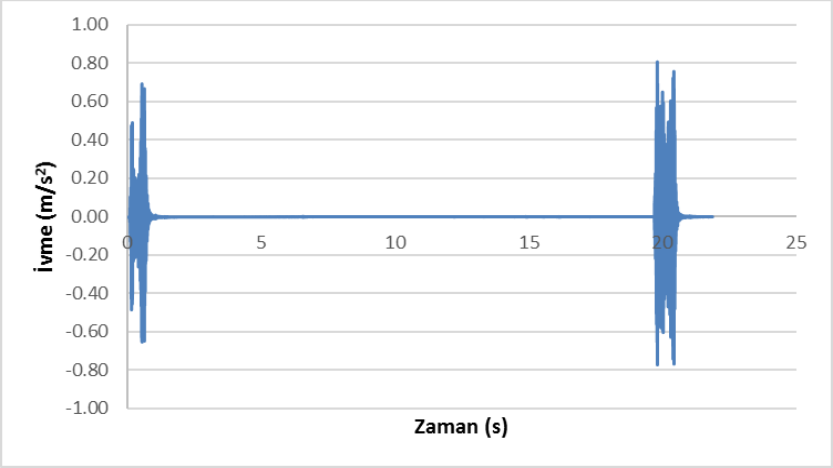


Şekil 4.20. İlk patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği

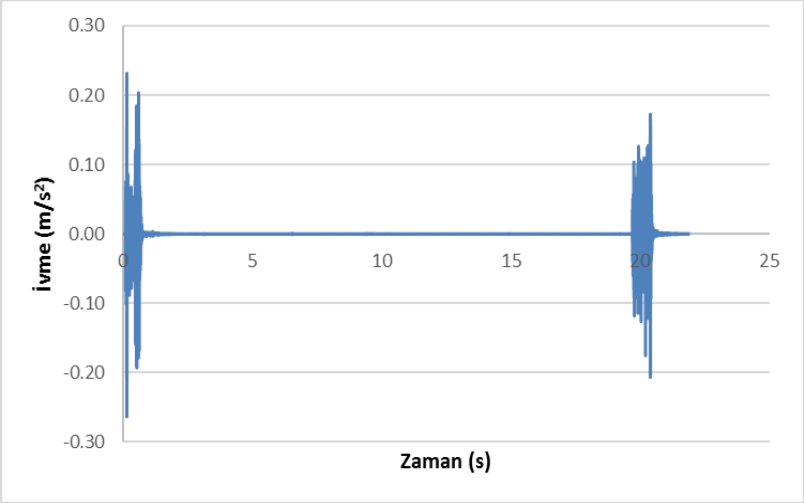


Şekil 4.21. İlk patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği

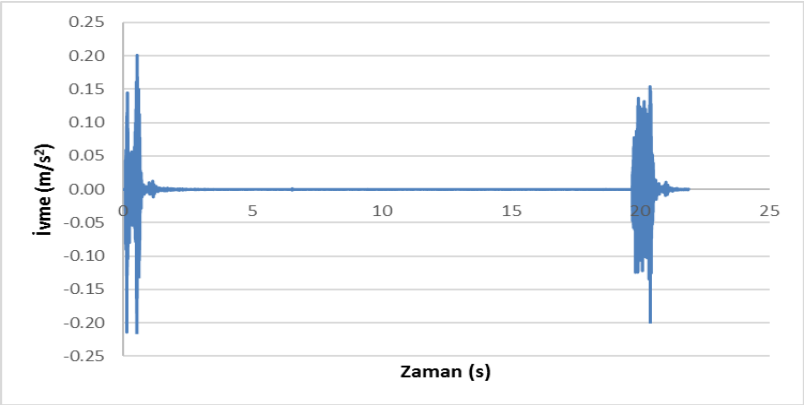
Şekil 4.22-Şekil 4.24'de patlatma bölgesine 230m ve 248m mesafede açılan üç çukur içerisine yerleştirilen bir nolu ivmeölçere ait verilerin grafik olarak görünümü verilmiştir.



Şekil 4.22. İkinci patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği



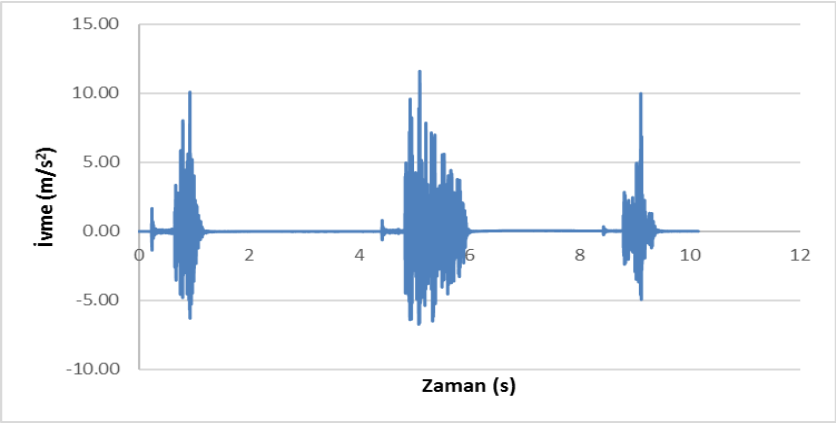
Şekil 4.23. İkinci patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği



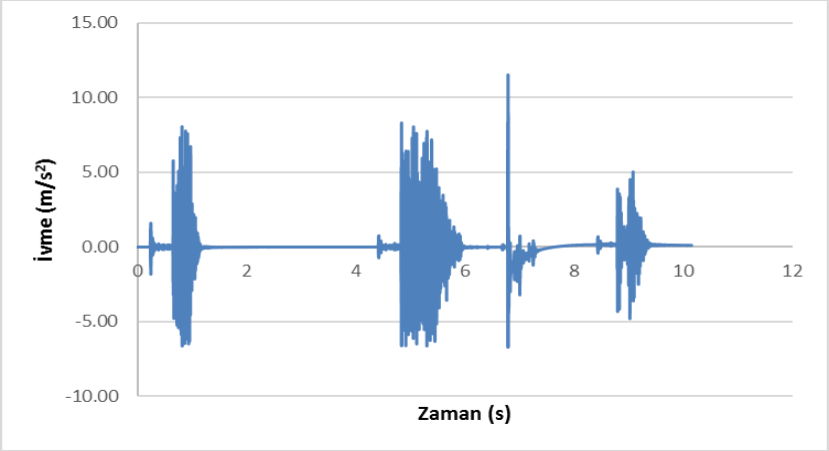
Şekil 4.24 İkinci patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği

4.1.5. 09/01/2023 Tarihli Ölçüm Sonuçları

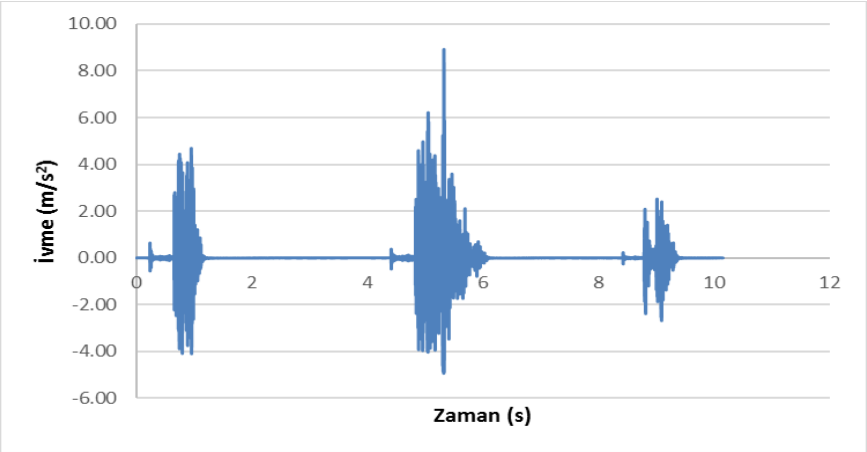
Şekil 4.25-Şekil 4.27'de patlatma bölgesine 29 m mesafede açılan üç çukur içerisine yerleştirilen bir nolu ivmeölçere ait verilerin grafik olarak görünümü verilmiştir.



Şekil 4.25. İlk patlatmada kaydedilen 1. sensörden elde edilen ivme grafiği



Şekil 4.26. İlk patlatmada kaydedilen 2. sensörden elde edilen ivme grafiği



Şekil 4.27. İlk patlatmada kaydedilen 3. sensörden elde edilen ivme grafiği

Sonuç olarak, farklı tarihlerde gerçekleştirilen patlatmalara ait elde edilen tüm sonuçlar Tablo 4.1- Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.1. 28/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler

Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Sensör	Atım	Delik Sayısı	Ölçülen (s)		Pik noktası		Atımlar arası zaman farkı	
						Başlangıç süresi	Bitiş süresi	Zamanı	Değeri	1 ile 2	2 ile 3
28.12.2022 tarihli patlatma	İlk Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kernek Tarafı Uzak Yer)	82 metre	1. sensör	1	14	0	1.4844	1.1837	0.9006	8.125	3.9888
				2	14	8.125	9.0625	8.3364	2.2797		
				3	13	12.1138	12.7344	12.4103	2.3737		
			2. sensör	1	14	0	1.7188	0.5502	0.5183	8.2032	3.9843
				2	14	8.2032	9.5313	9.0196	0.8645		
				3	13	12.1875	12.9688	12.2093	1.7068		
			3. sensör	1	14	0	1.6407	1.176	1.0456	8.2033	3.9842
				2	14	8.2033	9.2188	8.2514	1.3168		
				3	13	12.1875	12.8907	12.3668	1.8793		
	İkinci Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Yakın Yer)	52 metre	1. sensör	1	37	0.4694	1.5625	1.3001	4.621	4.2184	-
				2	38	4.6878	5.7032	5.0994	2.4418		
			2. sensör	1	37	0.4688	1.6407	1.2312	8.1171	4.2187	-
				2	38	4.6875	5.7032	5.2447	2.4801		
			3. sensör	1	37	0.4689	1.5625	1.2302	11.098	4.2968	-
				2	38	4.7657	5.625	5.08	3.1183		

Tablo 4.2. 29/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler

Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Sensör	Atım	Delik sayısı	Ölçülen (s)		Pik Noktası		Atımlar arası zaman farkı	
						Başlangıç süresi	Bitiş süresi	Zamanı	Değeri	1 ile 2	2 ile 3
29.12.2022 tarihli patlatma	İlk Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Uzak Yer)	137 metre	1. sensör	1	24	0.3125	1.4844	0.667	0.5896	3.9844	-
				2	24	4.2969	5.2344	4.7899	0.7327		
			2. sensör	1	24	0.392	1.5625	0.6677	0.6435	3.9857	-
				2	24	4.3777	5.3907	4.5253	1.0351		
			3. sensör	1	24	0.3125	1.5625	0.6616	0.6928	4.0653	-
				2	24	4.3778	5.3125	4.8828	1.2085		
	İkinci Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Yakın Yer)	48 metre	1. sensör	1	23	0.7054	1.5625	1.1595	6.9447	4.0606	4.1403
				2	23	4.766	5.3907	4.9974	9.9219		
				3	23	8.9063	9.4532	9.0736	5.9353		
			2. sensör	1	23	0.7064	1.5625	1.2261	5.541	4.0593	4.1409
				2	23	4.7657	5.3907	4.914	6.5966		
				3	23	8.9066	9.4532	9.085	8.7173		
			3. sensör	1	23	0.7048	1.5625	0.8446	6.8959	4.0619	4.1396
				2	23	4.7667	5.4688	4.9947	11.2827		
				3	23	8.9063	9.1435	9.0913	11.1156		

Tablo 4.3. 30/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler

Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Sensör	Atım	Delik sayısı	Ölçülen (s)		Pik noktası		Atımlar arası zaman farkı	
						Başlangıç süresi	Bitiş süresi	Zamanı	Değeri	1 ile 2	2 ile 3
30.12.2022 tarihli patlatma	İlk Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kernek Tarafı Uzak Yer)	72 metre	1. sensör	1	13	0.9375	2.4219	1.8942	0.8495	7.9699	3.9071
				2	15	8.9074	9.6875	9.1418	2.4121		
				3	15	12.8145	13.3594	12.9442	2.6102		
			2. sensör	1	13	0.9375	2.5	1.9296	1.4141	7.9688	3.9069
				2	15	8.9063	9.6875	9.1685	4.3639		
				3	15	12.8132	13.5157	12.9895	3.8177		
			3. sensör	1	13	0.9375	2.4219	1.9391	0.8796	7.9688	3.9078
				2	15	8.9063	9.6094	9.1586	1.1872		
				3	15	12.8141	13.4375	12.9703	3.5648		
	İkinci Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Yakın Yer)	32 metre	1. sensör	1	21	1.0167	2.0313	0.9961	9.1081	3.9833	4.1407
				2	21	5	6.2501	5.8846	11.096		
				3	20	9.1407	10.5469	9.3881	11.6496		
			2. sensör	1	21	1.0175	2.0313	1.3216	11.6217	3.9825	4.1407
				2	21	5	6.25	5.1349	11.3637		
				3	20	9.1407	10.3167	9.4566	11.4337		
			3. sensör	1	21	1.0938	2.0313	1.3407	8.8439	3.9062	4.1407
				2	21	5	6.25	5.0813	10.2571		
				3	20	9.1407	10.5646	9.3917	11.5256		

Tablo 4.4. 06/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler

Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Sensör	Atım	Delik Sayısı	Ölçülen (s)		Pik noktası		Atımlar arası zaman farkı	
						Başlangıç süresi	Bitiş süresi	Zamanı	Değeri	1 ile 2	2 ile 3
06.01.2023 tarihli patlatma	İlk Patlatma (Güney Kuşak Yolu Şantiye Binası Konteyneri Önü Yakın Yer)	25 metre	1. sensör	1	38	0.2371	0.7786	0.6373	11.6575	3.9036	3.6718
				2	38	4.1407	4.5417	4.3017	11.9475		
				3	39	7.8125	8.2065	8.1516	11.4239		
			2. sensör	1	38	0.2352	0.9375	0.626	11.1719	3.829	3.7498
				2	38	4.0642	4.7657	4.2978	11.3554		
				3	39	7.814	8.4375	7.9746	11.101		
			3. sensör	1	38	0.235	0.7836	0.6257	11.5835	3.8286	3.7529
				2	38	4.0636	4.8438	4.3147	11.1094		
				3	39	7.8165	8.4375	8.1632	10.7316		
	İkinci Patlatma (Güney Kuşak Yolu Kanal Tarafı Uzak Yer)	230 metre 248 metre	1. sensör	1	17	0	1.3282	0.6285	0.6616	19.3529	-
				2	27	19.3529	21.0157	19.8103	0.7647		
			2. sensör	1	17	0	1.1719	0.1401	0.2211	20.0014	-
				2	27	20.0014	20.9375	20.3978	0.1625		
			3. sensör	1	17	0	1.1719	0.536	0.1932	20.0006	-
				2	27	20.0006	21.0938	20.4054	0.1445		

Tablo 4.5. 09/12/2022 tarihli patlatmalardan elde edilen değerler

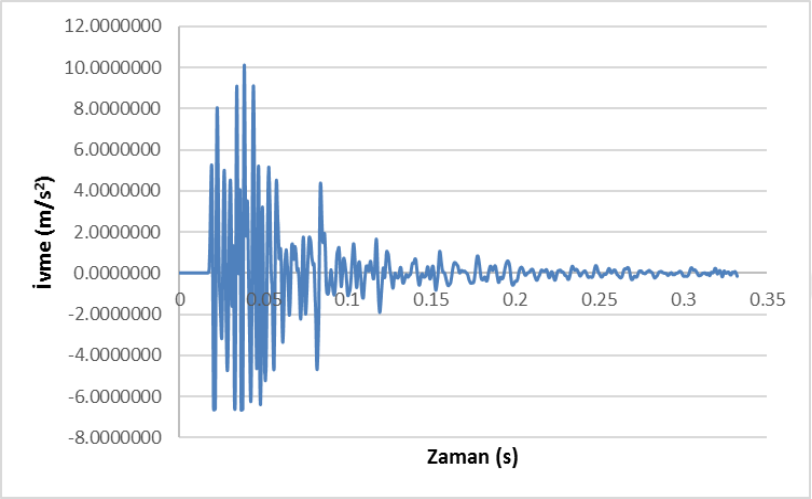
Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Sensör	Atım	Delik sayısı	Ölçülen (s)		Pik noktası		Atımlar arası zaman farkı	
						Başlangıç süresi	Bitiş süresi	Zamanı	Değeri	1 ile 2	2 ile 3
09.01.2023 tarihli patlatma	Tek Patlatma (Güney Kuşak Yolu Şantiye Binası Konteyneri Önü)	29 metre	1. sensör	1	57	0.7813	1.3282	0.928	9.5827	4.2203	3.9047
				2	57	5.0016	6.0938	5.1	11.4238		
				3	56	8.9063	9.5313	9.1128	9.5175		
			2. sensör	1	57	0.7813	1.3282	0.8831	7.5841	4.2204	3.9046
				2	57	5.0017	6.0938	4.8407	7.9495		
				3	56	8.9063	9.5313	9.0826	4.6712		
			3. sensör	1	57	0.7825	1.3282	0.9503	4.4395	4.1423	3.9815
				2	57	4.9248	5.9387	5.325	8.6681		
				3	56	8.9063	9.5313	9.0961	2.1851		

4.2. Altay Kışlası Patlatmaları

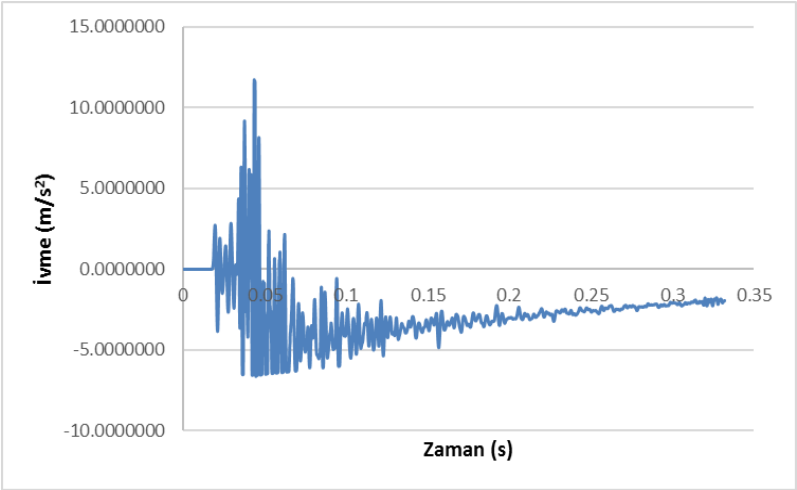
Çalışmada, Malatya ili Altay Kışlası yanında 15 adet sıralı patlatma gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, elektrik direği ve şev yanında da patlatmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar alt başlıklar halinde sırasıyla verilmiştir.

