



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN
YAPI DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**İnş.Yük.Müh. Barış YILDIZLAR
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programı**

**Danışman
Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN
Prof. Dr. Ali KAHRİMAN**

Kasım, 2009

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN
YAPI DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**İnş.Yük.Müh. Barış YILDIZLAR
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programı**

**Danışman
Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN
Prof. Dr. Ali KAHRİMAN**

Kasım, 2009

İSTANBUL

Bu çalışma 02/12/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliğı programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ekrem MANİSALI
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Haluk ÇEÇEN
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

Prof. Dr. Tuncer ÇELİK
Beyent Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Prof. Dr. Ali Malik GÖZÜBOL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 3893 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim sırasında, bilimsel yayın ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği tüm sabır, hoşgörü, destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Sn. Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca katkılarından, tükenmek bilmeyen desteğinden ve yardımlarından dolayı danışman hocam Sn. Prof. Dr. Ali KAHRİMAN'a teşekkür ediyorum.

Tez çalışmamı inceleyip verdikleri destek, getirdikleri değerli görüş ve önerileri için jüri üyeleri İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri Sn. Prof. Dr. Ekrem MANİSALI ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Prof. Dr. Ali Malik GÖZÜBOL'a, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Prof. Dr. Haluk ÇEÇEN'e ve son olarak yıllar önce elimden tutup değerli danışmanım Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN ile beraber çalışmamı öğütleyen Beykent Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekanı saygıdeğer hocam Prof. Dr. Tuncer ÇELİK'e şükranlarımı sunuyorum.

Günün yirmidört saatinin aslında yeterli bir zaman dilimi olmadığını anlamamı sağlayan çok sevdiğim tarihi üniversiteme saygı ve teşekkürlerimi iletmeyi bir borç biliyorum.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde ilk olarak Araş. Gör. Barış SAYIN olmak üzere tüm arkadaşlarıma, İstanbul Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndaki çalışma arkadaşlarımdan İnş. Yük. Müh. U. Emre TEMELLİ'ye ve her türlü desteğinden dolayı özellikle İç Mimar U. Gülsemin KILIÇASLAN'a ve diğer çalışma arkadaşlarıma, çalışmada bilgilerini benden esirgemeyen Araş. Gör. Albulkadir KARADOĞAN'a başta ilkokul öğretmenlerim annem ve babam olmak üzere, ilköğretimden üniversite hayatımın sonuna kadar tüm öğretmenlerime sonsuz teşekkür ediyorum.

Çalışma süresi boyunca verdikleri destekten dolayı tekrar değerli anne ve babama, her zaman yanımda olduğunu bildiğim sevgili eşime teşekkür ediyor, tez çalışmamı minik oğlum Umut Barış'a armağan ediyorum.

Kasım, 2009

Barış YILDIZLAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	1
2. GENEL KISIMLAR	7
2.1 PATLATMA FAALİYETLERİNİN ÖNEMİ	7
2.1.1 Delme – Patlatmanın Önemi.....	8
2.1.2 Delme – Patlatma Çalışmalarının Kullanım Alanları.....	8
2.1.3 Patlatma Faaliyetlerinin Mühendislik Bilimi ile İlişkisi	10
2.2 PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL SORUNLAR.....	11
2.2.1 Hava Şoku	13
2.2.2 Kaya Savrulması	14
2.2.3 Toz Emisyonu.....	17
2.2.4 Titreşim Hareketi (Yer Sarsıntısı)	18
2.2.4.1 Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Yapılar Üzerindeki Etkisi	18
2.3.4.1 Patlatma Kaynaklı Titreşim Dalgaları.....	19
2.4.3.1.1 Gövde Dalgaları.....	20
2.4.3.1.2 Yüzey Dalgaları.....	22
2.3 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERDE PARÇACIK HAREKETİ	24
2.4 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİM KAYITLARI	25
2.4.1 Tipik Patlatma Kaynaklı Titreşim Kayıtları.....	25
2.4.2. Baskın Frekans.....	27
2.4.3. Ölçekli Mesafe	28
2.4.4. Maksimum Parçacık Hızı.....	30

2.4.4.1. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini.....	31
2.5 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERDE HASAR SINIFLANDIRMASI.....	34
2.6 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERDE YAPISAL HASAR KRİTERLERİ	36
.....	36
2.6.1 Titreşim Enerjisini Esas Alan Hasar Kriterleri Yaklaşımları	36
2.6.1.1 Rockwell'in Enerji Formülü.....	36
2.6.1.2 USBM Formülü	36
2.6.1.3. Crandell'in Enerji Oranı Formülü	37
2.6.1.4. Langefors, Kihlström ve Westerberg'in Yaklaşımı	37
2.6.1.5 Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızı Yaklaşımı	38
2.6.1.6. Langefors ve Kihlström'un Yaklaşımı	38
2.6.1.7. USBM'nin Yaklaşımı.....	39
2.6.1.8. Bauer ve Calder'in Yaklaşımı.....	40
2.6.1.9. USBM'nin Son Patlatma Hasar Tahmini	40
2.6.1.10. OSM'nin Halen Geçerli Olan Kuralları.....	42
2.6.1.11. DIN 4150 Alman Normu	45
2.6.1.12. İsveç Standardı.....	46
2.6.1.13. İngiliz Standardı	48
2.6.1.14. Hindistan Standardı (IS)	49
2.6.1.15. Fransa Standardı	50
2.6.1.16. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği.....	51
2.7 LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	51
2.7.1 Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	51
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	63
3.1 TİTREŞİM İZLEME SİSTEMLERİ	63
3.2 PATLATMA FAALİYETLERİNDE KULLANILAN TİTREŞİM İZLEME TERTİBATI.....	65
3.3 ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN BÖLGE	75
3.4 AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDAKİ YÖNETMELİK'TE DEPREM ETKİSİ	81
3.4.1 Elastik Deprem Yüklerinin Yönetmelikçe Belirlenmesinde Kullanılan Parametreler	81
3.4.1.1 Spektral İvme Katsayısı.....	81
3.4.1.2 Etkin Yer İvmesi Katsayısı.....	82

3.4.1.3 Bina Önem Katsayısı	82
3.4.1.4 Spektrum Katsayısı	84
3.4.1.5 Spektrum Karakteristik Periyotları.....	84
3.4.1.6 Özel Tasarım İvme Spektrumları	85
3.4.1.7 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı.....	86
3.4.1.8 Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı.....	86
3.5 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİM ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI	88
3.5.1 Bilgisayar Modelleri.....	88
3.5.2 Patlatma Kaynaklı Titreşim Kayıtları ve Deprem Şartnamesi İlişkisi.....	88
4. BULGULAR.....	90
4.1 YAPISAL ANALİZ YÖNTEMLERİ	90
4.1.1 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi.....	90
4.1.2 Sismik Kayıtların Temin Edilmesi.....	90
4.1.2.1 Yapay Olarak Üretilmiş Deprem Kayıtları	91
4.1.2.2 Simüle Edilmiş (Benzeştirilmiş) Deprem Kayıtları	92
4.1.2.3 Gerçek Depremlerden Elde Edilen Kayıtlar.....	92
4.2 ZAMANA GÖRE DEĞİŞEN YÜKLER	92
4.2.1 Şok (Darbe) Şeklindeki Dinamik Yükler	93
4.3 NÜMERİK UYGULAMA.....	97
4.3.1 Uygulamaya Esas Teşkil Eden Yapı	97
4.3.2 Örnek Yapının Sonlu Elemanlar Modeli.....	102
4.3.3 Örnek Yapının Sonlu Elemanlar Yazılımında İncelenme Kriterleri.....	105
4.3.4 Örnek Yapının Deprem Yükleri Etkisinde İncelenmesi	110
4.3.5 Örnek Yapının Ölçülen Titreşim Kaydı Etkisinde İncelenmesi	115
4.3.6 Deprem Yükleri ve Titreşim Kayıtlarına Göre İncelenen Yapının Eleman Bazında Kesit Tesirleri Açısından Kıyaslanması	116
4.3.7 Deprem Yükleri ve Titreşim Kayıtlarına Göre İncelenen Yapının Maksimum Kesit Tesirleri Açısından Kıyaslanması	118
4.3.8 Deprem Yükleri ve Titreşim Kayıtlarına Göre İncelenen Yapının Yer Değiştirmeler Açısından Kıyaslanması	120
4.3.9 Deprem ve Titreşim Kayıtları Etkisinde İncelenen Yapının Taban Kesme Kuvvetleri Açısından Kıyaslanması	122
4.3.10 Titreşim Kayıtlarından Elde Edilen Maksimum Parçacık İvmesinin Deprem Şartnamesinde Kullanılması.....	124
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	133

KAYNAKLAR	139
EKLER	146
EK-A : Patlatma Faaliyetlerinden Elde Edilen Boyuna, Enine ve Düşey Doğrultuda Maksimum Parçacık Hızı Değerlerinin Tablo Halinde Gösterimi	146
EK-B : Patlatma Faaliyetlerinden Elde Edilen Boyuna, Enine ve Düşey Doğrultuda Maksimum Parçacık İvmesi Değerlerinin Tablo Halinde Gösterimi	146
EK-C : Patlatma Faaliyetlerinden Elde Edilen Boyuna, Enine ve Düşey Doğrultuda Baskın Frekans Değerlerinin Tablo Halinde Gösterimi	146
EK-D : Patlatma Faaliyetlerinden Elde Edilen Boyuna, Enine ve Düşey Doğrultuda Maksimum Deplasman Değerlerinin Tablo Halinde Gösterimi	146
ÖZGEÇMİŞ	155

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Yerleşim birimine yakın bir patlatma faaliyeti bölgesi (Kuzu ve Ergin, 2005)	2
Şekil 2.1 Patlatma kaynaklı çevresel etkilerden hava şoku, kaya fırlaması ve titreşim etkisi.....	13
Şekil 2.2 Patlatma sırasında oluşması muhtemel kaya savrulması etkisi	15
Şekil 2.3 Parça boyutu ve delik çapı'na göre kaya savrulması mesafesi (Hüdaverdi ve Kuzu, 2005)	17
Şekil 2.4 Cisim dalgalarından P dalgası (Basınç dalgası).....	21
Şekil 2.5 Cisim dalgalarından S dalgası (Kesme dalgası)	22
Şekil 2.6 Yüzey dalgalarından Love dalgasının hareketi	23
Şekil 2.7 Yüzey dalgalarından Rayleigh dalgasının hareketi.....	23
Şekil 2.8 Dalga türlerine bağlı olarak parçacık hareketleri.....	24
Şekil 2.9 Tipik kömür maden ocağı patlatma parametreleri değişimi.....	26
Şekil 2.10 Patlatma kaynaklı titreşimler ile deprem ve nükleer etkilerle oluşan titreşimlerin kıyaslanması	27
Şekil 2.11 Patlatma faaliyetlerine göre baskın frekans değişimleri	28
Şekil 2.12 Ölçekli mesafe ve ilgili parametreleri	30
Şekil 2.13 Långefors ve Kihlström'un hasar kriteri nomogramı (Karadoğan 2008)	38
Şekil 2.14 USBM'nin alternatif kriter analizi (Siskind ve diğerleri 1980).....	42
Şekil 2.15 OSM'nin alternatif kriter analizi (OSM 1983)	44
Şekil. 2.16 DIN 4150 Alman Normu (Schillinger, 1995).....	46
Şekil 2.17 İngiliz Standardı BS 7385-Bölüm 2: 1993 (Anon, 2006)	49
Şekil 2.18 Hindistan DGMS Standardı (Basu ve Sen, 2005).....	50
Şekil 3.1 Üç doğrultuda titreşim algılayıcılar ve hareket yönleri.....	64
Şekil 3.2 Titreşim ve hava şoku izleme sistemi (Dowding, 1985).....	64
Şekil 3.3 InstanTEL Blastmate III model titreşim ve hava şoku izleme cihazı	65
Şekil 3.4 Boyuna, enine ve düşey doğrultularda titreşim kayıtlarını algılayan jeofon...	67
Şekil 3.5 InstanTEL Minimate Plus titreşim ve gürültü kayıt cihazı	68
Şekil 3.6 Faaliyet raporunda yer alan parçacık hızı – frekans grafiği örneği	70
Şekil 3.7 Faaliyet raporunda yer alan titreşim karakteristikleri	71
Şekil 3.8 Faaliyet raporunda yer alan genlik – zaman grafiklerinden bir örnek	71

Şekil 3.9 Seçilen bir patlatmadan kaynaklanan titreşim hareketi için örnek bir faaliyet raporu	72
Şekil 3.10 Seçilen bir patlatmadan kaynaklanan titreşim hareketi için örnek bir FFT (Fast Fourier Transform) raporu.....	74
Şekil 3.11 Patlatma kayıtlarının ölçüldüğü taş ocaklarından bir görünüm.....	75
Şekil 3.12 Örnek bir patlatma faaliyetinden patlatma öncesi görünüm.....	77
Şekil 3.13 Örnek bir patlatma faaliyetinde patlama işleminin gerçekleştiği saniyelerdeki görünüm	78
Şekil 3.14 Örnek bir patlatma faaliyetinde patlama işleminin sonuçlandığı andaki görünüm	78
Şekil 3.15 Örnek bir patlatma faaliyetinde patlama işleminin sonuçlandığı andan sonraki görünüm.....	79
Şekil 3.16 Özel Tasarım İvme Spektrumu	86
Şekil 4.1 Taşıyıcı sisteme etkileyen yükler	94
Şekil 4.2 Gelişigüzel çarpma yüklemesi.....	95
Şekil 4.3 Sinüs eğrisi çarpma yükü	95
Şekil 4.4 Dikdörtgen çarpma yükü.....	96
Şekil 4.5 Üçgen çarpma yükü	96
Şekil 4.6 Örnek yapının perspektif görünüşü.....	97
Şekil 4.7 Örnek yapının sağ cephe görünüşü.....	97
Şekil 4.8 Örnek yapının sağ cepjeden perspektif görünüşü.....	98
Şekil4.9 Örnek yapının sol cepheden perspektif görünüşü.....	98
Şekil 4.10 Örnek yapının arka cephe görünüşü.....	98
Şekil 4.11 Örnek yapının bodrum kat planı	99
Şekil 4.12 Örnek yapının zemin kat planı.....	100
Şekil 4.13 Örnek yapının normal kat planı	101
Şekil 4.14 Örnek yapının zemin kat bilgisayar modeli.....	102
Şekil 4.15 Örnek yapının normal kat bilgisayar modeli	103
Şekil 4.16 Örnek yapının genel amaçlı sonlu elemanlar programı 3 boyutlu model görünümü	104
Şekil 4.17 Örnek yapının genel amaçlı sonlu elemanlar programı 3 boyutlu model görünümü	105

Şekil 4.18 Örnek yapıya etkitilecek olan patlatma kaynaklı titreşim ölçümünün bilgisayar programından alınan faaliyet raporu.....	108
Şekil 4.19 Örnek yapıya etkitilecek olan patlatma kaynaklı titreşim ölçümünün bilgisayar programından alınan Frekans – İvme raporu	109
Şekil 4.20 Örnek yapı modelinin X ekseninde deprem yükleri etkisinde şekil değiştirmesi	111
Şekil 4.21 Örnek yapı modelinin X ekseninde deprem yükleri etkisinde şekil değiştirmesi	112
Şekil 4.22 Örnek olarak seçilen düşey elemanın X ekseninde deprem yükleri etkisindeki kesit tesirleri	113
Şekil 4.23 Örnek olarak seçilen düşey elemanın Y ekseninde deprem yükleri etkisindeki kesit tesirleri	114
Şekil 4.24 Örnek olarak seçilen düşey elemanın global X ekseninde titreşim kayıtlarına bağlı alt uç kesme kuvveti ve moment değişimleri	115
Şekil 4.25 Örnek olarak seçilen düşey elemanın global X ekseninde titreşim kayıtlarına bağlı üst uç kesme kuvveti ve moment değişimleri.....	115
Şekil 4.26 Örnek olarak seçilen düşey elemanın global Y ekseninde titreşim kayıtlarına bağlı alt uç kesme kuvveti ve moment değişimleri	117
Şekil 4.27 Örnek olarak seçilen düşey elemanın global Y ekseninde titreşim kayıtlarına bağlı üst uç kesme kuvveti ve moment değişimleri.....	117
Şekil 4.28 Örnek titreşim kaydına ait boyuna doğrultuda frekans spektrum grafiği....	126
Şekil 4.29 Örnek titreşim kaydına ait enine doğrultuda frekans spektrum grafiği.....	126
Şekil 4.30 Patlatmanın yapıldığı bölge, patlatma kaynaklı titreşim ve incelenen yapı ve deprem şartnamesi arasındaki frekans ilişkisi	130
Şekil 4.31 Patlatma faaliyetinden kaynaklanan titreşim hareketinin boyuna doğrultudaki bileşenin periyodu ve bina doğal periyotunun spektrum grafiğindeki konumları.....	131
Şekil 4.32 Patlatma faaliyetinden kaynaklanan titreşim hareketinin enine doğrultudaki bileşenin periyodu ve bina doğal periyotunun spektrum grafiğindeki konumları.....	131

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Hava şoku seviyelerinin çevresel etkisi.....	14
Tablo 2.2 Tipik patlatma parametreleri değişim aralığı	26
Tablo 2.3 Ölçekli mesafe – Parçacık hızı ilişkisini ifade eden parametreler	34
Tablo 2.4 Crandell’in enerji oranına bağlı hasar kriteri	37
Tablo 2.5 Langefors, Kihlström ve Westerberg’in Yaklaşımı	38
Tablo 2.6 Edwards ve Northwood’un Parçacık Hızı Yaklaşımı.....	38
Tablo 2.7 USBM’nin Parçacık Hızı Yaklaşımı	39
Tablo 2.8 Bauer ve Calder’in hasar kriteri (Bauer ve Calder, 1977)	40
Tablo 2.9 Uzaklığa bağlı müsaade edilen ölçekli mesafe faktörleri (OSM 1983).....	43
Tablo 2.10 Patlatma noktasından belirli uzaklıklarda maksimum parçacık hızları (OSM,1983).....	44
Tablo 2.12 DIN 4150 Alman Normunda yapı türü ve frekansa göre parçacık hızı sınırları	46
Tablo 2.13 Düzeltilmemiş düşey parçacık hızı.....	47
Tablo 2.14 Bina faktörü.....	48
Tablo 2.15 Proje zaman faktörü.....	48
Tablo 2.16 Kozmetik hasar için geçici titreşim klavuz seviyeleri (Anon, 2006)	49
Tablo 2.17 Madencilik alanlarında yapıların altyapı düzeyinde izin verilebilir maksimum parçacık hızı (PPV) (Adhikari ve diğerleri, 2005)	50
Tablo 2.18 Fransa Standardı (Basu ve Sen, 2005).....	50
Tablo 2.19 Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri (Anon, 2005).....	51
Tablo 3.1 Instantel Minimate Plus model sismografin titreşim kayıt özellikleri.....	66
Tablo 3.2 Instantel Minimate Plus model sismografin fiziksel özellikleri.....	66
Tablo 3.3 Instantel Minimate Plus model sismografin kayıt alma özellikleri.....	66
Tablo 3.4 Etkin Yer İvmesi Katsayısı	82
Tablo 3.5 Kullanım amacına göre Bina Önem Katsayısı.....	83
Tablo 3.6 Zemin grupları.....	84
Tablo 3.7 Yerel zemin sınıfları	85

