ZEMİNLERDE YER SARSINTISI YARATAN YAPAY PATLATMALARIN DİNAMİK ETKİLERİ VE BİR UYGULAMA

Onur DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 2009
ANKARA

Onur DOĞAN tarafından hazırlanan ZEMİNLERDE YER SARSINTISI YARATAN YAPAY PATLATMALARIN DİNAMİK ETKİLERİ VE BİR UYGULAMA adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Nail ÜNSAL
İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr. Oğuzhan AKBAŞ
İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr. Gülsev UYAR ALDAŞ
Jeofizik Mühendisliği, Ankara Üniversitesi

Tarih : 17/09/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Onur DOĞAN

ZEMİNLERDE YER SARSINTISI YARATAN YAPAY PATLATMALARIN DİNAMİK ETKİLERİ VE BİR UYGULAMA

(Yüksek Lisans Tezi)

Onur DOĞAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2009

ÖZET

Yer sarsıntısı, zeminde gerçekleştirilen patlatma sürecinin doğal bir sonucudur. Patlatma kaynaklı yer sarsıntıları, patlatma faaliyetlerinde her zaman en önemli çevre sorunları arasında yer almıştır. Bu nedenle, yer sarsıntılarının etkilerinin analizini içeren birçok deneysel formül ve yöntem geliştirilmiştir. Parçacık hızının zemindeki azalımının hesaplanması için önerilen en yaygın yaklaşım, mesafenin ölçeklendirilmesidir. Bu yaklaşım, patlayıcı madde miktarı ve mesafe veya her ikisi de değiştiğinde, maksimum parçacık hızının tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada, değişik amaçlarla patlayıcı madde imhası gerçekleştirilen özel bir sahada, patlatma kaynaklı yer titreşimlerinin gelecekte çevre alanda inşası planlanan yapılaşma için etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bunun için öncelikle, alanda geoteknik incelemeler yapılmıştır. Çalışmada oluşturulan parçacık hızı tahmin modelleri, FFT analiziyle elde edilen frekans değerleri ile birlikte genel kabul görmüş hasar kriterleri için denenmiş ve patlayıcı madde miktarı ile patlatma noktasından olan uzaklık arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.050
Anahtar Kelimeler : Zeminlerde Patlatma, Yer Titreşimleri, Parçacık Hızı
Sayfa Adedi : 214
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Nail ÜNSAL

THE DYNAMIC EFFECTS OF BLAST INDUCED GROUND VIBRATION IN SOIL AND A CASE STUDY

(M.Sc. Thesis)

Onur DOĞAN

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

September 2009

ABSTRACT

Ground vibrations are the natural results of blasting process. Ground vibrations induced by blasting can be considered as one of the most important environmental problems in blasting operations. Therefore, many empirical formula and methodologies including analysis of ground vibration effects have been developed. The most common approach proposed for the calculation of the attenuation of particle velocity in ground is scaling of distance. This approach makes it possible to predict peak particle velocity when both the explosive charge and distance vary. This study aims to investigate the effects of blast induced ground vibration for some planned buildings in a near site of a special explosion area. For this purpose, first, the geotechnical charecteristics of area is investigated. Then, the ground vibrations induced by production blasts have been recorded. The peak particle velocity prediction models have been analyzed by FFT frequency values and some damage criteria for the relations of distance from the blasting point and quantity of blast.

Science Code : 911.1.050
Key Words : Explosion in soil, ground vibration, particle velocity
Page Number: 214
Adviser : Prof. Dr. Nail ÜNSAL

TEŞEKKÜR

Başta Danışmanım Prof. Dr. Nail ÜNSAL olmak üzere çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Yrd. Doç. Dr. Gülsev UYAR ALDAŞ'a, Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan AKBAŞ'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Uzman Mühendis Aydın GÖKÇE'ye, uygulamanın gerçekleştirilmesindeki değerli katkılarından dolayı Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanı Sayın Seyit DEMİRCİ, Başkan Yrd. Sayın Cengiz ÖZDEMİR, Bomba İmha Şube Müdürü Sayın Kanbi APAYDIN, İnşaat Emlak Dairesi Eski Başkanı 1. Emniyet Müdürü Sayın Adnan MUTLU, Başkan Yrd. Sayın Erhan ÖZTÜRK ve İnşaat Yapım Şube Müdürü 3. Emniyet Müdürü Sayın Mesut ADIBELLİ'ye ve uygulamada görevli Bomba İmha Şube Müdürlüğü uzmanlarına, Teknik desteklerinden yararlandığım bölgedeki inşaatların yüklenicisi Fuat ATASEVEN ve Ataseven İnş. Taah. Tic. Ltd. Şti çalışanlarına, ayrıca çalışmada yardımlarından dolayı, Yüksek Jeofizik Mühendisi Aslı Z. CAN ve Jeofizik Mühendisi Başak TOPRAK'a, beni bu çalışmada yalnız bırakmayan değerli çalışma arkadaşlarım Jeofizik Mühendisi Gülseli YILDIZ ve Makina Mühendisi Cenk KONUK'a ve son olarak çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen kardeşim Öznur DOĞAN ve arkadaşım Özlem KÖK'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiii

RESİMLERİN LİSTESİ xvi

HARİTALARIN LİSTESİ xviii

SİMGELER VE KISALTMALAR xix

1. GİRİŞ 1

2. PATLATMA KAVRAMI VE ETKİLERİ 4

2.1. Patlayıcı Maddeler 4

2.2. Zemin ve Patlatma İlişkisi 6

2.3. Dalga Özellikleri 8

2.4. Gerilme - Birim Deformasyon İlişkileri 10

2.5. Dalga Yayılma Mekaniği 14

2.6. Zeminlerde Dalga Yayılımı 17

2.7. Zeminlerdeki Birim Şekil Değiştirme ve Parçacık Hızı İlişkisi 21

2.8. Zeminlerdeki Gerilme Artışı ve Parçacık Hızı İlişkisi 22

2.9. Sismik Dalga Türleri 29

2.10. Sönümleme 31

Sayfa

2.11. Patlatma Kaynaklı Oluşan Yer Titreşimlerinin Değerlendirilmesi 33

2.12. Titreşim Karakteristiklerini Etkileyen Parametreler 35

2.13. Frekansın Önemi 36

2.14. Patlatma Kaynaklı Hasar Kavramının Tanımı 40

2.15. Patlatma Kaynaklı Yer Titreşimlerinin Tahminine Yönelik Çalışmalar..... 43

2.16. Patlatma Kaynaklı Yapısal Hasar Kriterleri..... 45

3. ÇALIŞMA ALANI 58

3.1. Çalışma Alanının Tanıtımı 58

3.2. Çalışma Alanının Jeolojik Özellikleri 63

3.3. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi 64

3.4. Çalışma Alanının Afet Durumu ve Depremselliği..... 65

3.5. Çalışma Alanında Zemin Özelliklerinin Tespiti İçin
Yapılan Arazi ve Laboratuar Çalışmaları 65

3.5.1 Arazi çalışmaları 65

3.5.2 Laboratuar çalışmaları..... 68

4. ARAZİDE PATLATMA UYGULAMALARI..... 81

4.1. Arazide Patlatma Çalışmaları..... 81

4.2. Titreşim Ölçümleri 87

4.3. Derindeki Patlatmaların GD Yönündeki Ölçümleri ve
Değerlendirilmesi 95

4.4. Yüzeydeki Patlatmaların GD Yönündeki Ölçümleri ve
Değerlendirilmesi 101

4.5. Derinde ve Yüzeyde Gerçekleştirilen Patlatma Etkilerinin
Karşılaştırılması 107

4.6. GB Yönündeki Ölçümlerin GD Yönü ile Karşılaştırılması 108

Sayfa

4.7. Frekans Analizi 110

4.8. Derin ve Yüzeydeki Patlatmaların Hasar Kriterlerine göre Değerlendirilmesi ve Miktar – Mesafe İlişkileri 119

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 136

KAYNAKLAR 140

EKLER 144
EK-1. Sondaj logları 145
EK-2. Zemin numunelerinde dane çapı dağılımı 151
EK-3. Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları 157

ÖZGEÇMİŞ 214

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Langefors, Kihlstorm ve Westerberg araştırmalarına dayalı patlatma kaynaklı yapısal hasar kriterleri 47

Çizelge 2.2. Edwards ve Northwood araştırmalarına dayalı yapısal hasar kriterleri 48

Çizelge 2.3. Nicholls, Johnson ve Duvall araştırmalarına dayalı yapısal hasar limiti 15..... 49

Çizelge 2.4. USBM araştırmalarına dayalı detaylı yapısal hasar tanımları ve limit değerleri 50

Çizelge 2.5. USBM RI 8507 raporunda belirtilen yapısal hasar kriterleri..... 51

Çizelge 2.6. Alternatif USBM patlatma hasar kriterleri 52

Çizelge 2.7. OSM Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının kontrol altına alınmasına dair I. yöntem limitleri 53

Çizelge 2.8. OSM Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının kontrol altına alınmasına dair II. yöntem limitleri..... 53

Çizelge 2.9. OSM Patlatma kaynaklı yapısal hasar kriterleri 54

Çizelge 2.10. DIN 4150 Alman Hasar Normuna göre patlatma kaynaklı yapısal hasar limitleri 55

Çizelge 2.11. DIN 4150 Alman Hasar Normuna göre patlatma kaynaklı yapısal hasar limitleri grafiksel gösterimi 56

Çizelge 2.12. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”nde belirtilen patlatma kaynaklı hasar limitleri..... 57

Çizelge 2.13. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”nde belirtilen patlatma kaynaklı hasar limitlerinin grafikleştirilmiş hali 57

Çizelge 3.1. Laboratuar deneyleri sonucu bulunan sondajlardan alınan numunelerine ait su muhtevaları 69

Çizelge 3.2. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan doğal birim hacim ağırlık deneyleri sonuçları 69

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.3. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan likit limit, plastik limit tayini deneyleri sonuçları 72

Çizelge 3.4. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan özgül ağırlık deneyleri sonuçları 74

Çizelge 3.5. Dane çapı dağılımı ve kıvam limitlerine göre zemin sınıflaması 76

Çizelge 3.6. Numunelerden elde edilen dane çapı dağılımlarının bölgede daha önce yapılan sondajlar ile karşılaştırılması..... 78

Çizelge 3.7. Mekanik özelliklerin tespiti amacıyla örselenmemiş numunelere yapılan serbest (tek eksenli) basınç dayanımı deneyi sonuçları..... 78

Çizelge 4.1. Patlatma ve ölçüm noktaları ile patlatma özellikleri (tüm yönler) 88

Çizelge 4.2. Patlatma sonrası GD yönünde ölçümlenen parçacık hızı, frekans ve hava şoku ölçümleri..... 91

Çizelge 4.3. Patlatma sonrası GB yönünde ölçümlenen parçacık hızı, frekans ve hava şoku ölçümleri..... 94

Çizelge 4.4. Derinde patlatmalar sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi..... 99

Çizelge 4.5. Yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalar sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi 105

Çizelge 4.6. Aynı ölçekli mesafe değerlerine sahip derin ve yüzeydeki patlatmalarda PPV ölçümlerinin değişimi 107

Çizelge 4.7. Aynı ölçekli mesafe değerlerine sahip derin ve yüzeydeki patlatmalarda frekans değerlerinin değişimi 108

Çizelge 4.8. Derindeki patlatmalarda GD yönü için elde edilen PPV tahmin modelinin GB yönünde uygulanması ve GB yönünde ölçümlenen PPV'ler ile karşılaştırılması 108

Çizelge 4.9. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönü için elde edilen PPV tahmin modelinin GB yönünde uygulanması ve GB yönünde ölçümlenen PPV'ler ile karşılaştırılması 109

Çizelge 4.10. Derinde patlatmalarda ölçümlenen en küçük frekans değeri için limit maksimum parçacık hızı (PPV) değerleri..... 126

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.11. Derinde yapılan patlatmalar için hasar kriterlerine göre miktar mesafe ilişkisi 129

Çizelge 4.12.Yüzeyde patlatmalarda ölçümlenen en küçük frekans değeri için limit maksimum parçacık hızı (PPV) değerleri..... 131

Çizelge 4.13. Yüzeyde yapılan patlatmalar için hasar kriterlerine göre miktar mesafe ilişkisi 133

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Zeminlerde patlatma – yapı etkileşimi 8

Şekil 2.2 Patlatma kaynaklı titreşimlerin analizinde kullanılan tipik parametreler 9

Şekil 2.3. Elastik bir birimde gerilme gösterimleri 11

Şekil 2.4. Bir birimde boyuna elastik dalgaların yayılımı 14

Şekil 2.5. Bir birimde burulma etkisi 16

Şekil 2.6. Patlatma noktasından belirli bir uzaklıkta düzlemsel parçacık hareket vektörleri 18

Şekil 2.7. Dalga yayılımı gösterimi 18

Şekil 2.8. Dalga yayılım hızı ile parçacık hızı ilişkisi 20

Şekil 2.9. Birim uzunlukta zemin parçası 23

Şekil 2.10. Birim uzaklıkta zeminde gerilme artışı ve parçacık hızı ilişkisi 24

Şekil 2.11. Farklı yönlerden gelen basınç gerilmelerinin karşılaşması ve parçacık hızı durumu 26

Şekil 2.12. Farklı yönlerden gelen basınç ve çekme gerilmelerinin karşılaşması ve parçacık hızı durumu 27

Şekil 2.13. Sismik dalga türleri 30

Şekil 2.14. Logaritmik eksende parçacık hızı – ölçekli mesafe ilişkisi 35

Şekil 2.15 Tek serbestlik dereceli yapı sistemi 38

Şekil 2.16. Elastik deformasyon yapısı 42

Şekil 4.1. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_T – ölçekli mesafe İlişkisi 96

Şekil 4.2. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_V – ölçekli mesafe İlişkisi 97

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.3. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_L – ölçekli mesafe İlişkisi 98

Şekil 4.4. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki PVS – ölçekli mesafe İlişkisi 99

Şekil 4.5. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki maksimum PPV – ölçekli mesafe İlişkisi 99

Şekil 4.6. Derindeki patlatmalarda %95 doğrusu ile PPV – ölçekli mesafe ilişkisi program çıktısı 100

Şekil 4.7. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_T – ölçekli mesafe ilişkisi 102

Şekil 4.8. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_V – ölçekli mesafe ilişkisi 103

Şekil 4.9. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_L – ölçekli mesafe ilişkisi 104

Şekil 4.10. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki PVS – ölçekli mesafe ilişkisi 104

Şekil 4.11. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki maksimum PPV – ölçekli mesafe ilişkisi 105

Şekil 4.12. Yüzeydeki patlatmalarda %95 doğrusu ile PPV – ölçekli mesafe ilişkisi program çıktısı 106

Şekil 4.13 Blastware programı ile FFT analizi örnek gösterimi 110

Şekil 4.14. Derindeki patlatma ölçümlerinin frekans aralıkları 111

Şekil 4.15. Yüzeydeki patlatma ölçümlerinin frekans aralıkları 111

Şekil 4.16. Derindeki patlatmalarda PPV_T için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları 112

Şekil 4.17. Derindeki patlatmalarda PPVv için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları 113

Şekil 4.18. Derindeki patlatmalarda PPV_L için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları 114

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.19. Derindeki patlatmalarda PPV_{maks} için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları 115

Şekil 4.20. Yüzeydeki patlatmalarda PPV_T için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları 116

Şekil 4.21. Yüzeydeki patlatmalarda PPV_V için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları 117

Şekil 4.22. Yüzeydeki patlatmalarda PPV_L için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları 118

Şekil 4.23. Yüzeydeki patlatmalarda PPVmaks. için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları 119

Şekil 4.24. DIN 4150 Hasar normu örnek gösterimi(yüzeyde patlatma)..... 121

Şekil 4.25. USBM RI 8507 ve OSM patlatma kaynaklı hasar kriterlerinin örnek gösterimi (yüzeyde patlatma)..... 122

Şekil 4.26. DIN 4150 Hasar normu örnek gösterimi(derinde patlatma)..... 123

Şekil 4.27. USBM RI 8507 ve OSM patlatma kaynaklı hasar kriterlerinin örnek gösterimi (derinde patlatma) 124

Şekil 4.28. Derindeki patlatmalarda miktar - mesafe ilişkisi..... 130

Şekil 4.29. Derindeki patlatmalarda miktar - mesafe ilişkisi (ilk 250 m)..... 130

Şekil 4.30. Yüzeydeki patlatmalarda miktar - mesafe ilişkisi..... 134

Şekil 4.31. Yüzeydeki patlatmalarda miktar - mesafe ilişkisi (İlk 250 m) 134

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Çalışma alanı ve Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanlığı binaları ile gelecekte yapılaşma düşünülen alanın havadan görünümü 63

Resim 3.2. Patlatma öncesi çalışma alanı ve Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanlığı binaları ile gelecekte yapılaşma düşünülen alanın yerleşimi 64

Resim 3.3. Sondaj çalışması (SK-1 kuyusu) 66

Resim 3.4. Sondaj çalışmasından ayrıntı (SK-1 kuyusu) 66

Resim 3.5. Sondaj kuyularından alınan UD numune tüpleri 67

Resim 3.6. Sondaj işlemi sonrası muhafazaya alınan sondaj kuyusu 68

Resim 3.7. Doğal birim hacim ağırlık deneyinde kullanılan zemin numunesi (SK 11-UD1) 70

Resim 3.8. Doğal birim hacim ağırlık deneyinde kullanılan zemin numunesi (SK 7- UD2) 70

Resim 3.9. Doğal birim hacim ağırlık deneyinde kullanılan zemin numunesi (SK 5 - UD1) 71

Resim 3.10. Doğal birim hacim ağırlık deneyinde kullanılan zemin numunesi (SK 9- UD2) 71

Resim 3.11. Likit limit tayini deneyi uygulama öncesi hazırlık (SK 2 numunesi) 72

Resim 3.12. Likit limit tayini deneyi uygulama sonrası görünüm (SK 2 numunesi) 73

Resim 3.13.Likit limit tayini deneyi uygulama sonrası su muhtevası tespiti için numune alımı (SK 2 numunesi) 73

Resim 3.14. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan özgül ağırlık deneyleri 74

Resim 3.15. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan elek analizi deneyleri 75

Resim **Sayfa**

Resim 3.16. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan hidrometre analizi deneyleri 75

Resim 3.17. 3 m derinlikten gelen örselenmiş zemin numunesi (SK – 8) 77

Resim 3.18. Numunelere uygulanan serbest (tek eksenli) basınç deneyleri (SK – 11) 79

Resim 3.19. Numunelere uygulanan serbest (tek eksenli) basınç deneyleri (SK – 9) 79

Resim 3.20. Numunelere uygulanan serbest (tek eksenli) basınç deneylerinden ayrıntı (a) SK - 11 (b) SK - 5 (c) SK - 7 (d) SK – 9 80

Resim 4.1. Patlatma öncesi güneydoğu yönünde(yeni yapılaşma düşünülen alan yönünde) titreşim ölçer aletlerin yerleşimi 81

Resim 4.2. Patlatma öncesi arazi durumu ve muhafaza edilen sondaj noktaları 82

Resim 4.3. Titreşim ölçer cihaz ve kurulumu 83

Resim 4.4. Bomba imha uzmanlarınca patlayıcı madde kurulumu 84

Resim 4.5. Derindeki patlatma ardından yüzeydeki zeminde oluşan plastik deformasyonlar (SK 6) 86

Resim 4.6. Derin patlatma ardından patlatma noktası yüzeyindeki zeminde oluşan plastik deformasyonlar (SK 7) 86

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 3.1. Çalışma alanı ve çevresi genel görünümü..... 60

Harita 3.2. Çalışma alanı ve Kriminal Polis laboratuarı Dairesi Başkanlığı binaları ve gelecekte yapılaşma düşünülen alanın yerleşimi 61

Harita 3.3. Sondaj kuyularının yerleşimi 65

Harita 3.4. Çalışma alanına ait sondaj yerleşimleri ve daha önce bölgede yapılan sondajların yerleşimi 77

Harita 4.1. Çalışma alanında patlatma ve gözlem noktaları yerleşimi 85

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
A	Maksimum parçacık yer değiştirme miktarı (mm)
A	Genlik
B	Dilim kalınlığı (m)
c	Boyuna dalga yayılım hızı
c_c	Boyuna basınç dalgası yayılım hızı
c_p	P dalgası yayılım hızı
c_s	S dalgası yayılım hızı
D	Patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe (m)
E	Elastisite (Young) modülü
f	Frekans (Hz)
F	Kuvvet
G	Kesme modülü
I	R uzaklığındaki dalga parametresi
J	Polar atalet momenti
m	Kütle
n	Sönümleme katsayısıdır
Q	Patlayıcı madde(Şarj) miktarı (kg)
R	Patlatma noktasından uzaklık (m)

Simgeler	**Açıklama**
t	Zaman
T	Sistemin doğal periyodu
u	Dalga yayılım yönüne paralel olarak parçacık hareketi
$\dot{u}$ ya da v	Parçacık hızı
$\ddot{u}$	İvme
W	Patlayıcı madde miktarı (kg)
x	Konum
y	Yer değiştirme miktarı
α	Saha sabiti
β	Arazi sönümleme katsayısı(jeolojik sabit)
δ	Rölatif yer değiştirme
θ	Dönme açısı
υ	Poisson oranı
ε_x	x yönündeki normal birim şekil değiştirme
ε_y	y yönündeki normal birim şekil değiştirme
ε_z	z yönündeki normal birim şekil değiştirme
γ'_{xy}	*xz* ve *yz* düzlemleri arası kesme birim şekil değiştirmesi
γ'_{yz}	*yx* ve *zx* düzlemleri arası kesme birim şekil değiştirmesi
γ'_{zx}	*zy* ve *xy* düzlemleri arası kesme birim şekil değiştirmesi
ϖ_x	x eksenindeki dönme
ϖ_y	y eksenindeki dönme
ϖ_z	z eksenindeki dönme

Simgeler	**Açıklama**
σ_x	Basınç gerilmesi
$\Delta\sigma$	Gerilme artışı
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar	**Açıklama**
ABS	Hacim kuvveti
AN	Amonyum nitrat
AWS	Ağırlık kuvveti
ÇGDYY	Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği
D	Derinde
ER	Enerji oranı
FFT	Hızlı Fourier dönüşümü
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
NG	Nitrogliserin
OSM	Amerikan Açık Ocak Madencilik Bürosu
PPV	Maksimum parçacık hızı
PPV_T	Enine bileşende maksimum parçacık hızı
PPV_V	Düşey bileşende maksimum parçacık hızı
PPV_L	Boyuna bileşende maksimum parçacık hızı
PVS	Bileşke maksimum parçacık hızı
SC	Bileşik zemin sınıflandırılmasında killi kum

Kısaltmalar	**Açıklama**
SD	Ölçekli mesafe
TNT	Trinitrotoluen
USBM	Amerikan Madencilik Bürosu
USCS	Bileşik zemin sınıflandırma sistemi
VOD	Detonasyon hızı
Y	Yüzeyde

1. GİRİŞ

Patlatma işlemi madencilik, taş ocağı işletmeciliği, baraj ve tünel inşaatı gibi birçok mühendislik çalışmasında vazgeçilmez bir gerekliliktir.

Patlatma faaliyetleri olumsuzluklar içermektedir. Özellikle madencilikte, inşaat sektöründe ve patlatma içeren diğer üretim ve imha çalışmalarında yer altı ve yüzeyde gerçekleştirilen patlatma faaliyetleri çevredeki mevcut yapılaşmaya hasar verebilmekte ayrıca çevrede planlanan alt ve üst yapı için tehdit oluşturabilmektedir. Yer altı ve yer yüzeyinde yapılan patlatma faaliyetlerinin mevcut yapı temellerine etkisi ve bu tür dinamik etkilerinin emniyetle taşınabilmesi için gereken önlemlerin alınması, yeni yapılaşma düşünülen alanların patlatma bölgelerine göre konumlandırılması ve tasarım aşamasında yapı temellerinin patlama kaynaklı dinamik etkilere göre tasarlanması zorunluluğu yerin yüzeyindeki ve yüzeyine çok yakın doğal malzemelerle (zemin) ilgilenen geoteknik mühendisleri için çözülmesi gereken önemli problemler oluşturmaktadır.

Yerleşim alanlarının genişlemekte olduğu özellikle il ve ilçe yerleşimlerine yakın bölgelerde inşaat faaliyetleri, madencilik ve diğer amaçlarla gerçekleştirilen patlatma faaliyetleri sonucu oluşan yer sarsıntısı, hava şoku ve doğal malzeme (kaya parçaları ve zemin partikülleri) fırlaması gibi etkileri olumsuz etkiler olarak sınıflandırabiliriz.

Patlatma noktasında belirli bir uzaklıkta bulunan yerleşim alanlarının patlatma sonucunda oluşacak yer sarsıntılarından etkilenmesinde pek çok faktörün etkili olduğu görülmektedir. Patlatma faaliyetlerinde kullanılan patlayıcı miktarı ve patlatma noktası ile yerleşim yerleri arasındaki mesafe, topografya ve zemin ya da kaya formundaki doğal malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri gibi arazi faktörleri de önemli rol oynamaktadır.

Patlatma sonrası meydana gelen yer sarsıntılarının yapı hasarlarına etkilerini analiz etmede, ivme ve yer değiştirmenin yanı sıra en çok maksimum parçacık hızı (PPV) kavramı kullanılmaktadır.

Titreşim ölçer cihazlarla değişik yönlerde ölçülebilen maksimum parçacık hızlarının önceden tahmin edilmesinde literatürde pek çok eşitlik mevcuttur. Bunlar arasında en yaygın kullanıma sahip olan ve ölçekli mesafe fikrine (mesafe ve patlayıcı madde miktarının ilişkilendirilmesine) göre şekillenen eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$PPV = K(SD)^{-\beta} \tag{1.1}$$

SD: Ölçekli Mesafe
PPV: Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)
K: Sarsıntı İletim Katsayısı (zemin yapısına bağlı)
β : Zemin ya da kayaç sönümleme sabiti

Eşitlikte yer alan sarsıntı iletim katsayısı ve arazi (zemin) sönümleme katsayıları, arazide yapılan deneme patlatmalarının sismik cihazlar yardımıyla kaydedilmesi sonucunda elde edilen verilerin, istatistiksel analiz programları yardımıyla regresyon analizleriyle değerlendirilmesi sonucu belirlenebilmektedir. Bu değerlendirme ile belirli bir noktada yapılacak patlatmanın belirli bir patlayıcı madde miktarı ve mesafeye göre belirlenebilen ölçekli mesafe değerinde hangi büyüklükte bir parçacık hızı meydana getirebileceği yine istatistiksel analizle hesaplanabilen belirli korelasyon değerleri için bulunabilmektedir. Burada önemli iki nokta; bu değerlerin deneme patlatması yapılan zemin/kayaç birimlerine özgü olmaları ve bu tür birimlerin ölçümlenen yönlerine göre doğru sonuçları verebilmeleridir. Zemin birimlerindeki fiziksel özellikler (dane çapı dağılımı, su muhtevası vb.) ve mekanik özelliklerin değişkenliği, kayaç birimlerinde ise fay, kırık, çatlak gibi süreksizliklerin bulunması; konum ve yönelimleri, kayaç cinsi, kaya kütlelerin deformasyon, dayanım ve geçirgenlik özelliklerinin yönsel değişimler göstermesi istatistiksel analizlerle hesaplanabilecek maksimum parçacık hızı değerlerinin doğruluğunu azaltacaktır.

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının zeminde meydana getirdiği titreşim etkilerinin maksimum parçacık hızı (PPV) olarak belirli bir yönde ölçümlenmesi, bu verilerin mevcut yapıların ve gelecekte yapılaşma planlanan alanlara göre yorumlanması ve yapıların hasar görebilirliğinin araştırılması temel amacıyla Ankara Gölbaşı ilçesinde bulunan Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Polis Laboratuar Dairesi Başkanlığı Bomba İmha Şube Müdürlüğü patlatma sahasında, öncelikle çalışma sahası zeminlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri yapılan arazi araştırmaları ve laboratuar çalışmaları ile belirlenmiş, ayrıca yerinde yapılan ölçümlerde çalışma alanı haritalandırılabilmiştir. Bu çalışma ile patlatma noktalarının mevcut yapılara ve gerekli muhtemel yapılaşma alanlarına göre konumları belirlenmiştir. Daha sonra yüzeyden 3 m derinlikte ve yüzeyde yapılan deneme patlatmalarının etkileri olan titreşim ve gürültü seviyeleri kaydedilmiştir. Elde edilen verilerle yapılan istatistiki değerlendirmeler sonucu araziye ait karakteristik K ve β değerleri belirli korelasyon değerlerinde bulunmuştur. Çalışmada ayrıca mevcut yapılara ve gelecekte yapılaşma planlanan alanlara göre seçilen yönde, elde edilen verilerle hazırlanan ölçekli mesafe maksimum parçacık hızı eşitliğinin bu yöne dik olan yönde ölçümlenen değerlerle karşılaştırılması yapılarak her iki yön arasındaki yayılım ilişkisi irdelenmiştir. Ayrıca hem yüzeyde hem de yüzeyden 3 m derinde gerçekleştirilen deneme patlatmaların yer sarsıntısı yayılımı karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Patlatma kaynaklı dalgaların frekans özelliklerinin yapılarda hasarı belirleyici niteliği de dikkate alınarak genel kabul görmüş hasar kriterlerine göre patlatmalar değerlendirilmiştir.

Özetle bu çalışmada; patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının çevresel etkileri titreşim boyutuyla irdelenmiş olup böylece patlatma sonucu zeminde oluşan yer sarsıntılarının mevcut yapılara ve gelecekte planlanan yapılaşma alanlarına olan etkileri araştırılmış ve bu veriler ışığında bu alanlara zarar vermeden patlatma faaliyetlerinin düzenlenmesi için kaynak oluşturulmuştur. Bir başka bakış açısıyla bu çalışma ile patlatma faaliyetlerine göre planlanabilecek ve patlatma kaynaklı dinamik etkilere göre tasarlanabilecek bir yapılaşma için etki potansiyelinin belirlenmesi sağlanabilecektir.

2. PATLATMA KAVRAMI VE ETKİLERİ

2.1 Patlayıcı Maddeler

Patlayıcı maddeler, barutun icadıyla yoğun olarak askeri amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Herhangi bir sarsıntıya karşı çok duyarlı olan nitrogliserini diatomit toprağına emdirmesi, dinamit adı verilen patlayıcı maddelerin oluşumunu sağlamış, bu keşif ardından patlayıcı maddeler dünyanın çeşitli bölgesinde endüstriyel amaçlı madencilik ve inşaat sektörlerinde yoğun olarak kullanılmıştır [1].

Kimyasal patlayıcı maddeler ısı, darbe veya sürtünme sonucu çevreden herhangi bir elemanın kimyasal katkısı olmadan çok hızlı reaksiyona giren, genellikle gaz fazda ürünler vererek ortam basıncında ani ve yüksek değişimlere neden olan organik ve inorganik bileşimler olarak tanımlanabilir [2].

Genel olarak patlayıcılar tahrip edici patlayıcılar, askeri patlayıcılar, ateşlemeye yarayan patlayıcılar ve fırlatıcı yakıt halinde olan patlayıcılar olarak sınıflandırılabilir.

Tahrip edici patlayıcılar kömür ocaklarında, kazı ve tünel açımları gibi inşaat uygulamalarında kullanılmaktadır. Tahrip edici patlayıcıların en iyilerinden biri olan ve granüler bir madde olan dinamit temel olarak nitrogliserin (NG), Amonyum nitrat (AN), sodyum nitrat ve talaş tozunun silindir kutular içine yerleştirilmesinden ibarettir. Dinamitin bir türü olan olan jelatin dinamit, tünel açımlarında, yer altı madenciliğinde kullanılmak ve su içinde tahribat yaratabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Amonyum nitrat (AN) ihtiva eden patlayıcılar diğer tür patlayıcılara göre ucuz ve etkin olabildiklerinden dolayı inşaatlarda ve yüzeydeki maden ocaklarında kullanılmaktadır. Bir başka patlayıcı çeşidi ise ANFO patlayıcılardır. Bunlar %95 Amonyum nitrat %5 fueloil karışımından meydana gelirler. Özellikle kayaç ortamlarda açılan deliklere akıtılarak kolayca yerleştirilebildiklerinden dolayı taş ocaklarında kullanılırlar.

Askeri patlayıcılar fiziksel ve kimyasal olarak aşırı sıcaklık ve darbelere karşı belirli düzeylerde dayanıklı imal edilen patlayıcılardır. TNT (trinitrotoluen) bu grup içinde en tanınmış patlayıcıdır. Bu kuvvetli patlayıcı kimyasal formülü $C_7H_5N_3O_6$ olan sarı renkli katı bir patlayıcıdır. TNT'nin patlama verimi, bombaların patlayıcı özelliklerinin ölçeklendirilmesi için referans alınabilmektedir. İlk kez 1863 yılında Alman kimyager Joseph Wibrand tarafından sentezlenen ve uzun yıllar patlayıcı özelliği keşfedilemeyen Trinitrotoluen alkol, aseton, benzin ve toluende çözünebilme özelliğine sahipken suda çözünmez ve bu durum TNT nin nemli ortamlarda da kullanılabilmesini sağlamıştır. TNT yaygın olarak bomba, mayın ve torpido gibi askeri amaçlı ürünlerde patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. Askeri patlayıcılardan pentolin (%50 PENT, %50 TNT) bazukalarda, Amotol (%50 AN, %50 TNT) uçak bombalarında, tritonal (%80 TNT, %20 alüminyum) ise torpidolarda kullanılmaktadır [3].

Fırlatıcı yakıt patlayıcıları, mermi veya roketleri hedefe ulaştırmak için kullanılırlar. Diğer patlayıcı tiplerinin aksine bu patlayıcılar infilak etmez bol miktarda gaz üretirler.

Patlayıcı maddeler bazı karakteristik özellikleri ile birbirinden ayrılmaktadır. Bunlardan bazılarının tanımları aşağıda verilecektir [2].

Detonasyon hızı (VOD), patlatmanın patlayıcı madde içerisindeki saniyede metre olarak ilerleme hızı olarak tanımlanır. *Detonasyon stabilitesi* patlatmanın, patlatma deliği boyunca kararlı bir şekilde ilerlemesidir.

Yoğunluk, patlayıcı maddenin birim hacim ağırlığıdır ve detonasyon sırasında birim zamanda reaksiyona giren patlayıcı madde ağırlığını gösterdiğinden önem taşımaktadır.

Patlayıcı maddenin gücü (veya kuvveti) ise belirli bir ağırlıktaki patlayıcı maddenin taşıdığı enerji olarak ifade edilebilir. Patlayıcı madenin kuvveti iki şekilde ifade edilebilir. Bunlar ağırlık kuvveti (AWS, Absolute Weight Strenght) ve hacim

kuvvetidir (ABS, Absolute Bulk Strenght). AWS, her bir gram patlayıcının mevcut enerji miktarıdır. Birimi cal/gr'dır. ABS ise her bir cm^3 patlayıcının mevcut enerji miktarıdır. Birimi cal/cm^3'tür.

Patlayıcı maddelerin duyarlılığı (sensivite) ise patlayabilmesi için ihtiyaç duydukları minimum enerji olarak tanımlanabilir.

Suya direnç, patlayıcının özelliklerini değiştirmeden su içinde kalabilme özelliğidir. Donmaya karşı direnç ise sıcaklığın 0 C^0'nin altına düştüğü bölgelerde etkili olup, özellikle nitrogliserinli patlayıcıların duyarlılığı dondukları zaman tehlikeli boyutlara ulaşır.

2.2 Zemin ve Patlatma İlişkisi

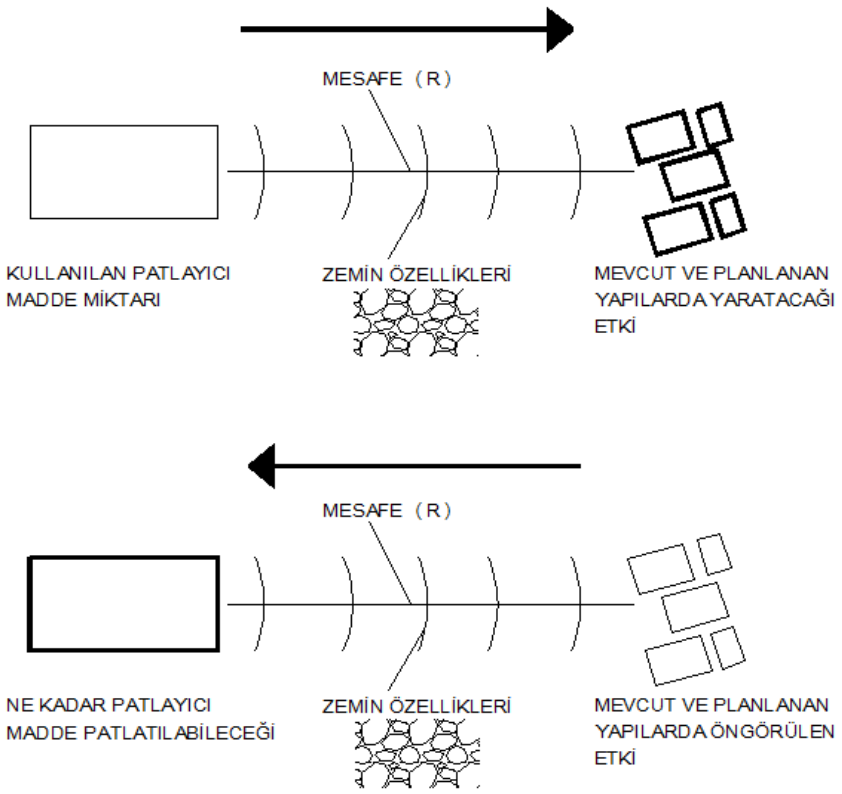
Patlatma faaliyetlerinin gerçekleştirildiği zemin ve kayaç birimlerinin temel geoteknik bilgileri (sınıflandırma, dane çapı dağılımı, bileşimi, yapısal özellikleri vb.) bu birimlerin patlatma sırasındaki davranışı konusunda oldukça önemli sınıflandırma kriterleridir. Belirli bir alanda patlatma tasarımında değiştirilemeyecek ya da değişimi ekonomik olmayan bir faktör olan zemin/kayaç türünün, fiziksel ve mekanik özellikleri aynı zamanda belirli bir miktar patlayıcı madde ile gerçekleştirilecek patlatma sonrası oluşan yer sarsıntılarının yayılımının ve yarattıkları titreşimlerin farklılık göstermesinin temel nedenidir. Patlatma yeri ve yönelimleri konusunda herhangi bir değişiklik yapmanın zor olduğu durumlarda, patlatma üzerine en büyük etkiye sahip faktör jeoloji olarak tanımlanabilir [1]. Bu durum patlatma öncesi uygulamanın gerçekleştirileceği alanların zemin - kayaç türlerinin tanımlanmasını zorunlu kılmaktadır.

Patlatmadan kaynaklanan yersarsıntıları kısa süreli ve düzensiz yer hareketleridir. Patlatma sonucu zemin içinde deliğin hemen çevresinde plastik deformasyonlara yol açan basınç dalgaları oluşur. Bu dalgalar patlatma noktasından yayılmaya başlar ve sismik dalgaları oluştururlar. Dalga hareketi ile enerji iletimi sağlanır. Böyle bir taşınımın gerçekleşmesi ortama uygulanan başlatıcı ve ortamın tanecik yapısının

sapmasına neden olan kuvvetler ile sağlanır. Parçacıkların yer değiştirme hareketi, tıpkı patlatma noktasında olduğu gibi, kendi aralarındaki içsel bağı aşarsa elastik olmayan (geri dönüşsüz) deformasyonlara neden olur. Fakat bu durum, tıpkı patlatma noktasından yeterli mesafe sonra oluştuğu gibi, parçacıkların bağ kuvveti içerisinde kalıyorsa elastik bir deformasyona neden olur. Elastik bir dalga hareketi sonucunda kütlesel bir nakil yoktur. Sadece ortamı oluşturan hareketin denge durumundan sapması ile oluşan bir enerji geçiş hareketi söz konusu olmaktadır. Böyle tür bir geçişte iki tür hızdan bahsedilebilir. Meydana gelen sismik dalganın, ortamın yoğunluğu ile ilgili olarak ortamdan bağıl geçiş hızı (dalganın kendi hızı ya da sismik hız) ve dalganın geçişi sırasında dalga enerjisi ile oluşan parçacık salınımı ile ilişkili parçacık hızıdır. Parçacık hızı zemin ve kayaç birimlerde yerel olarak tespit edilir. Bu değer 0'dan başlar en yüksek değerine ulaşır ve giderek etkisini yitirir [4].

Patlatma kaynaklı zemin davranışında, zemin ile taşınan bir enerji şekli olan yer titreşimleri belirli seviyelere ulaştıklarında çevre yapılara zarar verebilirler. Patlatma kaynaklı açığa çıkan enerjinin bir kısmı farklı frekanslı sismik dalgalar olarak tüm yönlere doğru bir yayılım gösterirler. Bu sismik dalgaların enerjisi mesafe ile sönümlenir. En yüksek frekanslı dalgalar en hızlı sönümlenir.

Yer sarsıntısının büyüklüğü temel olarak kullanılan patlayıcı madde miktarına zemin - kayaç karakteristiklerine ve patlatma noktasından olan uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Çalışmamız kapsamında bu etkileşim Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

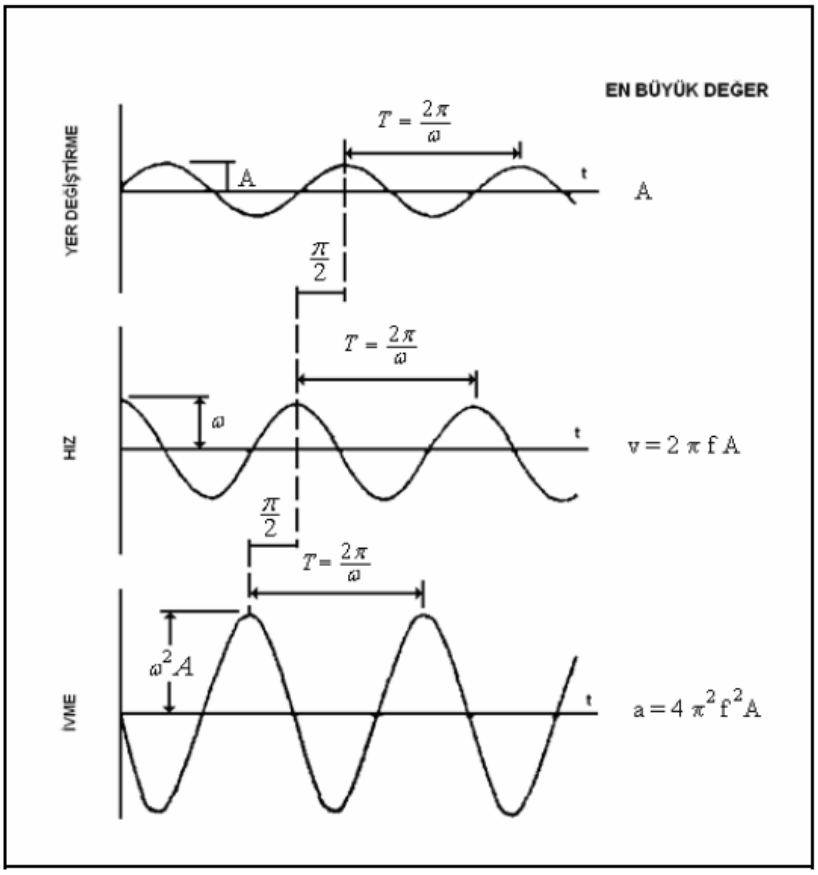


Şekil 2.1. Zeminlerde patlatma – yapı etkileşimi

Yapılacak patlatmalarda parçacık hızı (mm/sn), parçacık deplasmanı (mm), parçacık ivmesi (mm/sn^2) ve frekansı ölçümlemek ve bunları kabul edilebilir sınırlarda tutarak tasarımlar gerçekleştirmek suretiyle çevresel sorunlar en aza indirilebilir [5]. Burada önemli bir nokta en yüksek parçacık hızlarının incelenmesidir. Çünkü parçacık hızının büyüklüğü binaların sarsılma şiddeti ile doğrudan ilişkili olmaktadır [4].

2.3 Dalga Özellikleri

Zemin ortamında sismik dalga geçişi yersarsıntısı olarak isimlendirilen parçacık hareketine neden olmaktadır. Uyumlu (basit, sinusoidal) biçimde hareket eden dalga türlerine bağlı olarak oluşan patlatma kaynaklı titreşimler ve bu titreşimlerin analizinde kullanılan tipik parametreler Şekil 2.2'de görülebilmektedir.



Şekil 2.2 Patlatma kaynaklı titreşimlerin analizinde kullanılan tipik parametreler [1]

Bunları tanımlamaya çalışırsak; genlik (amplitude) (A) bir parçacığın (tane) son hareketine göre maksimum yer değiştirme miktarıdır. Parçacık hızı ($\dot{u}$ ya da v) bir parçacığı hareket ettiren hız olarak tanımlanabilir. Birimi mm/sn'dir. İvme (a) birim zamandaki hız birimi mm/sn^2'dir. Frekans saniyedeki salınım sayısıdır. Frekans (*f*) zeminde bir parçacığın 1 saniyede kaç kez sarsıldığını gösterir. Birimi devir / saniye ya da Herz (Hz) dir.

Herhangi bir andaki yer değiştirme miktarı (y)

$$y = A \cdot \sin(wt) \tag{2.1}$$

Bu eşitlikte

$$w = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{Ts} \tag{2.2}$$

Parçacık yer değiştirme miktarından türeyen, parçacık hızı ve ivmesi ise aşağıdaki eşitliklerde belirtildiği gibidir.

$$v = \frac{dy}{dt} = Aw\cos(wt) \tag{2.3}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = A.w^2 \sin(wt) \tag{2.4}$$

Bu parametrelerin sadece maksimum mutlak değerleri dikkate alındığında yukarıdaki eşitlikler aşağıdaki eşitliklere dönüşür [6].

$$v_{maks} = A.w = A.2\pi f \tag{2.5}$$

$$a_{maks} = A.w^2 = A.4\pi^2 f^2 \tag{2.6}$$

2.4 Gerilme - Birim Deformasyon İlişkileri

Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının açıklanabilmesi için öncelikle gerilme - birim şekil değiştirme ilişkilerinin irdelenmesinde fayda vardır. Bir cisme etki eden herhangi bir kuvvetin cismin şekil ve boyunda yarattığı değişikliği şekil değiştirme (deformasyon) olarak tanımlayabiliriz. Deformasyonların cisimde uzunlukta ve açısal olarak yarattığı etki olarak tanımlanmasına ise birim şekil değiştirme ya da birim deformasyon denir [7]. Birim deformasyonlar iki şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bunlar normal birim deformasyon ve kesme birim deformasyonudur[8].

Kenar uzunlukları *dx, dy, dz* olan elastik bir birimde x, y, z eksenlerine göre düzlemlerin normal gerilmeleri σ_x , σ_y , σ_z olarak ve aynı ortamda oluşan kesme gerilmeleri ise τ_{xy} , τ_{yx} , τ_{yz} , τ_{zy} , τ_{zx} , τ_{xz} olarak gösterilebilir (Şekil 2.3). τ_{ij} biçiminde

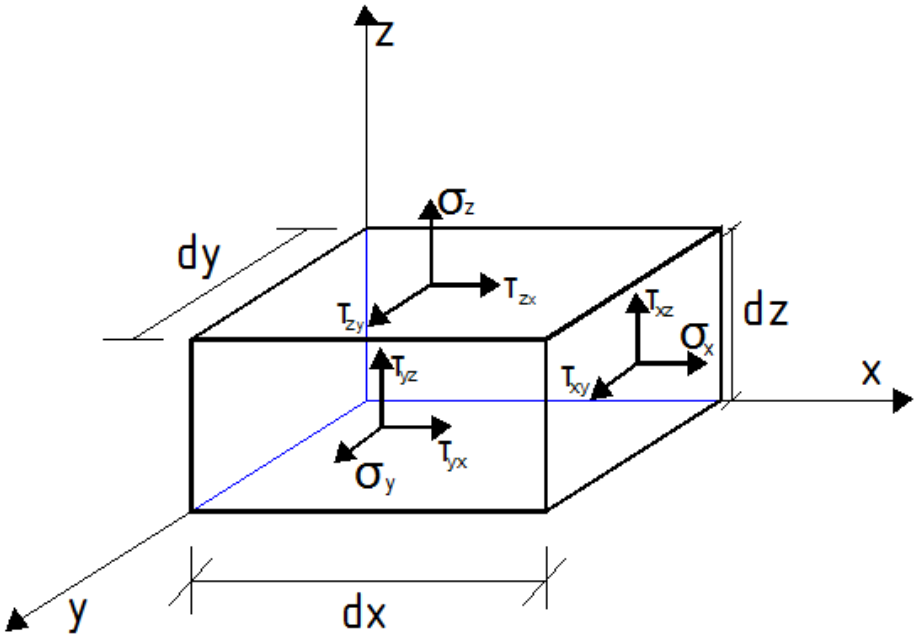
gösterilebilen kesme gerilmeleri, düzlem normali olan eksen "*i*" ekseni ve yönüne paralel olan eksenin "*j*" gösterimlerinden oluşmaktadır. Denge gereği,

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \tag{2.7}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} \tag{2.8}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} \tag{2.9}$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.



Şekil 2.3. Elastik bir birimde gerilme gösterimleri

Elastik ve izotropik bir ortamda gerilme dağılımının x, y ve z eksenlerinde yarattığı yer değiştirme sırasıyla u, v, w olarak ifade edilirse normal birim deformasyon ve kesme birim deformasyonları aşağıdaki eşitliklerdeki gibi açıklanabilir.

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \tag{2.10}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \tag{2.11}$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \tag{2.12}$$

$$\gamma'_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \tag{2.13}$$

$$\gamma'_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \tag{2.14}$$

$$\gamma'_{zx} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \tag{2.15}$$

$$\varpi_x = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}\right) \tag{2.16}$$

$$\varpi_y = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right) \tag{2.17}$$

$$\varpi_z = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right) \tag{2.18}$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

ε_x : x yönündeki normal birim şekil değiştirme

ε_y : y yönündeki normal birim şekil değiştirme

ε_z : z yönündeki normal birim şekil değiştirme

γ'_{xy} : *xz* ve *yz* düzlemleri arasındaki kesme birim şekil değiştirmesi

γ'_{yz} : *yx* ve *zx* düzlemleri arasındaki kesme birim şekil değiştirmesi

γ'_{zx} : *zy* ve *xy* düzlemleri arasındaki kesme birim şekil değiştirmesi

ϖ_x : x eksenindeki dönme

ϖ_y : y eksenindeki dönme

ϖ_z : z eksenindeki dönme olarak tanımlanabilir.

Elastik ve izotropik bir malzeme için normal gerilme ve normal birim şekil değiştirme davranışı arasındaki ilişki Hooke Kanunu gereğince;

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)\right] \tag{2.19}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)\right] \tag{2.20}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)\right] \tag{2.21}$$

eşitlikleri ile tanımlanabilir.

Eşitliklerde, ε_x, ε_y, ε_z x, y ve z eksenlerindeki normal gerilmeler,

E: Elastisite (Young) modülü,

μ : Poisson oranıdır.

Kesme gerilmeleri ve kesme birim şekil değiştirmeler arasındaki ilişkiler ise;

$$\tau_{xy} = G\gamma'_{xy} \tag{2.22}$$

$$\tau_{yz} = G\gamma'_{yz} \tag{2.23}$$

$$\tau_{zx} = G\gamma'_{zx} \tag{2.24}$$

eşitlikleri ile tanımlanabilir.

Eşitliklerde, τ_{xy}, τ_{yz}, τ_{zx}: Kesme gerilmeleri

γ'_{xy}, γ'_{yz}, γ'_{zx} : Kesme birim şekil değiştirmeleri

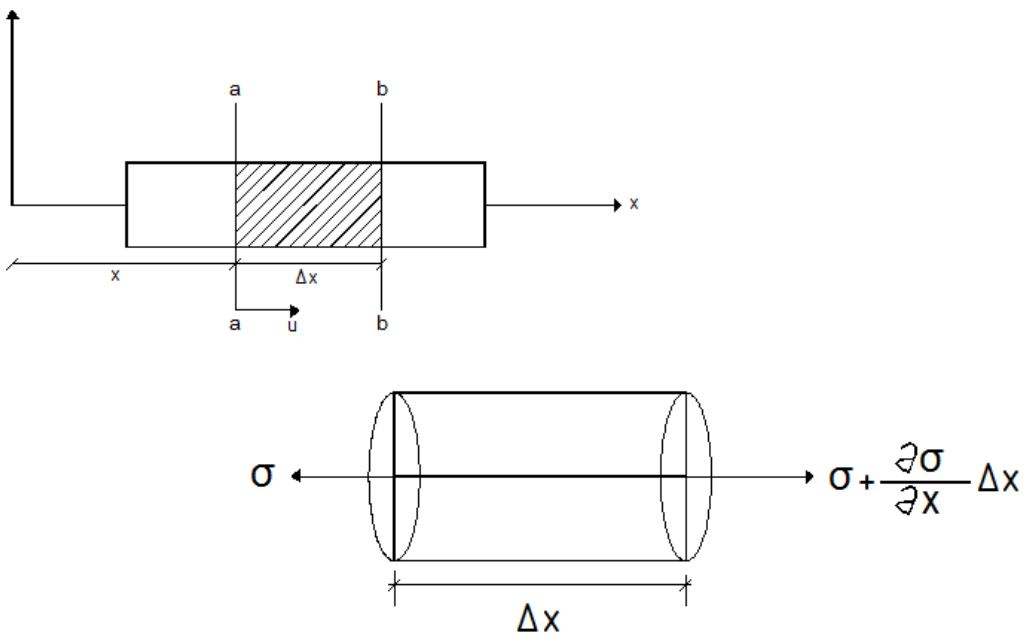
G: Kesme modülü olarak tanımlanır.

Kesme modülü ile elastisite (Young) modülü arasındaki ilişki Eş. 2.25 ile gösterilebilir.

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \tag{2.25}$$

2.5 Dalga Yayılma Mekaniği

Bir birimde elastik gerilme dalgalarının yayılımını Şekil 2.4'deki gibi gösterebiliriz.



Şekil 2.4. Bir birimde boyuna elastik dalgaların yayılımı[9]

$\sum Kuvvet = Kütle(m) \times İvme(a)$ genel eşitliğinden yararlanarak x ekseni yönündeki kuvveti, gerilmenin etkidiği alan boyunca sabit olduğu ve alanın şekil değiştirmediği kabulüyle aşağıdaki eşitlikteki gibi gösterebiliriz.

$$-\sigma A + \left(\sigma + \frac{\partial \sigma}{\partial x}\Delta x\right)A = \frac{(A\Delta x\gamma)}{g}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \tag{2.26}$$

Yukarıdaki eşitlikte;

$A\Delta x\gamma$: gerilme dağılımının incelendiği Δx uzunluğundaki birimin ağırlığı.

g: yerçekimi ivmesi

u: t zaman aralığında x yönündeki yer değiştirme diğer bir ifade ile parçacık hareketidir.

Eş. 2.26'dan $\rho = \gamma / g$ eşitliği ile;

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \rho\left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\right) \tag{2.27}$$

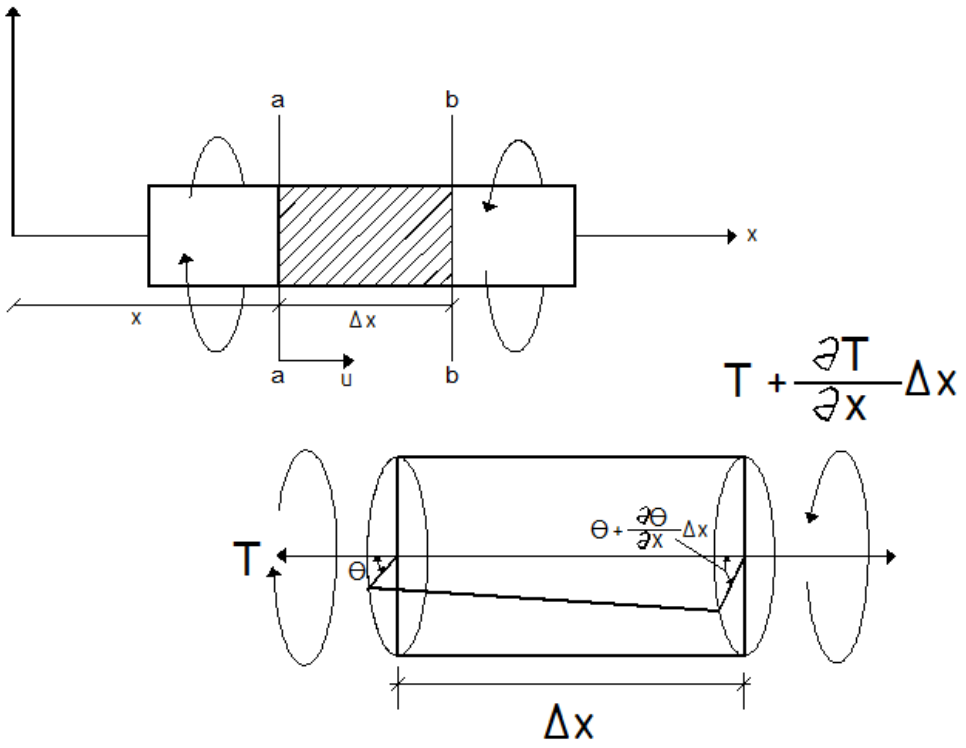
eşitliği bulunabilmektedir.

Bununla birlikte gerilme, birim şekil değiştirme ve Elastisite modülünün çarpımına eşittir. x yönündeki birim şekil değiştirme $\varepsilon = \partial u / \partial x$ olarak tanımlanırsa,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \left(\frac{E}{\rho}\right)\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right) \tag{2.28}$$

ifadesi bulunur.

Bir birimde burulma etkisi yaratan dalgalar ise Şekil 2.5'deki gibi gösterilebilir. x uzaklığında ve Δx boyundaki bir birime T burulma momenti etkidiğinde x uzaklığında birim, θ açısı kadar döner. Bu burulma etkisi $x+\Delta x$ kadar mesafede $T+(\partial T/\partial x)\Delta x$ kadar bir burulma momenti ve $\theta+(\partial\theta/\partial x)\Delta x$ kadar bir dönme ile tanımlanabilir [9].



Şekil 2.5. Bir birimde burulma etkisi[9]

Newton'un ikinci yasası gereği burulma etkisindeki genel denklem

$$-T+\left(T+\frac{\partial T}{\partial x}\Delta x\right)=\rho J\Delta x\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2} \tag{2.29}$$

olarak yazılabilir.

Burulma momenti,

$$T = JG\frac{\partial\theta}{\partial x} \tag{2.30}$$

eşitliği ile tanımlanabilir. Eş. 2.29 ile Eş. 2.30 ile beraber yazımının sonucu

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2} = \frac{G}{\rho}\frac{\partial^2\theta}{\partial x} \tag{2.31}$$

eşitliği bulunabilir.

Eşitliklerde, J: Polar atalet momenti

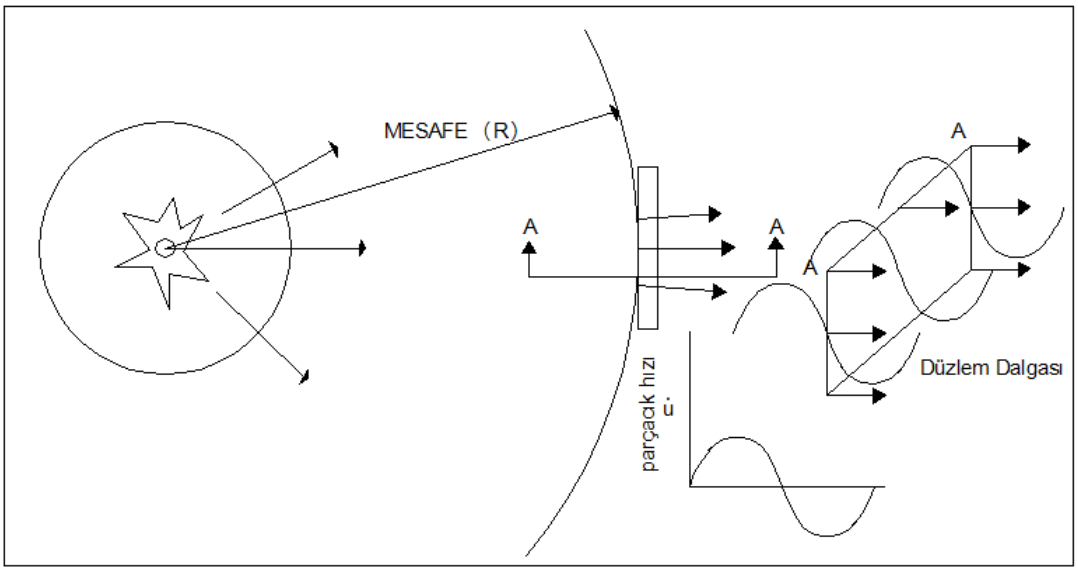
G: Kesme modülüdür.

θ : Dönme açısıdır.

2.6 Zeminlerde Dalga Yayılımı

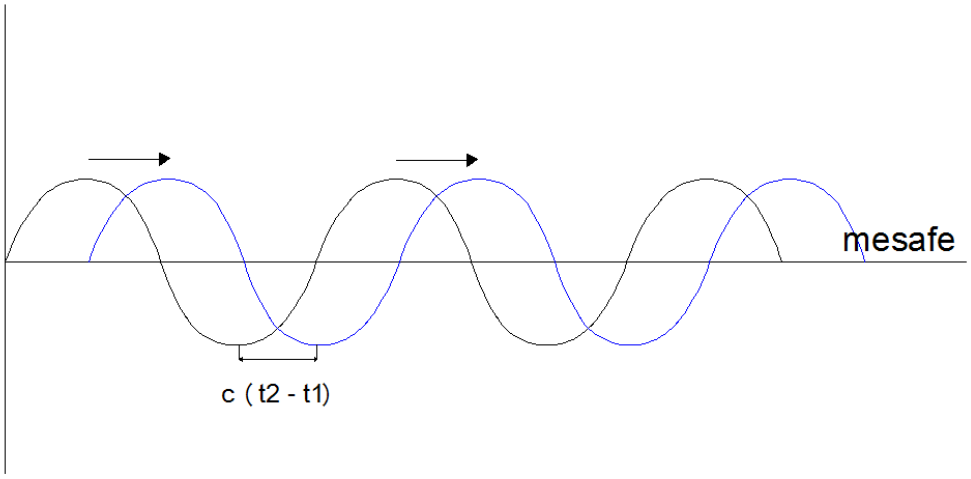
Buraya kadar anlatılan temel mukavemet bilgileriyle ilişkili olarak zeminlerde dalga yayılımının özellikleri ve parçacık hızı kavramı bu bölümde anlatılacaktır.

Parçacık hareketinin herhangi bir üst veya alt yapı ile paralellik gösterdiği uzaklıklarda oluşan dalgalar belirli bir yönde düzlemsel olarak tanımlanabilen dalgalar oluştururlar (Şekil 2.6). Bu kabul patlatma noktasından belirli uzaklıklardaki parçacık hareket vektörlerinin ölçümlerine ve aralarındaki %5'lik tolere edilebilir farklara dayanılarak geliştirilmiştir [10].



Şekil 2.6. Patlatma noktasından belirli bir uzaklıkta düzlemsel parçacık hareket vektörleri[10]

Patlatma noktasına yakın patlatma etkileri en basit şekliyle bir sinusoidal dalga olarak idealize edilebilir (Şekil 2.7). Bu boyuna dalgalar dalgaların yayılma yönüne paralel parçacık hareketleri oluşturabilirler.



Şekil 2.7. Dalga yayılımı gösterimi[10]

Bir dalgada dalganın yayılım mesafesi, yayılım zaman aralığı ($t_2 - t_1$) ve boyuna dalga yayılım hızının (c) çarpımına eşittir.

Düzlemsel bir dalganın pozitif x ekseni yönünde katetdiği mesafe,

$$u = \sin(x - ct) \tag{2.32}$$

eşitliği ile tanımlanabilir. Bu eşitlikte,

u: Dalga yayılım yönüne paralel olarak parçacık hareketi (yer değiştirme)

x: Konum

c: Boyuna dalga yayılım hızı

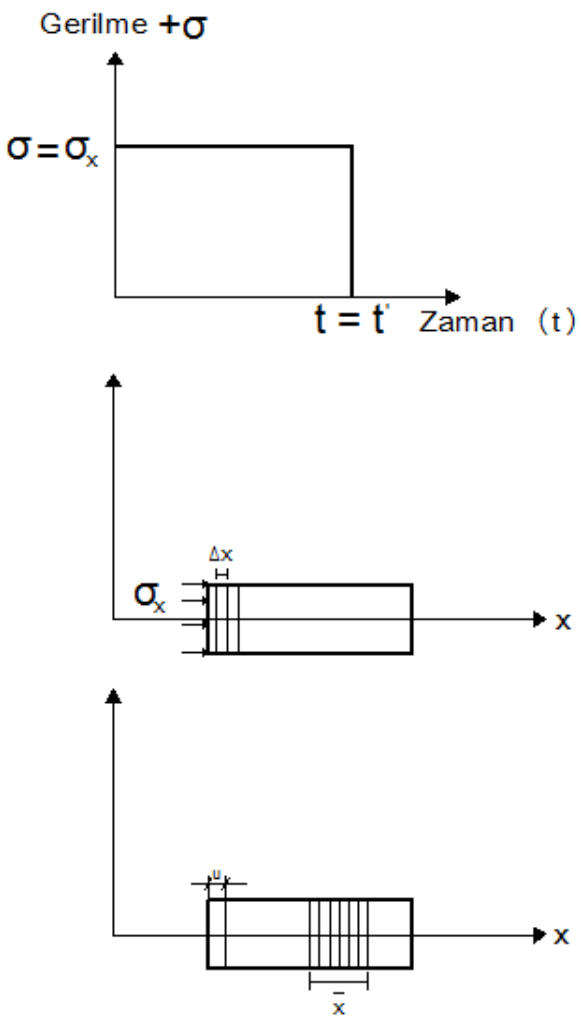
t : Zamandır.

Burada herhangi bir sabit noktadaki hareketi göz önüne alalım: Bu noktada *t*'nin sabit olduğu kabul edilirse yer değiştirme (*u*) sadece *x*'e bağlı bir fonksiyona dönüşür.

Buradan parçacık hızı ($\dot{u}$);

$$\dot{u} = \frac{du}{dt} = -c\cos(x - ct) \tag{2.33}$$

olarak tanımlanır. Burada önemli bir nokta boyuna dalga yayılım hızı ile parçacık hızının farklı kavramlar olması ve birbirleri ile ilişkisidir. Şekil 2.8'de bir basınç gerilme etkisinin (σ_x), *t'* süresine kadar etki ettirildiği düşünüldüğünde uygulanan birimde basınç etkisi yarattığı ve bu etkinin iletiminin yaşandığı görülmektedir.



Şekil 2.8. Dalga yayılım hızı ile parçacık hızı ilişkisi[10]

Δt zaman aralığında bu gerilme, $\Delta x = c\Delta t$ kadar mesafe kat eder. $t > t'$ olan herhangi bir zamanda gerilme uygulanan birimde $\bar{x}$ uzunluğunda bir sıkıştırılmış zon yaratır. Bu uzunluk ise

$$\bar{x} = ct' \tag{2.34}$$

olarak tanımlanabilir. Formüllerdeki c: boyuna dalga yayılım hızıdır. Gerilme uygulanan birimin elastik kısalımı ise,

$$u = \left(\frac{\sigma_x}{E}\right)(\bar{x})$$

yada

$$u = \left(\frac{\sigma_x}{E}\right)(ct') \tag{2.35}$$

olarak tanımlanır. Parçacık hızı ise bu elastik kısalmanın oluşum hızı olarak tanımlanabilir.

$$\dot{u} = u/t' \tag{2.36}$$

$$\dot{u} = \sigma_x c / E \tag{2.37}$$

2.7 Zeminlerdeki Birim Şekil Değiştirme ve Parçacık Hızı İlişkisi

Zeminlerde patlatma kaynaklı birim şekil değiştirmeler bir zemin parçasının belirli bir doğrultudaki birim uzaklıktaki değişim olarak tanımlanabilir. Şekil 2.8 dikkate alındığında tek yönde (x yönünde) birim şekil değiştirme aşağıdaki eşitlikteki gibi tanımlanabilir.

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} = \cos(x - ct) \tag{2.38}$$

Birim şekil değiştirmeler (ε) parçacık hızları ve dalga yayılım hızlarının fonksiyonu olarak da tanımlanabilir.

$$\dot{u} = -c\cos(x - ct) \tag{2.39}$$

$$\dot{u} = -c\varepsilon \tag{2.40}$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{u}}{-c} \tag{2.41}$$

Yukarıdaki eşitliklerden anlaşılabileceği üzere negatif birim şekil değiştirmeler ve boyuna dalga yayılım hızı, parçacık hızı yaratır. Bu durumda parçacık hızlarının basınç türü birim şekil değiştirmeler sonucu oluştuğu anlaşılabilmektedir. Yukarıdaki eşitliklerden ayrıca düzlemsel dalgaların yarattığı zemin birim şekil değiştirmelerinin direkt olarak parçacık hızları ile dalga yayılım hızları bilindiğinde hesaplanabileceği görülmektedir.

2.8 Zeminlerdeki Gerilme Artışı ve Parçacık Hızı İlişkisi

Patlatma kaynaklı dalga yayılımını dinamik gerilme boyutuyla da tanımlayabiliriz. Bu tanımlama için zemini birim uzunlukta bir prizma olarak göstermek yararlı olacaktır (Şekil 2.9).

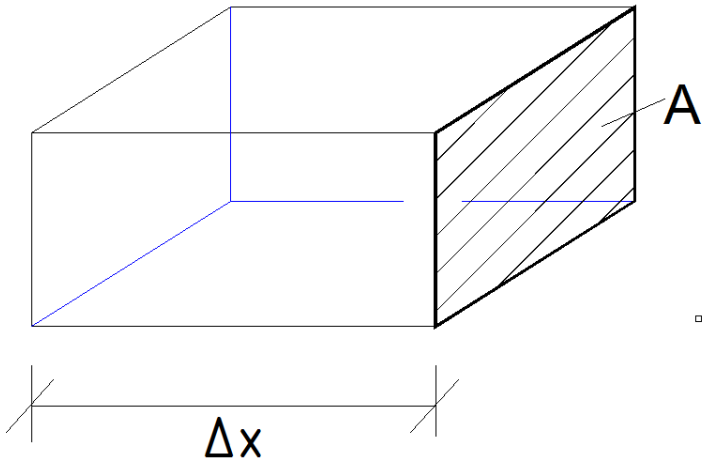
$$F = m \times \ddot{u} \tag{2.42}$$

Eşitliği genel kuvvet eşitliği olarak tanımlanabilir. Eşitlikte,

F: Kuvvet

m: Kütle

$\ddot{u}$: İvmedir.



Şekil 2.9. Birim uzunlukta zemin parçası

Eş. 2.42, birim uzunluktaki zemin parçası için Eş. 2.43'deki gibi tanımlanabilir.

$$\Delta\sigma \cdot A = (\rho \Delta x \cdot A) \cdot \frac{\Delta \dot{u}}{\Delta t} \tag{2.43}$$

Eşitlikte; $\Delta\sigma$: gerilme artışı

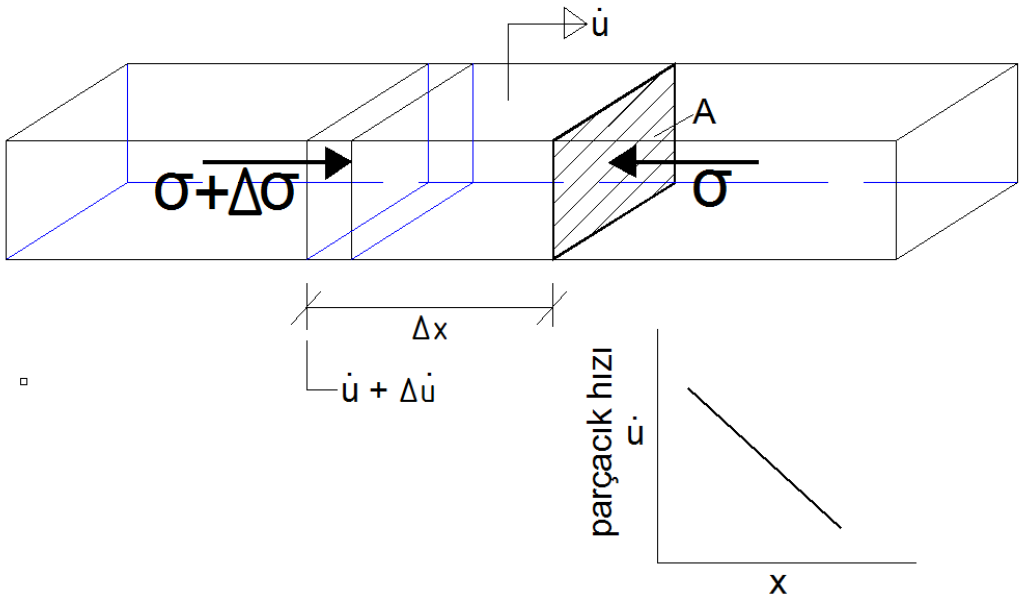
ρ: Yoğunluk (γ / g)

A: Yüzey alanıdır.

$$\Delta\sigma = \rho \frac{\Delta x}{\Delta t} \Delta \dot{u} \tag{2.44}$$

Eş. 2.44'deki $\Delta x / \Delta t$ boyuna doğrultuda basınç yaratan dalga yayılım hızı olarak tanımlanabilir. Bu durumda gerilme artışı değeri aşağıdaki eşitlikteki gibi tanımlanabilir:

$$\Delta\sigma = \rho c_c \dot{u} \tag{2.45}$$



Şekil 2.10. Birim uzaklıkta zeminde gerilme artışı ve parçacık hızı ilişkisi[10]

Şekil 2.10'da gösterilen birim zemin parçası için dalga yayılım hızı ve elastisite modülü ilişkisi aşağıdaki eşitliklerle tanımlanabilmektedir[10].

$$\Delta\sigma = \Delta\varepsilon \times E \tag{2.46}$$

Eş. 2.37 yardımı ile, bu gerilme artışı sonucu oluşan birim şekil değiştirme boyuna basınç dalgası yayılma hızı ve parçacık hızı olarak aşağıdaki eşitlikteki gibi yazılabilir.

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta\dot{u}}{c_c} \tag{2.47}$$

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta\dot{u}}{\Delta x / \Delta t} E \tag{2.48}$$

Eş. 2.48 ve Eş. 2.44 in ortak gösterimi ile

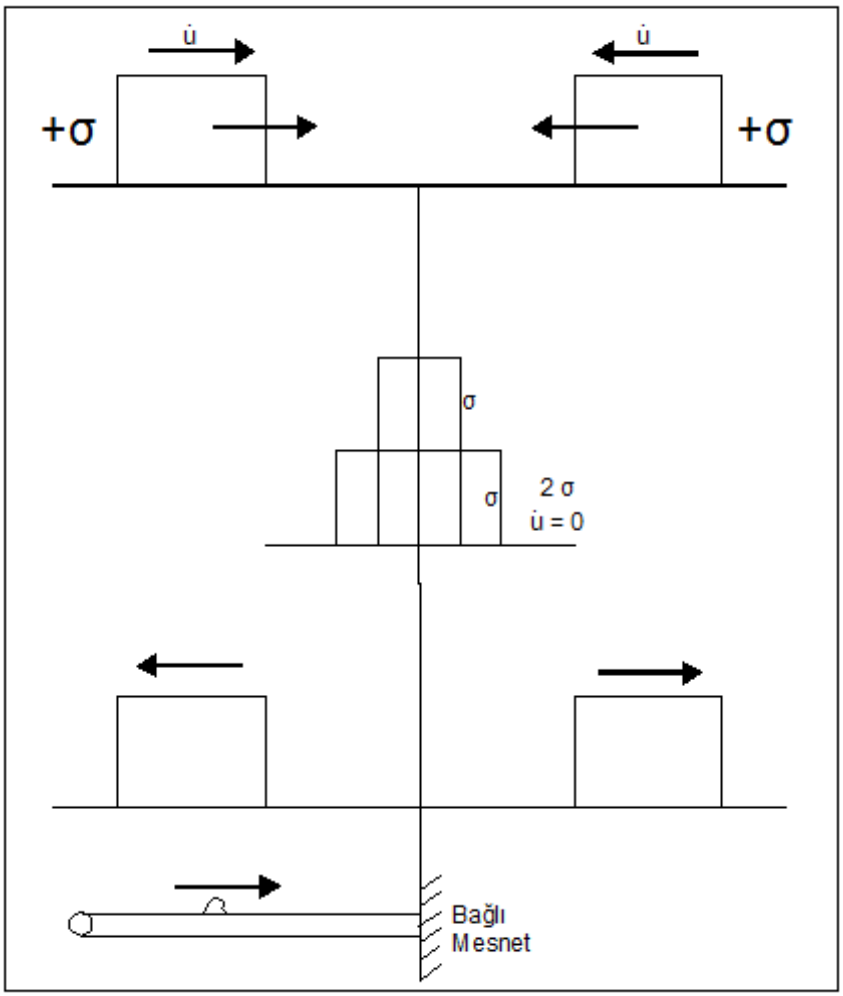
$$\Delta\sigma = \frac{\Delta\dot{u}}{\Delta x / \Delta t} E \;=\; \rho \frac{\Delta x}{\Delta t} \Delta\dot{u} \tag{2.49}$$

İlişkisi elde edilir. Buradan boyuna basınç dalgası yayılım hızı c_c

$$c_c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tag{2.50}$$

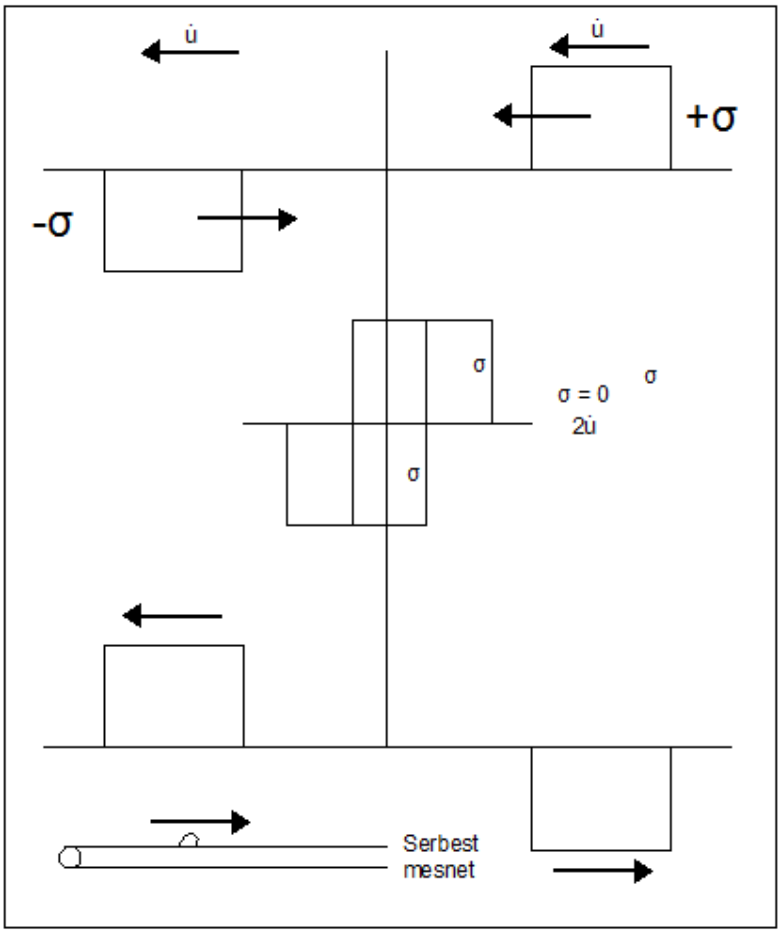
eşitliği ile gösterilebilir.