4.2.1. Sıralı Patlatma-1.Patlatma Sonuçları

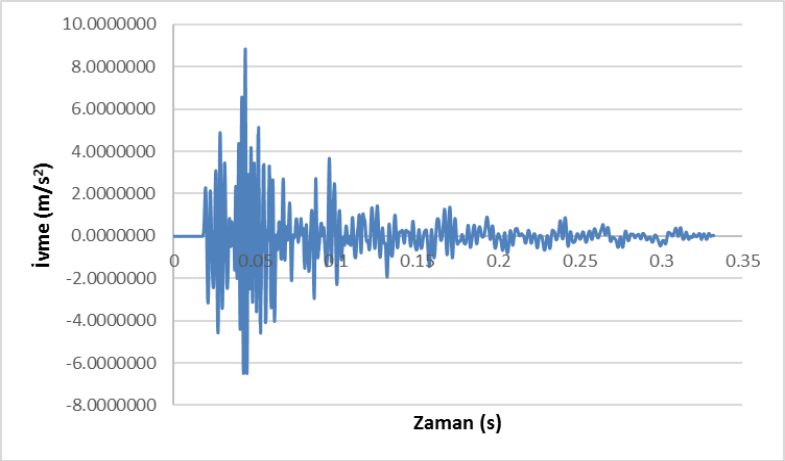
Çalışmada, sıralı yüzey patlatmaları gerçekleştirirken palye üzerindeki patlatma zeminin altına yatay şekilde 5 adet dikey delik açılmıştır. Deliklerin sırasıyla patlatma noktasına uzaklığı 1.sensör 2m, 2.sensör 3m, 3.sensör 4m, 4.sensör 5m ve 5.sensör 6m olmak üzere aynı eksen üzerinde yerleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara ait ivme-zaman grafikleri Şekil 4.28-Şekil 4.99'da verilmiştir.



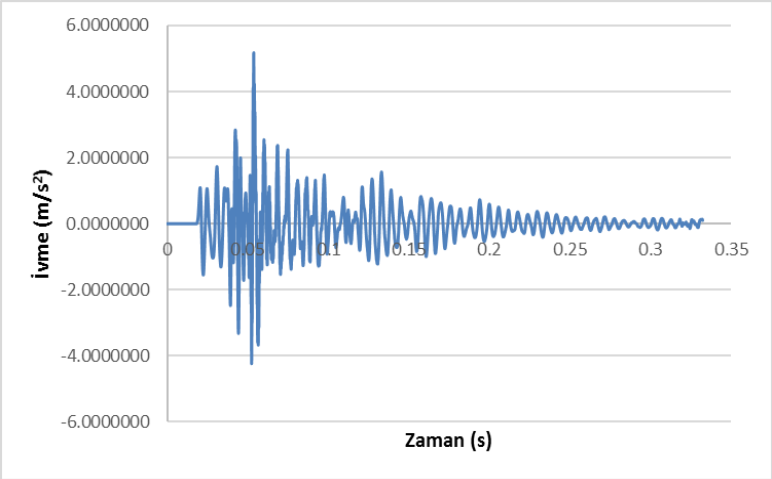
Şekil 4.28. Sıralı patlatma -1. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



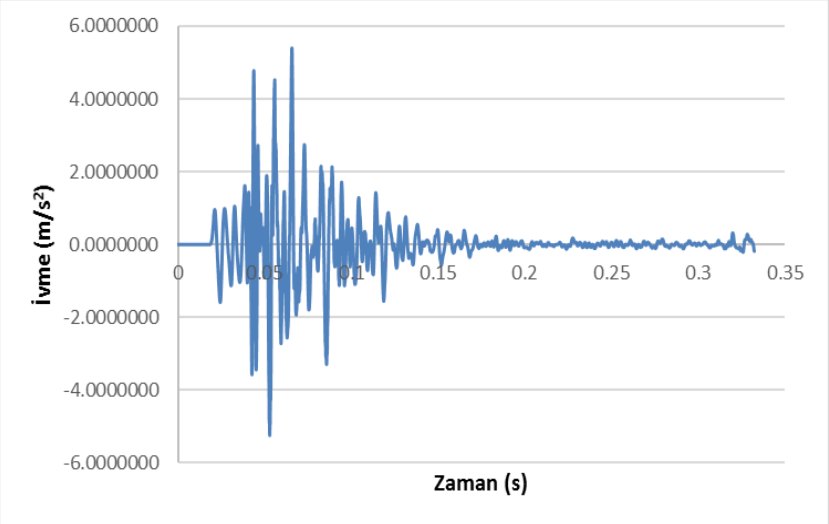
Şekil 4.29. Sıralı patlatma -1. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.30. Sıralı patlatma -1. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

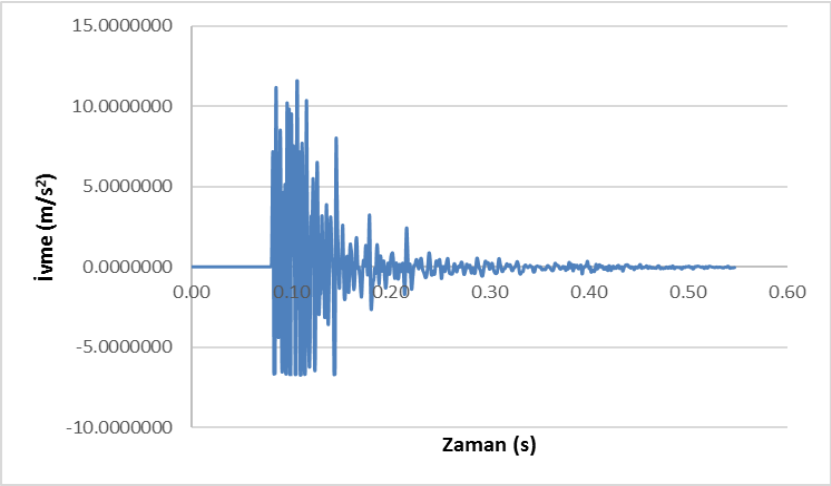


Şekil 4.31. Sıralı patlatma -1. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

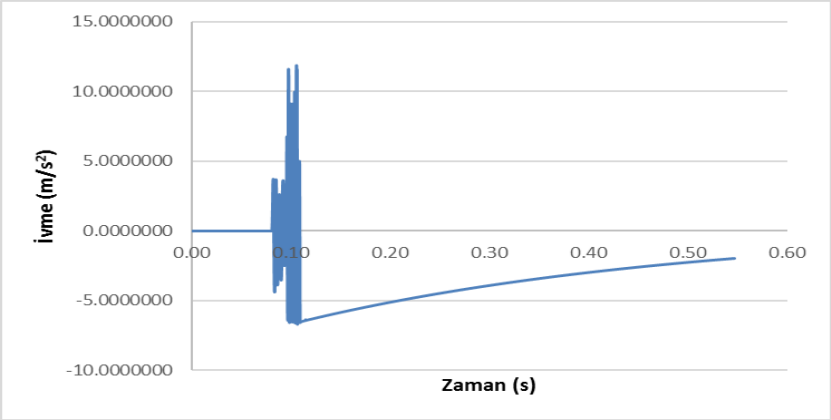


Şekil 4.32. Sıralı patlatma -1. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

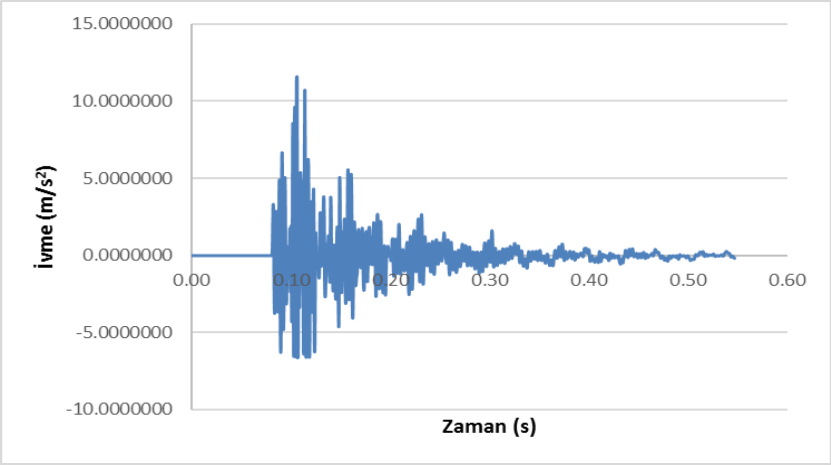
4.2.2. Sıralı Patlatma-2.Patlatma Sonuçları



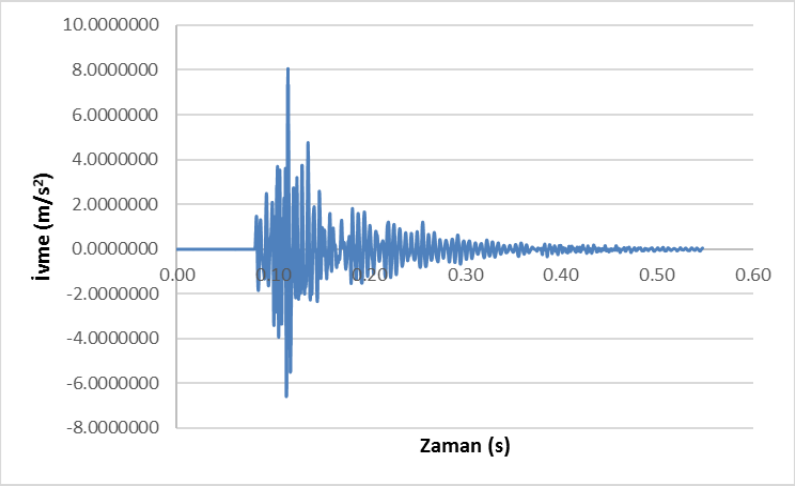
Şekil 4.33. Sıralı patlatma -2. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



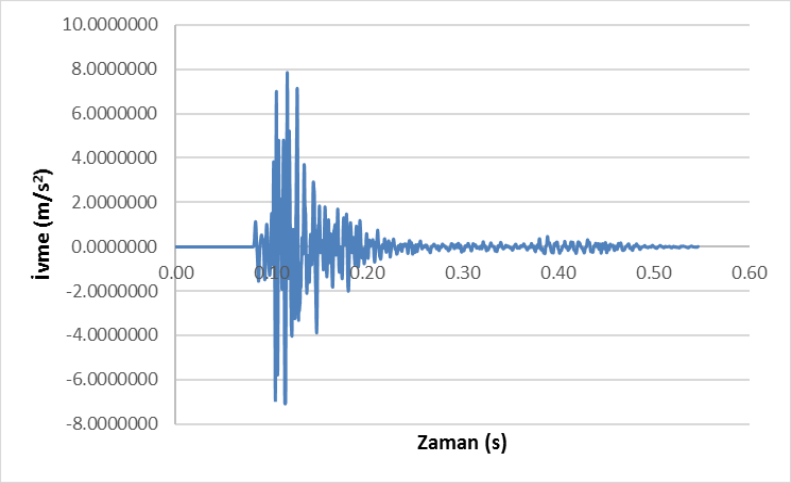
Şekil 4.34. Sıralı patlatma -2. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.35. Sıralı patlatma -2. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

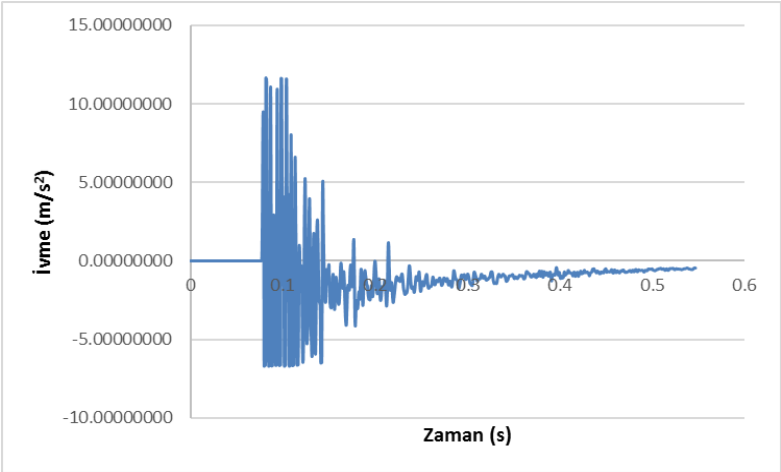


Şekil 4.36. Sıralı patlatma -2. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

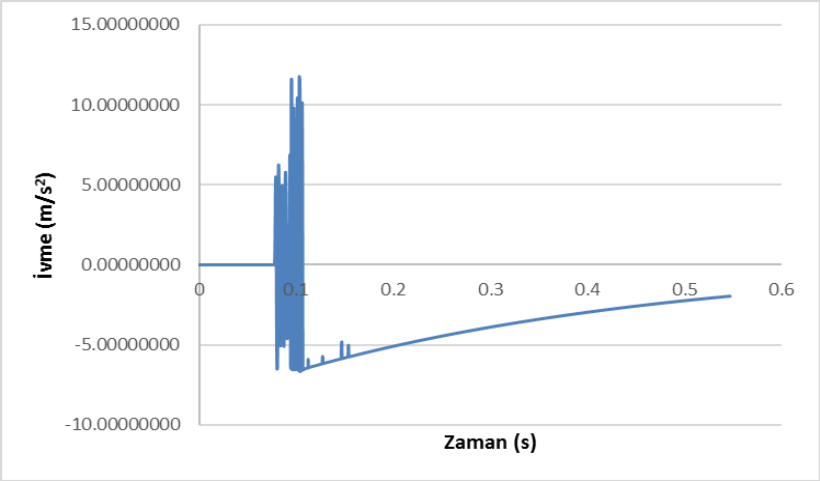


Şekil 4.37. Sıralı patlatma -2. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

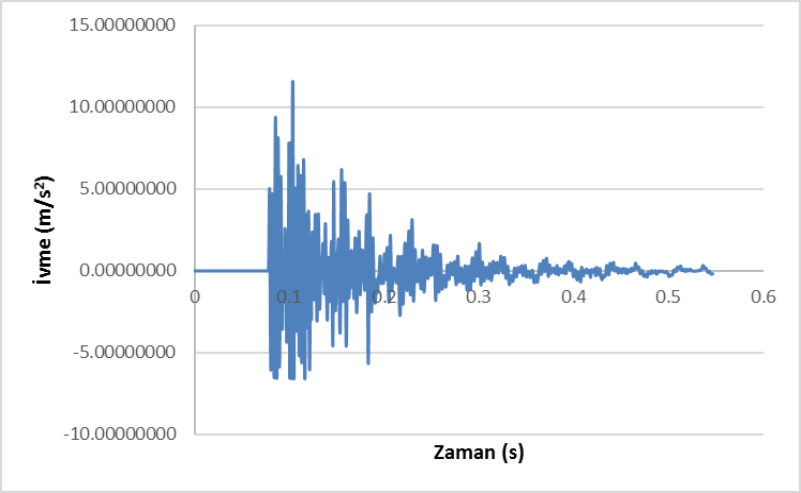
4.2.3. Sıralı Patlatma-3.Patlatma Sonuçları



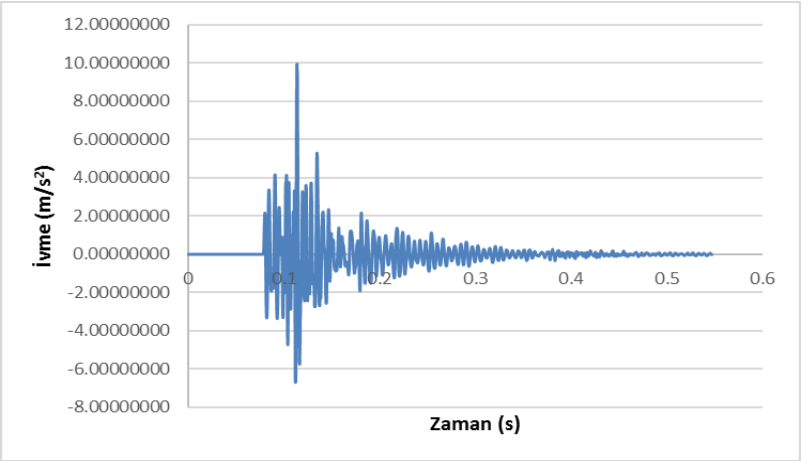
Şekil 4.38. Sıralı patlatma -3. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



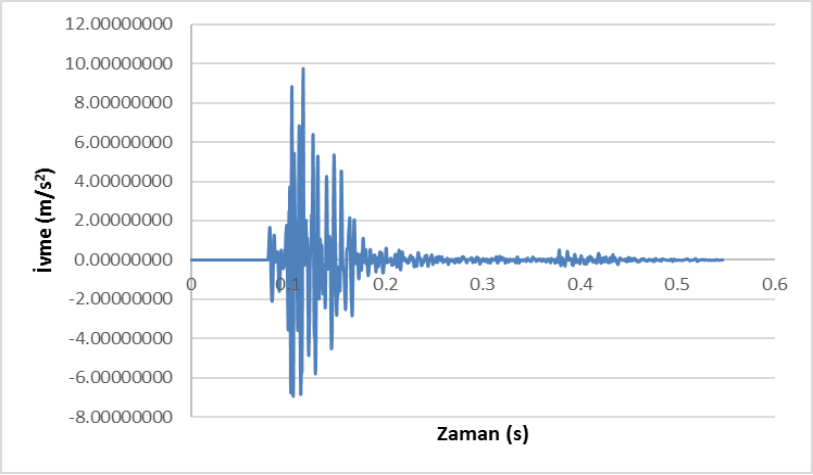
Şekil 4.39. Sıralı patlatma -3. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.40. Sıralı patlatma -3. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

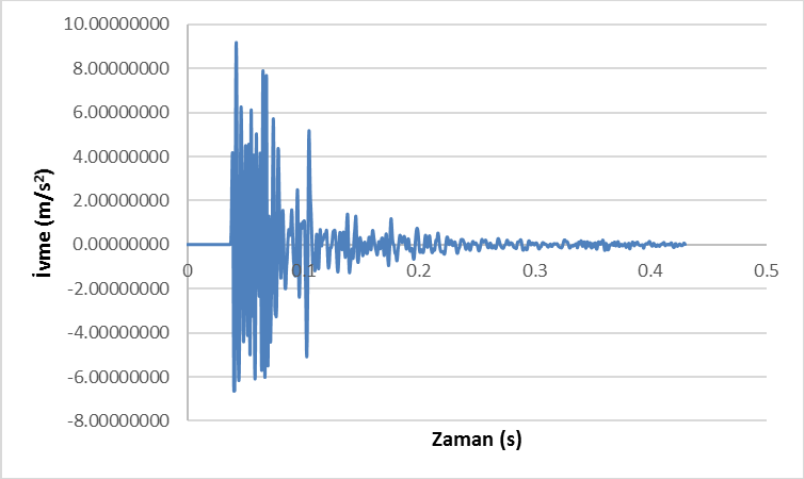


Şekil 4.41. Sıralı patlatma -3. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