Tablo 3.8 Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B	85
Tablo 3.9 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	87
Tablo 4.1 Örnek yapı modelinde uygulanacak titreşim karakteristikleri	106
Tablo 4.2 Örnek yapının deprem karakteristikleri	110
Tablo 4.3 Örnek olarak seçilen düşey elemanın alt düğüm noktasına ait X doğrultusu deprem yükleri ve patlatma kaynaklı titreşim etkisinde kesit tesirleri mukayese tablosu	116
Tablo 4.4 Örnek olarak seçilen üst düğüm noktasına ait Y doğrultusu deprem yükleri ve patlatma kaynaklı titreşim etkisinde kesit tesirleri mukayese tablosu	118
Tablo 4.5 Deprem ve patlatma kaynaklı titreşim etkisinin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği maksimum kesme kuvveti değerleri	119
Tablo 4.6 Deprem ve patlatma kaynaklı titreşim etkisinin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği maksimum moment değerleri	119
Tablo 4.7 Global eksen takımında her üç doğrultudaki patlatma kaynaklı titreşim etkilerinin örnek yapıda meydana getirdiği maksimum kesit tesirleri.....	119
Tablo 4.8 Örnek yapının global X doğrultusunda deprem kuvveti ve patlatma kaynaklı titreşim etkilerinde düğüm noktalarının yapmış olduğu maksimum yer değiştirme değerleri.....	120
Tablo 4.9 Örnek yapının global Y doğrultusunda deprem kuvveti ve patlatma kaynaklı titreşim etkilerinde düğüm noktalarının yapmış olduğu maksimum yer değiştirme değerleri.....	121
Tablo 4.10 Global eksen takımında her üç doğrultudaki patlatma kaynaklı titreşim etkilerinin örnek yapıda meydana getirdiği maksimum yer değiştirmeler.....	121
Tablo 4.11 Örnek titreşim kaydından elde edilen maksimum yer değiştirmeler	122
Tablo 4.12 Yapılaşma durumuna göre yerdeğiştirme limit değerleri (Cihangir, 2005)	122
Tablo 4.13 Deprem yükleri etkisinde her iki doğrultuda taban kesme kuvveti değerleri	123
Tablo 4.14 Seçilen örnek titreşim kaydının X eksenini doğrultusundaki bileşeninin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği taban kesme kuvveti	123
Tablo 4.15 Seçilen örnek titreşim kaydının Y eksenini doğrultusundaki bileşeninin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği taban kesme kuvveti	123

Tablo 4.16 Seçilen örnek titreşim kaydının Z eksenini doğrultusundaki bileşeninin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği taban kesme kuvveti	123
Tablo 4.17 Seçilen örnek titreşim kaydının her üç doğrultudaki bileşeninin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği taban kesme kuvveti.....	124
Tablo 4.18 Örnek patlatma kaynaklı titreşim kaydının maksimum parçacık ivmesi okumaları.....	124
Tablo 4.19 Etkin yer ivmesi katsayısı yerine titreşim kayıtlarından alınan maksimum parçacık ivmesi değerinin kullanılması ve eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti değerleri	125
Tablo 4.20 Patlatmanın yapıldığı bölge, patlatma kaynaklı titreşim ve incelenen yapı ve deprem şartnamesi arasındaki ilişki.....	129
Tablo A.1 Patlatma faaliyetlerinden elde edilen boyuna, enine ve düşey doğrultuda maksimum parçacık hızı değerleri.....	147
Tablo B.1 Patlatma faaliyetlerinden elde edilen boyuna, enine ve düşey doğrultuda maksimum parçacık ivmesi değerleri	149
Tablo C.1 Patlatma faaliyetlerinden elde edilen boyuna, enine ve düşey doğrultuda baskın frekans değerleri	151
Tablo D.1 Patlatma faaliyetlerinden elde edilen boyuna, enine ve düşey doğrultuda maksimum yer değiştirme değerleri	153

SEMBOL LİSTESİ

d	: Delik çapı
ϕ	: Patlatma nedeniyle fırlayan taş parçalarının boyutu
f	: Frekans
SD	: Ölçekli mesafe
R	: Patlatma noktasından uzaklık
W	: Kg cinsinden gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı
PPV	: Maksimum parçacık hızı
K	: Saha sabiti (geçirgenlik katsayısı)
β	: Saha sabiti (saha sönümlenme katsayısı veya jeolojik sabit)
A	: Maksimum parçacık yer değiştirme miktarı
Q	: Patlayıcı şarj miktarı
D	: Patlatma yeri ve kayıt noktası arasındaki mesafe
α, n	: Çalışma sahası sabitleri
A	: Genlik
A	: Yer sarsıntısının genliği
ER	: Enerji oranı
a	: İvme
V	: Parçacık hızı kılavuz seviyesi
v_0	: Düzeltilmemiş parçacık hızı
A_0	: Etkin yer ivme katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
V_{22}, V_{33}	: 2-2 ve 3-3 eksenlerindeki kesme kuvveti
M_{22}, M_{33}	: 2-2 ve 3-3 eksenleri etrafındaki moment
$\delta_x, \delta_y, \delta_z$: x, y ve z eksenleri üzerinde doğrusal yer değiştirmeler
$V_{t_x}, V_{t_y}, V_{t_z}$: x, y ve z eksenleri doğrultusunda taban kesme kuvvetleri
f_t, f_b	: Titreşim ve bina frekansları

ÖZET

PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN YAPI DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ülkemizde birçok alanda uygulanan, farklı amaçlar için gerçekleştirilen, genellikle madencilik ve inşaat sektörlerinde ihtiyaç duyulan kazı çalışmalarında, günümüzde yoğun bir şekilde faaliyetler sürmektedir. Artan nüfus ile birlikte paralel büyüyen gereksinimler söz konusu faaliyetlerin devamlılığını sağlamaktadır. Gerek metro, tünel ve boru hattı inşaatları gibi altyapı gerekse konut gibi üstyapı ihtiyaçları yine artan nüfusun getirdiği sonuçlardandır. Dolayısıyla inşaat sektörü kapsamındaki üstyapı ihtiyacının karşılanması için yeterli miktarda hammaddeye gereksinim duyulmaktadır. Hammadde ihtiyacının karşılanması amacıyla Madencilik sektörü kapsamında farklı kazı çalışması metotları uygulanmaktadır. Söz konusu metotlardan biri de son yıllarda sıklıkla başvuru alan delme-patlatma faaliyetleridir.

Kazı çalışmalarında patlatma faaliyetlerinin uygulanmasının ekonomik, verimlilik, kapasite ve süre açısından olumlu getirilerinin olmasının yanı sıra olumsuz çevresel sonuçları da beraberinde getirebilmektedir. Çok sayıda araştırmacı, patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkilerden en önemlisinin titreşim (yer sarsıntısı) etkisi olduğunu vurgulamıştır.

Çalışmanın amacı, patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimlerin yapı davranışı üzerine etkilerini araştırmaktır. Deneysel metotlarla elde edilen, farklı frekanslara ve ivme değerlerine sahip çok sayıda titreşim kaydının tercih edilen yapı modelleri üzerinde nümerik olarak test edilmesi neticesinde elde edilen kesit tesirleri ve yer değiştirme parametreleri, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'in söz konusu yapıların tasarımında öngördüğü yükler altında elde edilen kesit tesirleri ve yer değiştirme değerleri ile kıyaslanmıştır. Elde edilen verilerle patlatma kaynaklı titreşimler ile Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF VIBRATIONS CAUSED BY BLASTING EFFECTS ON THE BEHAVIOR OF STRUCTURES

Excavation works, which are carried out in various fields in our country with different purposes and generally required in mining and construction sectors, are extensively being performed in our day. The demand which increases in parallel to the growing population provides the basis for the continuity of aforesaid operations. The needs in infrastructure like metro, tunnel and pipeline construction as well as the needs in superstructure like residential buildings are mainly the results of population growth. Consequently, sufficient amount of raw material is required to satisfy the superstructure demand in civil work sector. Different methods of excavation works are implemented within the scope of mining sector activities to meet this raw material demand. One of the abovementioned methods is drilling-blasting activities which are frequently being used in the recent years.

The application of blasting activities in excavation works, aside from yielding positive returns with respect to economics, efficiency, capacity and duration, may lead to undesirable environmental impacts as well. Many researchers have emphasized that the most important environmental impact originating from blasting activities is vibration.

The purpose of this study is to research the effects of vibration caused by blasting activities on structural behavior. The displacement parameters and cross-section effects, which are obtained as the result of numerically testing several records of experimentally generated vibration with different frequency and acceleration values on the selected structural models, have been compared with the cross-section effects and displacement values that were measured under the load values set forth by the 'Regulation on Buildings at Disaster Areas' for aforesaid buildings. In this study, a correlation is aimed to be set up between the explosion based vibrations and 'Regulation on Buildings at Disaster Areas' by using the data acquired.

1. GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Gerek madencilik veya taşocakçılığındaki her türlü kazı işleminde gerekse tünel, metro ve baraj gibi inşaat teknolojilerindeki kazı faaliyetlerinde patlatma çalışmaları bazı zemin türlerinde kaçınılmaz olabilmektedir. İnşaat veya hammadde üretimi çalışmalarına yönelik patlatma faaliyetleri ekonomik veya farklı türdeki sebeplerin yanı sıra patlatma tekniklerinin gelişmesi ile, yerleşim birimlerinin altında, şehirleşmiş bölgelere yakın alanlarda, ya da şehir içerisinde yapılmaktadır. Diğer taraftan düzensiz kentleşme ve büyüme nedeniyle önceden şehir dışında kalan alanlar, günümüzde yaşamsal faaliyetlerin sürdürüldüğü bölgeler haline gelmiştir. Bu nedenle, şehir dışında bulunan ocakların zamanla şehirsiz mekânların içerisinde kaldığı veya bu bölgelere komşu olduğu görülmektedir. Madencilik sektörünün faaliyet alanlarının zaman içerisinde çeşitli nedenlerle giderek azalması, yerleşim birimlerine yakın mesafelerde söz konusu faaliyetlerin artmasına bir neden olarak gösterilebilmektedir.

Yerleşim merkezlerine yakın ocaklar veya inşaatlardaki patlatmalı kaya kazısı işleri çoğu zaman bazı çevresel sorunları da beraberinde getirebilmektedir. İhtiyaçlara paralel olarak patlatma faaliyetlerinin boyut ve kapasitelerindeki artış, kullanılan patlayıcı madde miktarlarını arttırabilmektedir.

Hava şoku, kaya savrulması, toz emisyonu ve titreşim (yer sarsıntısı) oluşabilecek söz konusu çevresel sorunlardan bazılarıdır. Patlatma faaliyetinin çevre üzerindeki bilinen en önemli olumsuz etkisi, patlatma faaliyetinden açığa çıkan kayıp enerjinin meydana getirdiği titreşim hareketidir. Söz konusu faaliyetin gerçekleşmesi sonucunda hedef kütlelerin parçalanması için gereken enerjinin dışında, patlatma kaynağından dairesel olarak yayılım gösteren titreşim dalgaları atım noktasının çevre bölgelerinde bulunan

yapıları etkilemektedir. Patlatma faaliyetine belirli bir mesafede bulunan yapıların hasar görebilme riskini çok sayıda parametre ile açıklamak mümkündür. Söz konusu parametrelerden bazıları söz konusu yapının konumu, geometrisi kesit ve malzeme özellikleri, taşıyıcı sistem özellikleri yanı sıra patlatma sistemi, bir defada ateşlenecek maksimum patlayıcı madde miktarı, atım noktası ile yerleşim birimi arasında bulunan mesafe, faaliyetin gerçekleştiği arazinin jeolojik yapısı, topografik özellikleri ve kayaçların karakteristik özellikleridir.

Yerleşim alanlarına yakın yerlerde gerçekleştirilen patlatma faaliyetlerinin meydana getirdiği titreşimler, çevre yapılara hasar verebilmektedir. Bu nedenle patlatma kaynaklı yer sarsıntıları çevre yapılarda yaşayan insanlar tarafından şikayet konusu olmaktadır. Bir başka şikayet konusu da kaya savrulması ve hava şoku (gürültü) etkileridir. Bu durum çevre sakinlerinin doğrudan can ve mal güvenliklerini etkileyebildiği gibi, psikolojik bazı sorunların doğmasına da zemin hazırlamaktadır. Titreşim hareketi ile ilgili büyüklükler, fiziki yapılar üzerinde oluşabilecek hasar limitlerinin altında kalsa dahi, insanlar tarafından hissedilebilmekte huzursuzluk kaynağı olabilmektedir. Şekil 1'de patlatma faaliyetlerinin yerleşim birimlerine yakınlığını belgeleyen bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 1.1 Yerleşim birimine yakın bir patlatma faaliyeti bölgesi (Kuzu ve Ergin, 2005)

Diğer taraftan, son yıllarda söz konusu olumsuz etkiler nedeni ile çevre bölgelerde yaşayan insanların hukuki girişimlerinin arttığı görülmektedir. Konu ile ilgili açılmış dava sayısı oldukça yüksek olmakla beraber, yapılan bilimsel çalışmalara göre söz konusu şikayetlerin sebeplerinin çeşitlilik gösterdiği vurgulanmıştır (Karadoğan, 2008). Gerek haklı nedenlerle, gerek insanların konu ile ilgili yeterli bilgiye sahip olmamasından kaynaklanan, gerek psikolojik etkilerden kaynaklanan, gerekse çıkar amaçlı hukuki girişimlerin var olduğu bilimsel olarak tespit edilmiştir. Ülkemizde konu ile ilgili kabul görmüş herhangi bir standardın bulunmaması gerçek sebep sonuç ilişkisinin bulunmasını zorlaştırmakta ve söz konusu hukuki işlemlerin uzamasına neden olabilmektedir.

Yerleşim birimlerine yakın mesafede gerçekleştirilen büyük atımlarda, özellikle gecikmeli kapsül kullanılmadan yapılan galeri üstü patlatma faaliyetleri, çevre yapılar üzerinde hasar oluşturabilmektedir. Söz konusu türden bir patlatma faaliyetinden kaynaklanabilecek bir titreşim hareketi nedeni ile yapıların hasar görme olasılığı vardır.

Açıklanan şekilde bir faaliyet ya da faaliyetler zinciri neticesinde yapılan şikayetler genelde haklı şikayet kategorisine girmektedir.

Herhangi bir hasara neden olmaksızın, sadece patlatma faaliyetlerinin gerçekleştiğinin bilinmesi ya da söz konusu faaliyetin çevresel etkilerinden olan hava şokunun hissedilmesi ile gerçekleştirilen şikayetler daha çok psikolojik kaynaklı olmaktadır. Diğer taraftan, konu ile ilgili bilgiye sahip olmayan insanlar gerçekleştirilen atımlar ne kadar zararsız olursa olsun faaliyetin etki ve kapsamı hakkında fikir yürütemediğinden dolayı şikayet unsuru olarak görebilmektedirler.

Açıklanan tüm şikayet nedenlerinin yanı sıra, herhangi bir nedenle gerçekleştirilen patlatma faaliyetlerinden çıkar elde etmek amacıyla gerçekleştirilen kötü niyetli şikayetlerin sayısı da küçümsenemeyecek kadardır. İşletmelerin, gerçekleştirdiği patlatma faaliyetlerinin olası olumsuz etkileri konusundaki hassasiyetinden faydalanmak amacıyla, patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan herhangi bir olumsuz

durum olsun olmasın durumdan faydalanmak adına yapılan şikayetler de literatürde yer almaktadır.

Gerek patlatmalı faaliyetlerinden kaynaklanan olumsuz çevresel etkilerin sebep olabileceği (özellikle titreşim hareketinin) yapısal hasarların önlenmesi gerekse haklı ya da haksız şikayetlere ortam hazırlamamak adına söz konusu faaliyetlerin kontrol altına alınması ve bu doğrultuda konu ile ilgili ulusal yapısal hasar kriterlerinin oluşturulmasında yarar vardır.

Tez çalışmasının amacı, yukarıda bahsedilen patlatma kaynaklı çevresel sorunlardan titreşim (yer sarsıntısı) etkisinin çevre yapılar üzerinde meydana getirebileceği etkileri araştırmaktır. Söz konusu faaliyetlerin kontrol altına alınabilmesi açısından ülkemizde herhangi bir standart bulunmaması nedeniyle mevcut patlatma faaliyetlerin bir bölümü, araştırmalarını yıllar önce tamamlamış ve kendi standardını oluşturmuş ülkelerin getirdiği kriterler göz önüne alınarak gerçekleştirilmektedir. Çoğu işletmenin gerçekleştirdiği patlatma faaliyetleri ise maalesef izlenmemekte, dolayısıyla kontrollü bir biçimde gerçekleştirilmemektedir.

Ülkemizde konu ile ilgili ulusal hasar ölçütlerinin olmaması nedeni ile başvuru yabancılara standartlar, aynı atım ve aynı yapı için farklı değerlendirmelerde bulunabilmektedir. Üstelik ülkemiz yapı stoğu çeşitli nedenlerle diğer ülkelerde inşa edilen yapılarından farklılıklar içerebilmektedir. Farklı yapı dokusu üzerinde yapılmış deney ve araştırmalar sonucu elde edilen patlatma faaliyetlerinin meydana getirdiği hasar kriterlerinin ülkemiz yapı dokusunda bire bir uygulanabilir olması tartışma konusudur.

Son yıllarda aktüel bir konu haline gelmiş olan ülkemiz mevcut yapı stoğunun durumu halen bir araştırma konusudur. Özellikle büyük şehirlerde, büyük bir bölümünün olması gereken emniyet düzeyine sahip olmadığı çeşitli araştırmalar sonucunda da belirtilen ülkemiz mevcut yapı stoğunun, kendi üzerinde yapılmış deneysel ve nümerik araştırmalar sonucu ortaya koyulmuş normlara ihtiyaç duyulmaktadır. İstanbul Bakırköy ilçesi özelinde yapılan durum tespit çalışmalarında incelenen 10169 adet yapı üzerinde

elde edilen sonuçlardan, yapıların büyük bir bölümünün deprem riski açısından emniyetli durumda olmadığı görülmüştür (Yıldızlar ve diğerleri 2002,2003; Gürsoy ve diğerleri 2003, Damcı ve diğerleri 2003). Yapılacak araştırmaların ülkemiz yapı stoğuna ve yapı dokusuna uygun yöntemlerle yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Keleşoğlu ve diğerleri 2003, Öztorun ve Çelik 2004). Konu ile ilgili Ulusal Deprem Konseyi Raporunda, literatürde yer alan ABD ve Japonya başta olmak üzere bazı ülkelerde geliştirilmiş tarama yöntemlerinin Türkiye koşullarına uygun olmadığı ifade edilmiştir (Keleşoğlu ve diğerleri 2003). Söz konusu raporda, “*Ülkemizdeki yerel koşullar, yaygın yapı gereçleri, yerel mimari düzenlemeler, yaygın olarak kullanılan taşıyıcı yapı sistemleri, yerel yapı yöntem ve alışkanlıkları ile uyumlu ve geçmiş depremlerde toplanmış olan verilerle kalibre ve test edilmiş tarama yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.*” denilmektedir (Ulusal Deprem Konseyi Raporu, 2002). Benzer şekilde ülkemizde de patlatma kaynaklı titreşimlerin kontrol altına alınması ile ilgili geçmişte çok sayıda çalışma yapılmış, günümüzde de halen devam etmesine rağmen henüz tüm çevreler tarafından kabul görmüş bir standart bulunmamaktadır.

Üniversiteler, çeşitli araştırma kurumları ve bilinçli işletmeler konu ile ilgili çalışmalarını uzun süredir sürdürmektedir. Özellikle bilinçli işletmeler patlatma faaliyetlerini kontrol altına almak için çeşitli akademik kurumlar ile birlikte çalışmalar yapmaktadır. Söz konusu çalışmalar patlatma kaynaklı olumsuz çevresel etkilerin en aza indirilmesi açısından deneysel bir ortam ve veri sağlamaktadır.

Tez çalışması aşağıda özetlenen kapsamda yürütülmüştür.

- Patlatmalı kazı çalışmaları ve patlatma faaliyetleri hakkında bilgi edinilmesi ve literatürdeki çalışmaların değerlendirilmesi,
- İstanbul ilinde bulunan taş ocaklarında gerçekleştirilen patlatma faaliyetlerinin izlenmesi ve faaliyetlerde saha üzerinde titreşim ölçer cihazlar ile patlatma karakteristiklerinin kayıt altına alınması,
- Söz konusu ölçümlerden elde edilen verilerin tez çalışmasında kullanılmak üzere değerlendirilip örnek olarak seçilen yapılar üzerinde bilgisayar modelleri oluşturularak nümerik analizlerin gerçekleştirilmesi,

- Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmelik ve elde edilen titreşim kayıtlarının oluşturulan bilgisayar modelleri üzerindeki etkilerinin kıyaslanması,
- Patlatma kaynaklı titreşimlerden alınan kayıtlar ile Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik parametreleri arasında bir ilişki kurulmaya çalışılması,
- Elde edilen sonuçların yorumlanması.