Şekil 2.11'de farklı yönlerde iki basınç gerilmesinin karşılaşması sonucu, gerilmelerin arttığını ve karşılaşma anında parçacık hızının ise 0 olduğunu görmekteyiz. Bu durum basınç etkisi yaratan bir dalganın parçacık hızının dalga hareket yönünde olmasının bir sonucudur.



Şekil 2.11. Farklı yönlerden gelen basınç gerilmelerinin karşılaşması ve parçacık hızı durumu[9].

Bu durumdan farklı olarak bir basınç ve bir çekme gerilmesinin farklı yönlerden gelerek birim zemin ortamında karşılaşması sonucu gerilme toplamının 0'a eşitlendiği ve parçacık hızlarının da iki katına çıktığı görülmektedir (Şekil 2.12). Bu durum basınç etkisi yaratan bir dalganın parçacık hızının dalga hareket yönünde olmasının ve çekme etkisi yaratan bir dalganın parçacık hızının ise dalga hareketine ters yönde olmasının bir sonucudur [9].



Şekil 2.12. Farklı yönlerden gelen basınç ve çekme gerilmelerinin karşılaşması ve parçacık hızı durumu [9]

Her iki durumda parçacık hızının negatif birim deformasyonlar yaratan (basınç) gerilmeler ile aynı yönde olduğunun gösterimidir. Parçacık hızının basınç gerilmeleri ile aynı yönde olması, bu yönde yayılan dalgaların yayılım hızlarıyla aynı yönde olmalarına, fakat çekme gerilmeleri yaratan etkiler altında dalgaların yayılım hızlarıyla farklı yönlerde olmalarına neden olur.

Burada değinilmesi gereken bir nokta ise $\Delta\sigma = \rho c_c \dot{u}$ eşitliğinde yoğunluğun ve basınç dalgası yayılım hızının homojen bir ortamda eşit olduğu kabulüyle parçacık hızının gerilme değişimleriyle doğru orantılı olarak değişim gösterdiğidir. Patlatma kaynaklı bir etki ile zemin ortamındaki gerilme artışı, özellikle patlatma noktalarına yakın mesafelerde görece yüksek parçacık hızlarının oluşmasına neden olacak,

sönümleme etkisiyle patlatma noktasından görece daha uzak noktalarda gerilme artış miktarındaki azalma ve gerilme artışının bitimi, ölçümlenen parçacık hızlarında azalmalara ve en sonunda bu değerin 0'a inmesine neden olacaktır. Bu sebepten ötürü aynı hat üzerinde ölçümlenen parçacık hızları zemin homojen ve oluşan dalgalar basit formda ve düzenli kabul edilse bile farklılık gösterecektir. Bu durum parçacık hızı ile boyuna yönde dalga yayılım hızı arasındaki en önemli farkı da tanımlamış olur. Parçacık hızı ($\dot{u}$) herhangi bir noktadaki gerilme yoğunluğuna bağlı iken, boyuna dalga yayılım hızı (c) geçtiği o noktanın malzeme özelliklerine bağlıdır.

Kesme düzlemi dalgaları yayılma yönüne dik, tek yönde parçacık hareketi yaratır. Kesme dalgalarının zeminde yarattığı birim şekil değiştirme ve gerilme de parçacık hızları ile ilişkilendirilebilir [10].

Kesme birim şekil değiştirmesi (γ),

$$\gamma = \frac{\dot{u}_s}{c_s} \tag{2.51}$$

olarak tanımlanabilir. Eşitlikte;

$\dot{u}_s$: Kesme dalgası parçacık hızı

c_s: Kesme dalgası yayılım hızıdır.

Kesme gerilmesi ise

$$\tau = \rho c_s \dot{u}_s \tag{2.52}$$

olarak gösterilebilir.

Dalgaların yayılım sırasında çarpışması da ölçülen parçacık hızlarının değişmesi açısından oldukça önemlidir. Bu durum patlatma noktasına aynı uzaklıkta bulunan

farklı iki noktadan ölçülen parçacık hızlarının farklılık göstermesinin sebeplerindendir [10].

2.9 Sismik Dalga Türleri

Patlatma sonrası oluşan yer sarsıntıları karmaşık ve farklı türde sismik dalgalar bütünü olarak tanımlanabilir. Patlatma kaynaklı yer sarsıntıları depremsel dalgalar gibi zemin içinde hareket ederler. Her iki yer sarsıntısını birbirinden ayıran iki temel özellik, patlatma kaynaklı titreşimlerin frekansının deprem kaynaklı oluşan frekanslardan daha büyük olması ve patlatma kaynaklı titreşimlerin deprem ile karşılaştırıldığında daha az enerji taşımasıdır [11].

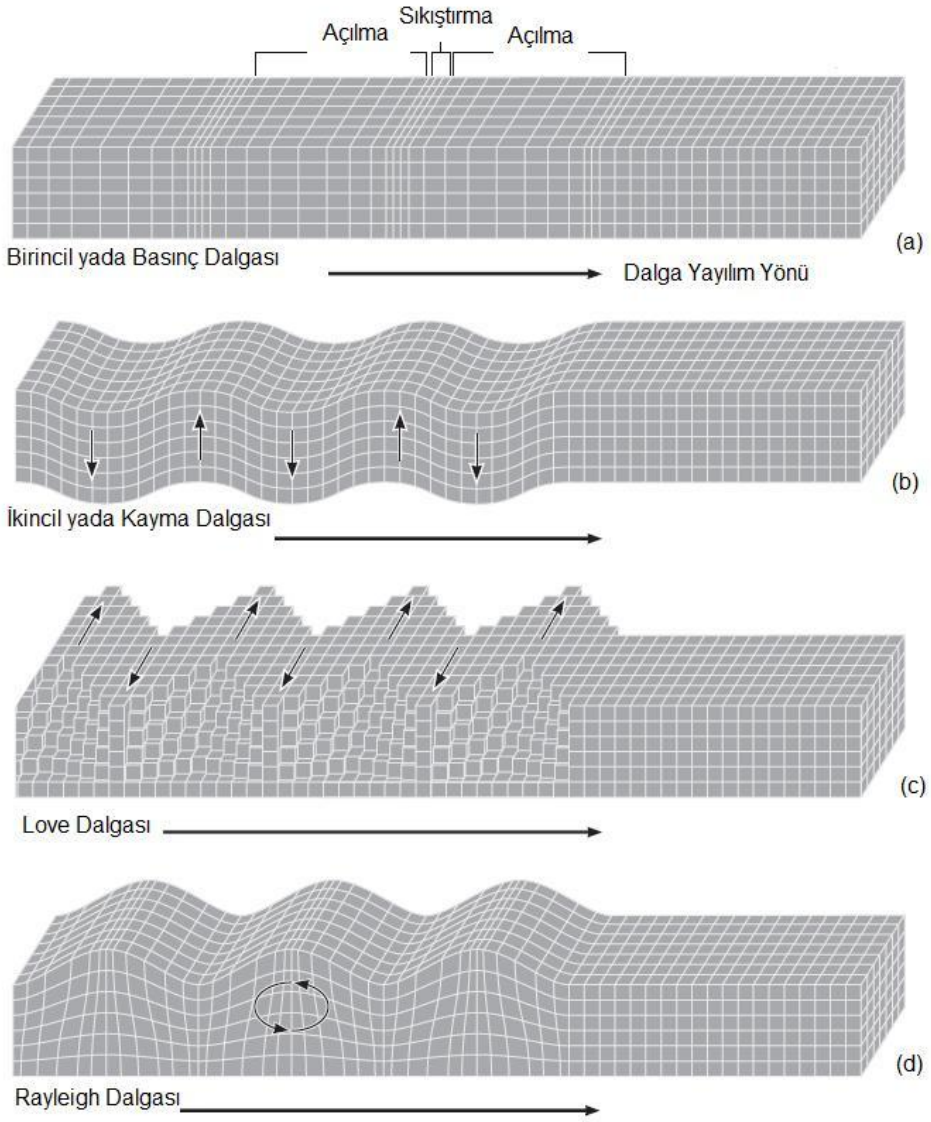
Dalgalar patlatma noktasından hızlı bir şekilde çevre birimlere yayılırlar. Yayılan sismik dalgalar farklı hızlarda hareket ettikleri için karmaşık hareketler meydana getirebilirler ve birbirlerini etkileyebilirler. Bu sebeplerden ötürü değişik ölçüm noktalarında üç yöndeki bileşenlerine (enine, boyuna ve düşey) göre ayrı ayrı tanımlanmaları gerekmektedir [1].

Patlatma sonrası oluşan sismik dalgalar deprem kaynaklı sismik dalgalar ile benzerlik göstermektedir. Bu dalgalar genel olarak iki grupta sınıflandırılabilir: Cisim (gövde) dalgaları ve yüzey dalgaları.

Cisim dalgası türlerinden P dalgası birincil veya basınç dalgası olarak isimlendirilir. Bu dalga, basınç ve genleşme meydana getirerek yayılma yönündeki zemin parçacıkları içinde hareket eder (Şekil 2.13). İçinden geçtiği doğal malzemenin katı ve sıvı ortamlarda sıkıştırılması ve genişletilmesine (açılma) neden olan bu dalgalar en hızlı yayılan ve saha içerisinde ölçüm istasyonuna en hızlı ulaşan dalgalardır [12].

S dalgaları ikincil tür gövde dalgalarıdır. Bu dalgalar kayma dalgası yâda enine dalga olarak ta isimlendirilebilir. S dalgaları içinden geçtiği birimlerde makaslama deformasyonuna neden olur (Şekil 2.13). Zeminlerin kayma dirençlerinin sıkışma –

genleşme dirençlerinden zayıf olması nedeni ile S dalgaları zemin ortamı içerisinde P dalgasından daha yavaş yayılmaktadır [12].



Şekil 2.13. Sismik dalga türleri[13]

P ve S dalgalarının yayılım hızı (sismik hız) zeminin elastik özelliklerine bağlıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

$$c_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)(1+\nu)}} \tag{2.53}$$

$$c_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \tag{2.54}$$

Bu eşitliklerde, ρ : Zemin birimlerinin özgül ağırlığı

υ : Poisson oranı

E: Elastisite (Young) modülü

c_p ve c_s sırasıyla P ve S dalgaları yayılım hızlarıdır.

Yüzey dalgaları yapay patlatma kaynaklı olarak gözlemlenebilen sismik dalga türleridir. Yüzey dalgalarının iki önemli türü Rayleigh (R) dalgaları ve Love (Q) dalgalarıdır.

R dalgası derinlikle birlikte hızlı bir şekilde sönümlenen yüzey dalgasıdır. P ve S dalgalarından daha yavaş yayılan bu dalga türünde zemin parçacıkları, dalga yayılma yönü ile aynı yönde ve düşey düzlemde eliptik olarak hareket eder (Şekil 2.13). Love dalgaları R dalgalarından daha hızlı olmakla birlikte dalga yayılım yönüne çapraz bir parçacık hareketi söz konusudur.

2.10. Sönümleme

Sönüm titreşim yapan sistemlerin harekete karşı koyan sürtünmeler, plastik şekil değiştirmeler gibi nedenlerden ötürü sürekli enerji kaybına uğramaları olarak tanımlanabilir. Enerji kaybının yoğunluğu malzemenin karakter ve davranış şekline göre değişmektedir. Kaybedilen enerji sisteme etkiyen yükler tarafından yeniden kazandırılmazsa titreşim zaman içinde sönümlenir [14].

Bir patlatma sonucu meydana gelen sismik dalgaların yayılım enerjisinin şiddeti dalgaların zemin ortamı içinde çok büyük hacimlere kadar ulaştığında azalmaktadır. Dalgaların küresel şekilde yayıldığı varsayılırsa artan uzaklıkla beraber alanda

artmakta, dolayısıyla dalga enerjisi genişleyen alanla ters orantılı olarak azalmaktadır. Bu durum enerjinin geometrik sönümlenmesi olarak tanımlanabilir [1]. Zemin – kayaç ortamlarındaki sönümlemenin ikinci sebebi ise zemin – kayaç yapısının gösterdiği atalet momenti ve sürtünmedir. Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının karmaşık yapıda dalgalardan meydana geldiği de göz önünde tutulursa, her tür dalga için farklı bir sönümleme faktörünün dikkate alınması gerekmektedir. Dalgaların yayıldığı ortamın homojen, elastik ve izotropik olduğu varsayılırsa sismik enerjinin şiddeti geometrik sönümlemeden dolayı düşer ve bu düşüş her dalga türü için ayrı bir katsayı ile tanımlanabilir [1]. Sonsuz bir ortamda hareket eden cisim (gövde) dalgaları için sönümleme katsayısı:

$$1/D \tag{2.55}$$

olarak tanımlanabilir. Bu katsayı Rayleigh dalgaları için Eş. 2.56'da gösterildiği gibidir.

$$\frac{1}{\sqrt{D^2}} \tag{2.56}$$

Serbest yüzeye doğru hareket eden gövde dalgaları için ise,

$$1/D^2 \tag{2.57}$$

eşitliği ile tanımlanabilir. Eşitliklerde D, patlatma noktasından olan mesafe (m) olarak tanımlanabilir.

Bununla birlikte sönümleme etkilerinin bulunması açısından ilgili zemin yapısına ait genel bir sönümleme katsayısı bulunması pratik olabilmektedir. Yapılan ölçümler sonucu bir zemin – kayaç yapısı içerisinde sönümleme;

$$I = I_0 \times R^{-n} \tag{2.58}$$

olarak tanımlanabilir. Eşitlikte,
R: patlatma noktasına olan mesafe
I: R uzaklığındaki dalga parametresi
n: sönümleme katsayısıdır.

Bir patlatma noktasından uzaklaştıkça patlatma kaynaklı dalga yayılımındaki düzenleşmenin ve zeminde ölçümlenen parçacık hareketlerinin paralelliğinin arttığı görülmektedir [10].

2.11 Patlatma Kaynaklı Oluşan Yer Titreşimlerinin Değerlendirilmesi

Zemin – kayaç ortamlardaki yer sarsıntılarının belirlenmesi için önemli iki parametre, kullanılan patlayıcı miktarı (W) ve patlatma noktasına olan mesafe (R) dir. Deneme patlatmalarına dayalı pek çok araştırma yer sarsıntılarının herhangi bir bileşeninin en büyük parçacık hızının (PPV), patlatılan madde miktarı (W) ve patlatma noktasından olan mesafe (R) ile ilişkili olduğunu göstermiştir [15].

Ölçekli mesafe (SD) bir seferde patlatılan patlayıcı madde miktarının ve patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin etkilerinin birleştirilmiş gösterimidir. Birimi m/kg$^{1/2}$ dir.

$$SD = \frac{R}{\sqrt{W}} \tag{2.59}$$

Bu ilişki silindirik patlayıcı (şarj) durumlarında kullanılmakta olup, silindirik olmayan (küresel) patlayıcı (şarj) kullanımında ilişkinin

$$SD = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \tag{2.60}$$

olarak kullanılmış olduğu görülmektedir. Ancak kareköklü miktar içeren ölçekli mesafenin küp köklü miktar içeren ölçekli mesafeye göre günümüzde daha yaygın kullanıldığı görülmektedir [16].

Ölçekli mesafenin kullanıldığı maksimum parçacık hızı ile ilgili deneysel verilere dayalı formül arazide titreşim ölçer cihazlardan elde edilen verilerle oluşturulur [4]. Maksimum parçacık hızı, miktar ve mesafe arasındaki bu ilişki aşağıdaki gibi gösterilebilir [28].

$$PPV = K \times (SD)^{-\beta} \tag{2.61}$$

Eş. 2.61'de ölçekli mesafe değeri için kareköklü miktar eşitliği (Eş. 2.59) kullanıldığında,

$$PPV = K \times \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} \tag{2.62}$$

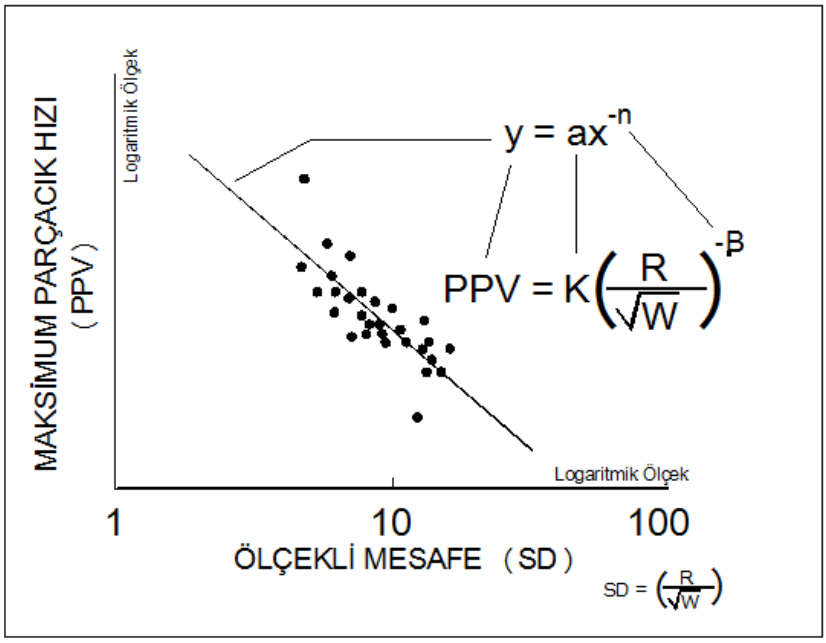
Eşitliği elde edilir. Burada K: Sarsıntı İletim Katsayısı (zemin yapısına bağlı) ve β , zemin ya da kayaç sönümleme sabiti olarak tanımlanmaktadır. Eş. 2.62'de zemine ait karakteristik saha sabitleri K ve β arazide maksimum parçacık hızı azalımının oransal gösterimleridir. Eş. 2.62'de her iki tarafın logaritmasının alınması ile,

$$\log PPV = \log K - \beta \log \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right) \tag{2.63}$$

ifadesine dönüşüm bizlere koordinat sisteminde doğrusal bir eşitlik sunar.

$\log(y) = \log a - b \log(x)$ biçiminde sadeleştirilebilen bu eşitlik logaritması alınan maksimum parçacık hızı (PPV) ve logaritması alınan ölçekli mesafenin (SD) lineer eksenli bir koordinat sisteminde çizilmesi ile elde edilir. Eşitlik 2.62 maksimum

parçacık hızı (PPV) ve ölçekli mesafe değerlerinin (SD) doğrudan logaritmik eksenli bir koordinat sistemine yansıtılması ile $y = ax^{-b}$ biçiminde de doğrusal olarak gösterilebilir. Bu gösterimde K değeri logaritmik y eksenini (PPV ekseni) kesen değer, β değeri ise çizilen doğrunun eğimini vermektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Logaritmik eksende parçacık hızı – ölçekli mesafe ilişkisi

2.12. Titreşim Karakteristiklerini Etkileyen Parametreler

Titreşim karakteristiklerini etkileyen parametreler patlatma sonuçlarını etkileyen parametrelerle hemen hemen aynıdır. Kontrol edilebilir ve kontrol edilemez parametreler olarak iki grupta sınıflandırılabilir.

Kontrol edilebilen parametrelerden madencilikte gecikme başına şarj miktarı olarak tanımlanabilen bir seferde patlatılan patlayıcı madde miktarı, titreşim oluşumunu etkileyen en önemli faktördür. Bu pozitif yöndeki ilişki $V \alpha W^a$ olarak tanımlanabilir. Amerikan Madencilik Bürosu (USBM) tarafından yapılan araştırmalarda (a) değerinin yaklaşık 0,8 olduğu görülmüştür [1].

Patlatma noktasından olan mesafe (R) titreşimlerin büyüklüğü üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu durum mesafenin artışıyla titreşimlerin sönümlenmesi arasında pozitif bir ilişki olması olarak tanımlanabilir. Mesafe ile titreşim (parçacık) hızı arasındaki ilişki;

$$V\alpha \frac{1}{D^b} \tag{2.63}$$

buradaki (b) değeri USBM tarafından yapılan araştırmalarda 1,6 civarındadır [17].

Mesafenin diğer bir etkisi, yüksek frekanslı dalga bileşenlerinin sönümlenmesinden dolayıdır. Zemin düşük frekansları geçiren bir filtre gibi hareket eder. Böylece uzak mesafelerde yer sarsıntıları düşük frekans oranlarında daha fazla enerjiye sahip olurlar.

2.13. Frekansın Önemi

Uzun yıllar yer sarsıntılarının verdiği hasarların tahminine yönelik çalışmalarda çoğunlukla parçacık hızı kavramının irdelendiği görülmüştür. Patlatmalarda parçacık hızının sınırlı seviyelerde olmasına rağmen binalarda rahatsız edici derecelerde titreşimlerin olması, frekansın patlatma patlatmalardaki önemini ortaya koymuştur [18].

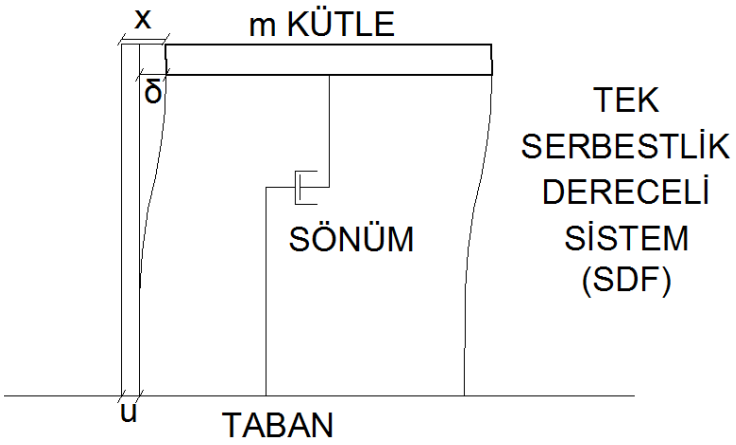
Yer titreşimlerinin frekans özelliği iki unsurdan etkilenmektedir. Bunlar zemin yapısı ve madencilikte patlatma tasarımında gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığı olarak tanımlanabilen birbiri ardına patlatılan patlayıcı maddelerin patlatma aralığıdır [1,10].

Yüksek frekanslı titreşimler zemin tarafından görece daha çabuk sönümlendiği için, kısa mesafelerde genliklerini hızla yitirirler. Yüzey dalgalarının tipik özelliği olan dispersiyon (sismik dalga hızlarının frekansa bağlı olması) dalga biçiminin katedilen mesafe ile hızla değişmesine neden olmaktadır [19].

Yer titreşimlerinin yarattığı rahatsızlıkların çoğunda parçacık hızının konut türü yapılarda önerilen eşik seviyesi olan 12,5 mm/sn değerinin çok altında olduğu ve hiçbir hasarın meydana gelmediği durumlarda dahi ciddi titreşim hissedildiği yönündeki his ve endişeler düşük frekans özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Düşük frekanslı dalgalar insanlar tarafından kolayca hissedilebilmektedir. Araştırmalar insanların patlatma faaliyetlerine karşı 5-25 Hz frekanslı yapısal titreşimleri hissedebildiğini göstermektedir [20]. Frekanslar üzerine araştırmalarda 10 Hz değeri altında olan frekansların zeminde büyük yer değişimleri ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı ve hasar olasılığını arttırdığı görülmüştür [1].

Yapılar için dinamik dış yüklemelerden büyük zorlanmaları yaratacak kritik durum, zorlanma frekansının sistem frekansına yaklaşması durumudur. Yapılar için dış yük kaynaklı bir zorlanma frekansı kabul edilebilecek patlatma kaynaklı titreşim frekansının sistem frekansıyla örtüşmesi haline rezonans denir. Rezonans pratikte çok dikkat edilmesi gereken dinamik bir etkidir. Eğer karşılaşılacak dış etkilerin frekansı öngörülebilirse tasarım aşamasında sistemin kütle büyüklüğü ve rijitliği ayarlanarak frekansı değiştirilip, sistemin olası rezonanstan mümkün olduğunca uzaklaştırılması sağlanabilir [14].

Patlatma kaynaklı titreşim frekansının yapılarda hasara neden olması basit olarak tek serbestlik dereceli bir yapı sisteminde (Şekil 2.15) açıklanabilir. Taban üzerine tek bir kütle olarak basitleştirilebilen bu sistemin sönüm özelliği mevcuttur.



Şekil 2.15. Tek serbestlik dereceli yapı sistemi [10]

Şekil 2.15'de belirtilen δ rölatif yer değiştirmedir. Bu rölatif hareketler yapılarda çatlak olumuna neden olan yapısal birim şekil değiştirmeler olarak tanımlanabilir. Sistemin genliğindeki azalmada sistemin sönümleme özelliği ile orantısal olarak gerçekleşmektedir. Sistemdeki yüksek sönümleme hızlı salınım kayıplarına yol açar. Bir salınım için geçen zaman "T" sistemin doğal periyodu olarak tanımlanır. Bu değer doğal frekansın tersidir(1/f).

Eğer zemin yapısında yol alan sismik dalgaların frekansı binanın doğal frekansından yüksek ise binaların teorik olarak patlatma kaynaklı titreşimlerden fazla etkilenmeyeceği, frekansların birbirine yakın ve özellikle zemin frekansının yapı frekansından düşük olması durumlarında binaların hasar yönünden olumsuz etkilendiği anlaşılmıştır. Hatta bazı frekans uyumlarında binalar rezonansa girmekte ve olması gerekenden çok daha yüksek parçacık hızı değerleri ile sarsılmaktadır.

Sistemde doğal frekansın patlatma kaynaklı titreşim frekansı ile benzerlik gösterdiği durumlarda zemin kaynaklı taban yer değiştirmesinin (u) yavaş olarak gerçekleşmesi sonucu rezonans olayı oluşmaktadır. Bu durum genellikle düşük frekanslı patlatma kaynaklı titreşimin yapılarla etkileşimi sonucu oluşmaktadır [10].

u mesafesinin yapı için ne kadar hızlı hareket ettiğinin ölçütü zeminin parçacık hızına eşdeğerdir. Burada tekrar incelendiğinde hızlı harekette daha az gerilme ve

birim şekil değiştirme oluşmakta ve yavaş harekette ise çatlak potansiyeli yaratan bu gerilme ve birim şekil değiştirmeler artmaktadır. Az gerilme ve birim şekil değiştirme oluşumu tamamen patlatma kaynaklı titreşim frekansının yapının doğal frekansından büyük olması ile ilişkilidir. Burada değinilmesi gereken bir başka nokta ise yapılarda oluşacak hasarın yapılardan geçen patlatma kaynaklı titreşimlere yapıların verdiği tepki ile ilişkili olmasıdır.

Yapıların titreşimlere vermiş olduğu tepkiler Deprem Mühendisliği'nin temel konularındandır.

Patlatmalardaki en kritik durum zemindeki patlatma kaynaklı dalga frekansının bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen doğal frekanslarına eşit olduğu durumlarda meydana gelir. Yapıda rezonans meydana geldiği durumlarda parçacık hızları sınır değerlerin altında ise yapıda hasar oluşmaz. Eğer yapı rezonans halindeyken parçacık hızının da yeterli büyüklükte olması durumunda yapıda hasar oluşumu söz konusudur [4].

Araştırmalar sığ derinliklerde yapılan patlatmaların daha düşük frekanslı ve daha büyük genlikli yüzey dalgaları ürettiğini göstermiştir. Bu özelliklere sahip dalgalar çok daha uzak mesafelere ulaşabilmekte ve yarattıkları titreşim etkileri daha uzun süreli olabilmektedir. Düşük frekanslı bu titreşimlere ait dalga boyları uzun olduğu için gerek zemini gerekse yapıları çok daha kolay rezonansa götürebilmekte ve hasar olasılığını arttırabilmektedir [19]. Bu tür patlatmaların yaratmış olduğu düşük frekanslara karşı eğer alanda patlatma faaliyetleri kaçınılmazsa bu bölgede yeni yapılacak binaların doğal frekanslarının bu frekans oluşumlarına uygun olarak projelendirilmesi gerekmektedir. Unutulmamalıdır ki patlatma alanına çok yakın inşa edilecek yapıların patlatma kaynaklı titreşimlerin yanı sıra hava şoku gürültü vb. dış etkiler de düşünülerek tasarlanması büyük önem arz etmektedir.

Patlatma noktasından ölçüm noktasına kadar olan zemin - kayaç yapısının katkısı ile temel olarak cisim(gövde) dalgaları ve yüzey dalgaları olarak sınıflandırılabilen ve detayları daha önceki bölümlerde verilen dalga formlarının oluştukları bilinmektedir.

Bu dalgaların ortak birleşimlerini ölçen cihazlardan alınan tek bir parçacık hızı ve tek bir frekanstan bahsetmek yanıltıcı olabilmektedir. Ölçüm cihazları, frekansları "1/2 periyot yöntemi" ve 1/4 periyot yöntemi" olarak sınıflandırılan iki farklı ölçüm yönteminden birine göre bulabilirler. Bu iki tür frekans hesaplama yönteminde de dalga formu sinusoidal (basit) olarak kabul edilmektedir.

1/4 periyot yönteminde sıfır ile tepe noktası arasındaki süre ele alınıp, 4 ile çarpılarak periyot bulunmakta ve f = 1/T eşitliği ile frekans hesaplanabilmektedir. 1/2 periyot yönteminde ise sıfır ile ilk sıfır kesişmesi arasındaki süre alınmakta ve 2 ile çarpılarak toplam periyot ve frekans hesaplanabilmektedir. Bu yöntem "sıfırdan geçme yöntemi" (zero crossing) olarak da adlandırılabilir [21]. İki farklı hesap yöntemi arasındaki ilişki dalga formunun simetrik yani basit sinusoidal biçimde olması durumunda benzerlik göstermekle birlikte, asimetrik dalga formlarında hesaplarda farklılıklar görülebilmektedir [22,23].

Frekans verilerinin hesaplara doğru yansıtılması için dalga formuna ait "frekans spektrumu" nu elde etmek gerekmekte, böylece ölçümlenmiş dalga formunun hangi frekans bantlarını taşıdığı, bantların hangi maksimum parçacık hızını verdiği anlaşılabilmektedir. Günümüzde bu teknik Fast Fourier Technique (FFT) olarak isimlendirilmekte ve pek çok analiz programı tarafından kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Fourier serisi matematiksel olarak harmonik zorlamalar etkisinde hareketin hesaplanabilmesi ve süper pozisyon ilkesi belirli bir periyodik zorlama altında titreşimlerin hesaplanabilmesine olanak sağlar. Bu yaklaşımın dayandığı temel, periyodik bir fonksiyonun, ne kadar karmaşık olursa olsun birçok ve gerekirse sonsuz sayıda harmonik fonksiyonun bileşimi olarak gösterilebilmesidir [14].

2.14 Patlatma Kaynaklı Hasar Kavramının Tanımı

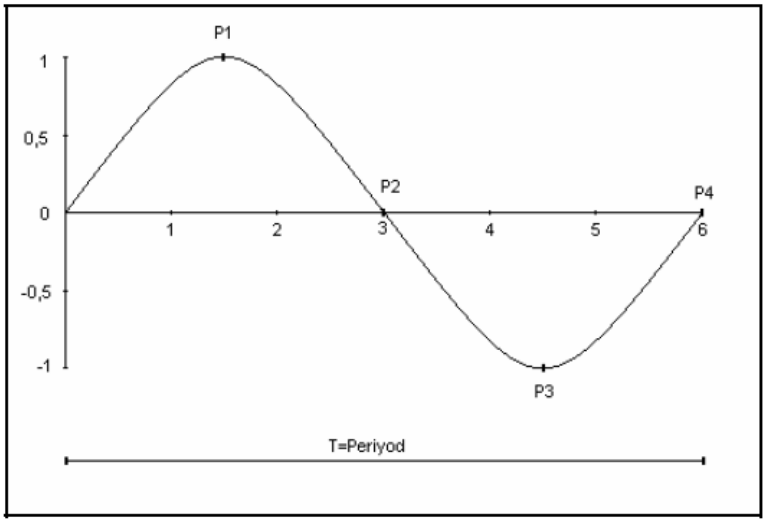
Patlatmalarda hasara neden olan etkenler Ladegaard – Pederson ve Dally tarafından 4 tip olarak tanımlanmıştır [24]. Bunlar:

- Zemin ya da kaya ortamdaki yer sarsıntılarından kaynaklanan yapısal hasarlar,
- Patlatma sahasından çıkan- fırlayan doğal malzemelerin oluşturduğu hasarlar,
- Hava Şokunun neden olduğu hasarlar,
- Gürültü kaynaklı hasarlardır.

Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yersarsıntısı olarak kabul edilmektedir. Bu durum doğal madde fırlaması ve hava şoku gibi etkilerin patlatma noktasına yakın bölgelerde etkin olabilmesi ve yer sarsıntısının ise çok uzaklarda titreşim etkileri yaratıp etkili olabilmesinin bir sonucudur [1].

Bir kaya ya da zemin ortamında patlatma yapıldığı zaman patlatma noktasında ve komşu zonda kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Patlatma etkisi çevreye yayıldıkça enerjisini kaybeder ve kısa süre sonra zemin içerisinde sadece elastik deformasyonlara yol açabilir. Söz konusu elastik deformasyonlar da zemin yapısının fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak sönümlenir. Burada patlatma noktasına yakın bölgelerde yüksek deformasyon genlikleri ve yapısal hasar meydana gelmesi görülmektedir.

Elastik deformasyonları daha önce dalga özellikleri başlığı altında incelemiş olduğumuz gibi basit bir sinüsoidal dalga formunda kabul edersek (Şekil 2.16) zemin yapısının herhangi bir noktasının 0 noktasından P1 noktasına gelmesi yer değiştirme (mm); P1 noktasına geliş hızı, parçacık hızı (mm/sn) olarak tanımlanabilir. P1 noktasına geliş ivmesi parçacık ivmesi (mm/sn^2) olarak tanımlanabilir. 0 noktası ile P4 noktası arasındaki uzaklık zaman göstergesinde devir (sn) olarak tanımlanır. 1/devir, frekans (Hz) olarak tanımlanır. 0 noktası ile P4 noktası arasındaki mesafe, uzaklık gösteriminde dalga boyu (m) olarak tanımlanır.



Şekil 2.16. Elastik deformasyon yapısı [1]

Binalara verilen titreşim kaynaklı hasar doğrudan, yukarıda tanımını verdiğimiz elemanların büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Burada önemli bir nokta hatırlanmalıdır. Bu hasara neden olan hareketlerin zemin yapısı içerisinde yol alan elastik deformasyonlar ile değil, binaların bu deformasyonlara gösterdiği reaksiyon ile oluştuğudur.

Elastik deformasyonlara her bina konumuna, yapım tekniğine, kaç katlı olduğuna bağlı olarak değişik reaksiyonlar göstermektedir. Bu reaksiyonlar teorik olarak hesaplanabileceği gibi, değişik ölçüm cihazlarıyla doğrudan ölçülebilmektedir.

Batılı ülkelerde yapı temellerine veya yapıların oturduğu zemin – kayaç ortamlara titreşim ölçerlerin yerleştirilmesi ve yapılan çok sayıda ölçümlerden sonra istatistiksel olarak yapılara zarar vermeyecek limit değerler saptanmış ve standartlaştırılmıştır.

Başlangıçta standartlara yönelik olarak yer değiştirme miktarları ele alınmış olsa da sonraları zaman parametresinin de önemli olduğu anlaşılmış ve parçacık hızına dayalı standartlar geliştirilmiştir. Duvall ve Fogelson [25] araştırmaları parçacık hızının diğer parametrelere göre hasar standartları açısından daha iyi sonuçlar

verdiğini göstermiştir. Ülkelere göre farklılık gösteren parçacık hızı limitleri, bu parçacık hızlarında yapılarda taşıyıcı sistemi etkilemeyecek boyutta hasar meydana getirdiği öngörülerek belirlenmiştir. Geçen zaman içinde, limit değerlerin altında kalınmasına karşın bazı hasarların gözlemlenmesi üzerine frekans kavramı ön plana çıkmıştır.

2.15 Patlatma Kaynaklı Yer Titreşimlerinin Tahminine Yönelik Çalışmalar

Patlatma Kaynaklı titreşimlerin tahminine yönelik birçok kişi ve kuruluş çeşitli araştırmalar yapmıştır. Tezin bu bölümünde bu çalışmalar kronolojik olarak incelenecektir.

Patlatma kaynaklı yersarsıntıları ve belirli bir noktada oluşan titreşimlerin önceden tahminine yönelik 1950'li yıllardan itibaren pek çok eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitlikler maksimum parçacık hızı (PPV) ve ölçekli mesafe ilişkisini temel almış olup, bazı eşitliklerde ise bu temel ilişki yanında patlatma tasarımı ve patlayıcı madde geometride esas alınmıştır.

İlk patlatma kaynaklı titreşim ölçüm denklemi maksimum parçacık yer değiştirme (mm) verisini esas alan Morris [26] tarafından 1950 yılında önerilen eşitliktir.

$$A = K\frac{\sqrt{Q}}{D} \tag{2.64}$$

Bu eşitlikte
A: Maksimum parçacık yer değiştirme miktarı (mm)
Q: Patlayıcı madde(Şarj) miktarı
D: Patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe (m)
K: Kayaç türüne özgü sabittir.

Langefors ve Kilhsröm [27], ölçekli mesafe kavramını ele almış ve değişken patlayıcı madde miktarları için,

$$SD = W / R^{3/2} \tag{2.65}$$

ve maksimum parçacık hızının tahmini için:

$$PPV = K\left[\frac{W}{R^{3/2}}\right]^{-\beta} \tag{2.66}$$

eşitliğini önermişlerdir. Bu eşitlik Blair ve Duvall(1954) ve Duvall ve Petkof(1959) tarafından küresel patlayıcı madde (şarj) olduğu durumlar için aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

$$PPV = K\left[\frac{R}{W^{1/3}}\right]^{-\beta} \tag{2.67}$$

Bu eşitliklerde ;
PPV: Maksimum parçacık hızı
R: Patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki mesafe
K ve β ise sahaya özgü sabitlerdir.

Silindirik şarj durumlarında ise Nicholls ve arkadaşları [28], Siskind ve arkadaşları [29], mesafenin bir seferde patlatılan patlayıcı madde miktarının kareköküne bölünmesi ile bulunabileceğini belirtmişlerdir. Bu düşünce üzerinden şekillenen yayılım ilişkisini gösteren eşitlik,

$$PPV = K\left[\frac{R}{W^{1/2}}\right]^{-\beta} \tag{2.68}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu formül çoğu araştırmacı, patlayıcı üreticileri ve kullanıcı birimler tarafından en yaygın kullanılan maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkisi olmuştur [1].

Bununla birlikte Atewel ve arkadaşları, Holmberg ve Persson ve Shoop ve Daemen [17] ölçekli mesafe fikrinden bağımsız bir yayılım ilişkisi eşitliği kullanmışlardır.

$$PPV = K \times W^{a} \times D^{b} \tag{2.69}$$

Burada K, a ve b katsayıları çoklu regresyon analizi vasıtasıyla belirli bir alan için bulunabilen deneysel sabitlerdir.

Bu çalışmalar dışında madencilik sektörü ve kullanılan yöntemlere yönelik (örneğin elastik olmayan sönümleme ve patlatma tasarımındaki dilim kalınlığı vb.) pek çok eşitlik gene maksimum parçacık hızı (PPV) ve ölçekli mesafe kavramını temel alarak geliştirilmiştir. Bu eşitliklerden Bilgin ve arkadaşlarının [30] Türkiye Kömür İşletmeleri Çan Linyitleri İşletmesinde patlatmaların yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi amacıyla yapmış oldukları çalışmalarla aşağıda gösterilen eşitliği önermişlerdir.

$$PPV = K\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{\alpha} \times B^{\beta} \tag{2.70}$$

Bu eşitlikte
PPV: Maksimum parçacık hızı (mm/sn)
B: Dilim kalınlığı (m)
D: Patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe (m)
W: Gecikme başına maksimum patlayıcı miktarı (kg)
K, β ve α : Saha sabitleridir.

2.16. Patlatma Kaynaklı Yapısal Hasar Kriterleri

Patlatmaların meydana getirdiği hasarların sınır değerleri her ülkenin yapı stoğu, yapım teknikleri, ülkenin jeolojik ve tektonik yapısı ve patlatma faaliyetlerinin

özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bu durum pek çok hasar kriteri oluşmasına neden olmuştur [31].

Patlatma kaynaklı yer titreşimleri ve titreşimlerin yapılar üzerindeki etkileri hakkında ilk incelemelerden bir kısmını E.H. Rockwell [32] yapmıştır. Patlayıcı madde miktarı ve patlatma noktasından uzaklığın bir fonksiyonu olarak titreşimlerin büyüklüğünü belirlemek için patlatma kaynaklı titreşimlerin ölçülmesi gerektiğini vurgulamıştır. Rockwell patlatma sonucu meydana gelen titreşim enerjisinin,

$$f^2 \times A^2 \tag{2.71}$$

eşitliği ile orantılı olduğunu belirtmiştir [11]. Eşitlikte *f*: frekans ve *A*: genliktir.

Yapılar için hasar ölçütü fikirlerinin de geliştirildiği bu modelde daha sonraları 0,08 cm den daha az bir yer değiştirme miktarının emniyetli olarak dikkate alınabileceği belirtilmiştir [15].

Amerikan Madencilik Bürosu (USBM) taş ocaklarında yapılan patlatmaların sismik etkileri ve problemleri üzerine geniş bir araştırma başlatmış, bu araştırma sonunda "Seismic Effects of Quarry Blasting" isimli 442 nolu bir bülten yayımlamıştır. Bu kapsamlı bülten çalışmasında ölçümlenen ivmenin 0,1g'den az olması binalar için emniyetin söz konusu olduğunu, 0,1g – 1g arasında dikkatli olunması gerektiği ve 1g den büyük ivme durumlarında ise hasarın meydana gelebileceği vurgulanmıştır. Bu çalışma ile ayrıca yayılım ilişkilerinin temeli atılmış, titreşim seviyeleri, mesafe ve patlayıcı madde ilişkisi araştırılmaya başlanılmıştır [1].

Patlatma kaynaklı yapı hasarlarının incelenmesine yönelik daha sonraki en önemli katkı 1949 ve 1960 yılları arasında F.J.Crandell [33] tarafından yapılmıştır. Crandell bu çalışmasında, enerji oranıyla ilişkili hasar ölçütü belirlemiştir. Enerji oranı denklemi,

$$ER = a^2 / f^2 \tag{2.72}$$

olarak tanımlanmıştır.

Bu eşitlikte a, en büyük ivme değeri (mm/sn^2) ve f, titreşim frekansıdır(Hz). Eş. 2.72'deki oranın 3 değerinin altında olması emniyetli, 3 – 6 değerleri arasında olması dikkatli olunması gerektiği ve 6'dan büyük olması durumunda ise büyük hasar meydana getirebileceği bildirilmiştir [34].

Langefors, Kihlstorm ve Westerberg [35] hasar ölçütlerinin yapıların yakınında yer titreşimlerinin parçacık hızına dayandırılması gerektiğini belirtmişler ve bazı hasar seviyeleri belirlemişlerdir. Bu limitler aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Langefors, Kihlstorm ve Westerberg araştırmalarına dayalı patlatma kaynaklı yapısal hasar kriterleri [35]

→	MAKSİMUM PARÇAÇIK HIZLARI (mm/sn)			
	71,12	109,22	160,02	231,14
	HASAR MEYDANA GELMEZ	İNCE ÇATLAKLAR SIVA DÖKÜLMELERİ	TAŞ DUVARLAR VE SIVALARDA ÇATLAMALAR	CİDDİ ÇATLAK OLUŞUMLARI

1960 yılında Edwards ve Northwood [36] gene ölçümlenebilen maksimum parçacık hızlarını kullanarak hasar limitleri belirleyerek yayınlamışlardır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Edwards ve Northwood araştırmalarına dayalı yapısal hasar kriterleri [36]

→	MAKSİMUM PARÇAÇIK HIZLARI (mm/sn)		
		50,80	101,60
	EMNİYETLİ (HASARSIZ)	DİKKAT	HASAR

1970'li yıllarda Aftes(1975), Ashley(1976), Esteves(1978), Chae(1978) yapı türleri ve yapım kalitesine göre değişik hasar limitleri belirlemişlerdir [17].

1971 yılında Nicholls, Johnson ve Duvall [28] oturulan bir yapının yakınındaki emniyetli titreşim seviyesini 50,80 mm/sn olarak kabul etmiştir. Bu parçacık hızı değerinin üstündeki titreşim seviyelerinin yapı için hasar getireceğinden bahsedilmiştir. Bu değere göre şekillenen hasar sınırı aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Nicholls, Johnson ve Duvall araştırmalarına dayalı yapısal hasar limiti [28]

→	MAKSİMUM PARÇAÇIK HIZLARI (mm/sn) 50,80	
	HASARSIZ	HASAR

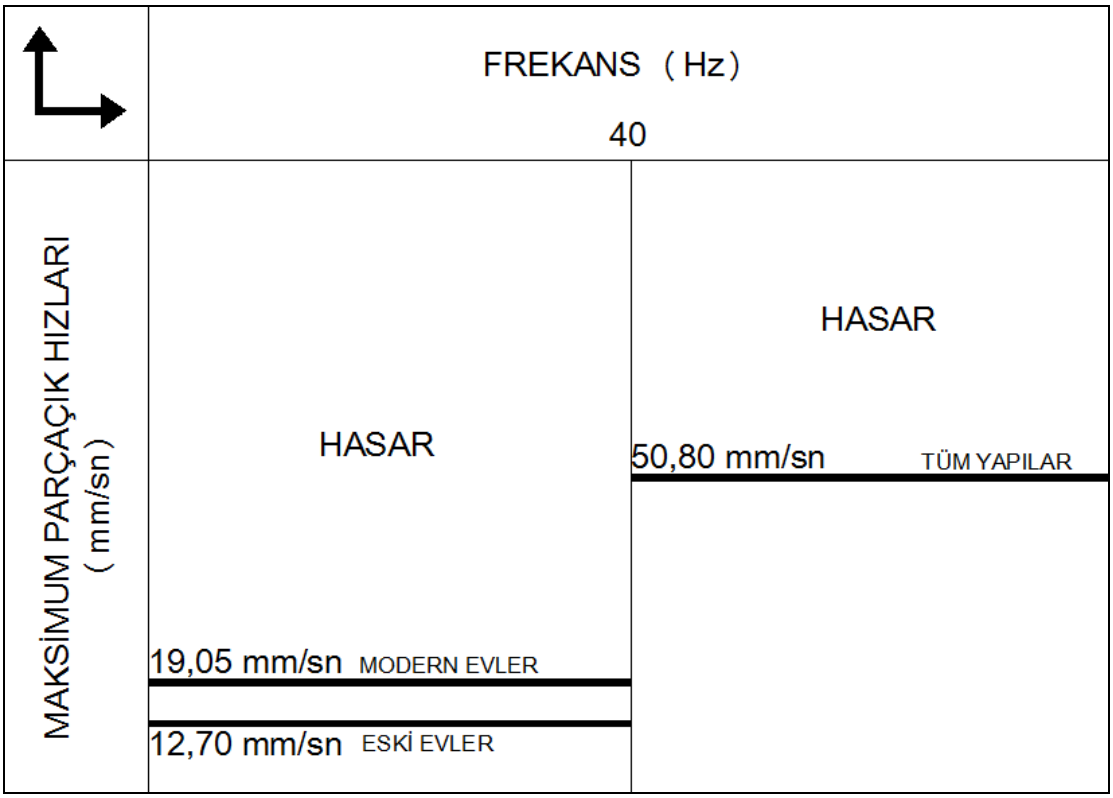
Amerikan Madencilik Bürosu (USBM) araştırmalarıyla patlatma kaynaklı hasar limitlerinde daha detaylı tanımlamalar yapılabilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. USBM araştırmalarına dayalı detaylı yapısal hasar tanımları ve limit değerleri

→	MAKSİMUM PARÇAÇIK HIZLARI (mm/sn)			
		101,60	137,16	193,04
	HASARSIZ	ÖNCEDEN OLUŞAN ÇATLAKLARIN BÜYÜMESİ YENİ ÇATLAKLARIN OLUŞUMU YAPIDA GEVŞEK NESNELERİN HAREKETİ	SIVA DÖKÜLMESİ CAMLARIN KIRILMASI DUVARDA ÇATLAK OLUŞUMU	DUVARDA BÜYÜK ÇATLAK OLUŞUMLARI TEMEL VE TAŞIYICI DUVARLARIN ZAYIFLAMASI YAPININ CİDDİ OLARAK ZAYIFLAMASI

Açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntılarının yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili 1980 yılında Siskind ve arkadaşları [29], 219 patlatmanın 79 evdeki etkilerini belirlemeye yönelik çalışmalarını USBM RI 8507 raporu ile yayınlamıştır. Bu raporda parçacık hızının en iyi yer titreşimi parametresi olduğu vurgulanarak, bu değerin titreşime karşı özellikleri iyi bilinen bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracı olduğu vurgulanmıştır [38]. Bu yaklaşımla beraber frekans etkileri de göz önüne alınmıştır. Raporda belirtilen sonuçlar Çizelge 2.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.5. USBM RI 8507 raporunda belirtilen yapısal hasar kriterleri [29]



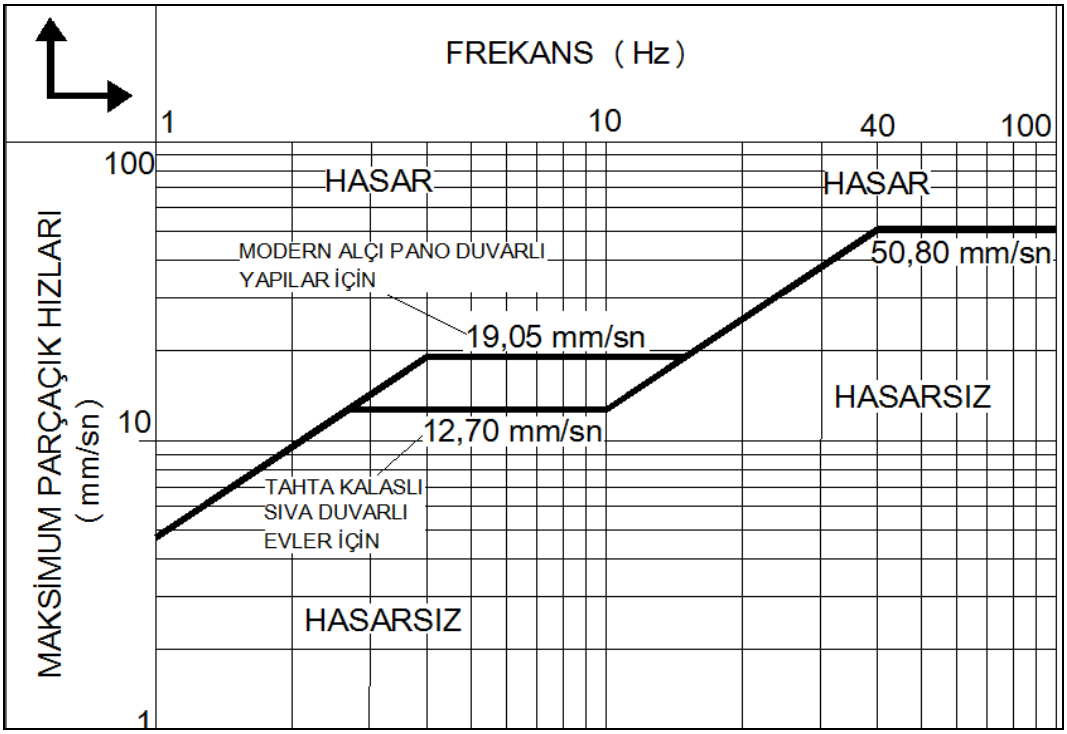
Bu çizelgeden de anlaşılabileceği üzere frekans değerleri için limit kabul edilmiş 40 Hz'lik frekansların altındaki frekanslardaki patlatma etkilerinin hasar verme potansiyelinin daha düşük maksimum parçacık hızlarında da fazla olduğu görülmektedir.

Yine bu raporda patlatma kaynaklı titreşimlerin ölçümünde ölçekli mesafede uzaklığın kareköklü uygulanmasının doğru olacağı belirtilmiştir. Raporda ayrıca yapılardaki mevcut hasarın patlatma kaynaklı titreşim hasarlarında öngörülen hasar limitlerini etkileyebileceği ve bu tür durumlarda mutlak titreşim limitlerinin uygulanamayacağı vurgulanmıştır.

USBM RI 8507 raporuna ilave bir rapor olan "Alternatif Patlatma Hasar Kriteri", frekans oranları üzerine gelen yer değiştirme ve hız parametrelerini dikkate

almaktadır [1]. Bu hasar kriterleri frekans ve parçacık hızı verilerine dayanarak Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. Alternatif USBM patlatma hasar kriterleri



Çizelge 2.6'da Siskind ve arkadaşlarının hazırlamış oldukları USBM RI 8507'de belirtilen hasar limitleri ile ortak olarak parçacık hızları bazında hasar limitlerini ve artan frekanslarla birlikte hasar verebilen parçacık hızlarının da arttığı görülmektedir.

Amerikan Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSM) (Office of Surface Mining), patlatma kaynaklı yersarsıntıları ve hava şokunun kontrol altına alınması temel amacıyla yayınlamış olduğu 1983 tarihli standartta patlatma faaliyetleri sonucu oluşan zemin titreşimlerinin kontrolü konusunda üç yöntem önermiştir [39]. İlk iki yöntem sırasıyla Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.7. OSM Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının kontrol altına alınmasına dair I. yöntem limitleri [39]

PATLATMALARDA HERHANGİ BİR TİTREŞİM ÖLÇER CİHAZ KULLANILMADIĞINDA	PATLATMA NOKTASINDAN UZAKLIK (m)	İZİN VERİLEBİLEN ÖLÇEKLİ MESAFE
	0 - 90	50
	91- 1500	55
	> 1500	65

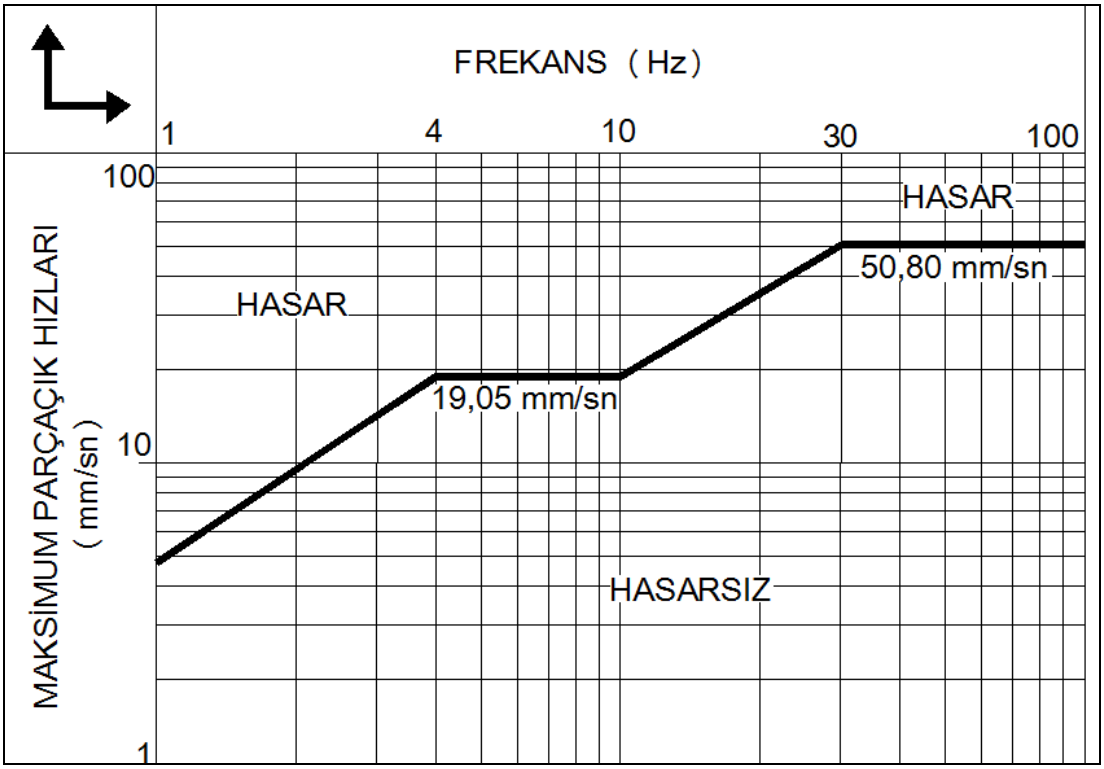
Çizelge 2.8. OSM Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının kontrol altına alınmasına dair II. yöntem limitleri [39]

TİTREŞİM ÖLÇER CİHAZ KULLANILDIĞINDA	PATLATMA NOKTASINDAN UZAKLIK (m)	EN BÜYÜK PARÇACIK HIZI (mm/sn)
	0 - 91,44	31,75
	91,74 - 1524	25,40
	> 1524,30	19,05

I. yöntemde 0 – 90 – 1500 m'ler sınır uzaklıklar olarak seçilir. Titreşim ölçümü yapılmadan kullanılacak ölçekli mesafe değerleri bu uzaklıklara göre belirlenir. II. yöntemde ise titreşim ölçer cihazı kullanımı söz konusu olup, ölçümün yapıldığı noktanın patlatma noktasından olan mesafesi dikkate alınarak en büyük parçacık hızları (mm/sn) belirlenebilmektedir.

III. yöntem frekans esaslı patlatma seviyesi grafiği kullanımıdır (Çizelge 2.9). Bu yöntemde frekansla birlikte değişen parçacık hızı seviyelerinin limit olarak kullanımına izin verilir. Yöntemde patlatmadan kaynaklanan yer titreşimi dalga frekanslarının analizi ve her patlatmanın parçacık hızı ölçümleri yapılır. Bu analizlerde kullanılan baskın frekanslar (dominant frequency) için frekans - genlik ilişkilerinden yararlanılır ve bu frekanslarla ilişkili maksimum parçacık hızlarının belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu işlem pek çok titreşim ölçer alet tarafından dijital olarak yapılabilmektedir.

Çizelge 2.9. OSM Patlatma kaynaklı yapısal hasar kriterleri [39]



Bu yöntem alternatif USBM patlatma hasar kriterleri ile, binalardaki doğal frekansın dikkate alınması sonucu rezonans olayının oluşma ihtimaline karşı düşük frekanslara düşük maksimum parçacık hızları öngörüşünde bulunmaktadır. Pek çok yapıdaki doğal frekans değeri 30 Hz altında kabul edilebilir [20].

Araştırmalar frekans – maksimum parçacık hızı ilişkisini irdeleyen hasar limitlerinin yapılara ve hatta insanlara yönelik potansiyel zararları değerlendirmede en iyi yöntemi temsil ettiğini ortaya koymuştur [37,40,41].

Bu yöntemlere ek olarak kabul edilebilecek bir başka yöntem ise, değiştirilmiş ölçekli mesafe yöntemidir. Bu yöntemde sahada gerçekleştirilen patlatmalara dayanılarak bir ölçekli mesafe değeri hesaplanır ve bu değer için patlayıcı madde miktarı değiştirilerek oluşacak maksimum parçacık hızı değeri (PPV) önceden tahmin edilebilir. Yöntemle ilk iki yöntemin sınırlamalarından uzak değerlendirme

yapım imkânı sunulmaktadır. Bununla birlikte ikinci yöntemdeki maksimum parçacık hızı limitlerinin aşılmaması da gerekmektedir [41].

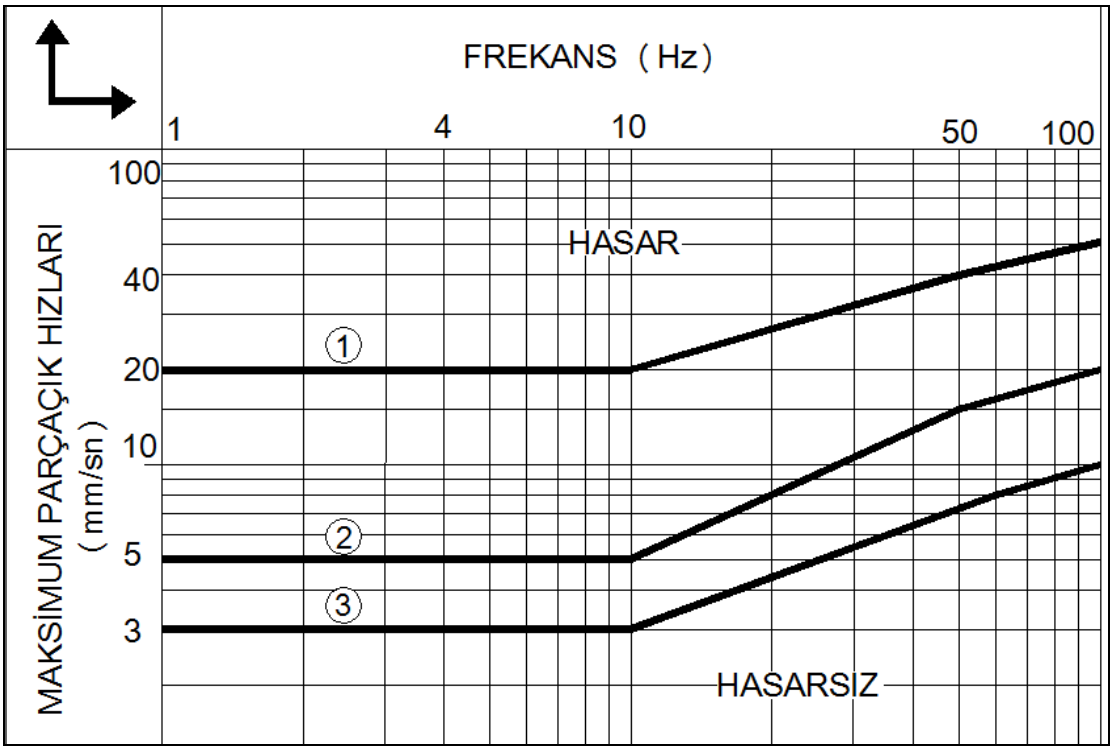
Patlatma kaynaklı en önemli hasar kriterlerinden biri de DIN 4150 Alman hasar normudur. DIN 4150 Alman hasar normu frekansa bağlı olarak değişen parçacık hızlarını kullanarak ve yapıları türlerine göre 3 gruba ayırarak birbirinden bağımsız hasar limitlerine göre gruplandırmıştır. Bu sınıflandırma ve hasar limitleri Çizelge 2.10'da gösterilmiştir [17].

Çizelge 2.10. DIN 4150 Alman Hasar Normuna göre patlatma kaynaklı yapısal hasar limitleri

YAPI TÜRÜ	FREKANSA BAĞLI MAKSİMUM PARÇACIK HIZI		
	10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz
1 BETONARME VE ÇELİK YAPILAR	20 mm/sn	20 - 40 mm/sn	40 - 50 mm/sn
2 YIĞMA TUĞLA YADA BETON YAPILAR	5 mm/sn	5 - 15 mm/sn	15 - 20 mm/sn
3 KERPİÇ ESKİ VEYA TARİHİ YAPILAR	3 mm/sn	3 - 8 mm/sn	8 - 10 mm/sn

Hasar limitleri ayrıca logaritmik eksenli bir koordinat siteminde, maksimum parçacık hızı ve frekans ilişkisine göre de üç yapı türü içinde ayrı ayrı gösterilebilir (Çizelge 2.11). Standart 100 Hz den büyük frekanslar için büyük sarsıntı seviyesine izin verebilmektedir.

Çizelge 2.11. DIN 4150 Alman Hasar Normuna göre patlatma kaynaklı yapısal hasar limitleri grafiksel gösterimi

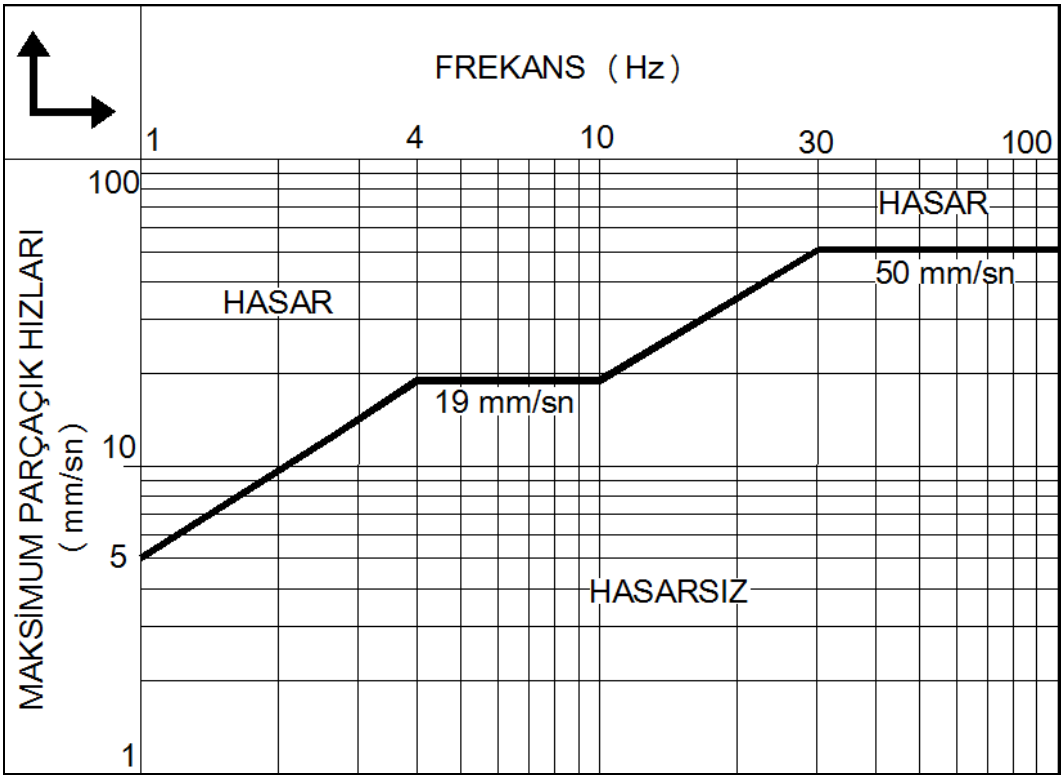


Ülkemizde patlatma kaynaklı izin verilebilen titreşim(sarsıntı) limitleri Avrupa Birliği tarafından yayımlanan 25.06.2002 tarih ve 2002/49/EC sayılı Çevresel Gürültünün Yönetimi ve Değerlendirilmesi direktifine paralel olarak Çevre ve Orman Bakanlığı'nca hazırlanan, ilk olarak 01.07.2005 tarihinde 25862 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren ve son şekli 07.03.2008 tarih ve 26809 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği"nde (ÇGDYY) belirtilmiştir [42]. Bu yönetmeliğin, beşinci bölümü olan "Çevresel Titreşim Esas ve Kriterleri" bölümünde çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar belirtilmiş olup, Madde 25'de maden, taş ocakları ile benzeri alanlarda patlatma nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 2.12)(Çizelge 2.13).

Çizelge 2.12. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği"nde belirtilen patlatma kaynaklı hasar limitleri[42]

TİTREŞİM FREKANSI	EN BÜYÜK PARÇACIK HIZI (mm/sn)
1	5
4 - 10	19
30 - 100	50

Çizelge 2.13. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği"nde belirtilen patlatma kaynaklı hasar limitlerinin grafikleştirilmiş hali



Anlaşılacağı üzere Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği"nde belirtilen patlatma kaynaklı hasar limitleri Amerikan Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSM) III. yöntem ile büyük benzerlik göstermektedir.

3. ÇALIŞMA ALANI

3.1 Çalışma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı Ankara İli, Gölbaşı İlçesi sınırları içerisinde, Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanlığı, Bomba İmha Şube Müdürlüğü arazisinin kuzey batı kesiminde yer almaktadır. 1/1000 ölçekli Ankara Büyükşehir Belediyesi onaylı topografik haritalarda çalışma alanı "*Ankara – {29-b-18-d-4-d}*" paftasında yer almaktadır. Çalışma alanının deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1135 m'dir ve çalışılan alan düz bir topografyaya sahiptir. Çalışma alanına komşu parsellerde Bomba İmha Merkezi Şube Müdürlüğü hizmet binaları ve depoları, Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanlığı Hizmet Binaları (A ve B Bloklar) ve halen inşaat aşamasında bulunan Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanlığı Ek Hizmet binaları bulunmaktadır. Çalışma alanı ayrıca Emniyet Genel Müdürlüğü'ne bağlı Trafik Eğitim pistine de komşudur (Harita 3.1).

Çalışma alanında 1990'lı yıllarda kurulmuş yerleşkesi bulunan Kriminal Polis Laboratuarı Daire Başkanlığı bünyesinde faaliyet gösteren Bomba İmha Şube Müdürlüğü'nün temel görevleri aşağıda özetlenmiştir[43]:

- Laboratuarlara gönderilen veya ele geçen bomba, patlayıcı maddeler ve patlama artıkları üzerinde fiziki ve kimyasal incelemeler yapmak veya yaptırmak suretiyle cinsini, menşeini, imal tekniğini, zararsız hale getirilme yöntemini meydana çıkararak, Emniyet Genel Müdürlüğü bünyesinde çalışan illerdeki bomba uzmanlarına gerekli bilgileri aktarmak,

- Tüm illerden gelen bomba bilgi formları, raporları ve patlayıcı maddeleri inceleyip, değerlendirerek, bomba bilgi merkezinde tasnif edilip bilgisayara yükleyerek çeşitli yerlerden ele geçen bomba, patlayıcı madde, kullanılan malzeme ve hatta tuzaklama teknik ve tetkikleri yönünden aralarında irtibat kurarak örgütün faaliyet sahaları ve elemanlarının tespitini sağlamak, İhtiyaç

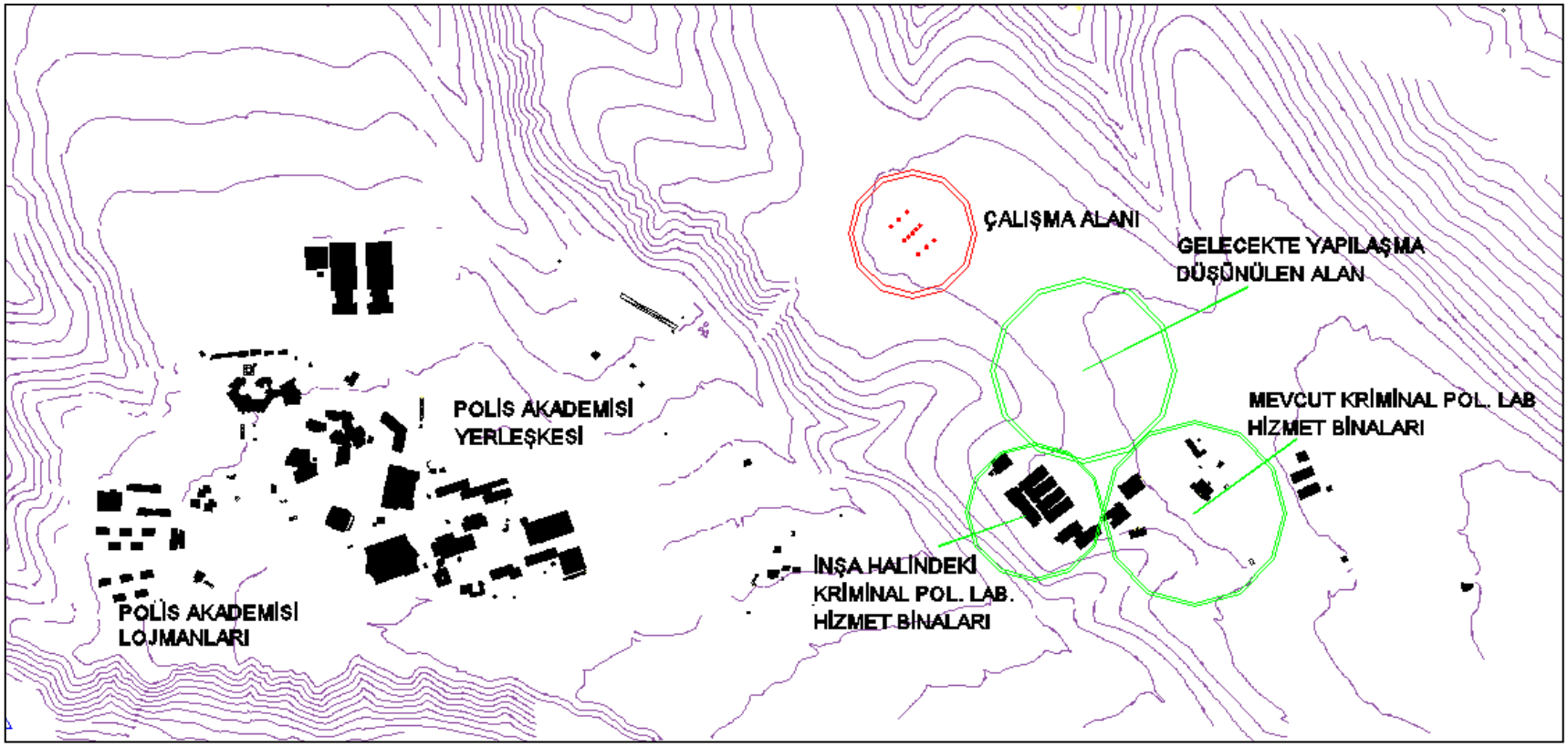
duyulan hallerde diğer illere uzman göndererek bombaları patlamadan zararsız hale getirmek,

- Emniyet Genel Müdürlüğü, Jandarma Genel Komutanlığı ve diğer Askeri birimler ile dost ve müttefik ülkelerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla teorik ve uygulamalı olarak Bomba Uzmanı yetiştirmek.

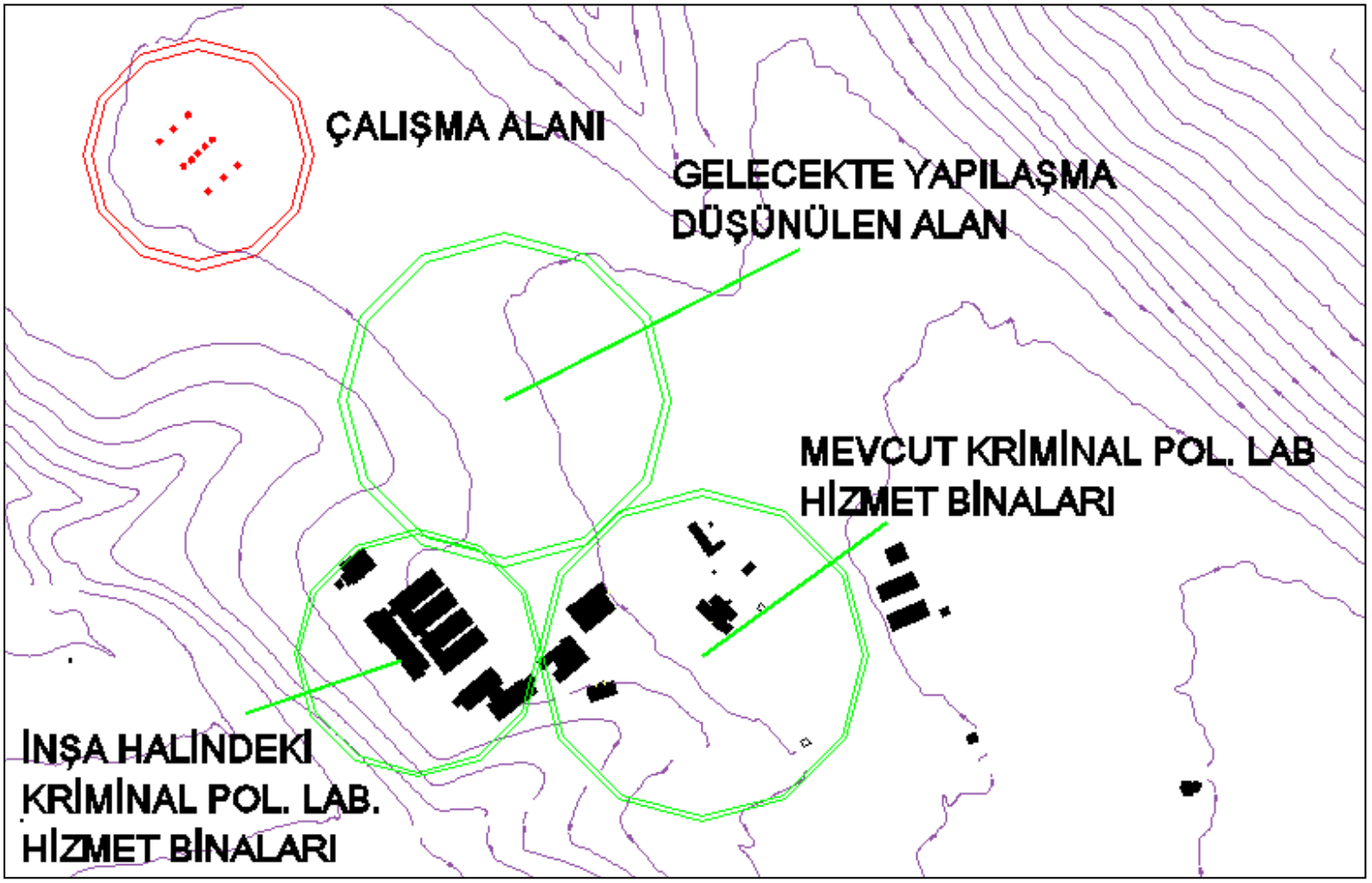
Bomba Şube Müdürlüğü çalışma alanı ve bu alana komşu parsellerde imha, araştırma ve eğitim amaçlı olarak değişik miktarlarda patlayıcıyı sığ derinliklerde ve yüzeyde patlatmaktadır. Çalışma alanında değişik çeşit ve miktarlarda patlayıcılar, yaratacakları etkinin tahmini değerlendirilmesi ile yüzeyde veya derinde gömülerek patlatılmaktadır.

Sahaya komşu alanlarda alt yapı ve üst yapı inşaat faaliyetleri devam etmekte olup, bu alanlarda Bomba İmha Şube Müdürlüğü bünyesinde ihtiyaca yönelik yeni eğitim tesislerinin planlama çalışmaları sürdürülmektedir (Harita 3.2)(Resim 3.1)(Resim 3.2).

Çalışma kapsamında seçilen alanda sonraki bölümlerde detayları anlatılacak olan zemin özelliklerini tanımlamaya yönelik geoteknik çalışmalar için sondaj çalışmaları 02.05.2009 tarihinde gerçekleştirilmiş, bu sondaj noktalarında derinde ve yüzeyde yapılan deneme amaçlı patlatma uygulamaları ve patlatma etki ölçümleri 05.05.2009 tarihinde yapılmıştır.



Harita 3.1 Çalışma alanı ve çevresi genel görünümü



Harita 3.2. Çalışma alanı ve Kriminal Polis Laboratuvarı Dairesi Başkanlığı Binaları ve gelecekte yapılaşma düşünülen alanın yerleşimi

Resim 3.1. Çalışma sahası havadan görünümü

Resim 3.2. Patlatma öncesi çalışma alanı ve Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanlığı binaları ile gelecekte yapılaşma düşünülen alanın yerleşimi.

3.2. Çalışma Alanının Jeolojik Özellikleri

Çalışma alanının jeolojisi ve jeolojik birimleri bölgede daha önce yapılan araştırmalara göre [44], Tersiyer öncesi serpantinler ve tersiyer birimleri olarak iki ana grupta sınıflandırılabilir.

Tersiyer öncesi birimler ilgili alanda serpantinlerle tespit edilmiştir. Yaşları kesin olarak bilinmemekle birlikte üst Kretase yaşı daha önce çalışanlar tarafından tespit edilmiştir. Bölgenin güney batısında oldukça geniş alanlarda görülürler. Daha geniş alanlara yapılmış diğer etütlerden edinilen bilgilere göre ofiyolitler genel olarak Permo-Karbon-Permo Triyas yaşlı kalker masiflerinin güney ve güney doğu kenarlarında yer almaktadır. Bu nedenle bazik Jura Magmasının yükselmesi ile Permo kalkerlerinin itilmiş olmaları olasılığı mevcuttur. Dolayısıyla serpantinler tektonik bakımdan fazla, kesilmiş ve ekaylanmış bir zon teşkil ederler.