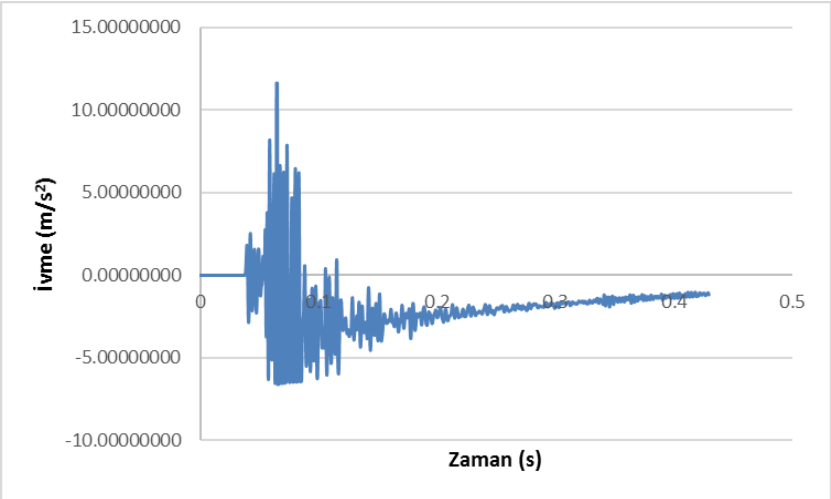


Şekil 4.42. Sıralı patlatma -3. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

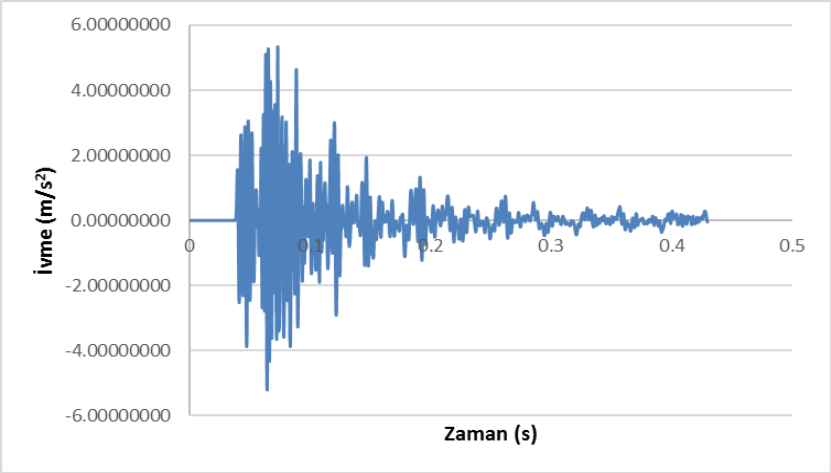
4.2.4 Sıralı Patlatma-4.Patlatma Sonuçları



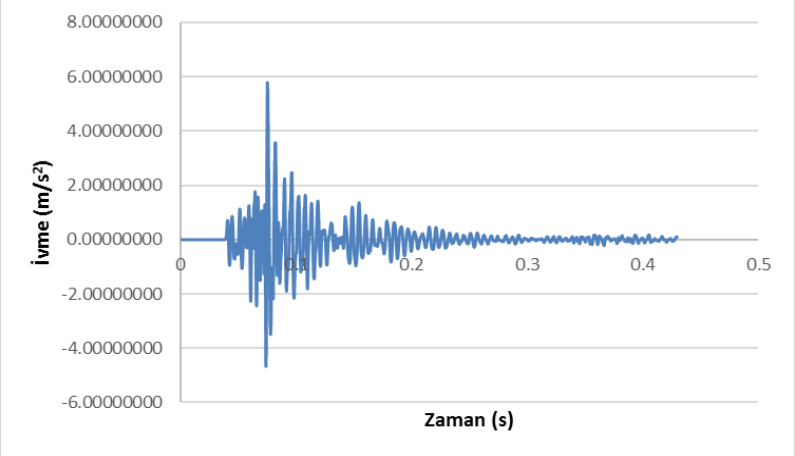
Şekil 4.43. Sıralı patlatma -4. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



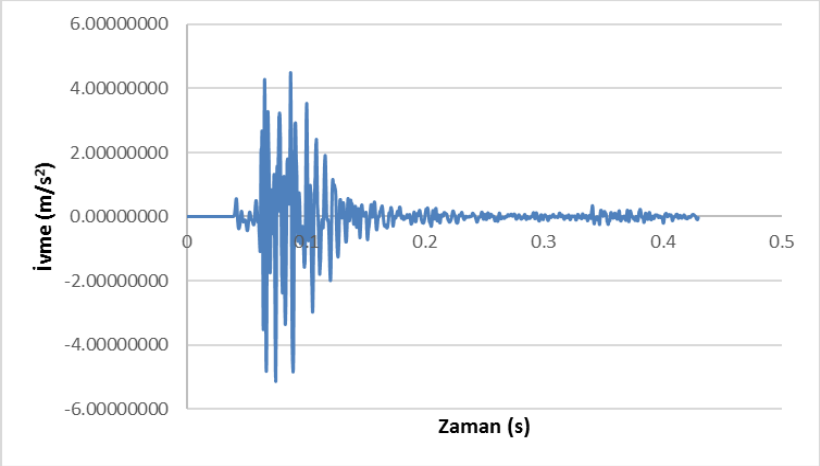
Şekil 4.44. Sıralı patlatma -4. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.45. Sıralı patlatma -4. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

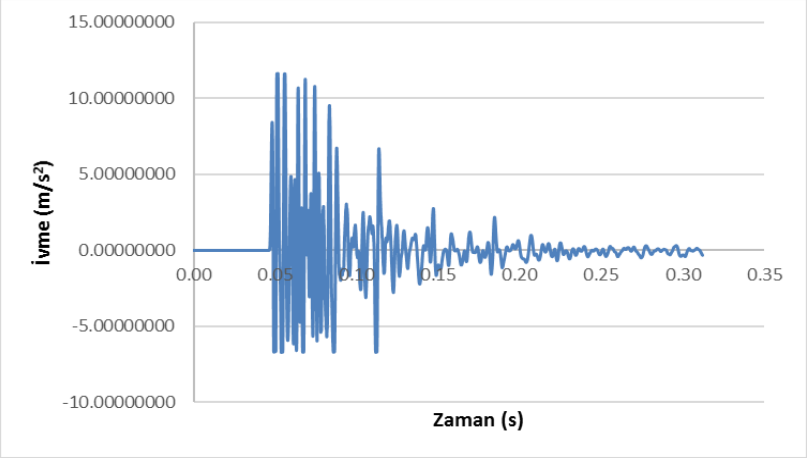


Şekil 4.46. Sıralı patlatma -4. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

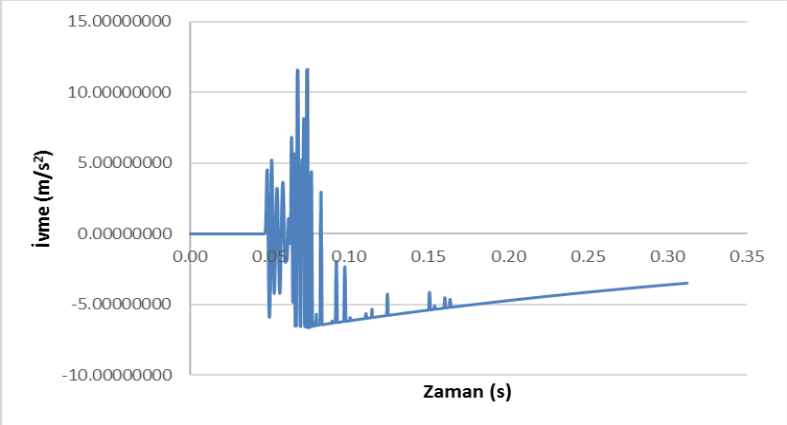


Şekil 4.47. Sıralı patlatma -4. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

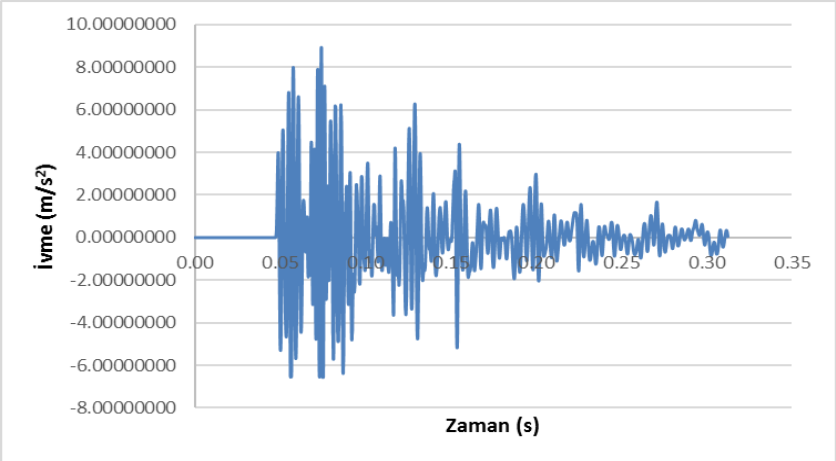
4.2.4. Sıralı Patlatma-5.Patlatma Sonuçları



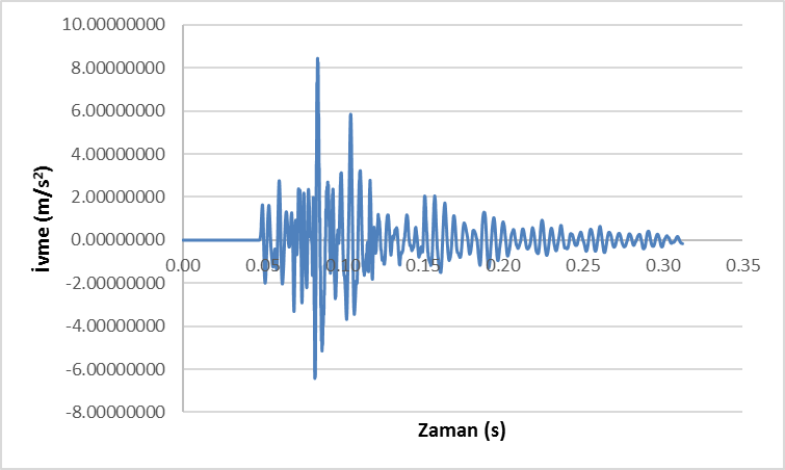
Şekil 4.48. Sıralı patlatma -5. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



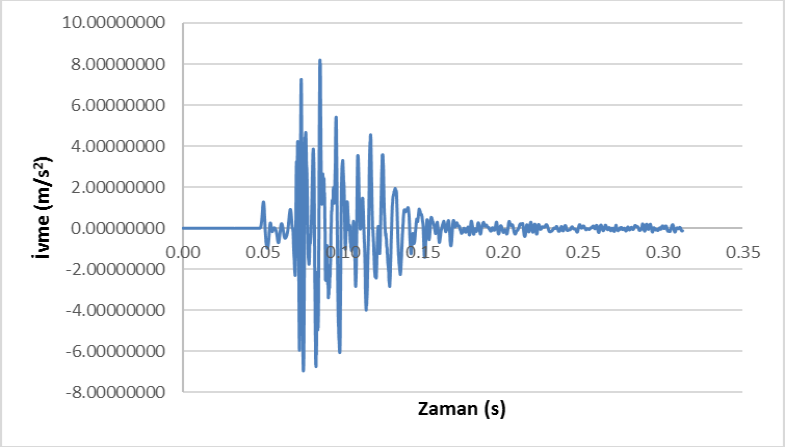
Şekil 4.49. Sıralı patlatma -5. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.50. Sıralı patlatma -5. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

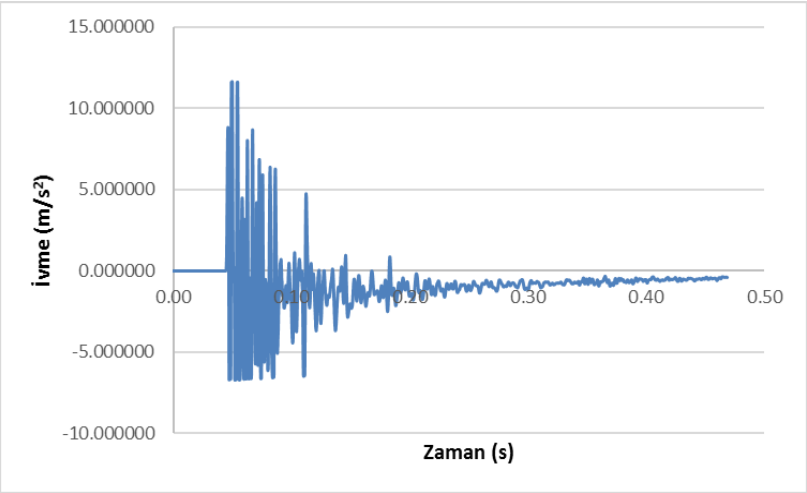


Şekil 4.51. Sıralı patlatma -5. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

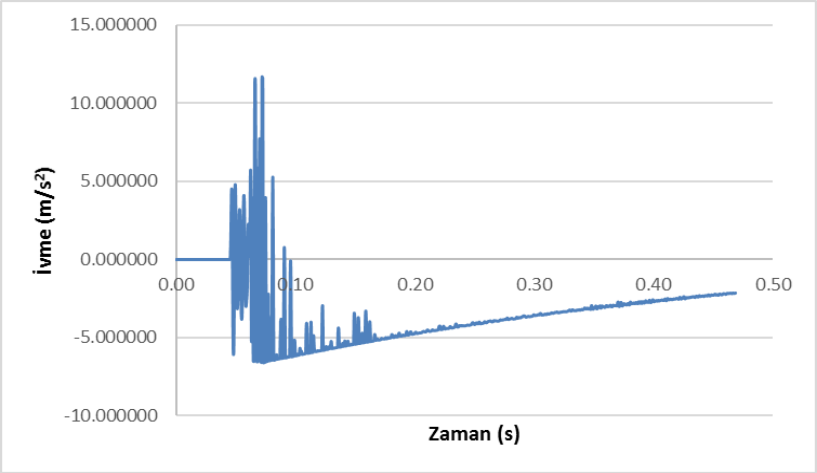


Şekil 4.52. Sıralı patlatma -5. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

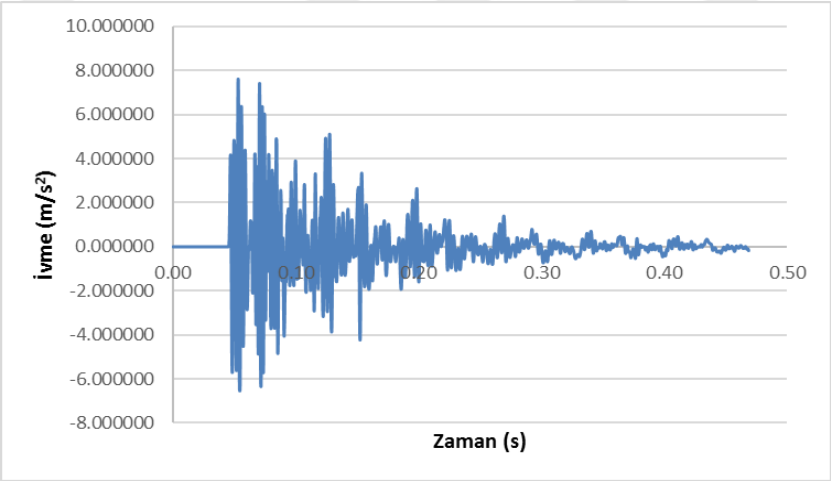
4.2.5. Sıralı Patlatma-6.Patlatma Sonuçları



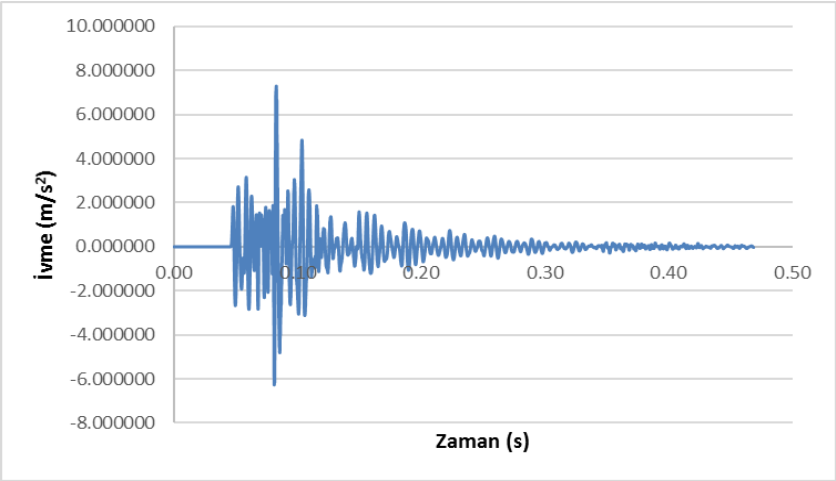
Şekil 4.53. Sıralı patlatma -6. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



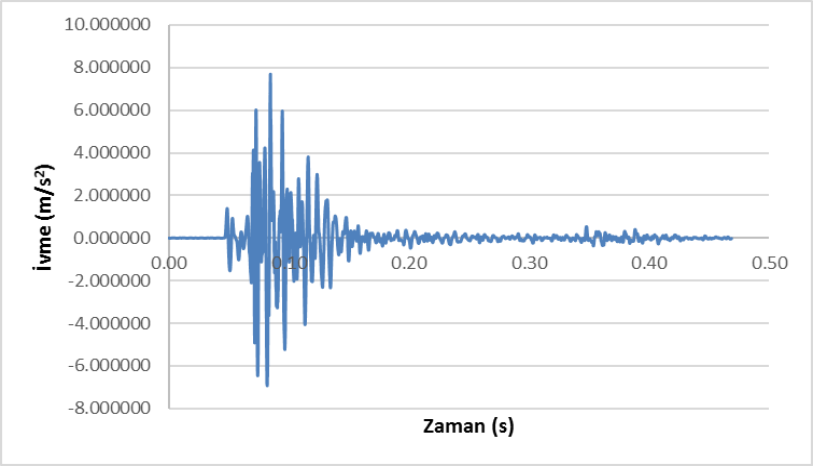
Şekil 4.54. Sıralı patlatma -6. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.55. Sıralı patlatma -6. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