Tez çalışmasında öncelikle genel olarak çalışmanın amaç ve kapsamı üzerinde durulmuş, ardından daha önce konu ile ilgili yapılan yerli ve yabancı bilgi kaynakları taranmış ve kısaca özetlenmiştir. Delme – Patlatma faaliyetleri hakkında kısa bilgiler verildikten sonra patlatma kaynaklı titreşimlerin sebep olduğu titreşim etkisi üzerinde durulmuş ve konu ile ilgili bilgiler verilmiştir. Malzeme ve yöntem bölümünde, patlatma kaynaklı titreşimlerin ölçüm teknikleri ve elde edilen verilerin yorumlanması hakkında bilgiler verildikten sonra tez kapsamında yürütülen çalışmalardan bahsedilmiş, tartışma ve sonuç bölümünde söz konusu çalışmadan elde edilen veriler yorumlanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 PATLATMA FAALİYETLERİNİN ÖNEMİ

Ülkemizin, içerisinde bulunduğu lokal ve global koşullar ile birlikte sektörel bazda gereksinimleri günden güne artmaktadır. Artan gereksinimler ile doğru orantılı olarak, söz konusu ihtiyaçları karşılamaya yönelik girişimler yapılmaktadır. Artan gereksinimlerle, inşaat ve madencilik alanındaki faaliyetler aralıksız ve artan bir ivme ile devam etmektedir. Büyük şehirlere göç ve bununla birlikte hızla artan nüfus, söz konusu ihtiyaçların doğmasına bir örnek olarak gösterilebilmektedir. Nüfusun artması ile, şehirleşmiş bölgelerde alt ve üst yapıyı yetersiz kılabilmektedir. Konutlar, gökdelenler, barajlar, tüneller, köprüler, termik güç santralleri, madencilik çalışmaları, otoyollar, hızlı tren sistemleri ve daha birçok noktada inşaat faaliyetleri hızla çoğalmaktadır.

Giriş bölümünde anlatılan sıra dışı yapılarda patlatma çalışmalarına dayanan gereksinime ilave olarak malzeme elde etmek için de patlatma yapılmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde, altyapı problemlerinin çözülmesine yönelik yapılan projelerin sayısı da, gereksinimler ile paralel bir şekilde hızla artmaktadır. Söz konusu amaçlara yönelik yapılan çalışmalar, yani inşaat alanındaki ilerleme ile birlikte, şüphesiz daha fazla miktarda ham madde ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Ham maddeler arasında kalker ve kalkerden elde edilen ürünlerden fazlaca yararlanılmaktadır. Özellikle kırmataş kullanımında ülkemizin yıllık ihtiyacının milyonlarca tonu aşmış olması da, ham maddeye duyulan ihtiyacı göstermektedir.

Çeşitli ihtiyaçlardan dolayı kazı çalışmaları tarih boyunca farklı metotlar kullanılarak uygulanmıştır. El ile yapılan kazı çalışmaları, iş makineleri ile yapılan çalışmalar ve hidrolik kazı çalışmaları söz konusu metotlardan bazılarıdır. İnşaat ve maden sektörlerinde hammadde sağlamanın en verimli ve ekonomik yollarından biri patlatmalı kaya kazısıdır. Getirdiği hız ve ekonomik nedenlerden dolayı, patlatma faaliyeti ocak işletmelerinde ve madencilikte agrega elde edilmesi amaçlı üretimin temel

işlemlerinden biri haline gelmiştir. Patlatmalı kazı işlemi inşaat faaliyetlerinden alt yapı çalışmalarının artmasına paralel olarak sıkça kullanılan bir işlem halini almıştır.

2.1.1 Delme – Patlatmanın Önemi

Önceki bölümlerde de değinildiği üzere nüfusla birlikte artan ihtiyaçların karşılanması için gelişen teknoloji ile modern hale gelen ve daha geniş bir çözüm yelpazesi sunan kazı çalışmalarına ihtiyaç duyulmuş, zaman içerisinde çok sayıda avantaja sahip olan delme – patlatma yöntemi kazı çalışmalarında sıklıkla uygulanan bir yöntem haline gelmiştir. Söz konusu yöntemle, konu ile alakalı faaliyetler ile ilgili hedeflerin büyümesine olanak sağlamıştır.

2.1.2 Delme – Patlatma Çalışmalarının Kullanım Alanları

Özellikle madencilik sektöründe yoğun bir şekilde kullanılan Delme – Patlatma metodu, inşaat çalışmalarında da ihtiyaca ve çalışmanın niteliğine göre tercih edilebilmektedir. Söz konusu faaliyetler sektörel kırımlarla ifade edilecek olunursa ilk olarak madencilik, inşaat, petrol, enerji, tarım ve ormancılık, askeri ve benzeri sektörler sıralanabilir. Delme – Patlatma faaliyetlerinin kullanım alanları aşağıda listelenmiştir (Karadoğan 2008)

- Madencilik Sektörü
 - Maden arama faaliyetleri
 - Sismik aramalar
 - Yarma
 - Yol ve lokasyon hazırlığı
 - Arama kuyu ve galeri
 - Açık işletme faaliyetleri
 - Genel hazırlıklar
 - Gevşetme patlatmaları
 - Basamak patlatması
 - Yapı taşı üretimi ve taş ocakları

- Yer altı işletme faaliyetleri
 - Hazırlık işleri
 - Üretim işleri
 - Tavan göçertme çalışmaları
- Özel üretim yöntemleri
 - Rezervin kütleli olarak gevşetilmesi
 - Rezervuar ve yan taşların kırılması ve çatlatılması
- İnşaat Sektörü
 - Hammadde temini
 - Temel kazıları
 - Kanal açma çalışmaları
 - Yol yapımı
 - Baraj ve gölet yapımı
 - Kontrollü yıkımlar
 - Bina ve beton yapılar
 - Çelik konstrüksiyon
 - Köprü
 - Yüksek fırın bacaları
 - Tünel açma faaliyetleri
 - Karayolları tünelleri
 - Demiryolu tünelleri
 - Toplu ulaşım (metro) tünel ve istasyonları
 - Su ve kanalizasyon tünelleri
 - Derivasyon tünelleri
 - Metro istasyonları ve bağlantı tünelleri
- Petrol Sektörü
 - Sismik aramaları
 - Rezervuarların gevşetilmesi
 - Boru hatlarının açılması
- Enerji Sektörü
 - Yeraltı güç santralleri (hidro-elektrik ve nükleer)
 - Yeraltı petrol ve gaz depoları

- Yeraltı nükleer atık depoları
- Yeraltı basınçlı hava depoları
- Tarım ve ormancılık Sektörü
 - Tabakalara su geçirme özelliği sağlayacak çatlak oluşturma çalışmaları
 - Ağaç köklerinin çıkartılması
 - Ağaç kesim işlemleri
- Askeri Faaliyetler
 - Tahrip ve imha faaliyetleri
 - Mevzilerin hazırlanması
 - Stratejik füzeler için yeraltı üsleri
 - Korunmaya yönelik yer altı boşluk ve sığınakları
- Diğer Faaliyetler
 - Su altı atımları
 - Buz ve buz altı çalışmaları
 - Zemin stabilizasyon çalışmaları
 - Endüstride sıcak atımlar
 - Kuyu ve silo tıkanıklıklarının giderilmesi
 - Nükleer atımlar yaparak işletilebilir yeni hammadde kaynaklarının oluşturulması

2.1.3 Patlatma Faaliyetlerinin Mühendislik Bilimi ile İlişkisi

Patlatma faaliyetlerinin, daha önce belirtilen titreşim hareketi, hava şoku, kaya savrulması ve toz emisyonu gibi olumsuz çevresel etkilerinin en aza indirilebilmesi için dizi çalışmalar yapılması gerekmektedir. Söz konusu çalışmalar için maden mühendisliği bilimi etkin biçimde araştırmalarını sürdürürken, faaliyetlerden kaynaklanan titreşimlerin yapılarda oluşturabileceği olası hasarlar ile ilgili çalışmaları maden ve inşaat mühendisliği bilimi beraber yürütmektedir.

Sadece patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkilerin en aza indirilmesi açısından yapılacak çalışmalar değil, madencilik sektöründe hammadde üretiminin verimli, ekonomik ve ihtiyaca uygun şekilde sağlanması açısından da bir mühendislik hizmeti gereksinimi doğmaktadır. Deneyim ve beceriye ilave olarak bilimsel

yaklaşımların katkısıyla yürütülen patlatma faaliyetlerinden daha iyi sonuçlar alınabildiği yapılan çalışmalarda özellikle vurgulanmıştır.

Ülkemizde yoğun bir şekilde sürdürülen patlatma faaliyetlerinin kontrol altına alınması gerekmektedir. Gelişmiş ülkelerde geçmişte yapılan mühendislik çalışmaları neticesinde, söz konusu faaliyetler için normlar hazırlanmış ve uzun yıllardan beri uygulanmaktadır. Daha önce de vurgulandığı gibi henüz ülkemizde konu ile ilgili ulusal bir standart bulunmadığından sadece bilinçli işletmeler patlatma faaliyetlerinde mühendislik hizmetine yer vermektedirler. Hem oluşturduğu çevresel sorunların en aza indirgenmesi hem de faaliyetin istenen düzeyde neticelendirilmesi açısından söz konusu çalışmaların mutlaka mühendislik hizmeti ışığında sürdürülmesi gerekmektedir. Genel olarak patlatma faaliyetlerinin mühendislik ile ilgili alanları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Karadoğan 2008)

- Bilimsel ve teknik yaklaşımlar
- Ekonomik sonuçlar
- Emniyet koşulları
- Çevre sorunları
- Patlayıcı madde üretimi, pazarlaması, temini, nakli ve depolaması
- Delme – patlatma konularında gerekli elemanların eğitim ve öğretimi

2.2 PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL SORUNLAR

Patlatmalı kazı işlemlerinde, patlatmanın asıl amacı, kayayı kırarak gevşetmek veya ötelemektir. Çoğu patlatmanın, bu amacı etkin bir şekilde gerçekleştirildiği tartışılabilir. Ancak detonasyon sürecinde kayaya uygulanan enerjinin bir kısmı, sismik dalga ve hava şoku şeklinde verimsiz “atık” enerjiye dönüşür. Bu enerji, patlatma kaynağından uzaklaşarak ihmal edilebilir bir düzeyde tamamen sönmöleninceye kadar uzun bir mesafe kat edebilir. Bu zaman sürecinde, kaya yapılarında ve binalarda önemli hasara ve yerleşim yeri sakinlerinin ise tedirgin olmasına neden olabilir (Kahrıman ve diğçerleri, 1998).

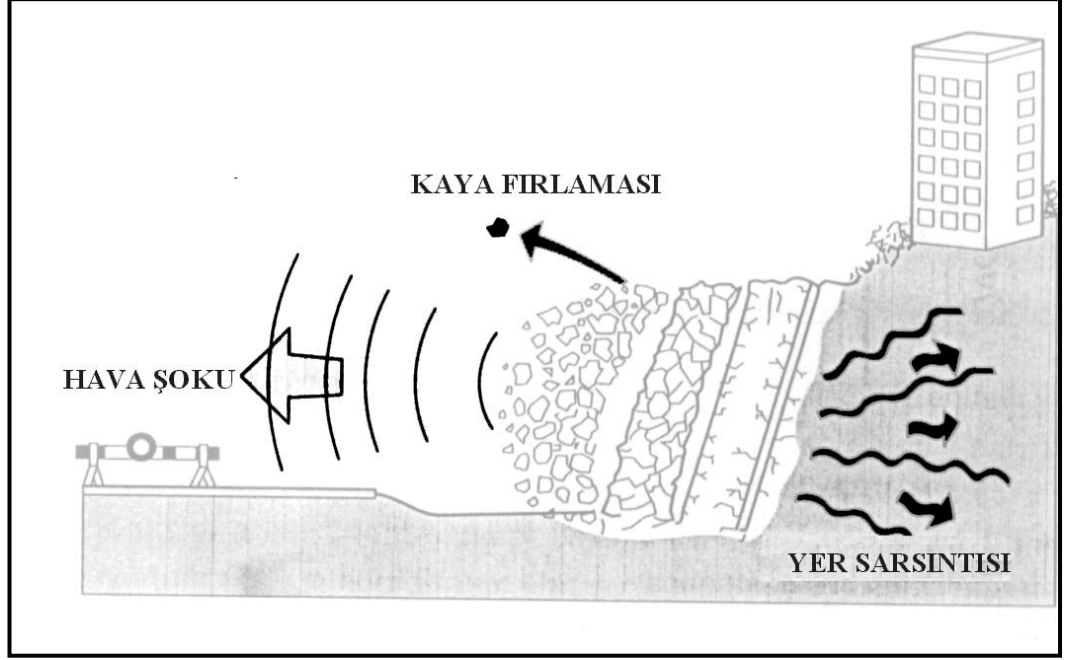
Yerleşim merkezlerine yakın ocaklar veya inşaatlardaki patlatmalı kaya kazısı işleri bazı çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Patlatma faaliyetlerinin boyut ve kapasitelerindeki artış, kullanılan patlayıcı madde miktarlarını arttırabilmektedir. Böylelikle söz konusu faaliyetlerin olumsuz etkilerinin boyutu tehlikeli düzeylere ulaşabilmektedir. Atım noktalarına yakın bölgelerde yaşayan insanlar tarafından sıklıkla şikayet konusu olan çevresel etkilerin en aza indirgenmesi, özellikle madencilik sektörünün en önemli konularından biri olmayı halen sürdürmektedir. Patlatmalı kazı çalışmalarının kaçınılmaz olduğu durumlarda faaliyetlerin kontrol altına alınması gerekliliğinin ancak yerinde ölçümler yapılması ve bu sayede atımların birebir izlenmesi ile yapılacak deneysel çalışmalarla sağlanacağı belirtilmektedir (Kahrıman 2001).

Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkiler; patlatma sırasında ortaya çıkan enerjinin parçalanma ve/veya öteleme işlemlerinden sonra geriye kalan kısmının kaya içerisinde veya atmosferdeki hareketlerinden meydana gelmektedir. Bu durum dikkate alındığında çevresel etkilerden arındırılmış veya en aza indirgenmiş bir patlatma tasarımı, aynı zamanda patlayıcı enerjisinin de en iyi şekilde kullanılması anlamına gelmektedir. Kötü ya da verimsiz bir patlatma sonucunda ortaya çıkabilecek bilinen başlıca sorunlar yetersiz parçalanma, patlatılan kayanın gerisinde oluşan çatlaklar, tırnak oluşumu, kaya fırlaması, istenmeyen düzeyde yer sarsıntısı ve hava şoku olarak özetlenebilmektedir (Felice, 1993; Johnston ve Durucan, 1994; Singh ve diğerleri, 1996).

Yukarıda sıralanan verimsiz patlatma neticesinde oluşan sorunlardan bazıları aynı zamanda çevresel sorunlar kategorisine girmektedir. Bilinen en önemli patlatma kaynaklı çevresel etkiler aşağıda sıralanmıştır.

- Hava Şoku
- Kaya Savrulması
- Toz Emisyonu
- Titreşim Hareketi

Şekil 2.1’ de patlatma faaliyetlerinin olası çevresel etkileri görülmektedir. Söz konusu etkilerden kaya savrulması ve hava şoku patlatma noktasına yakın bölgelerde etkili olurken, oluşan titreşim hareketi ise uzak bölgelerde de hissedilebilmektedir.



Şekil 2.1 Patlatma kaynaklı çevresel etkilerden hava şoku, kaya fırlaması ve titreşim etkisi

2.2.1 Hava Şoku

Patlatma kaynaklı çevresel etkilerden olan hava şoku, patlama esnasında oluşan basınç dalgaları şeklinde açıklanabilmektedir. Patlatma sırasında meydana gelen reaksiyonlar neticesinde oluşan gazların kayalarda bulunan çatlaklardan atmosfere hızla ve erken boşalmasından kaynaklanan yoğun bir gürültü oluşmaktadır. Söz konusu eylemin gerçekleşmesine karşı bir önlem alınmadığı takdirde oluşan hava şoku dalgalarının boyutu önemli seviyelere ulaşabilmektedir.

Hava şoku düzeyi patlatma, arazi ve hava koşullarına bağlı olmaktadır. Patlatmadan kaynaklanan hava şoklarına neden olan önemli etkenler, gereğinden fazla şarj edilmiş delikler, zayıf sıkılama, açıktaki infilaklı fitil, uygun olmayan dilim kalınlığı, kayadaki çatlaklardan gaz kaçıışı olarak ifade edilebilir. Ses (gürültü veya hava şoku), basınç (pascal) ya da desibel (dB) olmak üzere iki farklı birimlerle ifade edilebilmektedir. ABD’de Unites States Bureau of Mines (USBM) ve Office of Surfice Mining (OSM)

kurallarıyla yapılan yasal düzenlemelerle 140 desibele karşılık gelen hava şoku düzeyi hasar başlangıç ve gürültü üst sınırı olarak belirlenmiştir. Hava şoku etkisinin uzaklıkla azaldığı bilinmektedir. Bu azalma faktörü ölçekli mesafe kavramı ile ifade edilebilmektedir (Kahrıman ve diğerleri 1999).

Hava şoku dalgaları 0.1 Hz ile 200 Hz arasında değişen geniş bir frekans aralığına sahiptir. Frekansı 20 Hz'nin üzerinde olan şok dalgaları hissedilebilmekte ve gürültü olarak nitelendirilmekteyken, 20 Hz'nin altında frekans değerlerine sahip olan ses dalgaları duyulamamaktadır. Şok dalgaları yeteri kadar büyük olduğunda her iki frekans aralığında da yapılarda hasar meydana getirebilmektedir (Olofsson, 1990). Tablo 2.1'de hava şokunun çevresel etkisi görülmektedir (Hüdaverdi ve Kuzu 2005).

Tablo 2.1 Hava şoku seviyelerinin çevresel etkisi

dB	Psı	Etki
180	3.0	Binalarda hasar
170	0.95	Pencere camlarının çoğu kırılır
160	0.30	
150	0.095	Bazı pencere camı kırılmaları
140	0.030	Ani ses için maksimum seviye
128	0.0070	Emniyetli seviye
120	0.0030	Rahatsız edici sürekli ses sınırı 15 dakika süreli şok dalgaları halinde şikayetler
110	0.00095	
100	0.00030	
90	0.000095	8 saatlik sürekli seste rahatsız olma
80	0.000030	

2.2.2 Kaya Savrulması

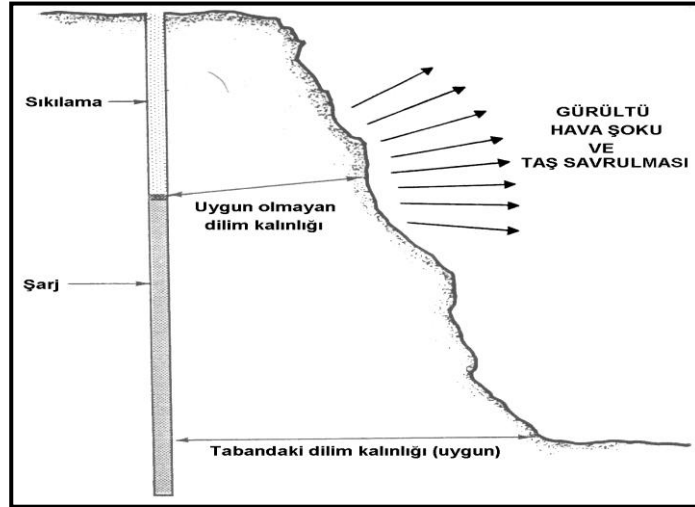
Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerden bir diğeri de kaya savrulmasıdır. Literatürde taş savrulması veya kaya fırlaması şeklinde de nitelendirilmektedir. Patlayıcı maddelerin kaya kütlesi içerisinde iyi bir şekilde hapsedilemediği durumlarda, reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gaz ürünler bulabildikleri çatlaklardan

atmosfere erken deşarj olurlar. Çok yüksek hızla oluşan gaz boşalımı kaya kütlelerinde bir kısım yırtılmalara neden olur ve beraberinde kaya parçalarını da hareketlendirir (Kahriman ve diğeri 2006).