Çalışma alanında Tersiyer Birimler ise miyosen (kum, kil, tüf, marn ardalaşmasından ibaret seriler) , Pliyosen (kum – çakıl birimler) ve Kuvarterner (alüvyon) olarak tespit edilmiştir.

Miyosen (kum, kil, tüf, marn ardalanmasından ibaret seriler) genellikle marn-kil-kum- tüf ardalanmasından ibarettir. Sahanın oldukça büyük bir kısmını kapsarlar. Hakim renk gridir. Bu seri bütün saha boyunca homojen bir litolojiye sahip değildir. Seriler bazen birbirleri ile yanal geçişlidir. Bunların üzerinde kum ve çakıllardan ibaret olan Pliyosen yaşlı serilerle yer yerde Pliyosen Pleistosen yaşlı olduğu düşünülen bazaltlar yer almaktadır. Pliyosen seriler bölgede oldukça geniş alan kaplarlar. Kum ve çakıllardan ibarettirler. Genellikle alt serilerde kum ve çakıllar hâkimdir. Birçok yerlerde kumlar için muntazam çapraz tabakalanmaları görmek mümkündür. Üst seviyelerde çakıllar oldukça geniş alana kapladıklarından bazen alttaki tabakaların görülmesine mani olmaktadırlar. Çakıl boyutları taşındıkları mesafelere bağlı olarak değişmektedir. Genellikle orta boydadırlar, bazen bu çakıl ve bloklar sağlam olmayan çimento ile tutulmuşlardır [44].

Alanda kuvaterner birimler ise alüvyonlarla temsil edilmişlerdir. Bölgede oldukça geniş alan kaplayan bu birimler oldukça büyük tarım alanları oluştururlar.

3.3. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi

İnceleme alanı Ankara İli Gölbaşı İlçesinde yer almakta olup düz bir topografyaya sahiptir. Etüt alanına hâkim zemin çakıllı, killi ve kumlu birimlerdir. Çalışma alanı ve çevresi Pliyosen yaşlı Gölbaşı Formasyonu’nun üzerinde yer almaktadır. Killi siltli kumlu ve çakıllı tabakaların ardalanması ile oluşmuş olan bu birimin kum ve çakıl bileşenlerinin fazla olduğu düzeyleri kısmen geçirimli, kil ve silt bileşenlerinin fazla olduğu düzeyleri ise geçirimsizdir. İnceleme alanında yer altı suyuna rastlanılmamıştır.

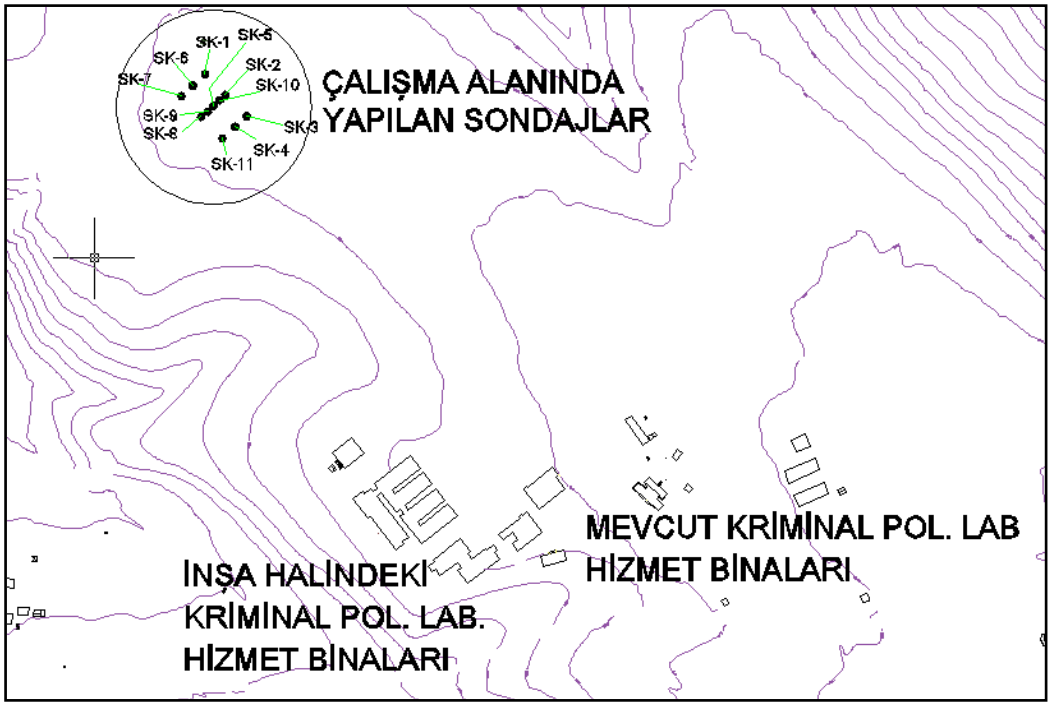
3.4. Çalışma Alanının Afet Durumu ve Depremselliği

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre (18.04.1996) inceleme alanı 4. derece deprem bölgesi içinde kalmaktadır. Bu alana komşu parsellerde daha önce yapılan zemin etütlerinde temel zemininde aşırı oturma ve deprem durumunda sıvılaşma riski tespit edilmemiştir.

3.5. Çalışma Alanında Zemin Özelliklerinin Tespiti İçin Yapılan Arazi ve Laboratuar Çalışmaları

3.5.1 Arazi çalışmaları

Uygulamanın yapılacağı alanda zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tanımlanması amacıyla 02.05.2009 tarihinde 11 adet 3'er metre derinliğinde sondaj çalışması yapılmıştır (Resim 3.3, 3.4). Sondajların yerleşimi Harita 3.3'de gösterilmiştir.



Harita 3.3. Sondaj kuyularının yerleşimi

Resim 3.3. Sondaj çalışması (SK-1 kuyusu)

Resim 3.4. Sondaj çalışmasından ayrıntı (SK-1 kuyusu)

Bu çalışma ile ilgili sondaj logları her bir kuyu için tanımlanmıştır (Bkz. EK 1). çalışmada dönerli sondaj kullanılmış ve sondaj kuyularında 3,00 - 3,04 m arasında değişen derinliklerden itibaren UD tüpleriyle örselenmemiş zemin numuneleri alınmıştır (Resim 3.5). Sondaj kuyularından 6 nolu sondajdan (SK-6) örselenmemiş numune alınamamış olup, bu kuyu için fiziksel tanımlama deneyleri örselenmiş numune alımı ile gerçekleştirilebilmiştir.

Resim 3.5. Sondaj kuyularından alınan UD numune tüpleri

Zemin tanımlamaya yönelik arazi çalışmaları ardından sondaj kuyuları, PVC borularla muhafaza altına alınmıştır. Hava koşulları nedeniyle sondaj kuyularına olası su girişlerinin engellenmesi amacıyla boru ağızları kapatılmış ve dış etkenlerden izole edilmişlerdir (Resim 3.6).

Resim 3.6. Sondaj işlemi sonrası muhafazaya alınan sondaj kuyusu

3.5.2. Laboratuar çalışmaları

Arazi çalışmaları ile alınan örselenmemiş (UD) numuneleri üzerinde, zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti ve zeminin sınıflandırılması amaçlarıyla Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği ve Temel İnşaatı laboratuarında, zemin laboratuar deneyleri uygulanmıştır. Çalışma alanı zemini fiziksel özelliklerinin tespiti amacıyla her bir sondaj kuyusu için su muhtevası tayini, doğal birim hacim ağırlık deneyleri, dane boyutu dağılımı belirleme deneyleri (elek analizi, hidrometre analizi), özgül ağırlık (*Gs*) deneyleri, "TS 1901 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuarı Deneyleri Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini" Türk Standardına [45] uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Sondajlardan alınan ve dış etkilere karşı izole edilmiş örselenememiş numuneler üzerinde yapılan *su muhtevasının tayini* deneyleri sonuçları Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Laboratuar deneyleri sonucu bulunan sondajlardan alınan numunelere ait su muhtevaları

Sondaj Kuyuları	Numune Derinliği (m)	Su Muhtevaları %
SK1	3,00	9,64
SK2	3,00	12,04
SK3	3,05	13,66
SK4	3,00	15,02
SK5	3,00	15,03
SK6	3,00	39,64
SK7	3,00	21,50
SK8	3,00	10,60
SK9	3,00	15,31
SK10	3,00	17,37
SK11	3,04	22,53

Sondaj kuyularından alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan su muhtevası deneylerinden elde edilen değerler %22,53 ila %9,64 arasında değişmektedir.

Sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan doğal birim hacim ağırlık deneyleri, UD tüplerinden mekanik deneyler için çıkarılan zemin numunelerine uygulanmış olup, deneylerin sonuçları Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.

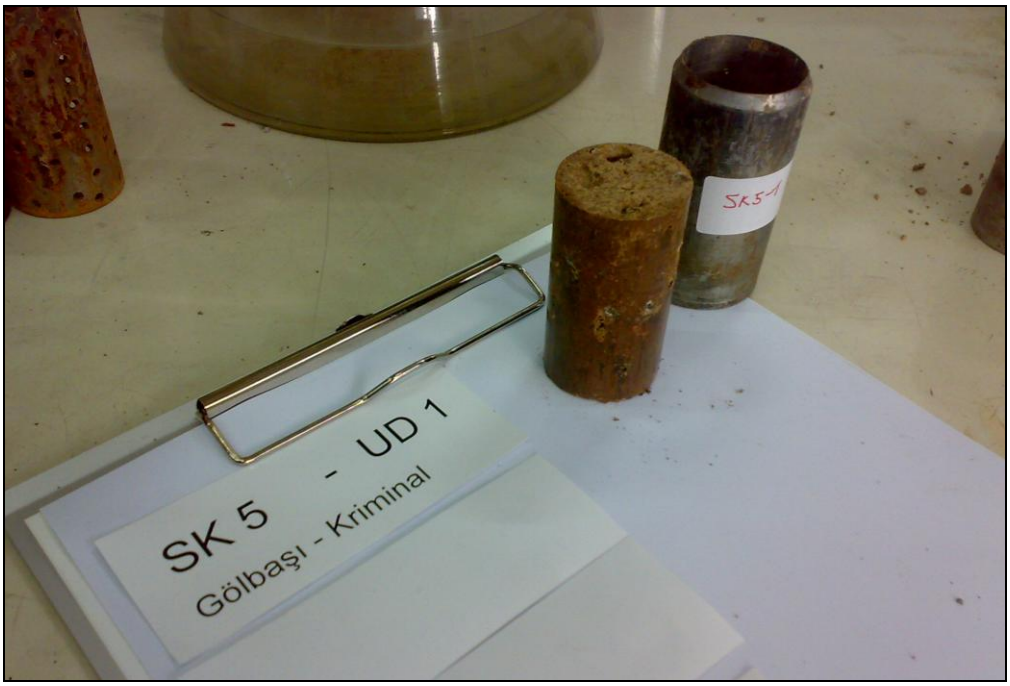
Çizelge 3.2. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan doğal birim hacim ağırlık deneyleri sonuçları

Sondaj Kuyusu	Derinlik (m)	UD No.	Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN / m^3)
SK-5	3,00	UD-1	19,32
SK-7	3,00	UD-1	18,54
SK-9	3,00	UD-1	19,22
SK-11	3,04	UD-2	18,73

Çizelgeden anlaşılabileceği üzere çalışma alanı zeminine ait doğal birim hacim ağırlık değerleri 18,54 KN/m^3 ile 19,32 KN/m^3 arasında değişmektedir. Uygulamanın yapıldığı numunelere ait resimler aşağıda verilmiştir (Resim 3.7 – 3.10).

Resim 3.7. Doğal birim hacim ağırlık deneyinde kullanılan zemin numunesi (SK 11-UD1)

Resim 3.8. Doğal birim hacim ağırlık deneyinde kullanılan zemin numunesi (SK 7- UD2)



Resim 3.9. Doğal birim hacim ağırlık deneyinde kullanılan zemin numunesi (SK 5 - UD1)

Resim 3.10. Doğal birim hacim ağırlık deneyinde kullanılan zemin numunesi (SK 9- UD2)

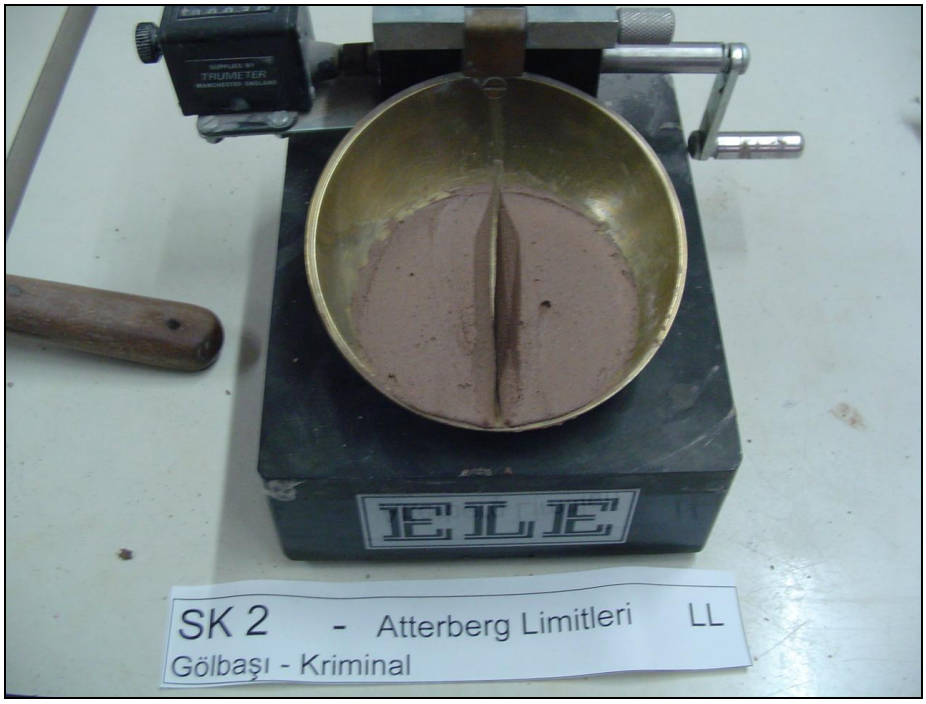
Sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan likit limit, plastik limitin tayini ve plastisite indisinin bulunması deneyleri her sondaj kuyusu için elde edilebilmiş

numunelerin ince taneli zemin içeriğine (No:40 elekten geçen) uygulanmış olup numunelere ait likit limit, plastik limit ve plastisite indisi sonuçlarının özeti Çizelge 3.3'de belirtilmiştir. Uygulama sırasında çekilen resimler aşağıda gösterilmiştir. (Resim 3.11 - 3.13)

Çizelge 3.3. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan likit limit, plastik limit tayini deneyleri sonuçları

Sondaj Kuyuları	Numune Derinliği (m)	Atterberg Kıvam Limitleri		
		Likit Limit %	Plastik Limit %	Plastisite İndisi
SK1	3,00	35	17	18
SK2	3,00	37	18	19
SK3	3,05	39	18	21
SK4	3,00	41	20	21
SK5	3,00	40	21	19
SK6	3,00	54	27	27
SK7	3,00	42	22	20
SK8	3,00	32	16	16
SK9	3,00	40	23	17
SK10	3,00	43	24	19
SK11	3,04	43	27	17

Resim 3.11. Likit limit tayini deneyi uygulama öncesi hazırlık (SK 2 numunesi)



Resim 3.12. Likit limit tayini deneyi uygulama sonrası görünüm (SK 2 numunesi)

Resim 3.13. Likit limit tayini deneyi uygulama sonrası su muhtevası tespiti için numune alımı (SK 2 numunesi)

Zemin özelliklerinin tespiti kapsamında her bir sondaj kuyusu için *özgül ağırlık (Gs)* deneyleri yapılmış olup, bulunan ortalama özgül ağırlık değerleri Çizelge 3.4'de özetlenmiştir. Uygulama esnasında çekilen resim aşağıda gösterilmiştir (Resim 3.14).

Çizelge 3.4. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan özgül ağırlık deneyleri sonuçları

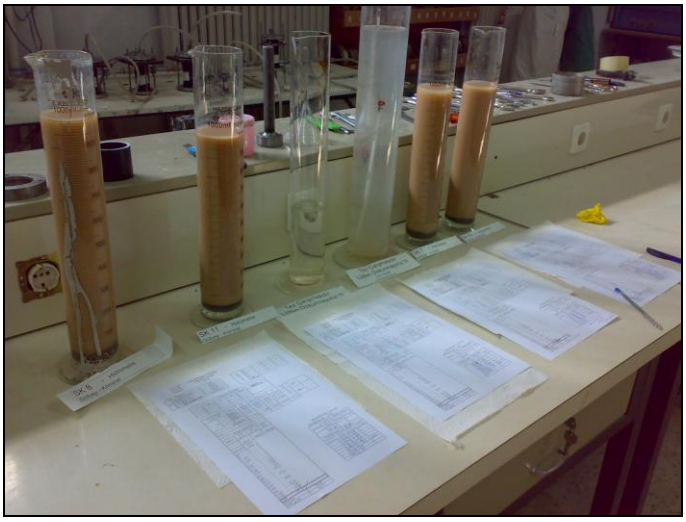
Sondaj Kuyuları	Numune Derinliği (m)	Gs Ortalamaları
SK1	3,00	2,598
SK2	3,00	2,622
SK3	3,05	2,631
SK4	3,00	2,619
SK5	3,00	2,641
SK6	3,00	2,637
SK7	3,00	2,589
SK8	3,00	2,595
SK9	3,00	2,606
SK10	3,00	2,618
SK11	3,04	2,601

Bu sonuçlar ışığında zemin için sondaj numunelerinden elde edilen özgül ağırlık değerlerinin 2,598 ila 2,641 arasında değiştiği görülmüştür.

Resim 3.14. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan özgül ağırlık deneyleri

Uygulama alanının zemin özelliklerinin tespiti amacıyla ayrıca dane çapı dağılımının bulunması deneyleri, elek analizi ve hidrometre analizleri olarak her sondaj kuyusu için gerçekleştirilmiştir. Hidrometre analizlerinde 152 h tipi hidrometre kullanılmıştır. Hidrometre için hazırlanan ayrıştırıcı çözeltide sodyum hegzameta fosfat ($(NaPO_3)_6$) kullanılmıştır (Resim 3.15, 3.16).

Resim 3.15. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan elek analizi deneyleri



Resim 3.16. Sondaj kuyularından alınan numunelere uygulanan hidrometre analizi deneyleri

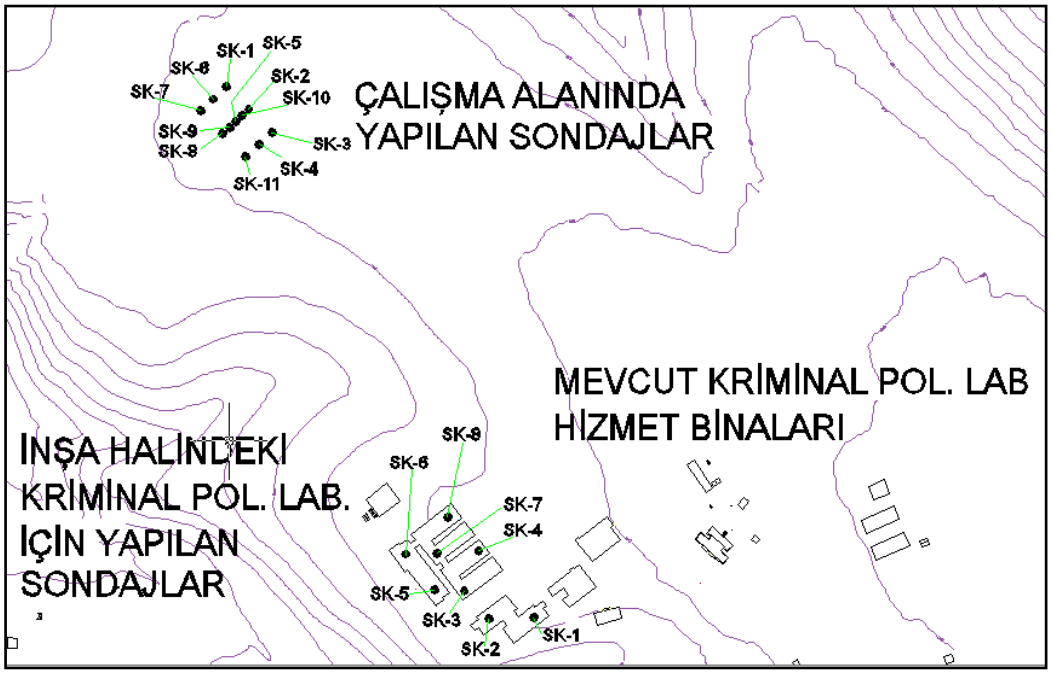
Çalışma sonuçları ve sondaj kuyularının dane boyutu dağılımı grafikleri EK-2'de gösterilmiştir. Zemin sınıflandırma sistemi olarak Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) kullanılmıştır. Her sondaj kuyusu için dane çapı dağılımları ve kıvam limitleri dikkate alınarak yapılan özet bilgilerle birlikte zemin sınıflandırması Çizelge 3.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Dane çapı dağılımı ve kıvam limitlerine göre zemin sınıflaması

Sondaj Kuyusu	Eleklerden Geçen Yüzde (%)			Atterberg Kıvam Limitleri			Zemin Sınıfı (USCS)
	No:4	No:10	No:200	LL %	PL %	PI	
SK1	88,97	64,77	25,59	35	17	18	SC
SK2	87,07	63,59	28,64	37	18	19	SC
SK3	87,15	69,9	37,06	39	18	21	SC
SK4	89,93	68,43	29,70	41	20	21	SC
SK5	91,70	80,62	47,50	40	21	19	SC
SK6	97,05	92,56	62,39	54	27	27	CH
SK7	96,04	89,32	54,53	42	22	20	CL
SK8	88,56	62,79	25,50	32	16	16	SC
SK9	90,63	77,04	47,86	40	23	17	SC
SK10	87,43	75,03	44,42	43	24	19	SC
SK11	89,89	79,74	48,16	43	27	17	SC

Bu sınıflamaya göre çalışma alanı zeminlerinin genel olarak "yer yer çakıl içeren açık kahverengi killi kum (SC)" olarak tanımlanabileceği bulunmuştur. Bu sonuçlar arazi çalışmaları sırasında aynı derinlikten elde edilen örselenmiş numunelerin yerinde gözlemsel incelemeleriyle uyuşmaktadır (Resim 3.17). Bulunan zemin sınıflaması daha önce komşu parsellerde yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen dane çapı dağılımlarıyla[44] aynı derinlik için benzerlik göstermektedir. Sondaj noktalarının yerleşimi Harita 3.4'de gösterilmiş olup söz konusu karşılaştırma Çizelge 3.6'da verilmektedir.

Resim 3.17. 3 m derinlikten gelen örselenmiş zemin numunesi (SK – 8)



Harita 3.4. Çalışma alanına ait sondaj yerleşimleri ve daha önce bölgede yapılan sondajların yerleşimi

Çizelge 3.6. Numunelerden elde edilen dane çapı dağılımlarının bölgede daha önce yapılan sondajlar ile karşılaştırılması

Çalışma Alanında Yapılan Sondajlar				Daha Önce Komşu Parsellerde Yapılan Sondajlar			
Sondaj Kuyusu	Eleklerden Geçen Yüzde			Sondaj Kuyusu	Eleklerden Geçen Yüzde		
	No:4	No:10	No:200		No:4	No:10	No:200
SK1	88,97	64,77	25,59	SK1	72	61	38
SK2	87,07	63,59	28,64	SK2	59	43	23
SK3	87,15	69,9	37,06	SK3	79	66	43
SK4	89,93	68,43	29,70	SK4	78	62	36
SK5	91,70	80,62	47,50	SK5	54	41	28
SK6	97,05	92,56	62,39	SK6	83	71	45
SK7	96,04	89,32	54,53	SK7	52	35	48
SK8	88,56	62,79	25,50	SK8	89	81	56
SK9	90,63	77,04	47,86				
SK10	87,43	75,03	44,42				
SK11	89,89	79,74	48,16				

Çalışma alanı zemini mekanik özelliklerinin tayini için SK-11, SK-7, SK-5, SK-8 sondaj kuyularından alınan UD numuneleri üzerinde tek eksenli basınç deneyleri "TS 1900-2 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri – Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini" Türk Standardına[46] uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.7'de özetlenmiştir. Diğer sondaj kuyularından alınan UD numune tüplerindeki karot boylarının yetersizliği (SK 1 den alınan UD tüpünde bu boy 16 cm'e kadar inmiştir) ve numunelerde çakıl bulunması, tüplerden zemin mekanik özelliklerinin tespiti için örselenmemiş deney numunesi çıkartılamamıştır. Uygulamaya ait detay resimleri aşağıda verilmiştir (Resim 3.18 - 3.20).

Çizelge 3.7. Mekanik özelliklerin tespiti amacıyla örselenmemiş numunelere yapılan serbest (tek eksenli) basınç dayanımı deneyi sonuçları

Sondaj Kuyusu	Derinlik (m)	UD No.	Serbest (Tek Eksenli) Basınç Dayanımı (kN / m^2)
SK-5	3,00	UD-1	684,50
SK-7	3,00	UD-1	254,97
SK-9	3,00	UD-1	477,58
SK-11	3,04	UD-2	273,61

Resim 3.18. Numunelere uygulanan serbest (tek eksenli) basınç deneyleri (SK – 11)

Resim 3.19. Numunelere uygulanan serbest (tek eksenli) basınç deneyleri (SK – 9)

(a) (b)

(c) (d)

Resim 3.20. Numunelere uygulanan serbest (tek eksenli) basınç deneylerinden ayrıntı (a) SK - 11 (b) SK - 5 (c) SK - 7 (d) SK – 9

4. ARAZİDE PATLATMA UYGULAMALARI

4.1 Arazide Patlatma Çalışmaları

Tez kapsamında patlatma kaynaklı zemin titreşimlerinin ölçümü amacıyla 11'i 3 m derinlikte ve 8'i yüzeyde olmak üzere toplam 19 patlatma ayrı ayrı ve uzun zaman aralıklarıyla patlatılmış ve patlatma noktasının konumuna göre sahaya yerleştirilen 3 farklı titreşim ölçer cihaz yardımıyla kaydedilmiştir. Çalışmada üç farklı yönde (bileşende) parçacık hızı, ivmesi ve deplasmanı, frekans ölçümlerinin yanı sıra hava şoku ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Uygulamada güneydoğu (GD) ve güneybatı (GB) yönlerinde ölçümler yapılmıştır (Resim 4.1). Patlatma öncesi patlatma sahasının durumu Resim 4.2'de gösterilmiştir.

Resim 4.1. Patlatma öncesi güneydoğu yönünde (yeni yapılaşma düşünülen alan yönünde) titreşim ölçer aletlerin yerleşimi

Resim 4.2. Patlatma öncesi arazi durumu ve muhafaza edilen sondaj noktaları

Kullanılan titreşim ölçüm aleti, patlatma kaynaklı yersarsıntıları ve hava şokunu ölçebilen ve jeofona bağlı 3 adet algılayıcı (boyuna, enine ve düşey) mikrofon ve ilgili hafıza ünitelerinden oluşmaktadır. Çalışmamızda 1 Hz hassasiyetli jeofonlar kullanılmıştır. Cihaz tek olay ya da sürekli kayıt yapabilme özelliğine sahiptir (Resim 4.3). Kullanılan 3 cihaz, kayıtların değerlendirilmesinde seri numaraları ile isimlendirilmiştir. BE14465 seri nolu cihazın 03.12.2008 tarihinde, BE12270 seri nolu ve BE12269 seri nolu cihazların ise 10.05.2007 tarihinde kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir. Ölçümden elde edilen veriler, titreşim alete özel bir analiz programı yardımıyla değerlendirilebilmiştir.

Resim 4.3. Titreşim ölçer cihaz ve kurulumu

Patlatmalarda patlayıcı madde olarak TNT (trinitrotoluen) değişik miktarlarda kullanılmıştır.

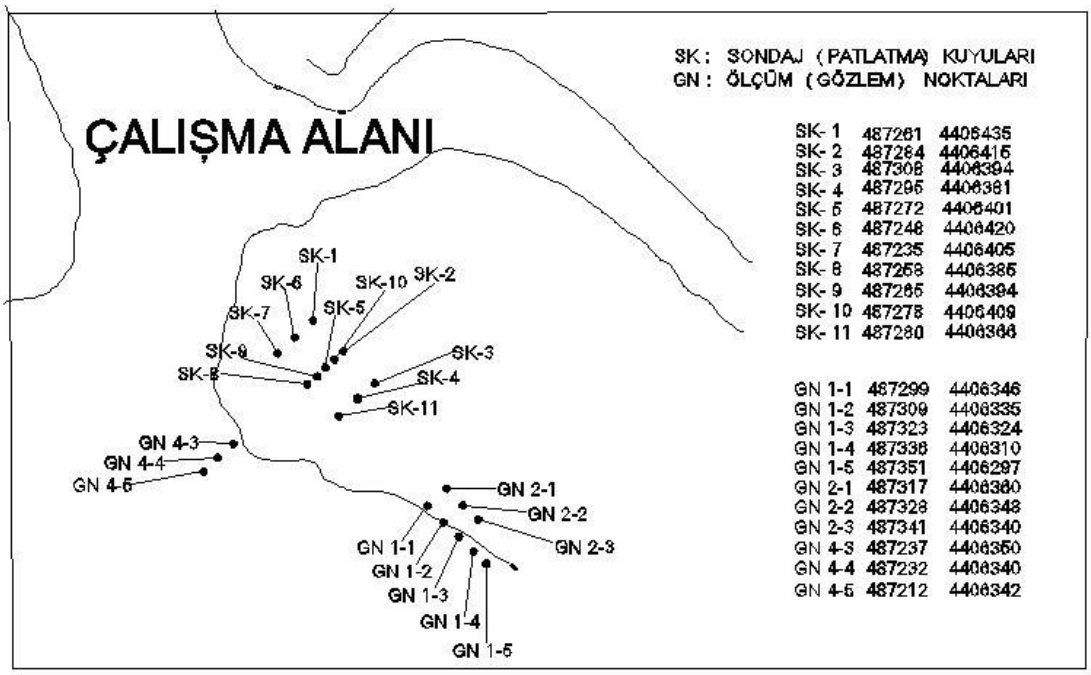
Uygulamamızda patlayıcı maddelerin temini, muhafazası, kuyulara yerleştirilmesi ve patlatma düzeneğinin kurulumu Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanlığı, Bomba İmha Şube Müdürlüğü uzmanlarınca gerçekleştirilmiştir (Resim 4.4).

Resim 4.4. Bomba imha uzmanlarınca patlayıcı madde kurulumu

Derin patlatmalar daha önce açılan ve borulama uygulamasıyla patlatma gününe kadar muhafaza edilen sondaj kuyularında 3 m derinlikte gerçekleştirilmiştir. Bu sebepten ötürü patlatma noktaları ile sondaj kuyularında aynı isimlendirmeler mevcuttur. SK 7, SK 6 ve SK 1 kuyularında 2 kg ; SK 4, SK 11 ve SK 3 kuyularında ise 0,5 kg ve diğer beş kuyu da ise 1 kg TNT patlatılmış ve ayrı ayrı 3 gözlem noktasındaki patlatma etkileri kayıt altına alınmıştır (Bkz. EK 3).

Yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalar, derin patlatmaların yapıldığı sondaj kuyularının yüzeyinde aynı koordinatlarda gerçekleştirilmiştir. Toplamda 8 adet olan yüzey patlatmaları, SK 11, SK 4 ve SK 3 dışındaki diğer sondaj noktalarının yüzeylerinde gerçekleştirilmiş olup, her bir patlatmada 1 kg TNT patlayıcı patlatılmıştır. Derinde gerçekleştirilen patlatmalarla benzer şekilde, her bir patlatmanın ayrı ayrı 3 gözlem noktasındaki patlatma etkileri kayıt altına alınmıştır (Bkz EK 3).

Patlatmaların gerçekleştirildiği sondaj kuyuları ve ölçüm noktaları Harita 4.1'de gösterilmiştir.



Harita 4.1. Çalışma alanında patlatma ve gözlem noktaları yerleşimi

Derin ve yüzey patlatmalar sonrası zeminde patlatma noktası ve hemen çevresinde plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir (Resim 4.5, 4.6).

Resim 4.5. Derindeki patlatma ardından yüzeydeki zeminde oluşan plastik deformasyonlar (SK 6)

Resim 4.6. Derin patlatma ardından patlatma noktası yüzeyindeki zeminde oluşan plastik deformasyonlar (SK 7)

4.2 Titreşim Ölçümleri

Çalışmanın amacına uygun olarak mevcut yapıların bulunduğu ve gelecekte yapılaşma düşünülen bölge yönünün patlatma sahasına göre güney doğuda (GD) yer alması nedeniyle, asıl inceleme yönü, GD yönü olarak seçilmiştir. Bu yönde 9 adet derinde ve 6 adet yüzeyde patlatma her bir patlatma için üçer titreşim ölçer ile kayıt altına alınmıştır. Diğer bir ölçüm yönü, 2 adet derinde ve 2 adet yüzeyde patlatmaların ölçümlendiği GB yönüdür. Bu yöndeki ölçüm değerleri çalışmamız kapsamında GD yönündeki ölçüm ve değerlendirmelerle karşılaştırılmıştır.

Tüm patlatmalara ait patlatma yeri ve konumu, patlatma ve ölçüm noktası koordinatları ve aralarındaki mesafe ve patlatılan patlayıcı madde miktarı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Her bir patlatma ölçümüne ait ölçekli mesafeler (SD), Patlatma sonrası ölçümlenen enine (PPV_T), düşey (PPV_V) ve boyuna (PPV_L) bileşenlerdeki maksimum parçacık hızları, Bileşke parçacık hızı (PVS) ve tüm bileşenler arasından seçilen en büyük maksimum parçacık hızları (PPV) ile her bir bileşene ait FFT ile bulunan frekans değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Kullanılan ölçekli mesafeler, Nicholls ve arkadaşları tarafından önerilen ve tüm dünyada kabul gören $SD = R/W^{0,5}$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de belirtilen patlatma özellikleri ve ölçüm sonuçları ölçüm numaraları (ölçüm no.) ile gösterilmiş olup, tezin bu bölümden itibaren her bir veri ölçüm nosu ile adlandırılacaktır.

GD yönünde SK 11 kuyusunda 3 m derinlikteki patlatmada gerçekleştirilen 15 nolu ölçümden titreşim ölçer aleti tarafından herhangi bir kayıt alınamamıştır. Benzer şekilde GB yönünde SK 10 kuyusundaki derin patlatmada gerçekleştirilen 54 nolu ölçüm sonucu kayıt alınamadığı görülmüştür.

Çizelge 4.1. Patlatma ve ölçüm noktaları ile patlatma özellikleri (tüm yönler)

Patlatma Yeri ve Konumu	Ölçüm No	Koordinatlar		Mesafe (m)	Kullanılan Patlayıcı Miktarı (kg TNT)
		Patlatma Noktası			
		Ölçüm Noktası			
SK 7 / Derin	1	487235	4406405	87	2
		487299	4406346		
	2	487235	4406405	102	2
		487309	4406335		
	3	487235	4406405	120	2
		487323	4406324		
SK 8 / Derin	4	487258	4406385	57	1
		487299	4406346		
	5	487258	4406385	71	1
		487309	4406335		
	6	487258	4406385	89	1
		487323	4406324		
SK 7 / Yüzey	7	487235	4406405	87	1
		487299	4406346		
	8	487235	4406405	102	1
		487309	4406335		
	9	487235	4406405	120	1
		487323	4406324		
SK 8 / Yüzey	10	487258	4406385	71	1
		487309	4406335		
	11	487258	4406385	89	1
		487323	4406324		
	12	487258	4406385	108	1
		487336	4406310		
SK 11 / Derin	13	487280	4406366	60	0,5
		487323	4406324		
	14	487280	4406366	79	0,5
		487336	4406310		
	15	487280	4406366	99	0,5
		487351	4406297		
SK 6 / Derin	16	487248	4406420	91	2
		487317	4406360		
	17	487248	4406420	108	2
		487328	4406348		
	18	487248	4406420	123	2
		487341	4406340		
SK 6 / Yüzey	19	487248	4406420	91	1
		487317	4406360		
	20	487248	4406420	108	1
		487328	4406348		
	21	487248	4406420	123	1
		487341	4406340		

Çizelge 4.1. (Devam) Patlatma ve ölçüm noktaları ile patlatma özellikleri (tüm yönler)

Patlatma Yeri ve Konumu	Ölçüm No	Koordinatlar		Mesafe (m)	Kullanılan Patlayıcı Miktarı (kg TNT)
		Patlatma Noktası			
		Ölçüm Noktası			
SK 5 / Derin	22	487272	4406401	61	1
		487317	4406360		
	23	487272	4406401	77	1
		487328	4406348		
	24	487272	4406401	92	1
		487341	4406340		
SK 5 / Yüzey	25	487272	4406401	61	1
		487317	4406360		
	26	487272	4406401	77	1
		487328	4406348		
	27	487272	4406401	92	1
		487341	4406340		
SK 4 / Derin	28	487295	4406381	30	0,5
		487317	4406360		
	29	487295	4406381	47	0,5
		487328	4406348		
	30	487295	4406381	62	0,5
		487341	4406340		
SK 1 / Derin	31	487261	4406435	94	2
		487317	4406360		
	32	487261	4406435	110	2
		487328	4406348		
	33	487261	4406435	124	2
		487341	4406340		
SK 1 / Yüzey	34	487261	4406435	94	1
		487317	4406360		
	35	487261	4406435	110	1
		487328	4406348		
	36	487261	4406435	124	1
		487341	4406340		
SK 2 / Derin	37	487284	4406415	64	1
		487317	4406360		
	38	487284	4406415	80	1
		487328	4406348		
	39	487284	4406415	94	1
		487341	4406340		
SK 2 / Yüzey	40	487284	4406415	64	1
		487317	4406360		
	41	487284	4406415	80	1
		487328	4406348		
	42	487284	4406415	94	1
		487341	4406340		

Çizelge 4.1. (Devam) Patlatma ve ölçüm noktaları ile patlatma özellikleri (tüm yönler)

Patlatma Yeri ve Konumu	Ölçüm No	Koordinatlar		Mesafe (m)	Kullanılan Patlayıcı Miktarı (kg TNT)
		Patlatma Noktası			
		Ölçüm Noktası			
SK 3 / Derin	43	487308	4406394	35	0,5
		487317	4406360		
	44	487308	4406394	50	0,5
		487328	4406348		
	45	487308	4406394	63	0,5
		487341	4406340		
SK 9 / Derin	46	487265	4406394	52	1
		487237	4406350		
	47	487265	4406394	63	1
		487232	4406340		
	48	487265	4406394	74	1
		487212	4406342		
SK 9 / Yüzey	49	487265	4406394	52	1
		487237	4406350		
	50	487265	4406394	63	1
		487232	4406340		
	51	487265	4406394	74	1
		487212	4406342		
SK 10 / Derin	52	487278	4406409	72	1
		487237	4406350		
	53	487278	4406409	83	1
		487232	4406340		
	54	487278	4406409	94	1
		487212	4406342		
SK 10 / Yüzey	55	487278	4406409	72	1
		487237	4406350		
	56	487278	4406409	83	1
		487232	4406340		
	57	487278	4406409	94	1
		487212	4406342		

Çizelge 4.2. Patlatma sonrası GD yönünde ölçümlenen parçacık hızı, frekans ve hava şoku ölçümleri

Patlatma Yeri ve Konumu	Ölç. No	Ölçekli Mesafe (SD)	Maksimum Parçaçık Hızları (mm/sn)					Hava Şoku
SK 7 / Derin	1	61,55	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,020	1,520	2,540	2,96	2,54	9,75 L
		Frekans (Hz)	11	24,8	16,8		16,8	
	2	72,03	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,762	0,635	1,020	1,03	1,02	5,50L
		Frekans (Hz)	10	9,25	12		12	
	3	84,57	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,381	0,508	0,508	0,648	0,508	3,25L
		Frekans (Hz)	9,5	9	10		9	
SK 8 / Derin	4	56,59	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,140	1,520	2,410	2,54	2,41	5,25L
		Frekans (Hz)	18,3	20,8	11,5		11,5	
	5	71,42	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,635	0,635	0,762	0,933	0,762	2,00L
		Frekans (Hz)	12	11	19		19	
	6	89,14	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,254	0,254	0,508	0,539	0,508	2,25L
		Frekans (Hz)	12,3	9	12		12	
SK 7 / Yüzey	7	87,05	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			3,810	5,970	5,210	6,42	5,97	***
		Frekans (Hz)	61,8	25,5	71,3		25,5	
	8	101,86	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,140	3,560	1,400	3,56	3,56	494L
		Frekans (Hz)	26,5	66,8	25		66,5	
	9	119,60	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			4,320	3,050	3,810	5,31	4,32	382L
		Frekans (Hz)	65	65,8	62,3		65	
SK 8 / Yüzey	10	71,42	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,400	5,080	2,410	5,09	5,08	***
		Frekans (Hz)	25,8	24	22		24	
	11	89,14	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			6,100	4,060	5,840	7,91	6,1	492L
		Frekans (Hz)	62	60,8	60,5		62	
	12	108,21	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,020	3,680	1,900	3,76	3,68	397L
		Frekans (Hz)	69,3	66,8	19,8		66,8	
SK 11 / Derin	13	85,01	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			2,030	1,140	1,140	2,08	2,03	3,25L
		Frekans (Hz)	16,5	11	10,8		16,5	
	14	112,00	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,381	0,508	0,508	0,582	0,508	4,75L
		Frekans (Hz)	9	10	13		10	
	15	140,01	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			Kayıt Alınamamıştır					
		Frekans (Hz)						

Çizelge 4.2. (Devam) Patlatma sonrası GD yönünde ölçümlenen parçacık hızı, frekans ve hava şoku ölçümleri

Patlatma Yeri ve Konumu	Ölç. No	Ölçekli Mesafe (SD)	Maksimum Parçaçık Hızları (mm/sn)					Hava Şoku
SK 6 / Derin	16	64,66	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,889	0,762	1,140	1,31	1,14	4,25L
		Frekans (Hz)	31,5	8,5	13,5		13,5	
	17	76,11	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,762	0,635	0,889	1,1	0,889	3.25L
		Frekans (Hz)	13,05	8,25	10,5		10,5	
	18	86,74	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,381	0,508	0,889	0,925	0,889	2,75L
		Frekans (Hz)	14,3	8	13,3		13,3	
SK 6 / Yüzey	19	91,44	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			4,570	6,980	14,600	14,7	14,6	***
		Frekans (Hz)	60	47,5	66		66	
	20	107,63	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			2,670	5,080	2,790	5,12	5,08	496L
		Frekans (Hz)	29,5	25,8	18,5		25,8	
	21	122,67	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,900	4,830	2,030	4,83	4,83	***
		Frekans (Hz)	58	20,8	14,8		20,8	
SK 5 / Derin	22	60,88	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,400	1,270	2,290	2,29	2,29	8,25L
		Frekans (Hz)	34,5	34,8	9,5		9,5	
	23	77,10	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,400	1,020	0,889	1,4	1,4	4,75L
		Frekans (Hz)	13,3	23,3	14,3		13,3	
	24	92,10	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,381	0,508	1,140	1,25	1,14	6,50L
		Frekans (Hz)	12,3	9,75	13		13	
SK 5 / Yüzey	25	60,88	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			6,600	11,600	19,300	19,7	19,3	***
		Frekans (Hz)	60,5	29,8	33		33	
	26	77,10	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			2,670	6,600	3,430	6,74	6,6	493L
		Frekans (Hz)	12,8	26	18		26	
	27	92,10	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			2,160	5,590	2,290	5,59	5,59	***
		Frekans (Hz)	12,8	20,5	13,3		20,5	
SK 4 / Derin	28	43,01	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			10,500	9,020	16,900	17,4	16,9	19,8L
		Frekans (Hz)	39,3	39	25,5		25,5	
	29	66,00	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			2,410	1,780	4,320	4,45	4,32	10,5L
		Frekans (Hz)	15	11,5	14,3		14,3	
	30	87,14	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,140	0,762	1,520	1,58	1,52	7,75L
		Frekans (Hz)	14,3	11,3	13		13	

Çizelge 4.2. (Devam) Patlatma sonrası GD yönünde ölçümlenen parçacık hızı, frekans ve hava şoku ölçümleri

Patlatma Yeri ve Konumu	Ölç. No	Ölçekli Mesafe (SD)	Maksimum Parçaçık Hızları (mm/sn)					Hava Şoku
SK 1 / Derin	31	66,19	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,508	0,635	1,020	1,16	1,02	4,25L
		Frekans (Hz)	14,5	11,3	14,5		14,5	
	32	77,65	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,508	0,635	1,140	1,16	1,14	4,00L
		Frekans (Hz)	13,8	9,5	14,5		14,5	
	33	87,82	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,508	0,508	0,889	0,907	0,889	4,00L
		Frekans (Hz)	12,5	11,5	13		13	
SK 1 / Yüzey	34	93,60	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			4,570	6,730	12,700	13,1	12,7	***
		Frekans (Hz)	59	47	68,8		68,8	
	35	109,81	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			2,030	4,700	2,540	4,84	4,7	495L
		Frekans (Hz)	18	24,8	17,8		24,8	
	36	124,20	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			2,030	4,700	1,900	4,7	4,7	***
		Frekans (Hz)	54,5	18,8	13		18,8	
SK 2 / Derin	37	64,14	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,400	0,635	1,270	1,41	1,4	8,25L
		Frekans (Hz)	17,3	33,8	31,5		17,3	
	38	80,16	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,889	0,635	0,889	1,04	0,889	6,75L
		Frekans (Hz)	13,8	10,8	9		9	
	39	94,20	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			0,508	0,381	0,635	0,898	0,635	5,25L
		Frekans (Hz)	11,3	9,75	12		12	
SK 2 / Yüzey	40	64,14	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			9,520	11,300	22,600	23,200	22,6	***
		Frekans (Hz)	58,5	45,3	69,3		69,3	
	41	80,16	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			3,810	8,380	5,330	8,580	8,38	***
		Frekans (Hz)	21,5	25,5	51,5		25,5	
	42	94,20	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			3,810	7,750	4,060	7,750	7,75	***
		Frekans (Hz)	54	54,5	63		54,5	
SK 3 / Derin	43	49,74	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			2,030	2,160	3,170	3,540	3,17	9,00L
		Frekans (Hz)	15,5	28	16,3		16,3	
	44	70,94	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,650	1,270	2,410	3,060	2,41	5,75L
		Frekans (Hz)	14,3	25	16,3		16,3	
	45	89,50	PPV T	PPV V	PPV L	PVS	(PPV)	pa./dB
			1,140	0,508	1,020	1,280	1,14	4,00L
		Frekans (Hz)	11,5	10,8	13,3		11,5	

Çizelge 4.3. Patlatma sonrası GB yönünde ölçümlenen parçacık hızı, frekans ve hava şoku ölçümleri

Patlatma Yeri ve Konumu	Ölç. No	Ölçekli Mesafe (SD)	Maksimum Parçaçık Hızları (mm/sn)					Hava Şoku
SK 9 / Derin	46	52,15	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			1,140	2,290	2,920	3	2,92	***
		Frekans (Hz)	12,3	9,75	18		18	
	47	63,29	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			1,270	0,762	2,290	2,32	2,29	495L
		Frekans (Hz)	14,3	9,25	9,5		9,5	
	48	74,25	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			0,762	0,381	0,635	0,803	0,762	***
		Frekans (Hz)	13	10,5	9,75		13	
SK 9 / Yüzey	49	52,15	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			2,920	6,730	10,400	10,900	10,4	8,25L
		Frekans (Hz)	36,8	30	23		23	
	50	63,29	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			5,970	9,780	4,950	10,100	9,78	6,75L
		Frekans (Hz)	55,5	61	41		61	
	51	74,25	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			2,410	8,130	4,830	8,130	8,13	5,25L
		Frekans (Hz)	65,8	69,3	23,3		69,3	
SK 10 / Derin	52	71,85	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			0,508	0,889	1,140	1,270	1,14	***
		Frekans (Hz)	12,3	10	10,05		10,05	
	53	82,93	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			0,889	0,381	0,635	0,907	0,889	***
		Frekans (Hz)	12,3	10,3	9,5		12,3	
	54	94,05	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			Kayıt Alınamamıştır					
		Frekans (Hz)						
SK 10 / Yüzey	55	71,85	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			1,780	5,080	6,980	7,730	6,98	9,00L
		Frekans (Hz)	23,3	37,3	23		23	
	56	82,93	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			4,700	8,510	3,810	8,780	8,51	5,75L
		Frekans (Hz)	56,8	61,3	61,8		61,3	
	57	94,05	PPV T	PPV V	PPV L	PSV	(PPV)	pa./dB
			2,160	7,240	4,190	7,28	7,24	4,00L
		Frekans (Hz)	61,5	22,5	19,5		22,5	

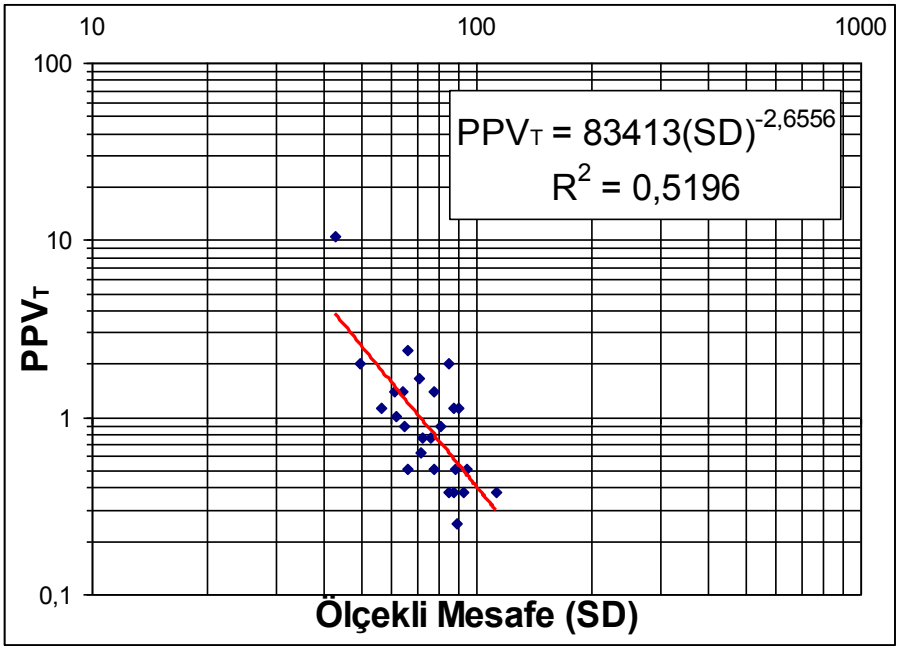
4.3. Derindeki Patlatmaların GD Yönündeki Ölçümleri ve Değerlendirilmesi

GD yönündeki ölçümlerde derinde gerçekleştirilen patlatmalarda ilgili olarak Çizelge 4.2'de ölçekli mesafenin 43,01 ila 140,01 arasında değiştiği görülmektedir. Gene bu yön ve patlatma konumu için ölçümlenen tüm bileşenlerde(boyuna, düşey ve enine) FFT analizi ile elde edilen etken frekans değerleri ise 8 – 34,5 Hz arasında değişmektedir. Tüm bileşenler arasında ölçümlenen en yüksek parçacık hızları (PPV) 0,508 ve 16,9 mm/sn arasındadır. Ayrıca ölçümlenen bu parçacık hızları (PPV) için en düşük frekans değeri, 9 Hz ile 3. ve 38. ölçümlerde tespit edilmiştir. Ölçümlenen düşük hava şoku değerleri, bu bölümde irdelenen patlatmaların her birinin 3 m derinlikteki sondaj kuyuları içinde gömülerek patlatılmasından kaynaklanmaktadır. Bu değerler, 19,8 L ve 2,00 L arasında değişmektedir.

Derindeki patlatmalar sonucu Nicholls ve arkadaşları tarafından önerilen Eş. 2.59 ile ölçekli mesafe fikrinin göz önünde bulundurulduğu yer sarsıntısı tahmin modeline göre enine, düşey ve boyuna bileşenler için ölçümlenen maksimum parçacık hızları ve ölçekli mesafeler arasındaki ilişkiler ayrı ayrı incelenmiştir. Yapılan istatistiki değerlendirmeler neticesinde, zemine özgü sarsıntı iletim katsayıları (K) ve arazi katsayısı (jeolojik sabit) (β) değerleri belirli korelasyon katsayıları değerlerinde (r) bulunmuştur.

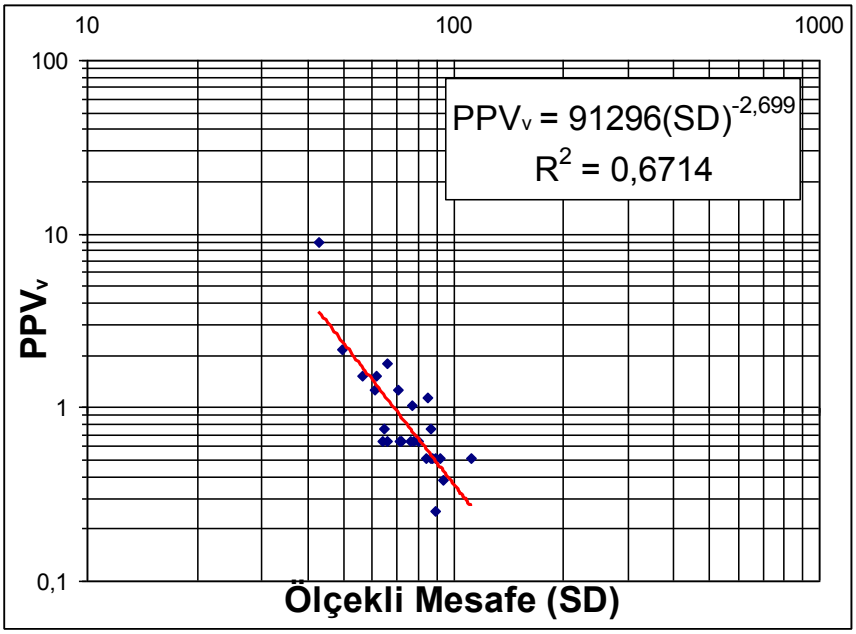
Korelasyon, olasılık kuramı ve istatistikte iki bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü belirtir. Genel istatistiksel kullanımda korelasyon, bağımsızlık durumundan ne kadar uzaklaşıldığının bir göstergesidir. Çalışmada bulunan korelasyon katsayılarının negatif olması Nicholes ve Ark eşitliğinin öngördüğü ölçekli mesafe tanımı doğrultusunda, ölçekli mesafe ve maksimum parçacık hızları veri kümeleri arasındaki negatif ilişkiden kaynaklanmaktadır. Genellikle tablolarda kullanılan R^2 terimi ise Pearson çarpım moment korelasyon katsayısının karesi (coefficient of determination) olarak tanımlanır. Bu değer hesaplanan korelasyon katsayısı (r) değerlerimizin karesidir.

Şekil 4.1'de enine bileşende maksimum parçacık hızı (PPV_T) – ölçekli mesafe ilişkisi gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,72 için K değeri 83413 ve β değeri -2,66 olarak bulunmuştur.



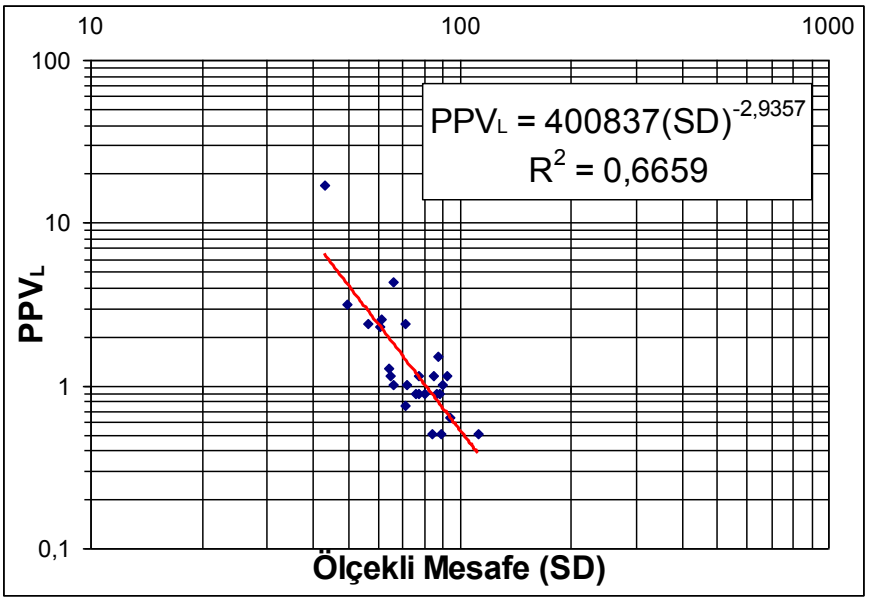
Şekil 4.1. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_T – ölçekli mesafe ilişkisi

Şekil 4.2'de düşey yönde maksimum parçacık hızı (PPV_V) – ölçekli mesafe ilişkisi gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,82 için K değeri 91296 ve β değeri -2,70 olarak bulunmuştur.



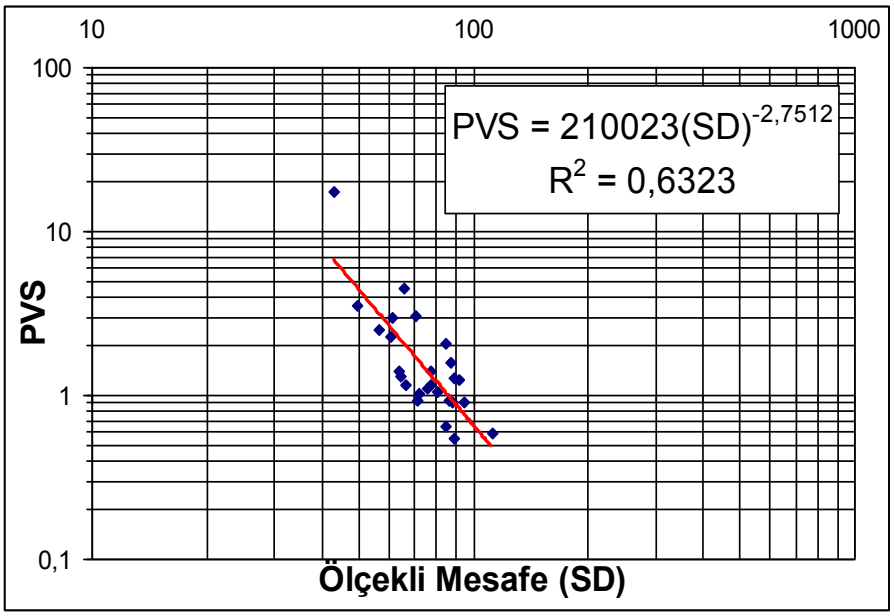
Şekil 4.2. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_V – ölçekli mesafe ilişkisi

Şekil 4.3'de boyuna maksimum parçacık hızı (PPV_L) – ölçekli mesafe ilişkisi gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,82 için K değeri 400837 ve β değeri -2,94 olarak bulunmuştur.



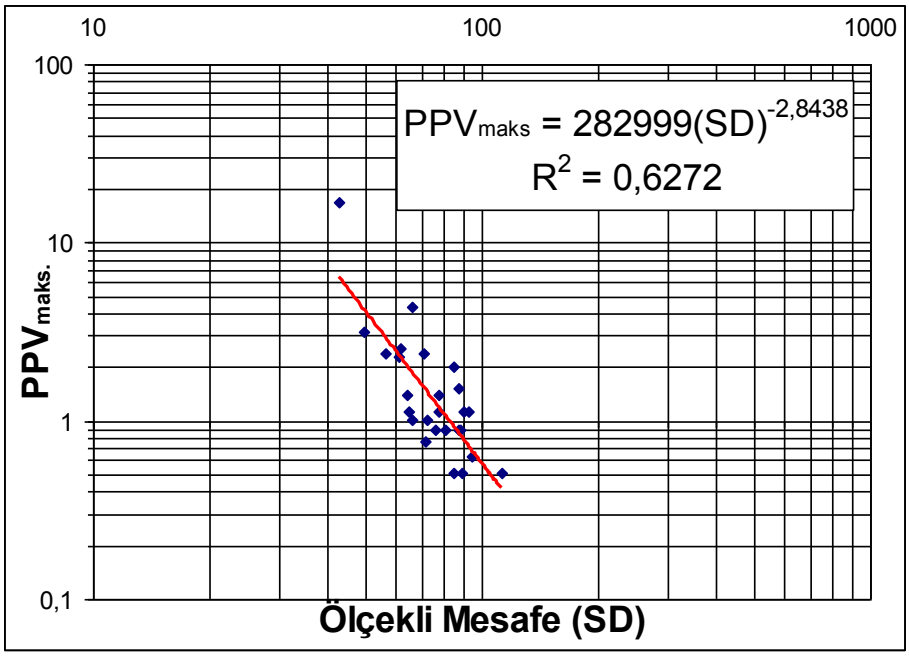
Şekil 4.3. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_L – ölçekli mesafe ilişkisi

Maksimum parçacık hızları bileşkesi (PVS) – ölçekli mesafe ilişkisi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,80 için K değeri 210023 ve β değeri -2,75 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.4. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki PVS – ölçekli mesafe ilişkisi

Tüm bileşenler arasındaki en büyük maksimum parçacık hızları (PPV) – ölçekli mesafe ilişkisi Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,79 için K değeri 282999 ve β değeri -2,84 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.5. Derindeki patlatmalarda GD yönündeki maksimum PPV – ölçekli mesafe İlişkisi

Derindeki patlatmalar sonucu bulunan verilerin $PPV = K\left(R/W^{1/2}\right)^{-\beta}$ tahmin modeline göre istatistiksel olarak incelenmesi neticesinde elde edilen değerler ve saha sabitleri Çizelge 4.4'de özetlenmiştir.

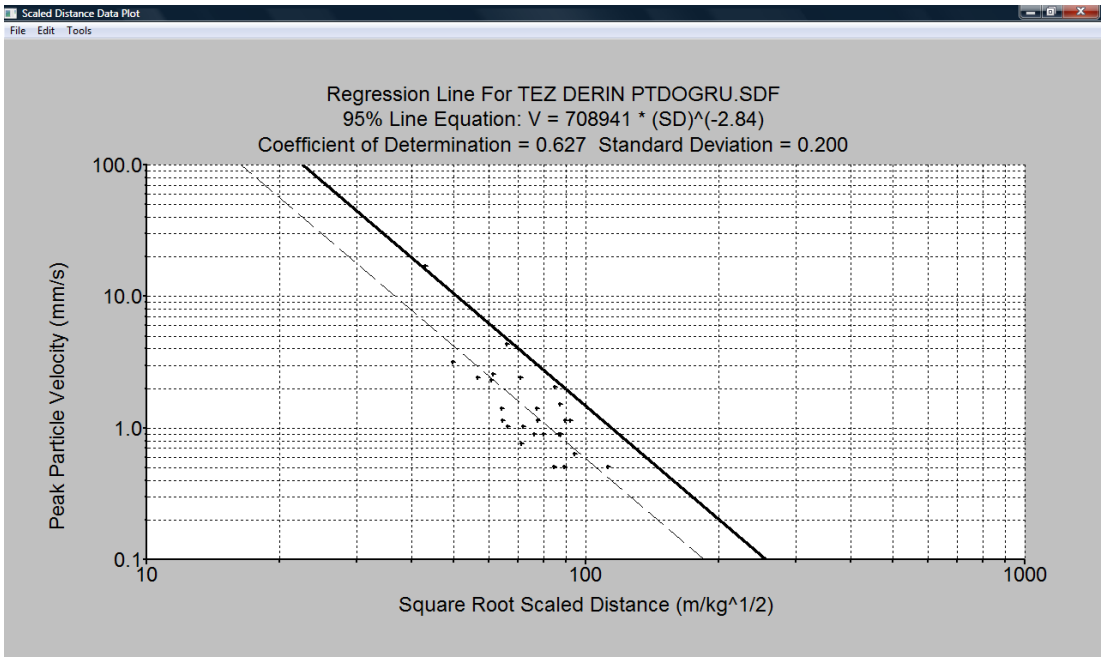
Çizelge 4.4. Derinde patlatmalar sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi

Saha Sabitleri	Parçacık Hızı Bileşenleri				
	PPV_T	PPV_V	PPV_L	PVS	(PPV)
K	83413	91296	400837	210023	282999
β	-2,66	-2,70	-2,94	-2,75	-2,84
İstatistiki Değerlendirme					
r	-0,72	-0,82	-0,82	-0,80	-0,79
R^2	0,52	0,67	0,67	0,64	0,62

Bu bilgiler ışığında maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasındaki ilişki derindeki patlatmalar için GD yönünde;

$$PPV = 282999\left(\frac{R}{W^{1/2}}\right)^{-2,84} \tag{4.1}$$

eşitliği ile tanımlanabilir. Burada önemli bir nokta elde edilen denklemlerin verilerin ortalama (%50) regresyon doğrusunu vermesidir. Elde edilen veriler kümesini daha geniş bir bantta yansıtan %95 regresyon doğrusunun bulunması ve maksimum parçacık hızı tahmininde kullanılması, daha sağlıklı bir model oluşturmamızı sağlayacaktır. Blastware yazılımı ile %95 doğrusunun analizi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Derindeki patlatmalarda %95 doğrusu ile PPV – Ölçekli Mesafe ilişkisi program çıktısı

Bu bilgiler ışığında maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkisi Eş. 4.2'deki gibi tanımlanabilir.

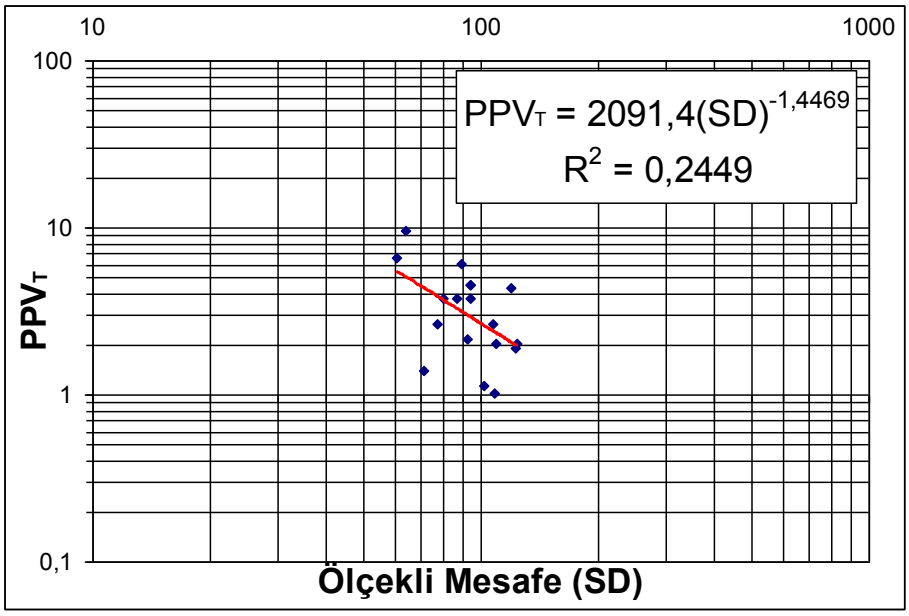
$$PPV = 70894\left(\frac{R}{W^{1/2}}\right)^{-2,84} \tag{4.2}$$

4.4. Yüzeydeki Patlatmaların GD Yönündeki Ölçümleri ve Değerlendirilmesi

GD yönündeki ölçümlerde yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda ilgili olarak Çizelge 4.2'de ölçekli mesafenin 60,88 ila 124,20 arasında değiştiği görülmektedir. Gene bu yön ve patlatma konumu için ölçümlenen tüm bileşenler de(boyuna, düşey ve enine) FFT analizi ile elde edilen etken frekans değerleri ise 12,8 - 71,3 Hz arasında değişmektedir. Tüm bileşenler arasında ölçümlenen en yüksek parçacık hızları (PPV) 1,02 - 22,6 mm/sn arasındadır. Ayrıca ölçümlenen bu parçacık hızları (PPV) için en düşük frekans değeri, 18,8 Hz ile 36 nolu ölçümde tespit edilmiştir. Ölçümlenen hava şoku değerlerinin oldukça yüksek olması ve pek çok patlatmada alet ölçüm limitini aşan hava şoklarının tespit edilmesi, bu konuda sağlıklı bir değerlendirme yapılamamasına neden olmuştur. Ölçülen minimum hava şoku 382L'dir.

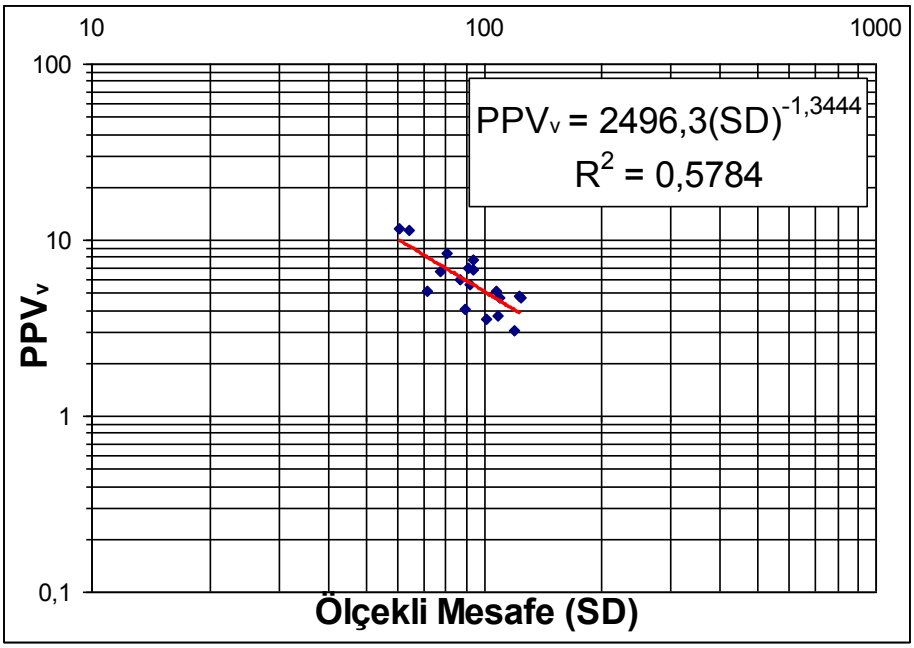
Derindeki patlatmalarda olduğu gibi yüzeydeki patlatmalarda da Nicholls ve arkadaşları tarafından önerilen eşitlik ile ölçekli mesafe fikrinin göz önünde bulundurulduğu yer sarsıntısı tahmin modeline göre enine, düşey ve boyuna bileşenler için ölçümlenen maksimum parçacık hızları ve ölçekli mesafeler arasındaki ilişkiler ayrı ayrı incelenmiş ve istatistiki değerlendirmeler sonucu, yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda zemine özgü sarsıntı iletim katsayıları (K) ve arazi katsayısı (jeolojik sabit) (β) değerleri belirli korelasyon katsayıları değerlerinde (r) bulunmuştur. Bulunan korelasyon katsayılarının negatif olması gene Nicholls ve arkadaşları eşitliğinin (Eş. 2.62) öngördüğü ölçekli mesafe tanımı doğrultusunda, ölçekli mesafe ve maksimum parçacık hızları veri kümeleri arasındaki negatif ilişkiden kaynaklanmaktadır. Yüzeydeki patlatmalar sonrası ölçümlerde bir ortak özellik ise ölçekli mesafe ve maksimum parçacık hızları arasındaki ilişkilerin derindeki patlatmalara göre daha düşük mertebelerde ilgileşim içinde olduklarıdır.

Şekil 4.7'de yüzeydeki patlatmalarda enine maksimum parçacık hızı (PPV_T) – ölçekli mesafe ilişkisi gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,50 için K değeri 2091,4 ve β değeri -1,45 olarak bulunmuştur.



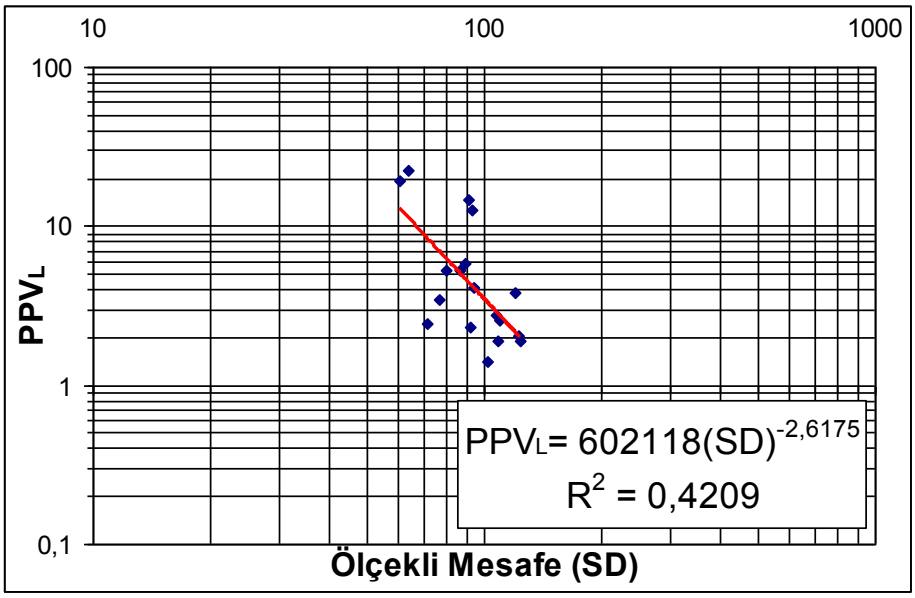
Şekil 4.7. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_T – ölçekli mesafe ilişkisi

Şekil 4.8'de yüzeydeki patlatmalarda enine maksimum parçacık hızı (PPV_V) – ölçekli mesafe ilişkisi gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,76 için K değeri 2496,30 ve β değeri -1,34 olarak bulunmuştur.



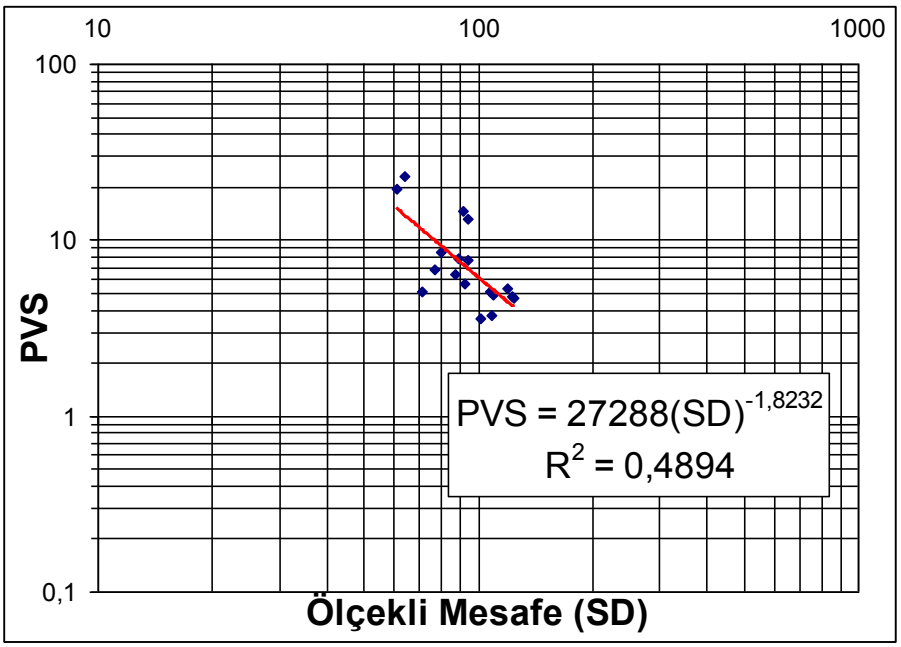
Şekil 4.8. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_V – ölçekli mesafe ilişkisi

Şekil 4.9.'da yüzeydeki patlatmalarda enine maksimum parçacık hızı (PPV_L) – ölçekli mesafe ilişkisi gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,65 için K değeri 602118 ve β değeri -2,62 olarak bulunmuştur.