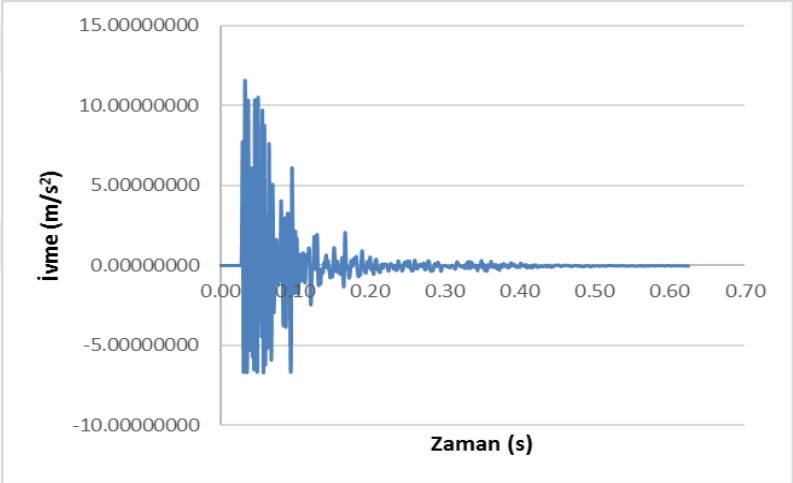


Şekil 4.56. Sıralı patlatma -6. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

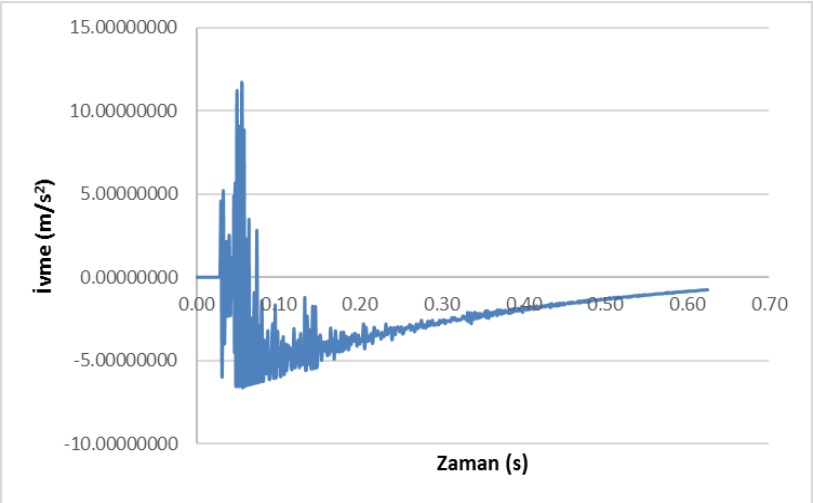


Şekil 4.57. Sıralı patlatma -6. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

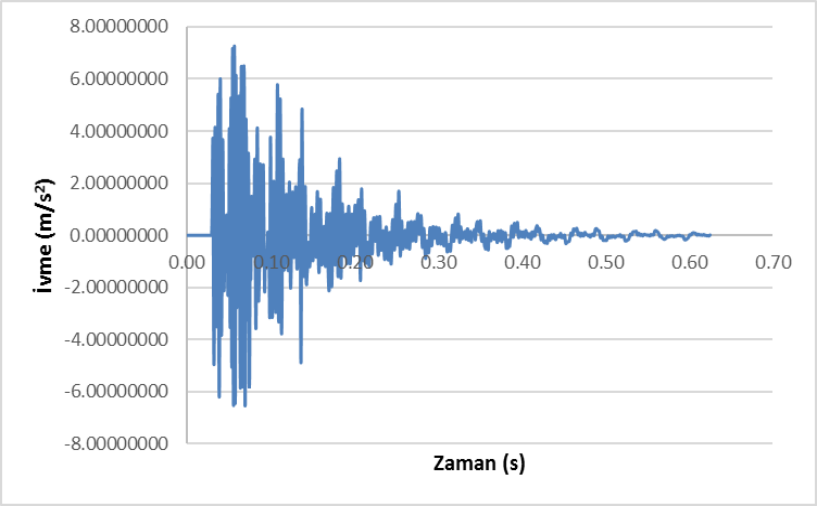
4.2.6. Sıralı Patlatma-7.Patlatma Sonuçları



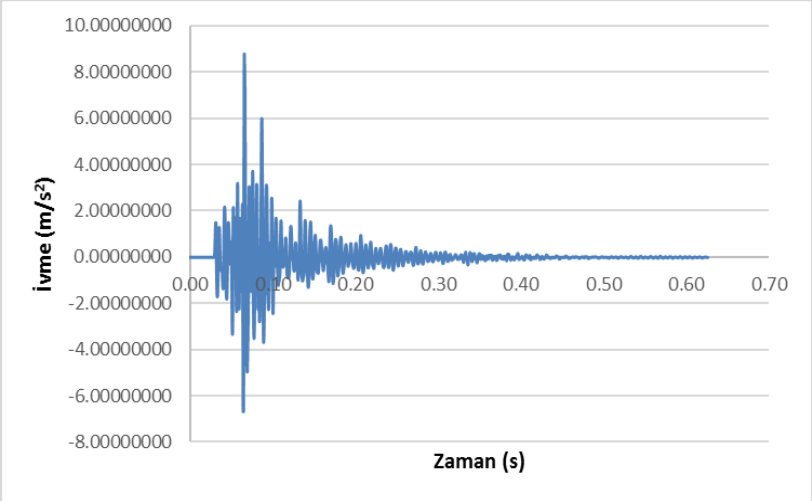
Şekil 4.58. Sıralı patlatma -7. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



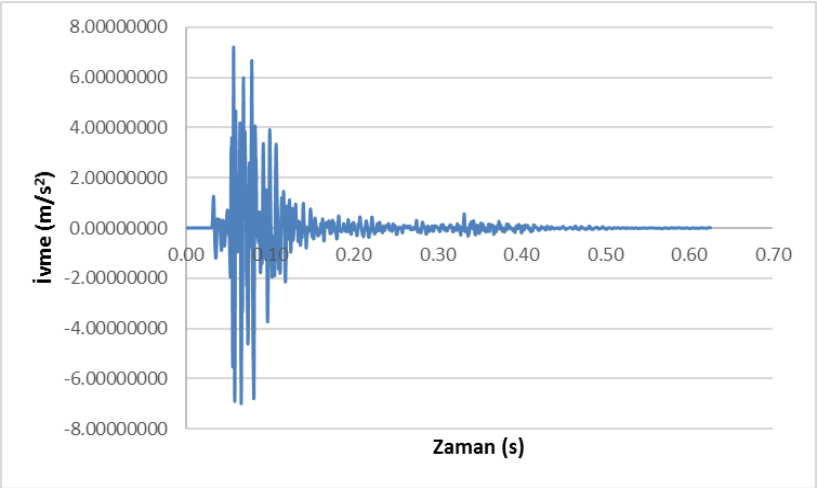
Şekil 4.59. Sıralı patlatma -7. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.60. Sıralı patlatma -7. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

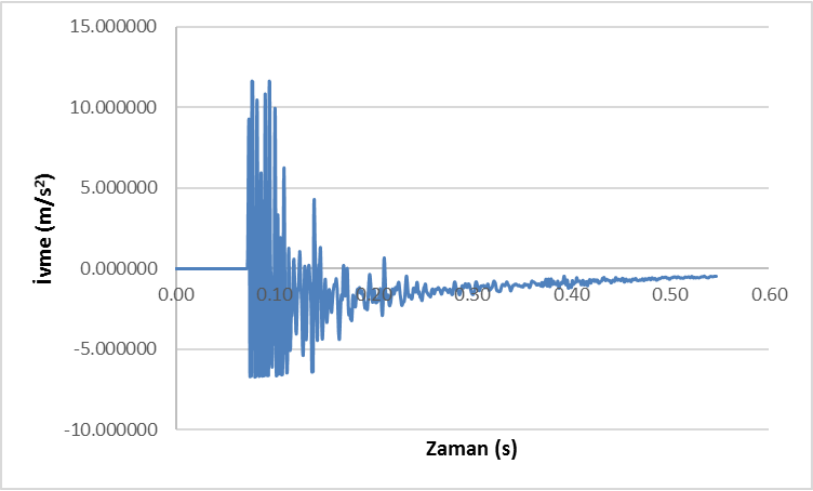


Şekil 4.61. Sıralı patlatma -7. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

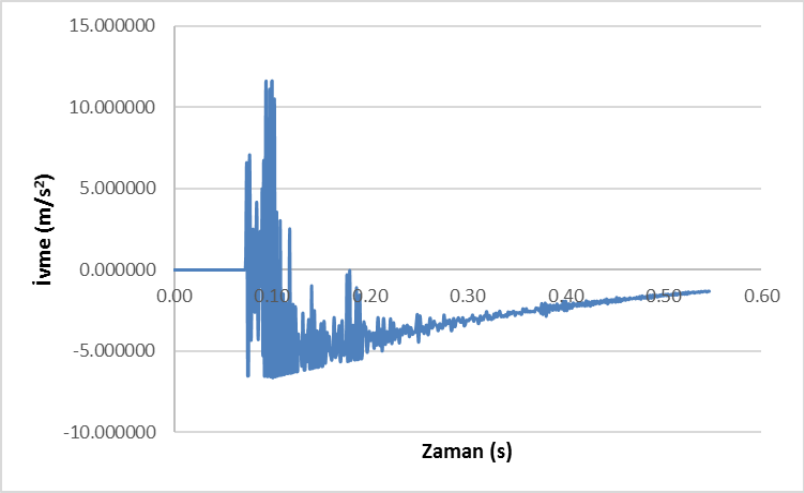


Şekil 4.62. Sıralı patlatma -7. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

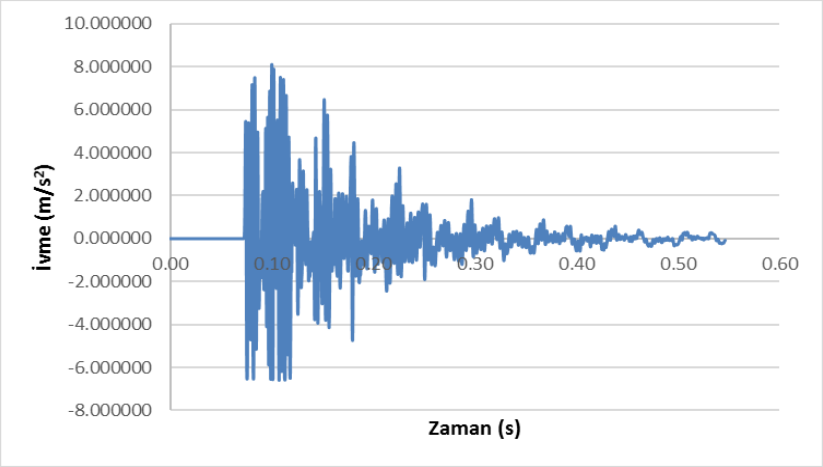
4.2.7. Sıralı Patlatma-8.Patlatma Sonuçları



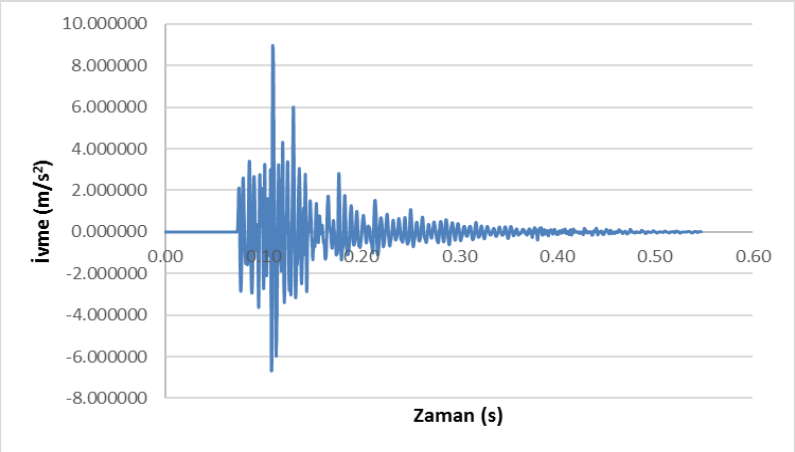
Şekil 4.63. Sıralı patlatma -8. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



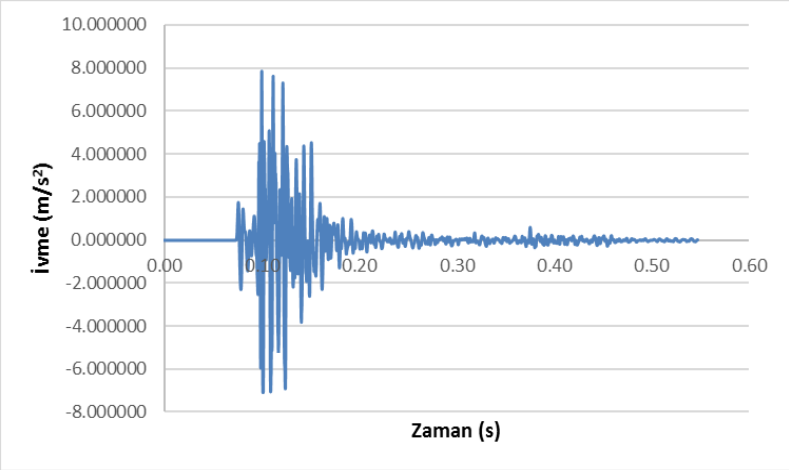
Şekil 4.64. Sıralı patlatma -8. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.65. Sıralı patlatma -8. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

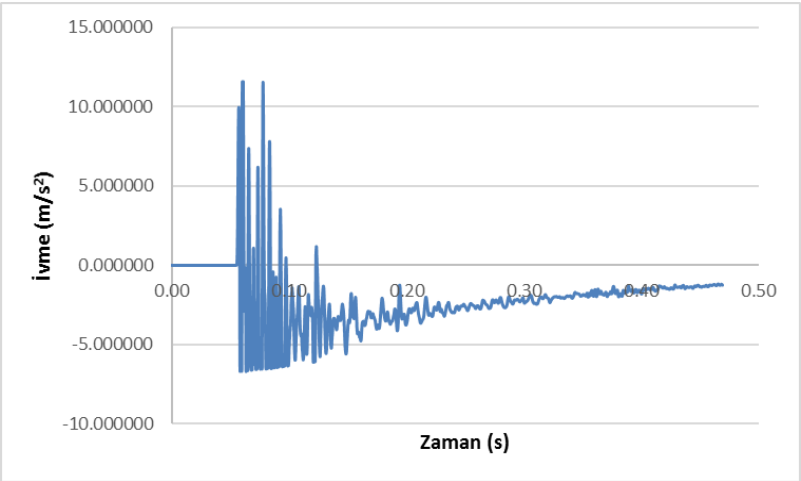


Şekil 4.66. Sıralı patlatma -8. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

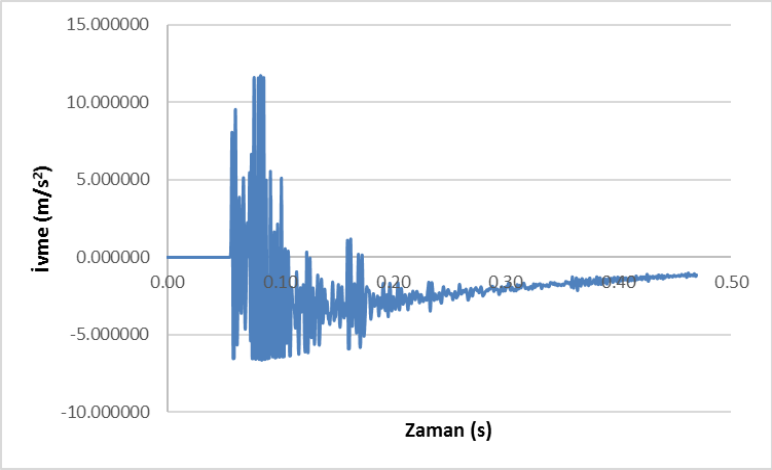


Şekil 4.67. Sıralı patlatma -8. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

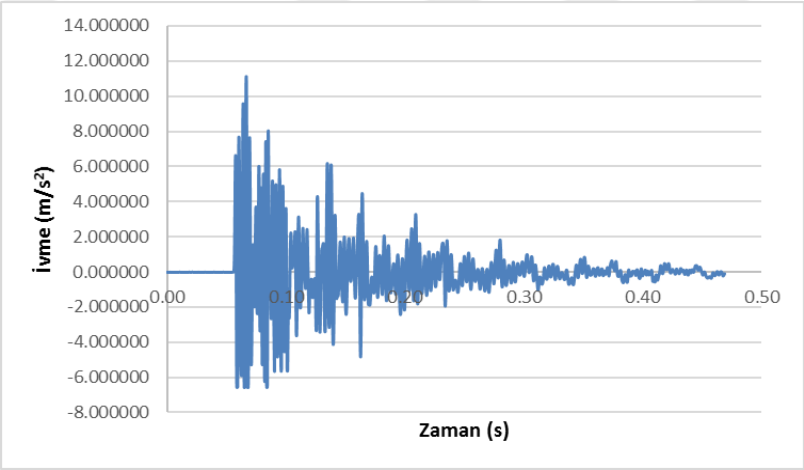
4.2.8. Sıralı Patlatma-9.Patlatma Sonuçları



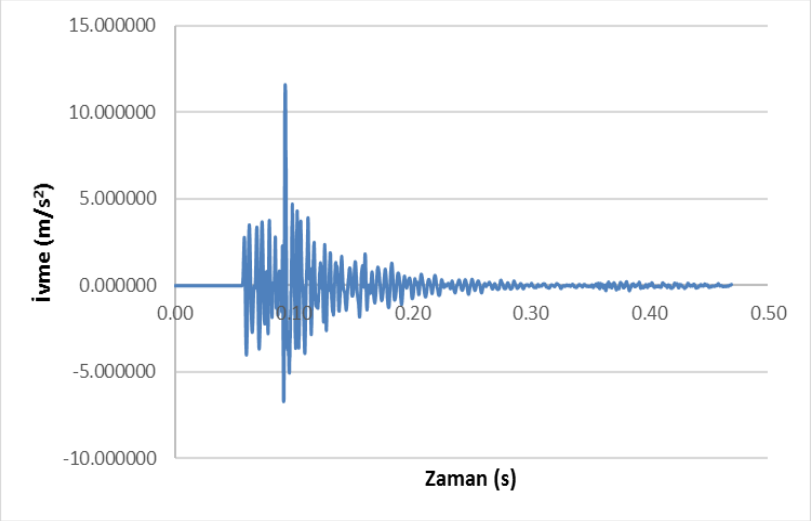
Şekil 4.68. Sıralı patlatma -9. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



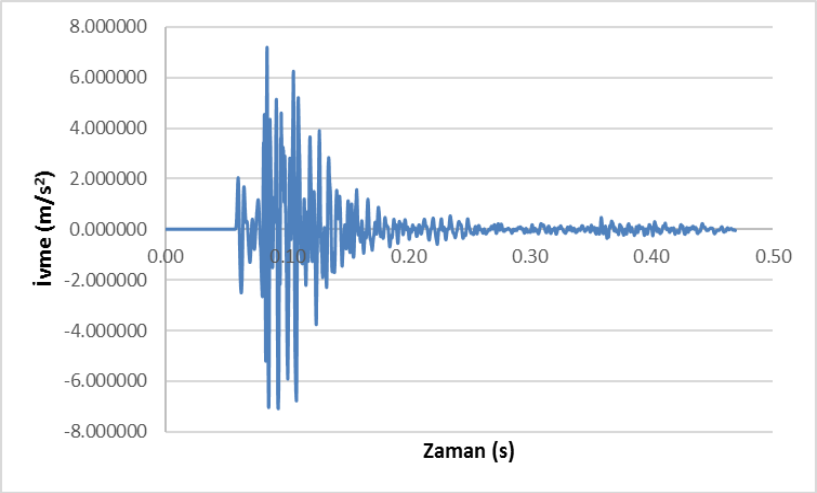
Şekil 4.69. Sıralı patlatma -9. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.70. Sıralı patlatma -9. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