Hareketlenen kaya parçaları bazı durumlarda oldukça fazla mesafe kat edebilmektedir. Yerleşim birimlerine yakın mesafede gerçekleşen patlatma faaliyetlerinde yüksek basınç etkisiyle yeterli miktarda önlem alınmadığı takdirde savrulan kaya parçalarının çevre yapılarına zarar verebilme olasılığı bulunmaktadır. Günümüzde söz konusu patlatma kaynaklı olumsuz çevresel etki sebebiyle yargıya intikal etmiş çok sayıda dava bulunduğu bilinmektedir.

Tünel ve benzeri inşaatlarda gerçekleştirilen patlatma çalışmalarından ziyade daha çok açık ocaklardaki patlatma faaliyetlerinde tehlike arz eden kaya savrulmasında, savrulan kaya parçalarının kat ettiği mesafenin 1000 metreyi bulabildiği ve ciddi boyutta hasarlara sebep olabildiği bilinmektedir.

Patlatma faaliyetlerinde uygun olmayan dilim kalınlığı, uygun olmayan delikler arası mesafe, şarj miktarının fazlalığı, elverişsiz jeolojik koşullar, delme aşamasında yapılan hatalar, sıkılaştırma işleminde yapılan hatalar ve ateşleme esnasında yapılabilen yanlış uygulamalar gibi sebepler kaya savrulması riskini arttıran parametrelerdendir. Şekil 2.2'de uygun olmayan dilim kalınlığı neticesinde gerçekleşmesi muhtemel bir kaya savrulması şeması görülmektedir.



Şekil 2.2 Patlatma sırasında oluşması muhtemel kaya savrulması etkisi

Patlatma sırasında izin verilen taş savrulma mesafesini belirlemek için Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement (OSMRE)'ninde önerdiği ve ABD'de uygulanmakta olan federal yönetmelik düzenlemeleri esas alınan yöntemlerden biridir. Buna göre; havada hareket etmekte olan veya zemin üzerinde yuvarlanan taş parçacıklarının savrulma mesafesi, patlatma yapılan alana en yakın yerleşim noktası ile patlatma yapılan alan arasındaki mesafenin yarısından fazla olmamalıdır. Ayrıca görevli personel tarafından kontrol edilmekte olan güvenli alanın dışına taş savrulması istenmemektedir. (OSMRE, Federal Regulations, 2004)

Patlatma sırasında taş savrulma mesafesinin tahmini için literatürde çeşitli ampirik modeller mevcuttur. 2.1 ve 2.2 ifadelerinde İsveç Detonik Araştırma Kurumu (Swedish Detonic Research Foundation) tarafından geliştirilen eşitlik görülmektedir. Söz konusu eşitlik kullanılarak maksimum kaya savrulma mesafesi ve savrulan kaya parçalarının boyutu tahmin edilmektedir. Şekil 2.3'te parça boyutu ve delik çapı parametrelerine karşılık gelen maksimum taş savrulma mesafesi grafiği görülmektedir. (Hüdaverdi ve Kuzu, 2005)

$$L_{in} = 260 \cdot d^{\frac{2}{3}} \quad (2.1)$$

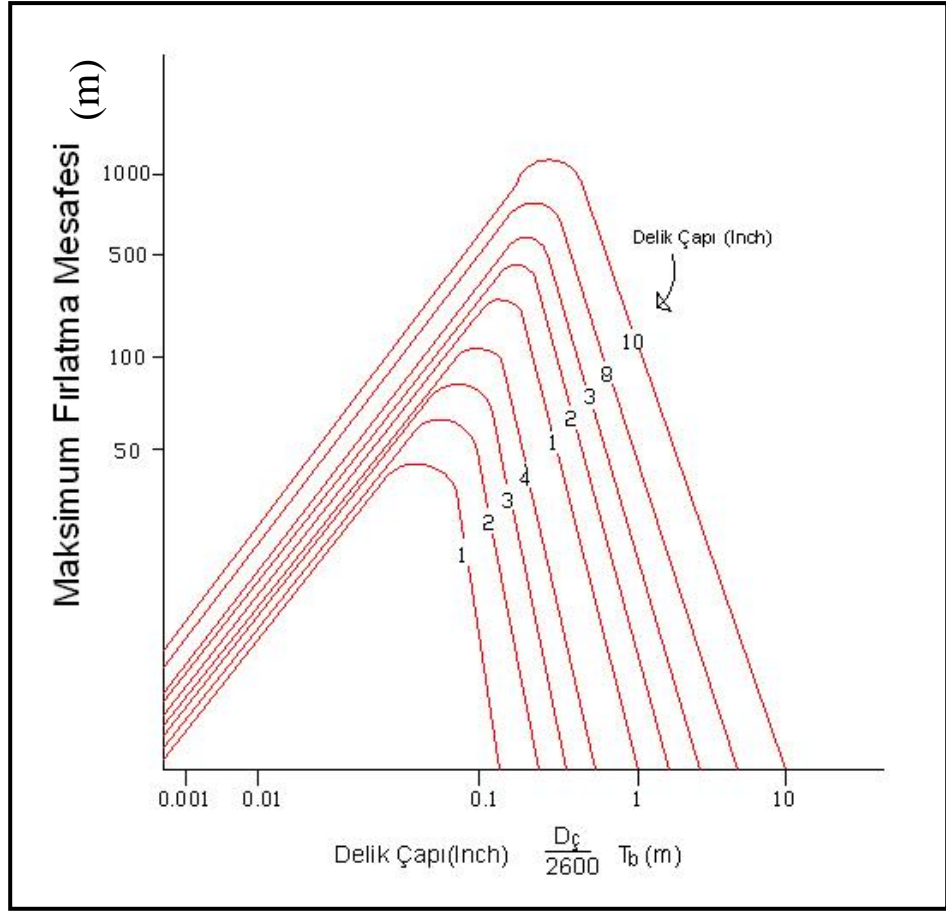
L_{in} = Maksimum taş savrulma mesafesi

d = Delik çapı (inç) (Jimeno ve diğerleri, 1995)

$$\varphi = 0.1 \cdot d^{\frac{2}{3}} \quad (2.2)$$

φ = Patlatma nedeniyle fırlayan taş parçalarının boyutu

d = Delik çapı (inç)



Şekil 2.3 Parça boyutu ve delik çapı'na göre kaya savrulması mesafesi (Hüdaverdi ve Kuzu, 2005)

2.2.3 Toz Emisyonu

Patlatma yöntemi ile gerçekleştirilen kaya kütlelerinin kırılması işleminde, ateşleme ile birlikte büyük kaya kütleleri hareketlendirilmektedir. Söz konusu hareket ile birlikte kaya kütlelerinde bir iç öğütme işlemi gerçekleşmektedir. Söz konusu iç öğütme ile, kendisinden hâsıl oldukları kütle ile aynı bileşimde olan veya olmayan, hava içerisinde dağılma ve yayılma özelliği gösteren parçacıklardan oluşan toz emisyonu meydana gelmektedir.

Oluşan iç öğütme nedeniyle az da olsa bir miktar toz emisyonunun meydana gelmesi kaçınılmaz bir durumdur. Basamak patlatması sırasında toz oluşumuna karşı alınabilecek teknik bir önlem henüz bulunmamaktadır. (Kahrıman ve diğerleri 2006)

2.2.4 Titreşim Hareketi (Yer Sarsıntısı)

Patlatma faaliyetinin çevre üzerindeki bilinen en önemli olumsuz etkisi patlatmanın neden olduğu yer sarsıntısıdır. Kaya kütlesi içerisinde patlatma etkisi ile kaya kütlesinin dayanımını ve elastik sınırlarını aşan bir enerji oluşumunun söz konusu olması durumunda kaya kütlesi parçalanmaktadır. Kütlelerin parçalanmaya başlaması ve parçalanma eyleminin devam etmesi ile mevcut enerji giderek tüketilmekte ve enerji seviyesinin, kaya kütlesinin elastik sınırları içerisinde kalması ile kaya kütlesinin parçalanma eylemi sona ermektedir. Geriye kalan enerji, kayanın elastik limitlerinin altında kaldığı için ancak kaya kütlesi içerisindeki parçacıkların şekil değiştirmesine sebep olabilecek düzeydedir. Söz konusu elastik deformasyon ile birlikte mevcut enerji parçacıkların birinden bir diğerine iletilmesi ile uzaklığa bağlı olarak sönmelenmektedir. Sismik dalgalar şeklinde, zeminde denge halinde bulunan parçacıkların denge konumlarını bozarak birbirlerine iletmesi ile yayılan enerji patlatma kaynaklı titreşim etkisi olarak nitelendirilmektedir. Patlatma kaynaklı titreşimlerin deprem ile benzer etkiler gösterdiği bilinmektedir.

2.2.4.1 Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Yapılar Üzerindeki Etkisi

Patlatma faaliyetleri, madencilik, taş ocakçılığı ve inşaat gibi sektörlerde genişleyerek yer almaktadır. Bu nedenle patlatma kaynaklı titreşim ve fiziki yapılar üzerindeki etkisi, özellikle ülkemiz madenciliğinde son yıllarda giderek artan sıklıkta duyulmaya başlanmıştır.

Yerleşim alanlarına yakın yerlerde gerçekleştirilen patlatma faaliyetlerinin meydana getirdiği titreşimler, zaman zaman çevre yapılara hasar verebilmektedir. Bu nedenle, çevre yapılarda yaşayan insanlar tarafından en fazla şikayet konusu olan çevresel etki; patlatma kaynaklı yer sarsıntısıdır. Bu durum çevre sakinlerinin doğrudan can ve mal güvenliklerini etkileyebildiği gibi, psikolojik bazı sorunların doğmasına da zemin hazırlamaktadır.

Titreşim hareketi ile ilgili büyüklükler, fiziki yapılar üzerinde oluşabilecek hasar limitlerinin altında kalsa dahi, insanlar tarafından hissedilebilmekte ve huzursuzluk kaynağı olabilmektedir. Patlatma faaliyetine yakın bölgelerde yaşayan insanlardan gelen ve patlatma kaynaklı titreşimlerin neden olduğu şikâyetler bazı durumlarda gerçeği

yansıtmayabilmektedir. Söz konusu şikâyetlerin kaynağının çeşitli nedenlere dayandığı düşünülmektedir.

Patlatma karakteristikleri, patlatma kaynaklı titreşimlerin yapılar üzerinde olası hasar parametrelerindedir. Fakat söz konusu parametreler kendi başlarına hasar oluşturabilme riski açısından sorumlu olmamaktadır. Mevcut yapıların ilk tasarım karakteristikleri, aradan geçen zaman zarfında çeşitli çevresel etkilere maruz kalmalarıyla yapısal dayanımda meydana gelebilecek azalmalar ve yapısal elemanlara yapılabilecek herhangi bir müdahalenin patlatma kaynaklı titreşimler etkisinde yapı üzerinde hasar oluşturabilme riski beklenebilmektedir.

Aynı zamanda Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik tarafından öngörülen yükler altında ve uygulanması gereken detaylara uygun olarak projelendirilmeyen ve uygulamada yapılabilecek hatalar nedeniyle söz konusu etkiler altında yapı savunmasız kalabilecektir. Bu aşamada patlatma noktasına yakın bölgelerdeki yapıların mevcut durumları da patlatma kaynaklı titreşimlerin hasar oluşturabilme riskine etki eden parametreler olarak gösterilebilir.

2.3.4.1 Patlatma Kaynaklı Titreşim Dalgaları

Farklı frekans, periyot, sönüm ve genliklere sahip farklı türde çok sayıda harmonik titreşim içeren ve patlatma noktasından itibaren farklı hızlarla yayılan patlatma kaynaklı zemin hareketleri, deprem etkisinde oluşan titreşimlere benzemektedirler. Benzer şekilde titreşimlerde, jeolojik yapıdaki farklılıklar nedeni ile farklı kaya kütlelerinden geçerken yansıma ve kırılım hareketleri ile karşılaşmak mümkündür. Söz konusu kırılım ve yansımalar yalnızca farklı yoğunluktaki jeolojik yapılarla karşılaşıldığında değil, patlatma mekanizması ile de yakından ilgilidir. Patlayıcı maddelerin ateşlenmesi aşamasında düzenlenen gecikme aralığı, söz konusu titreşimlerdeki karmaşık hareketlere neden olabilmektedir.

Zemindeki parçacıkların denge konumu, infilak ile birlikte ortaya çıkan atık enerji ile bozulmaktadır. Bozulan denge pozisyonu ile parçacıklar herhangi bir yer değiştirme olmadan salınım ve dönme hareketi yapmaktadırlar. Kaya kütlelerinin elastik sınırlarını aşan bir enerji söz konusu olduğunda enerji sönümlenmekte, elastik sınırlar içerisinde

kaldığında, salınımlar gerçekleşmektedir. Denge konumu bozulan her parçacık enerji transferi ile salınım özelliklerini bir diğer elemana ileterek dalga hareketini oluşturmaktadır.

Elastik sınırlarda yer değiştirmenin olmadığı, salınım ve dönme hareketlerinin iletiildiği olaylar zincirinde iki farklı hız söz konusu olmaktadır. İlk olarak bozulan ortamın yoğunluına bağlı olarak dalga veya faz hızı, bir diğeri ise dalga enerjisini etkileyerek denge pozisyonunun bozulması ile parçacığın küçük salınımları olarak tanımlanan parçacık hızıdır. Parçacık hızı daima dalga hızından daha küçük olmakta ve patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin analizinde dalga hızına göre daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. (Karadoğın, 2008)

Sonuçta patlatma esnasında açığa çıkan kinetik enerji ısı, hava şoku, yer hareketi ve çevrede yer değiştirme enerjisine dönüşerek sönümlenmektedir. Yakın binalarda veya yapılarda oluşan yer değiştirme enerjisinin yapısal hasar oluşturabilme riski vardır.

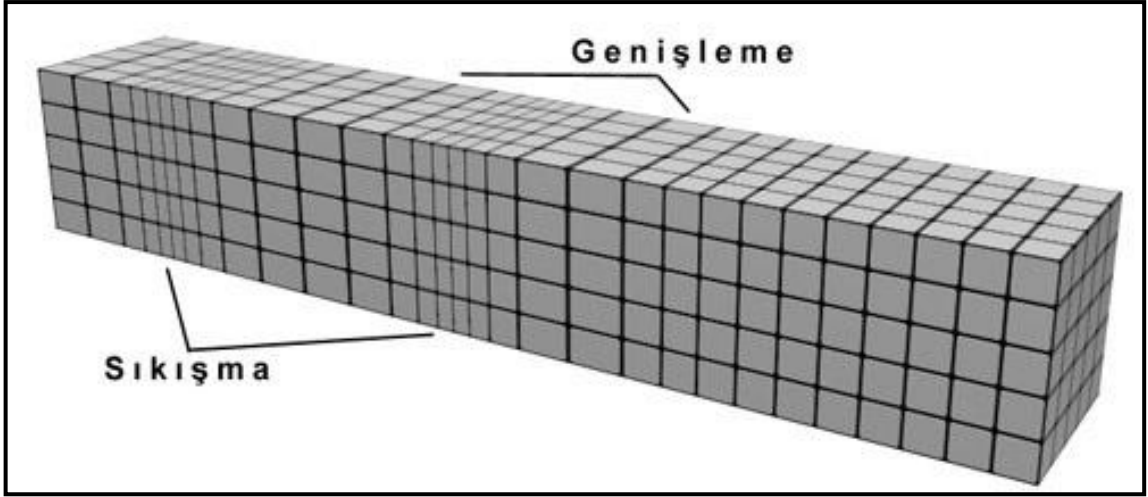
Patlatmadan kaynaklanan dalgalar gövde ve yüzey dalgaları olarak sınıflandırılmaktadır.

2.4.3.1.1 Gövde Dalgaları

Gövde dalgaları, cisim dalgaları olarak ta isimlendirilmektedir. Kaya kütlesi içerisinde hareket eden gövde dalgaları, basınç ve kesme etkisine sahip dalgalar olmak üzere iki grup etrafında incelenebilmektedir. Yüzey dalgalarına göre daha derinden ve hızlı bir hareket karakteristiğine sahip olan dalgalar, P dalgaları ve S dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

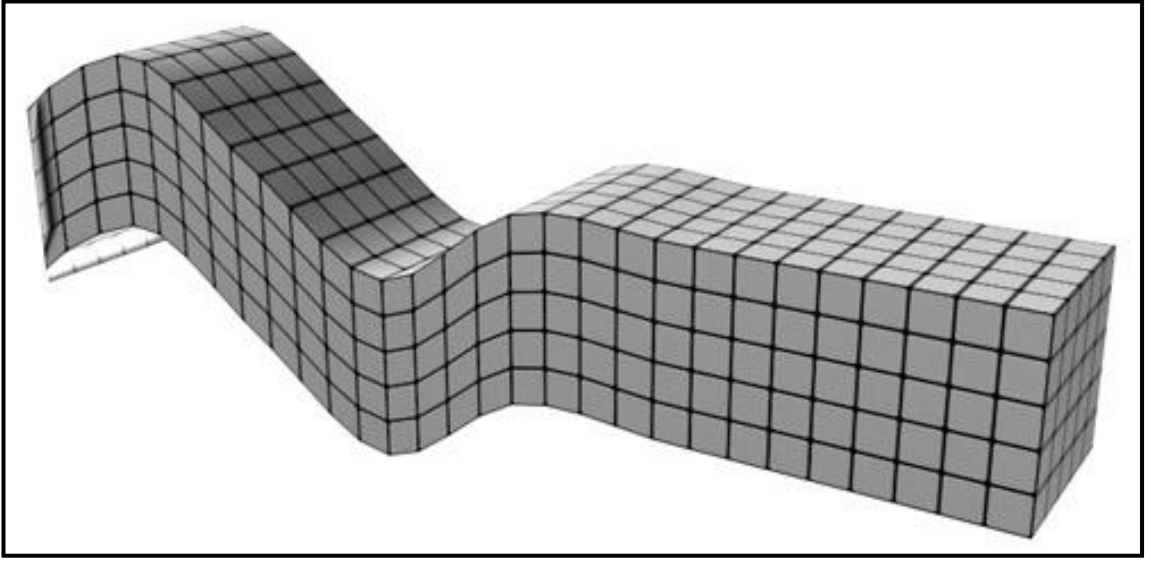
P dalgaları (Primary Wawe) sismolojide boyuna dalgalar olarak nitelendirilmektedir. Diğeri dalga türlerine göre daha hızlı bir salınım göstermeleri nedeniyle öncül dalgalar olarak ta isimlendirilmektedirler. Yer yüzeyine paralel doğrultuda salınımlardan oluştururlar. P dalgaları, sıkıştırma ve genişletme etkisi göstererek ilerlemesi kaya kütlerinde bulunan taneciklerin yayılım yönünde ileri ve geri salınımlar yapması şeklinde açıklanabilmektedir. Kaya kütesinin yanında sıvı ve hava ortamında da yayılma özelliğine sahiptirler. Deprem veya patlatma kaynaklı titreşim kayıtlarında

kayıt altına alınan ilk dalga türü olma özelliğindedirler. Hızı jeolojik yapıya göre 1.5 ile 8 km/sn aralığında değişen ve sismik kaynağa ilk ulaşan dalgalar, radyal olarak her yöne yayılım göstermektedirler ve yıkım etkisinin nispeten düşük olduğu bilinmektedir. Şekil 2.4’de P dalgalarının hareketi üç boyutlu ortamda ifade edilmiştir.



Şekil 2.4 Cisim dalgalarından P dalgası (Basınç dalgası)

S dalgaları (Secondary Wave) ikincil dalga olarak nitelendirilmektedir. Yer yüzeyine dik yönde yani düşeyde bir harekete sahip dalga türüdürler. S dalgalarının yayılım hızı, P dalgalarının yayılım hızına göre yaklaşık olarak %60 ~ %70 arasında değişen bir oran ile ifade edilebilmektedir. Ölçüm istasyonuna veya hedef yapıya P dalgasından sonra ulaşmaktadır. Sıvı ve hava ortamında ilerleme özelliği bulunmayan S dalgaları katı ortamda yayılabilmektedir. S dalgaları aynı zamanda enine dalgalar ya da kesme dalgaları olarak ta isimlendirilmektedir. Yayılma yönüne dik olan düşey düzlemde saat yönünün tersi bir eliptik yörüngede oluşan bir titreşim etkisidir. Düşeyde ve yatayda kesme dalgası (SV ve SH) olarak ifade edilebilmektedir. Şekil 2.5’te S dalgası üç boyutlu ortamda ifade gösterilmektedir.