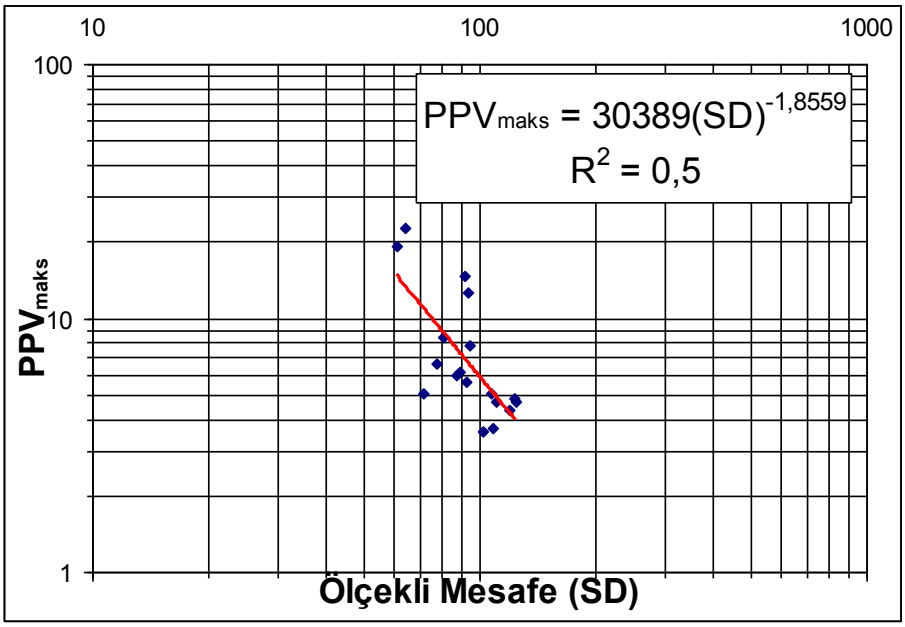
Şekil 4.9. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki PPV_L – ölçekli mesafe ilişkisi

Şekil 4.10'da yüzeydeki patlatmalarda enine maksimum parçacık hızı (PVS) – ölçekli mesafe ilişkisi gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,70 için K değeri 27288 ve β değeri -1,82 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.10. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki maksimum PVS – ölçekli mesafe ilişkisi

Tüm bileşenler arasındaki en büyük maksimum parçacık hızları (PPV) – ölçekli mesafe ilişkisi Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Bu ilişki sonucu r = -0,71 için K değeri 30389 ve β değeri -1,86 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.11. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönündeki maksimum PPV – ölçekli mesafe ilişkisi

Yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalar sonucu bulunan verilerin $PPV = K\left(R/W^{1/2}\right)^{-\beta}$ tahmin modeline göre istatistiksel olarak incelenmesi neticesinde elde edilen değerler ve saha sabitleri Çizelge 4.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.5. Yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalar sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesi

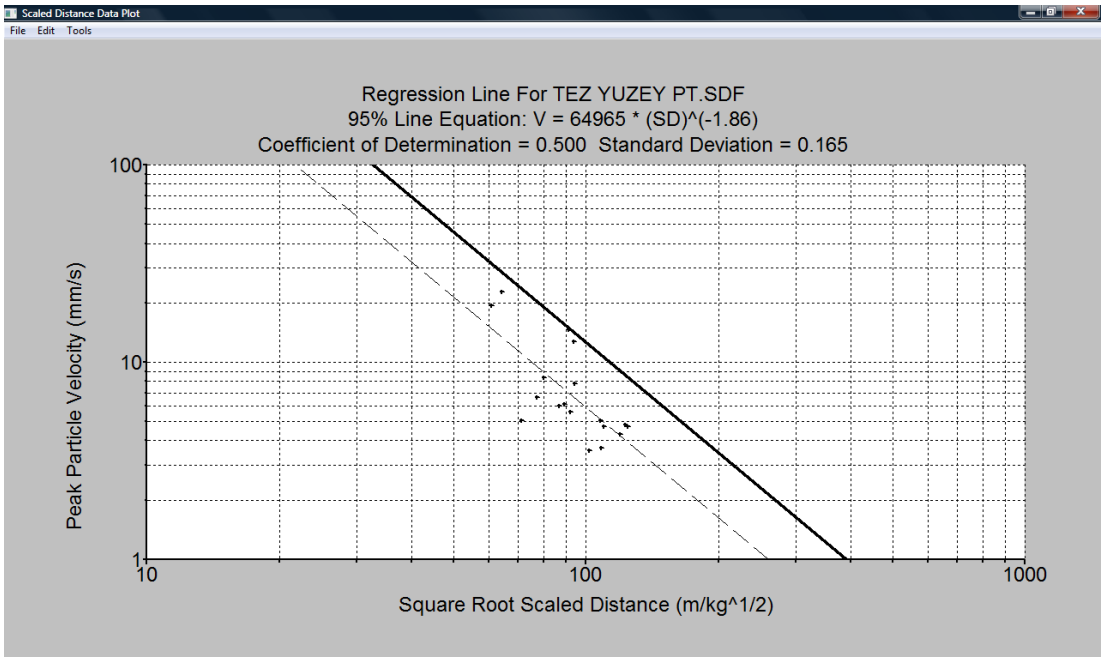
Saha Sabitleri	Parçacık Hızı Bileşenleri				
	PPV_T	PPV_V	PPV_L	PVS	(PPV)
K	2091,4	2496,3	602118	27288	30389
β	-1,45	-1,34	-2,62	-1,82	-1,86
İstatistiki Değerlendirme					
r	-0,50	-0,76	-0,65	-0,70	-0,71
R²	0,25	0,58	0,42	0,49	0,50

Bu bilgiler ışığında maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasındaki ilişki derindeki patlatmalar için GD yönünde;

$$PPV = 30389\left(\frac{R}{W^{1/2}}\right)^{-1,86} \tag{4.3}$$

eşitliği ile tanımlanabilir. Derindeki patlatmalara benzer şekilde %95 regresyon doğrusunun tanımlanması ile (Şekil 4.12) maksimum parçacık hızı (PPV) ve ölçekli mesafe arasındaki ilişki Eş. (4.4) ile tanımlanabilir.

$$PPV = 64965\left(\frac{R}{W^{1/2}}\right)^{-1,86} \tag{4.4}$$



Şekil 4.12. Yüzeydeki patlatmalarda %95 doğrusu ile PPV – ölçekli mesafe ilişkisi program çıktısı

4.5. Derinde ve Yüzeyde Gerçekleştirilen Patlatma Etkilerinin Karşılaştırılması

Zeminde derinde ve yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalara ait ölçüm verileri karşılaştırılmasında aynı ölçekli mesafe (SD) değerlerine sahip ölçümler kullanılmıştır (Çizelge 4.6). Bu ölçümlerin sonuçlarına göre derinde (D) gerçekleştirilen patlatmalarda maksimum parçacık hızlarının yüzeyde (Y) gerçekleştirilen patlatmalarda elde edilen verilerle karşılaştırılması sonucu enine bileşende (PPV_T) % 47,57 ila % 86,67 oranında bir azalış olduğu görülmüştür. Bu azalış miktarı düşey bileşende (PPV_L) % 95,08 ila %89,05 arasında, boyuna bileşende (PPV_L) %50,22 ila %94,38 ve tüm bileşenler içindeki en büyük maksimum parçacık hızları ($PPV_{maks.}$) arasında ise %78,79 ila %93,81 arasında görülmektedir.

Çizelge 4.6. Aynı ölçekli mesafe değerlerine sahip derin ve yüzeydeki patlatmalarda PPV ölçümlerinin değişimi

	Ölçekli Mesafe Değerleri (SD)											
	60,88		77,10		92,10		64,14		80,16		94,20	
Konumu	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D
PPV T (mm/sn)	6,6	1,4	2,67	1,4	2,16	0,38	9,52	1,4	3,81	0,89	3,81	0,51
Azalış Oranı %	78,79		47,57		82,36		85,29		76,67		86,67	
PPV v (mm/sn)	11,6	1,27	6,6	1,02	5,59	0,51	11,3	0,64	8,38	0,64	7,75	0,38
Azalış Oranı %	89,05		84,55		90,91		94,38		92,42		95,08	
PPV L (mm/sn)	19,3	2,29	3,43	0,89	2,29	1,14	22,6	1,27	5,33	0,89	4,06	0,64
Azalış Oranı %	88,13		74,08		50,22		94,38		83,32		84,36	
PVS (mm/sn)	19,7	2,29	6,74	1,4	5,59	1,25	23,2	1,41	8,58	1,04	7,75	0,9
Azalış Oranı %	88,38		79,23		77,64		93,92		87,88		88,41	
PPVmaks (mm/sn)	19,3	2,29	6,6	1,4	5,59	1,14	22,6	1,4	8,38	0,89	7,75	0,64
Azalış Oranı %	88,13		78,79		79,61		93,81		89,39		91,81	

Benzer şekilde FFT analizi ile elde edilen frekans değerlerindeki değişim karşılaştırıldığında tüm bileşenler için ölçümlenen en büyük maksimum parçacık hızları (PPV_{maks}) için frekansların yüzeydeki patlatmalara göre derindeki patlatmalarda %36,59 ila %77,98 arasında azalım gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.7. Aynı ölçekli mesafe değerlerine sahip derin ve yüzeydeki patlatmalarda frekans değerlerinin değişimi

	Ölçekli Mesafe Değerleri (SD)											
	60,88		77,10		92,10		64,14		80,16		94,20	
Konumu	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D	Y	D
PPV maks Frekans	33	9,5	26	13,3	20,5	13	69,3	17,3	25,5	9	54,5	12
Azalış Oranı %	71,21		48,85		36,59		75,04		64,71		77,98	

4.6. GB Yönündeki Ölçümlerin GD Yönü ile Karşılaştırılması

Derinde gerçekleştirilen patlatmalarda GB yönünde yapılan ölçümlerin, GD yönü için bulunan maksimum parçacık hızı tahmin modellerinden bulunan değerler ile karşılaştırılması Çizelge 4.8'de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Derindeki patlatmalarda GD yönü için elde edilen PPV tahmin modelinin GB yönünde uygulanması ve GB yönünde ölçümlenen PPV'ler ile karşılaştırılması

Ölçekli Mesafe (SD)	GD Yönü için Elde Edilen PPV-SD İlişkisi İle Bulunan Tahmini PPV Değerleri (mm/sn)				GB Yönünde Ölçümlenen Değerler (mm/sn)			
	PPV T	PPV V	PPV L	(PPV)	PPV T	PPV V	PPV L	(PPV)
52,15	1,140	2,290	2,920	2,92	2,295	2,116	3,644	3,7
63,29	1,270	0,762	2,290	2,29	1,373	1,255	2,065	2,134
74,25	0,762	0,381	0,635	0,762	0,898	0,816	1,292	1,355
71,85	0,508	0,889	1,140	1,14	0,98	0,891	1,423	1,488
82,93	0,889	0,381	0,635	0,889	0,67	0,605	0,934	0,989
r					0,59	0,954	0,936	0,938

GD yönü için bulunan maksimum parçacık hızı tahmin modelleriyle GB yönü için bulunan değerlerin GB yönünde ölçümlenen maksimum parçacık hızı değerleriyle karşılaştırılması sonucu PPV_T değerleri arasındaki korelasyon ilişkisi 0,59 bulunurken bu değer, PPV_V ler arasında 0,95, PPV_L ler ve PPV_{maks} değerleri arasında 0,94 olarak görülmektedir. Bu durum her iki yöndeki patlatmaların düşey ve boyuna bileşenlerdeki maksimum parçacık hızlarının birbirleri ile oldukça yakın olduğunu

göstermektedir. Ayrıca bu durum bileşenler arasındaki en büyük maksimum parçacık hızları arasında da mevcuttur.

Yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda GB yönünde yapılan ölçümlerin, GD yönü için bulunan maksimum parçacık hızı tahmin modellerinden bulunan değerler ile karşılaştırılması ise Çizelge 4.9'de verilmektedir.

Çizelge 4.9. Yüzeydeki patlatmalarda GD yönü için elde edilen PPV tahmin modelinin GB yönünde uygulanması ve GB yönünde ölçümlenen PPV'ler ile karşılaştırılması

Ölçekli Mesafe (SD)	GD Yönü için Elde Edilen PPV-SD İlişkisi İle Bulunan Tahmini PPV Değerleri (mm/sn)				GB Yönünde Ölçümlenen Değerler (mm/sn)			
	PPV T	PPV V	PPV L	(PPV)	PPV T	PPV V	PPV L	(PPV)
52,15	2,920	6,730	10,400	10,4	6,767	12,48	19,07	19,43
63,29	5,970	9,780	4,950	9,78	5,112	9,628	11,49	13,56
74,25	2,410	8,130	4,830	8,13	4,054	7,773	7,559	10,07
71,85	1,780	5,080	6,980	6,98	4,252	8,123	8,239	10,71
82,93	4,700	8,510	3,810	8,51	3,454	6,703	5,658	8,202
94,05	2,160	7,240	4,190	7,24	2,878	5,662	4,069	6,49
r					**-0,024**	**-0,135**	**0,879**	**0,768**

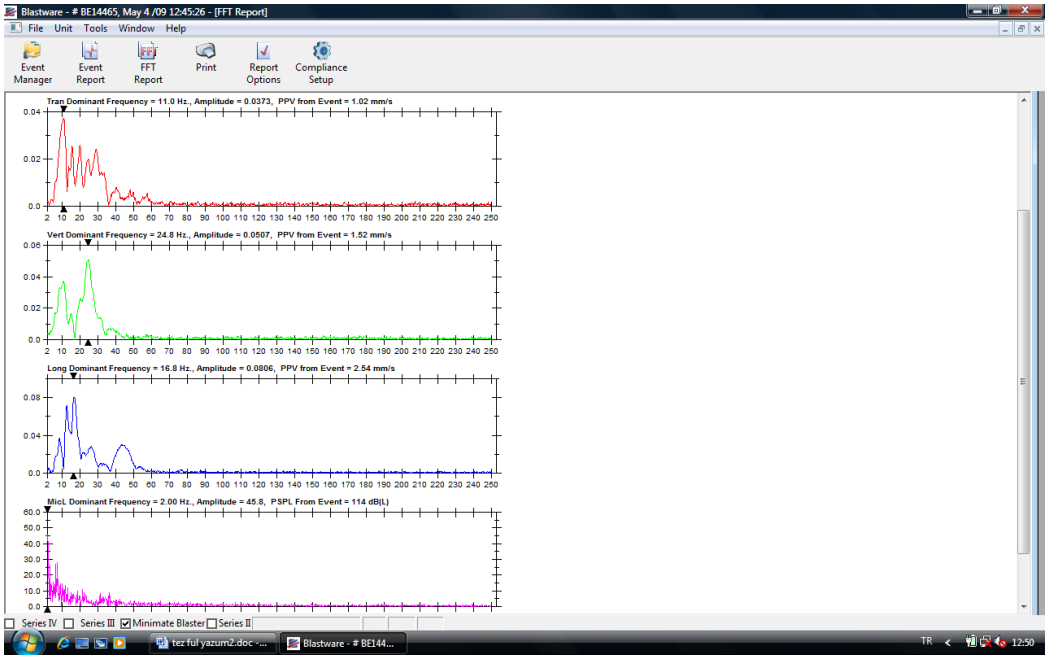
Yüzeydeki patlatmalarda GD yönü için bulunan maksimum parçacık hızı tahmin modelleriyle GB yönü için bulunan değerlerin GB yönünde ölçümlenen maksimum parçacık hızı değerleriyle karşılaştırılması sonucu PPV_T ve PPV_V ler için değerler arasındaki korelasyon ilişkisi oldukça düşükken bu değer, PPV_L arasında 0,88 ve PPV_{maks} değerleri arasında 0,77 olarak görülmektedir.

Burada unutulmaması gereken bir ayrıntı GB yönünde ölçümlenen veri sayısının azlığıdır. Bu nedenle bu yön için kullanılabilecek sağlıklı maksimum parçacık hızı tahmin modelleri için daha çok veriye ihtiyaç vardır.

4.7. Frekans Analizi

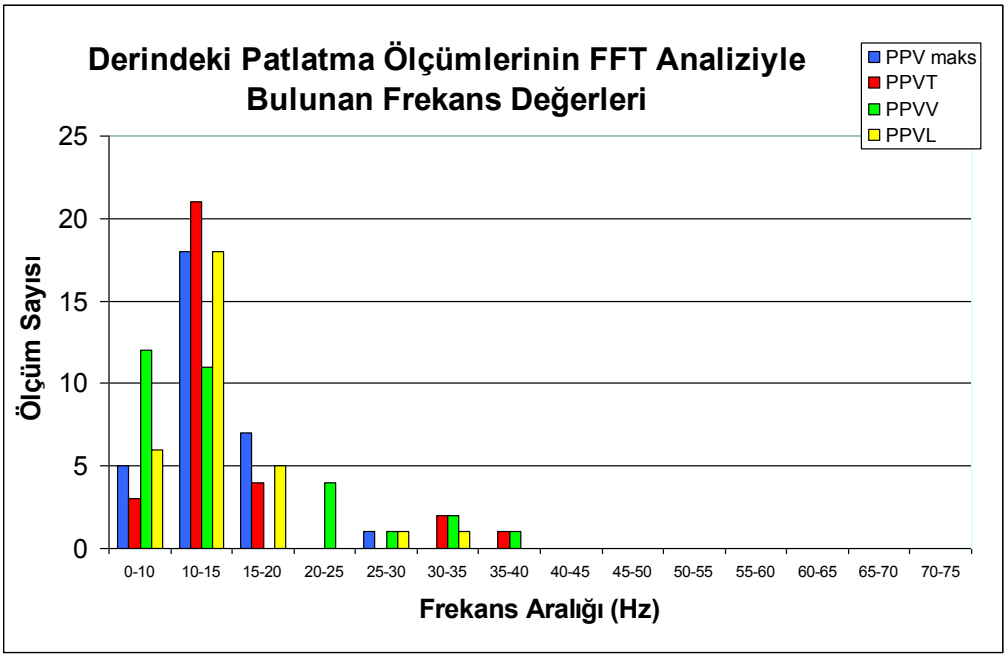
Önceki bölümlerde frekansın öneminden ve frekans değerlerinin bulunması konusunda farkı frekans okumalarının yapılabileceğinden bahsedilmişti. Bunun temel sebebinin ise sismik dalgaların sinusoidal olarak basitleştirilmesi ve frekans hesaplama tekniklerinin Fast Fourier Transformasyonundan (FFT) bahsedilmişti. Patlatlamaların hasar kriterlerine göre değerlendirilmesine geçmeden önce yapılan deneme patlatmalarının gerçek frekans değerlerinin belirlenmesi ve yorumlanması gerekmektedir.

Herhangi bir frekansın doğru olarak yorumlanabilmesi için dalga formunun "frekans spektrumu" nu elde etmek gerekmektedir. Böylece incelenen dalga formunun hangi frekans bantlarını taşıdığı ve parçacık hızının maksimum olduğu yerdeki frekans değerinin ne olduğu anlaşılabilmektedir. Bu analiz titreşim ölçer verilerinin, herhangi bir veri analiz programı ile FFT analizleri sonucu bulunabilmektedir (Şekil 4.13). Çalışmamızda tüm ölçüm verilerine ait 3 bileşende kaydedilen maksimum parçacık hızına denk gelen frekans değerleri FFT analizi ile bulunmuştur (Bkz. Ek 3).

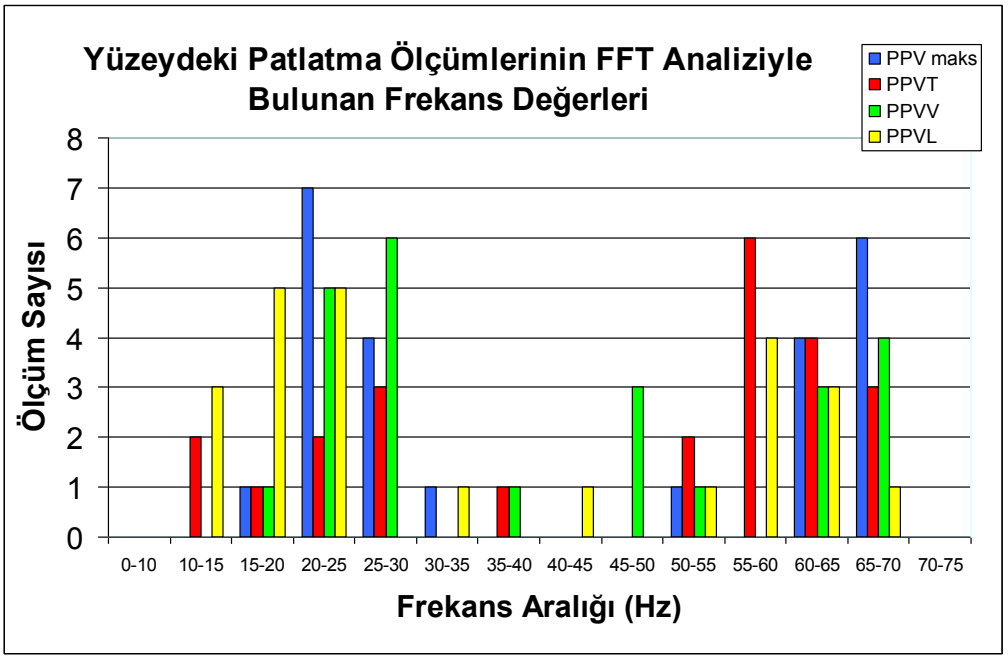


Şekil 4.13. Blastware programı ile FFT analizi örnek gösterimi

Aşağıda FFT analizinden elde edilen frekanslar patlatma konumuna göre iki ayrı grafikte gösterilmiştir (Şekil 4.14, 4.15).



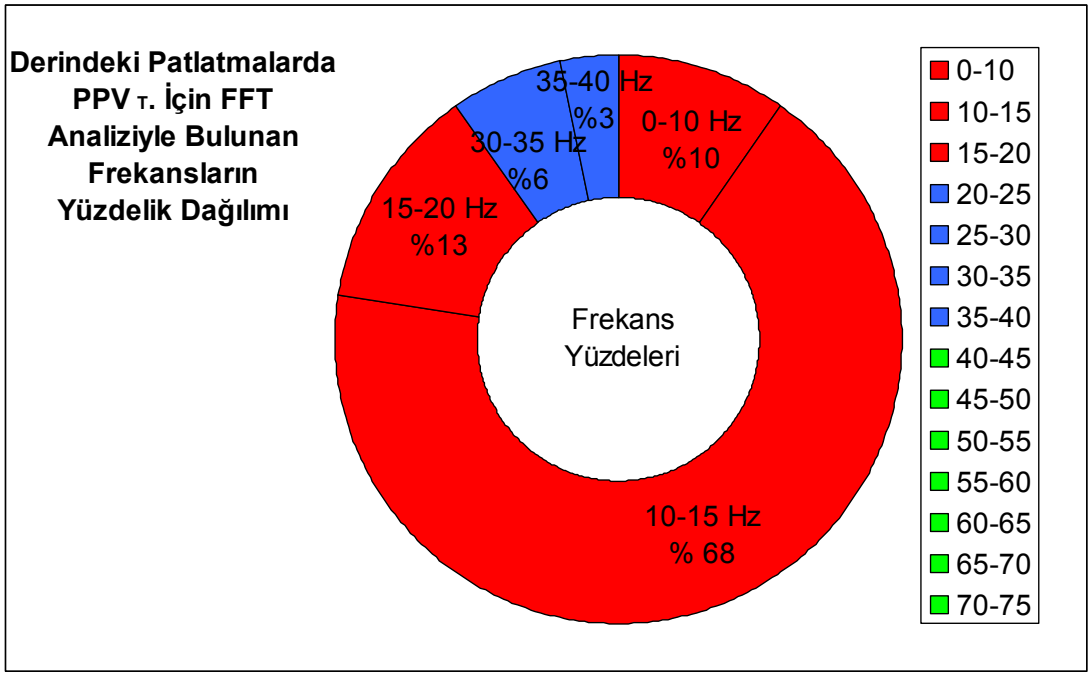
Şekil 4.14. Derindeki patlatma ölçümlerinin frekans aralıkları



Şekil 4.15. Yüzeydeki patlatma ölçümlerinin frekans aralıkları

Bu grafiklere göre derinde gerçekleştirilen patlatmalardan elde edilen frekans değerlerinin 10 – 20 Hz aralığında yoğunlaştığı, yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda ise bu değerin 20 - 30 ve 55 - 70 Hz aralıklarında olmak üzere iki ayrı kümede yoğunlaştığı görülmektedir. Bu sonuçlar ile yüzeyde gerçekleştirilen patlatmaların daha karmaşık bir frekans dağılımına sahip olduğu görülebilmektedir.

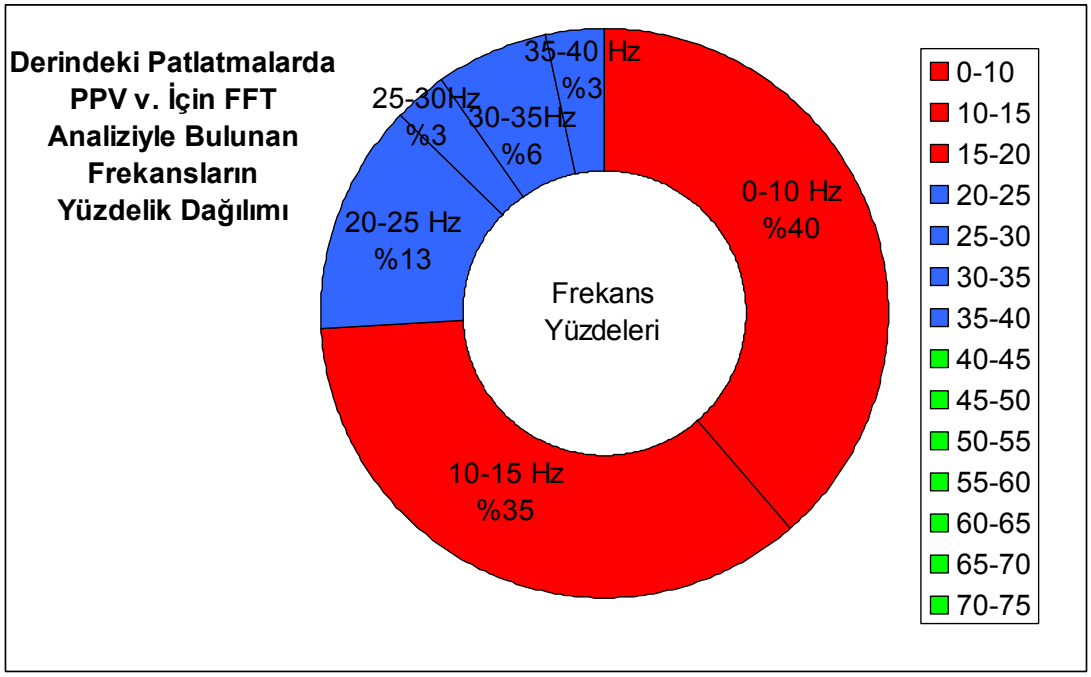
FFT analizi ile hesaplanan frekansların yüzdelik dağılımı her bir bileşende gerçekleştirilen ölçümlere göre grafiksel olarak gösterildiğinde, Şekil 4.16'da yüzdelik dağılımı gösterilen derinde gerçekleştirilen patlatmalarda enine bileşende, PPV_T ile ilişkili elde edilen frekans değerlerinin %68'inin 10-15 Hz arasında değiştiği görülmektedir. Bu oranı %13 ile 15-20 Hz, %10 ile 0-10 Hz takip etmektedir. Bu bileşen için hesaplanan en küçük frekans değeri 9 ve en büyük frekans değeri 39,3 Hz'dir.



Şekil 4.16. Derindeki patlatmalarda PPV_T için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları

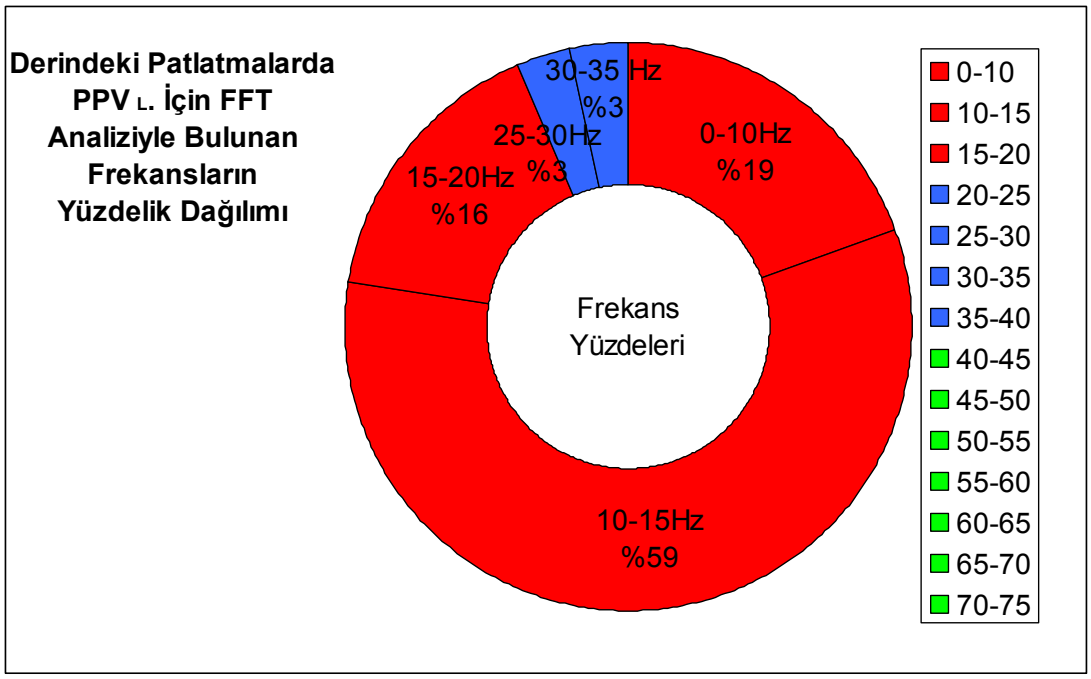
Şekil 4.17'de yüzdelik dağılımı gösterilen ve derinde gerçekleştirilen patlatmalarda düşey bileşende, PPV_V için elde edilen frekans değerlerinin %40'ının 0 - 10 Hz

arasında değiştiği görülmektedir. Bu oranı %35 ile 10 - 15 Hz, %13 ile 20-25 Hz takip etmektedir. Bu bileşen için hesaplanan en küçük frekans değeri 8 ve en büyük frekans değeri 39 Hz'dir.



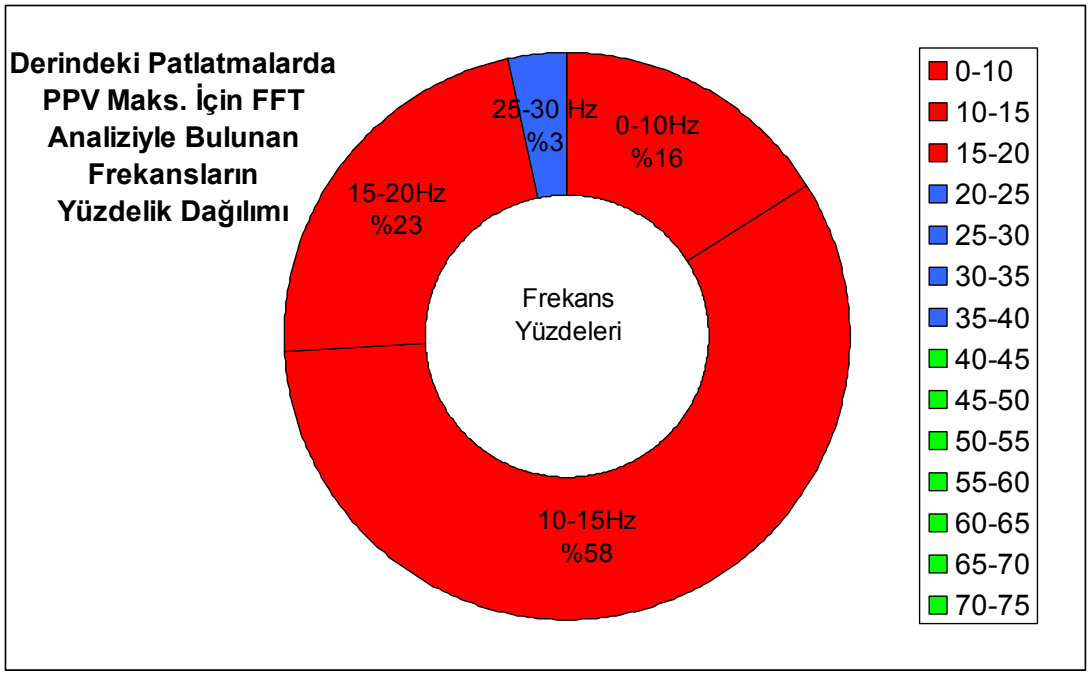
Şekil 4.17. Derindeki patlatmalarda PPV_v için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları

Şekil 4.18'de yüzdelik dağılımı gösterilen derinde gerçekleştirilen patlatmalarda boyuna bileşende, PPV_L için elde edilen frekans değerlerinin %59'unun 10-15 Hz arasında değiştiği görülmektedir. Bu oranı %19 ile 0-10 Hz, %16 ile 15-20 Hz takip etmektedir. Bu bileşen için hesaplanan en küçük frekans değeri 9 ve en büyük frekans değeri 31,5 Hz'dir.



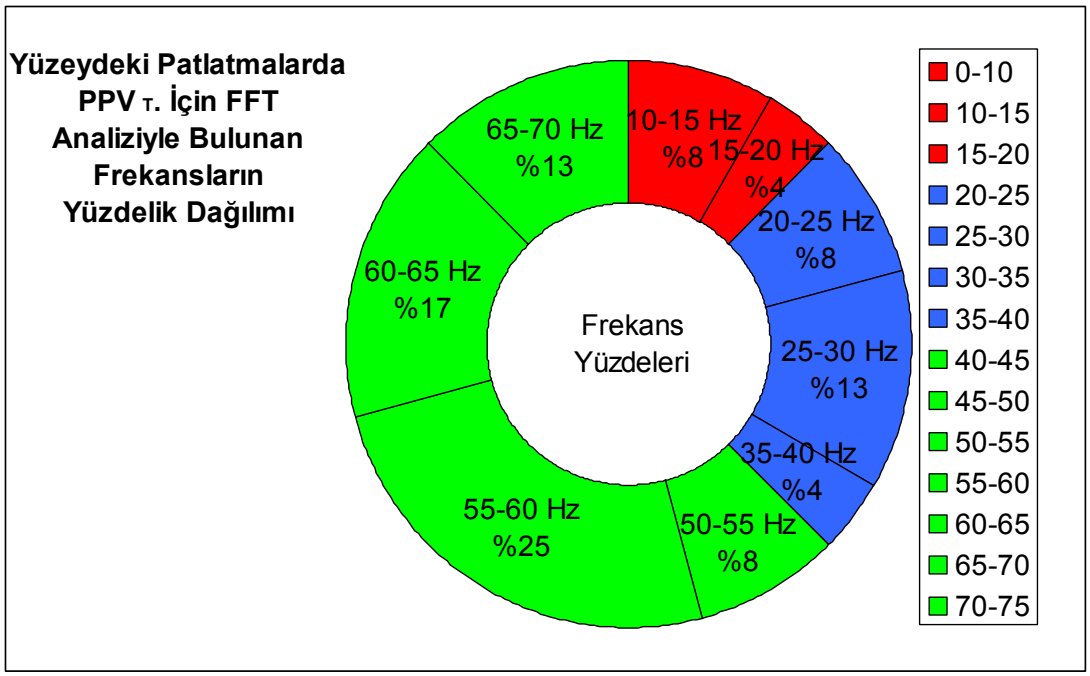
Şekil 4.18. Derindeki patlatmalarda PPV_L için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları

Derinde gerçekleştirilen patlatmalarda tüm bileşenler arasında kaydedilen maksimum parçacık hızları PPV_{maks} için elde edilen ve Şekil 4.19'da gösterilen frekans değerlerinin %59'unun 10-15 Hz arasında değiştiği görülmektedir. Bu oranı %19 ile 0-10 Hz, %16 ile 15-20 Hz takip etmektedir. Bu bileşen için hesaplanan en küçük frekans değeri 9 ve en büyük frekans değeri 25,5 Hz'dir.



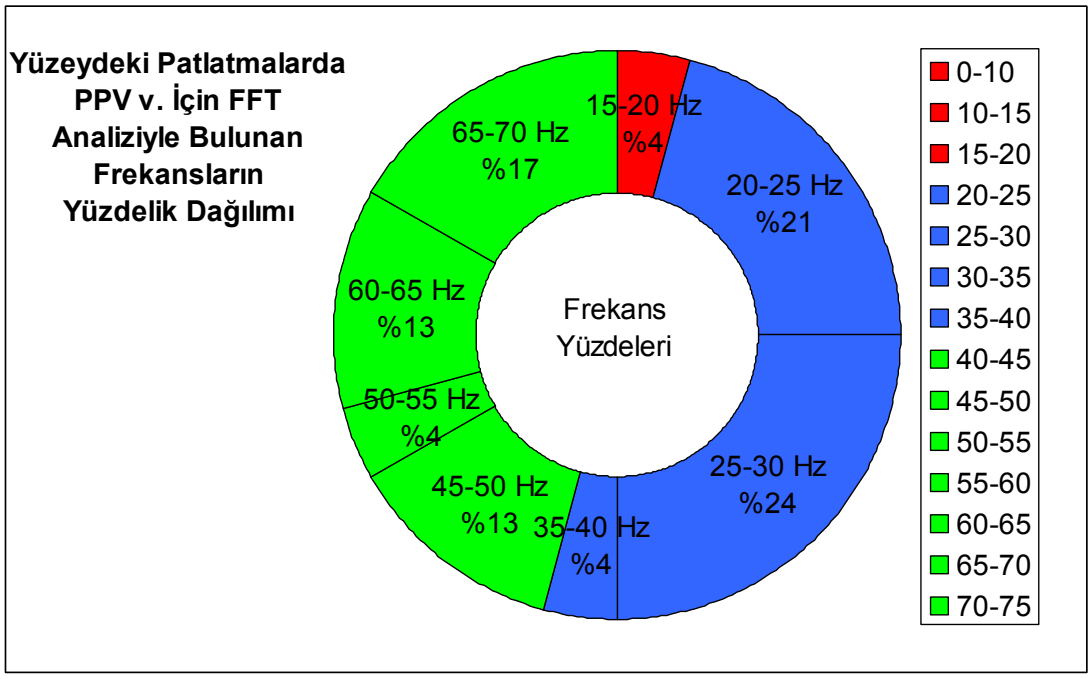
Şekil 4.19. Derindeki patlatmalarda PPV_{maks} için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları

Benzer şekilde FFT analizi ile hesaplanan frekansların yüzdelik dağılımı her bir bileşende gerçekleştirilen ölçümlere göre grafiksel olarak gösterildiğinde, Şekil 4.20'de yüzdelik dağılımı gösterilen ve yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda enine bileşende, PPV_T için elde edilen frekans değerlerinin %25'inin 55-60 Hz arasında değiştiği görülmektedir. Bu oranı %17 ile 60-65 Hz, %13 ile 25-30 ve 65-70 Hz aralıkları takip etmektedir. Bu bileşen için hesaplanan en küçük frekans değeri 12,8 ve en büyük frekans değeri 65,8 Hz'dir.



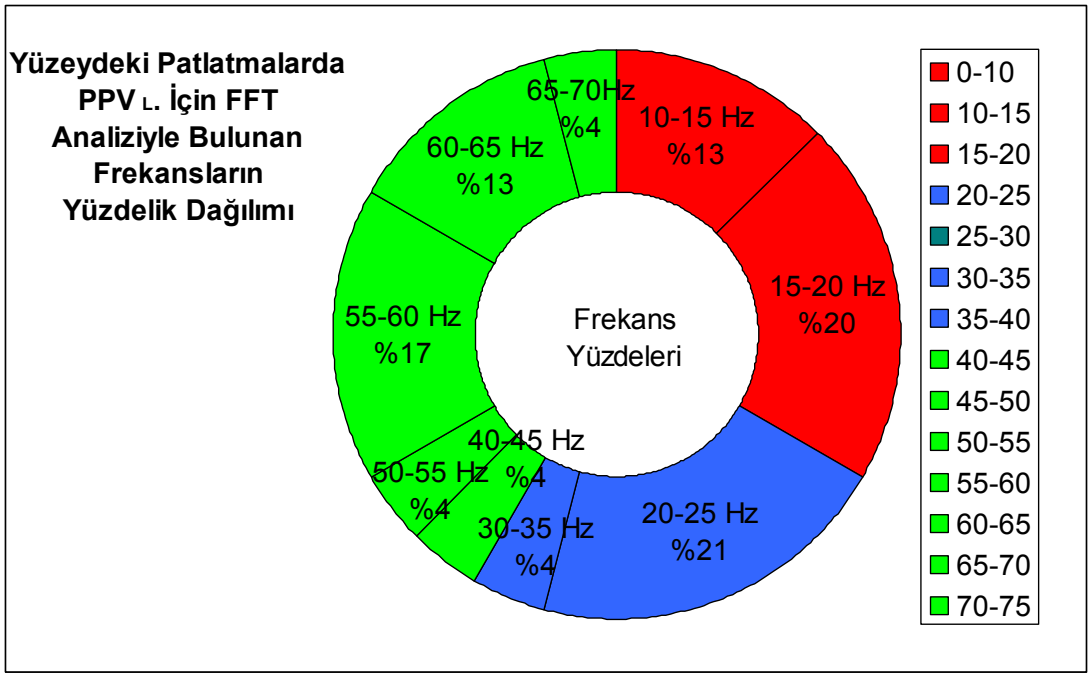
Şekil 4.20. Yüzeydeki patlatmalarda PPV_T için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları

Şekil 4.21'de yüzdelik dağılımı gösterilen yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda boyuna bileşende, PPV_V için elde edilen frekans değerlerinin %24'unun 25-30 Hz arasında değiştiği görülmektedir. Bu oranı %21 ile 20-25 Hz, %17 ile 65-70 Hz takip etmektedir. Bu bileşen için hesaplanan en küçük frekans değeri 18,8 ve en büyük frekans değeri 69,3 Hz'dir.



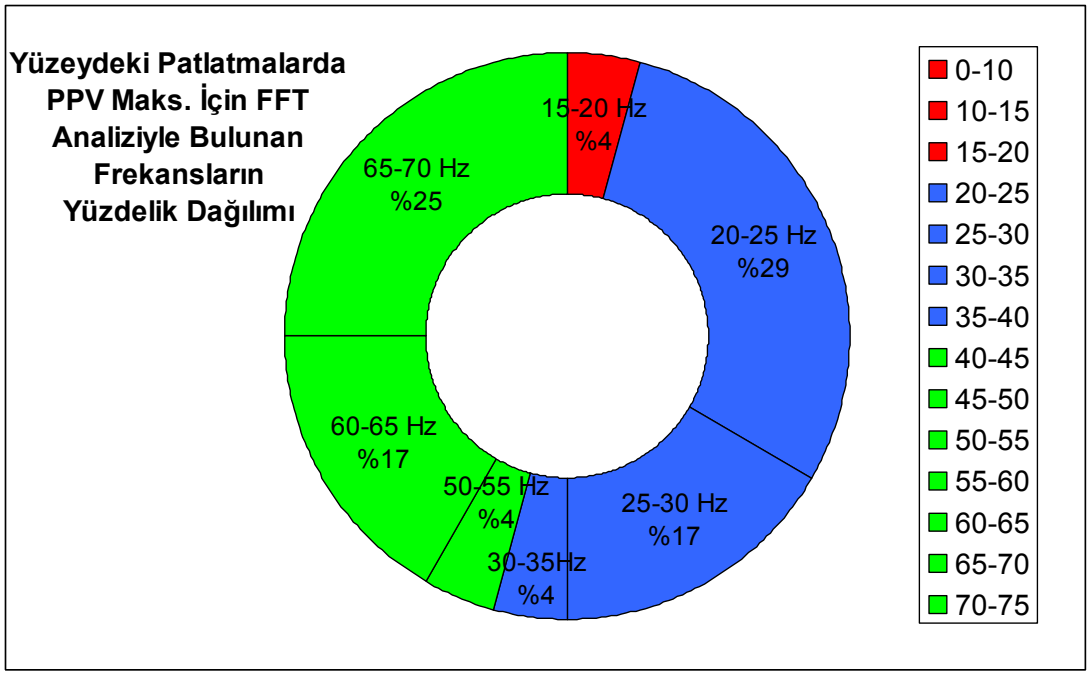
Şekil 4.21.Yüzeydeki patlatmalarda PPV_v için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları

Şekil 4.22'de yüzdelik dağılımı gösterilen ve yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda boyuna bileşende, PPV_L için elde edilen frekans değerlerinin %21'unun 20-25 Hz arasında değiştiği görülmektedir. Bu oranı %20 ile 15-20 Hz, %17 ile 55-60 Hz aralıkları takip etmektedir. Bu bileşen için hesaplanan en küçük frekans değeri 13 ve en büyük frekans değeri 71,3 Hz'dir.



Şekil 4.22.Yüzeydeki patlatmalarda PPV_L için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları

Yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda tüm bileşenler arasında kaydedilen maksimum parçacık hızları PPV_{maks} için elde edilen ve Şekil 4.23'de gösterilen frekans değerlerinin %29'unun 20-25 Hz arasında değiştiği görülmektedir. Bu oranı %25 ile 65-70 Hz, %17 ile 25-30 ve 60-65 Hz aralıkları takip etmektedir. Bu bileşen için hesaplanan en küçük frekans değeri 18,8 ve en büyük frekans değeri 69,3 Hz'dir.



Şekil 4.23. Yüzeydeki patlatmalarda $PPV_{maks.}$ için FFT analiziyle bulunan frekansların yüzdelik dağılımları

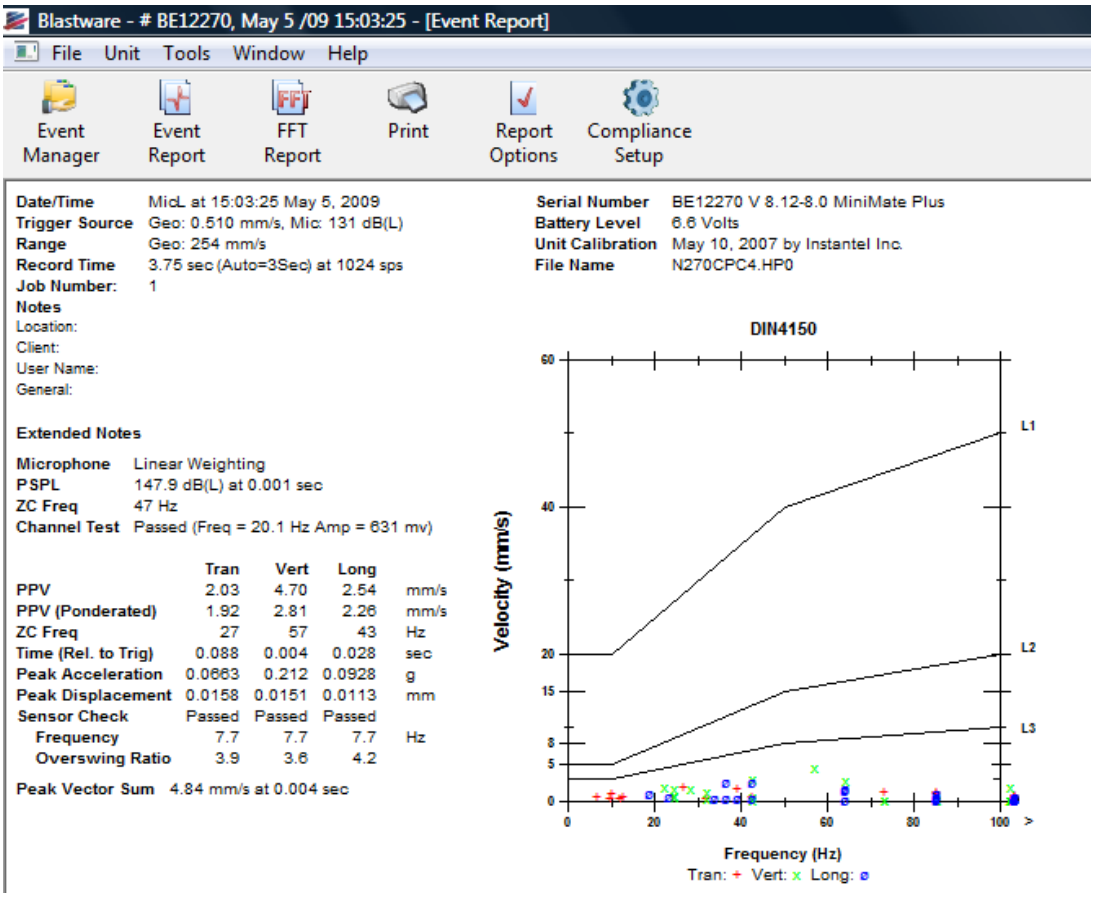
4.8. Derin ve Yüzeydeki Patlatmaların Hasar Kriterlerine göre Değerlendirilmesi ve Miktar – Mesafe İlişkileri

Günümüzde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yapılara etkilerinin maksimum parçacık hızı tahmin modelleri kullanılarak belirlenmesinden daha önceki bölümlerde bahsedilmişti. Yapılan patlatmaların hasar kriterlerine göre değerlendirilmesine geçmeden önce, bu çalışma ile patlatmaların gelecekte yapılaşma planlanan alana yönelik etkilerinin hasar kriterleri açısından asıl hedef olarak alındığı ve buna uygun olarak da ilgili birim tarafından patlatma faaliyetlerinin uygulandığı ve gelecekte de uygulanmaya devam edeceği patlatma sahasının GD yönünün temel yön seçildiğidir. Dolayısıyla hasar kriterlerine göre değerlendirme yapılırken gelecekte çeşitli işlevlerde binalar yapılacak olan alanlarda ölçümlerin yapılması sağlanmıştır. Bu sebepten ötürü ölçüm noktaları patlatma noktalarına mevcut binalara göre daha yakın seçilmiştir. Bununla birlikte ölçüm yapılan yön, mevcut ve inşa halinde hizmet binalarının bulunduğu yöndür ve herhangi bir yerleşim yerine ileride yapılacak patlatmaların meydana getireceği

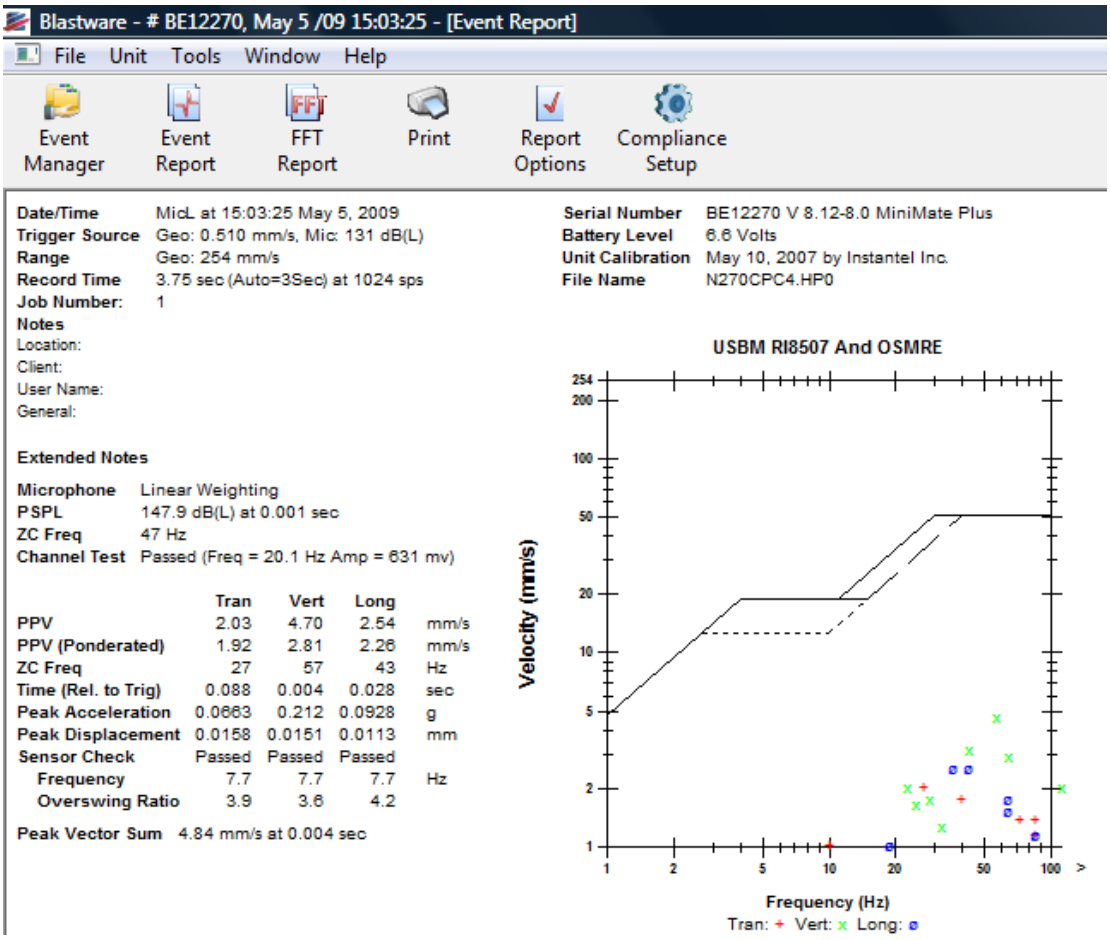
parçacık hızları tahminlerinde ölçümlerin hemen binaların yanında yapılması zorunlu görülmediğinden [1], GD yönü için yapılan ölçümler bu yapıların gelecekte yapılacak patlatma faaliyetlerinden ne ölçüde etkilenebileceği konusunda fikir vermektedir.

Daha önce ikinci bölümde açıklanan hasar limitlerinden günümüzde de kullanılan Alternatif USBM patlatma hasar kriterleri, DIN 4150 Alman Hasar Normu ve Ülkemizdeki patlatma kaynaklı titreşim hasarlarıyla ilgili yönetmelik olan ve OSM OSM patlatma kaynaklı yapısal hasar kriterleri baz alınarak düzenlenmiş, "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" beşinci bölümü olan Çevresel Titreşim Esas ve Kriterlerine göre derinde ve yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalar için ayrı ayrı incelemeler yapılacak ve birbirleriyle karşılaştırılacaktır.

Bu üç kabul gören hasar kriterinin ortak özelliği daha önce ifade edildiği gibi; frekans – parçacık hızı ilişkilerini yorumlamaları ve yapısal hasar limitlerini temsil eden çizgilerin altında kalan belirli baskın frekansa karşılık gelen parçacık hızı değerini emniyetli kabul etmeleridir. Yüzeyde patlatma ölçümlerimizden 35. ölçümün üç değişik hasar kriteri için karşılaştırılması Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de gösterilmiştir. Burada unutulmaması gereken bir nokta, analize konu olmayacak ve sadece benzer sonuçların farklı hasar kriterlerindeki dağılımının gösteriminin hedeflendiği bu şekillerde, frekans değerlerinin FFT analiziyle bulunan frekans değerleri değil, ZC (zero crossing frequency) olarak ölçümlenmiş frekans değerleri olduğudur.

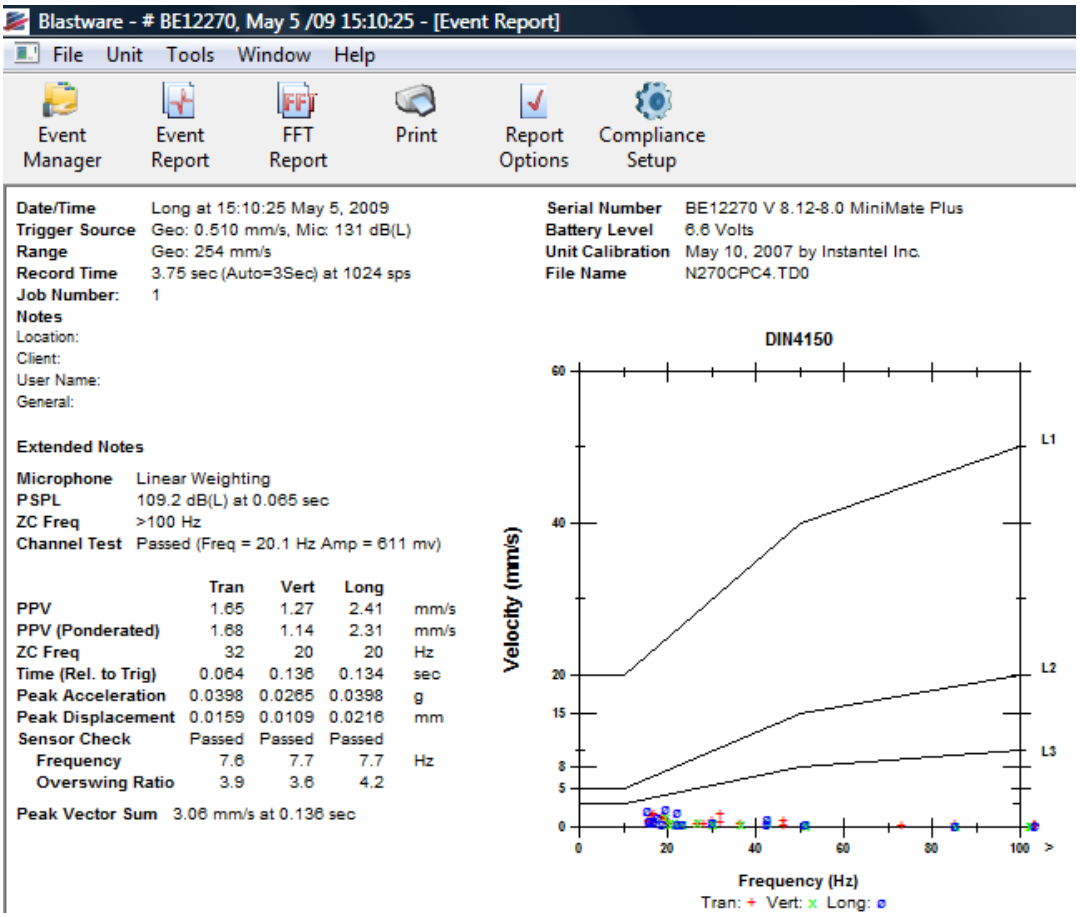


Şekil 4.24. DIN 4150 Hasar normu örnek gösterimi (yüzeyde patlatma)

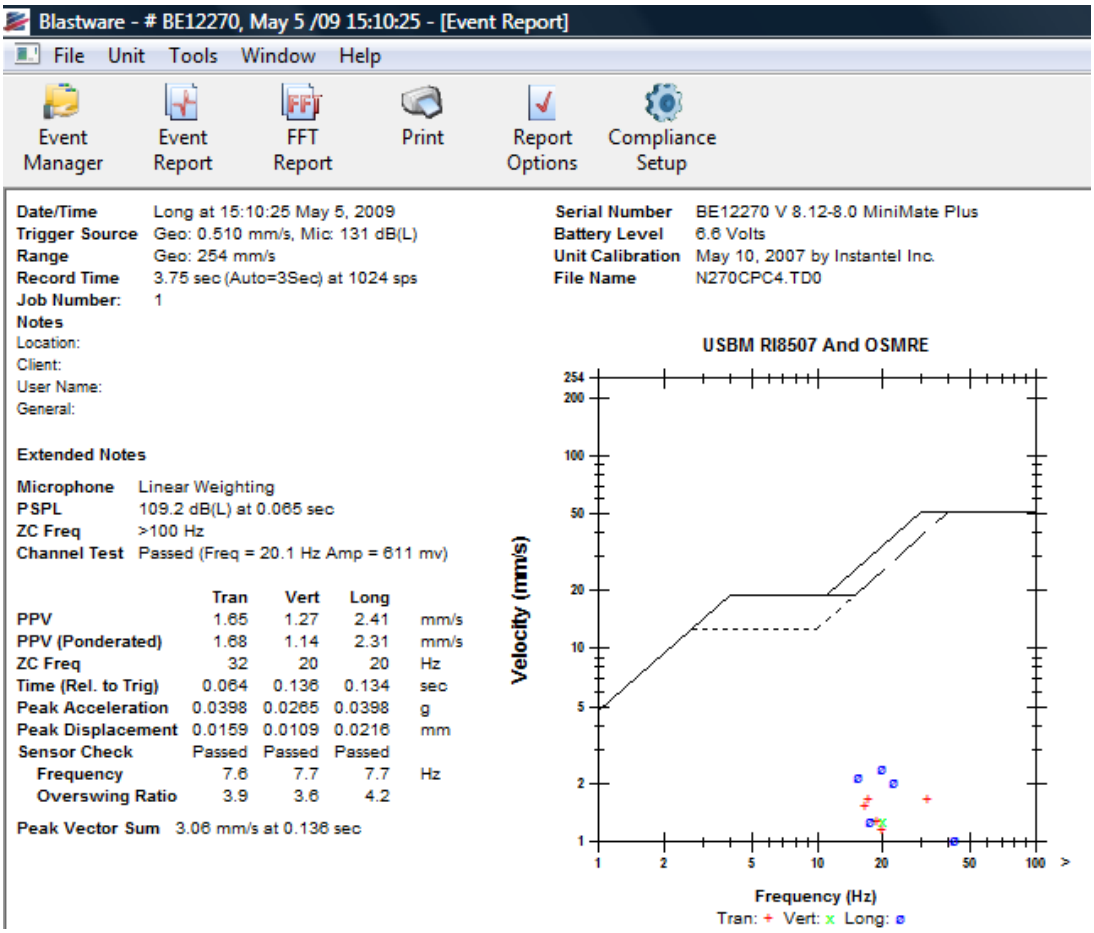


Şekil 4.25. USBM RI 8507 ve OSM patlatma kaynaklı hasar kriterlerinin örnek gösterimi (yüzeyde patlatma)

Benzer bir karşılaştırmayı derinde gerçekleştirilen patlatmalar içinde yapılabilir. Şekil 26 ve Şekil 27'de 44. nolu ölçüme ait frekans ve maksimum parçacık hızı dağılımları üç farklı hasar kriteri için gösterilmiştir.



Şekil 4.26. DIN 4150 Hasar normu örnek gösterimi (derinde patlatma)



Şekil 4.27. USBM RI 8507 ve OSM patlatma kaynaklı hasar kriterlerinin örnek gösterimi (derinde patlatma)

Son 4 şekilden anlaşılabileceği üzere aynı ölçüm değerleri için DIN 4150 daha önceden tartışan kriterlerine göre yapı türünü de dikkate alarak daha hassas bir değerlendirme sunmaktadır. Belli frekans değerlerinde DIN 4150 hasar normunun ilgili şekillerde *L2* ve *L3* olarak gösterilen 2. ve 3. kategorilerinin USBM RI 8507 ve OSM hasar kriterlerine göre daha az maksimum parçacık hızı değerine izin verebildiği görülmektedir. DIN 4150 deki 2. ve 3. kategoriler ikinci bölümden hatırlanacağı üzere sırasıyla yığma tuğla ya da beton yapılar ve kerpiç, eski veya tarihi yapılar olarak sınıflandırılmaktadır.

Patlatma sahası içerisinde olası patlatma noktalarına göre patlatmaların mevcut ve planlanan yapılara hasar vermemesi için pratik bir yaklaşımla, yapı türlerine ve frekans potansiyeline göre hasar limitlerinden seçilebilecek maksimum parçacık

hızlarının, daha önce bulunan Nicholls ve arkadaşlarının maksimum parçacık hızı tahmin modelleri içinde kullanılması ile söz konusu eşitlikler iki bilinmeyene düşürülebilir. Bu bilinmeyenler patlayıcı madde miktarı (W) ve patlatma noktasından olan mesafe (R) dir. Bunun için öncelikle baskın frekanslar dikkate alınarak minimum frekans değerlerinin dikkate alınması ve bu değerler için hasar kriterlerinin öngördüğü maksimum parçacık hızı limitlerinin bulunması gerekmektedir.

Derinde gerçekleştirilen patlatmalar için maksimum parçacık hızlarına karşılık FFT analiziyle hesaplanmış frekans değerlerinden en küçük değerin 9 Hz olduğu tespit edilmiştir. Bu bilgi ışığında hasar kriterlerinin öngördüğü maksimum parçacık hızları (PPV) Çizelge 4.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.10. Derinde patlatmalarda ölçümlenen en küçük frekans değeri için limit maksimum parçacık hızı (PPV) değerleri

Hasar Kriteri		Frekans Için Hasar Kriterlerinin Öngördüğü Limit PPV Değerleri (mm/sn)
		9 Hz
DIN 4150	1 Betonarme ve Çelik Yapılar	20 mm/sn
	2 Yığma Tuğla yada Beton Yapılar	5 mm/sn
	3 Kerpiç, Eski yada Tarihi Yapılar	3 mm/sn
USBM RI 8507	Modern Alçı Pano Duvarlı Evler	19,05 mm/sn
	Tahta Kalaslı Sıva Duvarlı Evler	12,7 mm/sn
OSM yada Çevresel Gürültünün Değerlendirmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY)		19 mm/sn

Bu değerlerin daha önce maksimum parçacık hızı tahminleri için oluşturulmuş eşitliklerde kullanımı ile gerçekleştirilen patlatmalar için patlayıcı madde miktarı ve mesafe ilişkisi tanımlanabilmektedir. Derinde yapılan patlatmalar için bu tanımlama aşağıda gösterildiği gibi yapılabilir. Eş. 4.2'de maksimum parçacık hızı (PPV) değeri olarak 3,00 kullanıldığında

$$PPV = 70894 1\left(\frac{R}{W^{1/2}}\right)^{-2,84} \tag{4.2}$$

$$3,00 = 70894 1\left(\frac{R}{W^{1/2}}\right)^{-2,84} \tag{4.5}$$

$$W_{kg} = \frac{R^2}{6083,41} \tag{4.6}$$

eşitliği bulunur. Bu eşitlik DIN 4150 3. kategori için patlayıcı madde miktarı ve mesafe ilişkisini vermektedir. Benzer şekilde diğer hasar kriterleri için bulunan miktar - mesafe ilişkisi derinde gerçekleştirilen patlatmalar için aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir:

(DIN 4150 – 1. Kategori)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{1599,30} \tag{4.7}$$

(DIN 4150 – 2. Kategori)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{4245,37} \tag{4.8}$$

(USBM RI 8507 – 1. Kategori)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{1655,06} \tag{4.9}$$

(USBM RI 8507 – 2. Kategori)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{2202,02} \tag{4.10}$$

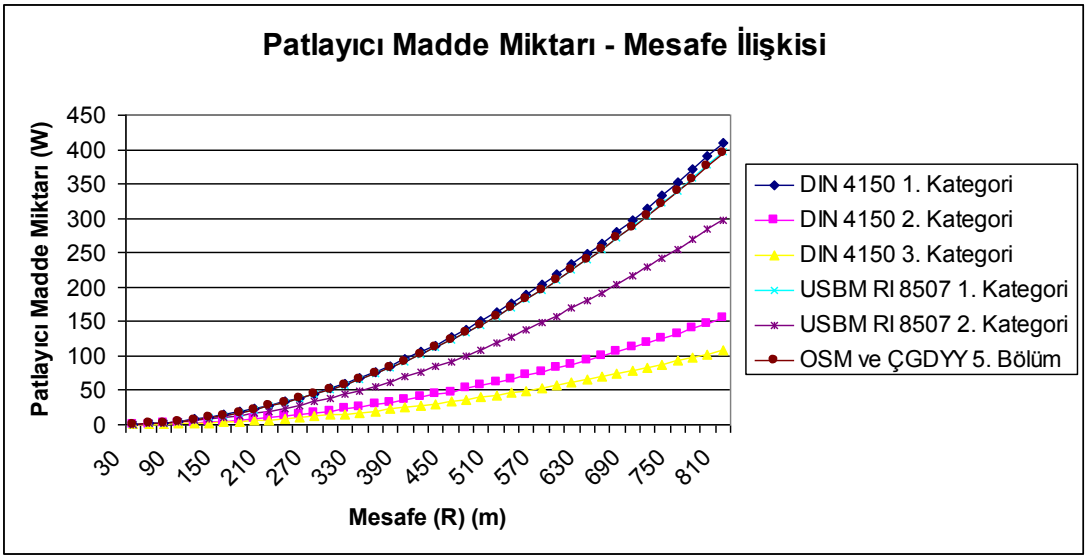
(OSM ve Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği 5. Bölüm)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{1658,13} \tag{4.11}$$

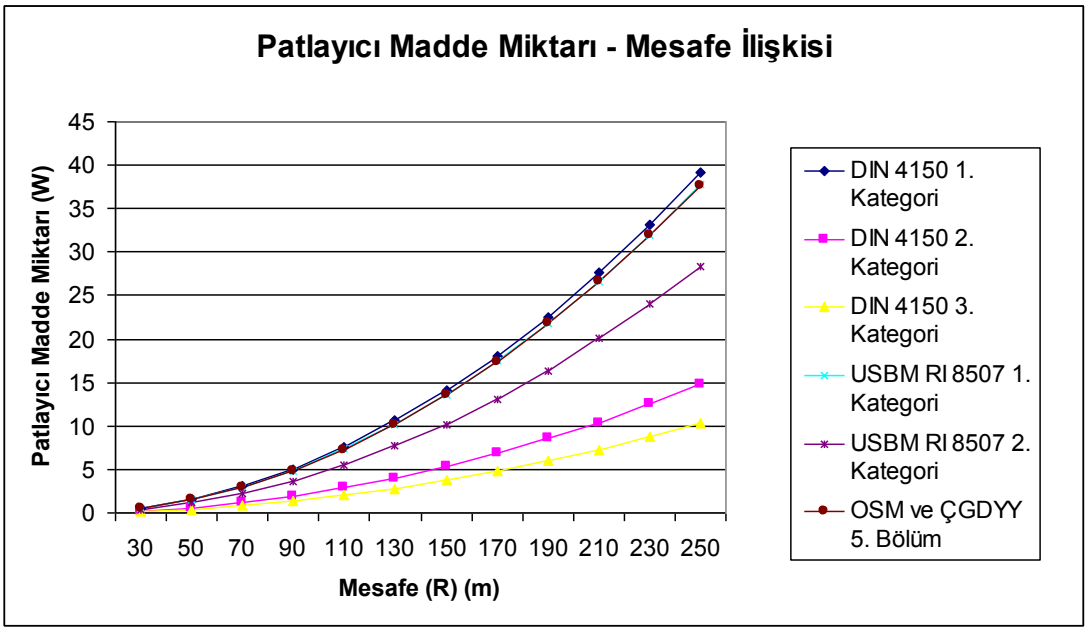
Tüm eşitliklerin 20 m mesafe aralıkları için tablolaştırılmış hali derindeki patlatmalar için Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Ayrıca bu veriler Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'daki grafikler ile de gösterilmektedir.

Çizelge 4.11. Derinde yapılan patlatmalar için hasar kriterlerine göre miktar mesafe ilişkisi

Mesafe (R)	HASAR KRİTERİ					
	DIN 4150			USBM RI 8507		OSM yada ÇGDYY 5. Bölüm
	1 Betonarme ve Çelik Yapılar	2 Yığma, Tuğla yada Beton Yapılar	3 Kerpiç, Eski yada Tarihi Yapılar	1 Modern Alçı Pano Duvarlı Yapılar	2 Tahta Kalaslı Sıva Duvarlı Evler	
	Miktar (Kg TNT)					
Mesafe-Miktar İlişkisi	$W_{kg} = \frac{R^2}{1599,30}$	$W_{kg} = \frac{R^2}{4245,37}$	$W_{kg} = \frac{R^2}{6083,41}$	$W_{kg} = \frac{R^2}{1655,06}$	$W_{kg} = \frac{R^2}{2202,02}$	$W_{kg} = \frac{R^2}{1658,13}$
30	0,56	0,21	0,15	0,54	0,41	0,54
50	1,56	0,59	0,41	1,51	1,14	1,51
70	3,06	1,15	0,81	2,96	2,23	2,96
90	5,06	1,91	1,33	4,89	3,68	4,89
110	7,57	2,85	1,99	7,31	5,49	7,30
130	10,57	3,98	2,78	10,21	7,67	10,19
150	14,07	5,30	3,70	13,59	10,22	13,57
170	18,07	6,81	4,75	17,46	13,12	17,43
190	22,57	8,50	5,93	21,81	16,39	21,77
210	27,57	10,39	7,25	26,65	20,03	26,60
230	33,08	12,46	8,70	31,96	24,02	31,90
250	39,08	14,72	10,27	37,76	28,38	37,69
270	45,58	17,17	11,98	44,05	33,11	43,97
290	52,59	19,81	13,82	50,81	38,19	50,72
310	60,09	22,64	15,80	58,06	43,64	57,96
330	68,09	25,65	17,90	65,80	49,45	65,68
350	76,60	28,85	20,14	74,02	55,63	73,88
370	85,60	32,25	22,50	82,72	62,17	82,56
390	95,10	35,83	25,00	91,90	69,07	91,73
410	105,11	39,60	27,63	101,57	76,34	101,38
430	115,61	43,55	30,39	111,72	83,97	111,51
450	126,62	47,70	33,29	122,35	91,96	122,13
470	138,12	52,03	36,31	133,47	100,32	133,22
490	150,13	56,56	39,47	145,07	109,04	144,80
510	162,63	61,27	42,76	157,15	118,12	156,86



Şekil 4.28. Derindeki patlatmalarda miktar - mesafe ilişkisi



Şekil 4.29. Derindeki patlatmalarda miktar - mesafe ilişkisi (ilk 250 m)

Benzer şekilde yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalar için tüm bileşenler arasındaki maksimum parçacık hızına karşılık FFT analiziyle hesaplanmış frekans değerlerinden en küçük değerin 18,8 Hz olduğu tespit edilmiştir. Bileşenlerde elde edilen minimum değerinin 12,80 Hz olduğu dikkate alındığında güvenli tarafta kalınarak 10 Hz değeri için hasar kriterlerinin öngördüğü maksimum parçacık

hızlarının kullanımı uygun olacaktır. Maksimum parçacık hızı (PPV) değerleri Çizelge 4.12'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.12.Yüzeyde patlatmalarda ölçümlenen en küçük frekans değeri için limit maksimum parçacık hızı (PPV) değerleri

Hasar Kriteri		Frekans İçin Hasar Kriterlerinin Öngördüğü Limit PPV Değerleri (mm/sn)
		10 Hz
DIN 4150	1 Betonarme ve Çelik Yapılar	20 mm/sn
	2 Yığma Tuğla yada Beton Yapılar	5 mm/sn
	3 Kerpiç, Eski yada Tarihi Yapılar	3 mm/sn
USBM RI 8507		19,05 mm/sn
OSM yada Çevresel Gürültünün Değerlendirmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY)		19 mm/sn

Bu değerlerin Eş. 4.4'de kullanımı ile yüzeydeki patlatmalar için:

(DIN 4150 – 1. Kategori)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{5969,90} \tag{4.12}$$

(DIN 4150 – 2. Kategori)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{26505,96} \tag{4.13}$$

(DIN 4150 – 3. Kategori)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{45908,23} \tag{4.14}$$

(USBM RI 8507 – 1. ve 2. Kategori)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{6290,61} \tag{4.15}$$

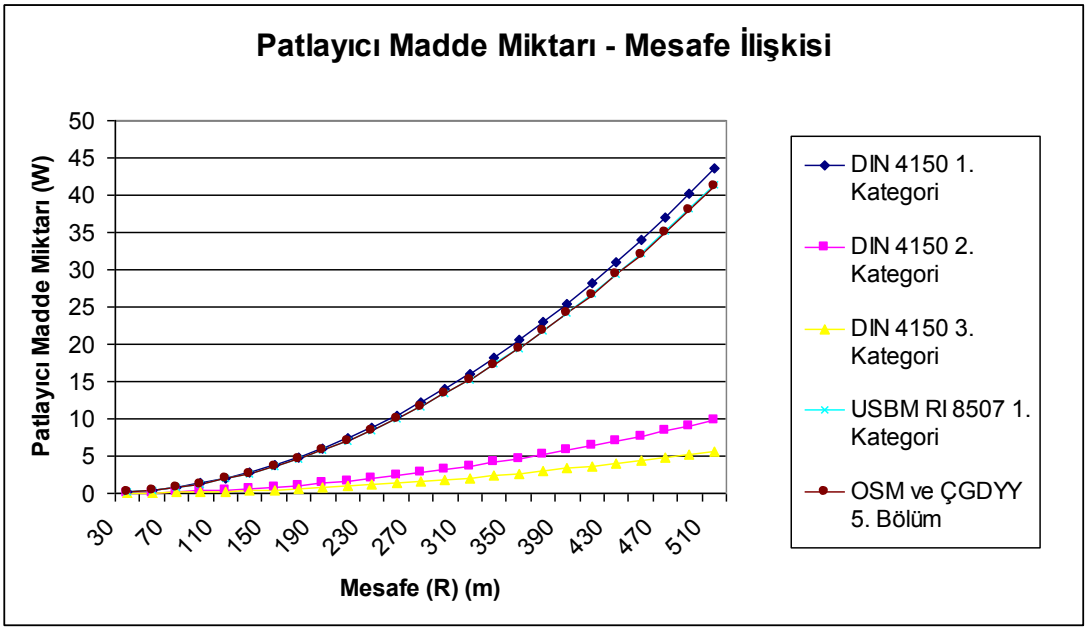
(OSM ve Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği 5. Bölüm)

$$W_{kg} = \frac{R^2}{6308,42} \tag{4.16}$$

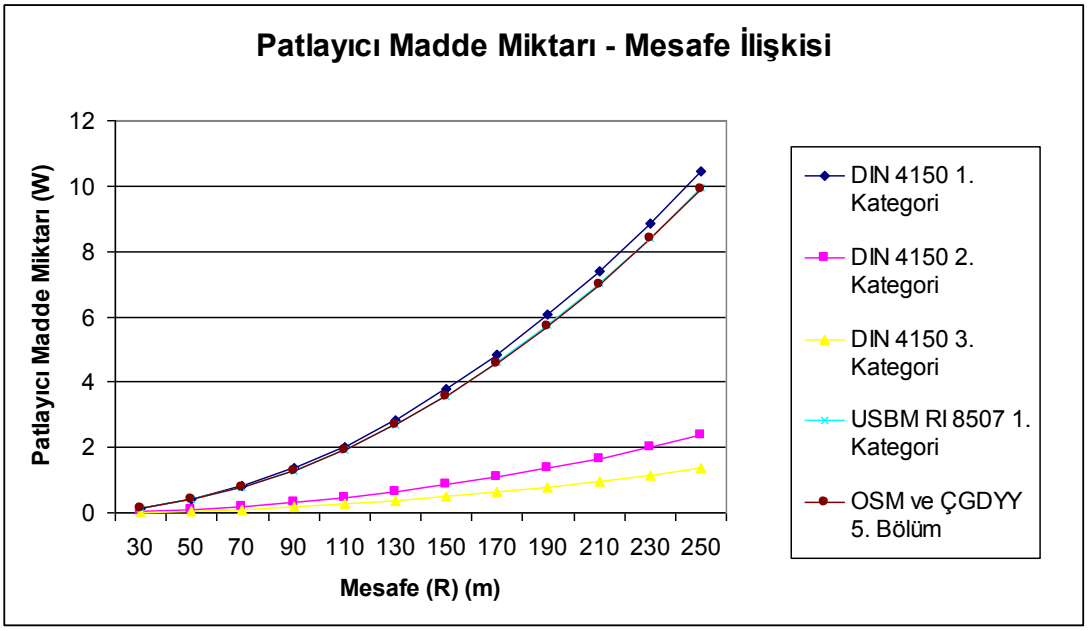
eşitlikleri bulunur. Tüm eşitliklerin 20 m mesafe aralıkları için tablolaştırılmış şekli yüzeydeki patlatmalar için Çizelge 4.13'de gösterilmiştir. Ayrıca bu gösterimler Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.13. Yüzeyde yapılan patlatmalar için hasar kriterlerine göre miktar mesafe ilişkisi

Mesafe (R)	HASAR KRİTERİ					
	DIN 4150			USBM RI 8507		OSM yada ÇGDYY 5. Bölüm
	1 Betonarme ve Çelik Yapılar	2 Yığma, Tuğla yada Beton Yapılar	3 Kerpiç, Eski yada Tarihi Yapılar	1 Modern Alçı Pano Duvarlı Yapılar	2 Tahta Kalaslı Sıva Duvarlı Evler	
	Miktar (Kg TNT)					
Mesafe-Miktar	$W_{kg} = \frac{R^2}{5969,90}$	$W_{kg} = \frac{R^2}{26505,96}$	$W_{kg} = \frac{R^2}{45908,23}$	$W_{kg} = \frac{R^2}{6290,61}$		$W_{kg} = \frac{R^2}{6308,42}$
30	0,15	0,03	0,02	0,14	0,14	0,14
50	0,42	0,09	0,05	0,40	0,40	0,40
70	0,82	0,18	0,11	0,78	0,78	0,78
90	1,36	0,31	0,18	1,29	1,29	1,28
110	2,03	0,46	0,26	1,92	1,92	1,92
130	2,83	0,64	0,37	2,69	2,69	2,68
150	3,77	0,85	0,49	3,58	3,58	3,57
170	4,84	1,09	0,63	4,59	4,59	4,58
190	6,05	1,36	0,79	5,74	5,74	5,72
210	7,39	1,66	0,96	7,01	7,01	6,99
230	8,86	2,00	1,15	8,41	8,41	8,39
250	10,47	2,36	1,36	9,94	9,94	9,91
270	12,21	2,75	1,59	11,59	11,59	11,56
290	14,09	3,17	1,83	13,37	13,37	13,33
310	16,10	3,63	2,09	15,28	15,28	15,23
330	18,24	4,11	2,37	17,31	17,31	17,26
350	20,52	4,62	2,67	19,47	19,47	19,42
370	22,93	5,16	2,98	21,76	21,76	21,70
390	25,48	5,74	3,31	24,18	24,18	24,11
410	28,16	6,34	3,66	26,72	26,72	26,65
430	30,97	6,98	4,03	29,39	29,39	29,31
450	33,92	7,64	4,41	32,19	32,19	32,10
470	37,00	8,33	4,81	35,12	35,12	35,02
490	40,22	9,06	5,23	38,17	38,17	38,06
510	43,57	9,81	5,67	41,35	41,35	41,23



Şekil 4.30. Yüzeydeki patlatmalarda miktar - mesafe ilişkisi



Şekil 4.31. Yüzeydeki patlatmalarda miktar - mesafe ilişkisi (İlk 250 m)

Bu ilişkilerin incelenmesinde önemli bir nokta yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda özellikle yakın mesafelerde hava şokunun ve gürültünün TNT ve benzeri nitelikteki patlayıcılar için oldukça baskın olmasıdır. Daha öncede belirtildiği

üzere yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda hava şoku için oldukça yüksek ölçümler alınmış olup, bu değerlerin pek çok patlatmada ölçüm cihazı limitlerini aştığı görülmüştür. Bu nedenle yüzeysel patlatma kaynaklı yer titreşimleri için bu bölümde yapılan hasar limit çalışmalarının sadece yer titreşimlerini içermesi nedeniyle bu limitlerin kullanımında sahada hava şoku ve gürültü için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının dinamik etkilerinin belirlenmesi konusundaki çalışmamızda Ankara Gölbaşında bulunan Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanlığı, Bomba İmha Merkezi patlatma sahasında, bölgedeki gelecekte planlanan yapılaşma öncelikli olarak, mevcut ve inşa halindeki yapılara eğitim ve imha amaçlı patlatma faaliyetlerinin etkileri araştırılmıştır. Uygulamada öncelikli olarak sahanın zemin özellikleri belirlenmiştir. Ardından gerçekleştirilen 19 adet deneme patlatması sonucu 3 ayrı gözlem noktasında her patlatma için ölçüm alınmaya çalışılmıştır. Her ölçüm noktasında üç bileşenden elde edilen maksimum parçacık hızı (PPV) değerlerinin patlatmaya özgü ölçekli mesafe değerleri ile ilişkileri belirli korelasyon değerlerinde irdelenmiş ve elde edilen denklemler ışığında sahaya ve ölçüm yönüne özgü karakteristik katsayılar (K ve β) elde edilebilmiştir. Bu değerler kullanılarak elde edilen denklemlerle patlayıcı madde miktarı ve patlatma noktasından mesafe arasındaki hasar verme ilişkisi, mevcut hasar kriterlerine göre incelenebilmiştir.