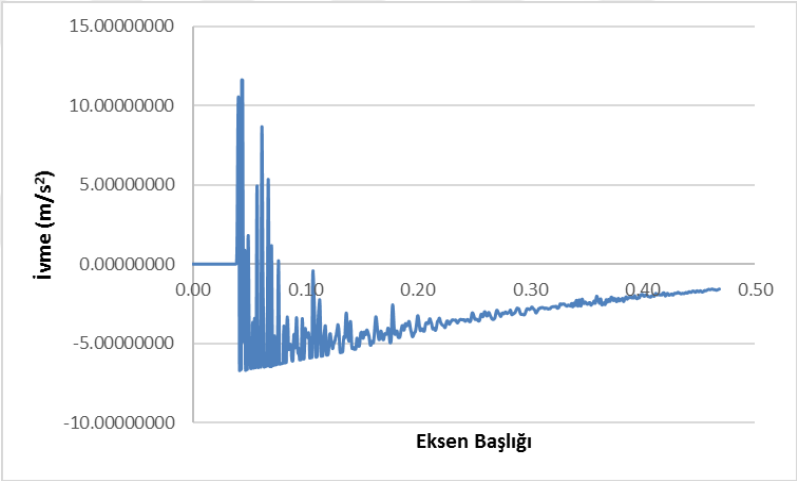


Şekil 4.71. Sıralı patlatma -9. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

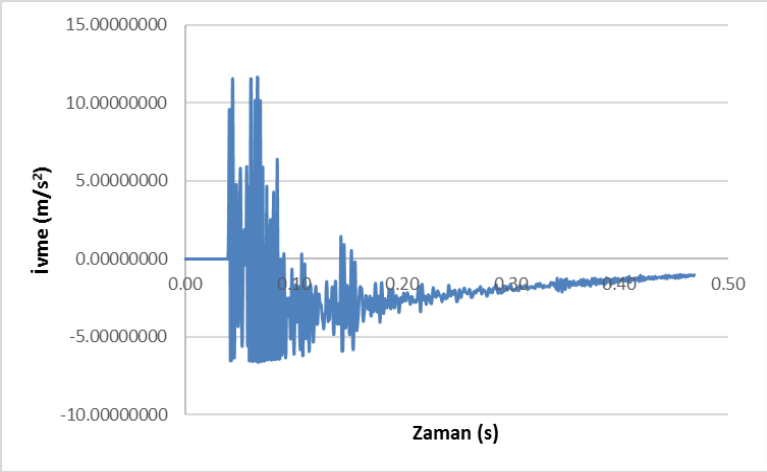


Şekil 4.72. Sıralı patlatma -9. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

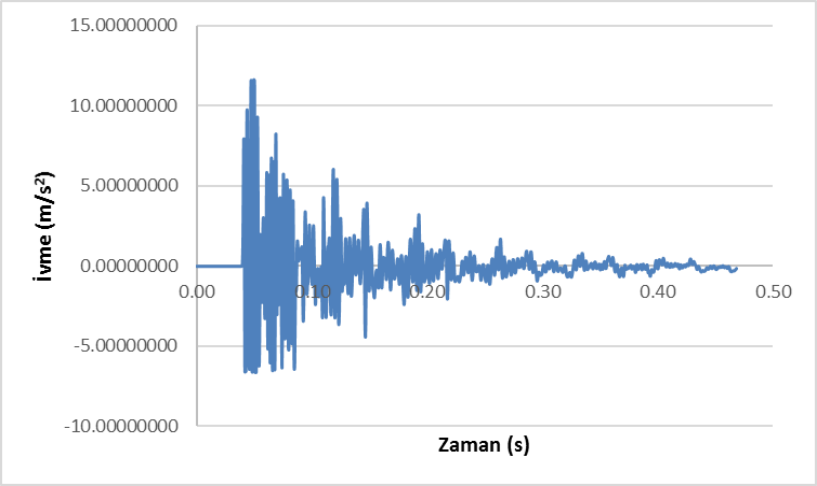
4.2.9. Sıralı Patlatma-10.Patlatma Sonuçları



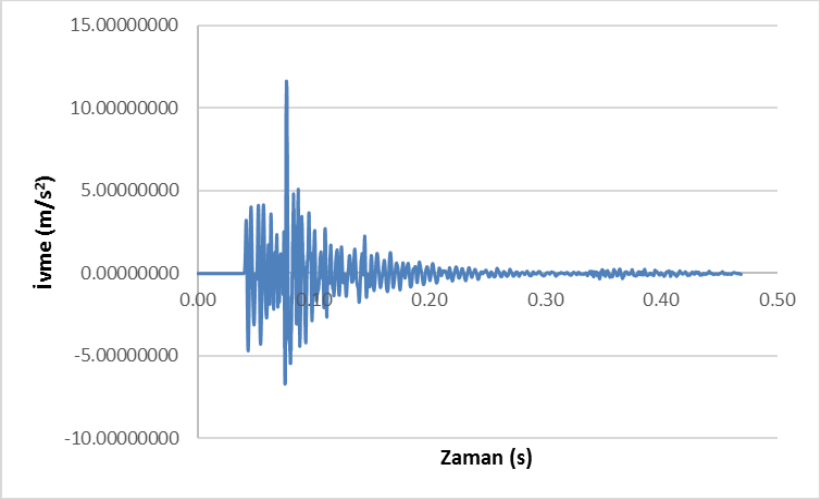
Şekil 4.73. Sıralı patlatma -10. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



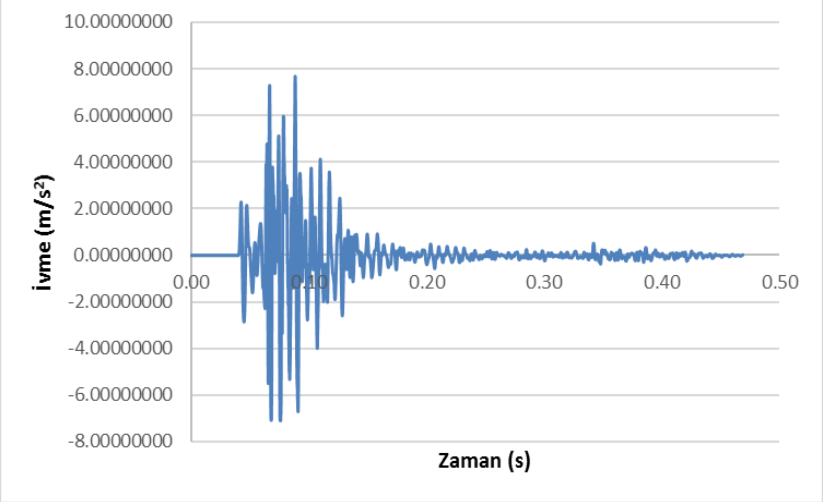
Şekil 4.74. Sıralı patlatma -10. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.75. Sıralı patlatma -10. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

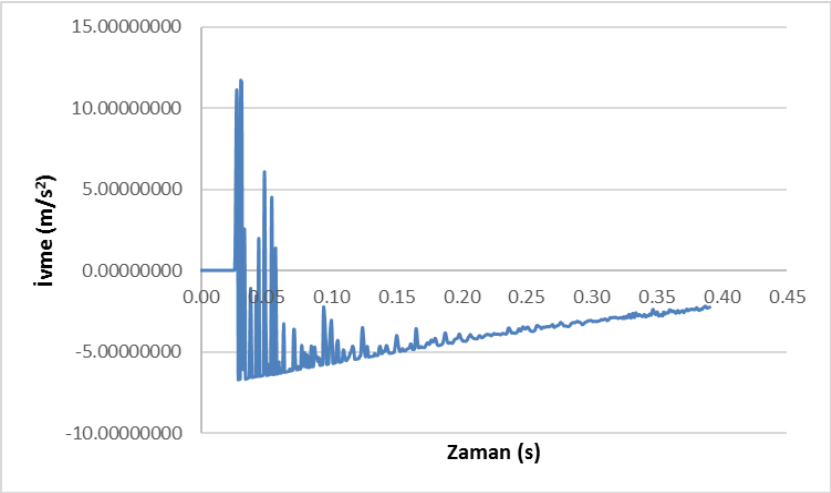


Şekil 4.76. Sıralı patlatma -10. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

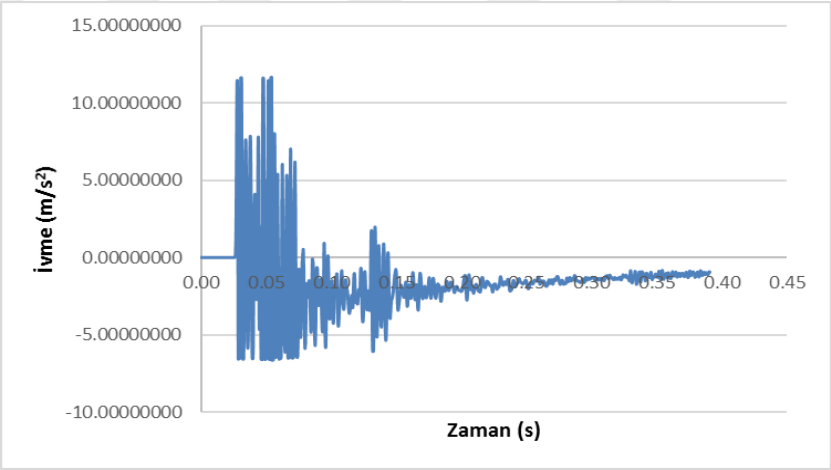


Şekil 4.77. Sıralı patlatma -10. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

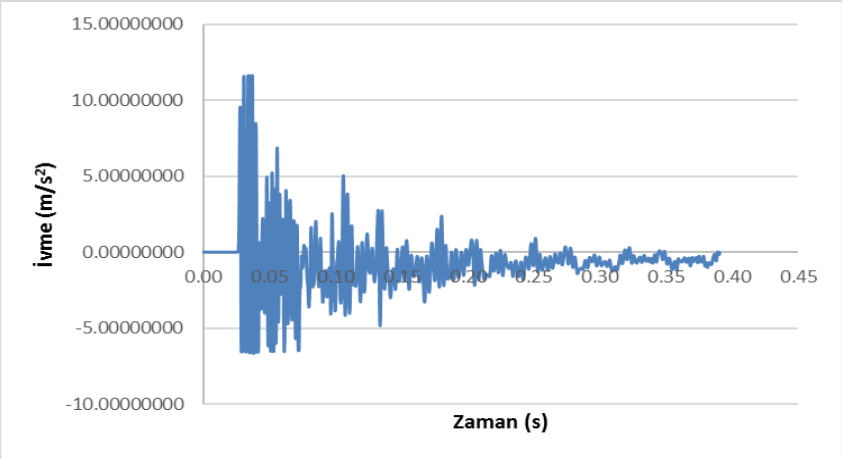
4.2.10. Sıralı Patlatma-11.Patlatma Sonuçları



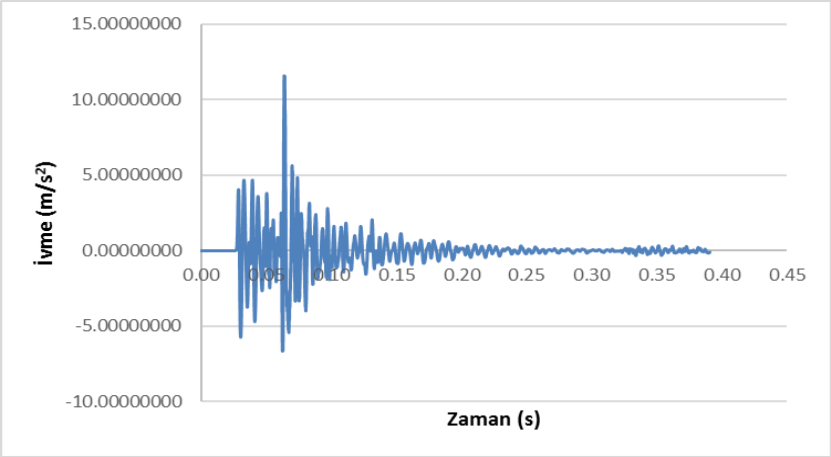
Şekil 4.78. Sıralı patlatma -11. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



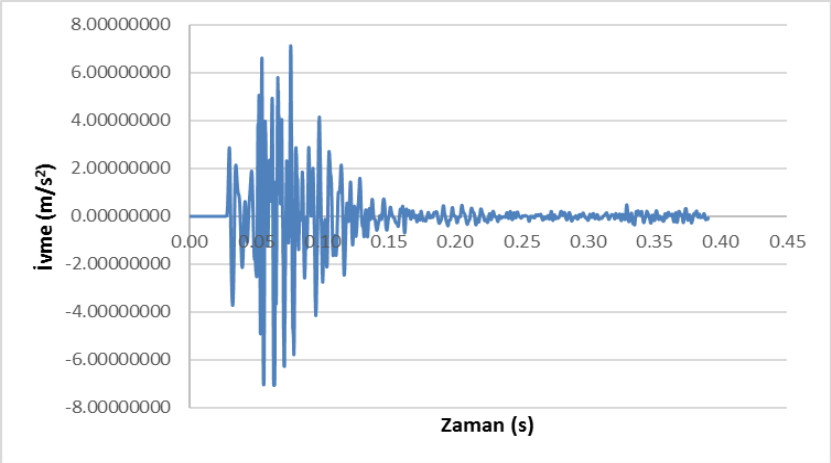
Şekil 4.79. Sıralı patlatma -11. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.80. Sıralı patlatma -11. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

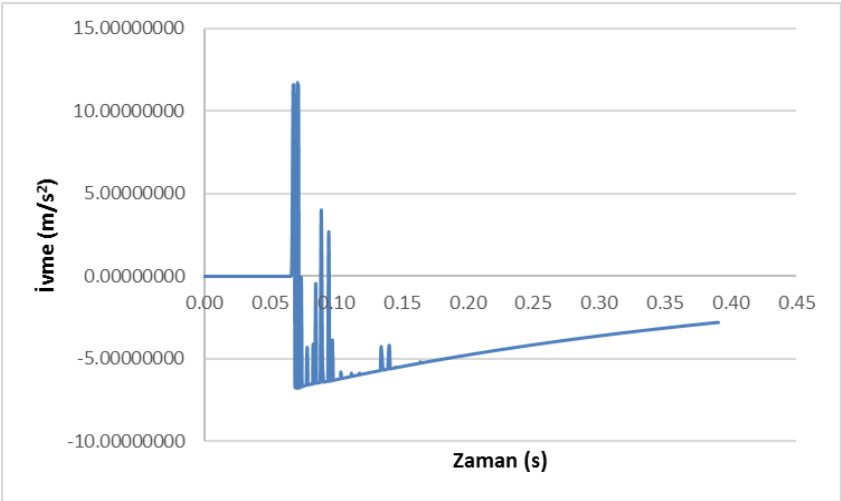


Şekil 4.81. Sıralı patlatma -11. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

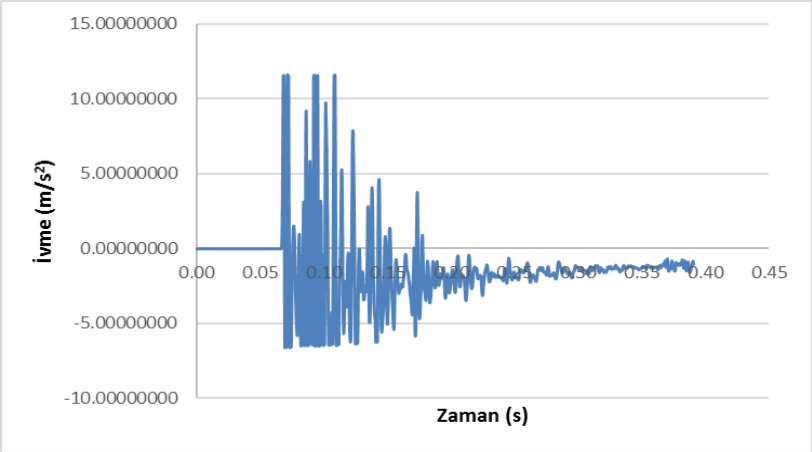


Şekil 4.82. Sıralı patlatma -11. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

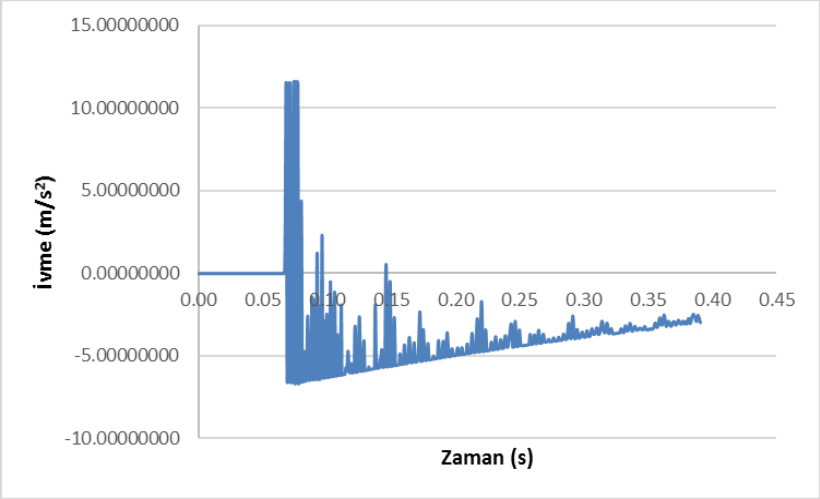
4.2.11. Sıralı Patlatma-12.Patlatma Sonuçları



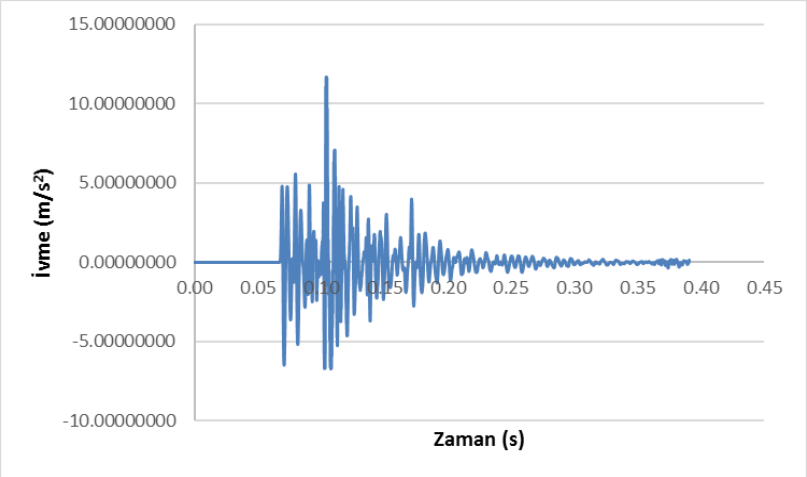
Şekil 4.83. Sıralı patlatma -12. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