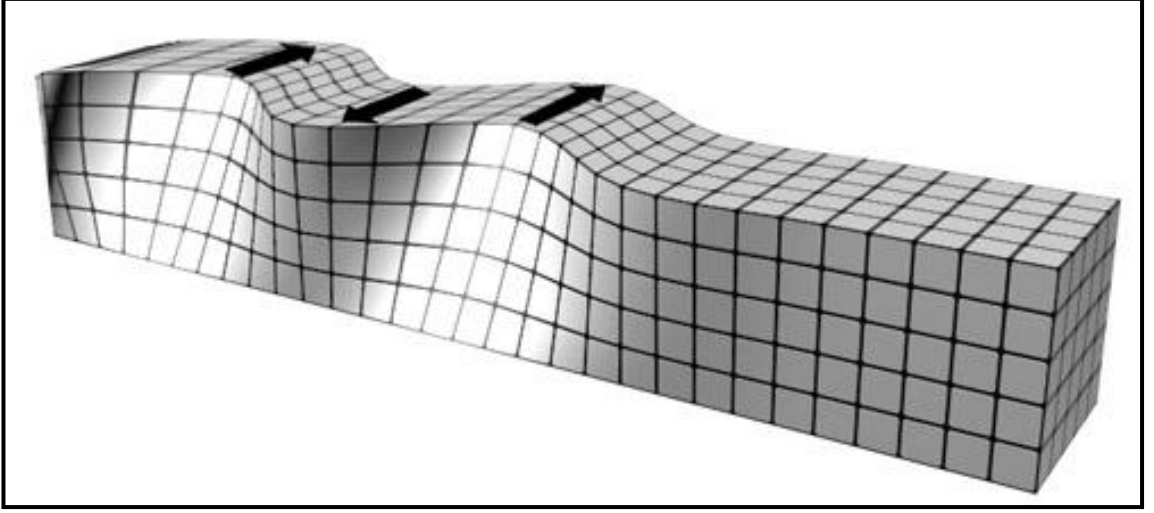


Şekil 2.5 Cisim dalgalarından S dalgası (Kesme dalgası)

2.4.3.1.2 Yüzey Dalgaları

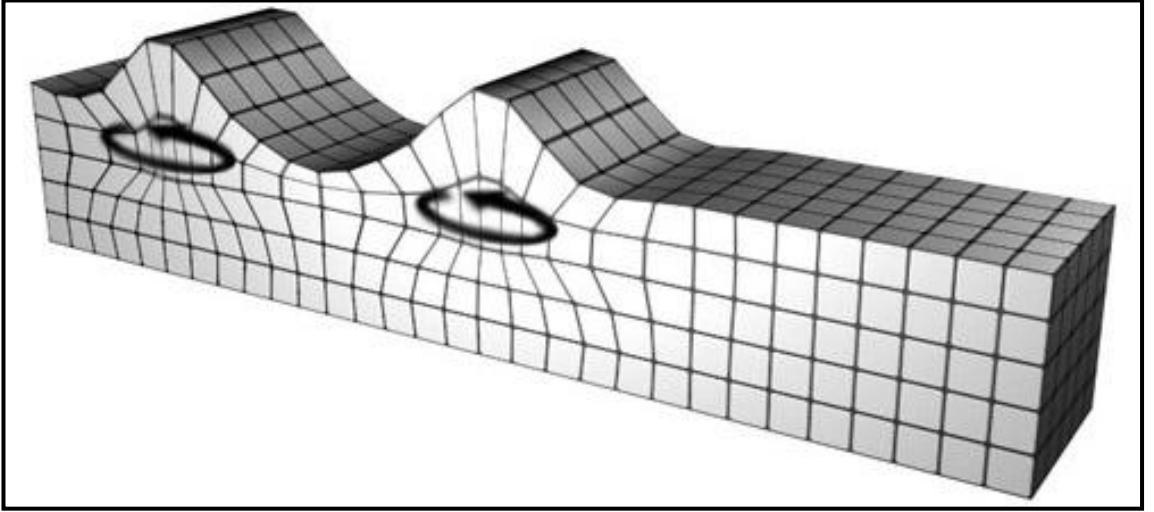
Cisim dalgalarının tersine, yüzey boyunca hareket eden dalgalardır. Cisim dalgalarının herhangi bir formasyon sınırı veya süreksizliklerle karşılaşmaları neticesinde meydana gelirler. Normal koşullarda süreksizliklerin ve herhangi bir formasyon sınırının bulunmadığı homojen ortamlarda yüzey dalgalarının oluşumu beklenmemelidir. Gövde dalgalarında göre daha etkin ve genliklerinin büyük olmasına karşın daha yavaş yayılırlar. Love ve Rayleigh dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

Love dalgaları, bir diğer yüzey dalgası olan Rayleigh dalgalarına göre daha hızlı yayılmaktadır. Love dalgalarında, gövde dalga türünden S dalgasının tersine, yatay düzlemde hareket söz konusu olmaktadır. Dolayısı ile bu dalga türünde düşey düzlemde bir hareket gözlemlenmemektedir. Hareket, dalga yayılım yönüne dik olarak gerçekleştiği için düşey sensörler Love dalgasını kaydedememektedirler. Şekil 2.6'da Love dalgasının üç boyutlu görünümü yer almaktadır.



Şekil 2.6 Yüzeysel dalgalarından Love dalgasının hareketi

Diğer bir yüzeysel dalga olan Rayleigh dalgalarında parçacık hareketi dalga yayılım yönündeki dik düzlemde olmak üzere, saat yönünün tersi bir eliptik yörüngede gerçekleşmektedir. Love dalgalarından daha büyük genliğe sahip bir yüzeysel dalgadır. Titreşimlerin yapılara verdikleri hasarlar açısından en önemli dalga türünün Rayleigh dalgası olduğu bilinmektedir. Şekil 2.7’de Rayleigh dalgasının hareketi görülmektedir.



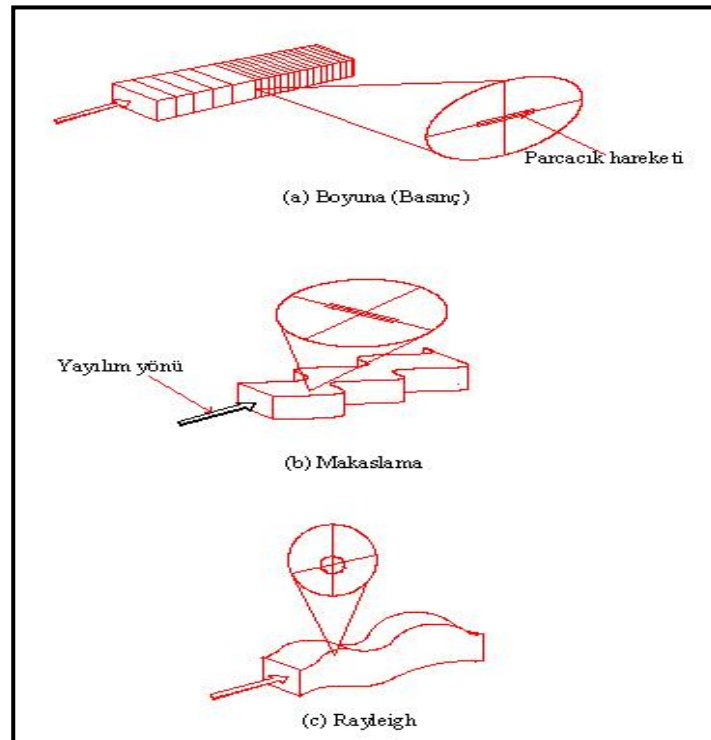
Şekil 2.7 Yüzeysel dalgalarından Rayleigh dalgasının hareketi

Love ve Rayleigh dalga formlarının temel benzerlikleri, kaya yapısında bulunan yüzeylerde polarizasyon ile oluşmaları, düşük frekanslı olmaları, düşük yayılma hızı nedeniyle ölçüm noktalarına P ve S dalgalarından sonra ulaşmalarıdır. Söz konusu

yüzeysel dalgalarının üzerinde önemle durulmasının nedeni Siskind ve arkadaşlarının (1989) yürüttüğü araştırmaya göre, bazı koşullarda söz konusu dalgaların genliklerinin patlatma kalıbı ile değişmediğidir. Özellikle açık ocak kömür işletmelerinde ve büyük uzaklıklarda ölçülen Rayleigh ve Love dalga genliklerinin gecikme aralığı ve her aralıktaki patlayıcı madde miktarı ile değişmediği gözlenmiştir. Ölçüm noktasında ayrıca kalın bir toprak örtü tabakasının bulunması bu olgunun oluşmasında katkı yapmaktadır. Araştırmacılar Rayleigh ve Love dalgalarının böylesine oluşmasının bazı gerilim birikmesine ve patlatma ile söz konusu birikimin deşarj olmasına bağlamaktadır (Siskind ve diğerleri 1980, 1989, 1993; Erkoç ve Esen, 1996).

2.3 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERDE PARÇACIK HAREKETİ

Parçacık hareketi üç adet bileşen ile tanımlanmaktadır. Söz konusu bileşenler boyuna parçacık hareketi (Longitudinal), enine parçacık hareketi (Transaction) ve dikey parçacık hareketidir (Vertical). Şekil 2.8’de oluşan dalga türlerine karşılık gelen parçacık hareketleri şekilde gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Dalga türlerine bağlı olarak parçacık hareketleri

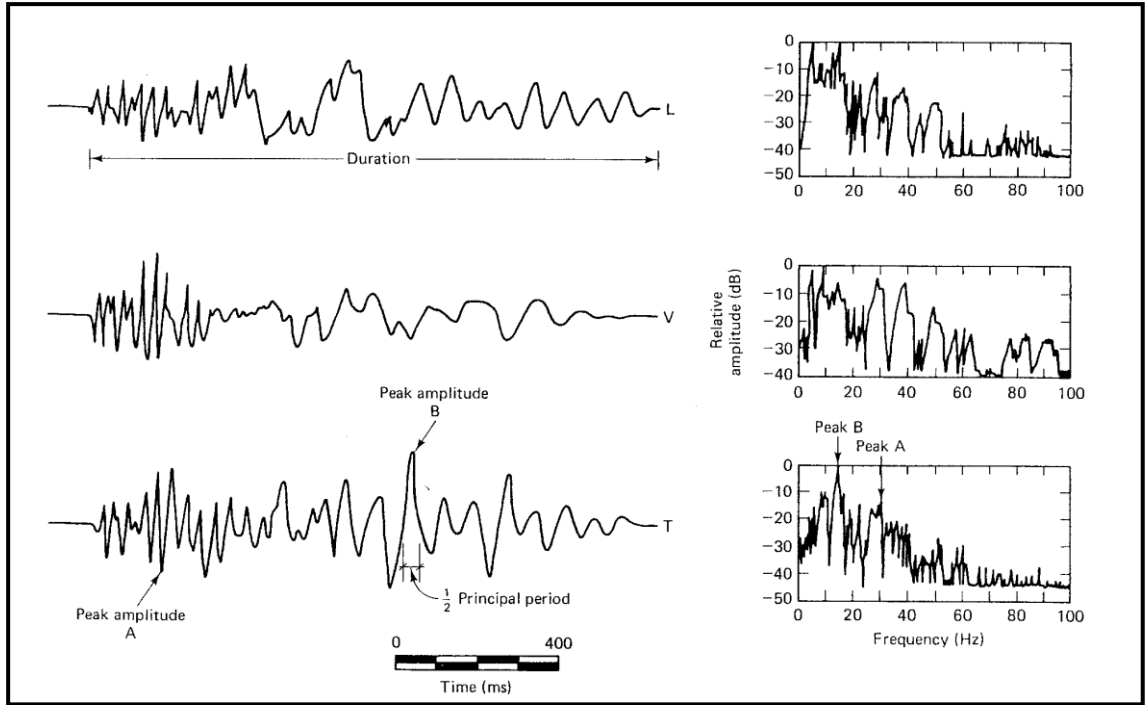
Patlatma ile oluşan titreşim hareketlerinde kaya kütleleri içerisinde yer alan parçacıklarda herhangi bir yer değiştirme olmamaktadır. Sismik dalgaların hareketi parçacıkların altından geçip giderken, kütle içerisindeki parçacıklar çeşitli yönlerde salınım yapmaya başlar ve zaman ile tekrar eski konumlarına geri dönerler. Dolayısı ile dalga hareketi neticesinde sadece bir enerji transferi söz konusudur. Parçacıkların bu hareketi, denizde kendi halinde bulunan bir kayığın hareketine benzetilebilir. Su dalgaları kayığın altından gelip geçerken kayak, çeşitli yön ve formlarda salınıma geçer ve farklı dalgaların etkisi söz konusu olmadığı takdirde eski konumuna geri dönmektedir.

2.4 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİM KAYITLARI

Patlatma kaynaklı titreşimlerin karakteristiklerinin belirlenmesinde ölçüm kayıtları esas olmaktadır. Herhangi bir patlatma faaliyetinin çevre yapılarına hasar verme olasılığının araştırılabilmesi ve kontrol altına alınabilmesi için günümüzde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Söz konusu kayıtlarda titreşim; baskın frekans, ölçekli mesafe, maksimum parçacık hızı veya enerji oranının farklı kombinasyonları ile ifade edilebilmektedir.

2.4.1 Tipik Patlatma Kaynaklı Titreşim Kayıtları

Şekil 2.9’da bir kömür açık işletmesinde yapılan patlatma faaliyetine ait parçacık hızı zaman tanım aralığı görülmektedir. Söz konusu zaman tanım aralığını ifade etmekte en öncelikli parametreler asal periyot, maksimum genlik ve titreşim süreci olmaktadır. Söz konusu parametreler patlatma serisi ve ortam geçirimsizliği ile bağlantılıdır. Tablo 2.2’de tünel, açık işletme ve inşaatlardaki normal patlatma faaliyetlerinde söz konusu parametrelerin değişimi görülmektedir (Dowding, 1985).



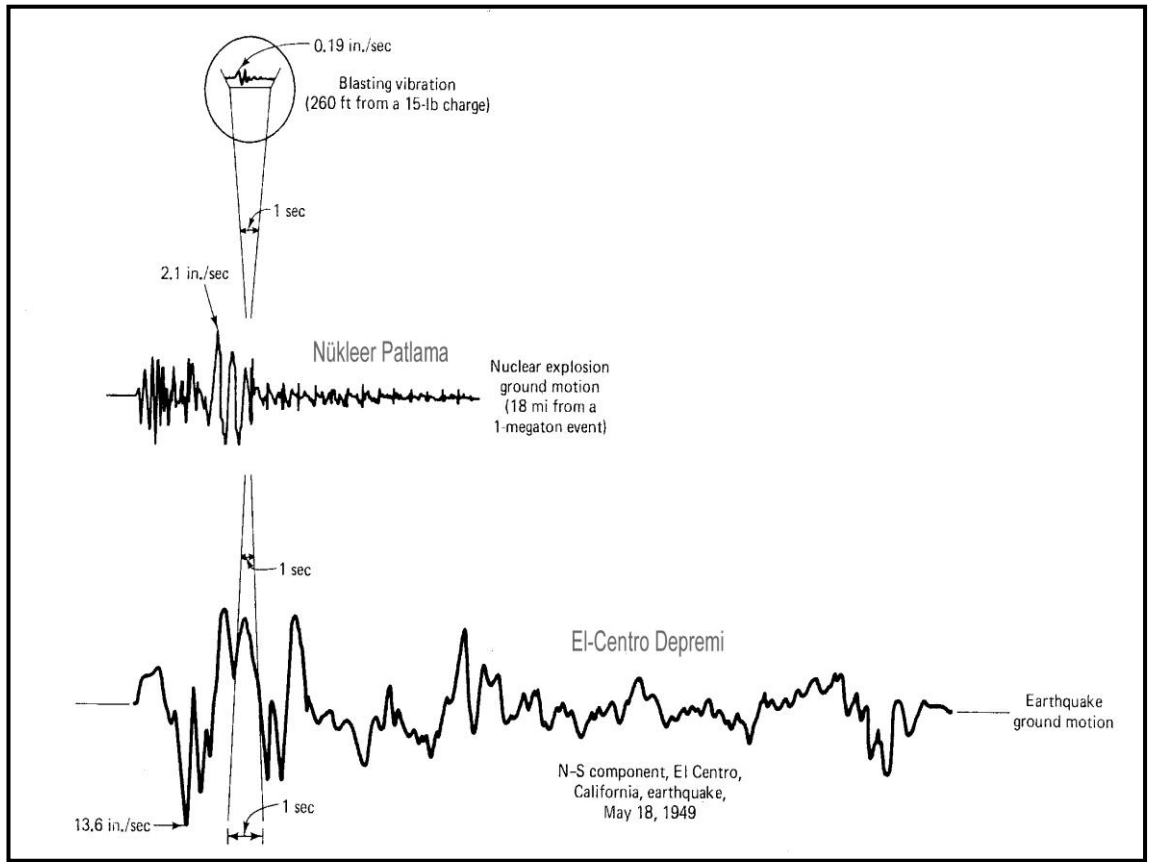
Şekil 2.9 Tipik kömür maden ocağı patlatma parametreleri değişimi

Tablo 2.2 Tipik patlatma parametreleri değişim aralığı

Parametre	Değişim Aralığı
Yer Değiştirme (mm)	$10^{-4} - 10$
Parçacık Hızı (mm/s)	$10^{-4} - 10^3$
Parçacık İvmesi (mm/s^2)	$10 - 10^3$
Atım Sürekliliği (s)	$0.5 - 2$
Dalga Boyu (m)	$30 - 1500$
Frekans (Hz)	$0.5 - 200$
Birim Deformasyon (inç/inç)	$3.0 - 5000 \mu$

Şekilde deprem hareketi ve nükleer hareketlerle patlatma hareketlerini birbirinden ayıran iki temel ve belirgin parametre görülmektedir. Söz konusu parametrelerden birincisi frekans, diğeri ise taşınan enerji olmaktadır. Patlatma kaynaklı titreşimlerde oluşan frekans, deprem etkisinde ve nükleer patlamaların neden olduğu yer hareketlerinden oluşan frekans değerlerine kıyasla daha yüksek seviyelerde olmaktadır.

Diğer taraftan deprem hareketlerinde ve nükleer patlamalarda taşınan enerji, patlatma kaynaklı titreşim hareketlerinde taşınan enerjiden çok daha büyüktür. Nükleer patlatmalar ile konvansiyonel patlatmalar arasındaki farkı nükleer sistemlerin bir megaton'a varan detonasyon enerjileri ile açıklamak mümkündür. Bir diğer temel karakteristik ise temel frekanstır. Temel frekansın değişim aralığı deprem ve nükleer hareketlerden oldukça büyük değerlere erişmektedir. Şekil 2.10'da patlatma kaynaklı titreşimler ile deprem etkisinde ve nükleer etkilerde oluşan titreşimler karşılaştırılmaktadır.