- Çalışma alanının zeminlerinin patlatma uygulamaları öncesi zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi için açılan 11 sondaj kuyusu ve bu kuyulardan alınan örselenmemiş numunelere yapılan laboratuar deneyleri sonucu çalışma alanı killi kum (SC) olarak sınıflandırılabilir.

- Çalışma alanında yüzeyde ve derinde gerçekleştirilen deneme patlatmaları sonucu iki yönde toplam 55 kayıtla incelenebilmiştir. Belirli korelasyon katsayısı (r) değerlerinde, her bileşende ölçümlenen maksimum parçacık hızı, bileşke maksimum parçacık hızları ve tüm bileşenlerde ölçümlenen en büyük maksimum parçacık hızlarının ölçekli mesafe ile olan ilişkisi irdelenmiştir. Bu durum gelecekte yapılabilecek patlatmalarda oluşabilecek maksimum parçacık hızları (PPV) için tahmin modelleri oluşturulmasını sağlamıştır. Elde edilen verilerle derinde gerçekleştirilen patlatmalarda her bileşen için irdelenen tahmin modellerinin yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalara göre daha yüksek ilgileşim içinde oldukları görülmüştür.

- Derinde ve yüzeyde aynı ölçekli mesafe koşullarında gerçekleştirilen patlatmaların karşılaştırılması sonucu, tüm bileşenlerde (enine, düşey, boyuna) kaydedilen maksimum parçacık hızlarının yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda, derinde gerçekleştirilen patlatmalara göre daha fazla olduğu ve derinde gerçekleştirilen patlatmalar sonucu ölçümlenen bu değerlerin yüzeyde gerçekleştirilenlere göre %48 ila %94 değerleri arasında azalım gösterdiği görülmüştür. Yüzeyde gerçekleştirilen patlatmaların büyük bir bölümünde hava şoku ölçümleri kayıt limitleri üzerinde tespit edilmiş olup bu durum patlatma noktasına yakın mesafelerde baskın etki olarak gözlemlenmiştir. Derinde gerçekleştirilen patlatmalarda ise hava şoku değerleri oldukça düşük mertebelerdedir.

- Ayrıca üç bileşen yönünde kayıt altına alınan verilerin FFT analiziyle bulunan frekans değerleri detaylarıyla irdelenmiştir. Derinde gerçekleştirilen patlatmalarda elde edilen frekans değerlerinin 10 – 20 Hz aralığında yoğunlaştığı, yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda ise bu değerin 20- 30 Hz ve 55- 70 Hz aralıklarında olmak üzere iki ayrı kümede yoğunlaştığı görülmüştür. Bu sonuçlar ile ilişkili olarak aynı ölçekli mesafe değerine sahip derinde ve yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalar karşılaştırıldığında, tüm bileşenler için ölçümlenen en büyük maksimum parçacık hızları (PPV_{maks}) için frekansların yüzeydeki patlatmalara göre derindeki patlatmalarda %36,59 ila %77,98 arasında azalım gösterdiği görülmüştür. Bu bilgiler ışığında derinde gerçekleştirilen patlatmaların, yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalara göre daha düşük frekanslı olduğu ve yüzeyde gerçekleştirilen patlatmaların daha karmaşık bir frekans dağılımına sahip olduğu görülebilmektedir.

- Tüm derin ve yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalara ait tüm miktar-mesafe eşitlikleri, 20 m mesafe aralıkları için ve genel kabul görmüş patlatma kaynaklı hasar kriterlerinin frekanslara göre öngördüğü parçacık hızları kullanılarak tablolaştırılmış hali çalışma kapsamında hesaplanmıştır. Bu çalışma neticesinde DIN 4150 Alman hasar normunun 3. grubu olan kerpiç

eski evler ve tarihi yapılar için öngörülen hasar limitlerinin tüm diğer hasar kriterleri içinde en sınırlayıcı limitler olduğu görülmüştür. Patlatma alanı yakın çevresinde bomba inceleme ve depolama alanlarının da bulunacağı eğitim tesislerinin planlanması ve inşa halinde laboratuarlar olduğu bilinmekte olup, oldukça düşük titreşimlere izin verilebilecek bu tür yapılar için DIN 4150 Alman hasar normu 3. grubun miktar-mesafe ilişkilerinde en sağlıklı sonucu vereceği değerlendirilmiştir.

- Patlayıcı madde miktarı ve patlatma noktasından uzaklık arasındaki ilişki dikkate alınarak gelecekte yapılaşma düşünülen alandaki titreşim potansiyeli kullanılacak patlayıcı madde miktarı ve patlatma noktasından uzaklık değişkenlerine bağlı olarak irdelenebilmiştir. Bu durum miktarı bilinen patlayıcı maddelerin patlatma zorunluluğunda ne kadar bir mesafede ne büyüklükte bir maksimum parçacık hızı yaratabileceğinin tahmininde yada diğer bir bakış açısıyla planlanan ve inşa edilecek alt ve üst yapı inşaatlarının yapı türlerine göre hasar görmemesi için ne kadar patlayıcı madde patlatılabileceği soruları cevaplanabilecektir. Burada unutulmaması gereken bir durum ise ölçümlerin patlatma alanından GD yönüne doğru yapıldığı ve bu yön için geçerli olduğudur.

- Bu ilişkilerin incelenmesinde önemli bir nokta yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda özellikle yakın mesafelerde hava şokunun ve gürültünün TNT ve benzeri nitelikteki patlayıcılar için oldukça baskın olmasıdır. Daha öncede belirtildiği üzere yüzeyde gerçekleştirilen patlatmalarda hava şoku için oldukça yüksek ölçümler alınmış olup, bu değerlerin pek çok patlatmada ölçüm cihazı limitlerini aştığı görülmüştür. Bu nedenle yüzeysel patlatma kaynaklı yer titreşimleri için bu çalışma kapsamında yapılan hasar limit çalışmalarının sadece yer titreşimlerini içerdiği ve bu limitlerin kullanımında hava şoku ve gürültü için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

- Bulunan miktar- mesafe ilişkilerinin kullanımı sonucu yapılaşma planlanan alanda hasar limitlerinin üzerinde yersarsıntısı etkilerinin varlığı tespit edildiğinde, yeni yapılacak yapılar için titreşime karşı önlemlerin alınması ve özellikle çalışma kapsamında tartışılan rezonans etkilerinin oluşum olasılığı irdelenmelidir.

- Mevcut yapılardaki yapısal bozukluk ve imalat hataları ve patlatma kaynaklı olmayan diğer yapı hasarlarının varlığının patlatma kaynaklı mutlak bir limit belirlenmesini engelleyebileceği de düşünülerek özellikle yüksek miktarda patlayıcı madde patlatılması öncesi mevcut yapıların tetkiki önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ak, H., "Patlatma kaynaklı yersarsıntılarının yönsel değişiminin araştırılması", Doktora Tezi, ***Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Eskişehir, 52-57,58-94 (2006).

2. Özkazanç, M. O., Apaydın, E., "Patlayıcı maddeler ve patlatma teknikleri", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Meslekiçi Eğitim Merkezi 2003 yılı sonbahar dönemi seminerleri, ***İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi***, Ankara, 59-63 (2004).

3. Meyer, R., Köhler J., Homburg A., "Explosives", 6 th. ed., ***Wiley- VCH Verlag GmbH***, Weinheim, 336-337 (2007)

4. Bilgin, H.A., Esen, S., Kılıç, M., "Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının binalar üzerine etkisi ve büyütme faktörünün önemi", ***16. Madencilik Kongresi***, Ankara, 25 – 32 (1999).

5. Esen, S., Bilgin, H. A., "Evaluation of blast vibrations from sekköy surface coal mine in Turkey", ***Proceedings of 27 th. Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques***, Orlando, Florida, USA , 313 – 327 (2001).

6. Gökçe, E., "Geoteknik işlerde jeoloji ve jeofizik" ***Jeofizik Mühendisleri Odası meslek içi eğitim ve belgelendirme kurs notları-8***, Ankara, 86 (2007).

7. Hibbeler, R. C., "Mechanics of Material", ***Prentice Hall*** 5 th. ed., New Jersey, 67-68 (2003).

8. Coduto, D.P., "Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar" Çeviri Mollamahmutoğlu, M., Kayabalı, K., ***Prentice Hall***, New Jersey, 318 (2006).

9. Das, B. M.,"Principles of Soil Dynamics" ***Brooks/Cole Thomson Learning,*** CA, USA, 52-63 (1993).

10. Dowding, C. H., "Blast Vibration Monitoring and Control", ***Prentice Hall***, Eaglewood Cliffs, 40 – 110 (1985).

11. Adıgüzel, D., "Çatalca Yöresi Akyol Taşocağında patlatmalardan kaynaklanan titreşim etkilerinin araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 12 – 15 (2006).

12. Explosives and Rock Blasting , "Atlas Powder Company, Filed technical operations subsidiary of the Tyler Corporation", **Dallas**, Texas, USA, 321-411 (1987)

13. Gates, A. E., Ritchie D., "Encyclopedia of Earthquakes and Volcanoes" Facts on File Inc., NewYork, 233 (2007)

14. Yerlici, V., Luş, H., "Yapı Dinamiğine Giriş" ***Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi***, İstanbul, 12, 14, 100 (2007).

15. Duvall, W. I., Devine, J. F., "Surface Mining" , Ch. 7.4., ***E. Pfleider ed.*** NewYork, 398-412 (1972).

16. Hendron, A. J., "Engineering of Rock Blasting on Civil Projects", Structural and Geotechnical Mechanics, ***W.J.Hall ed., Prentice Hall***, Englewood Cliffs, N.J., 442 (1977).

17. Jimenno, C.L., Jimeno, E.L, Carcedo, F.J.A., "Drilling and Blasting of Rocks" ***A.A.Balkema Publishers***, Brookfield, Rotterdam, 333-365(1995).

18. Kavran, R., Patır, O., Hacılar, Ü., "TKİ ELİ Deniş açık ocaklarında yapılan patlatmaların Deniş Köyüne yersarsıntısı etkisinin İncelenmesi ve önlemler", ***4. Delme ve Patlatma Sempozyumu***, Ankara, 159 – 171 (2000).

19. Aldaş, G.U., "TKİ GELİ müessesesi sahalarında (Eskihisar İkizköy- Sekköy) yapılan patlatmaların çevre yerleşim yerlerine olan sarsıntı etkilerinin en aza indirilmesine yönelik ek araştırma final raporu" ***Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü***, Ankara, 32 (2006).

20. Ak. H., Iphar, M., Yavuz, M., Konuk, A., "Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in magnesite mine", ***Soil Dynamics and Earthquake Engineering***, 29: 669 – 676 (2008).

21. Ohsaki ,Y., "Deprem Dalgasının Spektral Analizine Giriş" ***İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi***, İstanbul, 19 (1991).

22. White, T. J., Farnfield, R. A., "A measure of frequency" , ***Explosive Engineering***, 4 -12 (1994).

23. Erkoç, Ö.Y., "Patlatma ile çevreye verilen sarsıntıda frekansın önemi ve değerlendirilmesi",***Türkiye 14. Madencilik Kongresi***,Ankara, 73 -80 (1995)

24. Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz C., "Kaya Şev Stabilitesi", ***TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları***, Ankara, 291(1991).

25. Duvall, W. I., Fogelson, D. E., "Review of criteria for estimating damages to residences from blasting vibrations", ***US Bureu of Mines, RI 5968, Pittsburgh,*** 13-16 (1962).

26. Morris, G., "Vibrations due to blasting and their effects on building structure" ***The Engineer***, London, 394 – 395 (1950).

27. Langefors, U., Kihlstrom, B., "The modern techniques of rock blasting", ***John Wiley and Sons Inc.***, 3rd edition, NewYork 438 (1978).

28. Nicholls, H.R., Johnson, C.F., Duvall, W.I., "Blasting vibrations and their effects on structures Bulletin No. 656, ***US Bureu of Mines. Pittsburgh***, 22-24,49 (1971).

29. Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W., Dowding, C. H., "Structure response and damage produced bu ground vibration from surface mine blasting" ***US Bureu of Mines RI 8507***, ***Pittsburgh,*** 73-74 (1980).

30. Bilgin, A., Esen, S., Kılıç, M., "TKİ Çan Linyit İşletmesinde patlatmaların yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi için araştırma nihai raporu, ***TKİ Genel Müdürlüğü***, Ankara, 25-27 (1998).

31. Nuhoğlu, İ., Şan, O., "Madencilik faaliyetlerinin yapı hasarına etkileri: Sorunlar ve Çözüm önerileri" ***Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, 7 : 229 – 236 (2004).

32. Rockwell, E. H., "Vibration caused by quarry blasting and their effect on structures", ***Rock Products***, Vol. 30, 58-61, (1927).

33. Crandell, F. J., "Ground vibration due to blasting and its effect upon structures", ***Journal of the Boston Society of Civil Engineers***, 49(2) : 222-245 (1949).

34. Konya C. J., Walter E. J., "Surface Blast Design", ***Prince Hall***, Eaglewood Cliffs N.J, 20 – 22 (1990).

35. Langefors, U., Westerbers, H., Kihlstor, B., "Ground vibrations in blasting", part I – III, ***WaterPower***, 421-424 (1958).

36. Edwards, A.T., Northwood, T.T., "Experimental studies of the effects of blasting on structures" ***The Engineer***, 210: 538 - 546 (1960).

37. Khandelwal, M., Singh, T. N., "Evaluation of blast-induced ground vibration predictors" ***Soil Dynamics and Earthquake Engineering***,Vol 27, 116 – 125 (2007).

38. Kahriman, A., Karadoğan, A. K., Görgün, S., Tuncer, G., "Otaş ocaklarında patlatmadan kaynaklanan yersarsıntılarının ölçülmesi ve analizi" ***2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu***, İstanbul, 129-142 (1999).

39. OSM Blasting Performance Standards, , 30 Code of Federal Regulations, Sec. 816.67 Use of explosives: Control of adverse effects, ***Office Of Surface Mining Reclamation And Enforcement (OSM), Pittsburgh,*** 5-7 (1983).

40. OSMRE Federal Regulations, Code of Federal Regulations 30 CFR, Part 700, http://www.osmre.gov/regindex.htm (2004)

41. Hüdaverdi, T., Kuzu C., "Madencilik faaliyetlerinde patlatma kaynaklı çevresel etkilerin ölçülmesi ve analizi" Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, 135 – 137, (2005).

42. "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (2002/49/EC), 5. Bölüm Çevresel Titreşim Esas ve Kriterleri" ,***Çevre ve Orman Bakanlığı*** (2008).

43. Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Polis Laboratuarı Dairesi Başkanlığı internet sayfası, Bomba incelemeleri", http://www.kpl.gov.tr/servisler.htm, (2002).

44. Nalçakan, M., Elal, A. D., "Emniyet Genel Müdürlüğü Uluslararası Kriminal Bilimleri Eğitim ve Araştırma Merkezi Ankara İli Gölbaşı İlçesi Hizmet Binası zemin etüt ve temel mühendisliği raporu", ***Kilci İnşaat Mühendislik Müşavirlik Proje Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti***, Ankara, 1 – 13 (2006).

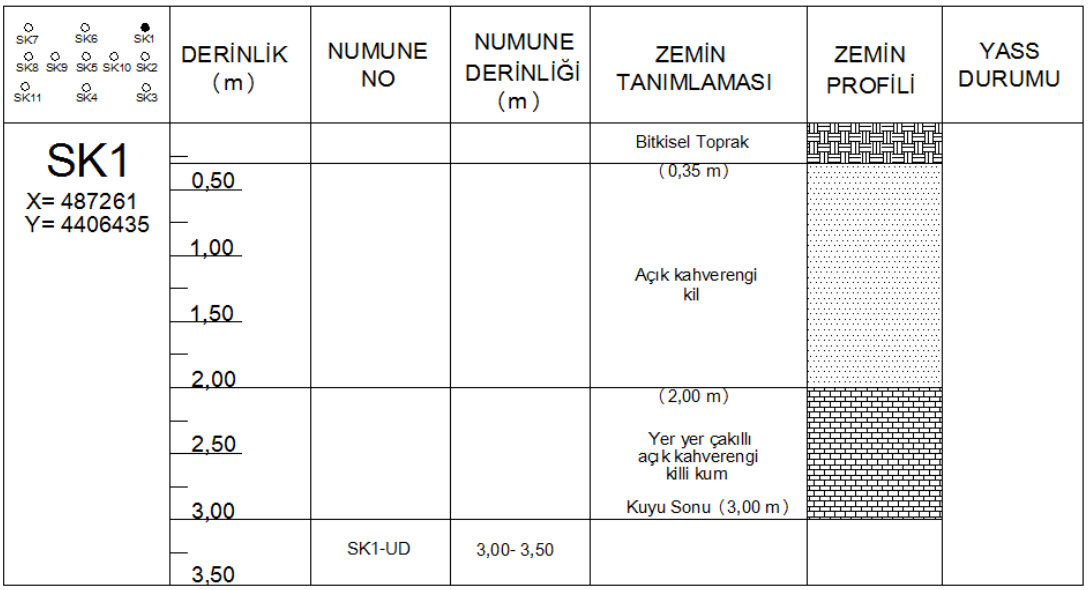
45. "TS 1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini", ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 10-37 (2006).

46. "TS 1900-2 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar deneyleri- Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini", ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 27 (2006).

47. Ang A.H.S., Tang, W. H., "Probability concepts in engineering planning and design" ***John Wiley and Sons Inc.,*** NewYork, 286-290 (1975).

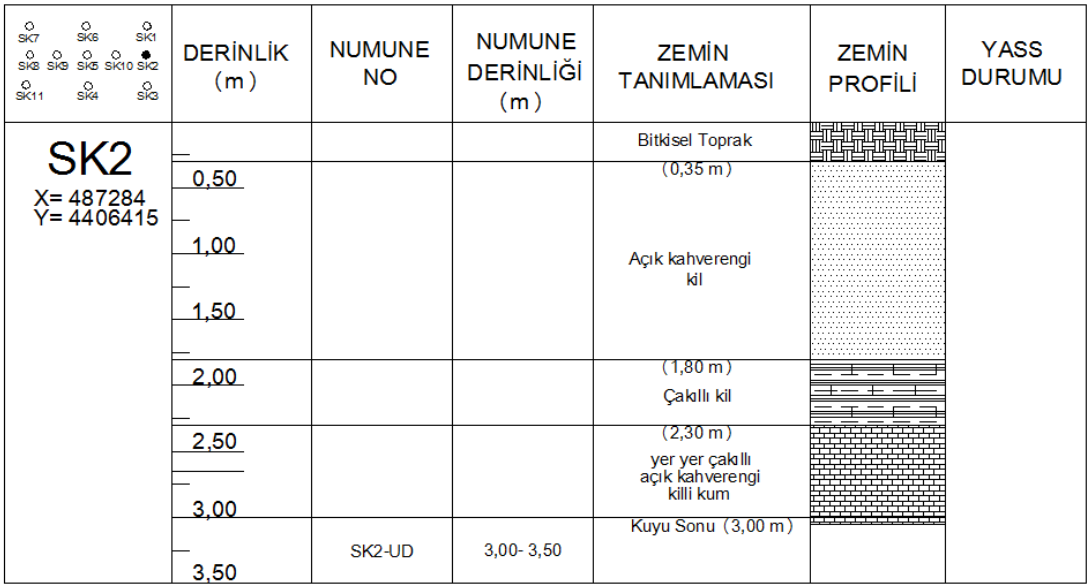
EKLER

EK- 1. Sondaj logları



SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK1 X= 487261 Y= 4406435				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,35 m)		
	1,00			Açık kahverengi kil		
	1,50					
	2,00					
				(2,00 m)		
	2,50			Yer yer çakıllı açık kahverengi killi kum		
	3,00			Kuyu Sonu (3,00 m)		
	3,50	SK1-UD	3,00- 3,50			

Şekil 1.1. SK-1 sondaj logu



SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK2 X= 487284 Y= 4406415				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,35 m)		
	1,00			Açık kahverengi kil		
	1,50					
	2,00			(1,80 m) Çakıllı kil		
	2,50			(2,30 m) yer yer çakıllı açık kahverengi killi kum		
	3,00			Kuyu Sonu (3,00 m)		
	3,50	SK2-UD	3,00- 3,50			

Şekil 1.2. SK-2 sondaj logu

EK- 1. (Devam) Sondaj logları

SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK3 X= 487308 Y= 4406394				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,30 m)		
	1,00			Açık kahverengi kil		
	1,50			(1,50 m)		
	2,00					
	2,50			yer yer çakıllı açık kahverengi killi kum		
	3,00			Kuyu Sonu (3,00 m)		
	3,50	SK3-UD	3,00- 3,50			

Şekil 1.3. SK-3 sondaj logu

SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK4 X= 487295 Y= 4406381				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,30 m)		
	1,00					
	1,50			çakıllı ince kumlu açık kahverengi kil		
	2,00					
	2,50			(2,50 m)		
	3,00			çakıllı açık kahverengi kil		
	3,50	SK4-UD	3,00- 3,50	Kuyu Sonu (3,00 m)		

Şekil 1.4. SK-4 sondaj logu

EK- 1. (Devam) Sondaj logları

SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK5 X= 487272 Y= 4406401				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,30 m)		
	1,00					
	1,50			yer yer çakıllı ince kumlu açık kahverengi kil		
	2,00					
	2,50					
	3,00					
	3,50	SK5-UD	3,00- 3,50	Kuyu Sonu (3,00 m)		

Şekil 1.5. SK-5 sondaj logu

SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK6 X= 487248 Y= 4406420				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,30 m)		
	1,00			Açık kahverengi kil		
	1,50					
	2,00			(2,25 m)		
	2,50			Seyrek çakıllı ince taneli az kumlu açık kahverengi kil		
	3,00					
	3,50			Kuyu Sonu (3,05 m)		

Şekil 1.6. SK-6 sondaj logu

EK- 1. (Devam) Sondaj logları

SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK7 X= 487235 Y= 4406405				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,30 m)		
	1,00			Açık kahverengi kil		
	1,50			(1,30 m)		
	2,00			seyrek çakıllı ince taneli az kumlu açık kahverengi kil		
	2,50					
	3,00			Kuyu Sonu (3,00 m)		
	3,50	SK7-UD	3,00- 3,50			

Şekil 1.7. SK-7 sondaj logu

SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK8 X= 487258 Y= 4406385				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,35 m)		
	1,00			Açık kahverengi kil		
	1,50					
	2,00					
	2,50			(2,40 m)		
	3,00			yer yer çakıllı, kumlu açık kahverengi kil		
	3,50	SK8-UD	3,00- 3,50	Kuyu Sonu (3,00 m)		

Şekil 1.8. SK-8 sondaj logu

EK- 1. (Devam) Sondaj logları

SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK9 X= 487265 Y= 4406394				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,35 m)		
	1,00			Açık kahverengi kil		
	1,50					
	2,00					
	2,50			(2,60 m)		
	3,00			yer yer çakıllı açık kahverengi killi kum		
	3,50	SK9-UD	3,00- 3,50	Kuyu Sonu (3,00 m)		

Şekil 1.9. SK-9 sondaj logu

SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK10 X= 487278 Y= 4406409				Bitkisel Toprak		
	0,50			(0,35 m)		
	1,00			Açık kahverengi kil		
	1,50					
	2,00			(2,00 m)		
	2,50			yer yer çakıllı,kumlu açık kahverengi kil		
	3,00					
	3,50	SK10-UD	3,00- 3,50	Kuyu Sonu (3,00 m)		

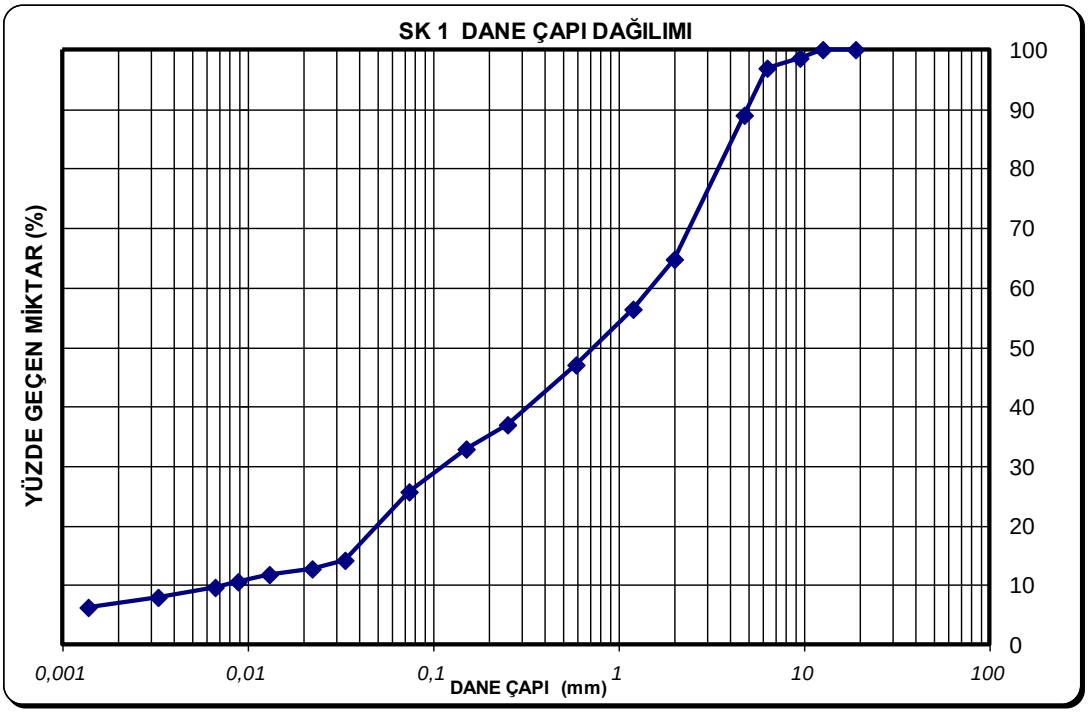
Şekil 1.10. SK-10 sondaj logu

EK- 1. (Devam) Sondaj logları

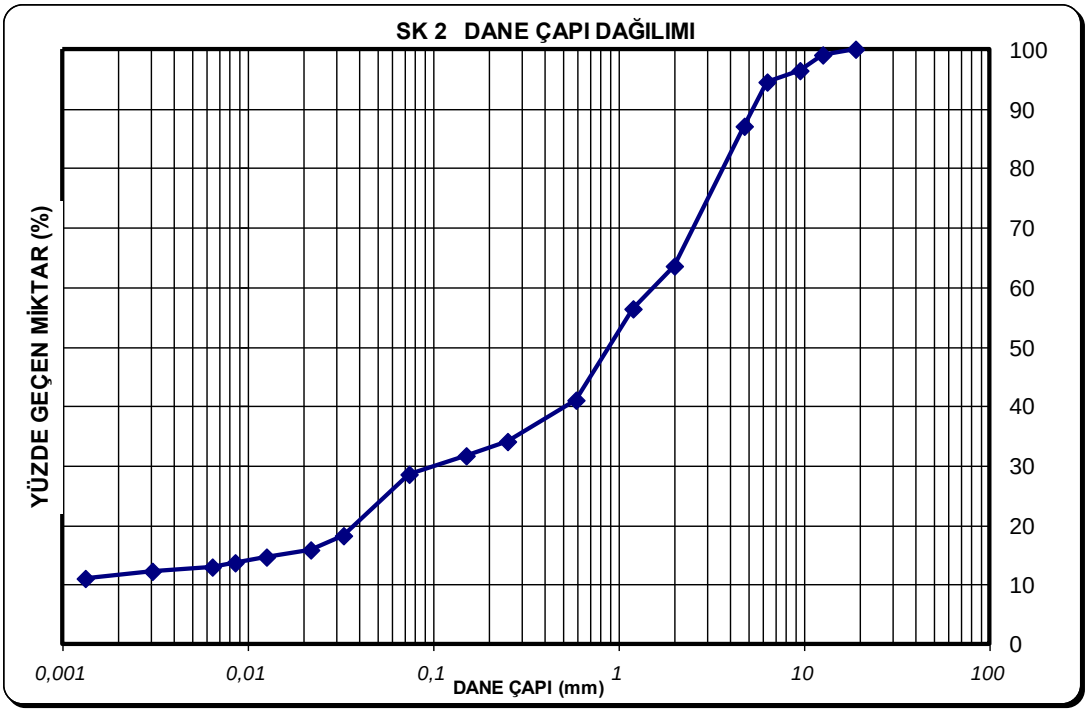
SK7 SK6 SK1 SK8 SK9 SK5 SK10 SK2 SK11 SK4 SK3	DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMLAMASI	ZEMİN PROFİLİ	YASS DURUMU
SK11 X= 487280 Y=4406366				Bitkisel Toprak		
	0,50 1,00 1,50 2,00			(0,35 m) Açık kahverengi kil		
	2,50 3,00			(2,00 m) yer yer çakıllı açık kahverengi killi kum Kuyu Sonu (3,04 m)		
	3,50	SK11-UD	3,04 - 3,50			

Şekil 1.11. SK-11 sondaj logu

EK- 2. Zemin numunelerinde dane çapı dağılımı

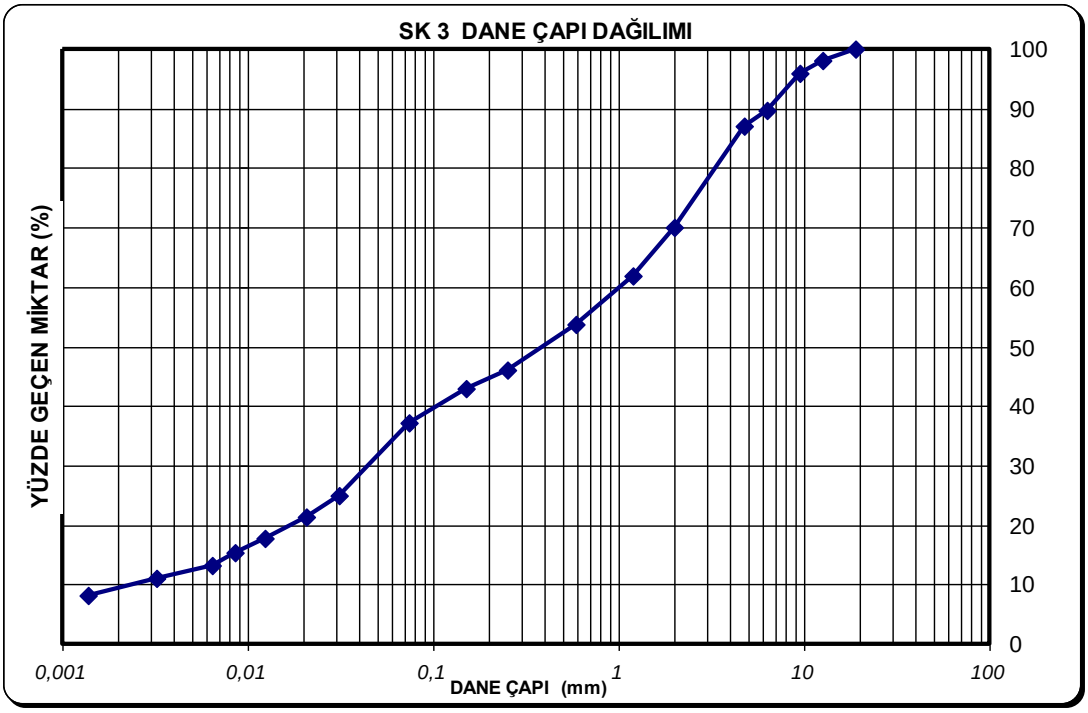


Şekil 2.1. SK-1 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

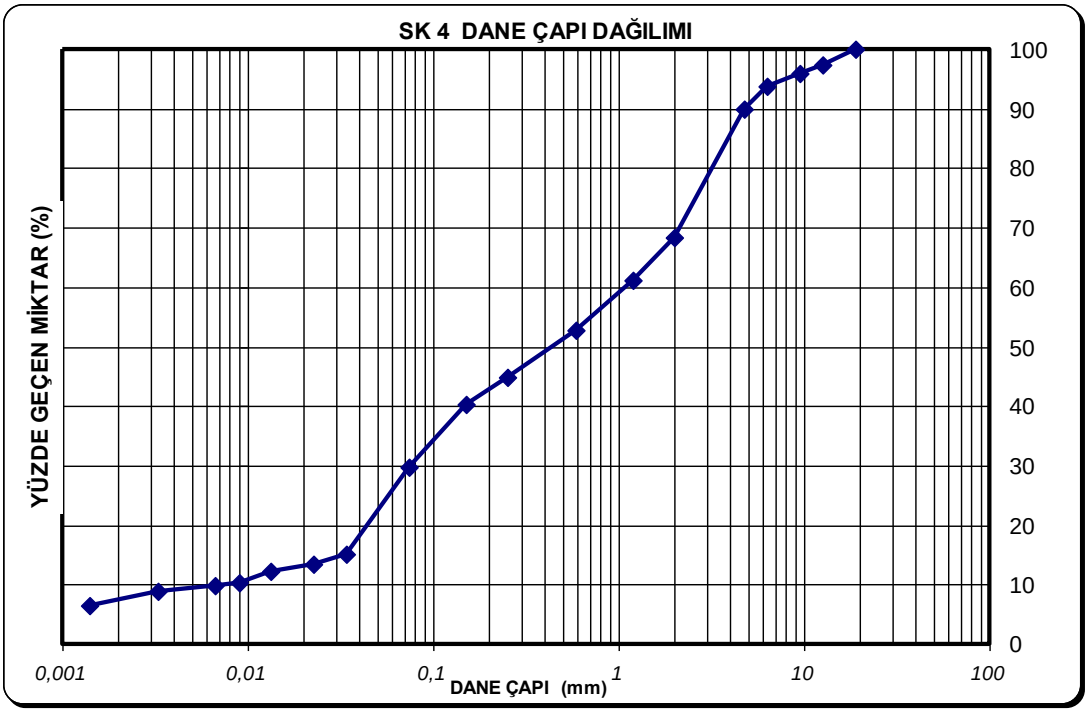


Şekil 2.2. SK-2 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

EK- 2. (Devam) Zemin numunelerinde dane çapı dağılımı

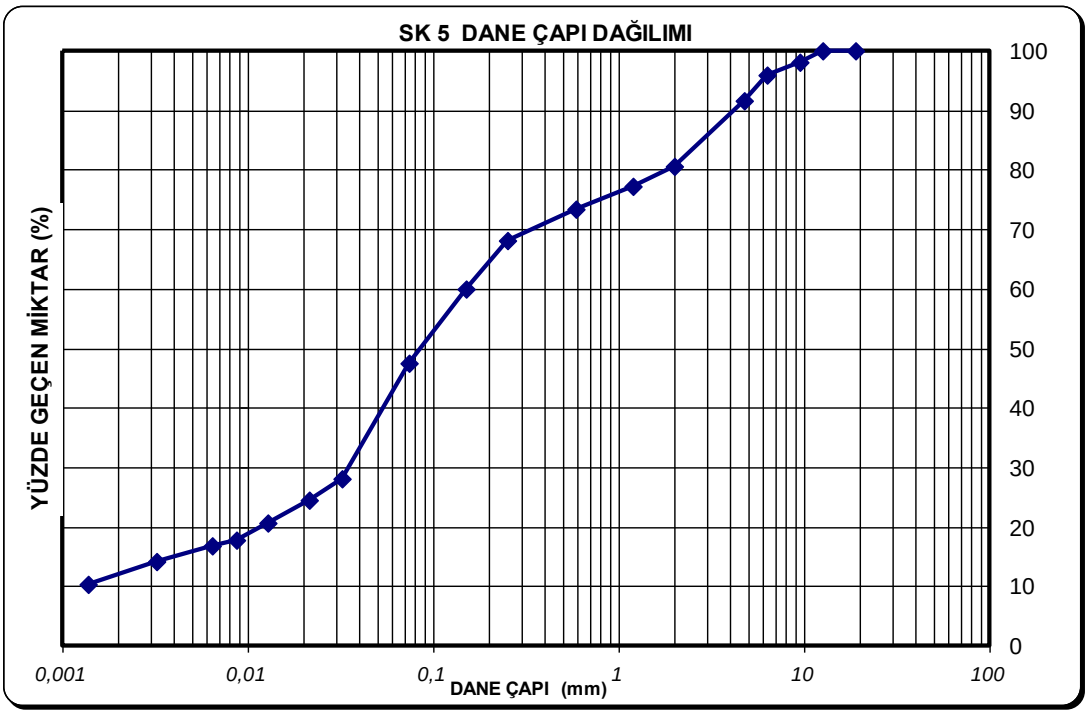


Şekil 2.3. SK-3 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

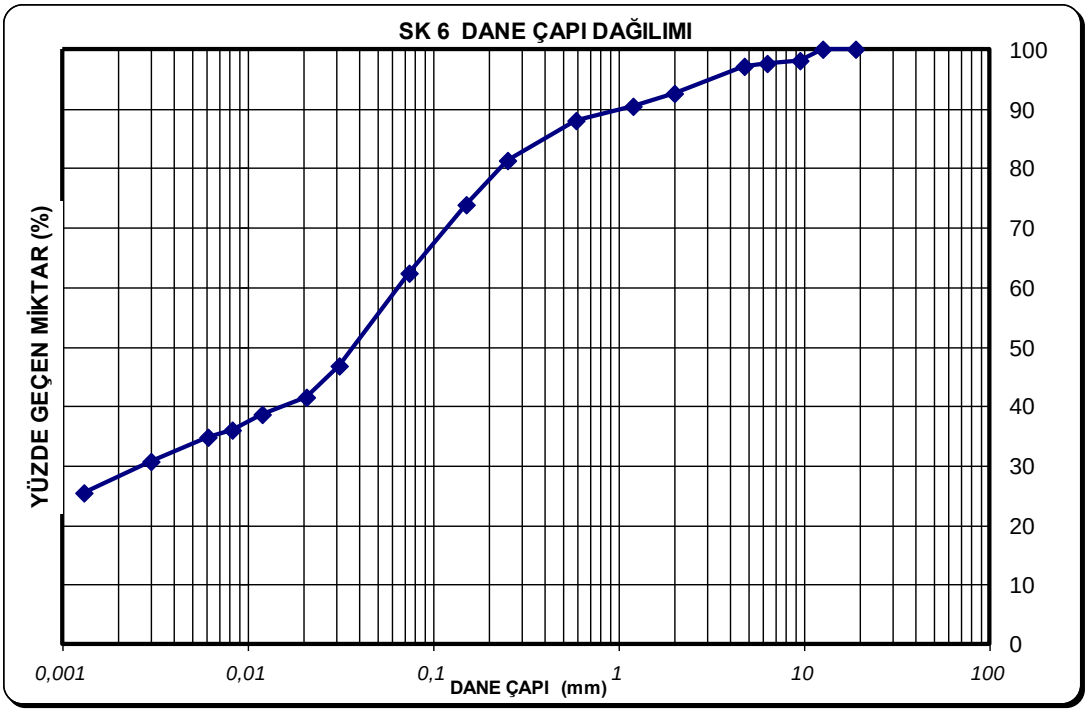


Şekil 2.4. SK-4 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

EK- 2. (Devam) Zemin numunelerinde dane çapı dağılımı

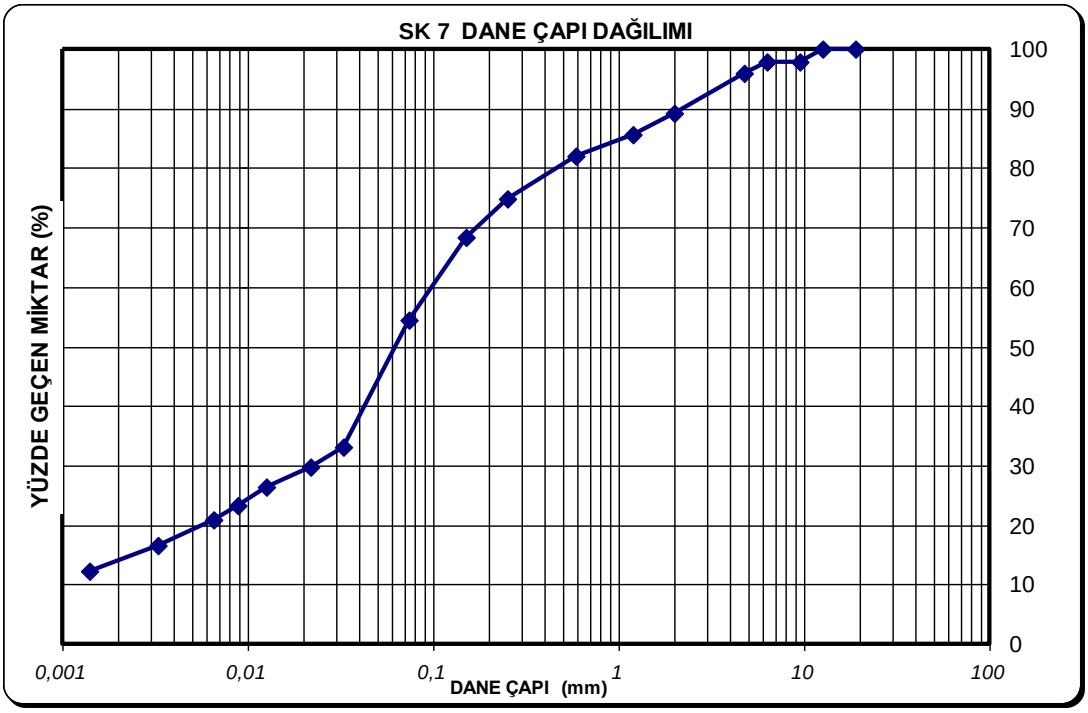


Şekil 2.5. SK-5 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

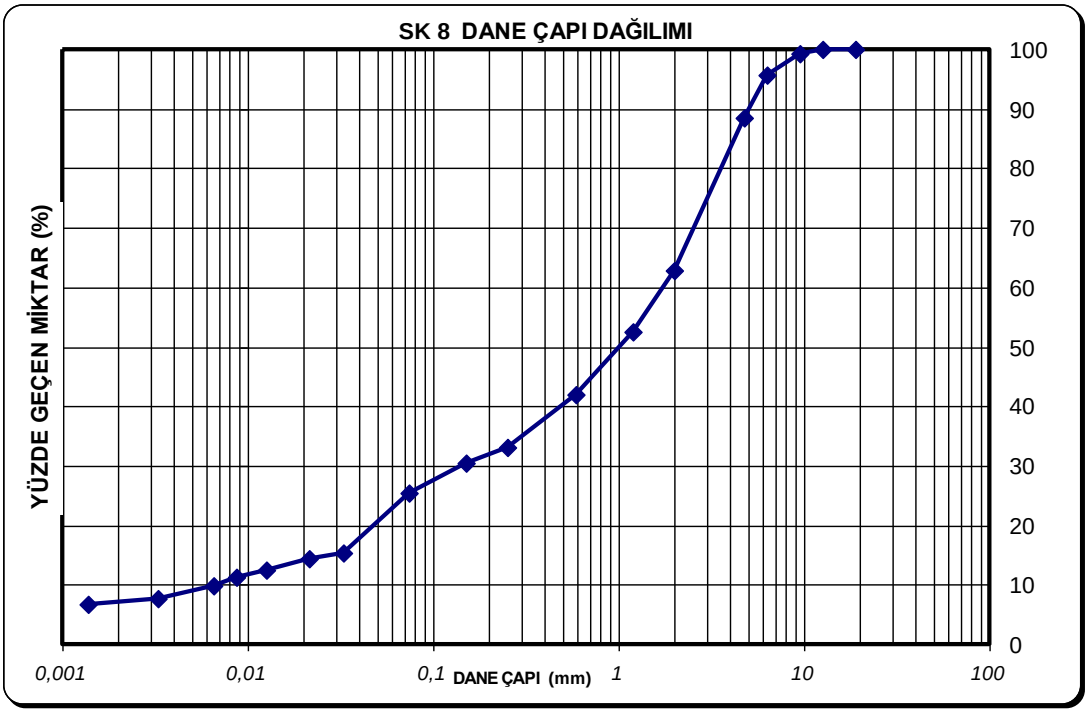


Şekil 2.6. SK-6 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

EK- 2. (Devam) Zemin numunelerinde dane çapı dağılımı

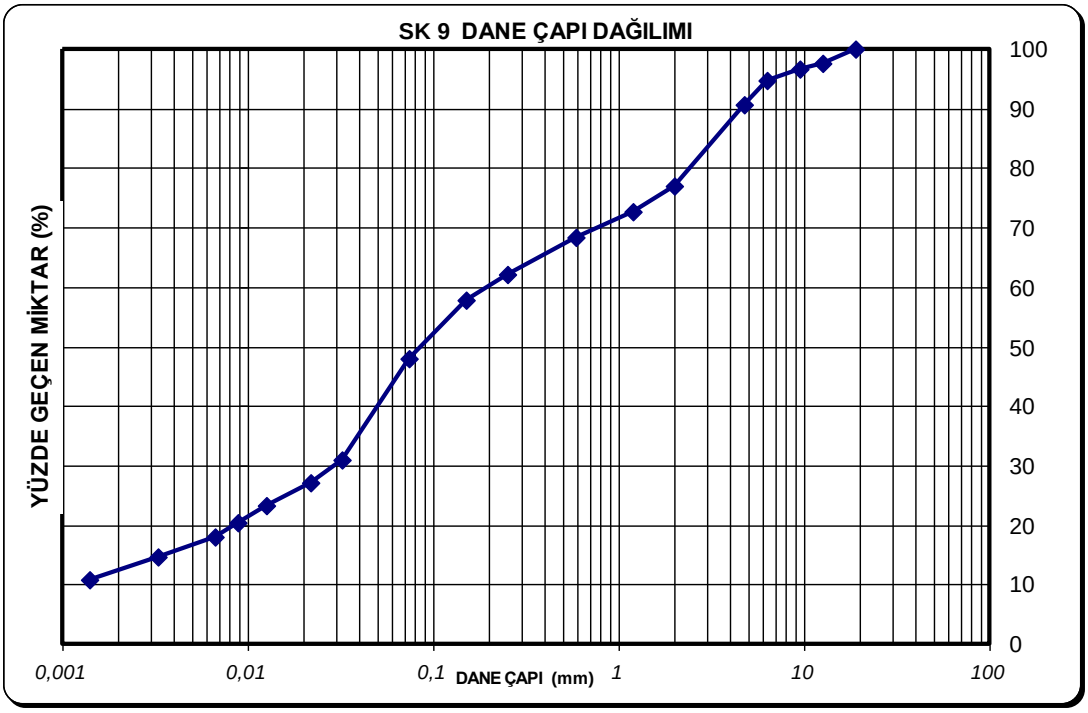


Şekil 2.7. SK-7 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

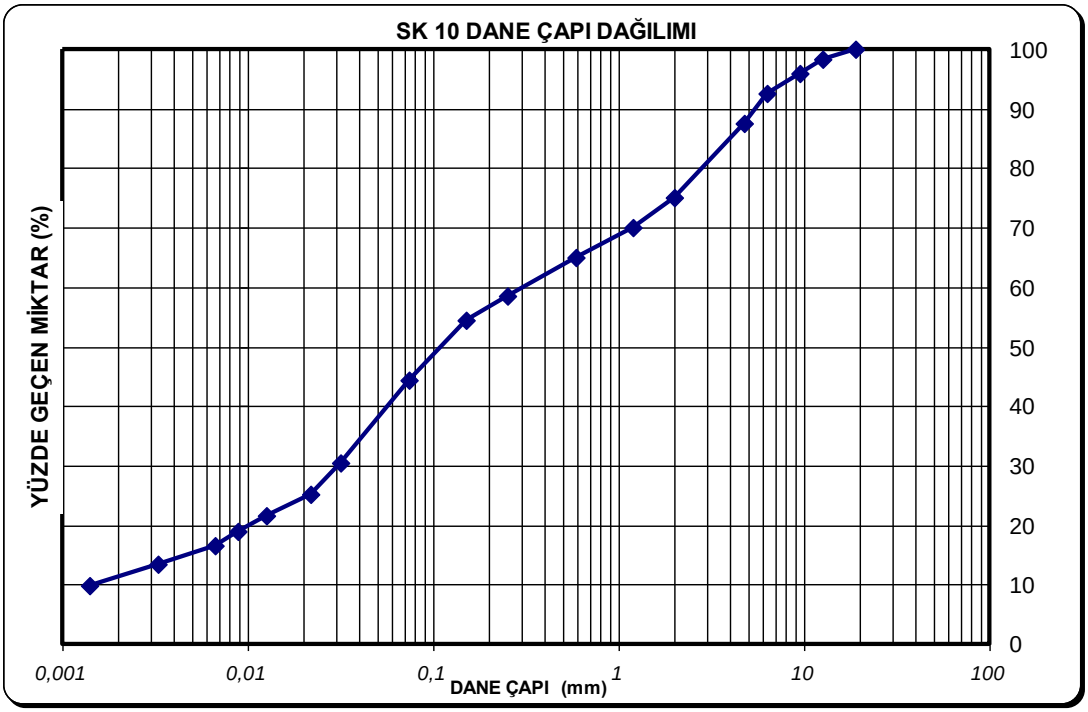


Şekil 2.8. SK-8 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

EK- 2. (Devam) Zemin numunelerinde dane çapı dağılımı

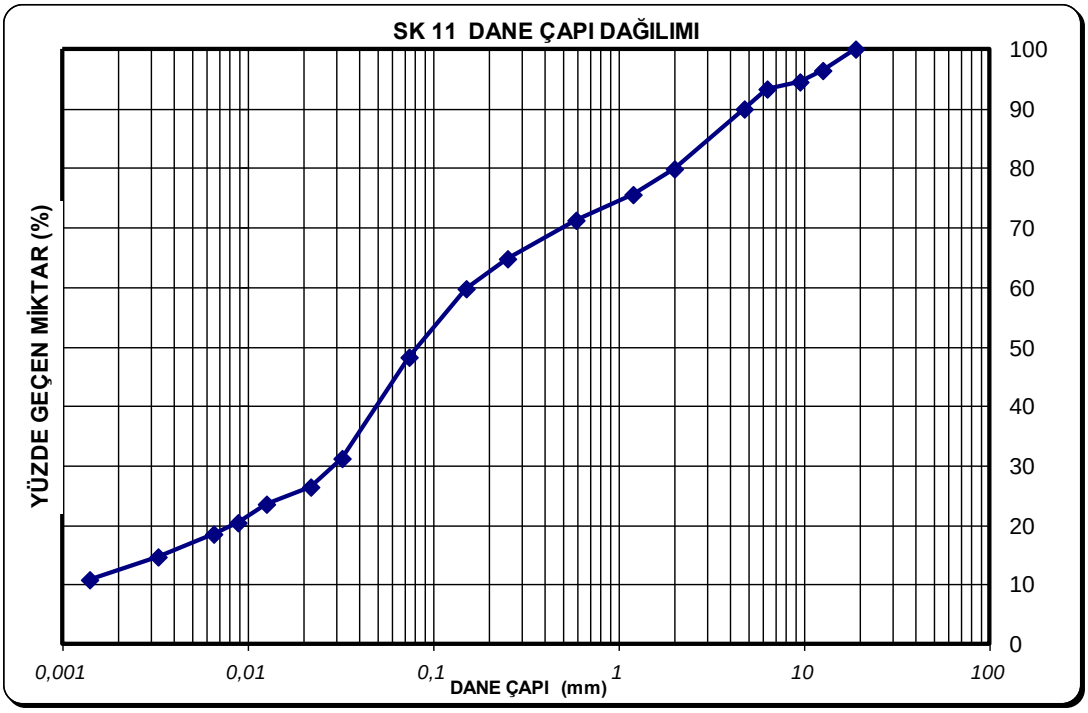


Şekil 2.9. SK-9 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği



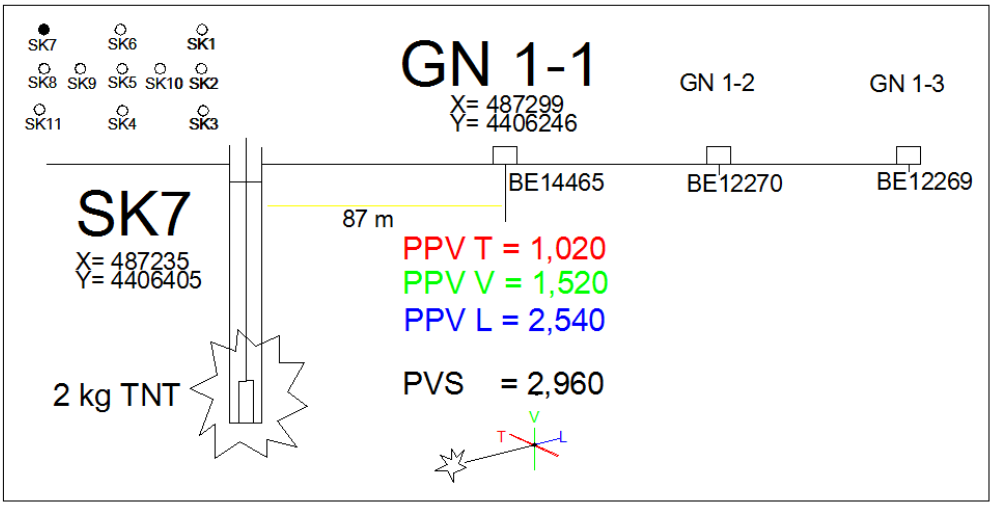
Şekil 2.10. SK-10 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

EK- 2. (Devam) Zemin numunelerinde dane çapı dağılımı

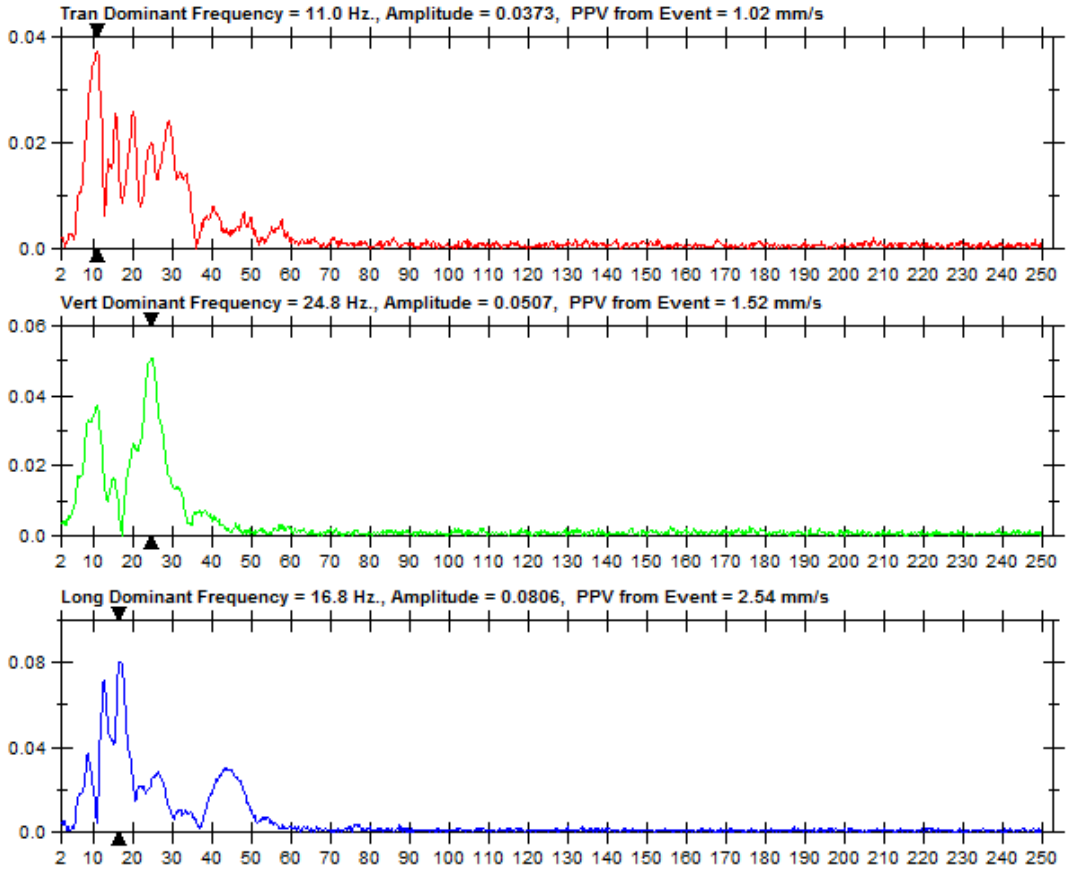


Şekil 2.11. SK-11 sondaj kuyusu zemin numunesi dane çapı dağılımı grafiği

EK- 3. Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

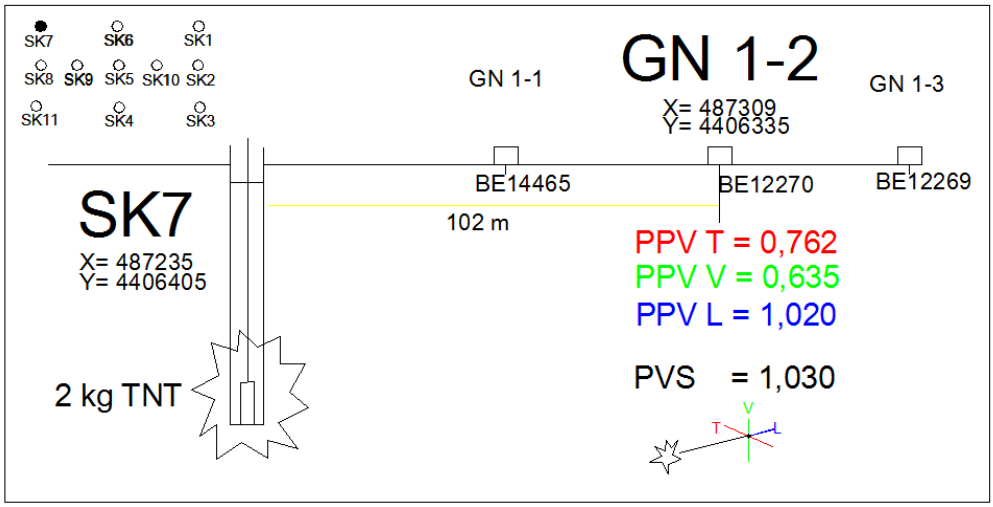


Şekil 3.1. SK7'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

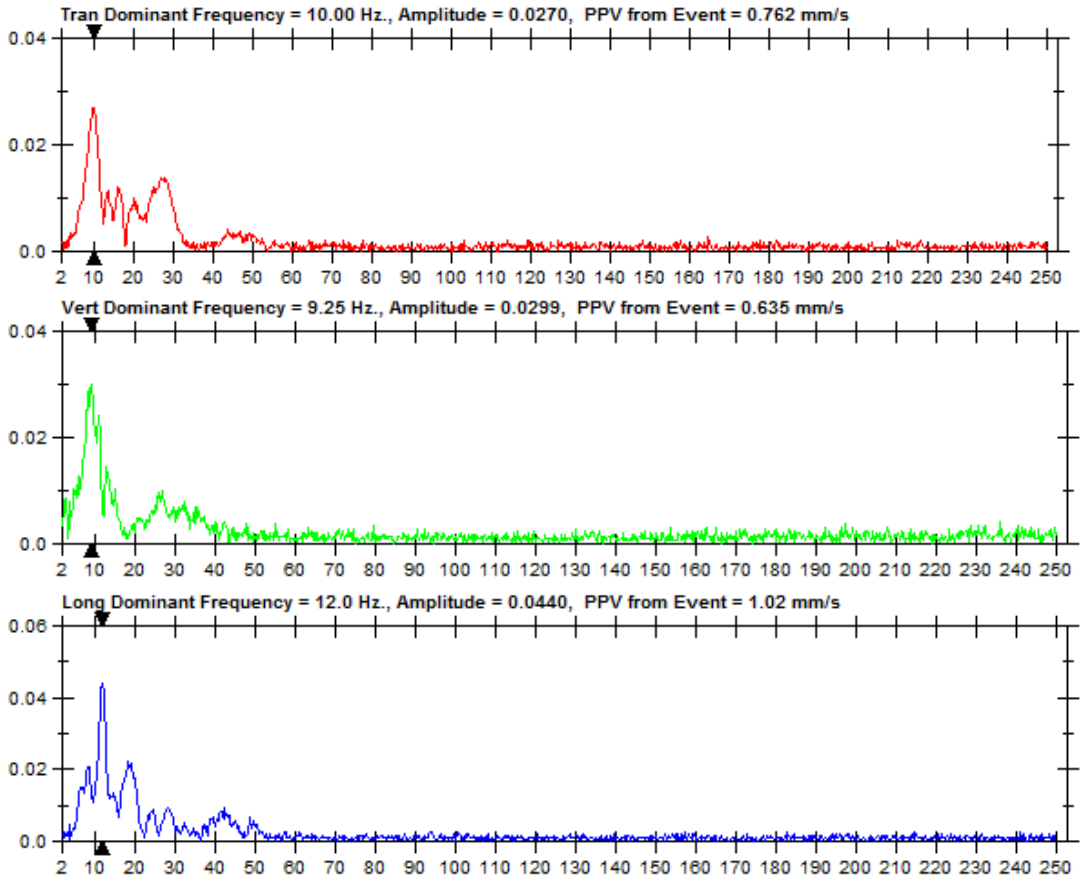


Şekil 3.2. SK7 de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

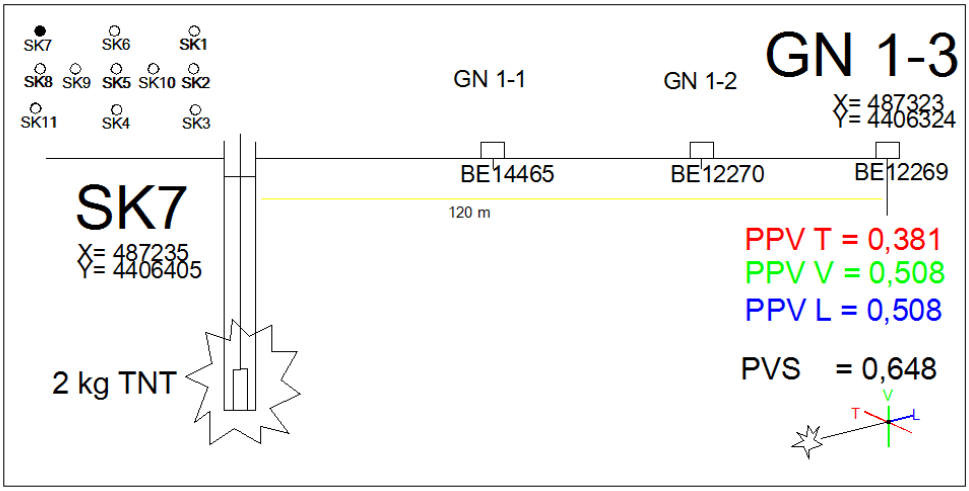


Şekil 3.3. SK7'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

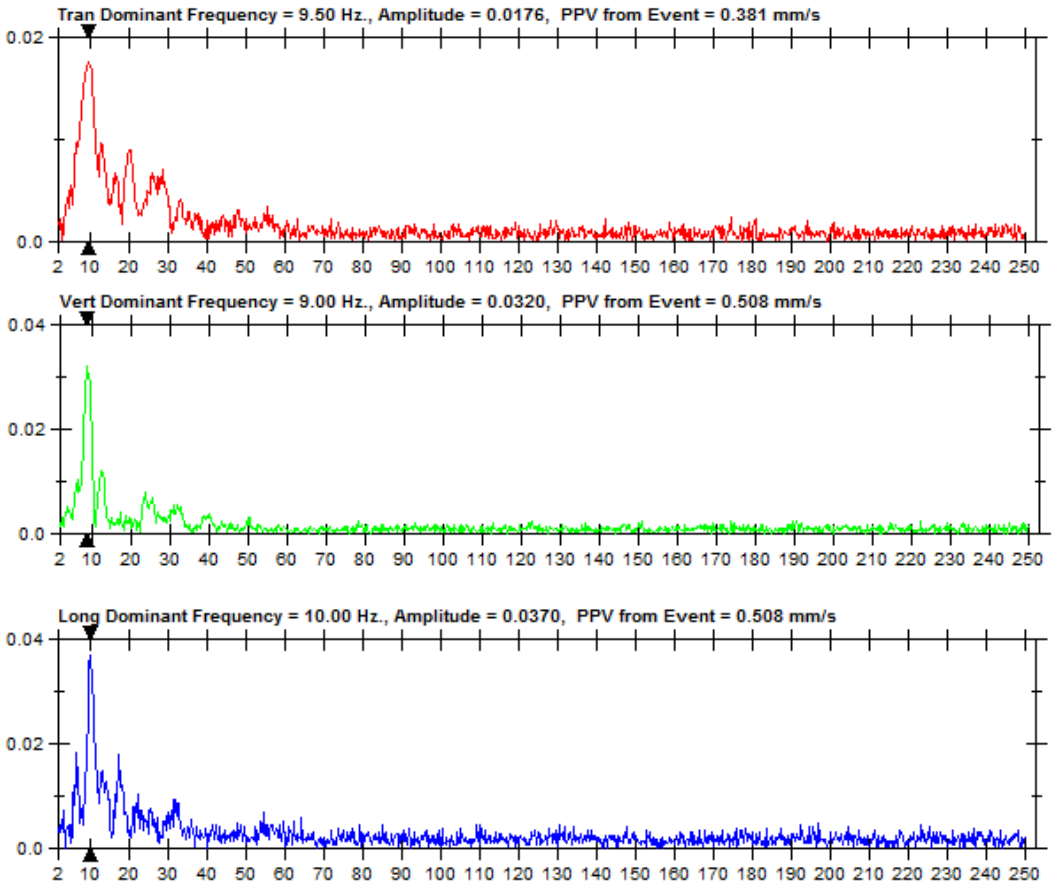


Şekil 3.4. SK7 de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

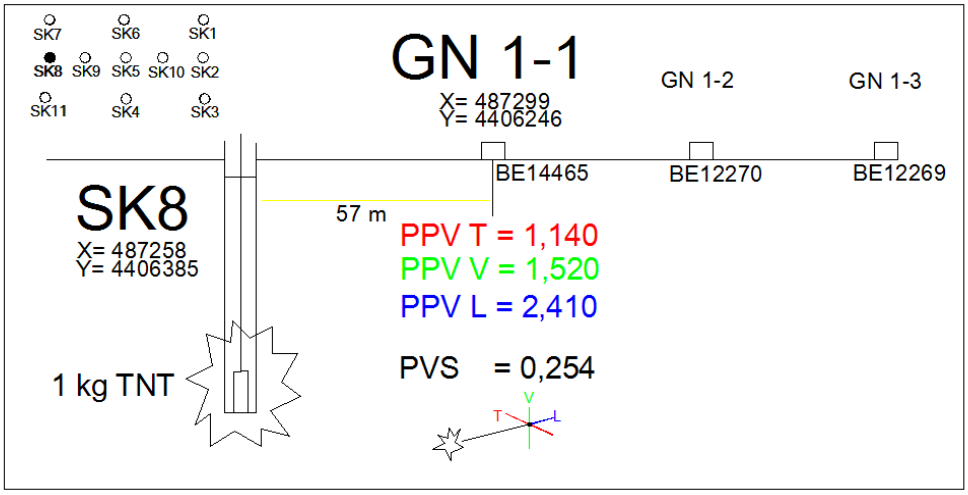


Şekil 3.5. SK7'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

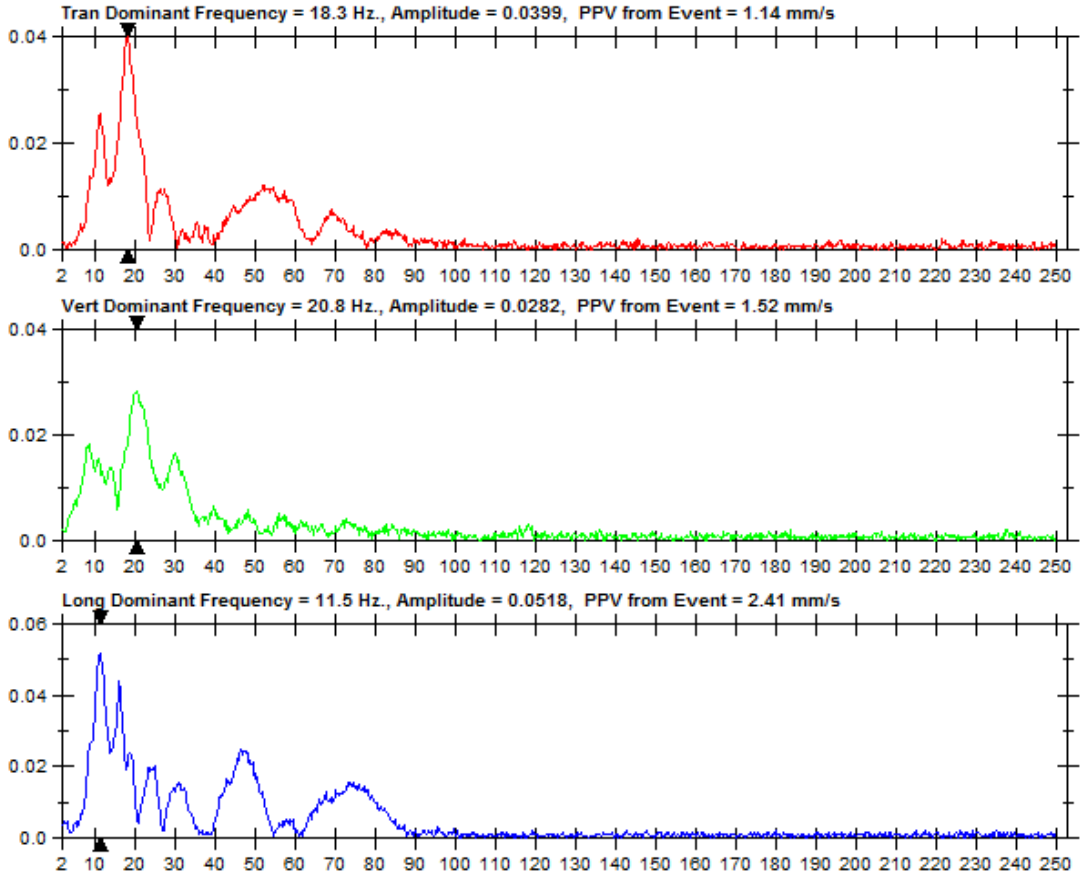


Şekil 3.6. SK7 de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde (FFT) program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

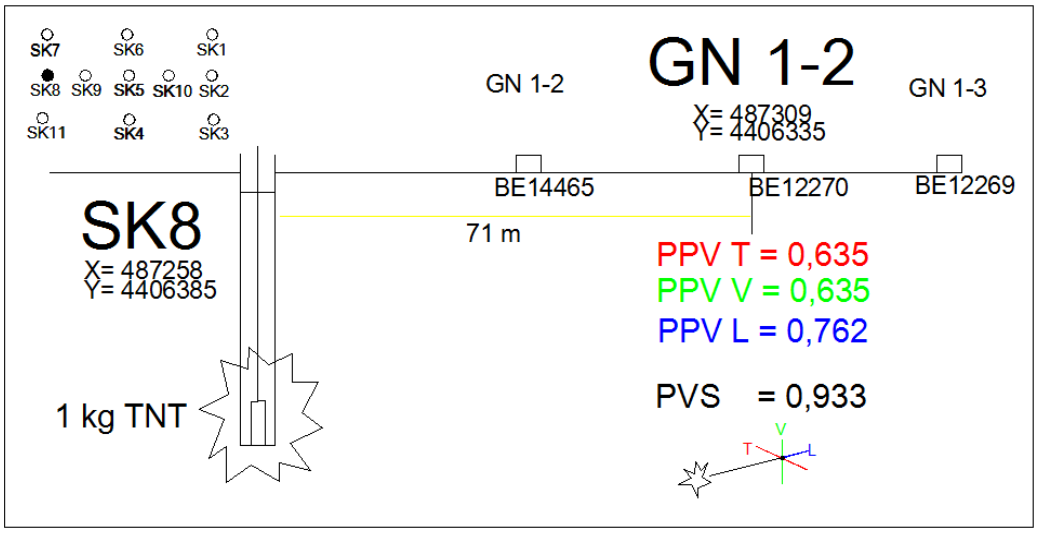


Şekil 3.7. SK8'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

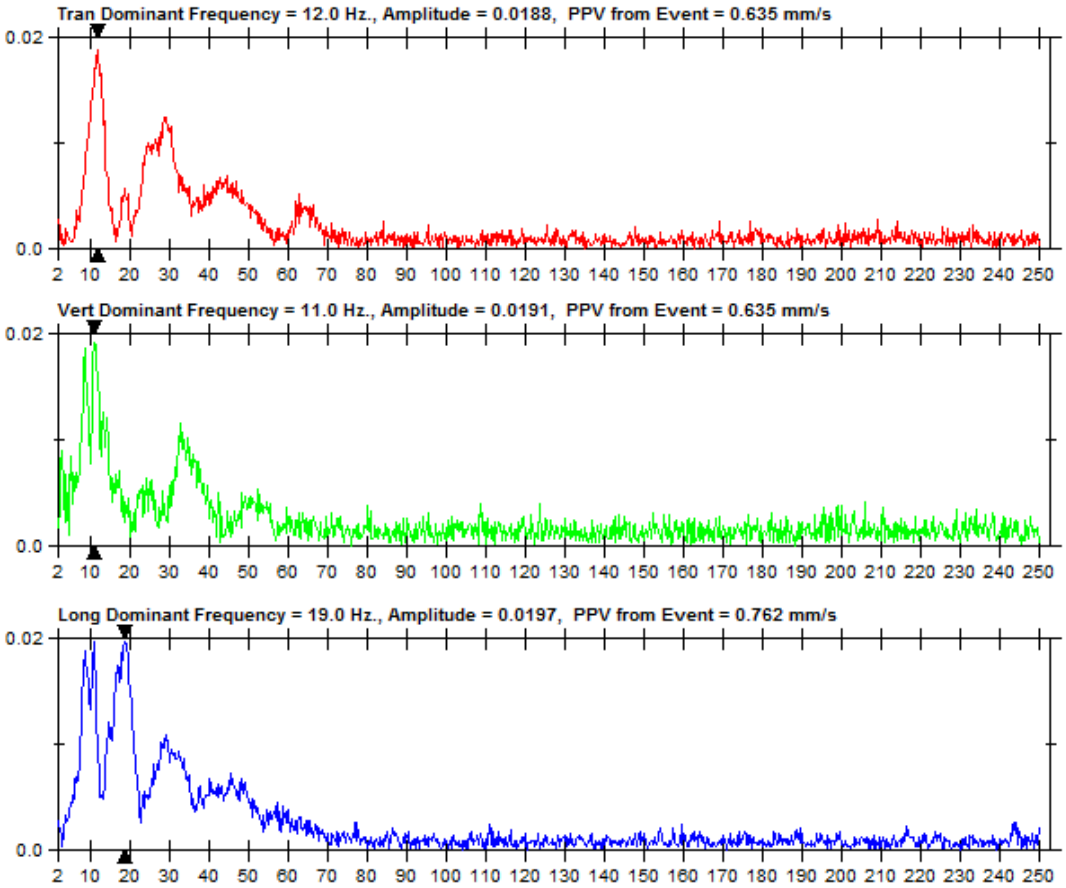


Şekil 3.8. SK8 de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

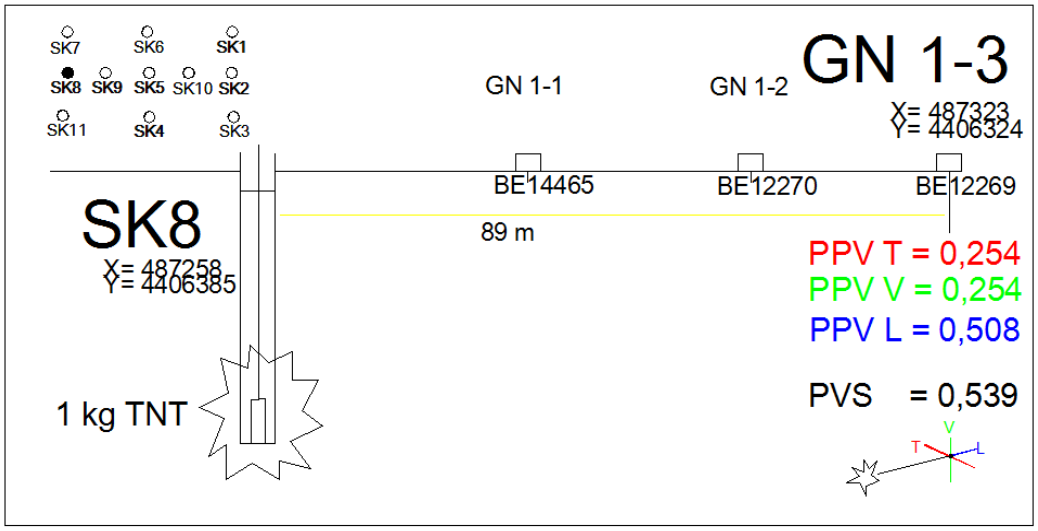


Şekil 3.9. SK8'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

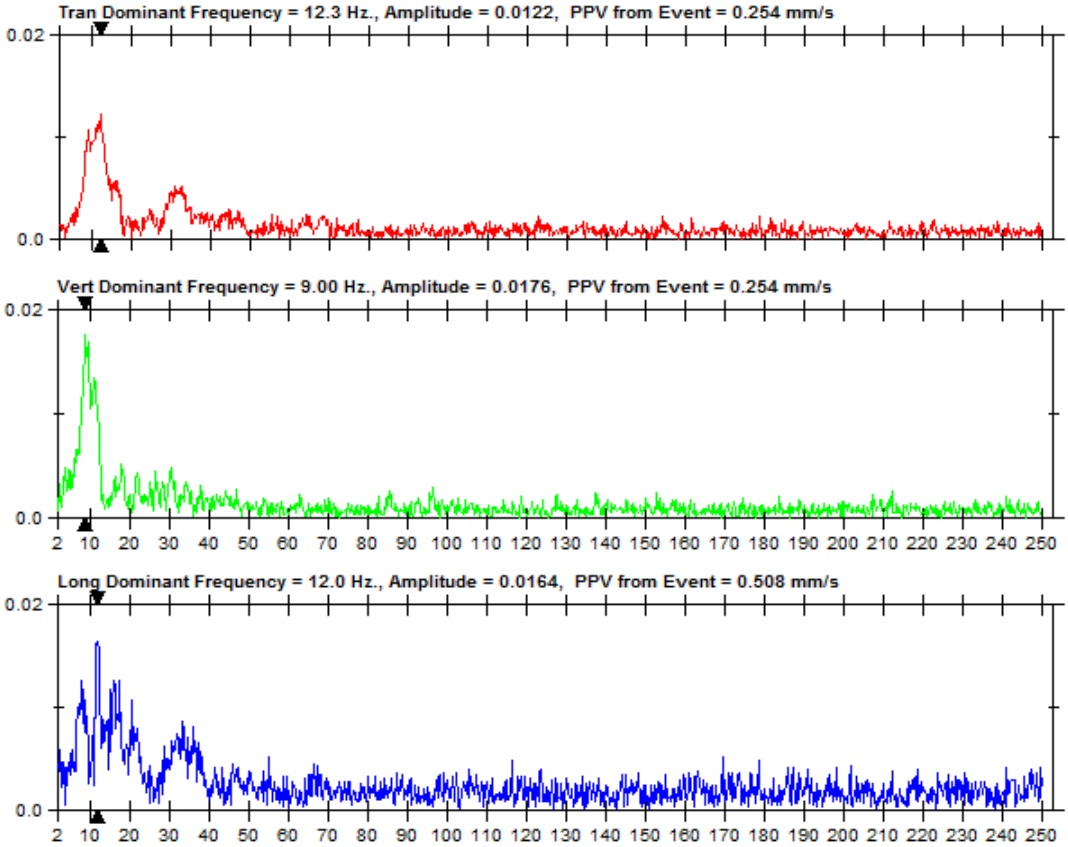


Şekil 3.10. SK8 de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde ilişkisi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