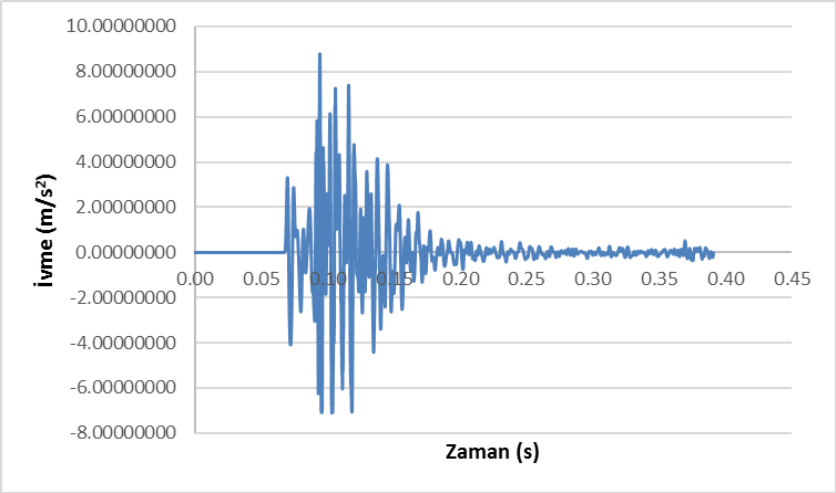
Şekil 4.84. Sıralı patlatma -12. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.85. Sıralı patlatma -12. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

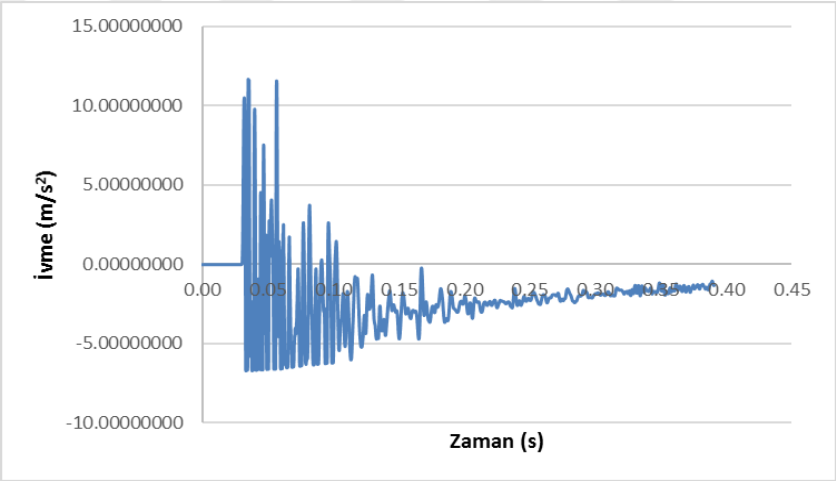


Şekil 4.86. Sıralı patlatma -12. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

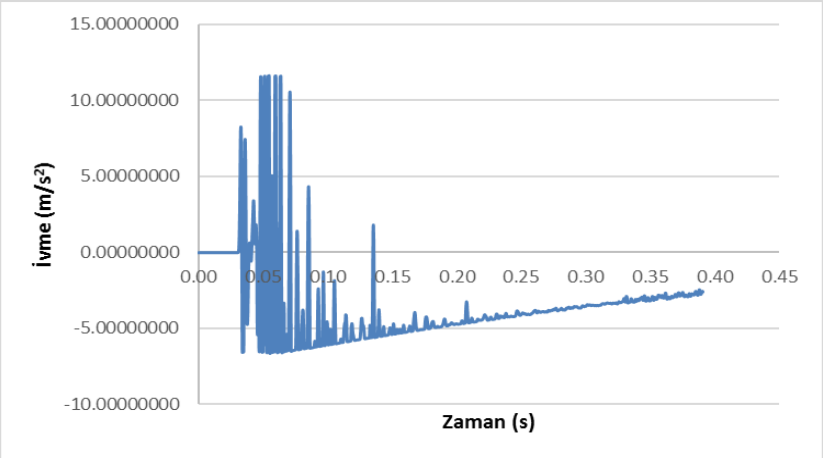


Şekil 4.87. Sıralı patlatma -12. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

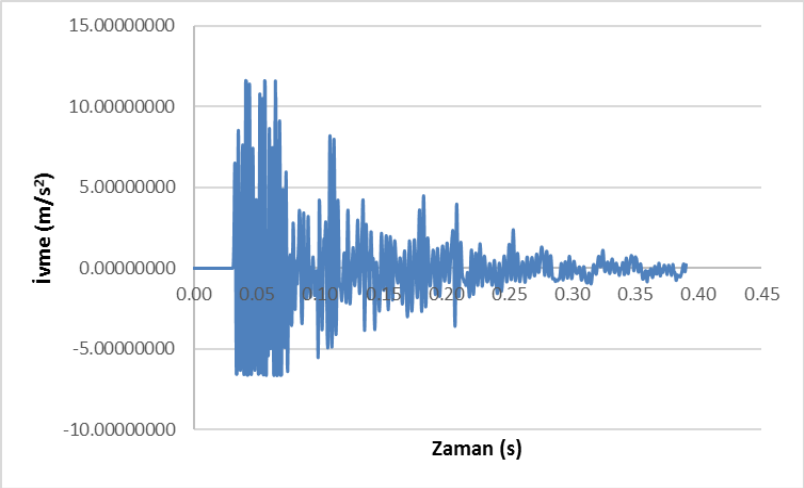
4.2.12. Sıralı Patlatma-13.Patlatma Sonuçları



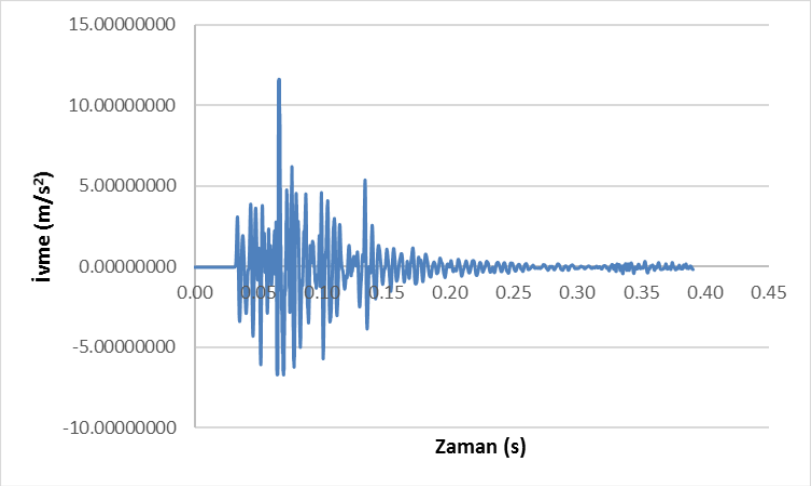
Şekil 4.88. Sıralı patlatma -13. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



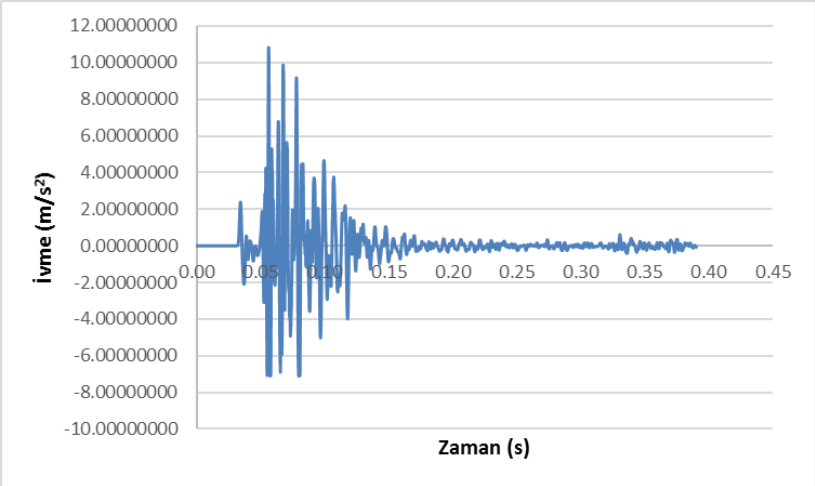
Şekil 4.89. Sıralı patlatma -13. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.90. Sıralı patlatma -13. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

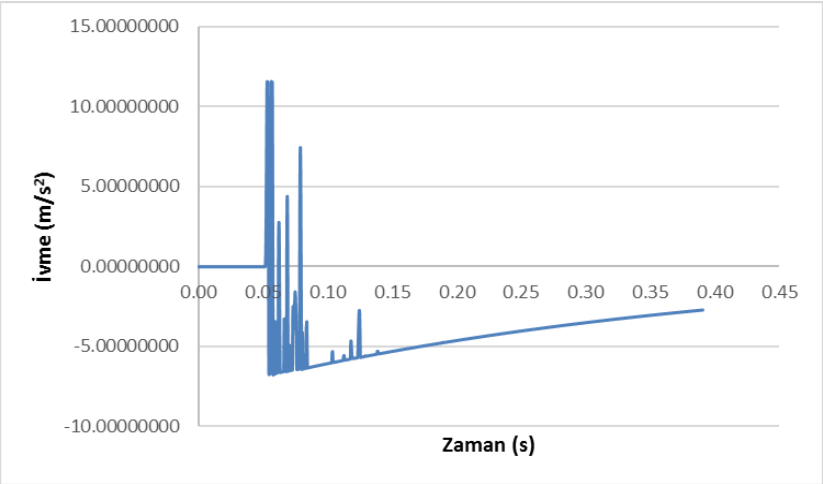


Şekil 4.91. Sıralı patlatma -13. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

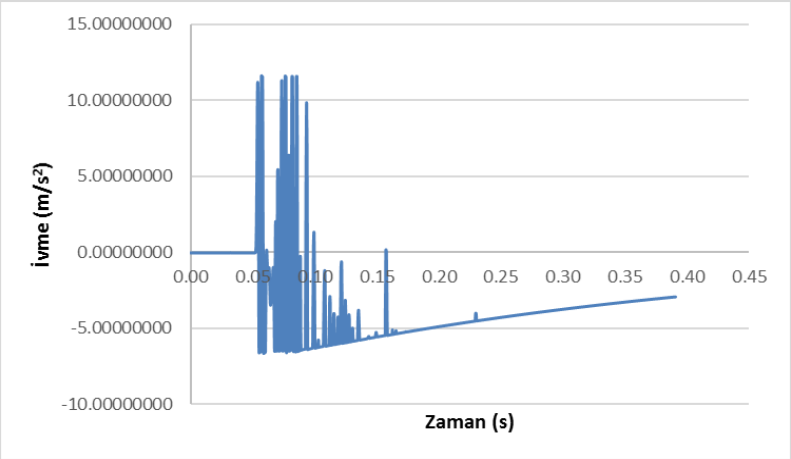


Şekil 4.92. Sıralı patlatma -13. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

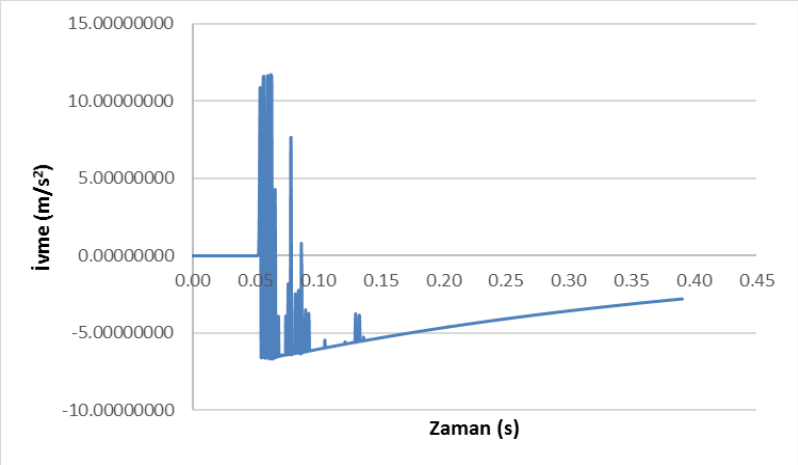
4.2.13. Sıralı Patlatma-14.Patlatma Sonuçları



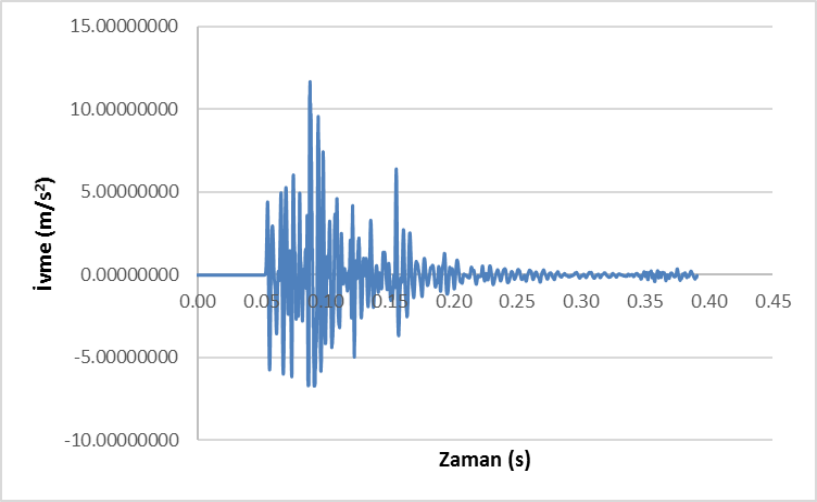
Şekil 4.93. Sıralı patlatma -14. patlatma 1. ivme-zaman grafiği



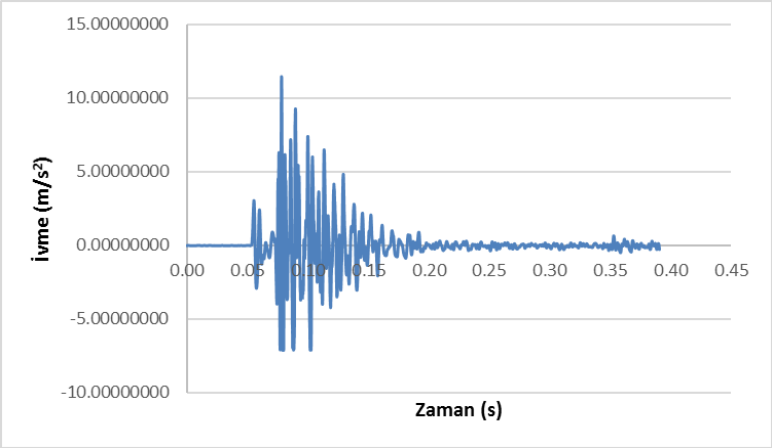
Şekil 4.94. Sıralı patlatma -14. patlatma 2. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.95. Sıralı patlatma -14. patlatma 3. ivme-zaman grafiği

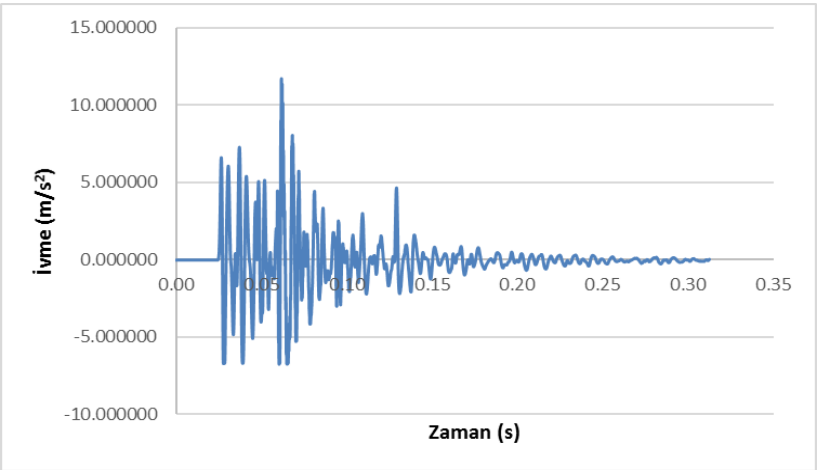


Şekil 4.96. Sıralı patlatma -14. patlatma 4. ivme-zaman grafiği

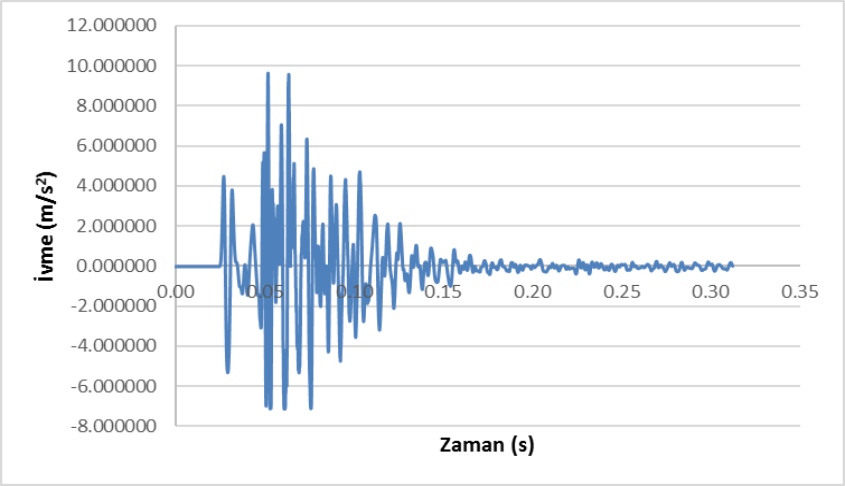


Şekil 4.97. Sıralı patlatma -14. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

4.2.14. Sıralı Patlatma-15.Patlatma Sonuçları



Şekil 4.98. Sıralı patlatma -15. patlatma 4. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.99. Sıralı patlatma -15. patlatma 5. ivme-zaman grafiği

Sıralı patlatmalardan elde edilen tüm sonuçlar Tablo 4.6-Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Sıralı patlatmalarda elde edilen tüm veriler

Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Patlayıcı miktarı	Sensör	Atım	Delik sayısı	Ölçülen	Pik noktası	
							Başlangıç süresi (s)	Zamanı	Değeri
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 1. Patlatma)	2 metre	400 Gr Dinamit	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.011	0.0385	9.9682
		3 metre		2. sensör	1		0.015	0.0434	11.5181
		4 metre		3. sensör	1		0.0118	0.0434	11.5181
		5 metre		4. sensör	1		0.0125	0.0537	5.1875
		6 metre		5. sensör	1		0.0125	0.0656	5.2496
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 2. Patlatma)	2 metre	600 Gr Dinamit	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0799	0.1056	11.1505
		3 metre		2. sensör	1		0.0782	0.0969	11.5877
		4 metre		3. sensör	1		0.0782	0.1053	11.3664
		5 metre		4. sensör	1		0.0782	0.1155	8.079
		6 metre		5. sensör	1		0.0782	0.1166	7.5945
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 3. Patlatma)	2 metre	800 Gr Dinamit	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0795	0.0982	11.6347
		3 metre		2. sensör	1		0.0796	0.095	11.1429
		4 metre		3. sensör	1		0.0797	0.1035	11.5835
		5 metre		4. sensör	1		0.0782	0.1136	9.943
		6 metre		5. sensör	1		0.0782	0.1151	9.4546
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 4. Patlatma)	2 metre	400 Gr Anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.026	0.0422	9.0471
		3 metre		2. sensör	1		0.0253	0.0645	11.6423
		4 metre		3. sensör	1		0.0264	0.0652	5.2783
		5 metre		4. sensör	1		0.0279	0.075	5.7836
		6 metre		5. sensör	1		0.0293	0.0868	4.4001
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 5. Patlatma)	2 metre	600 Gr Anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0385	0.0511	11.3388
		3 metre		2. sensör	1		0.0384	0.0675	11.3948
		4 metre		3. sensör	1		0.0421	0.074	8.9335
		5 metre		4. sensör	1		0.0411	0.0841	8.1846
		6 metre		5. sensör	1		0.0407	0.0856	8.0832

Tablo 4.7. Sıralı patlatmalarda elde edilen tüm veriler

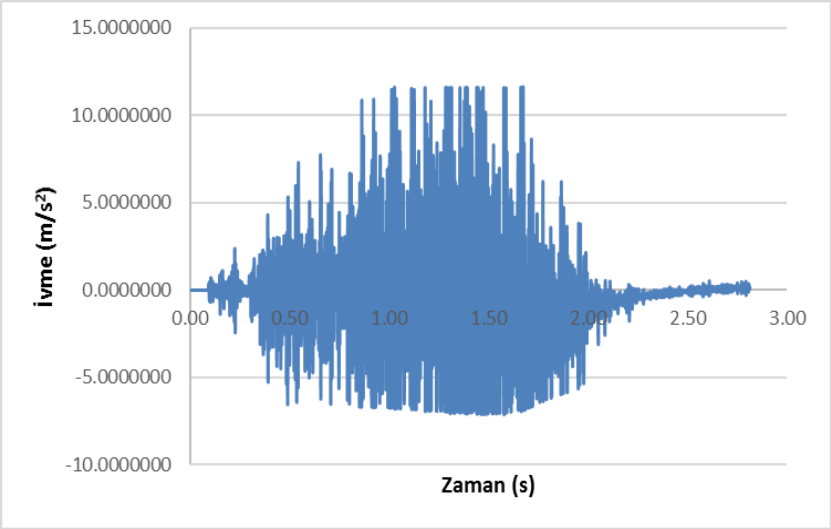
Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Patlayıcı miktarı	Sensör	Atım	Delik sayısı	Ölçülen	Pik noktası	
							Başlangıç süresi (s)	Zamanı	Değeri
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 6. Patlatma)	2 metre	800 gr anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0321	0.0492	11.5954
		3 metre		2. sensör	1		0.0335	0.066	11.4095
		4 metre		3. sensör	1		0.034	0.053	7.4736
		5 metre		4. sensör	1		0.034	0.0824	7.0624
		6 metre		5. sensör	1		0.0354	0.0844	7.339
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 7. Patlatma)	2 metre	1100 gr anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0087	0.033	11.3506
		3 metre		2. sensör	1		0.0113	0.0556	11.6931
		4 metre		3. sensör	1		0.0132	0.054	7.1898
		5 metre		4. sensör	1		0.0125	0.0658	8.8026
		6 metre		5. sensör	1		0.0132	0.0559	7.1253
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 8. Patlatma)	2 metre	1300 gr anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0786	0.0946	11.6167
		3 metre		2. sensör	1		0.0796	0.0939	11.5312
		4 metre		3. sensör	1		0.0782	0.1002	8.107
		5 metre		4. sensör	1		0.0786	0.1099	8.7854
		6 metre		5. sensör	1		0.0799	0.1	7.846
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 9. Patlatma)	2 metre	1200 gr anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0458	0.0602	11.3976
		3 metre		2. sensör	1		0.0475	0.0807	11.5727
		4 metre		3. sensör	1		0.0464	0.0666	11.0481
		5 metre		4. sensör	1		0.0487	0.0928	11.3822
		6 metre		5. sensör	1		0.0483	0.083	7.1164
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 10. Patlatma)	2 metre	1300 gr anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.03	0.0436	11.3067
		3 metre		2. sensör	1		0.03	0.0607	11.5941
		4 metre		3. sensör	1		0.03	0.0474	11.52
		5 metre		4. sensör	1		0.0315	0.0767	11.1549
		6 metre		5. sensör	1		0.0315	0.0885	7.5164

Tablo 4.8. Sıralı patlatmalarda elde edilen tüm veriler

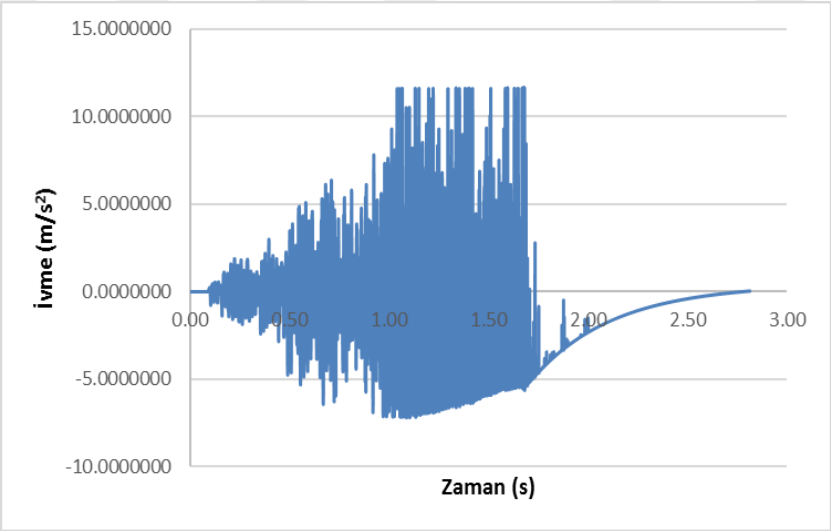
Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Patlayıcı miktarı	Sensör	Atım	Delik sayısı	Ölçülen	Pik Noktası	
							Başlangıç süresi (s)	Zamanı	Değeri
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 11. Patlatma)	2 metre	1400 gr anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0152	0.0307	11.6941
		3 metre		2. sensör	1		0.0152	0.0278	11.0941
		4 metre		3. sensör	1		0.0152	0.0308	11.5125
		5 metre		4. sensör	1		0.0165	0.0639	11.1622
		6 metre		5. sensör	1		0.0163	0.0757	6.9667
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 12. Patlatma)	2 metre	1500 gr anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.055	0.0676	11.2348
		3 metre		2. sensör	1		0.0564	0.0683	11.3482
		4 metre		3. sensör	1		0.055	0.0682	11.4165
		5 metre		4. sensör	1		0.0577	0.1041	11.6619
		6 metre		5. sensör	1		0.0563	0.0942	8.8006
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 13. Patlatma)	2 metre	1700 gr anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0205	0.0352	11.6849
		3 metre		2. sensör	1		0.0218	0.0483	11.5411
		4 metre		3. sensör	1		0.0204	0.0564	11.6116
		5 metre		4. sensör	1		0.0217	0.0658	11.5321
		6 metre		5. sensör	1		0.0207	0.0564	10.6227
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 14. Patlatma)	2 metre	1900 gr anfo	1. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.0452	0.0533	11.3131
		3 metre		2. sensör	1		0.0441	0.0542	11.2205
		4 metre		3. sensör	1		0.0441	0.0564	11.334
		5 metre		4. sensör	1		0.0441	0.0881	11.3154
		6 metre		5. sensör	1		0.0452	0.0783	11.0958
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Sıralı Patlatma 15. Patlatma)	5 metre	2100 gr anfo	4. sensör	1	Yüzey Patlatması	0.017	0.0618	11.7315
		6 metre		5. sensör	1		0.017	0.052	9.6016

4.3. Direk Yanı Patlatma Grafikleri

Altay Kışlası yanında yer alan elektrik direği yanında yapılan patlatmalara ait ivme-zaman grafikleri Şekil 4.100 ve Şekil 4.101'de verilmiştir.



Şekil 4.100. Direk yanı 1.patlatma 1. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.101. Direk yanı 1.patlatma 2. ivme-zaman grafiği

İlgili bölgedeki patlatmadan elde edilen veriler Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9. Direk yanı patlatmasından elde edilen veriler

Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Patlayıcı miktarı	Sensör	Atım	Delik sayısı	Ölçülen	Pik noktası	
							Başlangıç süresi (s)	Zamanı	Değeri
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (direk yanı)	24.32 metre	3000 kg anfo 124.5 kg dinamit	1. sensör	1	249	0.0846	0.2223	1.9116
							0.3125	0.6534	7.433
							0.7827	1.0254	11.6114
		18.29 metre		2. sensör	1		0.0782	0.2375	1.4485
							0.3925	0.7083	6.0441
							0.7882	1.0385	11.5706

Patlamalı kazı yapmak için yapılan imalatlarda kuyu adedi, kuyular arasındaki mesafe, patlayıcı miktarı doğru orantılı olarak kuyu derinliği ve sıkılaştırma mesafesi, kuyu çapı zemindeki ses hızından dolayı zemin sınıfı, kuyularda patlama sıralaması ve patlama gecikme süresi, patlatmalı imalatlarda yeraltı yapısının patlatma bölgesine olan mesafesine göre gelecek ivmenin büyüklüğü değişmektedir. Bu belirttiğimiz etkenler haricinde yapı ile patlama noktası arasındaki açı da önemlidir. Ayrıca düşey ve yatay titreşim etkileri özellikle yakın bölgelerde etki etmektedir. Yaptığımız çalışmada yakın bölgelerdeki ivme ölçümlerinin literatürdeki ([1-4]) formüller ile hesaplanandan büyük çıkmasına düşey ve yatay patlamadan kaynaklı zeminde oluşan titreşim dalgalarının birleşmesini örnek verebiliriz.

Yaptığımız çalışmada patlama noktasına olan mesafesi 25 ile 230 m arasında değişen farklı patlama ve farklı patlayıcı ağırlıkları altında ivmeler ölçülmüştür. Bu ivmeler ile literatürdeki PPA hesaplamasında kullanılan denklemler ile karşılaştırma yapılmıştır (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Literatürdeki formüller ile ölçülen ivme sonuçlarının karşılaştırılması

ANFO (kg)	TNT(W)	Mesafe (m)	Ölçüm	[1]	[2]	[2V]	[3]	[4]
92	74	82	0.822	0.668	0.813	0.403	0.668	1.114
167	134	82	1.487	1.260	0.960	0.527	1.260	1.712
224	179	82	1.987	1.718	1.041	0.601	1.718	2.105
216	173	52	7.945	3.209	2.386	2.078	3.209	5.957
73	58	52	2.680	1.003	1.760	1.273	1.003	2.770
208	167	137	0.642	0.756	0.397	0.180	0.756	0.603
322	257	137	0.992	1.205	0.449	0.219	1.205	0.828
114	91	48	6.461	1.811	2.309	2.109	1.811	4.591
163	130	48	9.267	2.665	2.554	2.481	2.665	5.909
151	121	48	8.589	2.457	2.500	2.398	2.457	5.605
70	56	72	1.048	0.594	0.954	0.537	0.594	1.232
176	141	72	2.654	1.607	1.237	0.816	1.607	2.409
221	177	72	3.331	2.048	1.319	0.904	2.048	2.829
94	75	32	9.858	2.654	4.613	4.415	2.654	10.479
104	83	32	10.906	2.956	4.745	4.621	2.956	11.236
110	88	32	11.536	3.140	4.820	4.740	3.140	11.679
196	157	25	11.471	8.346	8.928	6.601	8.346	30.847
196	157	25	11.471	8.346	8.928	6.601	8.346	30.846
189	151	25	11.086	8.046	8.843	6.500	8.046	30.156
96	77	230	0.359	0.156	0.123	0.069	0.156	0.099
96	76	230	0.357	0.155	0.123	0.069	0.155	0.099
242	194	29	7.202	8.449	7.211	4.378	8.449	25.110
314	252	29	9.347	11.167	7.757	4.924	11.167	29.815
184	147	29	5.458	6.280	6.673	3.864	6.280	20.875

Yukarda 4.10'daki tabloda ölçülen ivme değerleri, üç sensörün ortalaması alarak hesaplanmıştır. Anfo miktarı TNT eşdeğeri cinsinden hesaplanarak yazılmıştır. Tabloda, yaptığımız deneysel ölçümlere yakınsayan Denklem (4.1) çalışmada kullanılan formüldür. Denklem (4.1) yüzey patlaması diğer formüller ise yeraltı patlamasını temsil etmektedir.

Yaptığımız çalışmada elde ettiğimiz ivme patlayıcı miktarı ve mesafe olarak ürettiğimiz formül ve Tablo 4.11'de görülmektedir.

Tablo 4.11. Yapılan deney selsonucu üretilen formül ile deneysel değerlerin karşılaştırılması

1 kuyu kg	Atım delik sayısı	W (kg)	R	PPA	Denklem (4.1)	Benzerlik oranı
3.57	21	75	32	9.86	11.35	1.15
3.95	21	83	32	10.91	12.65	1.16
4.39	20	88	32	11.54	13.44	1.17
3.96	23	91	48	6.46	4.84	0.75
5.67	23	130	48	9.27	7.13	0.77
5.26	23	121	48	8.59	6.57	0.77
4.68	37	173	52	7.95	7.83	0.99
1.54	38	58	52	2.68	2.44	0.91
4.28	13	56	72	1.05	0.99	0.95
9.39	15	141	72	2.65	2.69	1.01
11.79	15	177	72	3.33	3.43	1.03
5.28	14	74	82	0.82	0.96	1.17
9.56	14	134	82	1.49	1.81	1.22
13.76	13	179	82	1.99	2.47	1.24
6.94	24	167	137	0.64	0.60	0.93
10.73	24	257	137	0.99	0.96	0.96

$$PPA = 940.52\ R^{2.611}\ W^{1.073} \tag{4.1}$$

Denklem (4.1)'deki benzerlik oranları dikkate alındığında 50 m ile 100 m arasında patlama bölgesine uzak mesafedeki yapılar için patlayıcı miktarına karşılık gelen PPA (pik parçacık ivmesi) yı tarif etmektedir.

Yapılacak olan yeraltı yapılarına uzaklık ve patlayıcı miktarına göre hesaplamalarda yapıya gelecek ivme belirlenip yapının mesnetlenme şekli ve ağırlığına göre elde edilecek patlama ivmesinden kaynaklı yükü güvenilir olarak kullanılabilecektir.

Çalışmamızın ikinci bölümünde palye üst kısmında temas patlaması yaparak palye içerisine yerleştirilen ivmeölçerler ile temas patlamasının zemin içerisinde ürettiği PPA'lar ölçülmüştür.

Literatür, deney sonuçları ve sonuçlara göre üretilen denklem (4.2) aşağıda Tablo 4.12'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.12. Deney, literatür ve üretilen formül karşılaştırılması

W (kg)	TNT (W)	R	PPA	[1]	Denklem (4.2)	Benzerlik oranı
0.4	0.24	5	5.188	0.822	7.044	0.736
0.4	0.24	6	5.250	0.631	5.978	0.878
0.6	0.36	5	8.079	1.268	7.955	1.016
0.6	0.36	6	7.595	0.974	6.752	1.125
0.8	0.48	5	9.943	1.725	8.672	1.147
0.8	0.48	6	9.455	1.324	7.360	1.285
0.4	0.24	5	5.784	0.822	7.044	0.821
0.4	0.24	6	4.400	0.631	5.978	0.736
0.6	0.36	5	8.185	1.268	7.955	1.029
0.6	0.36	6	8.083	0.974	6.752	1.197
0.8	0.48	5	7.062	1.725	8.672	0.814
0.8	0.48	6	7.339	1.324	7.360	0.997
1.1	0.66	5	8.803	2.426	9.542	0.923
1.1	0.66	6	7.125	1.862	8.098	0.880
1	0.6	5	8.785	2.191	9.273	0.947
1	0.6	6	7.846	1.682	7.870	0.997
1.2	0.72	5	11.382	2.662	9.794	1.162
1.2	0.72	6	7.116	2.044	8.312	0.856
1.3	0.78	5	11.155	2.901	10.032	1.112
1.3	0.78	6	7.516	2.227	8.514	0.883
1.4	0.84	5	11.162	3.140	10.257	1.088
1.4	0.84	6	6.967	2.410	8.705	0.800
1.5	0.9	5	11.662	3.380	10.472	1.114
1.5	0.9	6	8.801	2.595	8.887	0.990
1.7	1.02	5	11.532	3.865	10.873	1.061
1.7	1.02	6	10.623	2.967	9.227	1.151
1.9	1.14	5	11.315	4.353	11.242	1.007
1.9	1.14	6	11.096	3.342	9.540	1.163
2.1	1.26	5	11.732	4.845	11.584	1.013
2.1	1.26	6	9.602	3.720	9.831	0.977

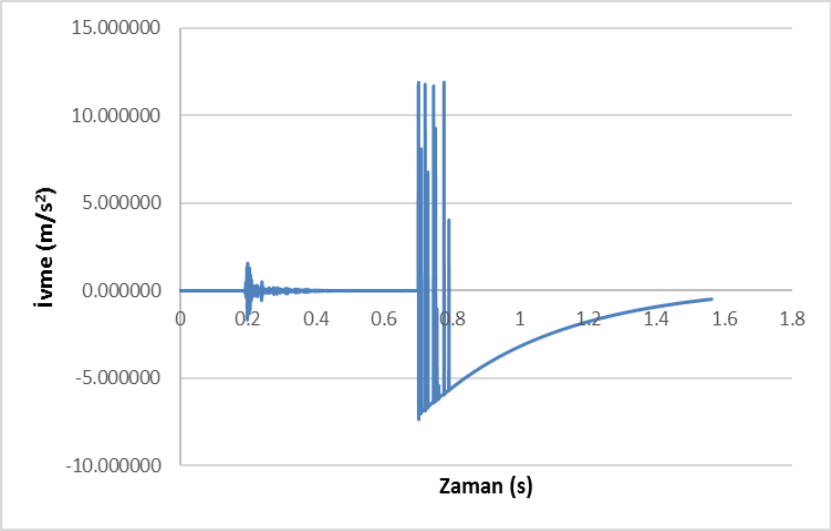
Tablo 4.12'de görüleceği gibi literatürde verilen denklemler ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında yakınsama olmamıştır. Bu sebepten benzer bir uygulama ile geliştirdiğimiz denklemde benzerlik oranı çok aza indirilmiştir.