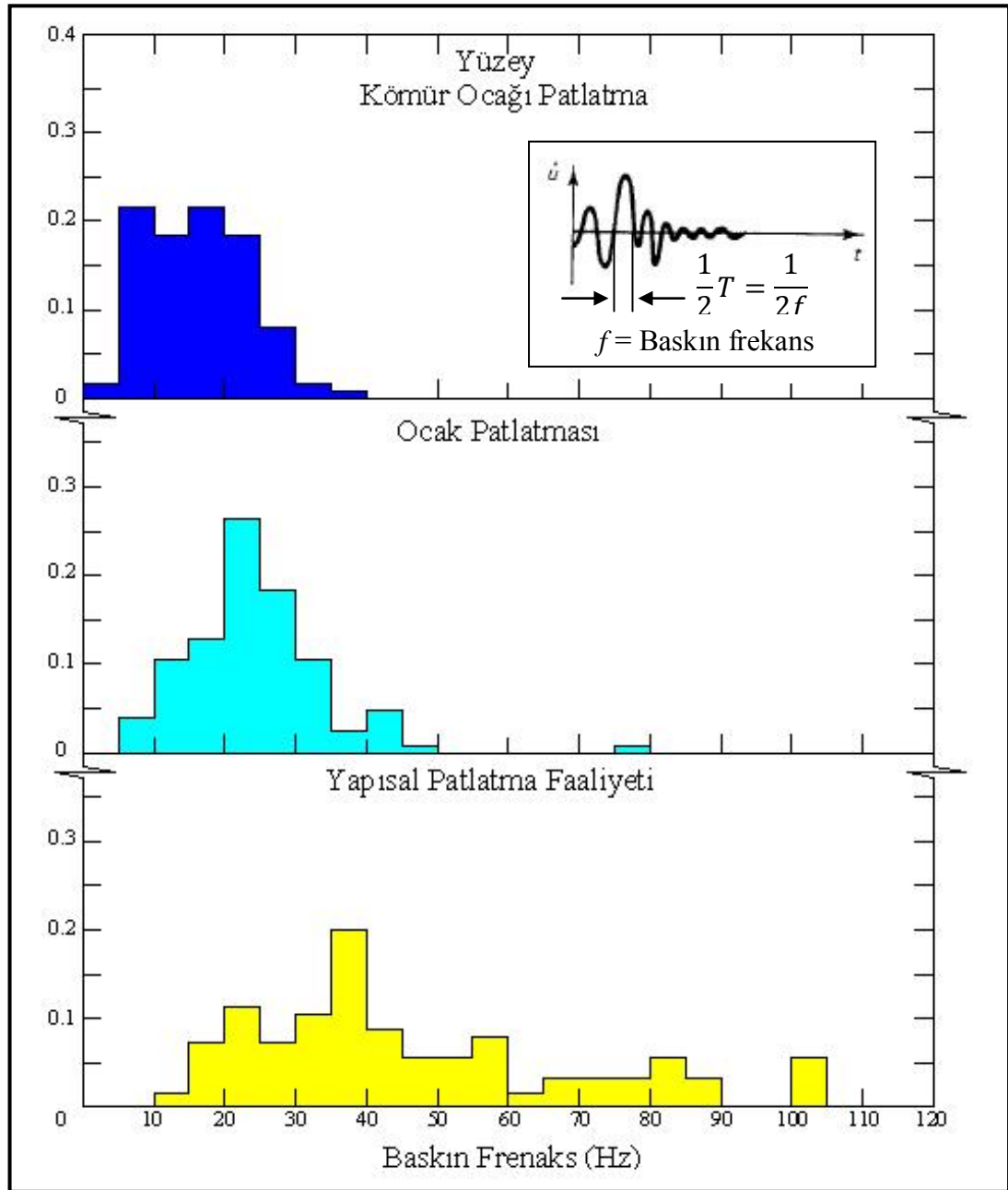


Şekil 2.10 Patlatma kaynaklı titreşimler ile deprem ve nükleer etkilerle oluşan titreşimlerin kıyaslanması

2.4.2. Baskın Frekans

Tipik patlatmalarda frekans değerleri 0.5 Hz ile 200 Hz aralığında değişmektedir. Fakat çoğu patlatma faaliyetinde frekans değeri, söz konusu aralıktaki 200 Hz limitinin altında olmaktadır. Baskın frekans parametresi ortam geçirimsizliği ile ilişkilidir. İnşaat patlatma

faaliyetleri, taş ocağı patlatma faaliyetleri ve kömür açık ocağı patlatma faaliyetlerinde göreceli olarak baskın frekans karşılaştırmaları Şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.11 Patlatma faaliyetlerine göre baskın frekans değişimleri

2.4.3. Ölçekli Mesafe

Patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimlerin, çevre yapılar üzerinde neden olabileceği hasar riskinin önlenmesi ya da en aza indirilmesi konusunda yapılan çalışmalarda kullanılan parametrelerden biri de ölçekli mesafe parametresidir. Ölçekli mesafe parametresini içeren ampirik denklemlerden yola çıkarak maksimum parçacık

hızını tahmin etmek patlatma dünyasında sıklıkla rastlanan bir yaklaşımdır (Karadoğan 2008).

Ölçekli mesafe, kavram olarak yer hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkili bir parametredir. Ölçek, uzaklığa bağlı olarak kullanılan birimsiz bir faktördür. Ölçekli mesafe, sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir. Tahminler için öne sürülen çeşitli ampirik ilişkilerden en çok ölçekli mesafe ve titreşim hızını esas alan yaklaşımlara güvenilmektedir. Parçacık hızı parametresini, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, titreşim ölçüm cihazlarının gelişmesi ve kullanım alanı bulması ile ortaya atılmıştır. Literatürde ölçekli mesafenin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan formülasyon aşağıda verilmektedir (Kahriman)

$$SD = R / W^{1/2} \quad (2.3)$$

Söz konusu ölçekli mesafe formülasyonundaki parametrelerin anlamları aşağıdaki gibidir.

SD : Ölçekli mesafe

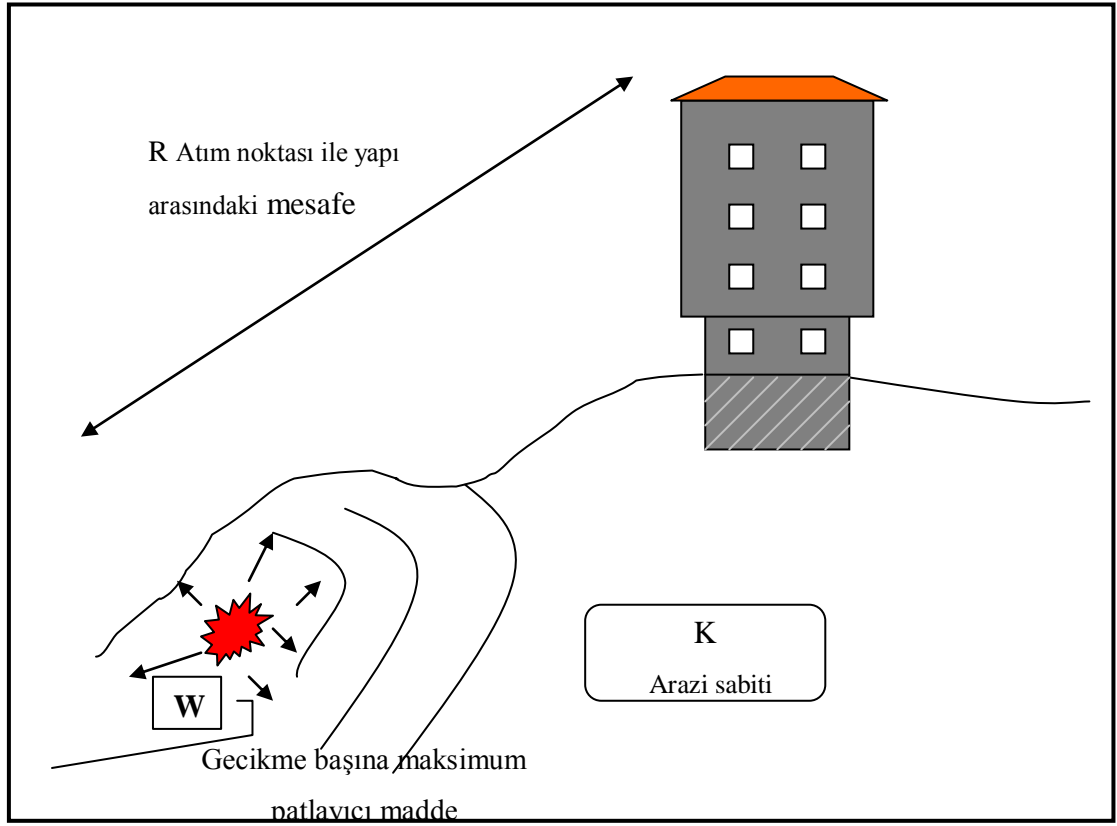
R : Patlatma noktasından metre cinsinden uzaklık

W : Kg cinsinden gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı

Ölçekli mesafe, patlatma faaliyetlerinin kontrol altına alınması amacıyla parçacık hızının tahminine yönelik yerinde yapılan titreşim ölçümleri neticesinde gerçekleştirilen istatistik çalışmaları sonucunda geliştirilen ve yaygın kullanım alanı bulmuş bir parametredir. Yukarıda belirtilen formülasyonun yanı sıra 2.4 ifadesi de sıklıkla kullanılan ampirik bağıntılardandır.

$$SD = R / W^{0.3} \quad (2.4)$$

Ölçekli mesafe ve kendisine bağlı parametreler Şekil 2.12' de gösterilmektedir.



Şekil 2.12 Ölçekli mesafe ve ilgili parametreleri

2.4.4. Maksimum Parçacık Hızı

Patlatma faaliyetlerinin izlenmesi ve karakteristiklerinin kayıt altına alınması işlemlerinde genel olarak özellikle üzerinde durulan parametre maksimum parçacık hızıdır. Söz konusu faaliyetlerin olumsuz çevresel etkilerini minimize etmek için yapılan çalışmalar sıklıkla maksimum parçacık hızını tahmin etmek amacıyla gerçekleştirilmektedir. Gerek önceki faaliyetlerin etkisini araştırmak, gerekse daha sonra gerçekleştirilmesi muhtemel patlatma faaliyetlerini kontrol altına almak amacıyla, atımlardan elde edilen kayıtlardan maksimum parçacık hızları ve ilgili diğer parametreler kullanılarak elde edilen bağıntılar yardımıyla emniyetli atımlar gerçekleştirilebilmektedir.

Çok sayıda kişi ve bilinçli kuruluşlar güvenli atımların gerçekleştirilebilmesi için maksimum parçacık hızı tahmininin çözümde en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir. Literatürde konu ile ilgili kabul edilmiş çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır.

Geçmişte yapılan çalışmalar neticesinde silindirik şarj uygulamalarında maksimum parçacık hızının tahmin edilmesinde en sık kullanılan formülasyon aşağıda görülmektedir (Kahrıman ve diğerleri, 2006).

$$PPV = K \cdot SD^{-\beta} \quad (2.5)$$

Yukarıdaki formülde bulunan değişkenlerin açıklamaları aşağıdaki gibidir.

PPV : Maksimum parçacık hızı

SD : Ölçekli mesafe

K : Saha sabiti (Geçirgenlik katsayısı)

β : Saha sabiti (Saha sönümlenme katsayısı veya jeolojik sabit)

Yukarıda değinilen parçacık hızı tahmin denkleminde yer alan saha sabitleri, ölçülen maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir (Karadoğan 2008). Söz konusu K sahaya ait sarsıntı iletim, β ise sönümlenme katsayılarıdır. Elde edilen 2.5 ifadesinin güvenilirliğini saptamak için elde edilen korelasyonun 0.7 den az olmaması gerekmektedir. Eğer 0.7 den az ise, verilerle ilgili bazı sorunlar veya çelişkiler var demektir. Bu durumda çalışmanın veya verilerin yeniden gözden geçirilmesi veya ilave çalışmaların yapılması gerekmektedir (Kahrıman 2002).

2.4.4.1. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini

Zemindeki bir taneciğin hareket hızı parçacık hızı olarak nitelendirilmektedir. Madencilikte kabul gören hız, her bir taneciğin göreceli hareket hızları değil, taneciklerin en yüksek parçacık hızıdır. Yapılan çalışmalar, patlatma kaynaklı titreşimlerin çevre yapılarda oluşturabileceği hasar riskini azaltmaya yönelik en önemli veri çiftinin maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe olduğunu göstermiştir. Bu aşamada parçacık hızının önceden tahmin edilmesi patlatma faaliyetlerinde önemli bir çalışma konusu olmaktadır. Söz konusu parametrenin tahmin edilebilmesi için ölçekli mesafe kavramından faydalanılması çoğu araştırmacı tarafından kabul görmüş bir yaklaşımdır.

Aşağıda ölçekli mesafeye bağlı olarak maksimum parçacık hızının tahmin edilmesine yönelik çalışmalar tarihsel sıralama ile listelenmektedir (Ak;2006, Karadoğan;2008).

Morris (1950)

$$A = K \cdot \frac{\sqrt{Q}}{D} \quad (2.6)$$

Blair ve Duvall (1954), Duval ve Petkof (1959)

$$PPV = K \cdot \left(\frac{W}{D^3}\right)^{-\beta} \quad (2.7)$$

Duvall ve Fogelson (1962), Nicholls, Johnson ve Duvall (1971), Siskind ve diğerleri (1980)

$$PPV = K \cdot \left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-\beta} \quad (2.8)$$

Langefors ve Kihlström (1963)

$$PPV = K \cdot \left(\frac{W}{D^2}\right)^{-\beta} \quad (2.9)$$

Davies ve Ark., (1964), Attewell ve Ark., (1965), Shoop ve Daemen (1983)

$$PPV = K \cdot R^\alpha \cdot W^\beta \quad (2.10)$$

Langefors ve Kihlström (1973)

$$PPV = K \cdot \left(\sqrt{\frac{W}{R^2}}\right)^\beta \quad (2.11)$$

Ambraseys ve Hendron (1968)

$$PPV = K \cdot \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}}\right)^\beta \quad (2.12)$$

Hindistan Standartları Enstitüsü (ISI, 1973)

$$PPV = K \cdot \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{R}\right)^\beta \quad (2.13)$$

Just ve Free (1980)

$$PPV = K \cdot \left(\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}}\right)^{-1} \cdot e^{-\alpha \cdot \left(\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}}\right)} \quad (2.14)$$

Ghosh ve Daemen (1983),

$$PPV = K \cdot \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W}}\right)^\beta \cdot e^{-\alpha \cdot R} \quad (2.15)$$

$$PPV = K \cdot \left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^\beta \cdot e^{-\alpha \cdot R} \quad (2.16)$$

Gupta ve Arkadaşları (1987)

$$PPV = K \cdot \left(\frac{W^{\frac{2}{3}}}{R}\right)^\beta \cdot e^{-\alpha \cdot R} \quad (2.17)$$

Gupta ve Arkadaşları (1988)

$$PPV = K \cdot \left(\sqrt{\frac{W}{R^{\frac{2}{3}}}}\right)^{-\beta} \cdot e^{-\alpha \cdot \frac{R}{w}} \quad (2.18)$$

CMSR (Singh ve Ark., 1993)

$$PPV = n + K \cdot \left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-1} \quad (2.19)$$

Bilgin ve Arkadaşları (1998)

$$PPV = K \cdot \left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^\alpha \cdot \beta^\beta \quad (2.20)$$

Yukarıdaki formülasyonlarda bulunan değişkenler ve söz konusu değişkenlerin açıklamaları ile birlikte birimleri Tablo 2.3'te görülmektedir.

Tablo 2.3 Ölçekli mesafe – Parçacık hızı ilişkisini ifade eden parametreler

Değişken	Tanım
A	Maksimum parçacık yerdeğiştirme miktarı (mm)
Q	Patlayıcı şarj miktarı (Kg)
D	Patlatma yeri ve kayıt noktası arasındaki mesafe (m)
PPV	Maksimum parçacık hızı (mm/sn)
R	Patlatma noktasından uzaklık (m)
W	Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (Kg)
K, β , α , n	Çalışma sahası sabitleri
$e^{-\alpha \cdot R}$	İnelastik seyrelme faktörü
$e^{-\alpha (R/W)}$	İnelastik sönme faktörü

2.5 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERDE HASAR SINIFLANDIRMASI

Önceki bölümlerde de belirtildiği üzere patlatma faaliyetlerinde ortaya çıkan atık enerji ve benzeri etkiler neticesinde bir takım çevresel sorunlar yaşanabilmektedir. Söz konusu çevresel sorunlardan en önemlisi atım kaynağından yayılan titreşimlerdir. Özellikle atım noktasına yakın çevrelerde bulunan yapıların söz konusu titreşim hareketlerinden olumsuz etkilenmesi ve dolayısıyla titreşimlerin hasar oluşturabilme riski uzun yıllardır kişi ya da kurumların ilgisini çekmiş ve araştırma konusu olmuştur.

Literatürde, patlatma kaynaklı titreşimlerin yapılar üzerindeki olası hasar riskini minimize etmek için veya patlatma faaliyetlerinin kontrol altına alınabilmesi için atımların izlenmesi ve kayıt altına alınması gerektiği birçok araştırmacı tarafından belirtilmektedir. Kayıt altına alınan ve değerlendirilen patlatma karakteristiklerinden faydalanılarak emniyetli atımlar gerçekleştirilebilmek mümkün olabilmektedir.

Ülkemizde henüz konu ile ilgili ulusal hasar kriterleri oluşturulmadığı için daha önce yapılmış ve kabul görmüş bilimsel çalışmalardan veya farklı ülkelerin standartlarından faydalanılmaktadır.

Genel olarak patlatma faaliyetleri uygulamalarında çoğunlukla faydalanılan yapısal hasar kriterleri A.B.D. Madencilik Dairesi'nin getirdiği ve Alman DIN 4150 standartlarıdır.

A.B.D. Madencilik Dairesi'nin geliştirdiği sınıflamada hasar tipleri üç guruba ayrılmıştır. Söz konusu hasar sınıflaması aşağıdaki gibidir. (Siskind ve diğerleri 1980)

- Eşik hasar
- Hafif hasar
- Esaslı hasar

Boya ve sıvada kılcal çatlakların olduğu eşik hasar, sadece görünüm bozucu kozmetik hasarlar niteliğindedir. Sıva düşmesi, çatlakların boyutlarının 3 mm düzeyine kadar genişlemesi şeklinde görünen hafif hasar, göreceli olarak daha fazla rahatsız edici olmasına rağmen yapıların dayanımını ve yapı elemanlarının yük taşıma kapasitelerini etkilememektedir. Duvarlarda geniş çatlaklar, duvar veya bacalardan taş, tuğla düşmesi sonucu yapılarda kalıcı şekil değiştirmeler oluşturan ve yapıyı zayıflatan tek hasar türü ise esaslı hasar olarak nitelendirilmektedir (Bilgin ve diğerleri 1999).

2.6 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERDE YAPISAL HASAR KRİTERLERİ

Uzun yıllardır bir çok araştırmacı ve kurum tarafından kabul görmüş patlatma kaynaklı titreşimlerin sebep olabileceği yapısal hasar kriterlerini altı ana grupta irdelemek mümkündür. Söz konusu gruplandırmayı temel alan faktör, değerlendirmenin yapıldığı parametre çiftlerinin farklılığı olmaktadır. Aşağıda yapısal hasar kriterlerinin inceleneceği ana veri çiftleri listelenmiş ve araştırmacıların konu ile ilgili yaklaşımları detaylandırılmıştır (Ak 2006, Karadoğan 2008).

- Titreşim enerjisi
- Parçacık hızı
- Parçacık hızı ve frekans
- Parçacık hızı ve mesafe
- Parçacık hızı ve ölçekli mesafe
- Parçacık hızı, yapı kalitesi ve proje zamanı

2.6.1 Titreşim Enerjisini Esas Alan Hasar Kriterleri Yaklaşımları

Titreşim enerjisini esas alan hasar kriterleri yaklaşımları aşağıda sıralanmıştır (Karadoğan 2008).

2.6.1.1 Rockwell'in Enerji Formülü

1934 yılında Rockwell patlatma sonucu meydana gelen titreşim enerjisinin

$$\text{Enerji} = f^2 \cdot A^2 \text{ ile orantılı olduğunu belirtmiştir.} \quad (2.21)$$

f: Frekans

A: Genlik

2.6.1.2 USBM Formülü

1942 yılında Birleşik Devletler Maden Bürosu (USBM), şarj miktarını, zemin karakteristiklerini ve uzaklığın etkilerini birlikte ele alarak aşağıdaki formülü geliştirmiştir (Thoenen ve Windes, 1942).

$$A = \frac{C^{\frac{2}{3}}}{100} \cdot (0.07e^{-0.0143d} + 0.001) \quad (2.22)$$

A : Yer sarsıntısının genliği (inç)

C : Şarj miktarı (libre)

d : Uzaklık (feet)

Yukarıdaki formülün kullanılabilmesi için beklenen titreşim hareketine uygun frekansın ve örtü tabakalarının derinliğine bağlı bir zemin faktörünün tahmin edilmesi gerekmektedir. Genlik formülü yaklaşık bir formül olduğundan, kompleks patlatma tasarımları için uygun görülmemiştir. Buna karşılık, ivme, zamanla yapısal hasar kriteri olarak öne çıkarılmıştır. 0.1 g'den daha düşük olan ivmeler güvenli, 0.1-1 g ikaz edici ve 1 g'den büyük olan ivmeler ise zarar verici olarak kabul görmüştür (g : yerçekimi ivmesi).