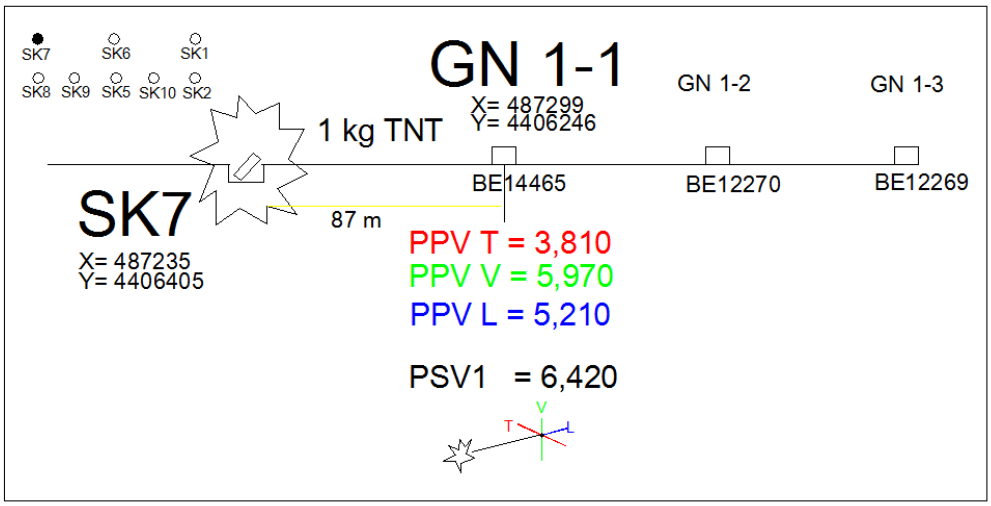


Şekil 3.11. SK8'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

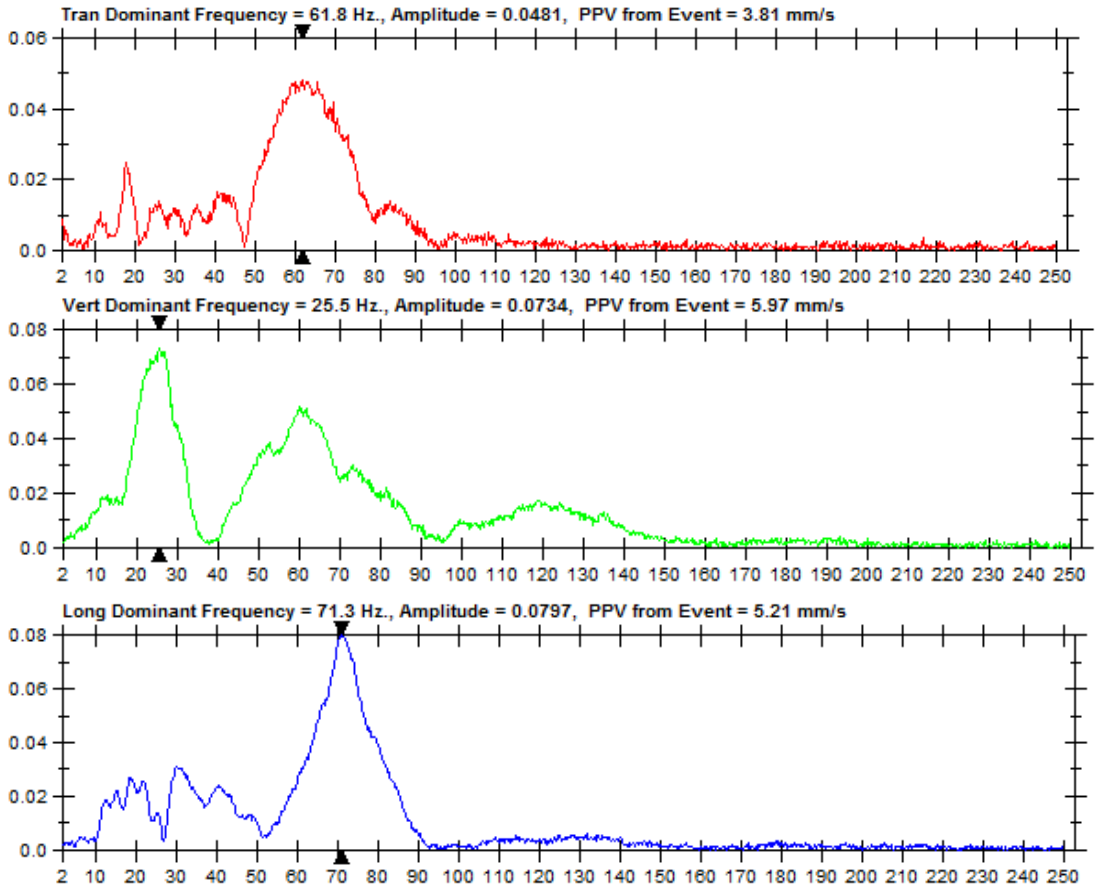


Şekil 3.12. SK8 de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

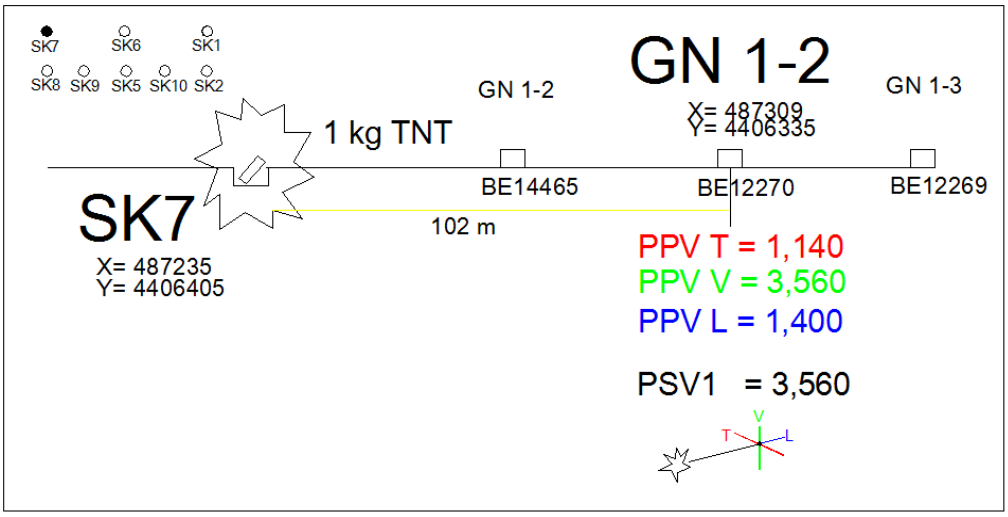


Şekil 3.13. SK7'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

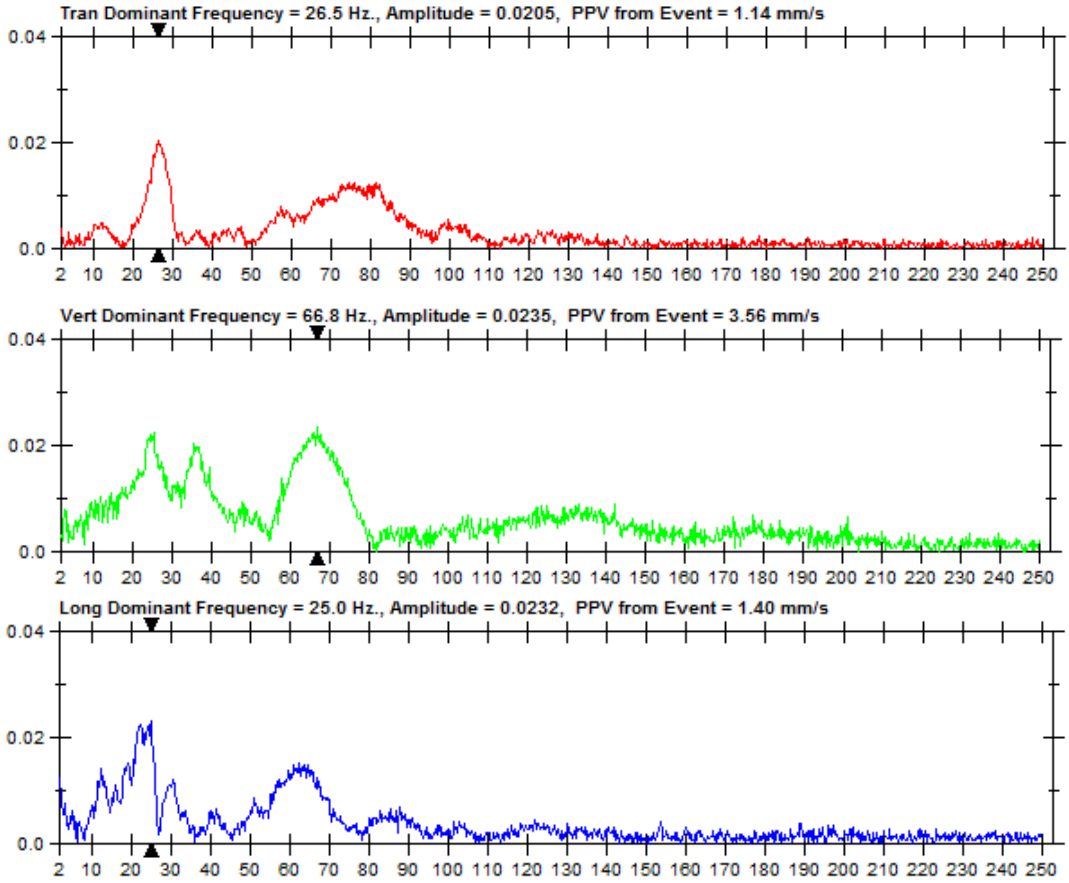


Şekil 3.14. SK7 de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

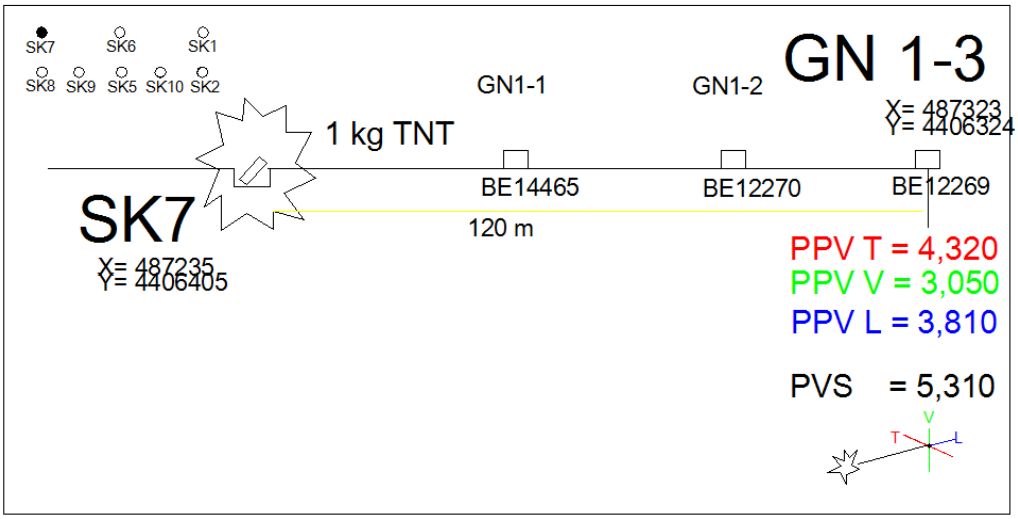


Şekil 3.15. SK7'de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

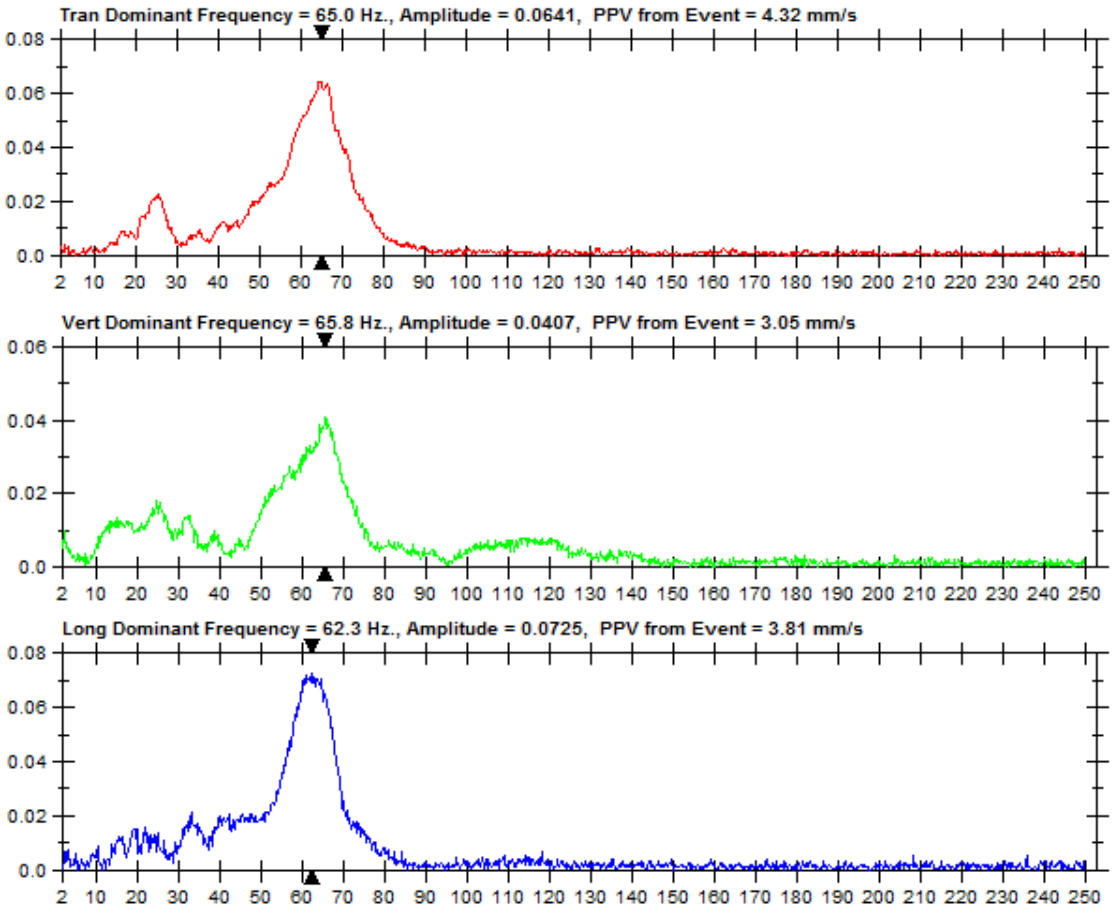


Şekil 3.16. SK7 de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

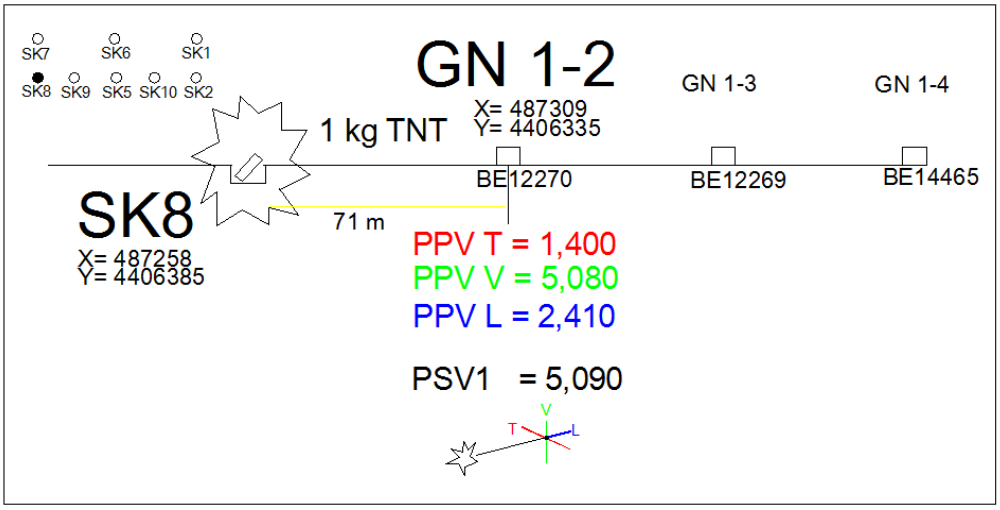


Şekil 3.17. SK7'de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

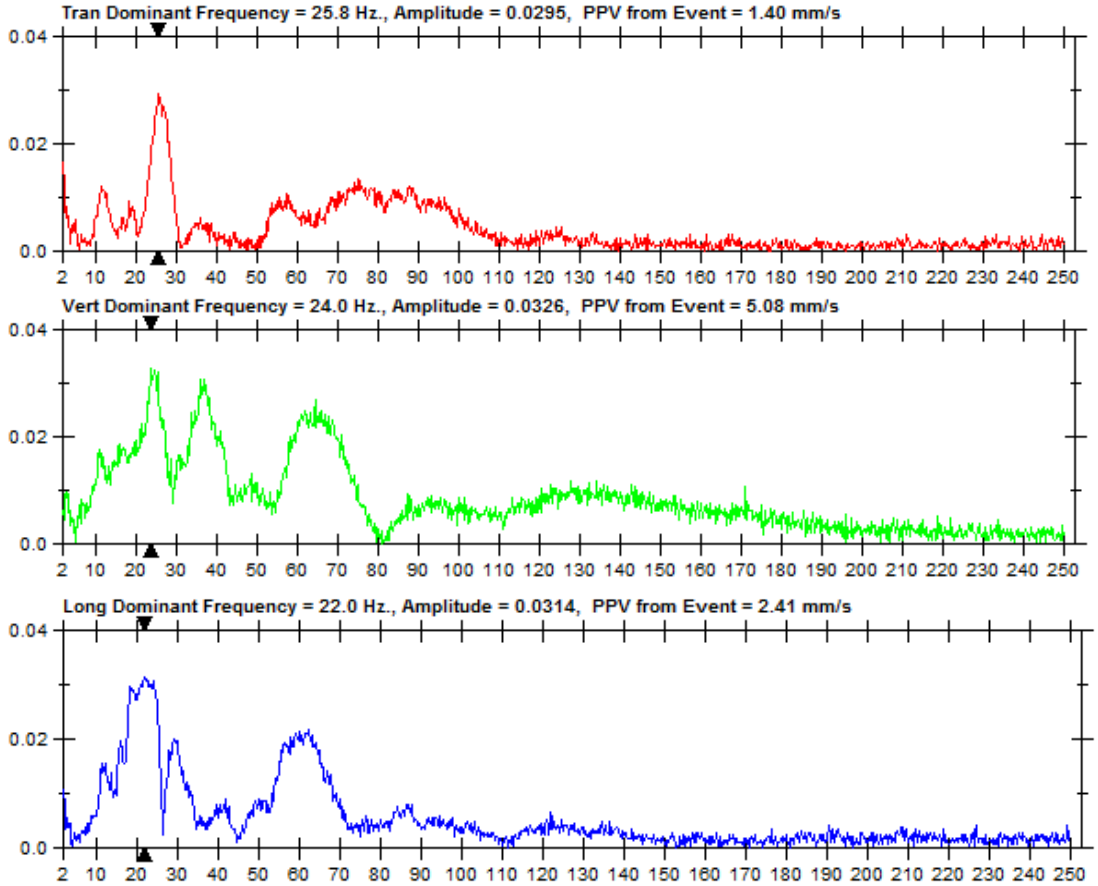


Şekil 3.18. SK7 de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde ilişkisi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

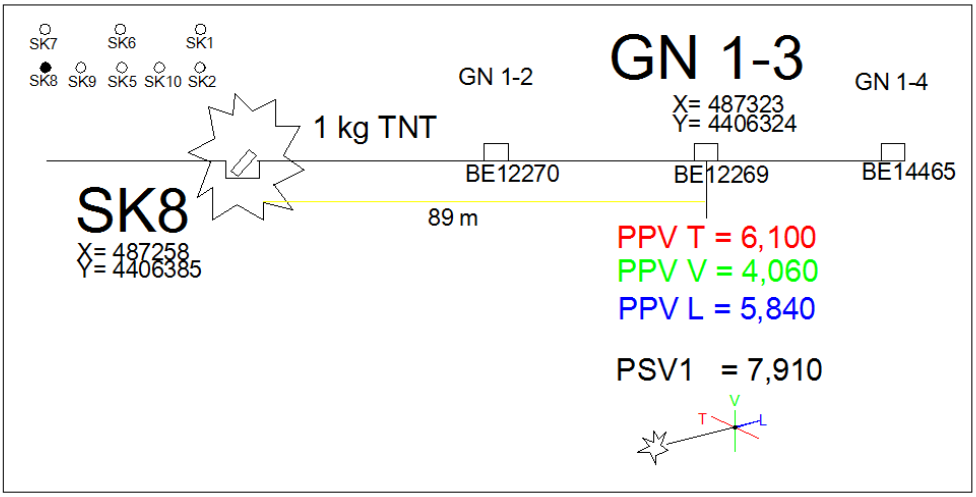


Şekil 3.19. SK8'de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

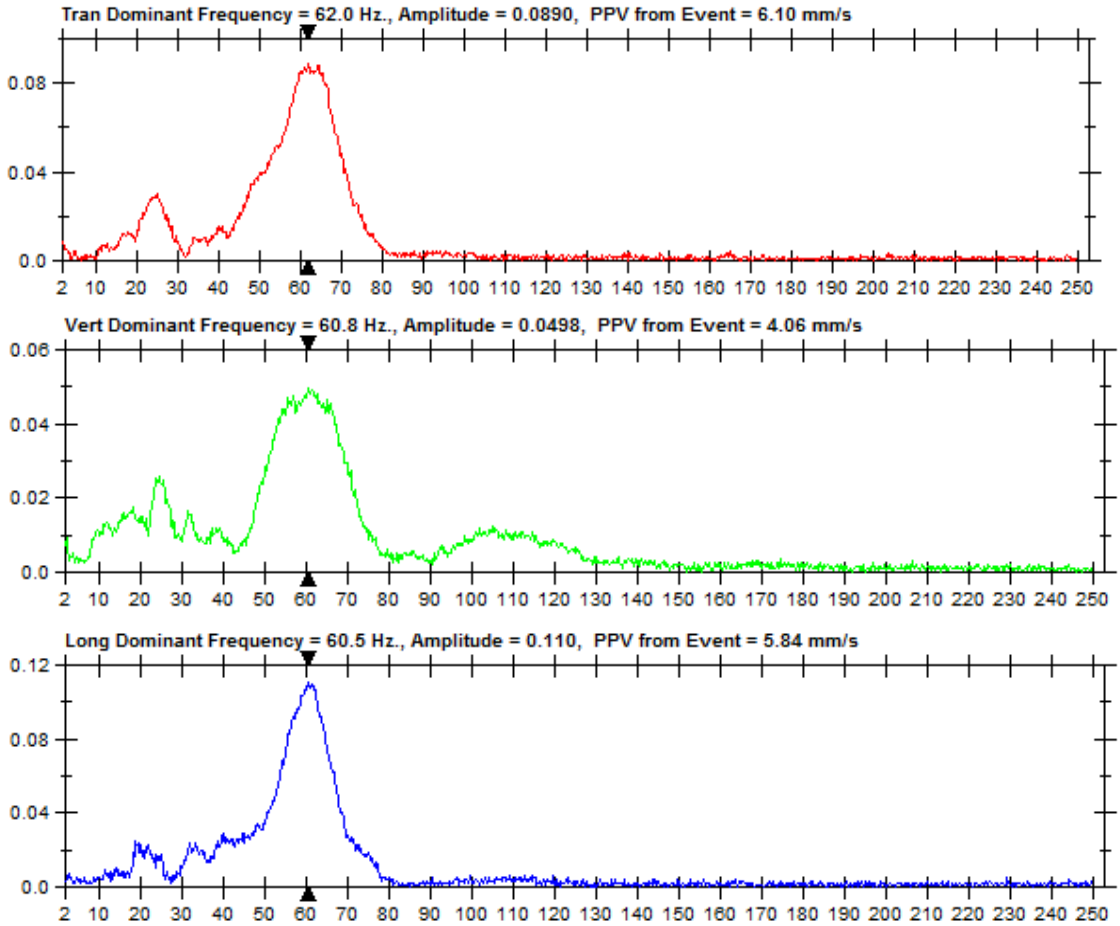


Şekil 3.20. SK8'de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

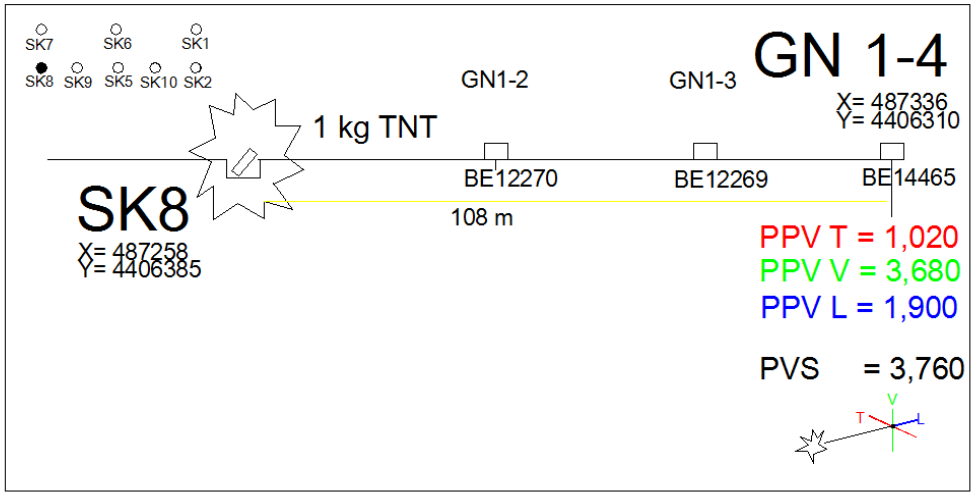


Şekil 3.21. SK8'de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

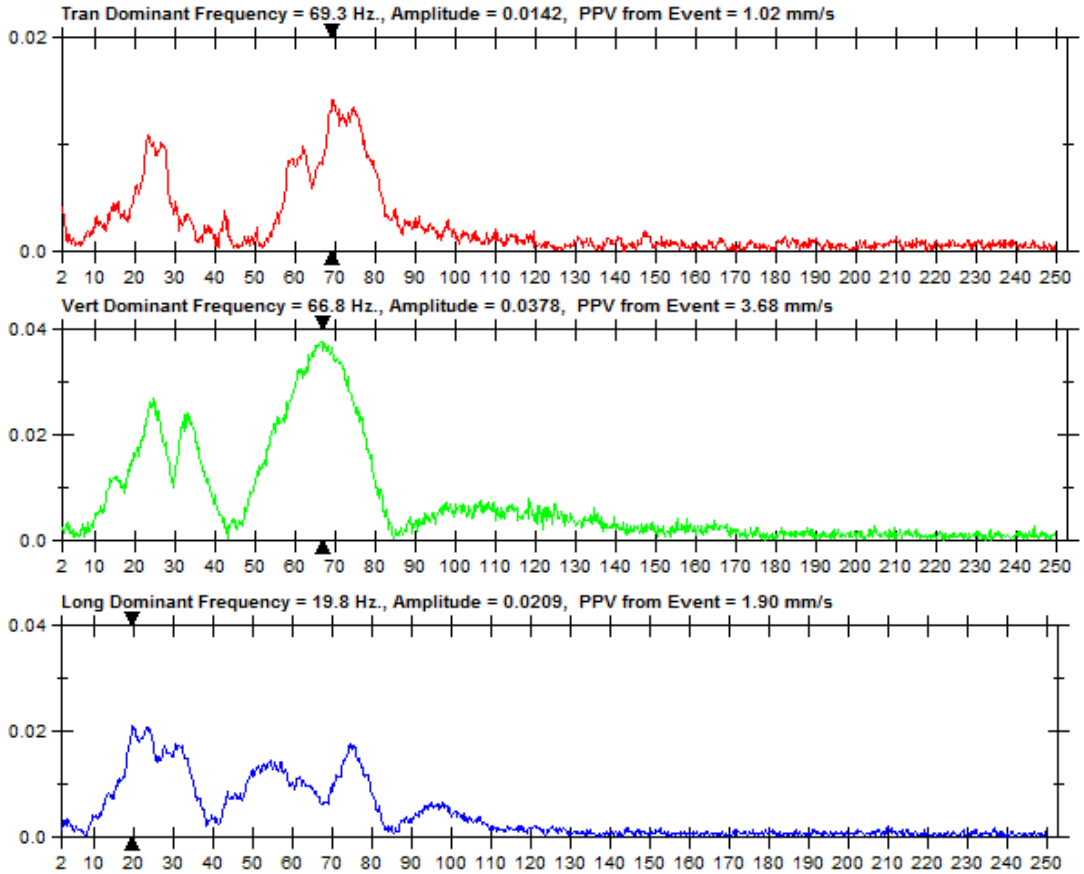


Şekil 3.22. SK8 de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

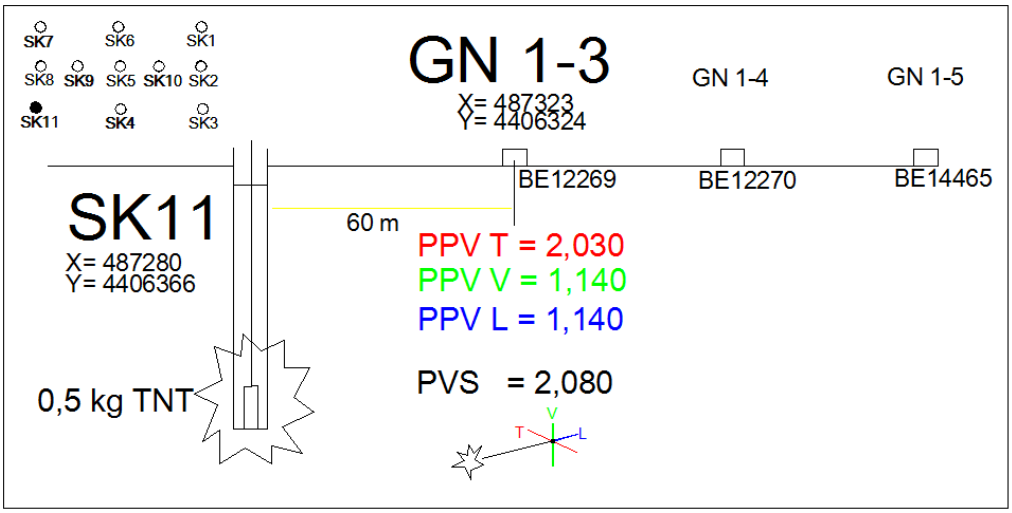


Şekil 3.23. SK8'de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

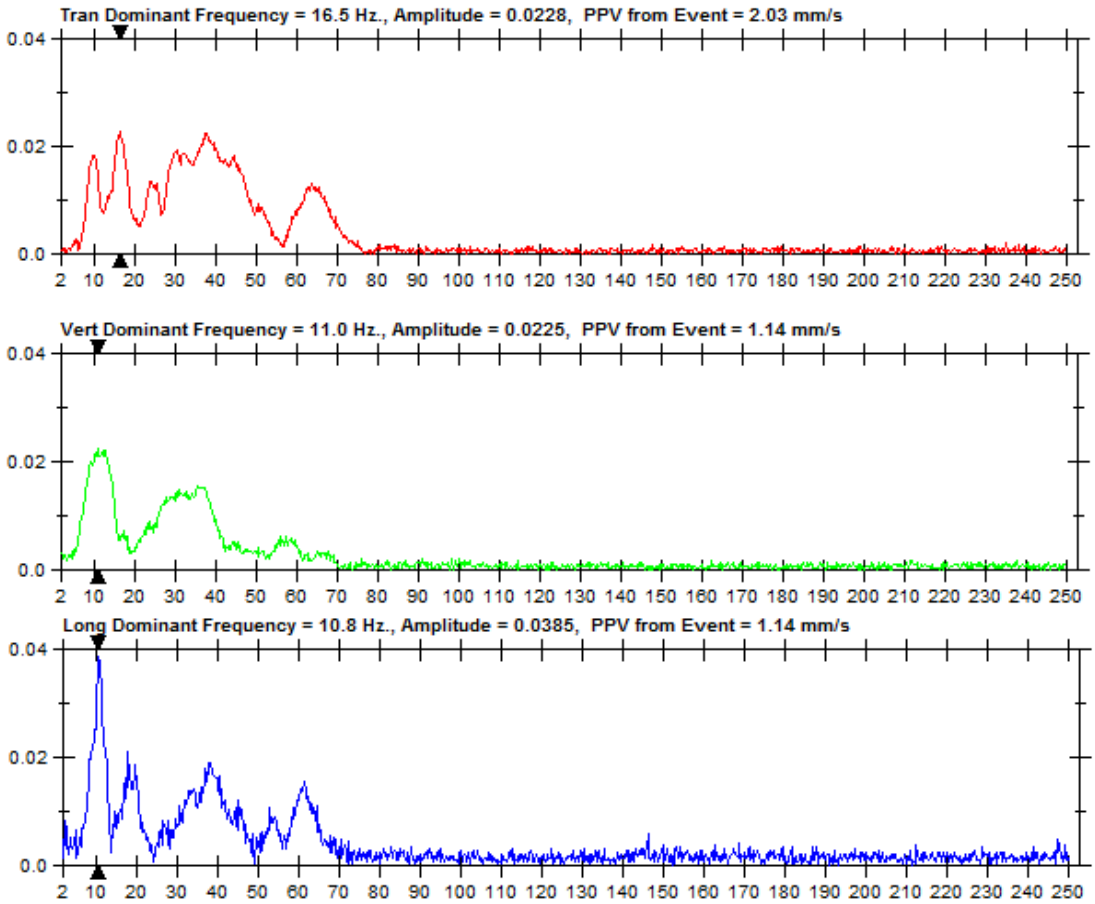


Şekil 3.24. SK8 de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

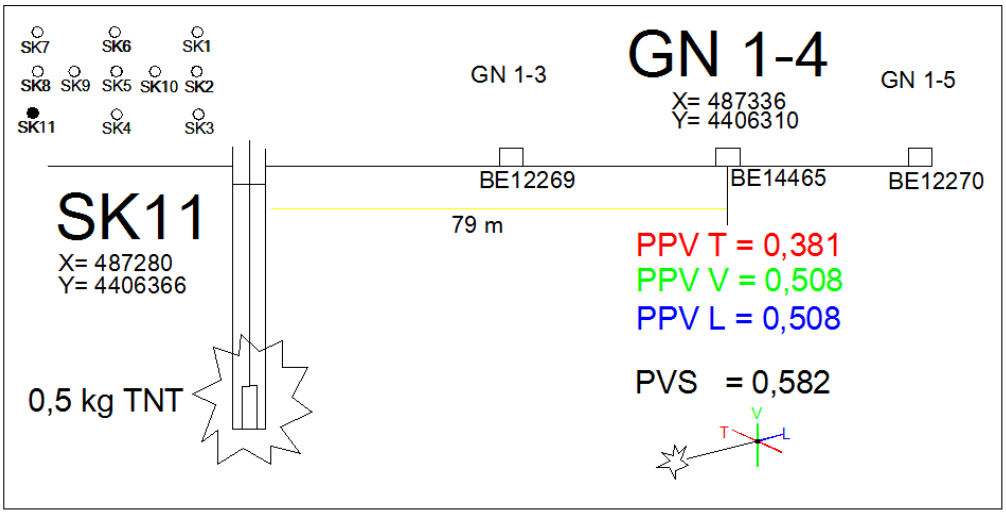


Şekil 3.25.SK11'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

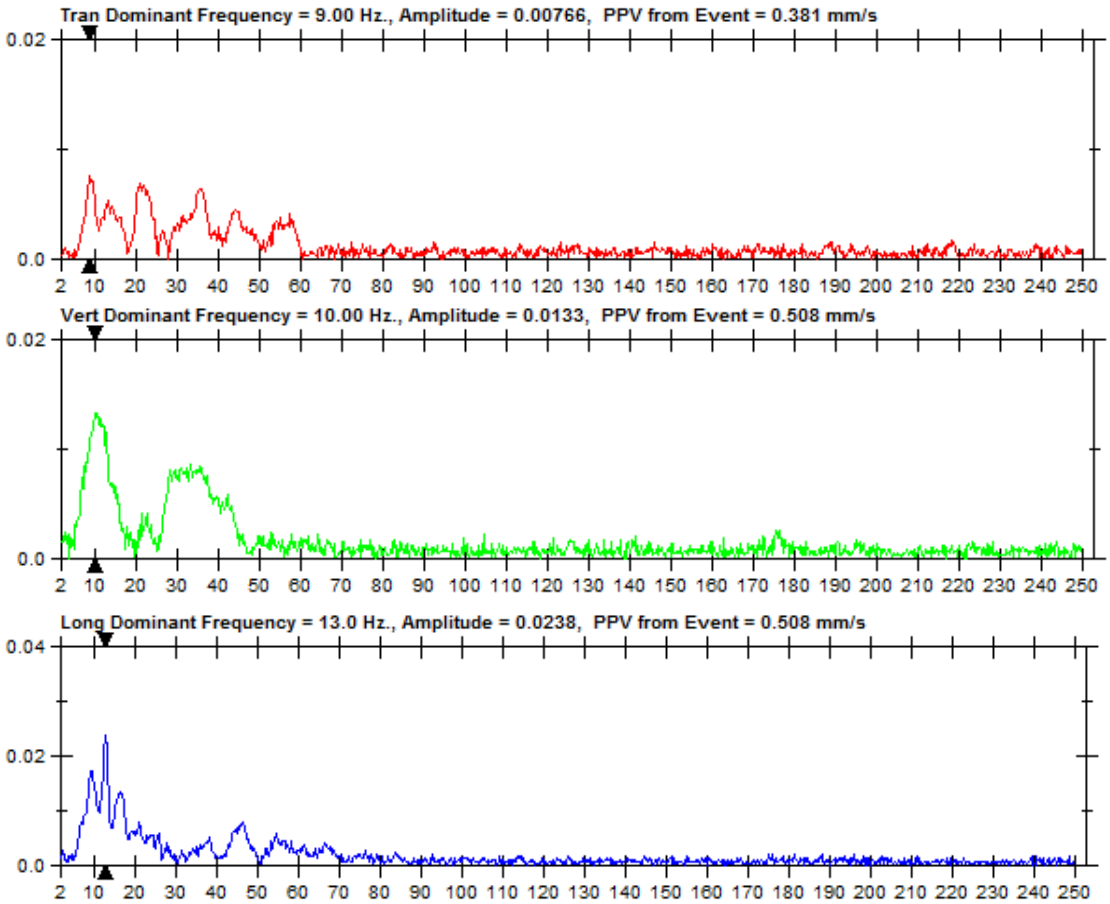


Şekil 3.26. SK11'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

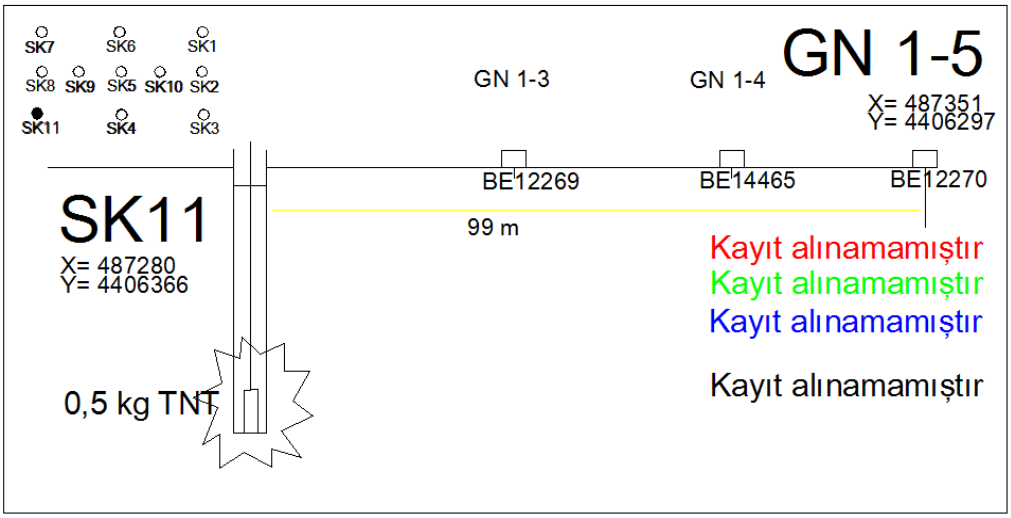


Şekil 3.27.SK11'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler



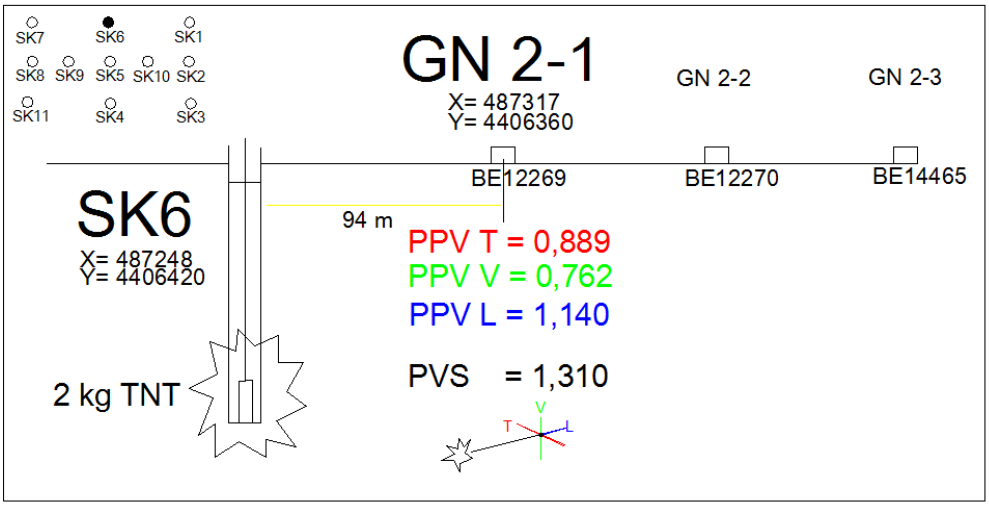
Şekil 3.28. SK11'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