Temas patlaması altında zemin içerisine iletilen PPA değerleri aşağıda Denklem (4.2) ile hesaplanması durumunda yakın mesafeler için güvenilir sonuç verecektir.

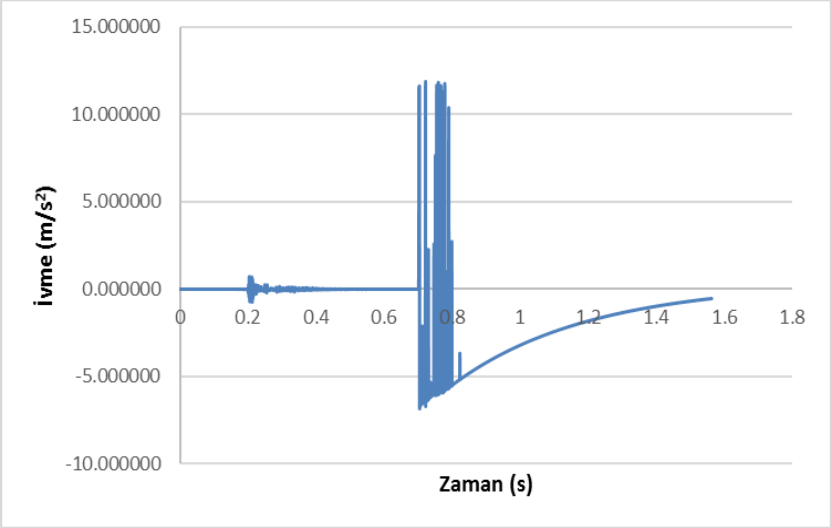
$$PPA=37.2*(R/W^{(1/3)})^{(-0.899)} \tag{4.2}$$

4.4. Şev Patlaması Patlatma Grafikleri

Altay Kışlası yanındaki yol çalışmasında ortaya çıkan şev bölgesi üzerinde yapılan patlatmalara ait elde edilen ivme-zaman grafikleri Şekil 4.102 ve Şekil 4.103'de verilmiştir.



Şekil 4.102. Şev patlatması 1.patlatma 1. ivme-zaman grafiği



Şekil 4.103. Şev patlatması 1.patlatma 2. ivme-zaman grafiği

İlgili patlatmaya ait elde edilen hesaplamalar Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.13. Şev yanı patlatmasından elde edilen veriler

Tarih	Patlatma yeri	Patlatma yerinin sensörlere mesafesi	Patlayıcı miktarı	Sensör	Atım	Delik sayısı	Ölçülen	Pik noktası	
							Başlangıç süresi (s)	Zamanı	Değeri
17.10.2022 tarihli patlatma	Altay Kışlası Yanı (Şev Patlatması)	11.17 metre	100 kg anfo 3 kg dinamit	1. sensör	1	6	0.6736	0.7759	11.7689
		11.26 metre		2. sensör	1		0.6614	0.7032	11.5917

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, zemin altı ve zemin üstü temas patlatmalarının yeraltı yapılarına etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Güney Kuşak Yolu üzerinde 5 farklı tarihte yapılan çeşitli patlatmalar sonucunda, patlama bölgesinden uzak mesafelerde alınan maksimum ivme değeri 137 m de 0.6 m/s^2 yakın alınmış olup en büyük ivme değerleri yakın mesafe patlatmalarında 10 m/s^2'nin üzerinde elde edilmiştir.
2. Aynı bölge patlatmalarında atım sayısı ile grafik hareketlenmeleri uyuşmuş olmakla birlikte patlayıcının etkisinden dolayı titreşim süresi patlatma zamanına göre daha uzun sürmüştür.
3. Bir patlatmada üç farklı sensörden yakın sonuçlar alınmıştır. Farklılık gösteren grafiklerde ise kuyulara yerleşimin hatalı yapılmasından kaynaklanmıştır.
4. Altay Kışlası yanında yapılan patlatmada elektrik direğine 25m'den yakın noktalara ivme ölçerler kurularak değerler ölçüldü. Direkte herhangi bir yapısal sorun oluşmamıştır.
5. Çalışmada patlatmalı kazı çalışmasında meydana gelen titreşimlerin yeraltı yapılarına ileteceği ivme ölçülmüş ve kalker zeminler için bir genel denkleme geliştirilmiştir. Denklem 50 ile 150 m arası geçerli olup ölçüm yaptığımız 0-50 m arasında düşey ivme değerlerinin de etkili olmasından dolayı ilk 50 m de geçerli değildir.
6. Zemin üzerinde meydana gelen temas patlamasının yeraltı yapılarına ileteceği ivmeler için kalker zemin sınıfında yakın temas patlamalarında genel denklem geliştirilmiştir.
7. Bulunan denklemler ile yer altı ve temas patlaması etkisi altında yeraltı yapılarının görebileceği yük büyüklükleri yapının mesnetleme türüne göre tespit edilerek yapının kesit tayini yapılabilecektir.

Sonuç olarak, yapılan bu tez çalışmasından elde edilen sonuçların ileriki zamanlarda yeni yapılacak çalışmalar için önemli bir kaynak olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, ileride araştırmacılar tarafından yapılanacak olan çalışmalarda;

1- Patlatmalı kazı çalışmalarının altyapıya ileteceği yük için PPA değerlerini hesaplamada

a- Bir kuyu üzerinde farklı derinlik ve sıkılama mesafeleri için değişken mesafelerde ivme ölçümü yapmak,

b- Yapılan ivme ölçümlerinde düşey ve yatay ivmeleri belirlemek,

c- Patlayıcının konumuna göre daha düşük ve daha yüksek kotlara ivme ölçerler yerleştirilerek PPA değerlerini hesaplamak,

d- Yatay ve düşey ivmelerin hangi mesafede birbirlerini etkileme olayının azaldığını belirlemek,

e- Aynı deneyleri birden fazla patlatma deliği oluşturarak gecikmeli patlatmanın PPA değerleri üzerindeki etkisini belirlemek,

f- Farklı zemin sınıflarında deneyleri tekrarlamak,

2- Temas patlaması çalışmasında ise patlayıcı miktarını 10 gr'dan başlayarak 5 kg'a kadar değişken aralık ve mesafelerde PPA değerlerini ölçmek gibi çeşitli önerilerde bulunulmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] F.C.F. Alsubaei, Performance Of Protective Perimeter Walls Subjected To Explosions İn Reducing The Blast Resultants On Buildings, The University Of Western Ontario (Canada), 2015.

[2] O. Shenderova, G. Mcguire, Nanocrystalline Diamond, Carbon Nanomater. (2006) 175–209.

[3] J. Mandal, M.D. Goel, A.K. Agarwal, Underground Structures Subjected To Various Blast Loading Scenarios: A Scoping Review, Arch. Comput. Methods Eng. 29 (2022) 2491–2512.

[4] J.A. Sanchidrián, P. Segarra, L.M. López, Energy Components İn Rock Blasting, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 44 (2007) 130–147.

[5] C. Yu, H. Li, H. Yue, X. Wang, X. Xia, A Case Study Of Blasting Vibration Attenuation Based On Wave Component Characteristics, J. Rock Mech. Geotech. Eng. 15 (2023) 1298–1311.

[6] Q. Gao, W. Lu, Z. Yang, P. Yan, M. Chen, Analysis Of Evolution Of Seismic Components İnduced By A Vertical Blasthole, Rock Mech. Rock Eng. 52 (2019) 1959–1977.

[7] D. Song, X. Quan, M. Liu, C. Liu, W. Liu, X. Wang, D. Han, Investigation On The Seismic Wave Propagation Characteristics Excited By Explosion Source İn High-Steep Rock Slope Site Using Discrete Element Method, Sustainability. 14 (2022) 17028.

[8] C. Wu, Y. Lu, H. Hao, W.K. Lim, Y. Zhou, C.C. Seah, Characterisation Of Underground Blast-İnduced Ground Motions From Large-Scale Field Tests, Shock Waves. 13 (2003) 237–252.

[9] H. Hao, Y. Wu, G. Ma, Y. Zhou, Characteristics Of Surface Ground Motions İnduced By Blasts İn Jointed Rock Mass, Soil Dyn. Earthq. Eng. 21 (2001) 85–98.

[10] O. Köksal, K. Zeki, Influence Of Blast-İnduced Ground Motion On Dynamic Response Of Reinforcement Retaining Walls, J. Struct. Eng. 3 (2020) 85–92.

[11] K. Hacıefendioğlu, E. Alpaslan, Stochastically Simulated Blast-İnduced Ground Motion Effects On Nonlinear Response Of An İndustrial Masonry Chimney, Stoch. Environ. Res. Risk Assess. 28 (2014) 415–427.

[12] C. Wu, H. Hao, Numerical Study Of Characteristics Of Underground Blast İnduced Surface Ground Motion And Their Effect On Above-Ground Structures. Part I. Ground Motion Characteristics, Soil Dyn. Earthq. Eng. 25 (2005) 27–38.

[13] Y. Yan, X. Hou, H. Fei, Review Of Predicting The Blast-İnduced Ground Vibrations To Reduce İmpacts On Ambient Urban Communities, J. Clean. Prod. 260 (2020) 121135.

[14] P.D. Katsabanis, A. Tawadrous, C. Braun, C. Kennedy, Timing Effects On The Fragmentation Of Small Scale Blocks Of Granodiorite, Fragblast. 10 (2006) 83–93.

[15] G.G.U. Aldas, B. Ecevitoglu, Waveform Analysis İn Mitigation Of Blast-İnduced Vibrations, J. Appl. Geophys. 66 (2008) 25–30.

[16] X. Qiu, X. Shi, Y. Gou, J. Zhou, H. Chen, X. Huo, Short-Delay Blasting With Single Free Surface: Results Of Experimental Tests, Tunn. Undergr. Sp. Technol. 74 (2018) 119–130.

[17] S. Mchugh, Crack Extension Caused By İnternal Gas Pressure Compared With Extension Caused By Tensile Stress, Int. J. Fract. 21 (1983) 163–176.

[18] Z. Wang, C. Fang, Y. Chen, W. Cheng, A Comparative Study Of Delay Time İdentification By Vibration Energy Analysis İn Millisecond Blasting, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 60 (2013) 389–400.

[19] L. Haibo, L. Yanxin, L. Yaqun, Q. Weiguo, C. Shihai, Y. Yongfeng, Z. Qiuhua, Influencing Factor Analysis Of İnterference Vibration Reduction Of Millisecond Blasting, (2012).

[20] D.P. Blair, L.W. Armstrong, The Spectral Control Of Ground Vibration Using Electronic Delay Detonators, Fragblast. 3 (1999) 303–334.

[21] H.-P. Rossmanith, The Use Of Lagrange Diagrams İn Precise İnitiation Blasting. Part I: Two İnteracting Blastholes, Fragblast. 6 (2002) 104–136.

[22] X.Z. Shi, S.H.R. Chen, Delay Time Optimization İn Blasting Operations For Mitigating The

Vibration-Effects On Final Pit Walls' Stability, Soil Dyn. Earthq. Eng. 31 (2011) 1154–1158.

[23] W.I. Duvall, D.E. Fogelson, Review Of Criteria For Estimating Damage To Residences From Blasting Vibrations, US Department Of The Interior, Bureau Of Mines, 1962.

[24] U. Langefors, B. Kihlström, The Modern Technique Of Rock Blasting, (No Title). (1963).

[25] N. Ambraseys, Rock Mechanics İn Engineering Practice, 1968.

[26] A. Ghosh, J.K. Daemen, A Simple New Blast Vibration Predictor Of Ground Vibrations İnduced Predictor, İçinde: Proc. 24th US Symp. Rock Mech. Texas, 1983.

[27] R.N. Gupta, P.P. Roy, B. Singh, On A Blast İnduced Blast Vibration Predictor For Efficient Blasting, İçinde: Proc. 22nd Int. Conf. Saf. Mines, Beijing, China, 1988: Ss. 1015–1021.

[28] A. Bilgin, S. Esen, M. Kilic, TKI Bell Lignite Plant Research For Solving Environmental Problems Caused By Blasting, (1998).

[29] S. Murmu, P. Maheshwari, H.K. Verma, Empirical And Probabilistic Analysis Of Blast-İnduced Ground Vibrations, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 103 (2018) 267–274.

[30] P.P. Roy, Prediction And Control Of Ground Vibration Due To Blasting, Colliery Guard. Kingdom). 239 (1991).

[31] O. Yilmaz, The Comparison Of Most Widely Used Ground Vibration Predictor Equations And Suggestions For The New Attenuation Formulas, Environ. Earth Sci. 75 (2016) 269.

[32] H. Ak, M. Iphar, M. Yavuz, A. Konuk, Evaluation Of Ground Vibration Effect Of Blasting Operations İn A Magnesite Mine, Soil Dyn. Earthq. Eng. 29 (2009) 669–676.

[33] G.M. Simangunsong, S. Wahyudi, Effect Of Bedding Plane On Prediction Blast-İnduced Ground Vibration İn Open Pit Coal Mines, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 79 (2015) 1–8.

[34] R. Kumar, D. Choudhury, K. Bhargava, Determination Of Blast-İnduced Ground Vibration Equations For Rocks Using Mechanical And Geological Properties, J. Rock Mech. Geotech. Eng. 8 (2016) 341–349.

[35] S. Stanković, M. Katalinić, D. Kuhinek, V. Bohanek, Detecting Atypical Values And Their İnfluence On Blast-İnduced Seismic Measurement Results, Appl. Sci. 12 (2022) 5820.

[36] K. Hacıefendioğlu, G. Demir, A. Altunışık, Blast-İnduced Ground Motion Effect On Dynamic Response Of A Cylindrical Vertical Water Tank With Piled Raft Foundation, Chall. J. Struct. Mech. 6 (2020).

[37] K. Kato, H.B. Mason, S.A. Ashford, Ground Vibration From Blast-İnduced Liquefaction Testing İn Christchurch, New Zealand, İçinde: 6th Int. Conf. Earthq. Geotech. Eng. Christchurch, New Zeal., 2015.

[38] P.D. Mondal, A.D. Ghosh, S. Chakraborty, Control Of Underground Blast İnduced Building Vibration By Shape-Memory-Alloy Rubber Bearing (SMARB), Struct. Control Heal. Monit. 24 (2017) E1983.

[39] S. Tolani, S.D. Bharti, M.K. Shrimali, T.K. Datta, Effect Of Surface Blast On Multistory Buildings, J. Perform. Constr. Facil. 34 (2020) 4020015.

[40] S. Tolani, S.D. Bharti, M.K. Shrimali, T.K. Datta, Estimation Of The Effect Of Surface Blast On Buildings, Proc. Inst. Civ. Eng. Build. 174 (2021) 202–214.

[41] A.R. Akhare, Earthquake And Blast İnduced Pounding İn SMA Supplemented Base İsolated Structures, Asian J. Civ. Eng. 23 (2022) 855–875.

[42] C.H. Dowding, Construction Vibrations, (1996).

[43] S. Tolani, S.D. Bharti, M.K. Shrimali, T.K. Datta, Response Behavior Of Buildings Under The Simultaneous Actions Of Surface Blast And Progressive Collapse, J. Perform. Constr. Facil. 36 (2022) 4021119.

[44] N. V Bhagade, V. Murthy, G. Budi, Measurement And Control Of Seismic Effects İn Large Scale Dragline Bench Blasts–An Approach, Measurement. 168 (2021) 108390.

[45] S.K. Modi, V. Murthy, Assessment Of Blasting İmpacts İn Underwater Concrete Berth Demolition And Development Of A Hybrid Controlled Blasting (HCB) Technique–A Case Study, İçinde: Structures, Elsevier, 2022: Ss. 420–433.

[46] F. Wu, T. Liu, J. Liu, X. Tang, Excavation Unloading Destruction Phenomena İn Rock Dam Foundations, Bull. Eng. Geol. Environ. 68 (2009) 257–262.

[47] L. Malmgren, D. Saiang, J. Töyrä, A. Bodare, The Excavation Disturbed Zone (EDZ) At Kiirunavaara Mine, Sweden—By Seismic Measurements, J. Appl. Geophys. 61 (2007) 1–15.

[48] P. Blümling, F. Bernier, P. Lebon, C.D. Martin, The Excavation Damaged Zone İn Clay Formations Time-Dependent Behaviour And İnfluence On Performance Assessment, Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C. 32 (2007) 588–599.

[49] F.G. Bastante, L. Alejano, J. González-Cao, Predicting The Extent Of Blast-İnduced Damage İn Rock Masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 56 (2012) 44–53.

[50] M. Cai, P.K. Kaiser, Assessment Of Excavation Damaged Zone Using A Micromechanics Model, Tunn. Undergr. Sp. Technol. 20 (2005) 301–310.

[51] Y.M.A. Hashash, J.J. Hook, B. Schmidt, I. John, C. Yao, Seismic Design And Analysis Of Underground Structures, Tunn. Undergr. Sp. Technol. 16 (2001) 247–293.

[52] Y. Liu, J. Yan, Z. Li, F. Huang, Improved SDOF And Numerical Approach To Study The Dynamic Response Of Reinforced Concrete Columns Subjected To Close-İn Blast Loading, İçinde: Structures, Elsevier, 2019: Ss. 341–365.

[53] H. Lee, H.-U. Lim, The Effects The Number Of Free Faces On The Level Of Blasting Vibration, J. Ind. Technol. 21 (2001) 263–271.

[54] S. Zare, A. Bruland, Comparison Of Tunnel Blast Design Models, Tunn. Undergr. Sp. Technol. 21 (2006) 533–541.

[55] A.P. Rustan, Micro-Sequential Contour Blasting—How Does İt İnfluence The Surrounding Rock Mass?, Eng. Geol. 49 (1998) 303–313.

[56] A.N. Brown, Notes On An İnvestigation İnto The Basic Fracture Mechanisms Encountered İn Controlled Blasting, J. South African Inst. Min. Metall. 10 (1968) 146–149.

[57] J.W. Dally, W.L. Fourney, A.L. Peterson, Dynamic Photoelastic Evaluation Of Some Current Practices İn Smooth Wall Blasting: Min Engng, V30, N2, Feb 1978, P184–189, İçinde: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., Pergamon, 1978: S. 65.

[58] A. Rustan, T. Naarttijärvi, B. Ludvig, Controlled Blasting İn Hard İntense Jointed Rock İn Tunnels, CIM Bull. 78 (1985) 63–68.

[59] U. Langefors, Slätsprängning [Smooth Blasting], Jernkontorets Ann. Almqvist Wiksells Bocktryckeri AB. (1953).

[60] K. Dai, S.-E. Chen, Recent Developments In Transmission Pole Dynamic Analysis And Design, (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Doğan İNCE

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

AKADEMİK FAALİYETLER

Bildiriler:

1. İnce, D., Savaş, S. 2023. "Calculatıon of The Effect of Explosion-Induced Ground Vıbrations on Above Ground Structures", 11th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference, Mardin.