2.6.1.3. Crandell'in Enerji Oranı Formülü

1949 yılında Crandell "Enerji Oranı" yaklaşımını geliştirmiştir. Enerji oranına bağlı olarak hasar kriterleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

$$ER = a^2 / f^2 \quad (2.23)$$

ER : Enerji oranı

a : İvme

f : Frekans

Tablo 2.4 Crandell'in enerji oranına bağlı hasar kriteri

Enerji Oranı	Hasar Tahmini
< 3.0	Hasar yok
3.0 – 6.0	Uyarı
> 6.0	Hasar var

2.6.1.4. Langefors, Kihlström ve Westerberg'in Yaklaşımı

Langefors ve arkadaşlarının (1957) parçacık hızı ve yapı hasar gözlemine dayalı kriteri Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5 Langefors, Kihlström ve Westerberg'in Yaklaşımı

Parçacık Hızı (inç/sn)	Hasar Tahmini
< 2.8	Hasar yok
4.3	İnce çatlaklar, sıva dökülmesi
6.3	Taş duvarlarda ve sıvalarda çatlamlar
>9.1	Ciddi boyutlu çatlamlar

2.6.1.5 Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızı Yaklaşımı

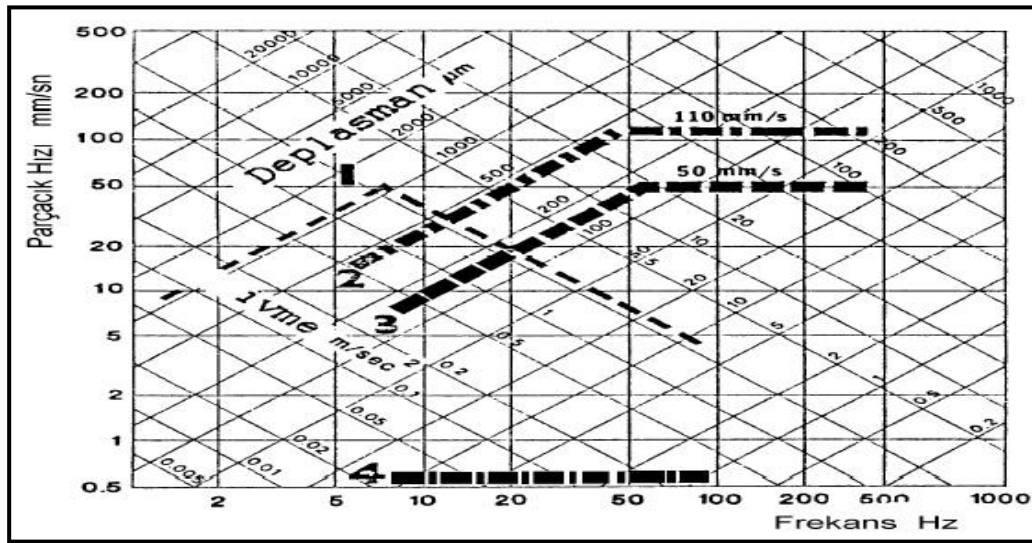
Edwards ve Northwood'un (1959) Kanada'da yaptıkları araştırmalar ışığında parçacık hızına bağlı hasar tahminleri Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6 Edwards ve Northwood'un Parçacık Hızı Yaklaşımı

Parçacık Hızı (inç/sn)	Hasar Tahmini
< 2	Hasar yok
2 – 4	Uyarı düzeyinde
> 4	Hasar var

2.6.1.6. Langefors ve Kihlström'un Yaklaşımı

Langefors ve Kihlström (1967) uzun yıllar boyunca yaptıkları araştırmalar sonucunda (çeşitli özellikteki zeminler üzerine kurulan binalar üzerinde), hasar kriteri olarak Şekil 2.13'de verilen nomogramı önermişlerdir. Bu yaklaşımda parçacık hızı, frekans, yer değiştirme ve ivme göz önüne alınmaktadır.



Şekil 2.13 Langefors ve Kihlström'un hasar kriteri nomogramı (Karadoğan 2008)

Söz konusu nomogramda; 1 numaralı eğri bir saniyeden daha az süreli titreşime maruz kalan binalar için üst sınırı, 2 numaralı eğri patlatma esnasında titreşimler nedeniyle binalardaki direkt hasarları, 3 numaralı eğri patlatma için üst limitleri, 4 numaralı eğri yöredeki insanların rahatsızlığına ve şikayetlerine neden olabilecek titreşim seviyesini göstermektedir.

Nomogram değerlendirildiğinde; 40 Hz üzeri frekanslarda parçacık hızı önem arz ederken, daha düşük frekanslar için deplasman değerlerinin daha önemli olduğu anlaşılmaktadır.

2.6.1.7. USBM'nin Yaklaşımı

1971'de Birleşik Devletler Maden Bürosu'nun yaptığı daha kapsamlı araştırmalar sonucu parçacık hızına bağlı hasar tahmini Tablo 2.7'de verilmiştir (Nicholls ve diğ., 1971).

Tablo 2.7 USBM'nin Parçacık Hızı Yaklaşımı

Parçacık Hızı (inç/sn)	Hasar Tahmini
< 2	Hasar yok
2 – 4	Sıvada çatlaklar
4 – 7	Hasar başlangıcı
>7	Yapıda aşırı hasarlar

2.6.1.8. Bauer ve Calder'in Yaklaşımı

Bauer ve Calder'in (1977) çeşitli ekipman ve muhtelif yapı türleri için parçacık hızına bağlı hasar tahmini Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8 Bauer ve Calder'in hasar kriteri (Bauer ve Calder, 1977)

Yapı Türü	Hasar Tanımı	Hasarın Başladığı Parçacık Hızı (inç/sn)
Evler	Sıvada çatlaklar	2
Yeni bir binadaki beton bloklar	Blokta çatlaklar	8
Muhafaza borulu sondaj delikleri	Yatay bükülmeler	15
Mekanik ekipman, pompalar, kompresörler	Şaft eğilmeleri	40
Beton temeller üzerine inşa edilmiş prefabrik metal binalar	Temel çatlakları, binada deformasyon (şekil değiştirme) ve çatlaklar	60

2.6.1.9. USBM'nin Son Patlatma Hasar Tahmini

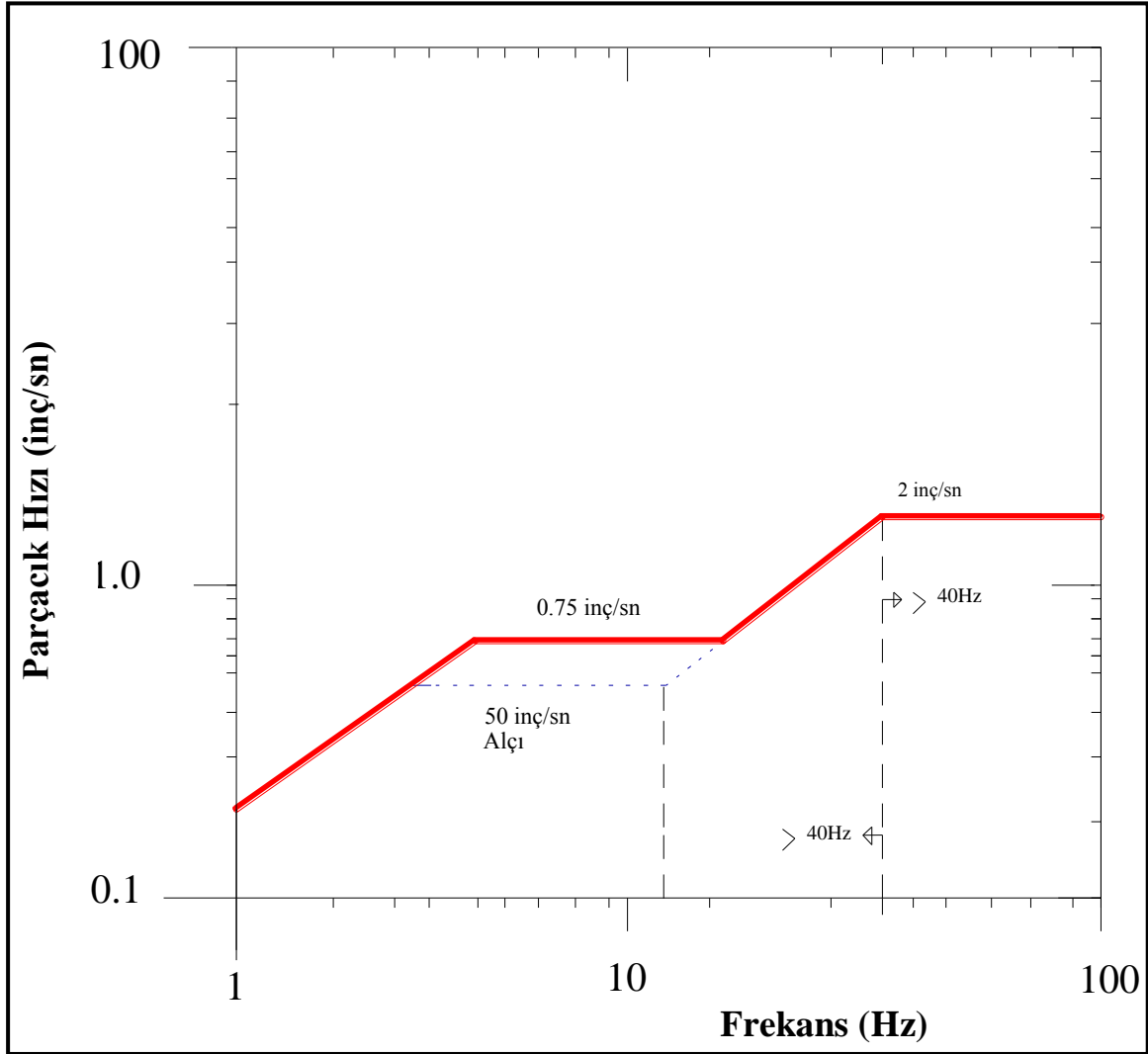
Birleşik Devletler Madencilik Bürosu, açık ocak patlatmalarından kaynaklanan titreşimlerin yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili 1980'de Siskind ve arkadaşlarına 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayınlamıştır (Siskind ve diğerleri 1980). Bu çalışmada, sadece parçacık hızlarının değil, frekansların da hasar oluşumunda etkili olduğu vurgulanmaktadır. USBM RI 8507 raporunda belirtilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Parçacık hızı hala en iyi yer titreşimini tanımlama ve kontrol aracıdır.
- Parçacık hızı, titreşime karşı tepki özellikleri iyi tanımlanmış bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır.

- Patlatmacı bütün atımları titreşim cihazı ile izleme yükümlülüğünü almamak için, emniyetli yönde bir yaklaşımla, ölçekli uzaklığın kareköklü uygulamasını seçer $\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)$. Bu tip ölçekli uzaklıkta titreşim seviyeleri 0.08-0.15 inç/sn (2-3.8 mm/sn) civarında olmaktadır.
- Düşük frekanslı (≤ 40 Hz) patlatmalarda zarar verme potansiyeli yüksek frekanslı (≥ 40 Hz) patlatmalarda söz konusu olan potansiyelden daha fazladır.
- Bina inşaat tipleri, minimum beklenen zarar seviyesine etki eden bir faktördür. Alçı panellerden oluşan (kuru duvar) iç duvarlar, eski tahta kalas üzeri sıva kaplamalı duvarlara göre titreşim zararına karşı daha dayanıklıdır.
- Pratik olarak düşük frekanslı yer titreşimleri yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 0.75 inç/sn (19 mm/sn), tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 0.50 inç/sn (12.7 mm/sn)'dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 2.0 inç/sn (51 mm/sn) olarak tavsiye edilir.
- Bütün evlerde; zamanla çeşitli çevresel basınçlardan, havadaki sıcaklık ve nem değişmelerinden, taban yerleşimlerinden doğan oturmalarından, yerdeki nem değişimlerinden, rüzgardan ve hatta ağaç köklerinin su emmesinden dolayı çatlaklar oluşur. Bunların sonucu olarak çatlak meydana geldiği (herhangi bir nedenden dolayı, örneğin kapıyı hızlı çarpmak) durumlarda; mutlak bir minimum titreşim limit değeri olmayabilir.
- 0.50 inç/sn (12.7 mm/sn) altında maksimum parçacık hızı oluşturan patlatmalarda zarar verme olasılığı; sadece çok az değil (en kötü durumda %5) aynı zamanda titreşim seviyelerinin bütün aralıkları için dikey ekseninde ortalama tahmin değerlerinden daha hızlı bir şekilde düşer.

Ayrıca USBM tarafından hem yapılarda ölçülmüş titreşim katlamalarını, hem de tahribat özelliklerini kullanan, alternatif olarak tavsiye edilen patlatma seviyesi kriterleri geliştirilmiştir. "Alternatif Kriter Analizi" olarak adlandırılan bu metot, daha düzgün bir

kıstas setidir (Şekil 2.14). Fakat hem hareketi hem de hızı içine alan daha detaylı bir ölçüme ihtiyaç gösterir. Bu sistem; 40 Hz altında en iyi tahribat kriterinin, frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum parçacık hızı olduğunu göstermektedir. Instanetel Minimate Plus Model titreşim kayıt cihazı çıktısında da bu norm mevcuttur. Cihaz; atım sırasında ölçülen parçacık hızı değerini kıyaslama için adı geçen norma işlemektedir.



Şekil 2.14 USBM'nin alternatif kriter analizi (Siskind ve diğerleri 1980)

2.6.1.10. OSM'nin Halen Geçerli Olan Kuralları

ABD Açık Ocak Madencilik Bürosu (Office of Surface Mining), yer titreşimi ve hava şokunu kontrol altına almak için patlayıcı maddelerin nasıl kullanılması gerektiği konusundaki son raporunu 8 Mart 1983 tarihinde yayınlamıştır. Bu kurallar patlatma etkinliklerinin kontrolü konusundaki yegane kurallardır ve açık ocak kömür

madenciliğinde uygulanmaktadır. OSM kuralları; patlatma sorumlusuna, aşağıdaki üç metottan birini kullanmasını tavsiye etmektedir (OSM, 1983).

1. Metod: Patlatmalı Kazıda Herhangi Bir Titreşim Ölçer Cihazının Kullanılmadığı Durumlarda Parçacık Hızının Sınırlandırılması Kriteri

Herhangi bir sismik izleme yapılmaksızın atım, Tablo 2.10’de gösterilen patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığa bağlı ölçekli mesafe tasarım faktörlerine uygun düzenlenmelidir.

Ölçekli mesafe faktörleri, uzaklıkla değişerek, maksimum parçacık hızlarının limitlerini değiştirmektedir. Bu metotta, Tablo 2.9’deki OSM ölçekli mesafe faktörleri uygulandığı sürece, atımlar süresince sismik kayıt almaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

Tablo 2.9 Uzaklığa bağlı müsaade edilen ölçekli mesafe faktörleri (OSM 1983)

Patlatma Noktasına Uzaklık		Sismik İzleme Yapılmadan Kullanılacak Ölçekli Mesafe Faktörü
ft	m	SD
0 – 300	0 – 90	50
301 – 5000	91 – 1500	55
> 5000	> 1500	65

2. Metod: Titreşim Ölçer Cihazı Kullanılması Durumunda Ölçekli Mesafe Eşitliği Kriteri

Her patlatmanın, maksimum parçacık hızını izleyebilecek kapasitede bir sismograf tarafından izlenmesi gerekmektedir. Maksimum parçacık hızı Tablo 2.10’da gösterilen seviyelerin altında kaldığı müddetçe operatör kurallara uymaktadır. Her gecikme için patlayıcı madde miktarını hesaplamada izin verilen değerler; çok sıkı bir biçimde ölçekli mesafe faktörüyle sınırlandırılmamıştır. Böylelikle operatör daha büyük atımlar tasarlayabilir, daha büyük çapta delik açabilir ve daha büyük basamak veya daha geniş delik paterni kullanabilir. Eğer patlatma sonucunda aşağıda belirtilen uzaklıklar için

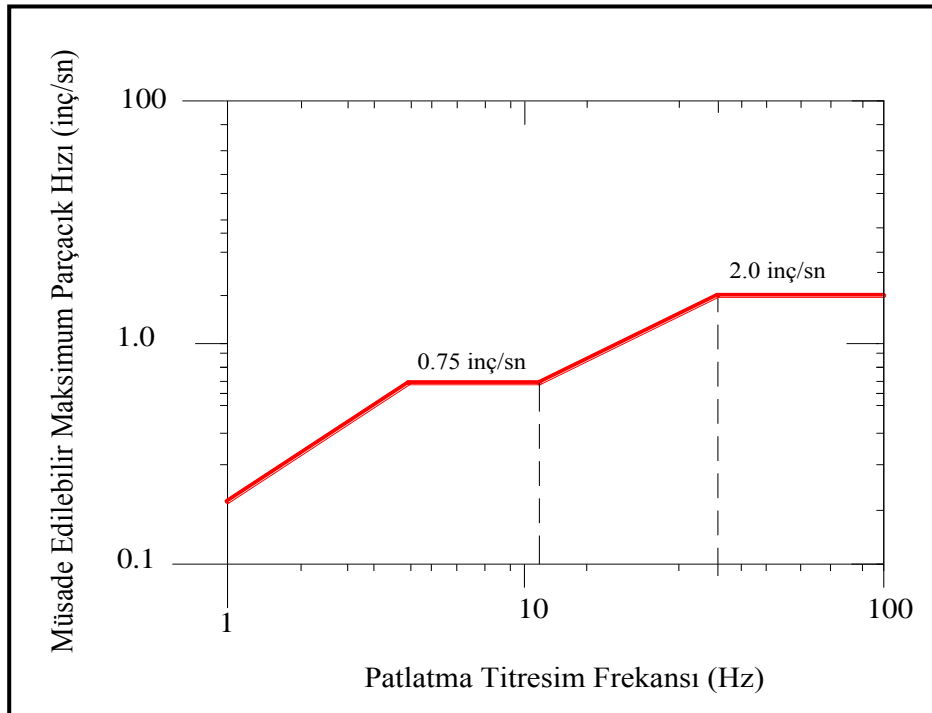
öngörülen titreşim seviyesi aşılsa, OSM'nin öngördüğü ceza uygulanır. Patlatma noktasının en yakın yapıya mesafesi arttıkça, izin verilen hız artmaktadır. Bu durum uzak mesafelerde parçacık hızından daha çok baskın olan düşük frekansların zarar verme potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır

Tablo 2.10 Patlatma noktasından belirli uzaklıklarda maksimum parçacık hızları (OSM,1983)

Patlatma Noktasına Uzaklık		Maksimum Parçacık Hızı	
ft	m	inç/sn	mm/sn
0 – 300	0 – 90	1.25	31.75
301 – 5000	91 – 1500	1.00	25.40
> 5000	> 1500	0.75	19.05

3. Metod: Frekans Esaslı Patlatma Seviyesi Grafiği Kriteri

Patlatma sorumlusunun frekansla birlikte değişen parçacık hızı seviyelerini (Şekil 2.15) kullanmasına izin verilir. Bu metotta, patlatmadan kaynaklanan yer titreşimi dalga frekanslarının analizinin ve her atımın parçacık hızı ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.15 OSM'nin alternatif kriter analizi (OSM 1983)

Baskın frekansları bulmak için, dalga şekli analiz edilmekte ve bu frekanslara gelen parçacık hızları belirlenmektedir. Birçok durumda, her bir frekansın şiddetini analiz etmek için elektronik cihazlara ve yetenekli bir sismolog tarafından yapılması gereken sayısal analizlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu metot, patlatmalardan dolayı kaynaklanan meskun binalara ve hatta insanlara yönelik potansiyel zararları değerlendirmede en iyi yöntemi temsil etmektedir.