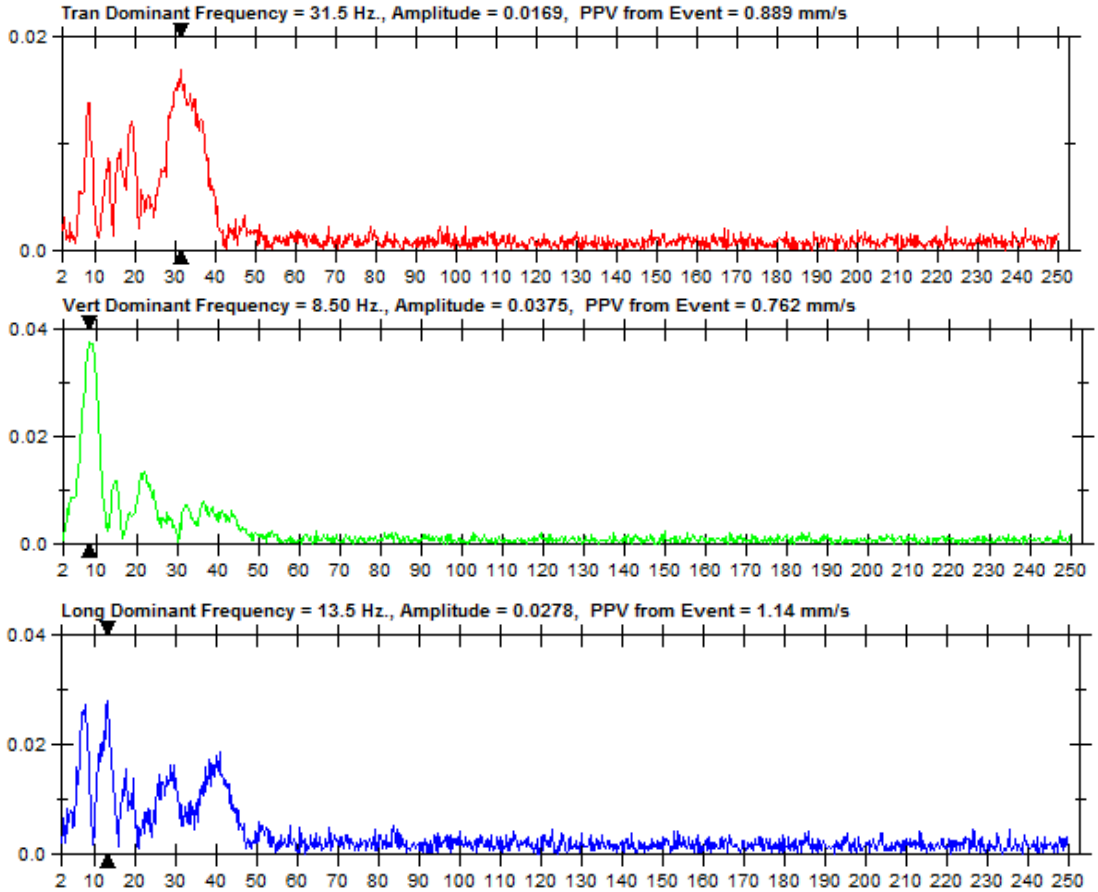


Şekil 3.29.SK11'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

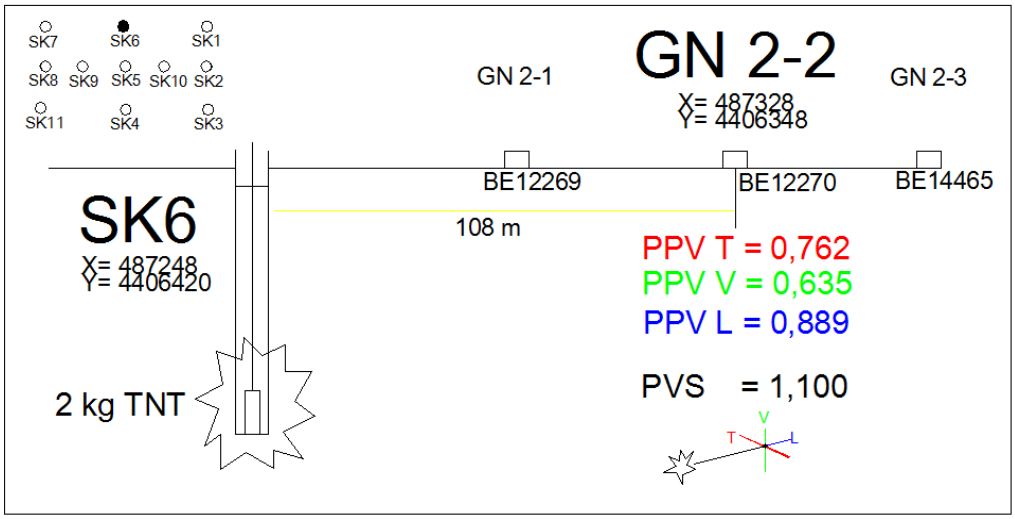


Şekil 3.30.SK6'da derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

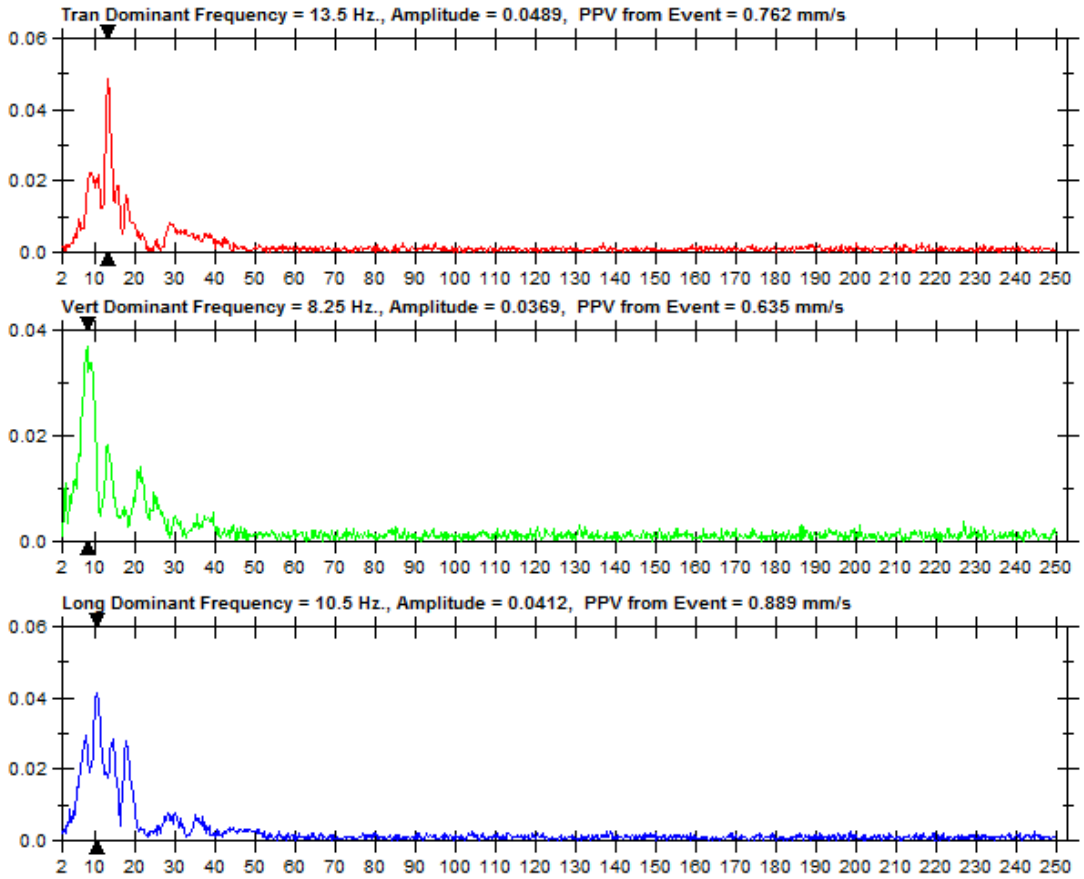


Şekil 3.31. SK6 de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

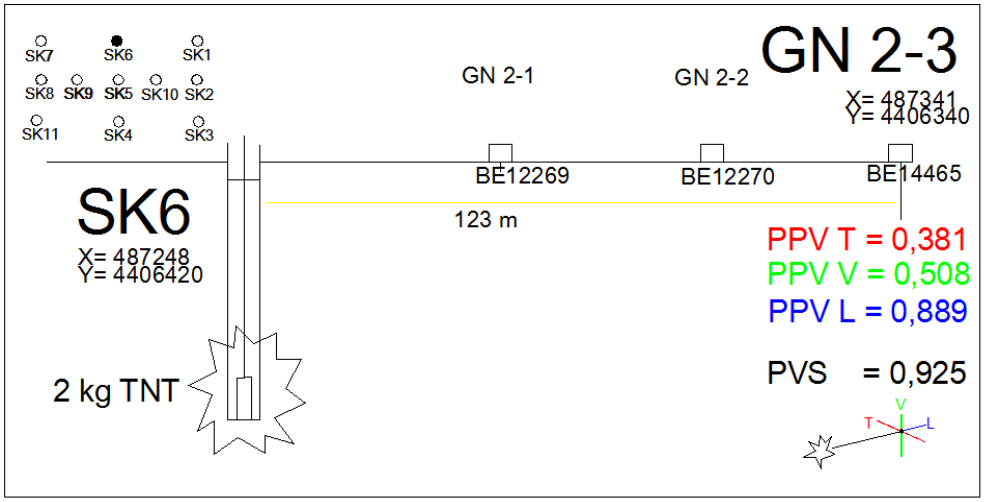


Şekil 3.32. SK6'da derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

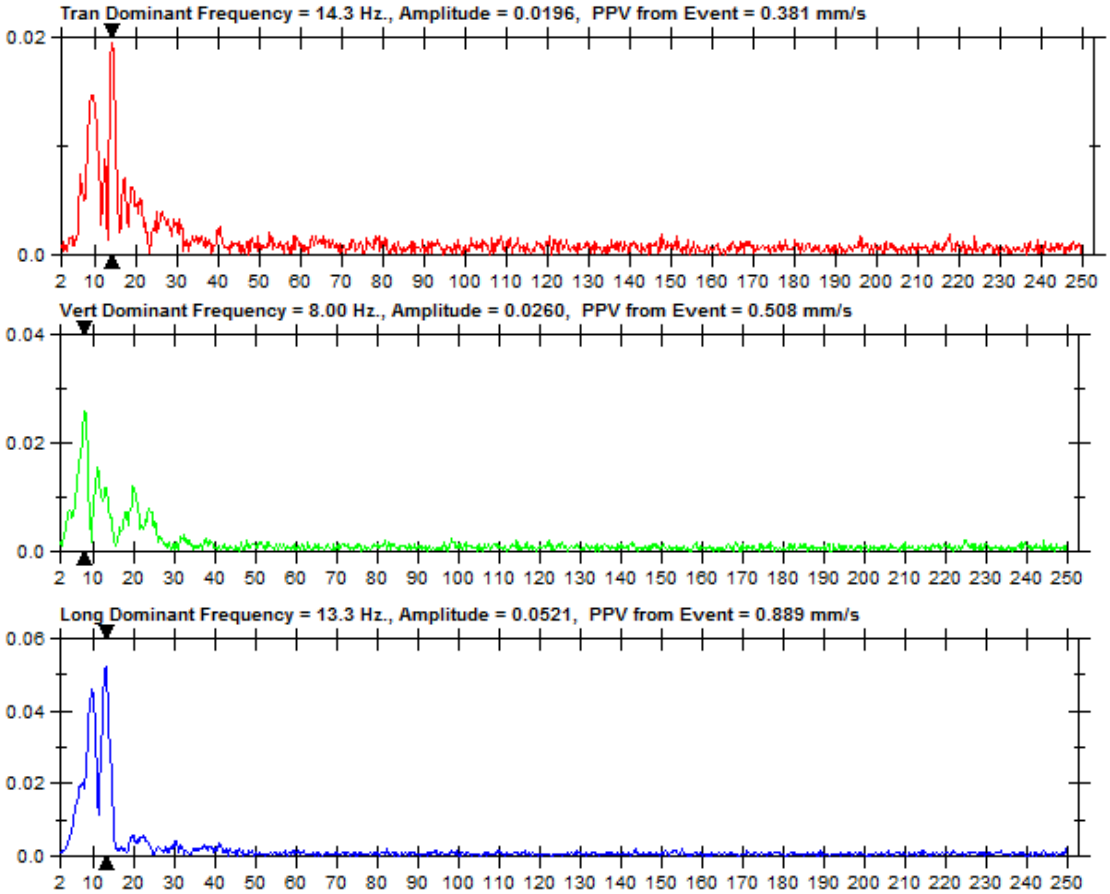


Şekil 3.33. SK6 de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

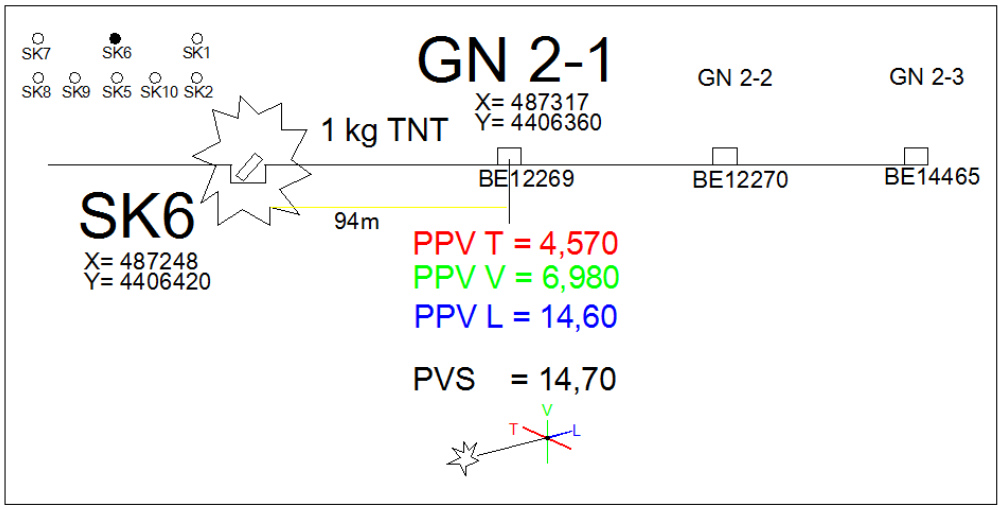


Şekil 3.34. SK6'da derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

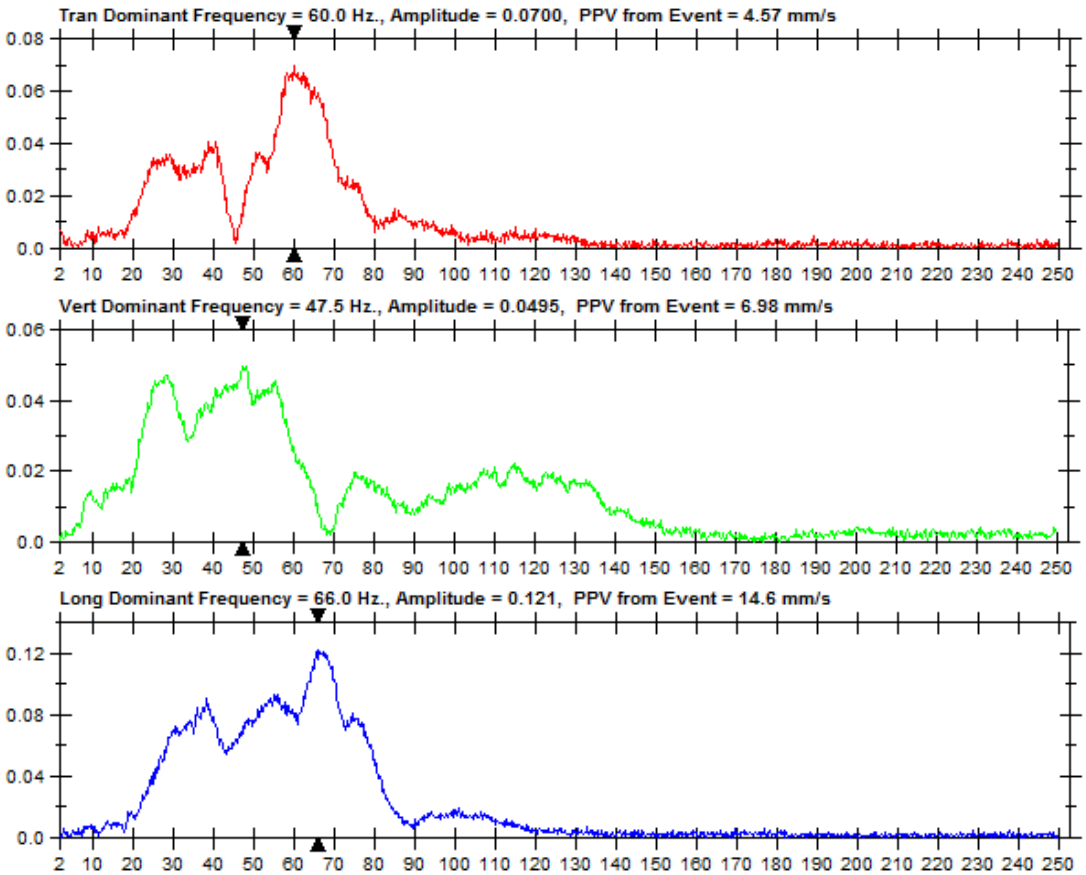


Şekil 3.35. SK6 de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

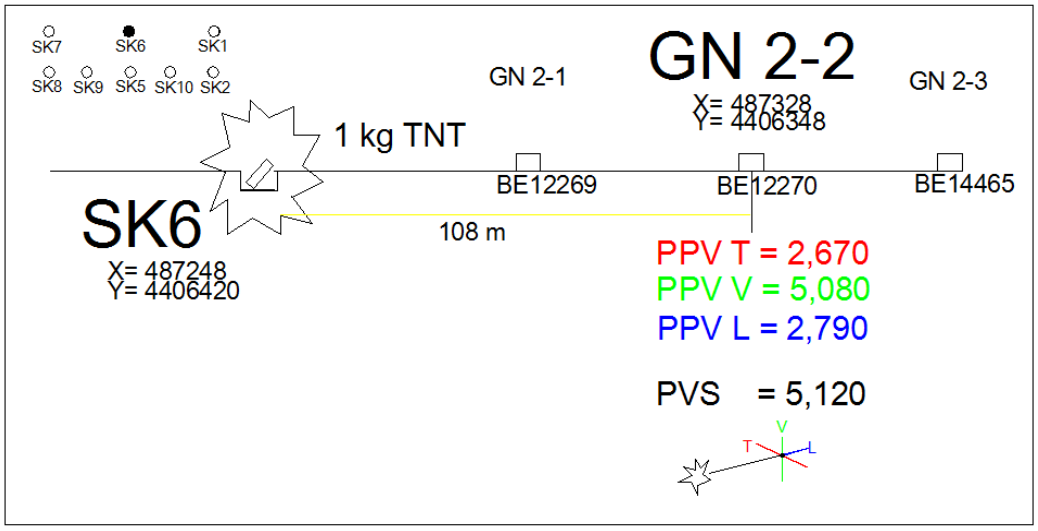


Şekil 3.36. SK6'da yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

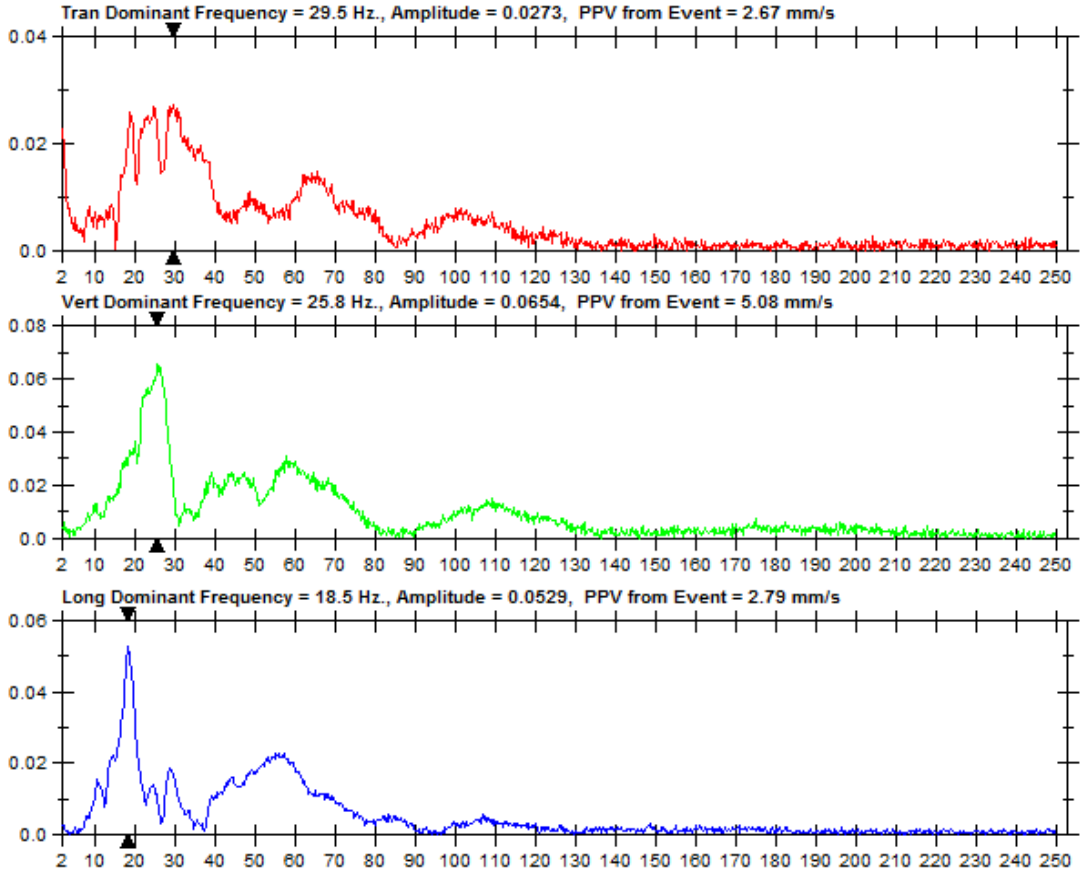


Şekil 3.37. SK6 de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

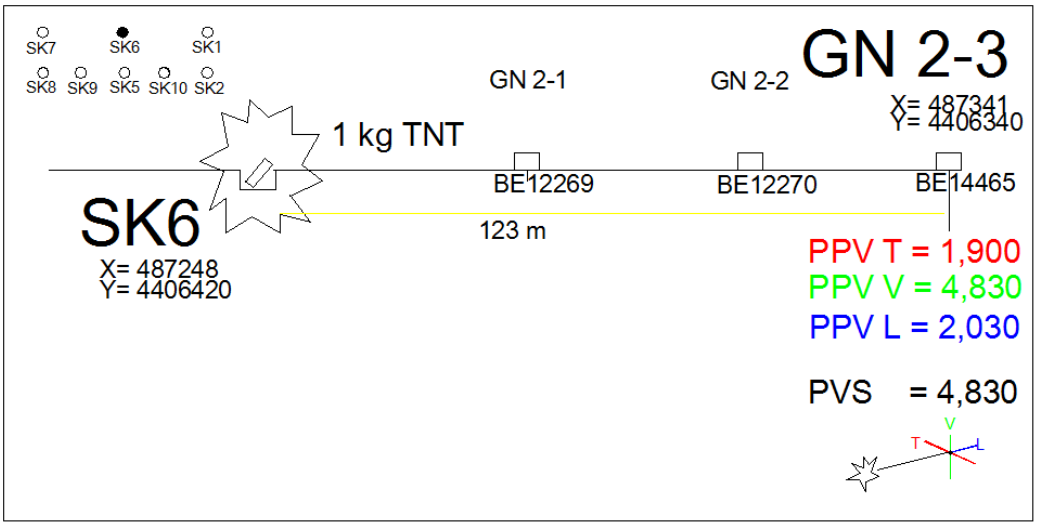


Şekil 3.38. SK6'da yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

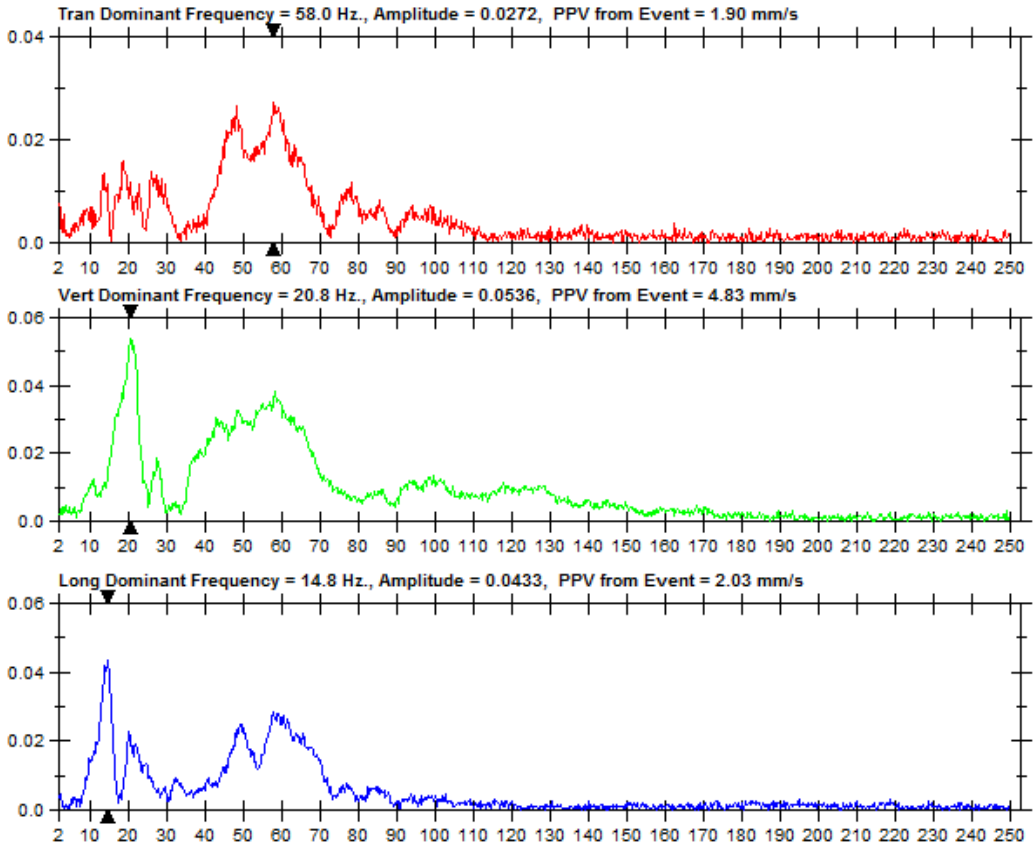


Şekil 3.39. SK6 de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

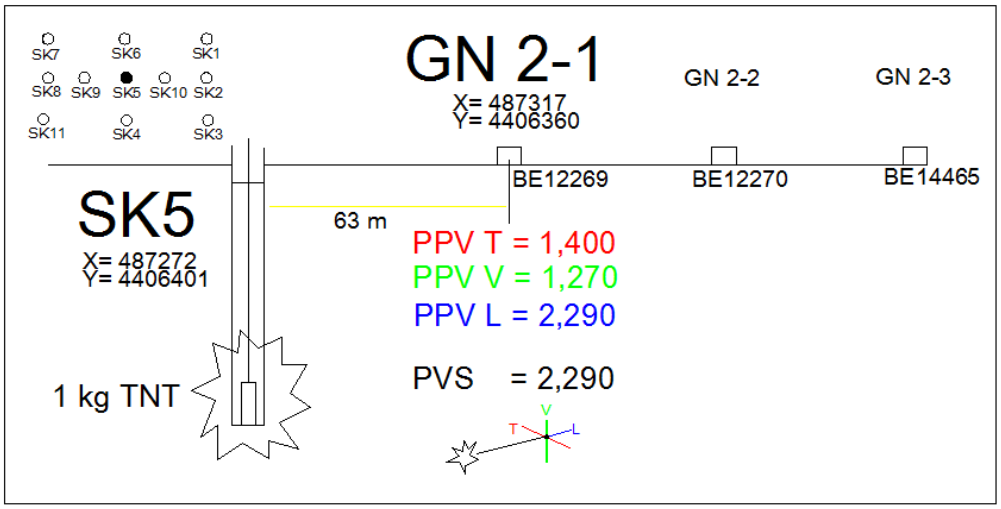


Şekil 3.40. SK6'da yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

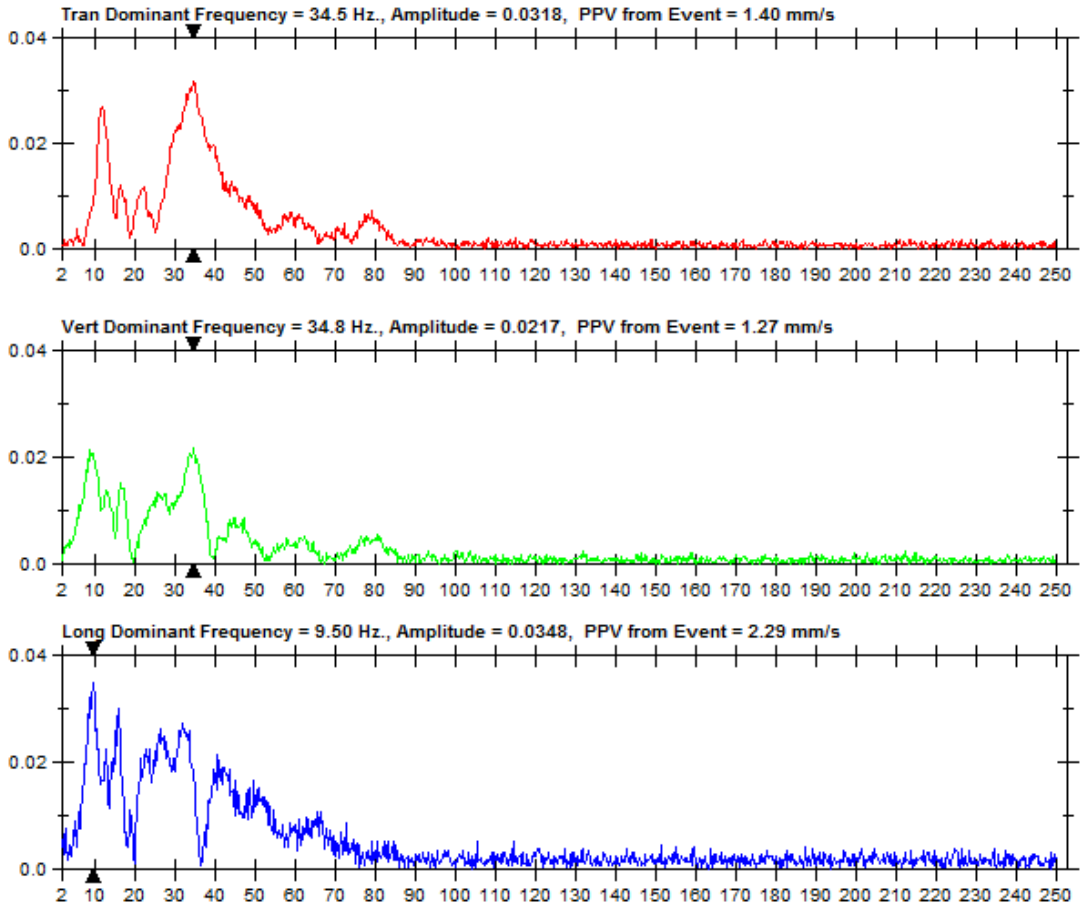


Şekil 3.41. SK6 de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

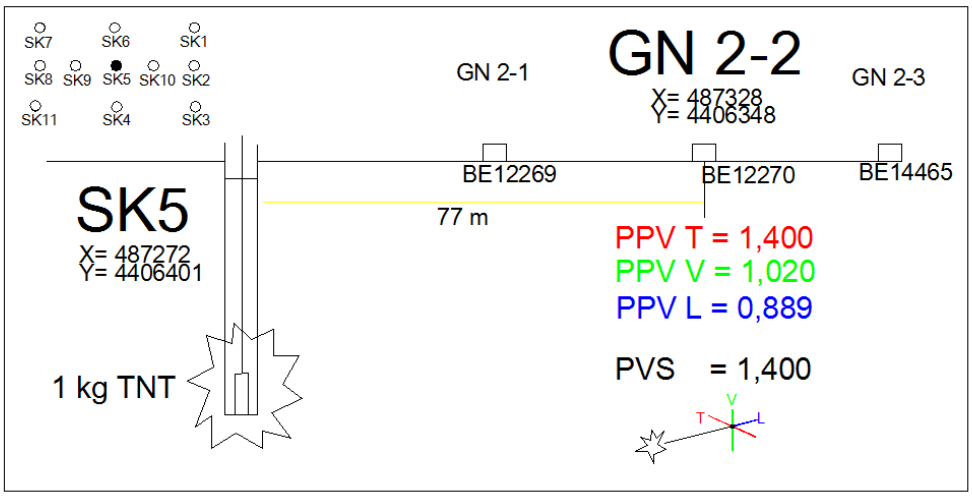


Şekil 3.42. SK5'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

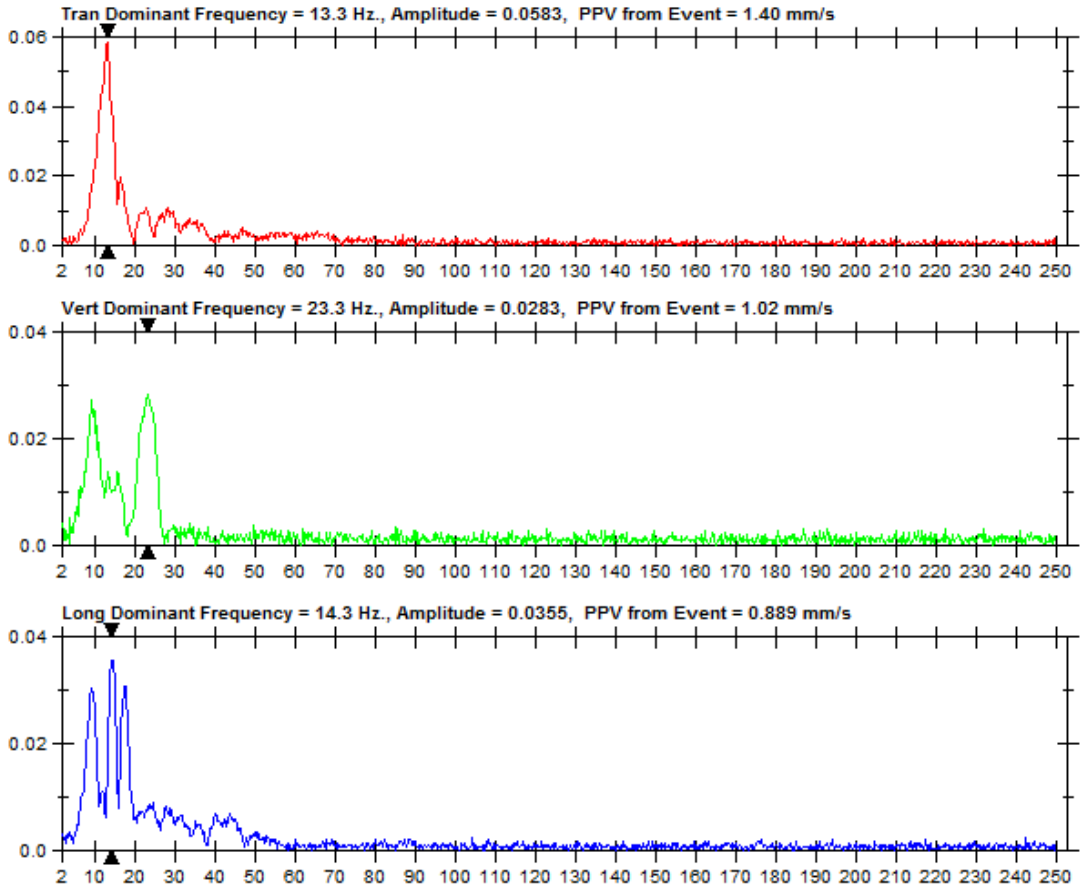


Şekil 3.43. SK5'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

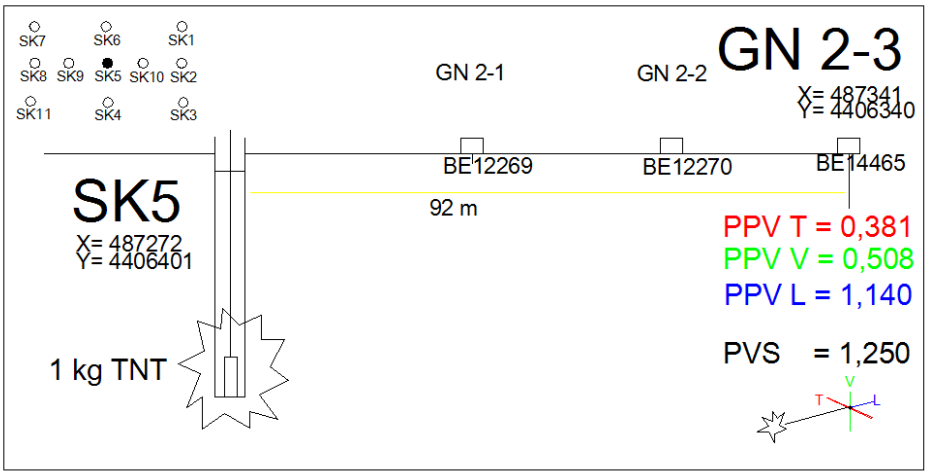


Şekil 3.44. SK5'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

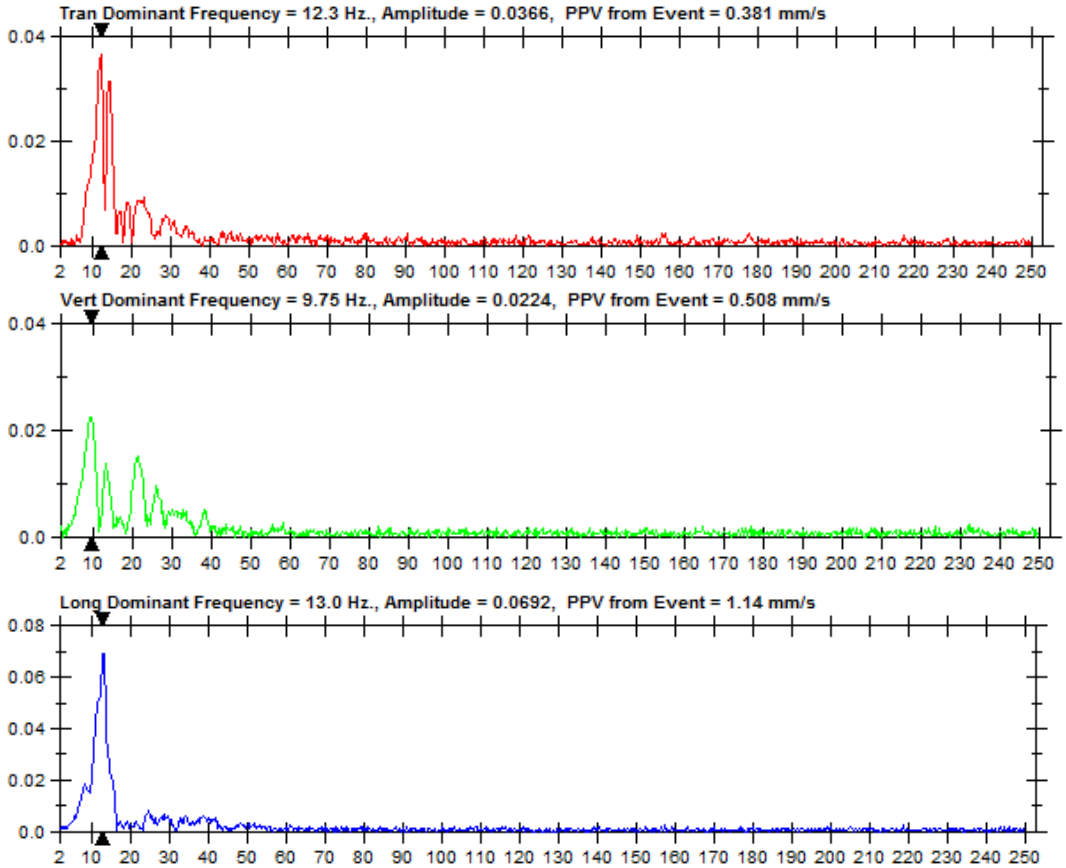


Şekil 3.45. SK5'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

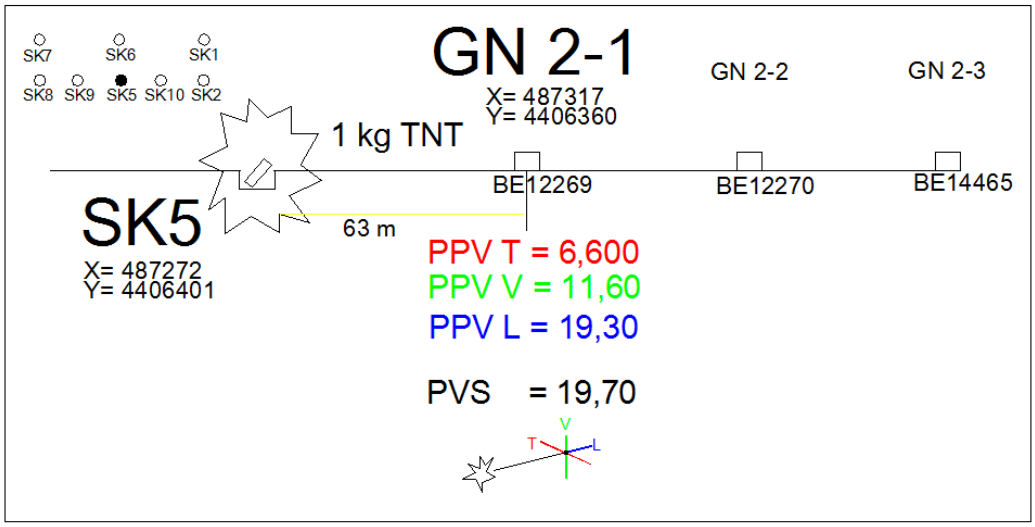


Şekil 3.46. SK5'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

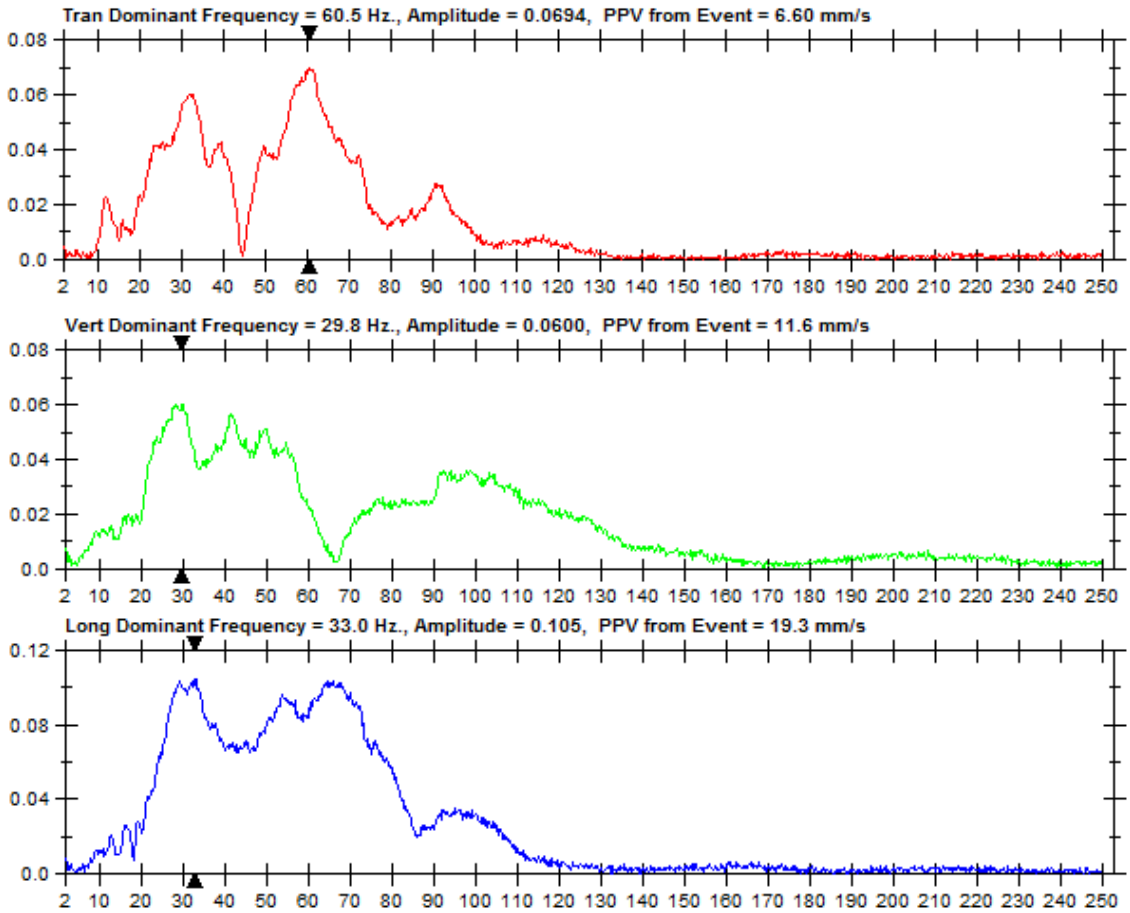


Şekil 3.47. SK5'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

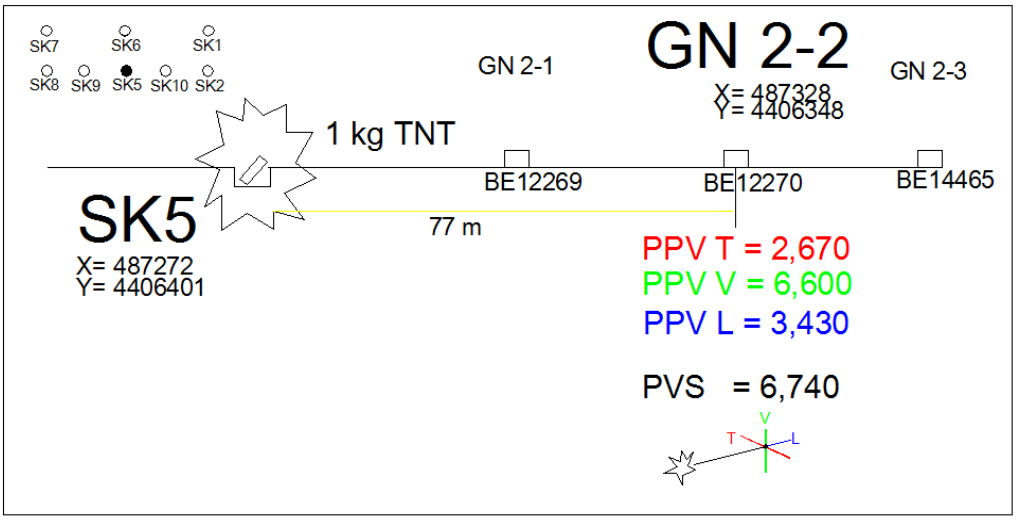


Şekil 3.48. SK5'de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

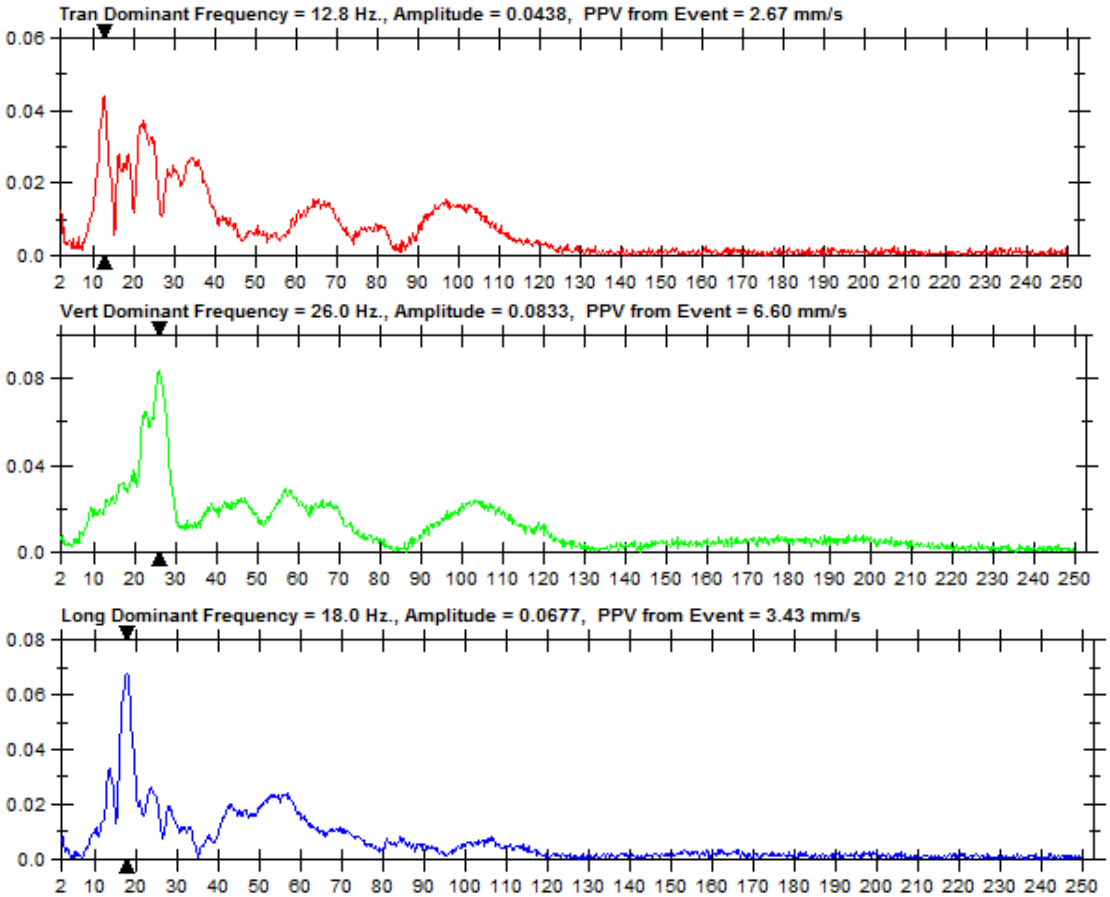


Şekil 3.49. SK5'de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

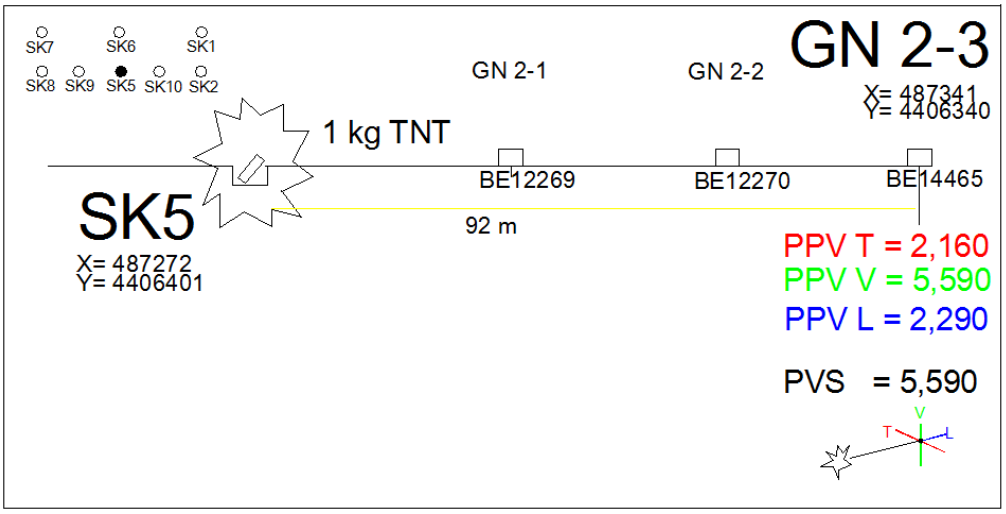


Şekil 3.50. SK5'de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

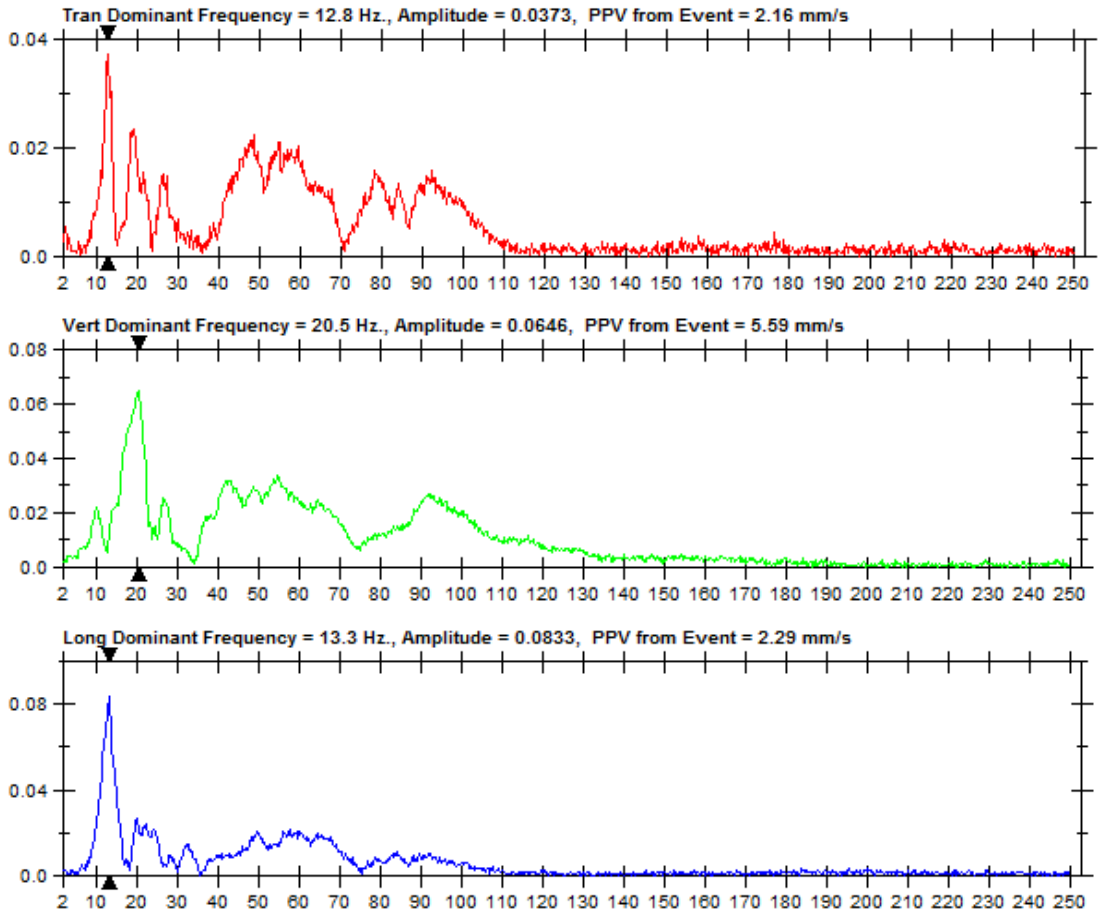


Şekil 3.51. SK5'de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

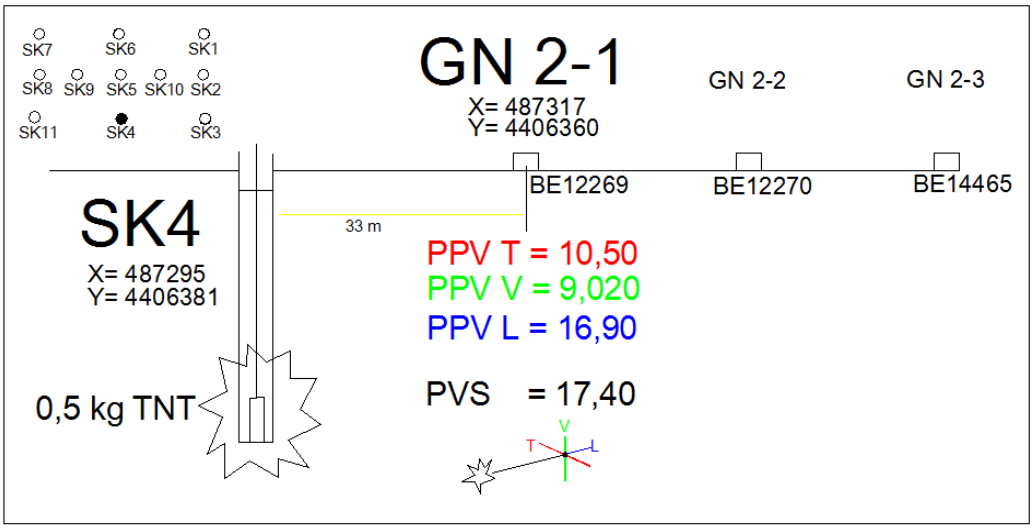


Şekil 3.52. SK5'de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

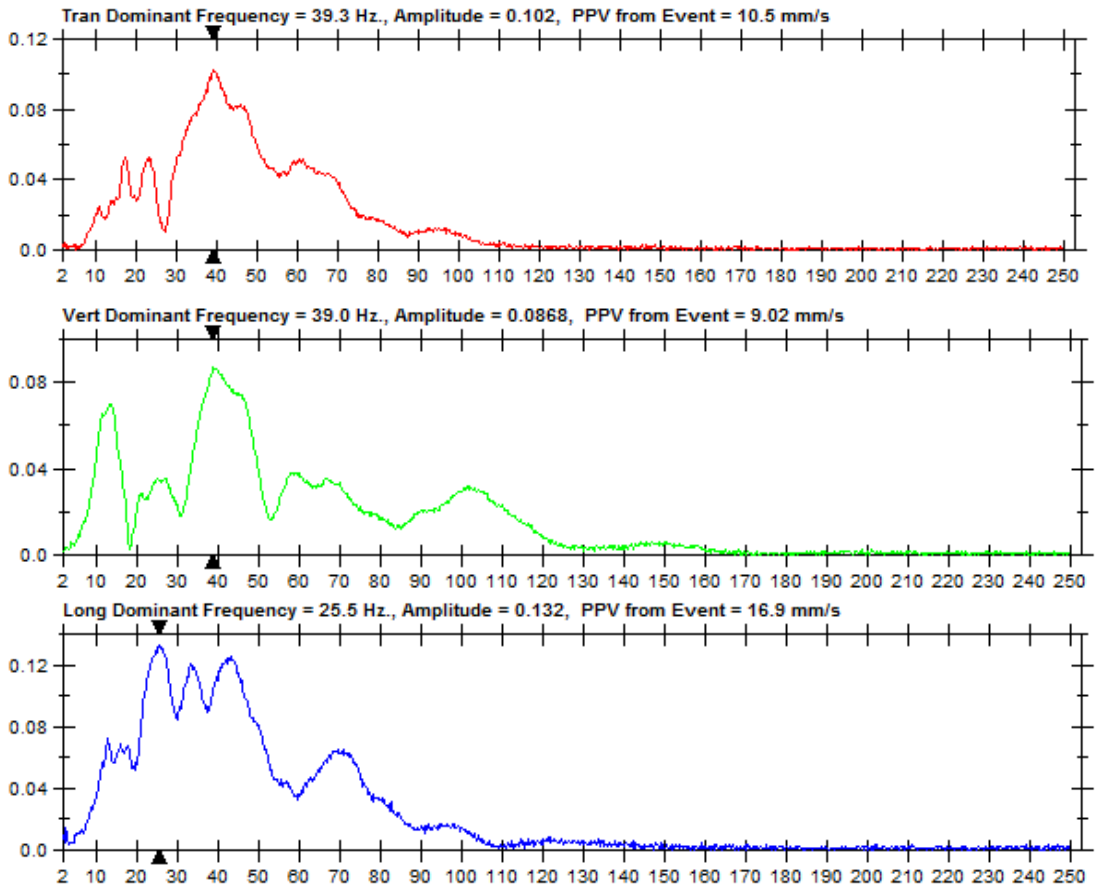


Şekil 3.53. SK5'de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

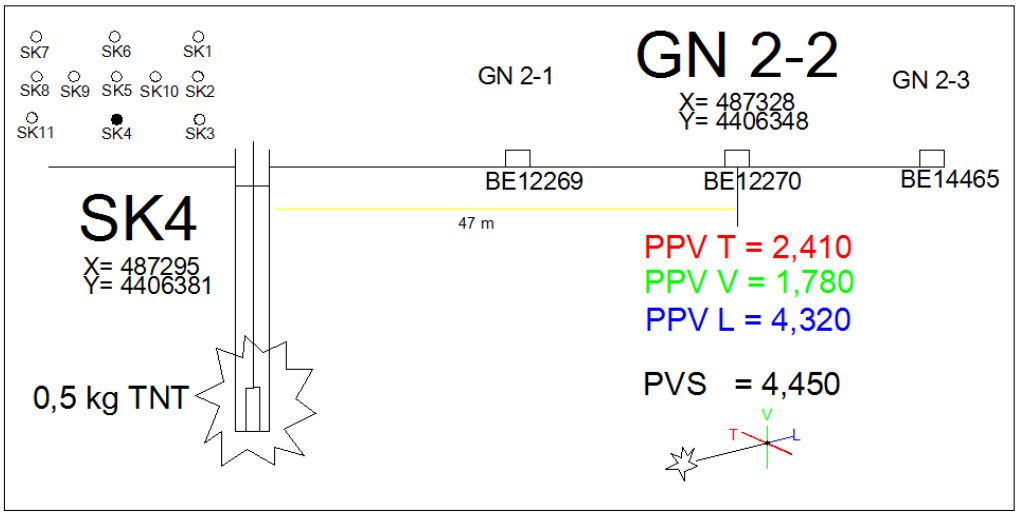


Şekil 3.54. SK4'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

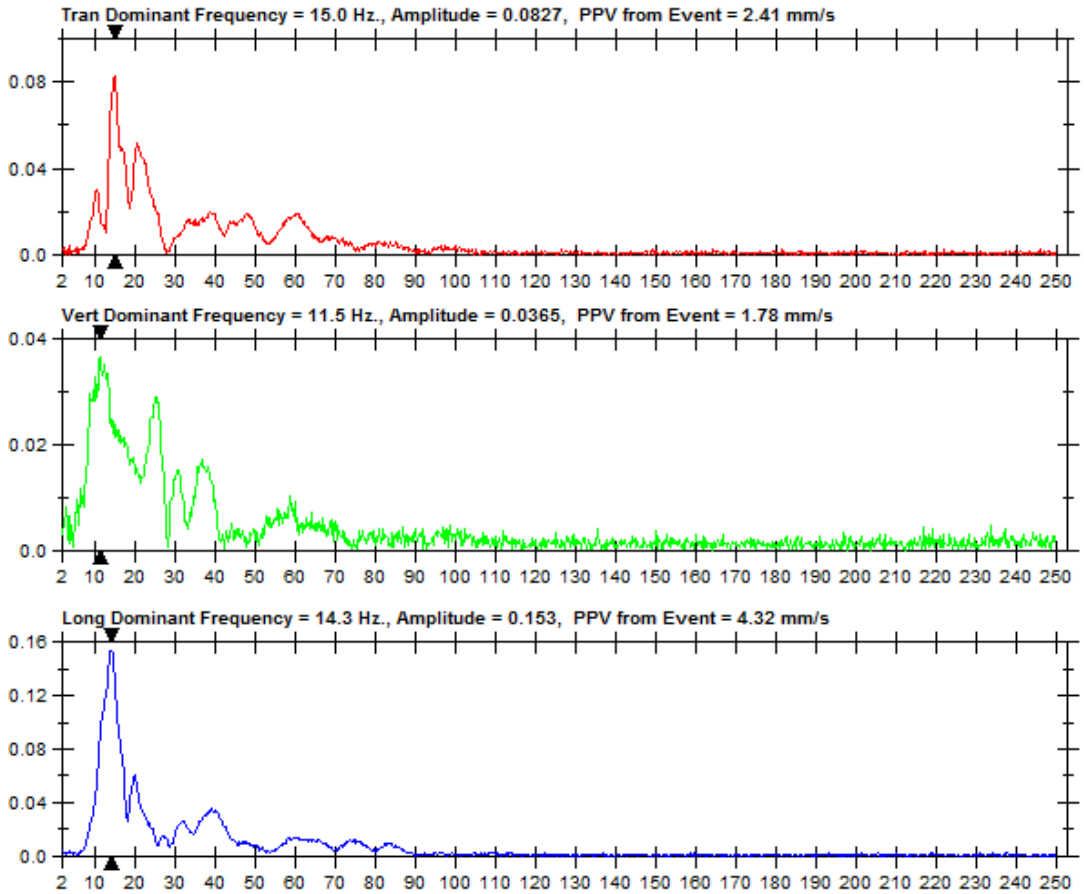


Şekil 3.55. SK4'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

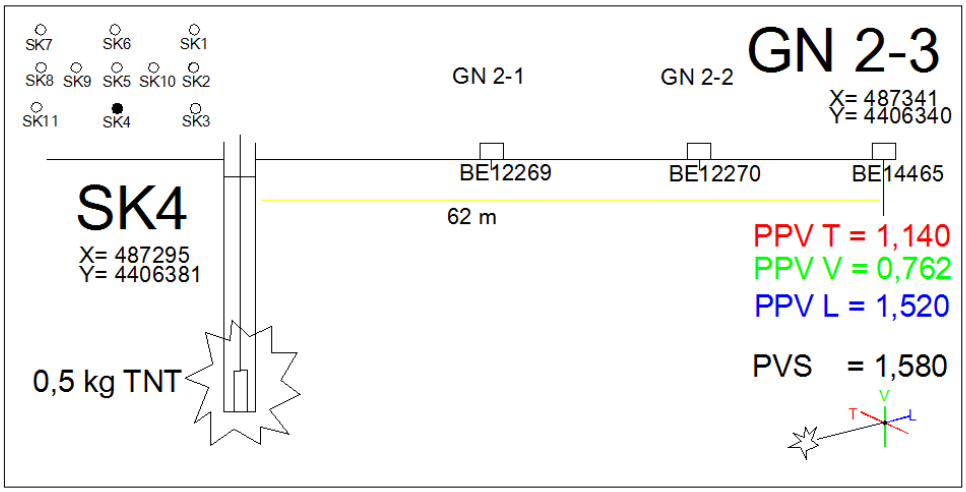


Şekil 3.56. SK4'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

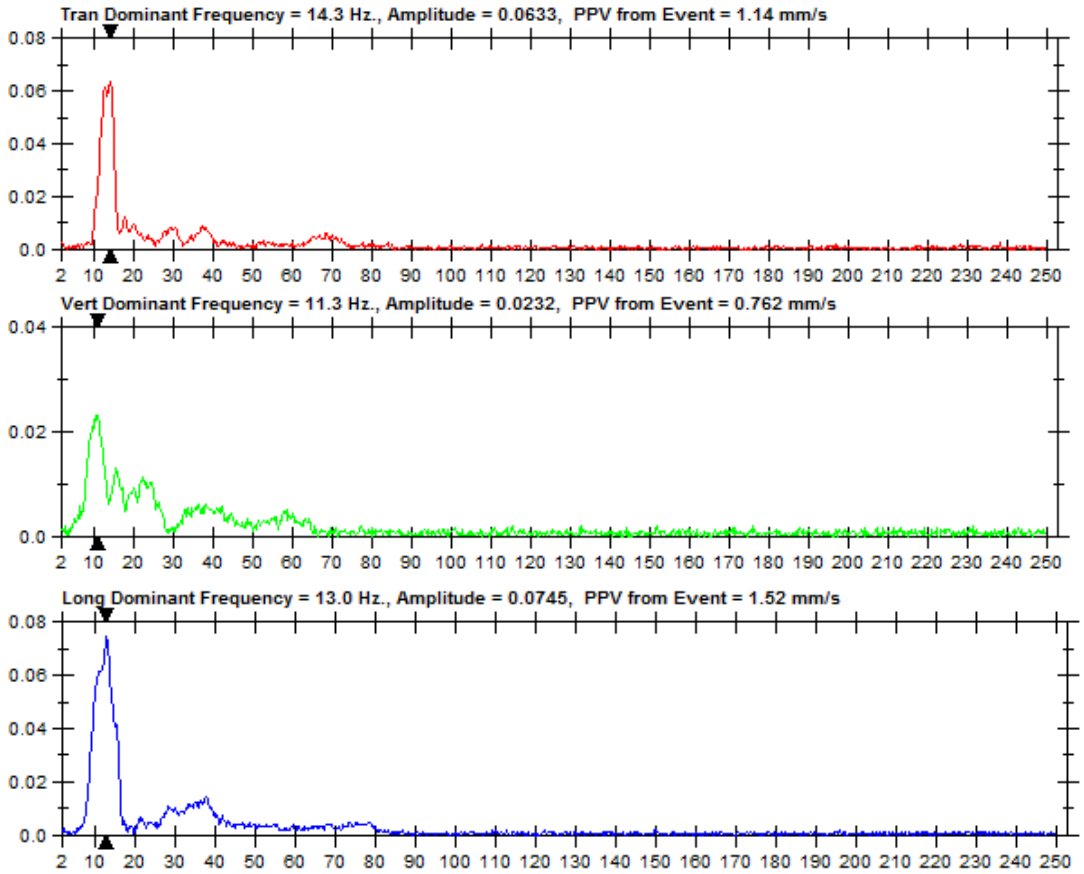


Şekil 3.57. SK4'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

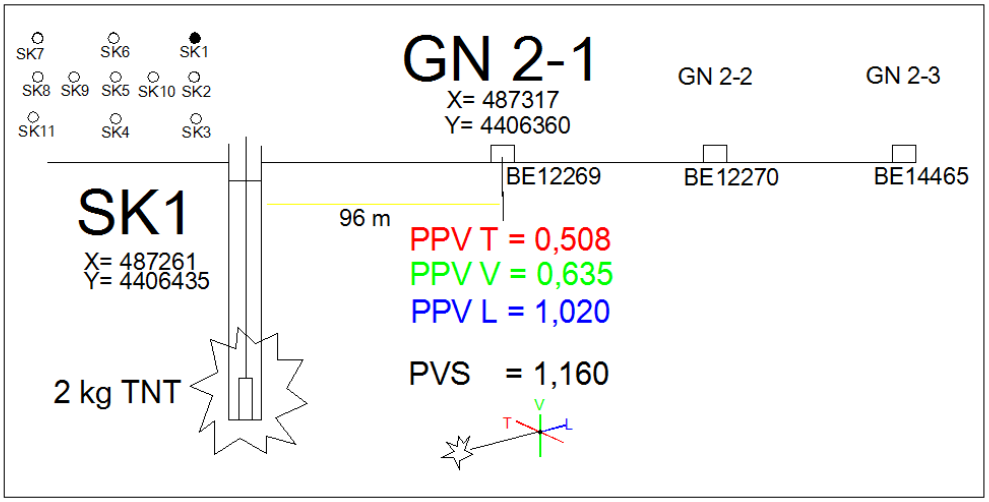


Şekil 3.58. SK4'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

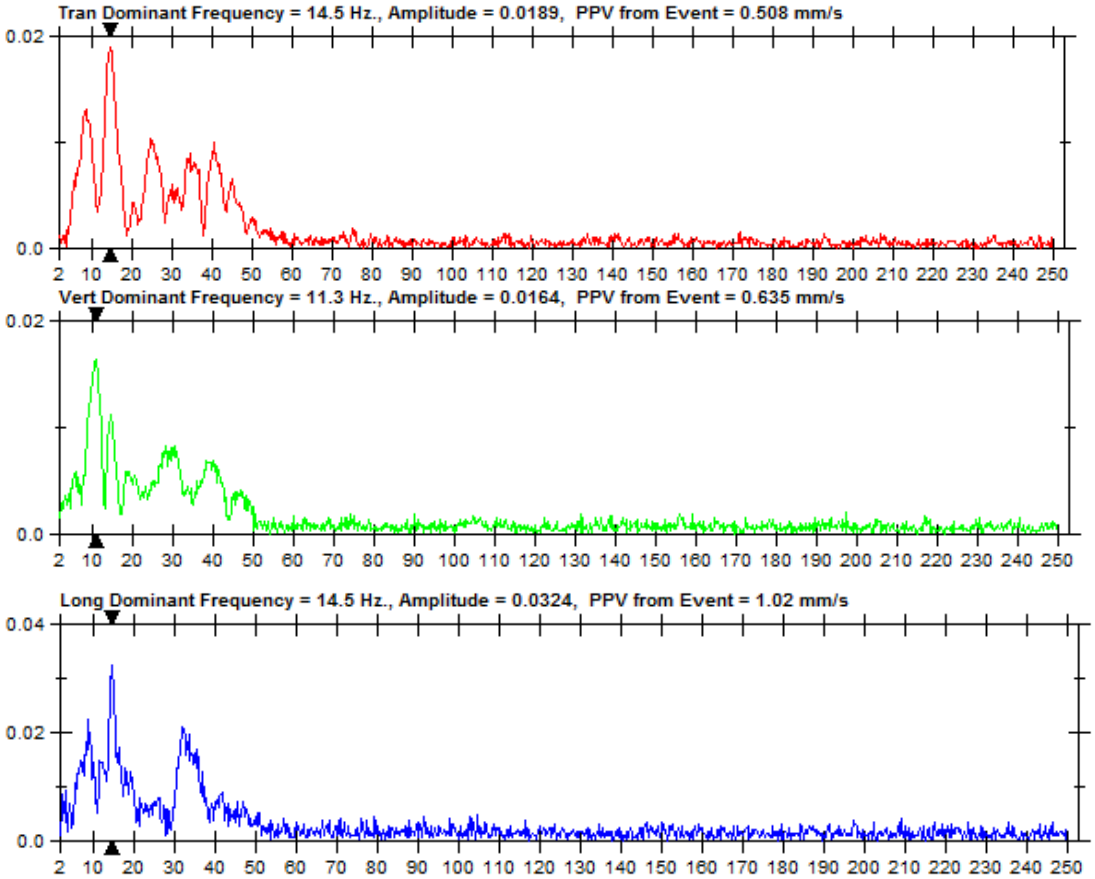


Şekil 3.59. SK4'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

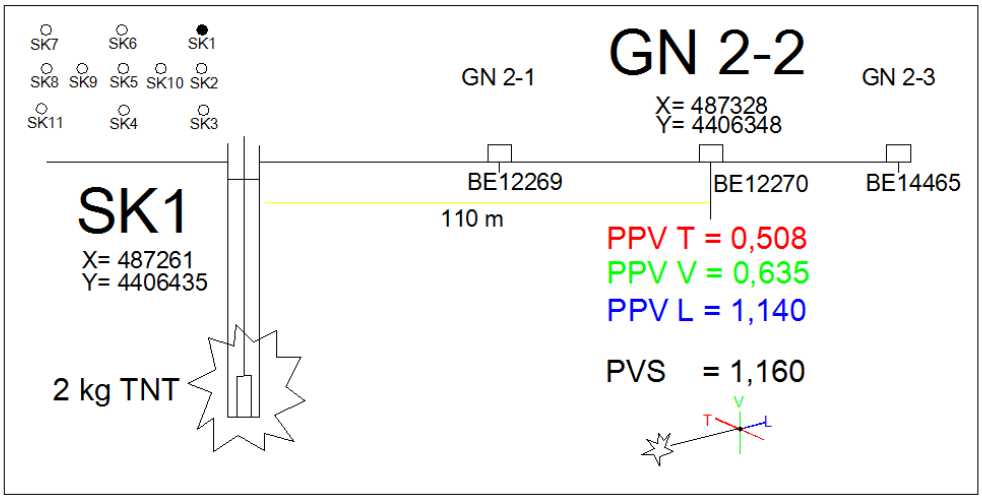


Şekil 3.60. SK1'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

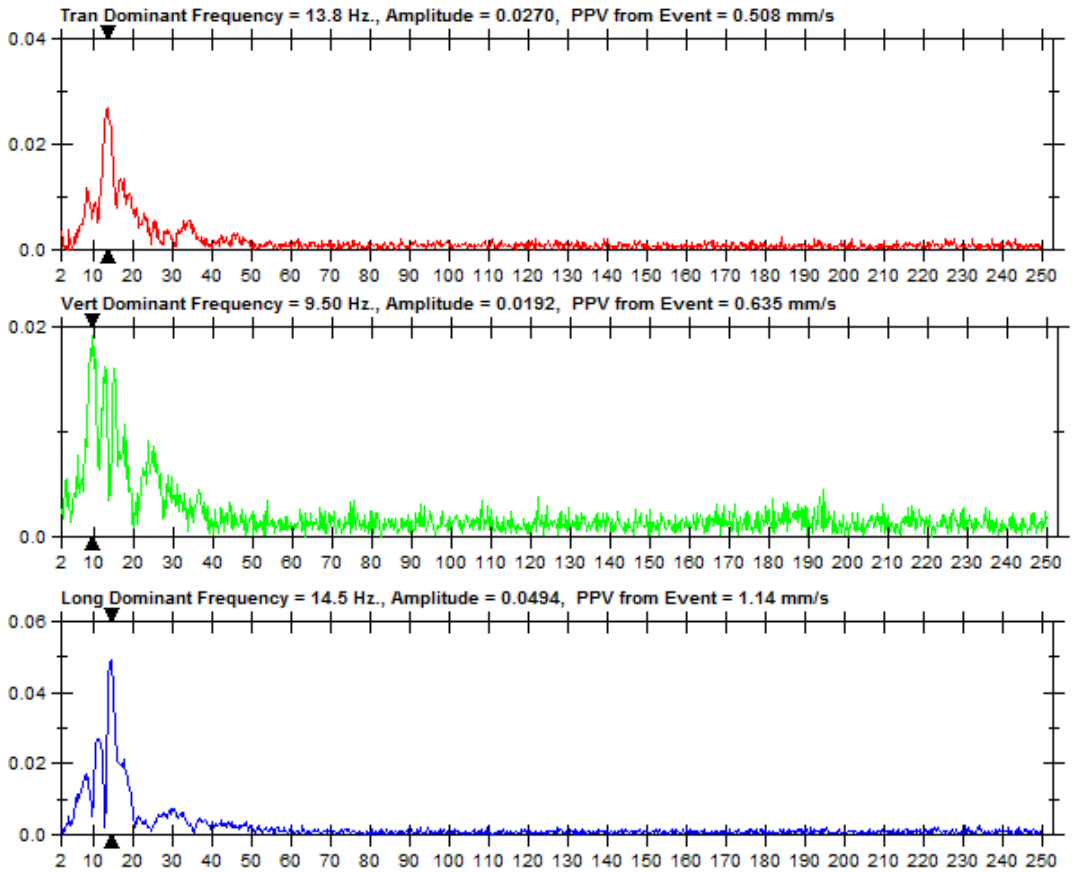


Şekil 3.61. SK1'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

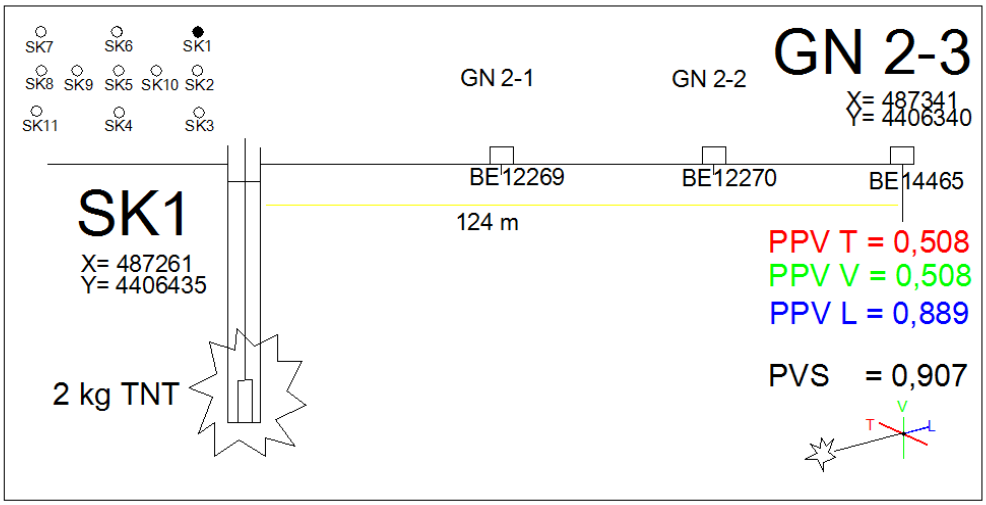


Şekil 3.62. SK1'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

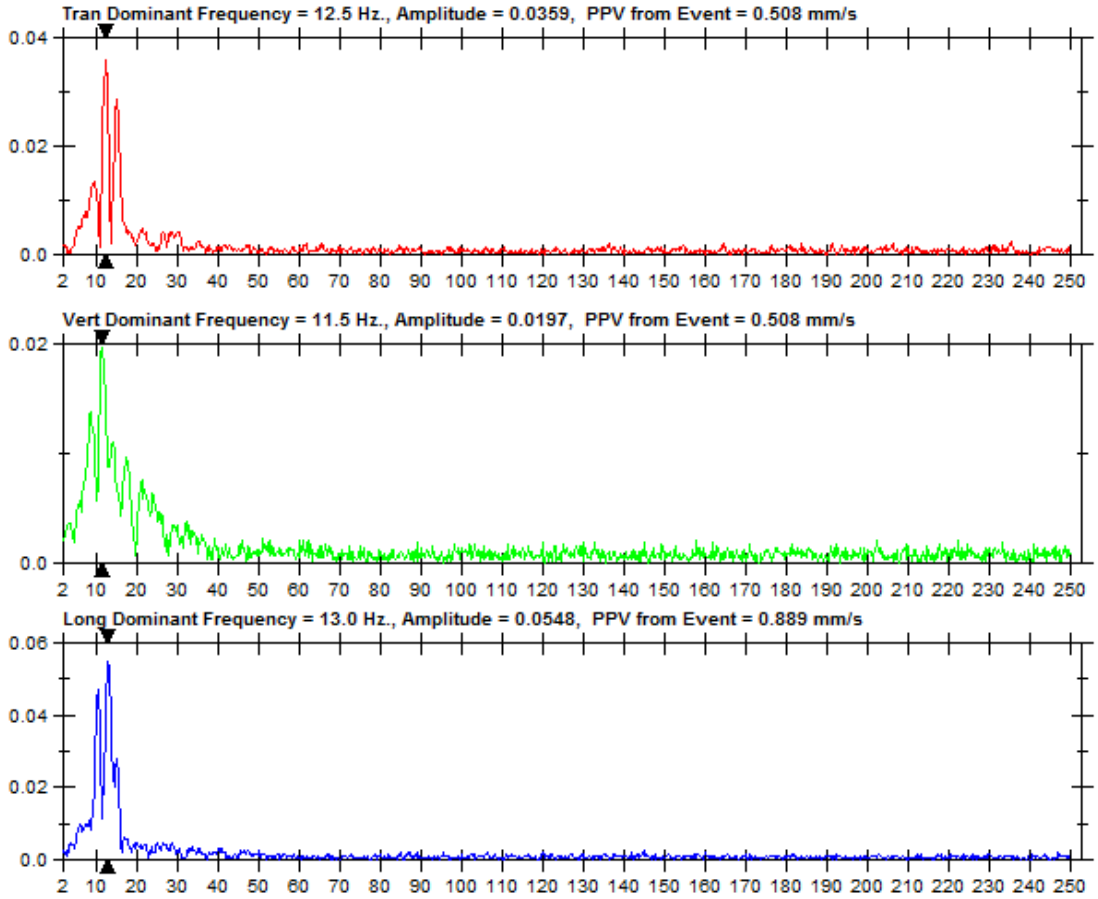


Şekil 3.63. SK1'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

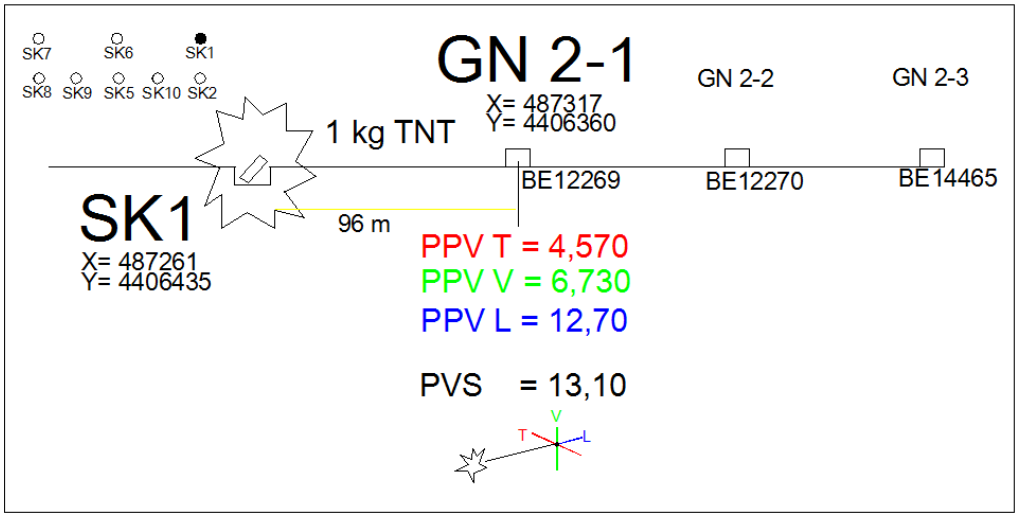


Şekil 3.64. SK1'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

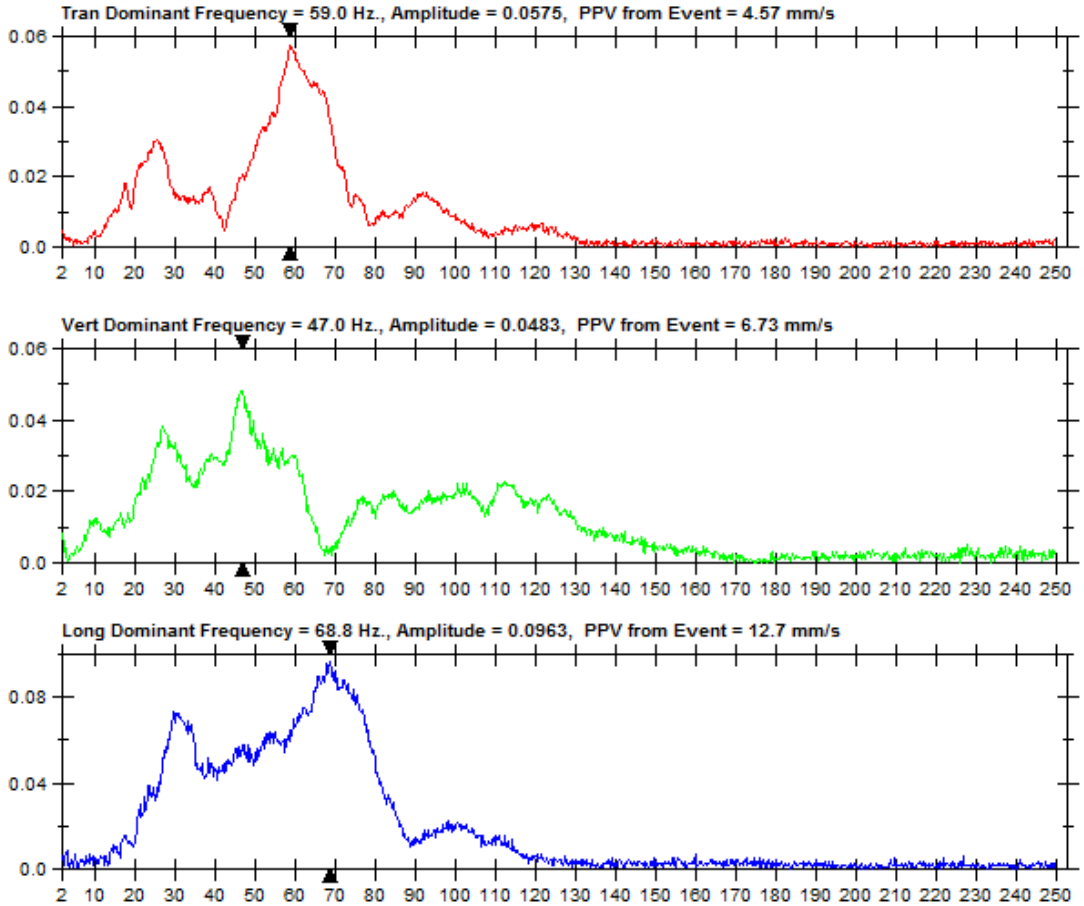


Şekil 3.65. SK1'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

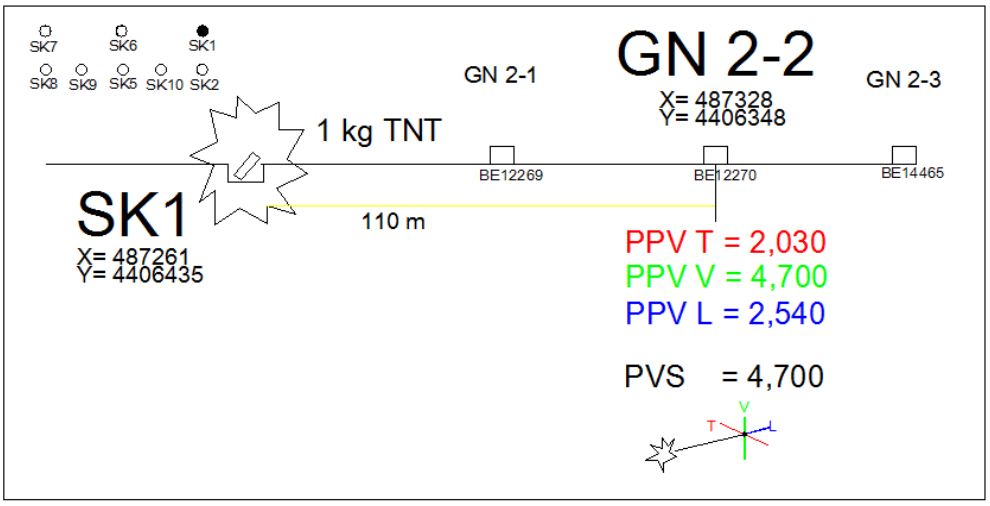


Şekil 3.66. SK1'de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

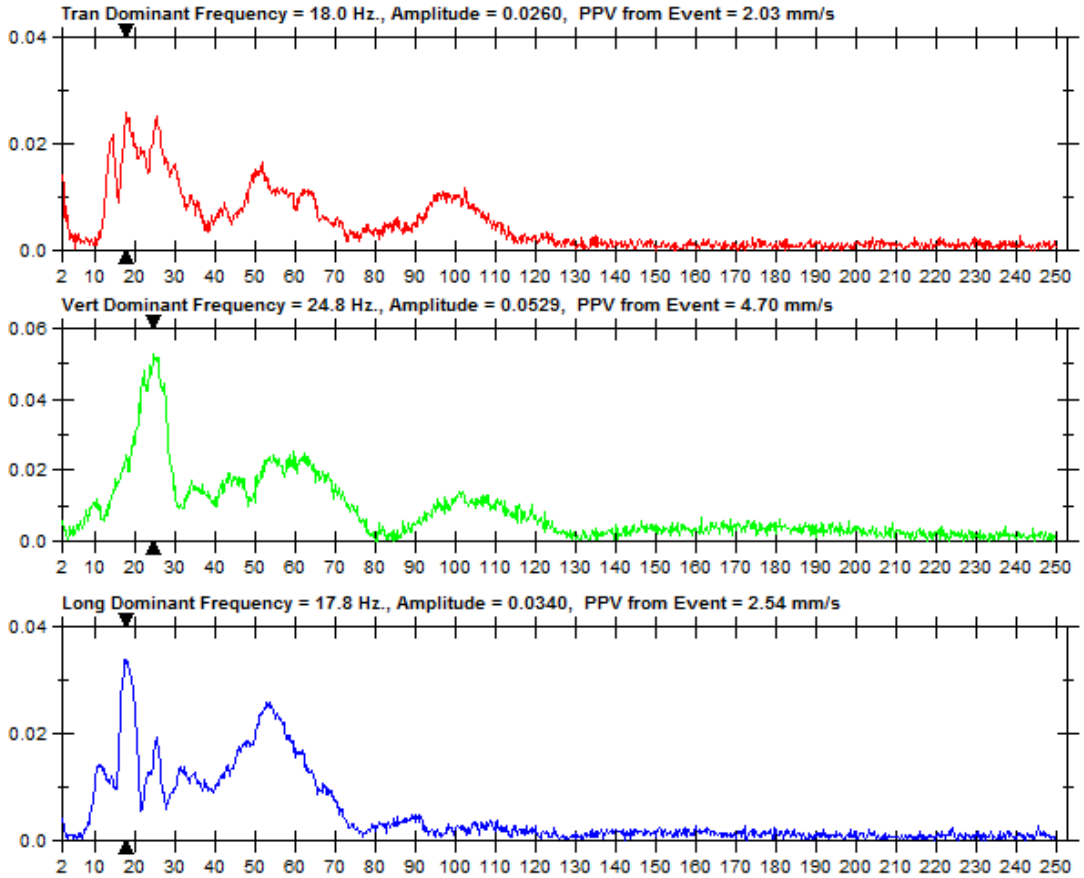


Şekil 3.67. SK1'de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

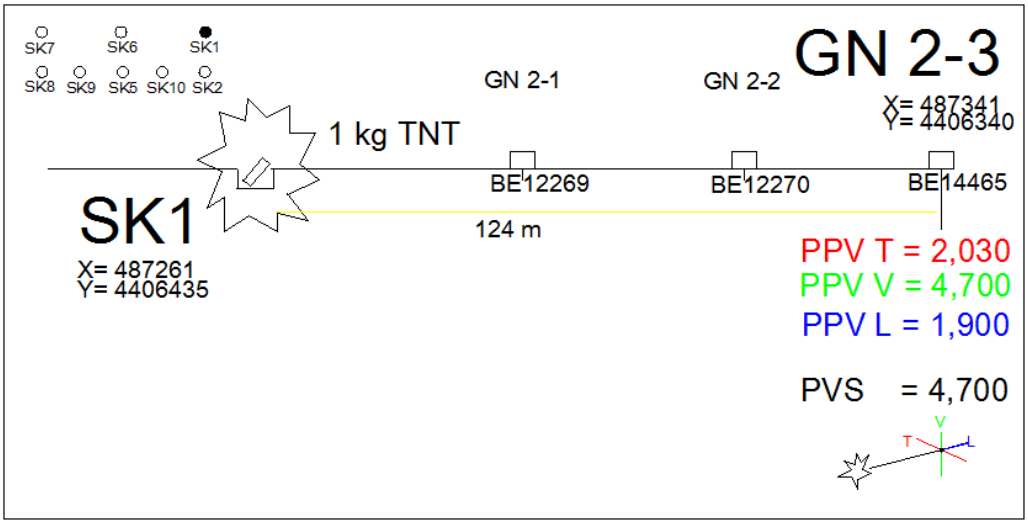


Şekil 3.68. SK1'de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

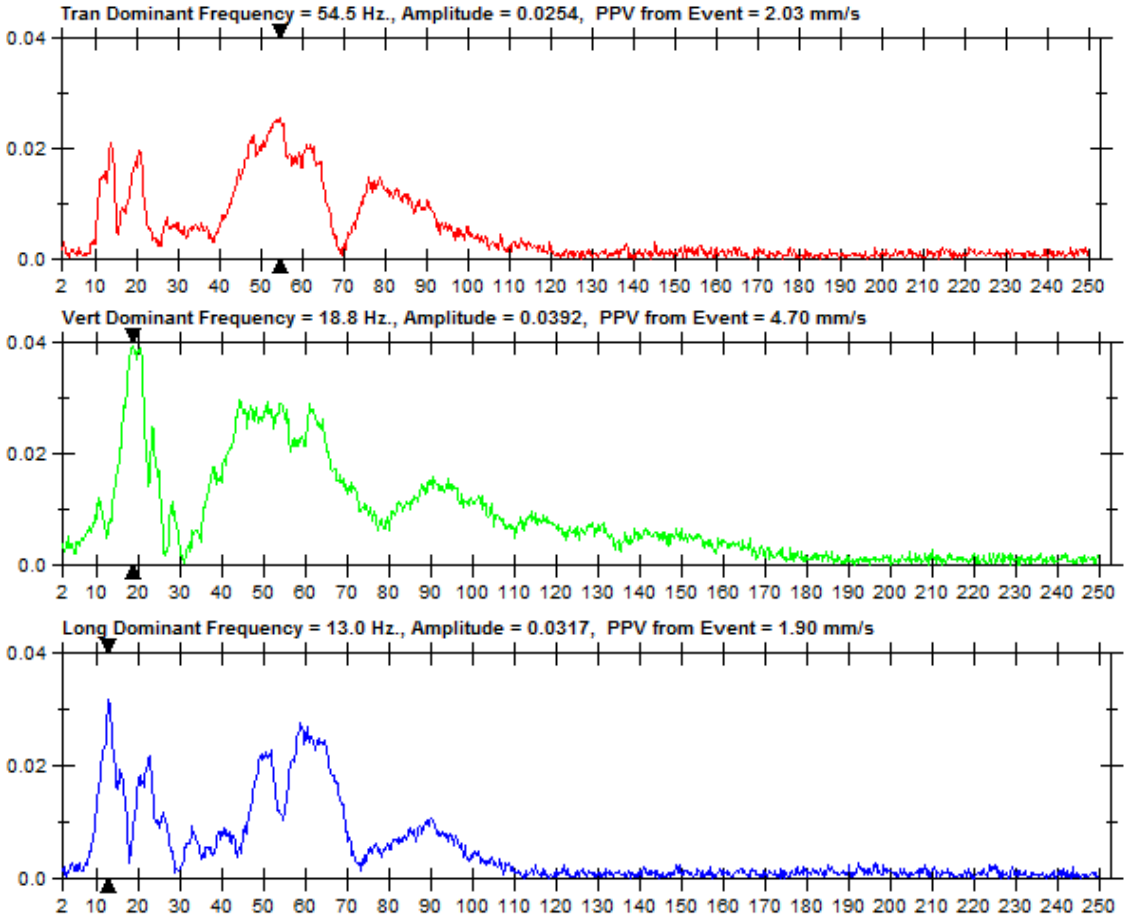


Şekil 3.69. SK1'de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

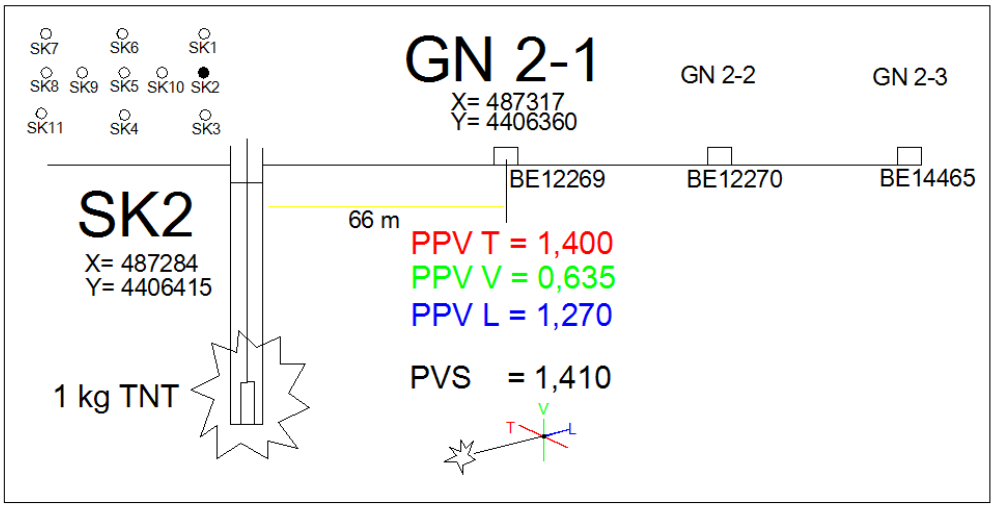


Şekil 3.70. SK1'de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

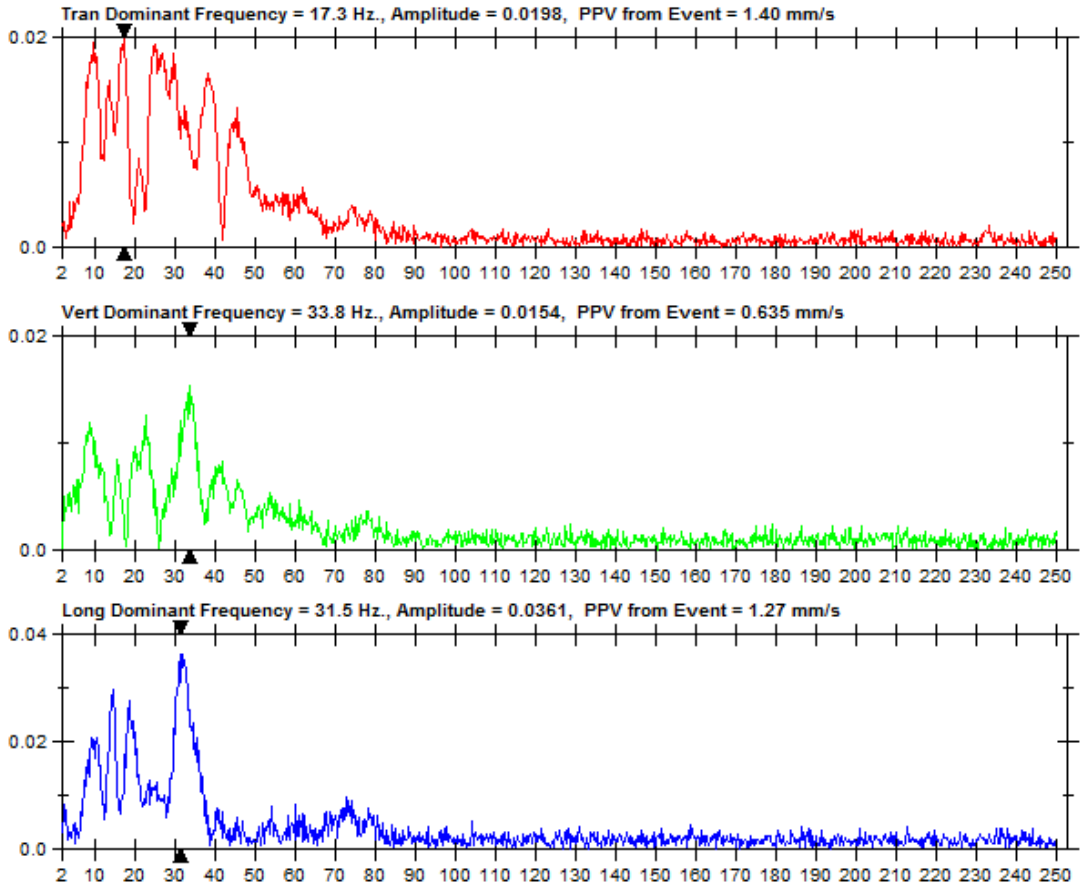


Şekil 3.71. SK1'de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

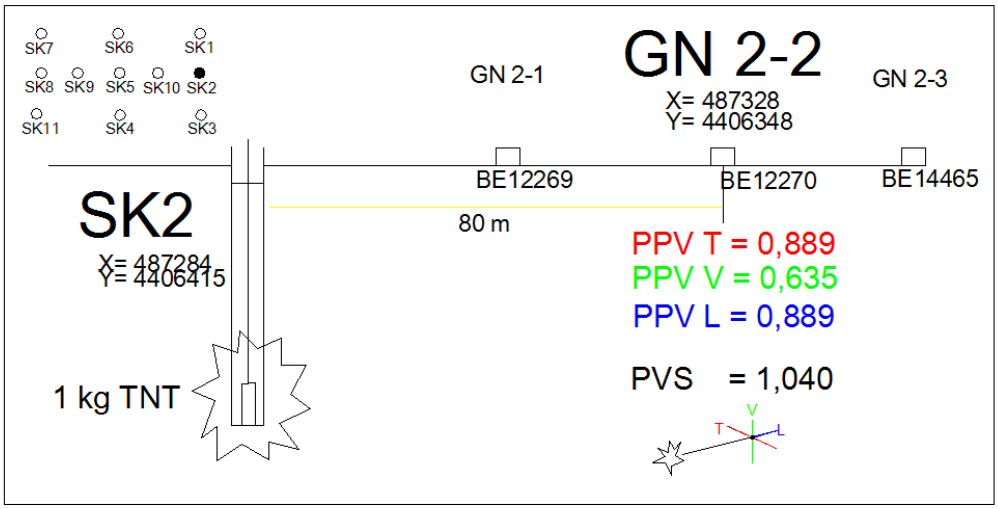


Şekil 3.72. SK2'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

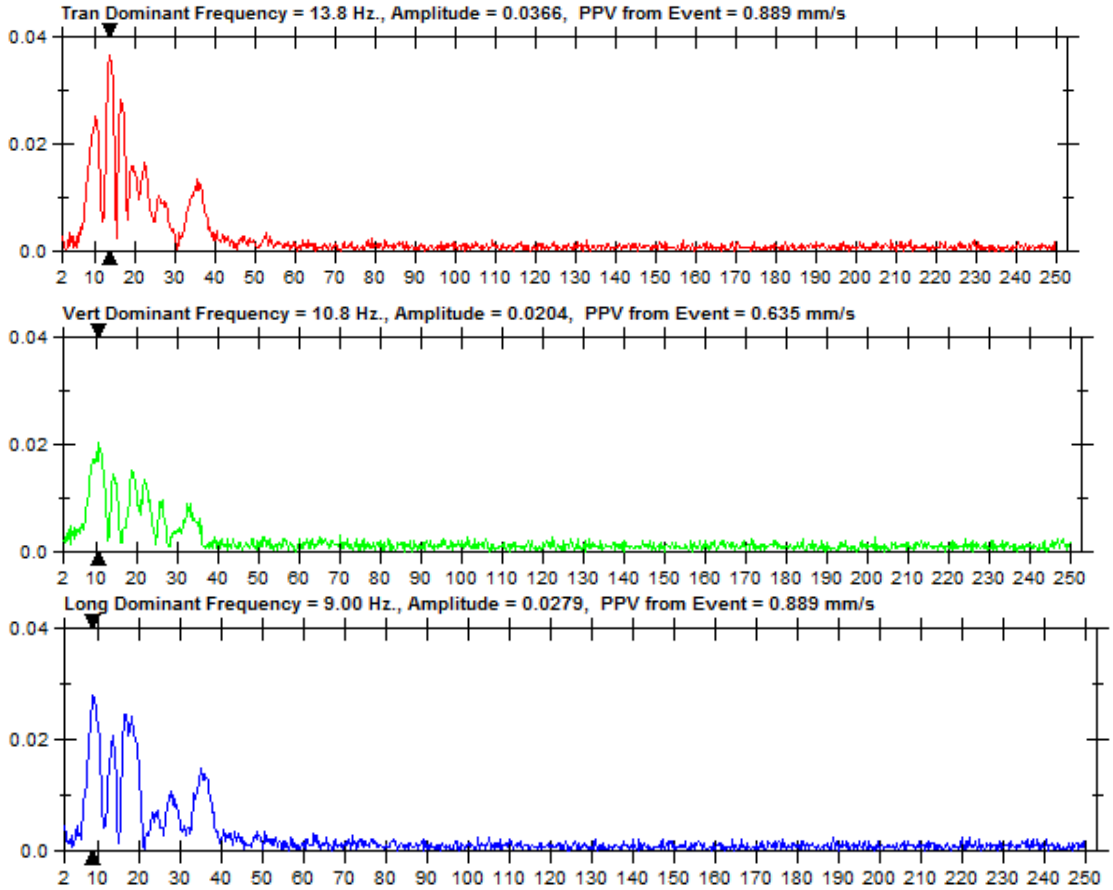


Şekil 3.73. SK2'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

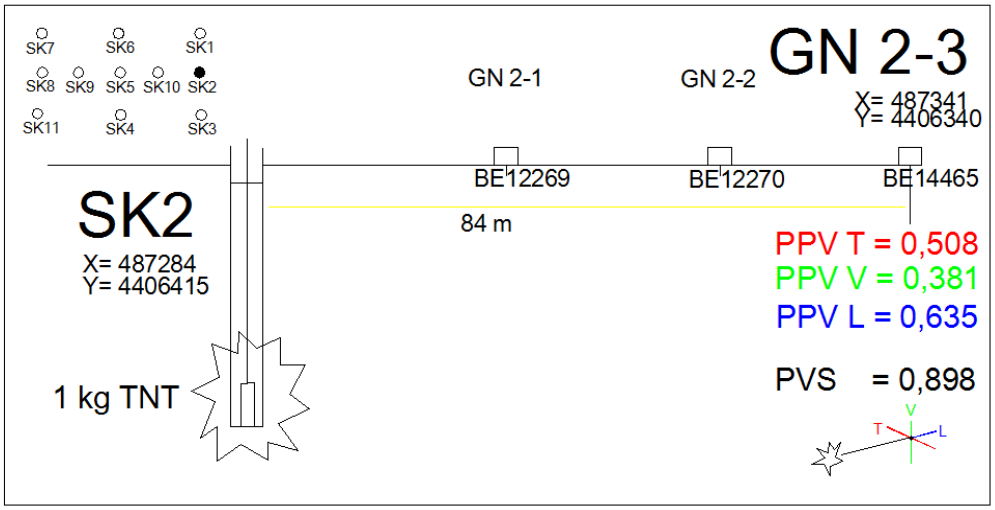


Şekil 3.74. SK2'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

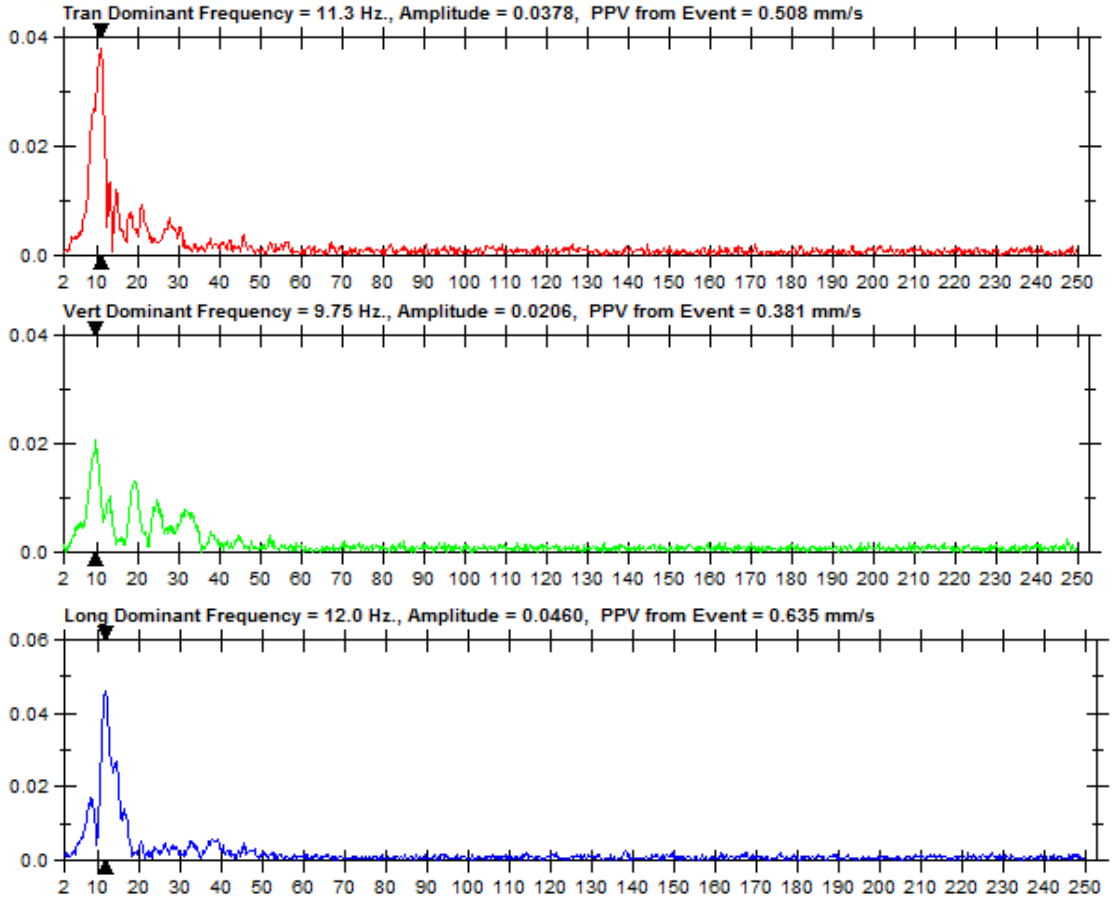


Şekil 3.75. SK2'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

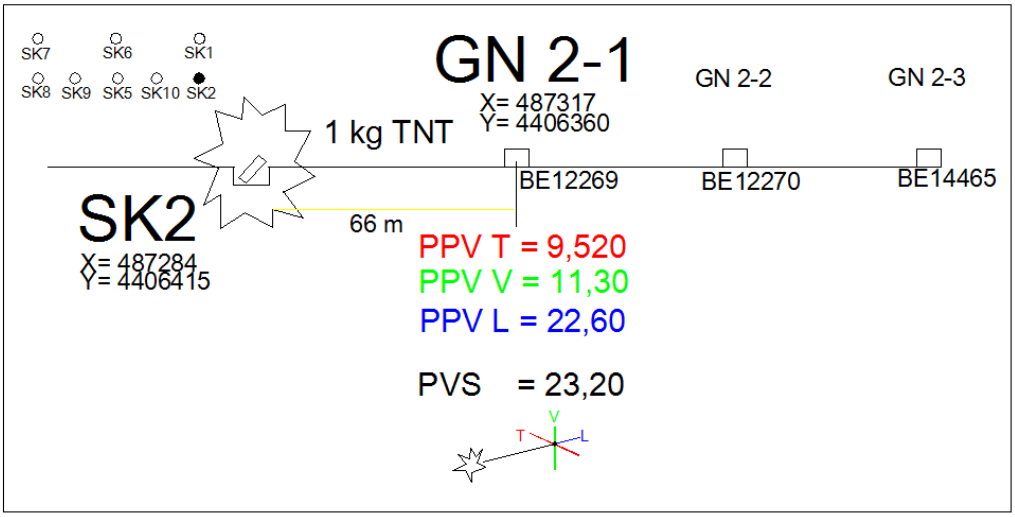


Şekil 3.76. SK2'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

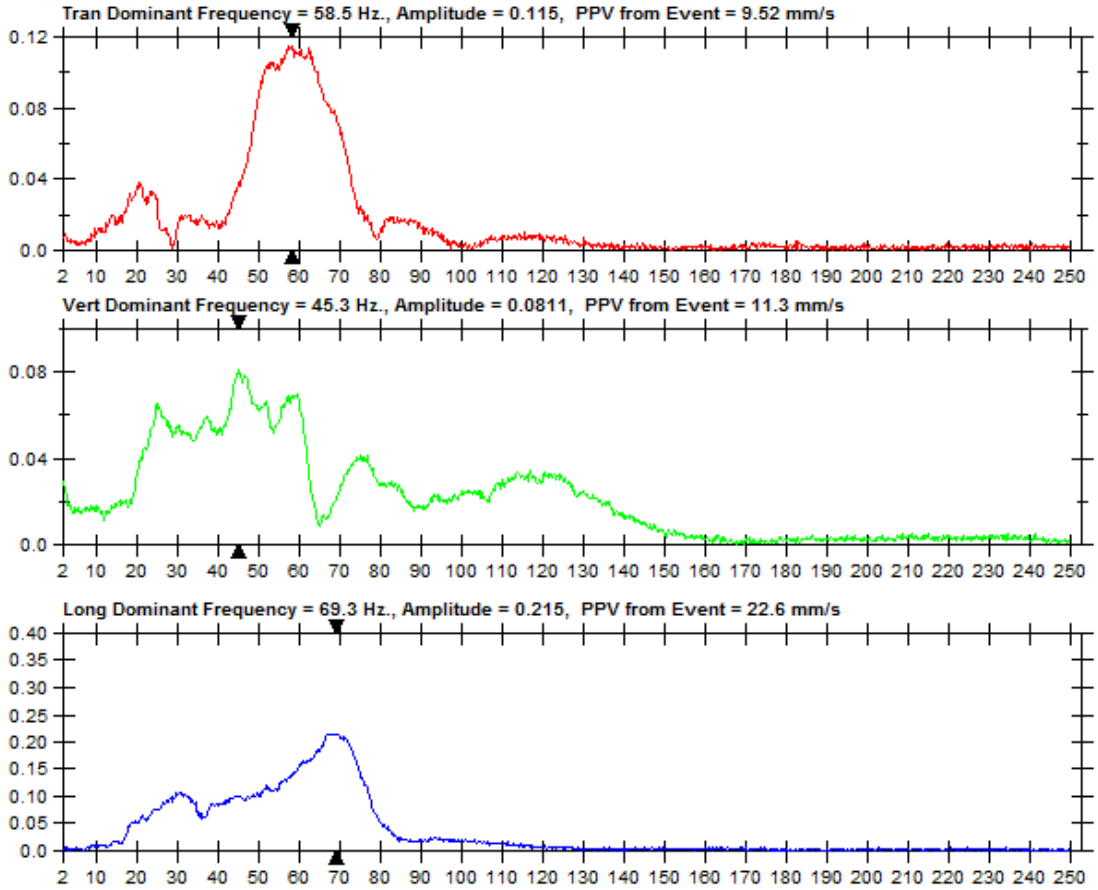


Şekil 3.77. SK2'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

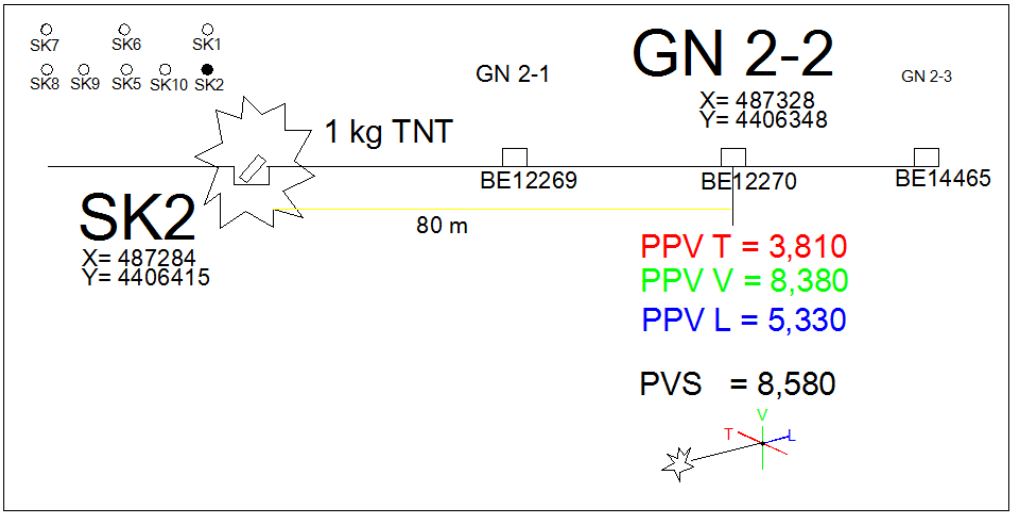


Şekil 3.78. SK2'de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

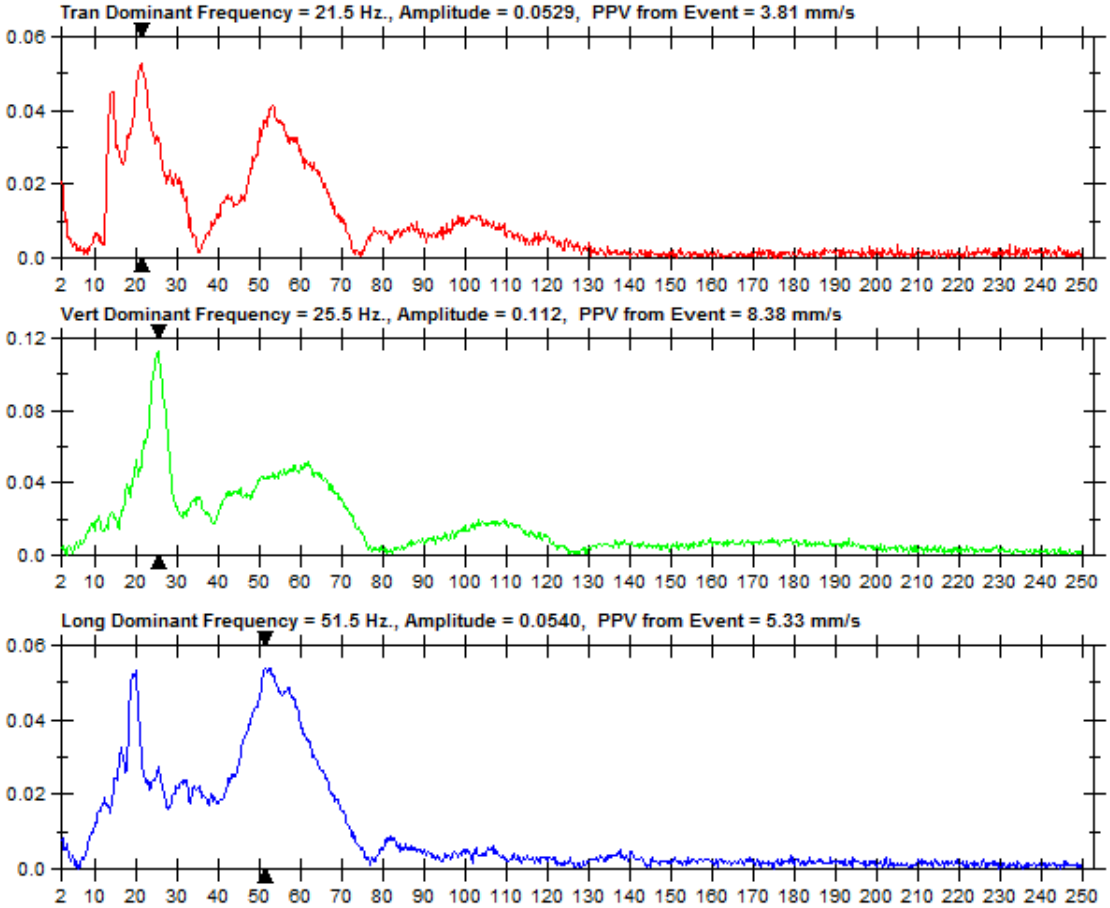


Şekil 3.79. SK2'de yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

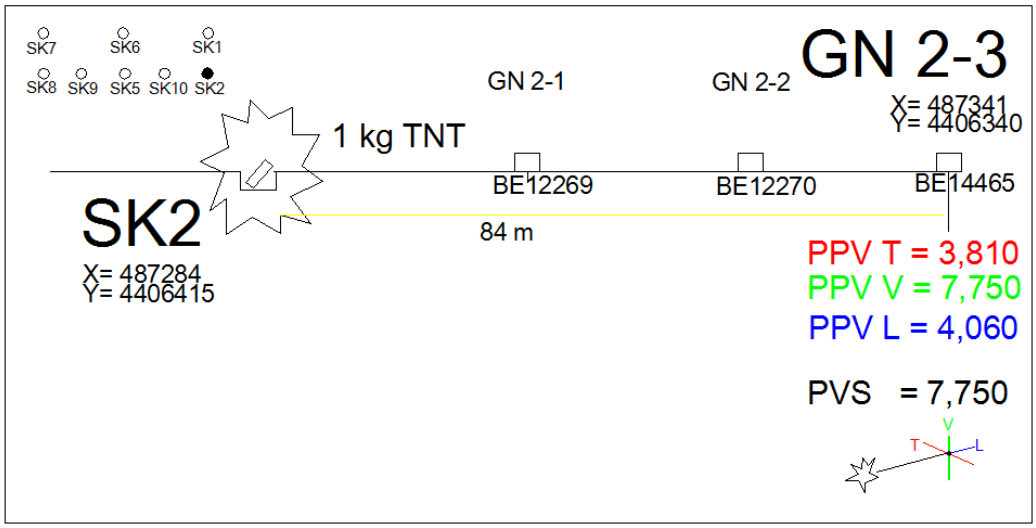


Şekil 3.80. SK2'de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

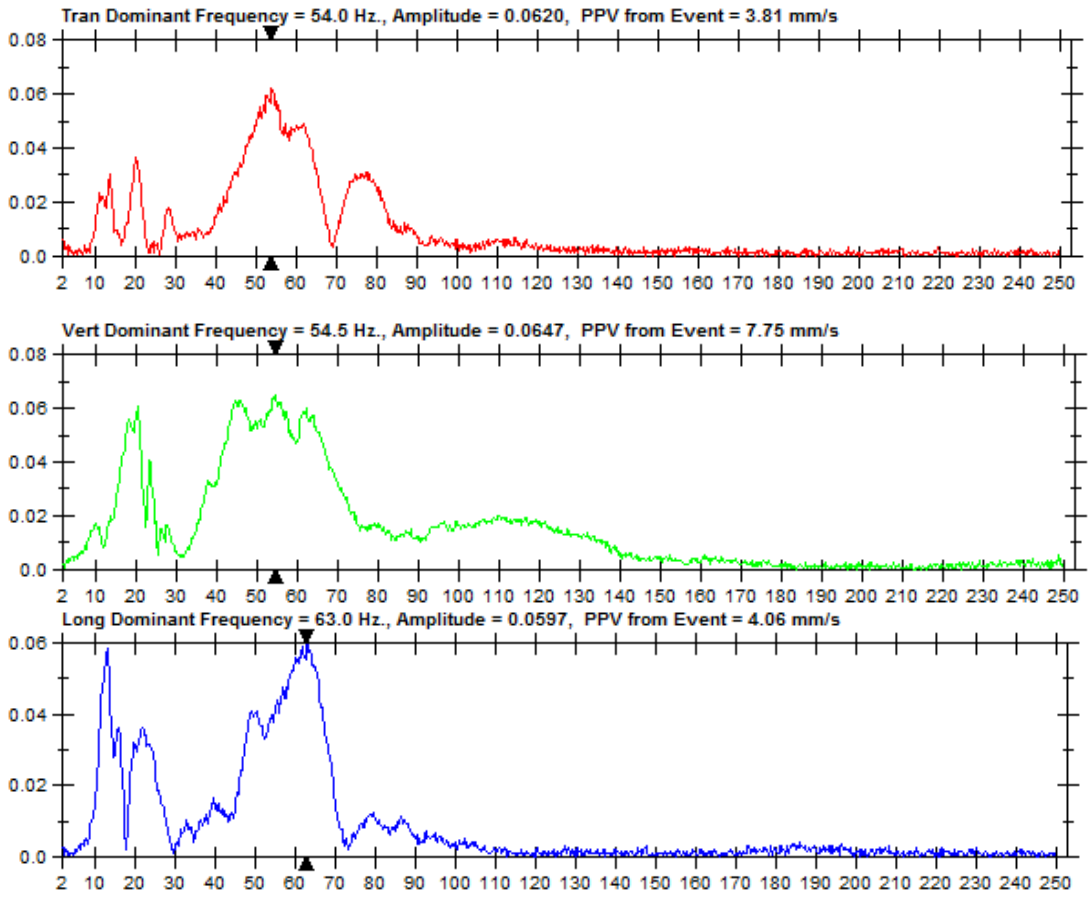


Şekil 3.81. SK2'de yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

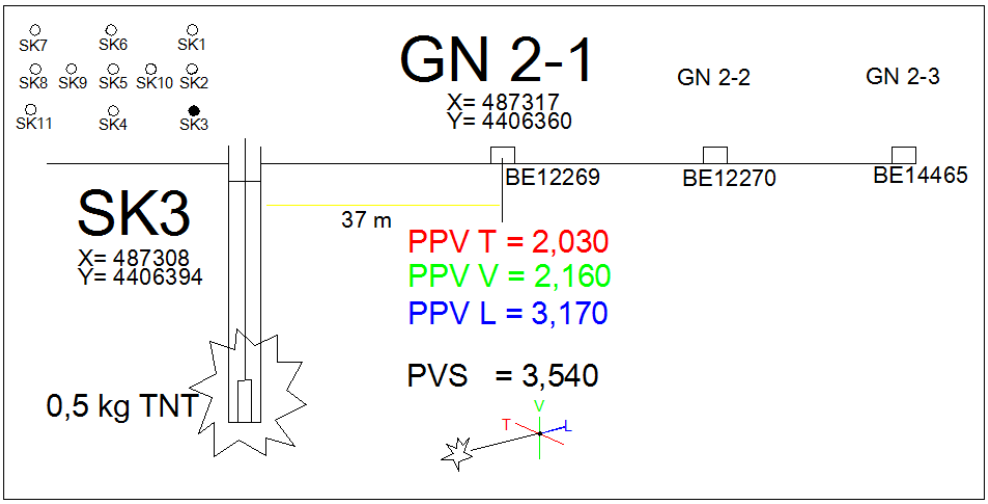


Şekil 3.82. SK2'de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

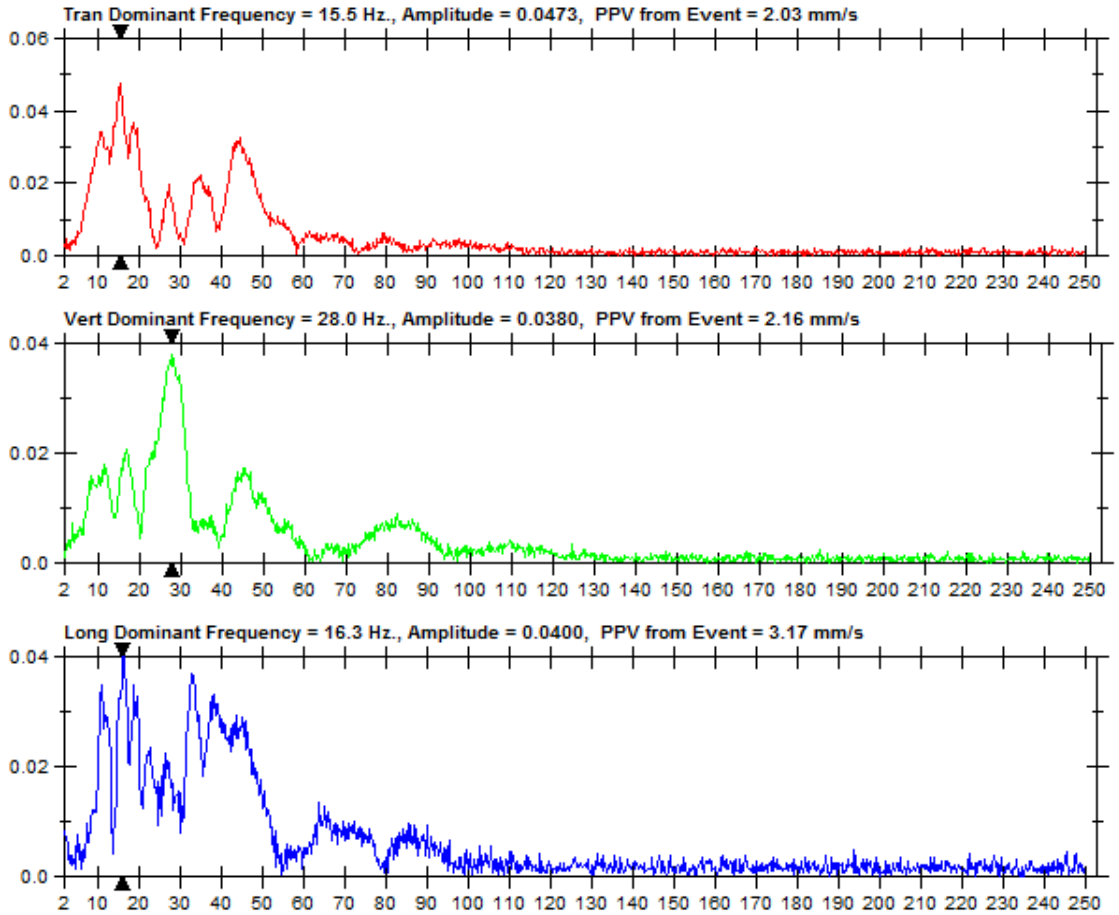


Şekil 3.83. SK2'de yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

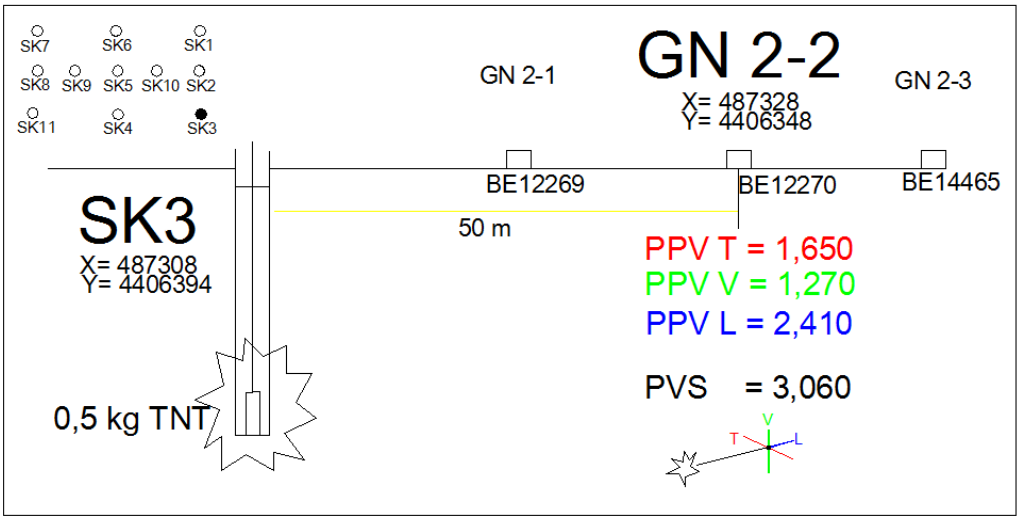


Şekil 3.84. SK3'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

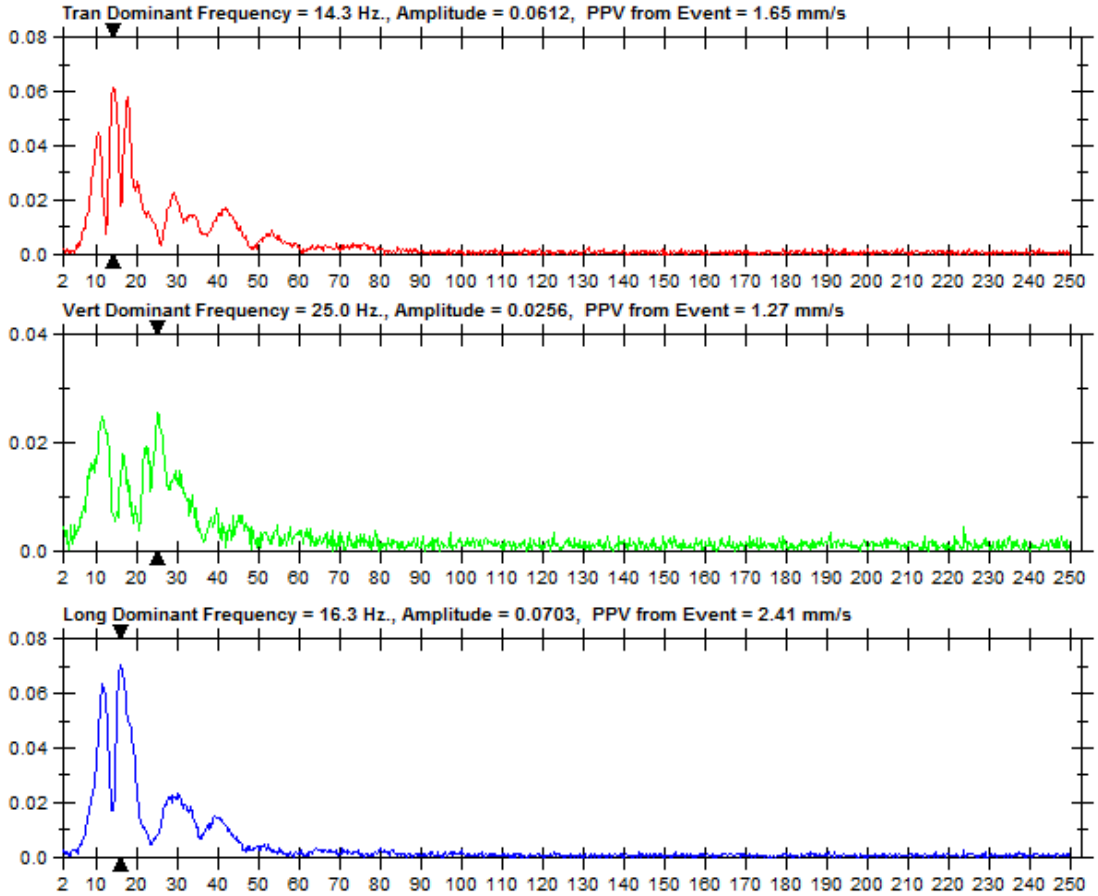


Şekil 3.85. SK3'de derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

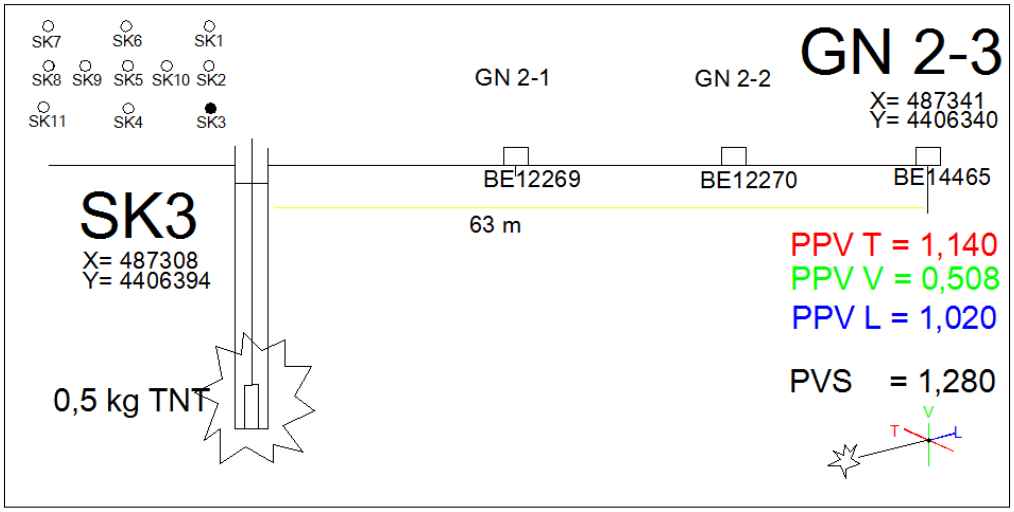


Şekil 3.86. SK3'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

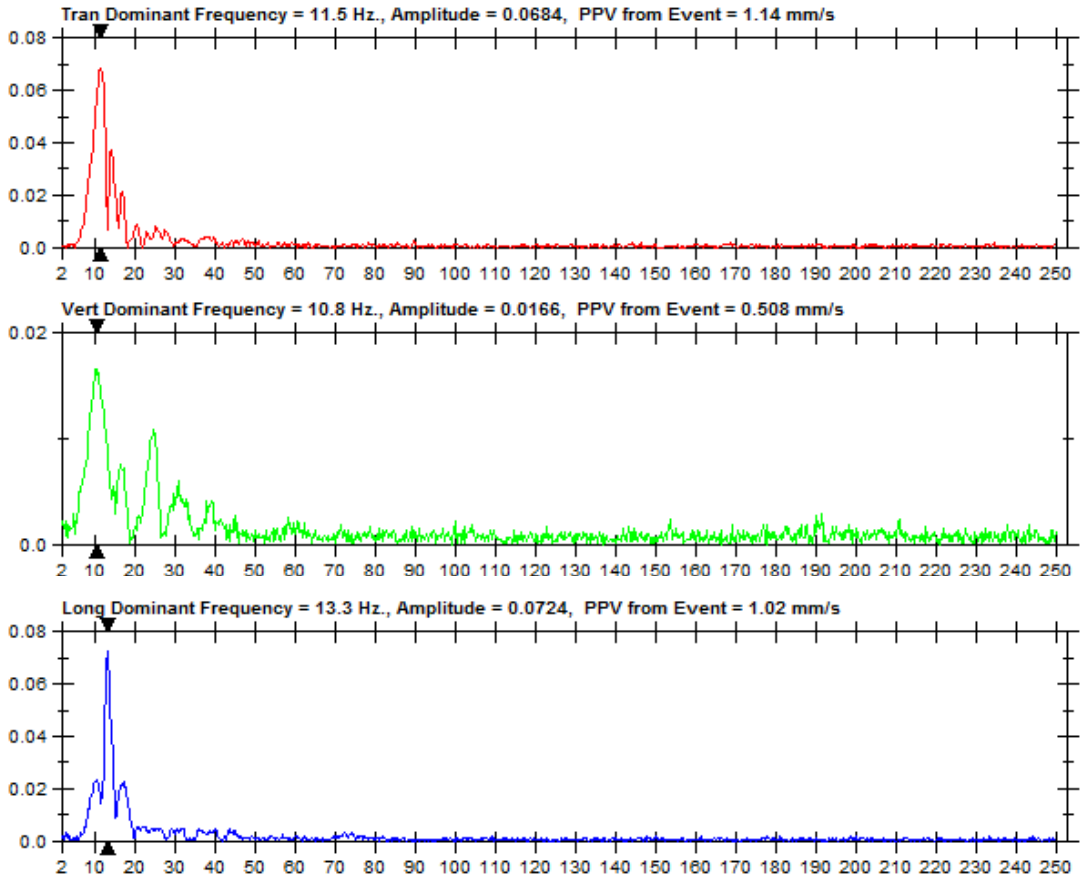


Şekil 3.87. SK3'de derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

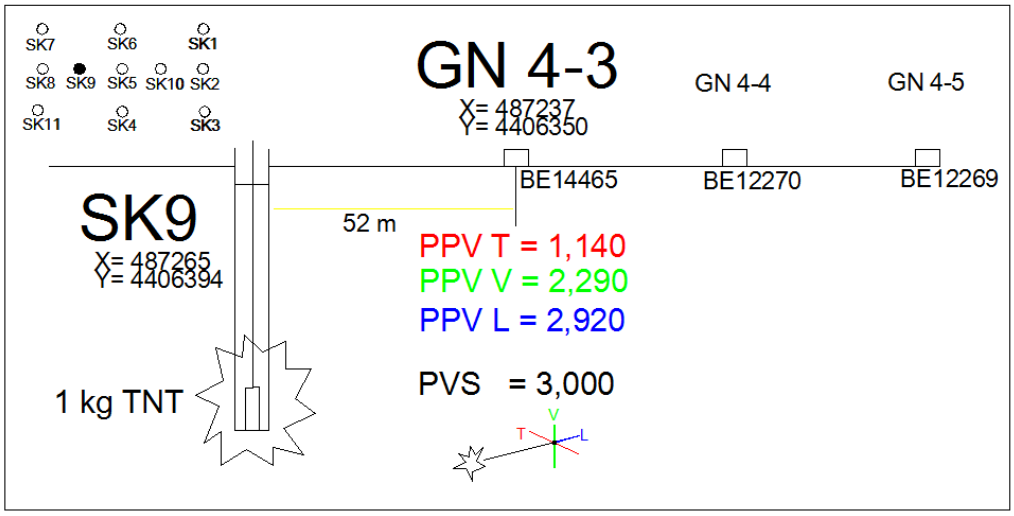


Şekil 3.88. SK3'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

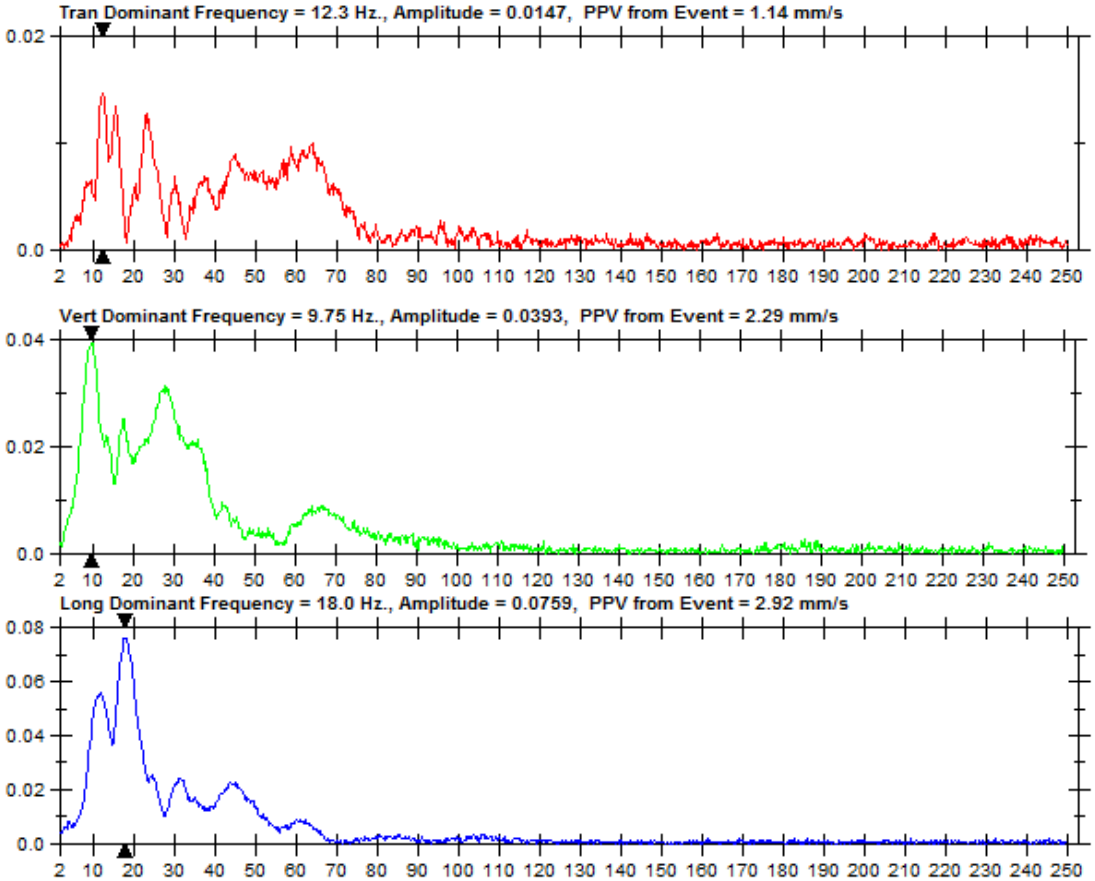


Şekil 3.89. SK3'de derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

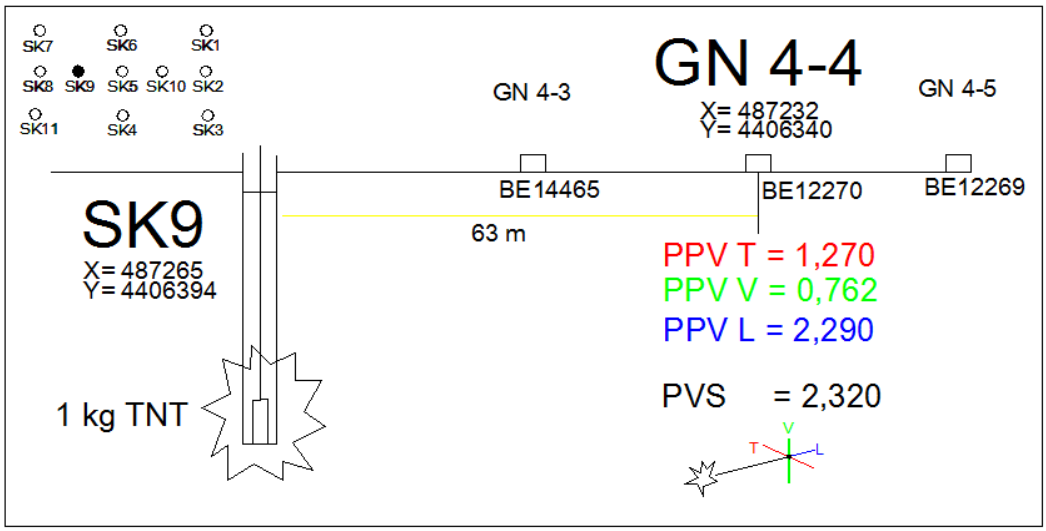


Şekil 3.90. SK9'da derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

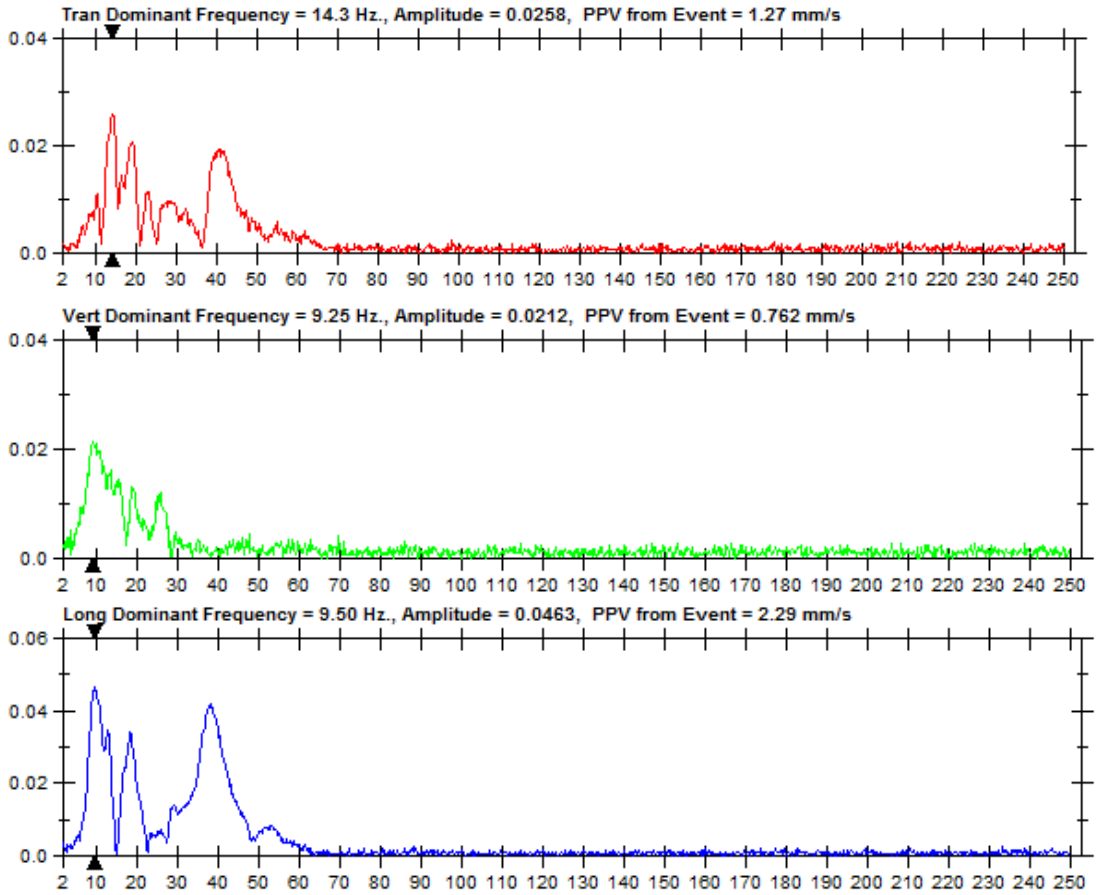


Şekil 3.91. SK9'da derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

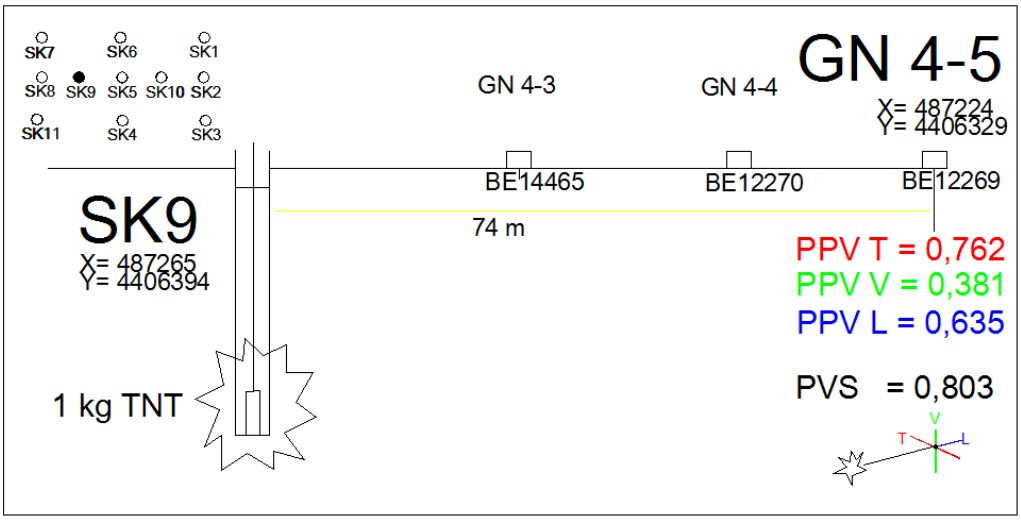


Şekil 3.92. SK9'da derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

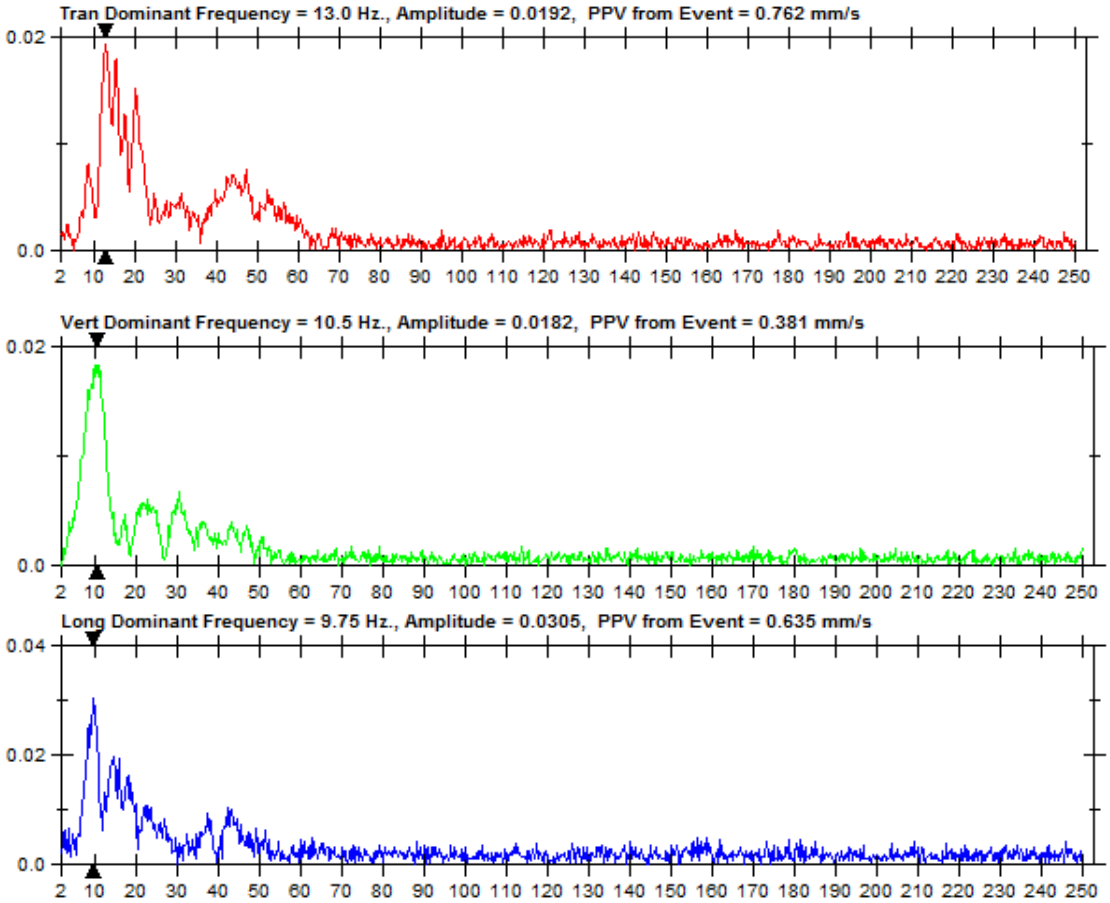


Şekil 3.93. SK9'da derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

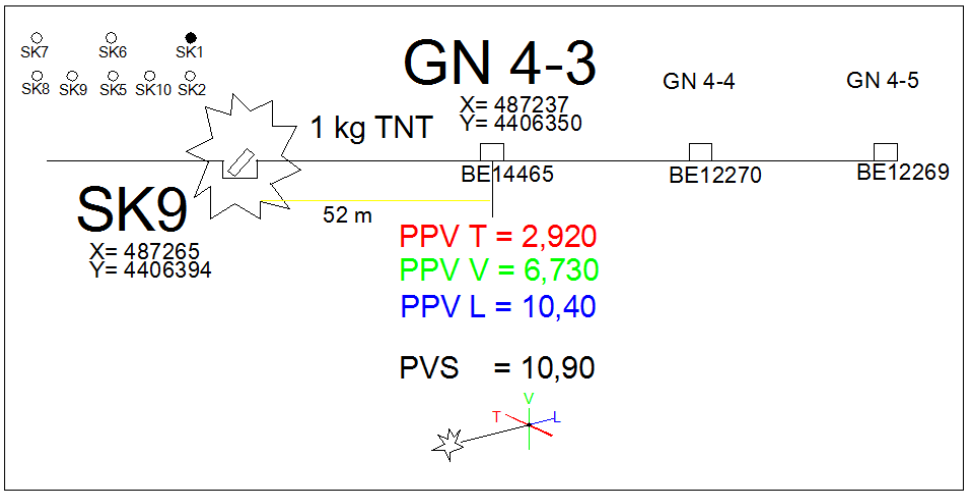


Şekil 3.94. SK9'da derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

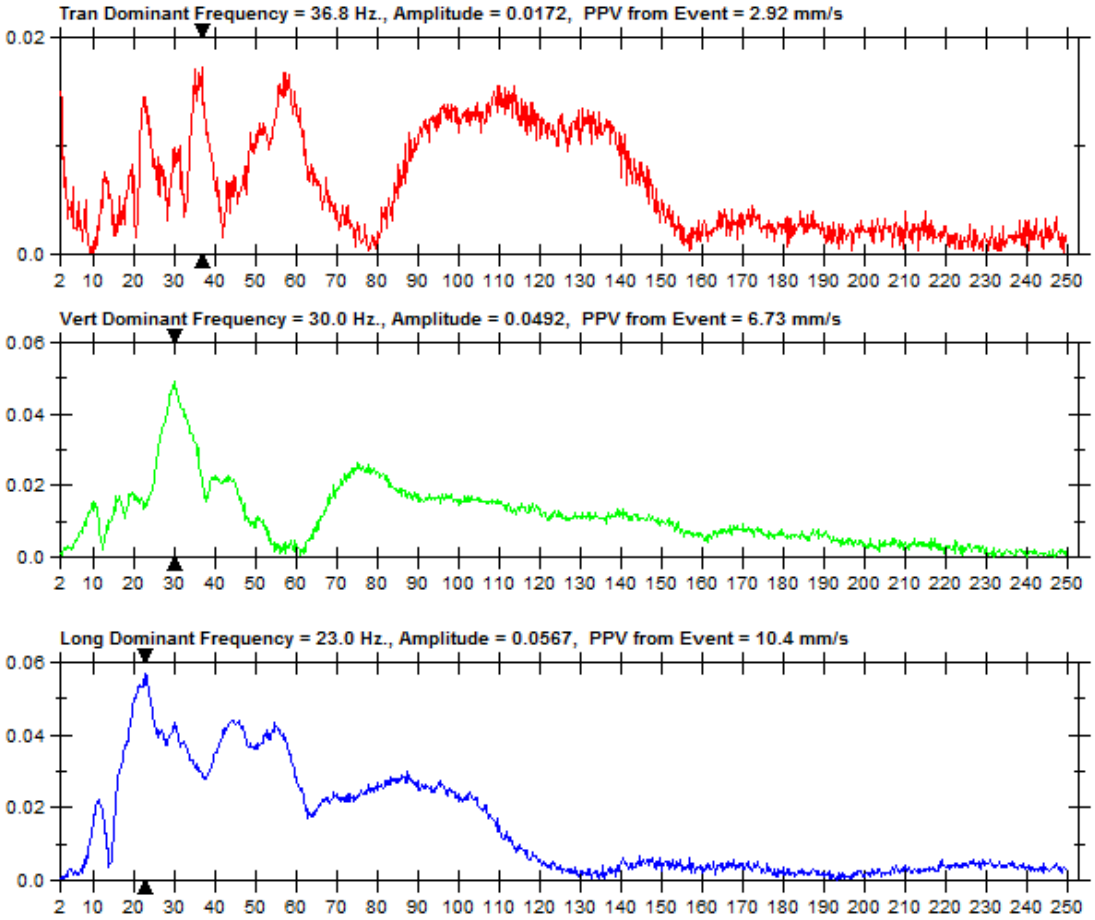


Şekil 3.95. SK9'da derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

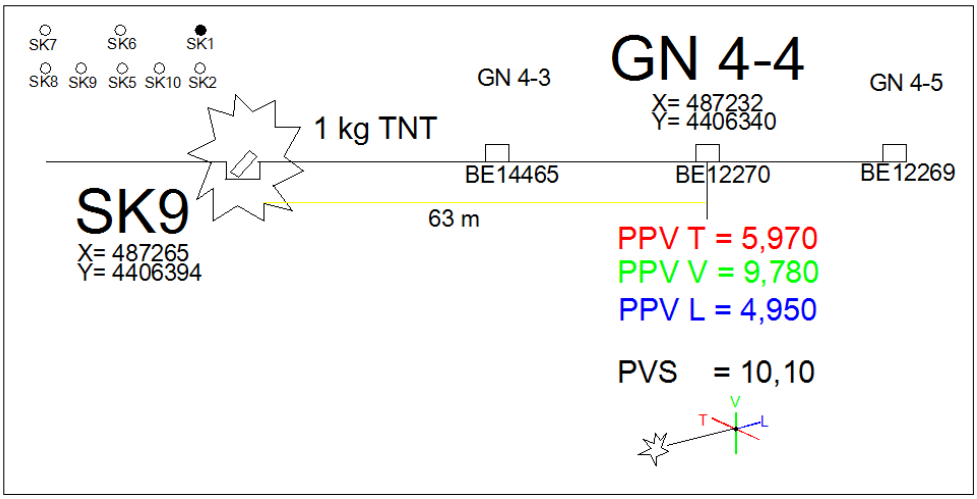


Şekil 3.96. SK9'da yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

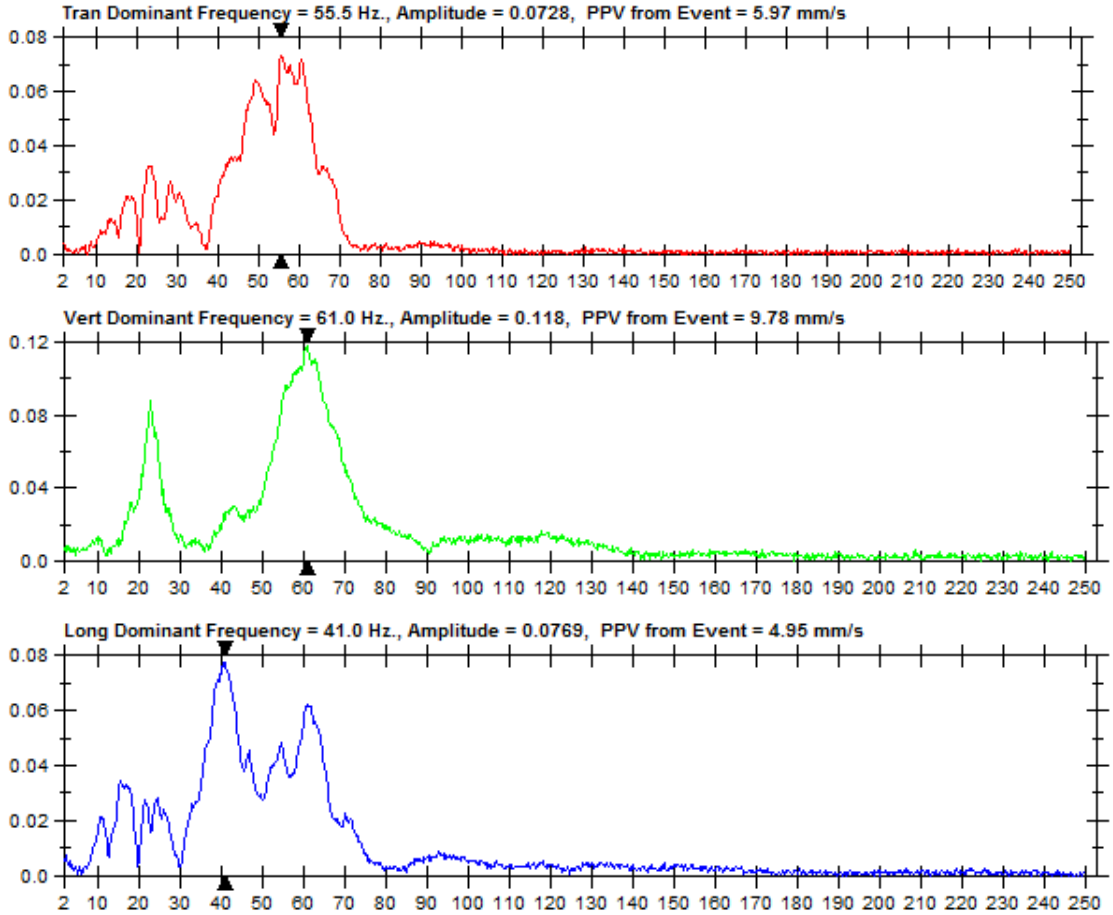


Şekil 3.97. SK9'da yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

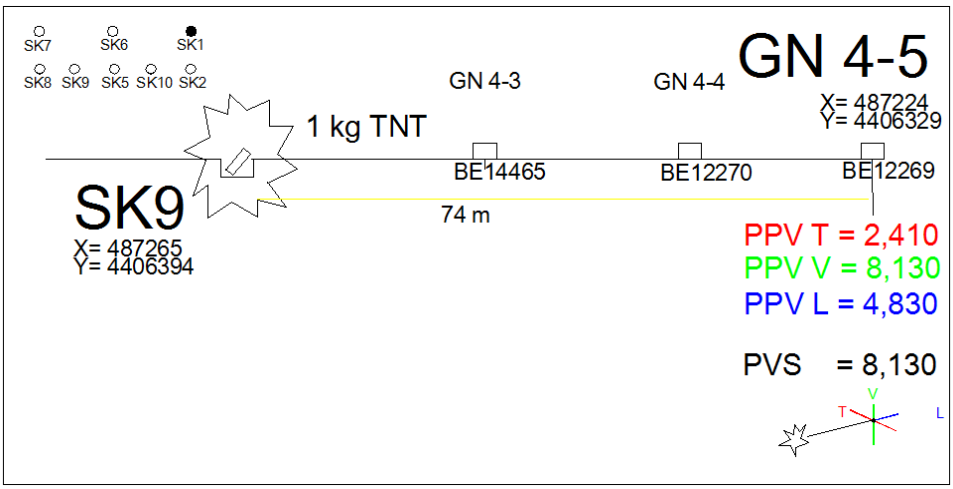


Şekil 3.98. SK9'da yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

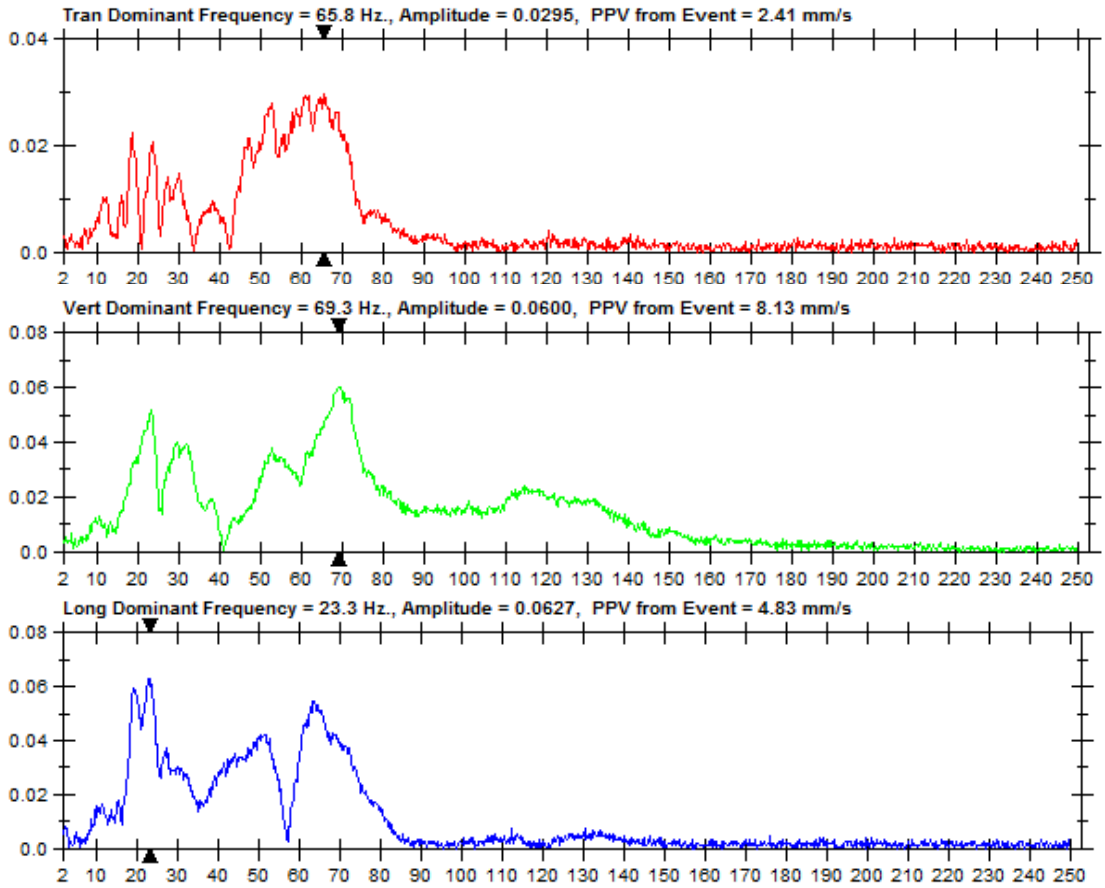


Şekil 3.99. SK9'da yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

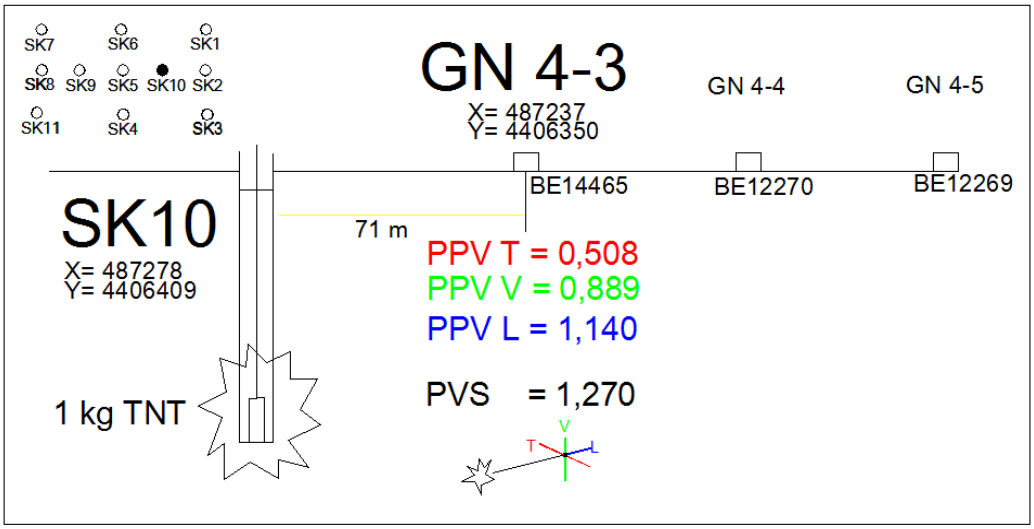


Şekil 3.100. SK9'da yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

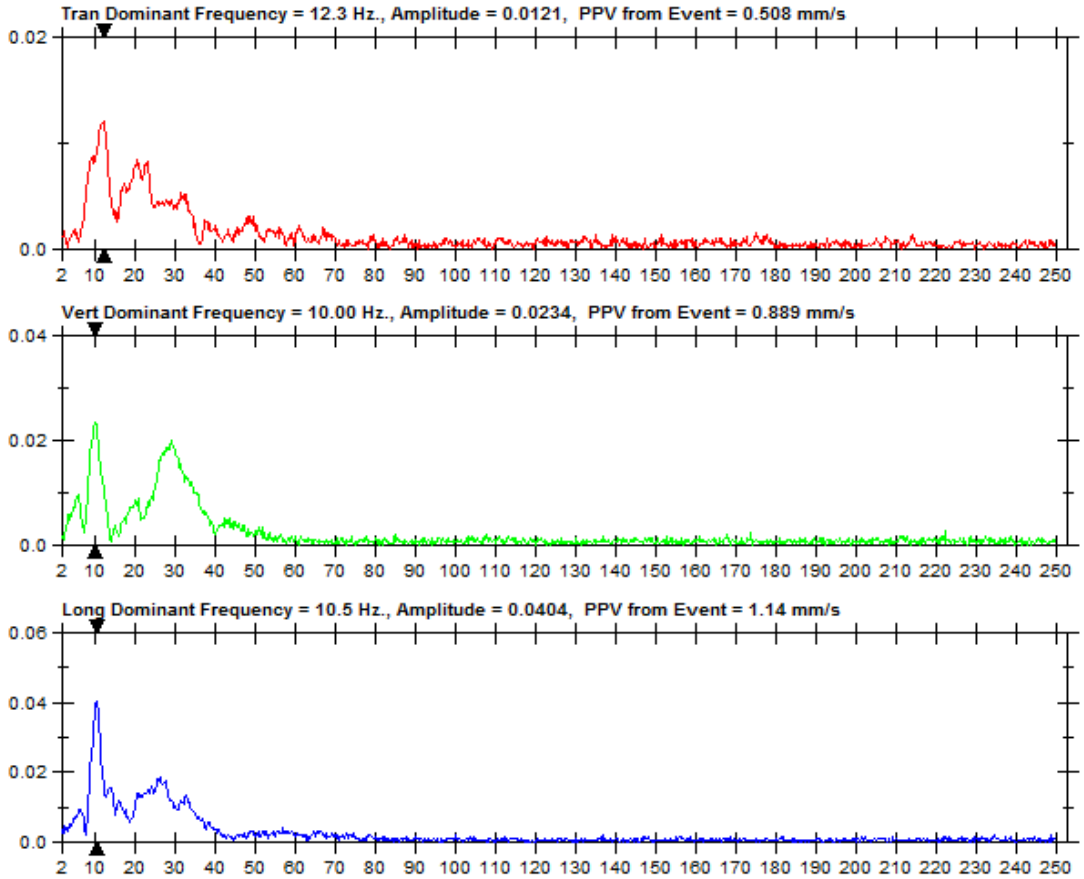


Şekil 3.101. SK9'da yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

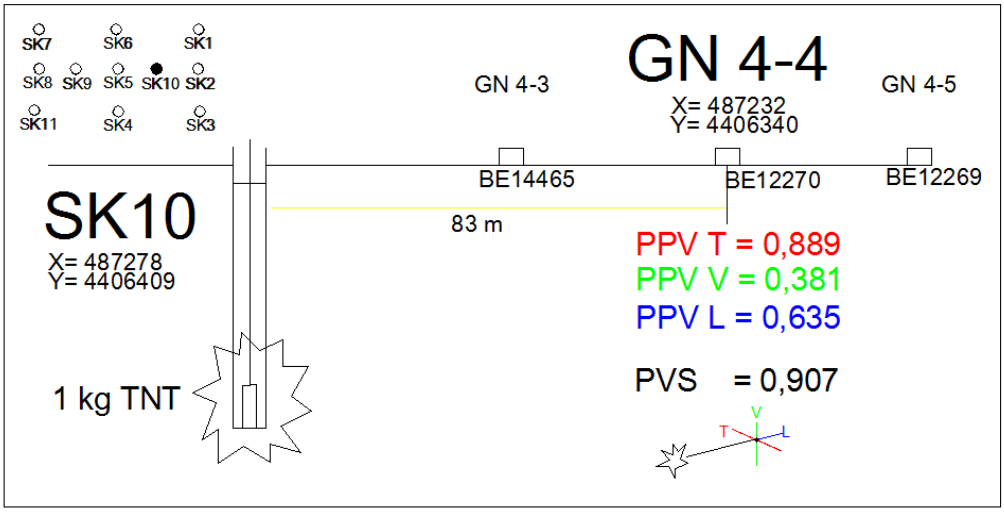


Şekil 3.102. SK10'da derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

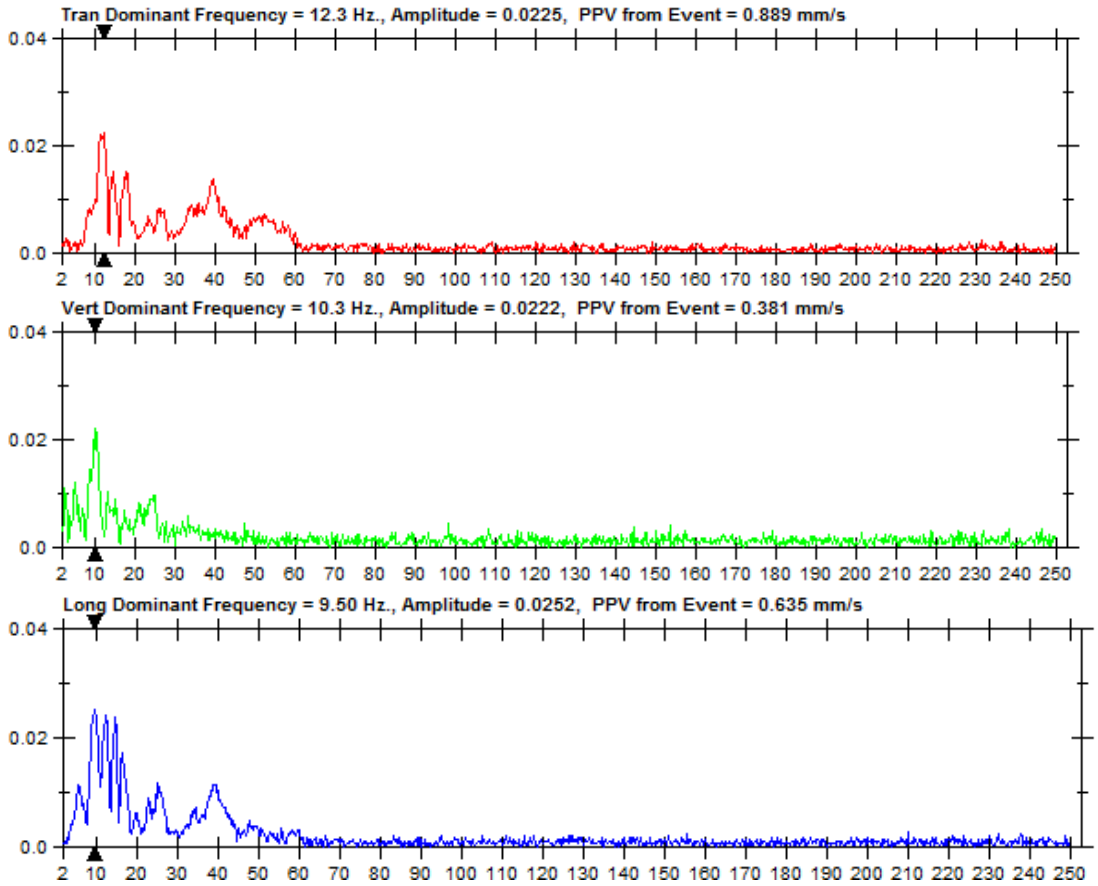


Şekil 3.103. SK9'da derin patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

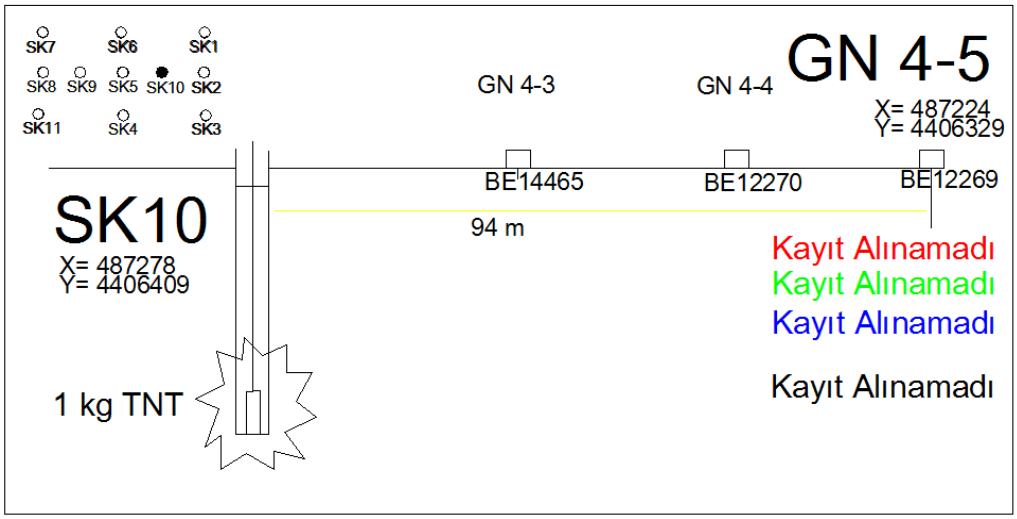


Şekil 3.104. SK10'da derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler



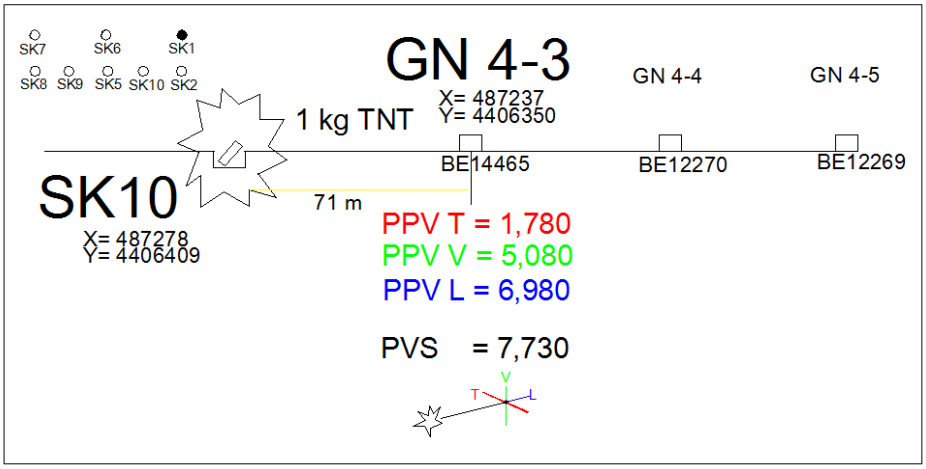
Şekil 3.105. SK10'da derin patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

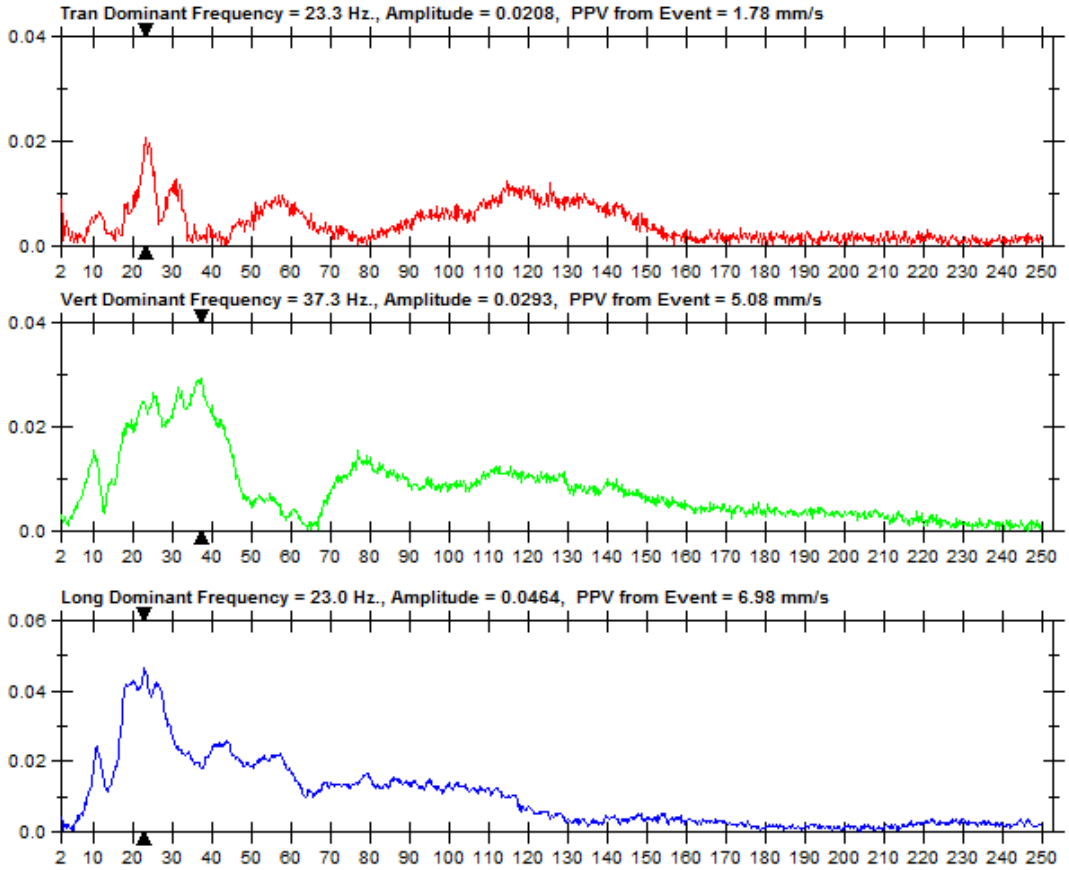


Şekil 3.106. SK10'da derin patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

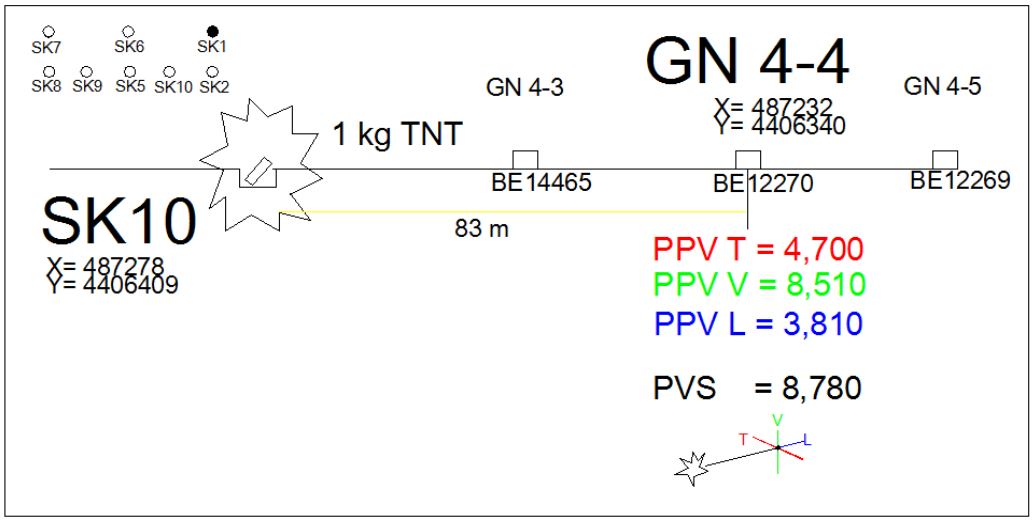


Şekil 3.107. SK10'da yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

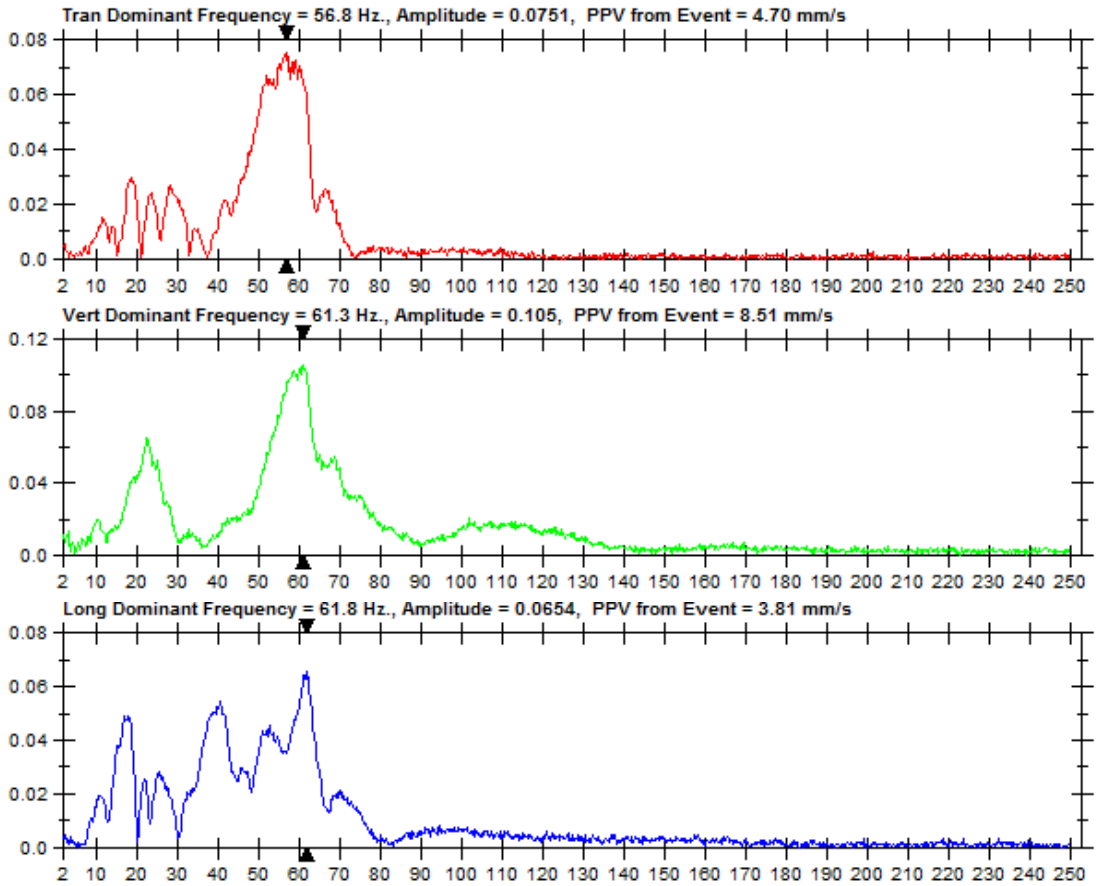


Şekil 3.108. SK10'da yüzey patlatma sonucu 1. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları

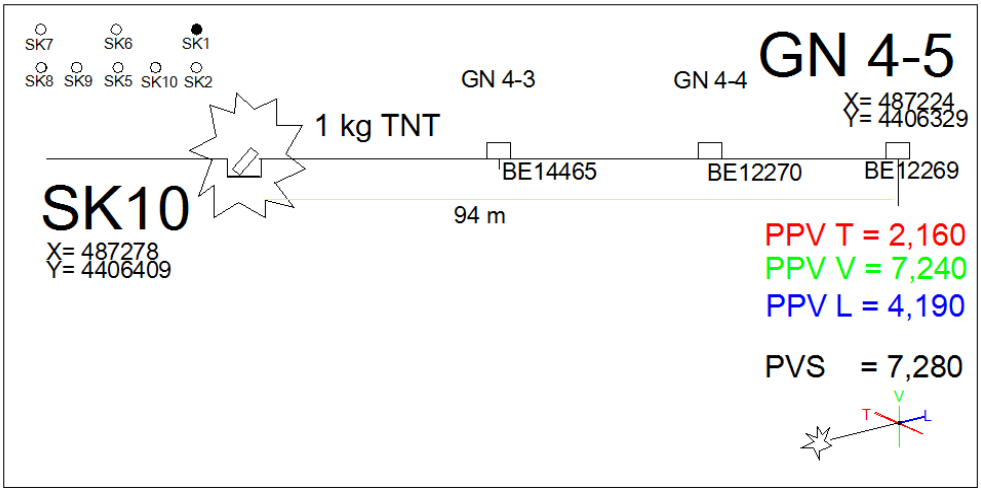


Şekil 3.109. SK10'da yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen değerler

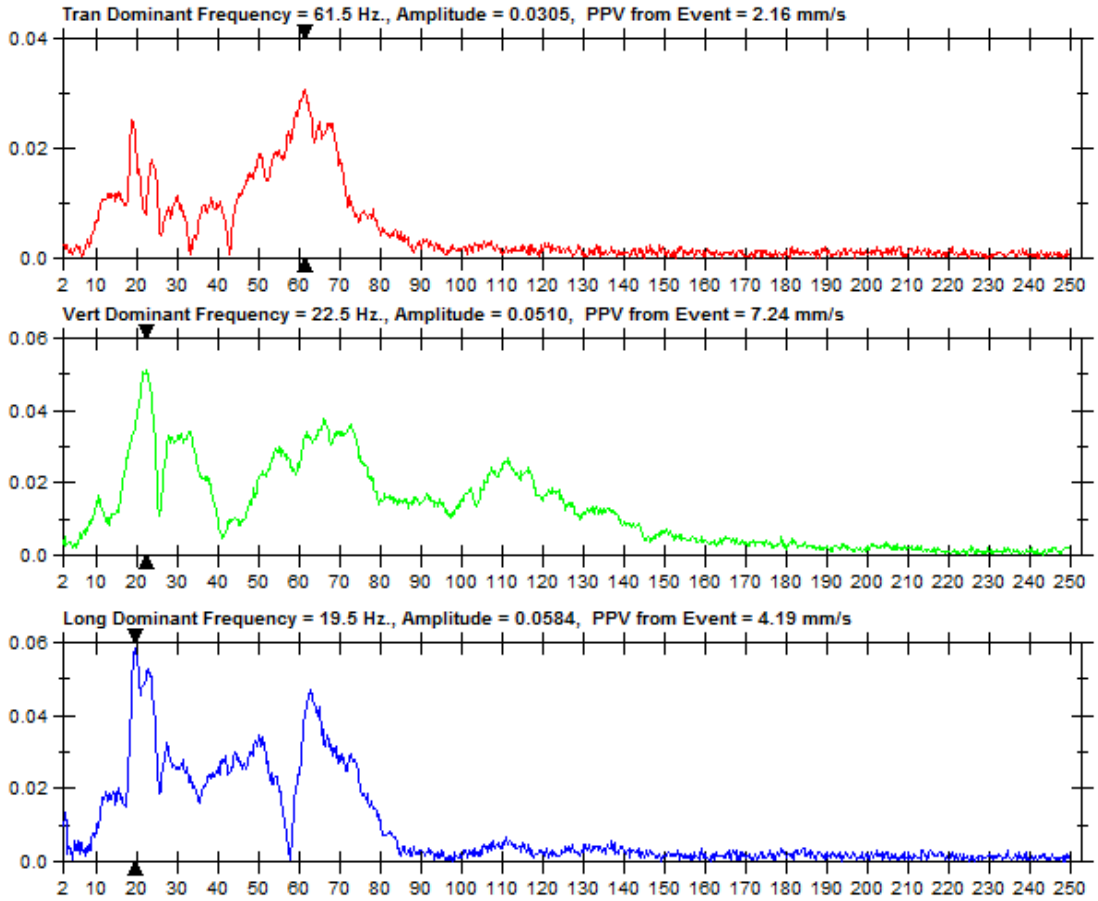


Şekil 3.110. SK10'da yüzey patlatma sonucu 2. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

EK- 3. (Devam) Patlatma yerleşimi ve bileşenlerde FFT program çıktıları



Şekil 3.111. SK10'da yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen değerler



Şekil 3.112. SK10'da yüzey patlatma sonucu 3. gözlem noktasında ölçümlenen bileşenlerde FFT analizi program çıktısı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: DOĞAN, Onur
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 23.08.1983 Kütahya
Medeni hali	: Bekar
Telefon	: 0 (312) 412 23 81
Faks	: 0 (312) 428 81 73
e-mail	: onurdogan@egm.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2006
Lise	Kütahya Fen Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-	Emniyet Genel Müdürlüğü İnşaat Emlak Dairesi Başkanlığı	İnşaat Mühendisi
2006-2007	SUPEK	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tiyatro, Arkeoloji