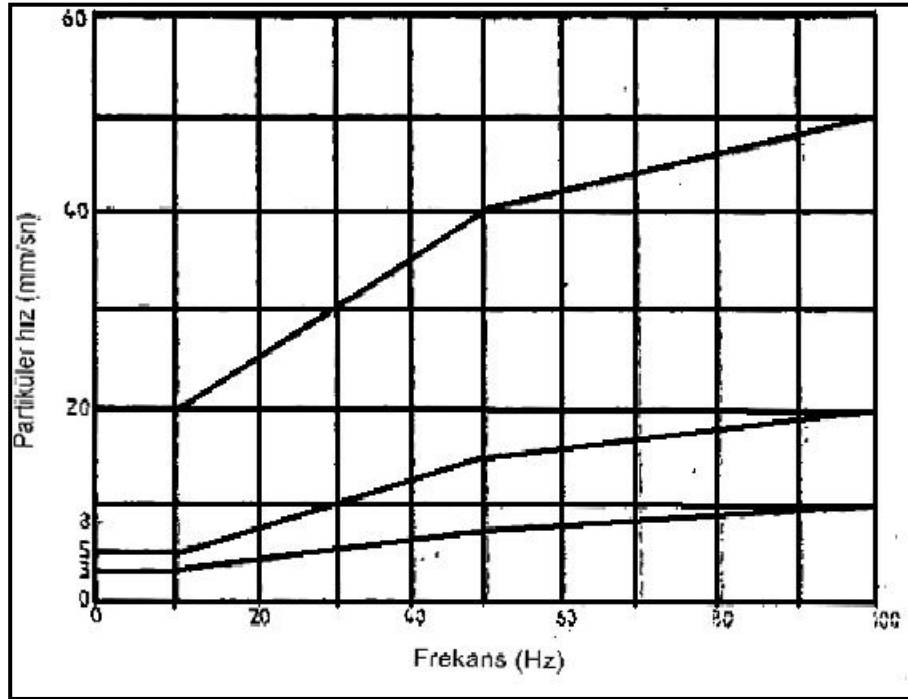
OSM kurallarındaki bu yöntem, USBM tarafından tavsiye edilen metottan farklıdır. Şekil 2.32'deki grafik çizgisinin herhangi bir yerinde; altında kalan, belirli bir baskın frekansa karşılık gelen herhangi bir parçacık hızı emniyetli kabul edilmektedir. Grafik çizgisinin herhangi bir kesiminin yukarısında kalan değerler, bina tahribatı ve insanlara zarar verme riskini artırmaktadır. Grafiğin yorumundan da anlaşılabilceği gibi, titreşim frekansı arttıkça belirli değerdeki bir parçacık hızının hasar riski önemli ölçüde azalmaktadır.

2.6.1.11. DIN 4150 Alman Normu

DIN 4150 Alman Normu'nda frekansa bağlı olarak değişen parçacık hızı değerleri yapı türüne göre Tablo 2.12 ve Şekil 2.16'da verilmektedir. Bu norm grafiksel bazda incelendiğinde, en alttaki çizgi kerpiç, eski yıpranmış tarihi eserler gibi sağlam olmayan yapılar, ortadaki kırıklı çizgi yığma tuğla, beton gibi nispeten dayanıklı yapılar, üsteki kırıklı çizgi ise betonarme çelik konstrüksiyon gibi dayanıklı yapılar için titreşim frekansına göre parçacık hızı sınırlarını belirlemektedir (Schillinger, 1995).

Tablo 2.12 DIN 4150 Alman Normunda yapı türü ve frekansa göre parçacık hızı sınırları

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



Şekil 2.16 DIN 4150 Alman Normu (Schillinger, 1995)

2.6.1.12. İsveç Standardı

İsveç standardı 1989 yılında kabul edilmiş ve 1991’de tekrar gözden geçirilip düzeltilmiştir. Bu standart binalar için patlatma kaynaklı titreşimler için kılavuz seviyelerinin hesaplanmasında son derece faydalıdır. Kılavuz seviyeler halk

şikayetlerini ya da titreşime duyarlı elektron mikroskop, bilgisayar gibi ekipmanları kullanmamaktadır. Verilen kılavuz noktaları izin verilen titreşim veya eşik seviyelerinin belirlenmesinde kullanılmalıdır. İsveç Standardı, sadece düşey parçacık hızını kullanır fakat belirli durumlarda üç bileşenin de kullanılmasını tavsiye eder. Titreşimler eğer mümkünse titreşim dalgalarının bina ile bulunduğu nokta olan bina temellerinde ölçülmelidir.

Kılavuz Seviyeleri:

Bu seviyeler, düşey parçacık hızı bileşeni ile değişik jeolojik zeminlere oturmuş binalar üzerinde oluşan hasar arasındaki korelasyona bağlıdır. Kılavuz seviye aşağıdaki şekilde formülize edilir:

$$V = v_0 \times F_k \times F_d \times F_t \quad (2.24)$$

Burada v_0 düzeltilmemiş düşey parçacık hızını, F_k inşaat kalite faktörünü, F_d patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe faktörünü, F_t ise patlatma işlemlerinin süreceği toplam proje süresini ifade etmektedir (Tablo 2.13, Tablo 2.14, Tablo 2.15).

Tablo 2.13 Düzeltilmemiş düşey parçacık hızı

Zemin	V_0 (mm/s)
Gevşek buzultaş, kum, çakıl, kil	18
Sağlam buzultaş, şeyl, yumuşak kireçtaşı	35
Granit, gnays, sert kireçtaşı, kuvarsit, kumtaşı, diyabaz	70

Tablo 2.14 Bina faktörü

Sınıf	Sınıf Bina veya İnşaat Tipi	F_b
1	Ağır inşaat, köprüler, liman ayakları, ve sivil savunma inşaatları gibi	1.70
2	Endüstriyel ve ofis binaları	1.20
3	Standart konut türü binalar	1.00
4	Hassas özel yüksek kemerli dizayn edilmiş binalar veya geniş sütun aralıklı inşalar, örneğin kiliseler ve müzeler	0.65
5	Hasar alabilecek durumda belli oranda hasarlı tarihi binalar	0.50

Tablo 2.15 Proje zaman faktörü

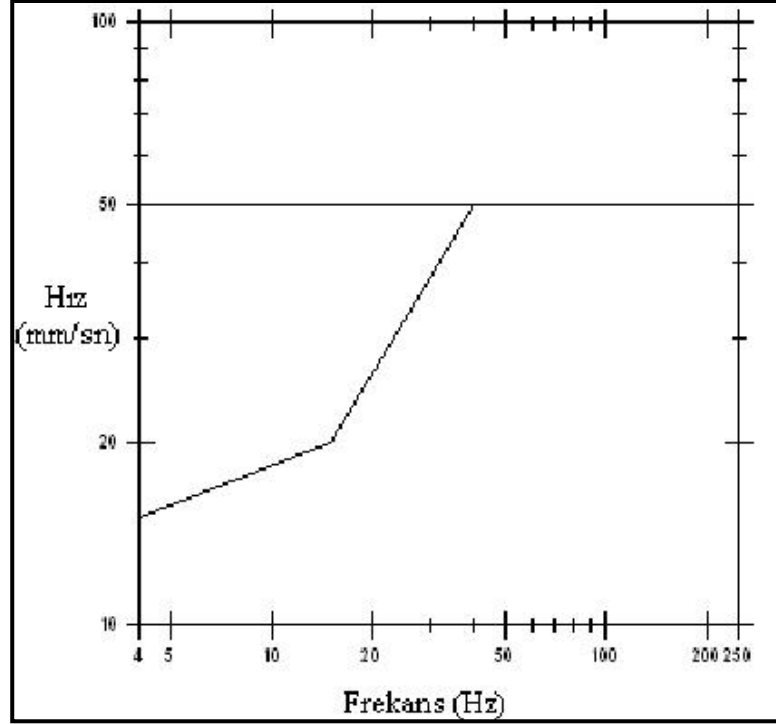
Patlatma Aktivite Türü	F_t
Tüneller, mağaralar, karayolları gibi inşaat işleri	1.0
Taşocakları ve madenler gibi sabit işler	0.75 – 1.0

2.6.1.13. İngiliz Standardı

İngiliz Standardı BS 7385-Bölüm 2: 1993 “Binalarda Titreşim Ölçümü ve Değerlendirmesi”, tayin edilen titreşimden kozmetik bina hasarı olasılığına karşı, titreşimin önerilen maksimum seviyelerini vermektedir. Makul derecelerde ispat edilmiş yukarıda bahsedilen kozmetik hasarın, en düşük titreşim seviyelerine dayanan bina titreşimi için kılavuz değerleri sunulmuştur. Bu değerler aşağıda verilen Tablo 2.16 ve Şekil 2.17’de detaylandırılmıştır (Anon, 2006).

Tablo 2.16 Kozmetik hasar için geçici titreşim klavuz seviyeleri (Anon, 2006)

Bina Türü	Baskın darbenin frekans dağılımındaki parçacık hızının en yüksek bileşenleri (PPV)	
	4 – 15 Hz	15 Hz ve üzeri
Konut ve hafif ticari binalar	4 Hz’de 15 mm/sn’den artarak 15 Hz’de 20 mm/sn	15 Hz’de 20 mm/sn’den artarak 40 Hz’de 50 mm/sn
Endüstriyel ve ağır ticari binalar	4 Hz ve üzeri 50 mm/sn	



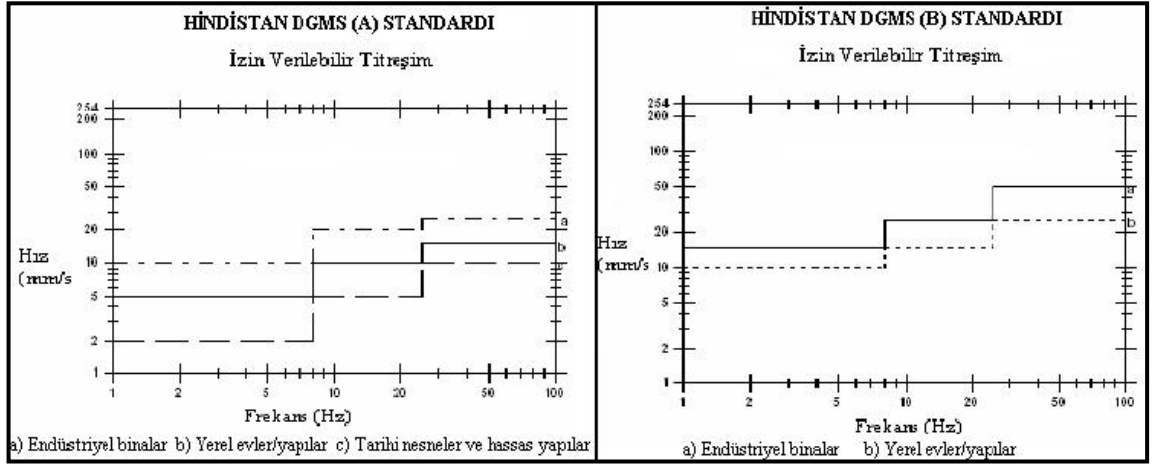
Şekil 2.17 İngiliz Standardı BS 7385-Bölüm 2: 1993 (Anon, 2006)

2.6.1.14. Hindistan Standardı (IS)

Mevcut Hindistan Standardı olarak bilinen, baskın uyarma ve yapı tiplerine dayanan 29 Ağustos 1997 tarihli 7 sayılı DGMS (Tech) (S&T) Genelgesinde bahsedildiği gibi, yapılara bitişik zeminde en yüksek parçacık hızı (PPV) Tablo 2.17’de verilen değerleri aşamaz (Şekil 2.18).

Tablo 2.17 Madencilik alanlarında yapıların altyapı düzeyinde izin verilebilir maksimum parçacık hızı (PPV) (Adhikari ve diğerleri, 2005)

Yapı Tipi	Baskın Uyarım Frekansı (Hz)		
	< 8 Hz	8 – 25 Hz	> 25 Hz
(A) Binalar/Yapılar sahibine ait değil			
i) Konut türü yapılar (tuğla ve çimento)	5	10	15
ii) Endüstriyel binalar (Çerçevesiz yapılar)	10	20	25
iii) Tarihi nesnelere ve hassas yapılar	2	5	10
(B) Sınırlı açıklıklı sahibine ait binalar			
i) Yerel evler/yapılar (tuğla ve çimento)	10	15	25
ii) Endüstriyel binalar (Çerçevesiz yapılar)	15	25	50



Şekil 2.18 Hindistan DGMS Standardı (Basu ve Sen, 2005)

2.6.1.15. Fransa Standardı

Fransa Standardı (87/70558) Tablo 2.18’de görülmektedir.

Tablo 2.18 Fransa Standardı (Basu ve Sen, 2005)

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

2.6.1.16. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği

Ülkemiz Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 01.07.2005 tarihli 25862 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin beşinci bölümü olan Çevresel Titreşim Esas ve Kriterleri, Yerleşim alanlarında çevresel kaynaklar için titreşim kriterleri başlığı altında 29-a maddesinde, çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar verilmiştir: Bu maddeye göre, Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunan alanlardaki patlamaların çevredeki yapılara zarar vermemesi için, en yakındaki yapının dışında, zeminde ölçülecek titreşim düzeyi Tablo 2.19’da verilen değerleri geçemez. Ölçümler üç yönde yapılır ve bunlardan en yüksek olanı alınır. Titreşimler 1/3 oktav bantlarında tepe değeri olarak ölçülür (Anon, 2005).

Tablo 2.19 Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri (Anon, 2005)

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

2.7 LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan olumsuz çevresel etkilerden titreşim hareketinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi konusunda literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Aşağıda, konu ile ilgili daha önce yapılmış olan araştırmalar özetle yer almaktadır.

2.7.1 Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Stagg ve diğerleri (1984), yaptıkları çalışmada tekrarlanan patlatma kaynaklı zemin titreşimlerinin etkisini incelemek amacıyla bir kömür ocağı çevresinde taşıyıcı sistemi ahşap elemanlardan oluşan bir test yapısı inşa etmişlerdir. Söz konusu test yapısı, parçacık hızları 0.10 ve 6.94 in/s aralığında değişen 587 üretim atımı etkisine maruz

kalmıştır. Faaliyetler öncesi kozmetik ve kılcal çatlaklar 0.01 mm ile 010 mm genişlik seviyesindeyken, zemin titreşimleri 1.0 in/s değerini aştığında söz konusu çatlaklar 0.3 mm ile 1.0 mm genişlik değerlerine yükselmiştir. İnsan aktivitesi, sıcaklık değişimi ve havadaki nem oranı duvarlarda şekil değiştirmelere sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Siskind ve Stagg (1985), yapıların çevresinde gerçekleştirilen patlatma faaliyetlerinde genellikle hasar potansiyelinin değerlendirilmesi adına titreşim ölçümlerinin yapıldığı belirtmişlerdir. Söz konusu titreşim ölçümleri için farklı metotlar kullanıldığı belirten yazarlar, buna rağmen dünyada pratik ve nitelikli ortak bir görüşün bulunmadığına dikkat çekmiştir. En iyi patlatma faaliyetinden kaynaklanan titreşim izleme metodunu belirlemek amacıyla farklı metotlar üzerinde çalışmalar yapmıştır.

Siskind ve arkadaşları (1993), kömür ocağında meydana gelen patlatma faaliyetlerinden etkilenen 7 adet yapı üzerinde araştırmalar yapmıştır. Araştırmacılar, titreşim ve hava şoku parametrelerini izlemişler, patlatma faaliyetleri öncesi ve sonrasında çatlak düzeylerini ve diğer dinamik yapı karakteristiklerini incelemiştir. Patlatma kaynaklı titreşimler neticesinde titreşim hareketlerinin ivme ve frekans değerlerini, hava şoku etkisini ve söz konusu etkilerin yapılardaki çatlakların üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Siskind ve arkadaşları (1994), boru hattı yakınlarında gerçekleşen patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan etkilerin edilmesi konusunda çalışmalar yapmıştır. Çapları 17 cm ile 51 cm arasında değişen çelik borular ve 22 cm çapında PVC borular kullanılarak göçme testleri için 76 m uzunluğunda bir boru hattı düzeneği hazırlanmış ve titreşim, deformasyon ve basınç etkileri 6 aylık bir süreçte gözlemlenmiştir. Boru hattında patlatmadan kaynaklanan herhangi bir kalıcı deformasyon veya basınç göçmesi durumuna rastlanmamıştır.

Erkoç ve Esen (1996), patlatma etkisi ile meydana gelen titreşimlerin izlenmesinde ölçüm amacına uygun cihaz kullanımını ve arazinin yapısal jeolojisinin titreşim ölçer cihazlarının kaydettiği dalga formlarında yaptığı etkileri araştırmıştır. Titreşim ölçer cihazların sonuçlarının her parametreyi doğru olarak vermediğini göz önünde

bulundurmak gerektiğini belirtmişlerdir. Kütle hızı ölçen cihazların deplasman, ivme gibi parametreleri ancak çeşitli yaklaşımlar ile elde ettiği vurgulanmıştır. Kaya yapıları, zaman zaman beklenmeyen dalga formları oluşturabildiğinden bu gibi durumlarda, titreşim ölçer cihaz sonuçlarının gerekli analiz çalışmalarının (FFT analizi ve filtre ek işlemleri) yapılması gerektiği, söz konusu çalışmaların sonunda arazi sönümlenme katsayılarının elde edilebileceği belirtilmiştir.

Kahriman ve diğerleri (1999) tarafından yapılan çalışmada patlatma kaynaklı titreşimlerin yapılar üzerinde neden olabileceği hasar kriterleri ile ilgili yaklaşımlar değerlendirilmiş, örnek bir saha için 35 atımdan elde edilen ölçüm sonuçları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Söz konusu çalışmada ülkemizin, konu ile ilgili standart ve kriterler açısından yetersiz kaldığı vurgulanmıştır.

Kahriman ve arkadaşları (1999), çalışmalarında bir kireçtaşı ocağında basamak patlatması sonucu oluşan titreşim ölçüm sonuçlarını yer vermektedirler. Kireçtaşının egemen olduğu sahada titreşim kayıtlarından alınan parçacık hızı ve belirlenen ölçekli mesafe parametreleri arasında iyi dereceli korelasyonlu bir ampirik ilişki saptanmıştır. Söz konusu türden bir ilişki kullanılarak, belirli mesafeler için gecikme başına izin verilebilecek en fazla şarj miktarları tablo veya grafikler halinde ifade edilebileceği ve bu sayede faaliyeti gerçekleştirenlere kolaylık sağlanabileceği belirtilmiştir. Aynı zamanda sadece parçacık hızı parametresinin tahmininde kullanılan söz konusu formülasyonun çeşitli etkiler nedeniyle düzensiz sonuçlar verebileceği belirtilmiştir. Formülasyonu desteklemek amacıyla daha fazla olayın farklı yönlerde izlenmesi ve Regresyon analizlerinin daha fazla ölçüm sonuçları dikkate alınarak güncellenmesi gerektiğine değinmişlerdir.

Bilgin ve diğerleri (1999), bir açık ocakta yapılan dekapaj patlatmalarının çevre bölgelerdeki etkisini araştırmışlardır. Her iki hedef yönde zemin titreşimleri farklı tarihlerde zeminde ve yapılarda aynı anda kayıt altına alınmıştır. Yapıları uyaran ve zeminden gelen titreşim dalgasının yapıya hangi oranda iletildiğini ve dalga şiddetinin hangi oranda arttığını araştırmışlardır. Söz konusu çalışma neticesinde yapılarda oluşması muhtemel hasarların tahmininde klasik yaklaşımların tek başına yeterli

olamayacağı, titreşim ölçümlerinin hem zeminde hem de yapılarda eş zamanlı yapılması ve ayrıntılı analizler ile sonuçlandırılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Bilgin ve arkadaşları (2000), yaptıkları çalışmada açık kömür ocağında yapılan patlatmaların yol açtığı titreşimlerin ölçümleri yorumlamışlardır. Zeminde 20 adet, binalarda ise 7 adet olmak üzere toplam alınan 27 adet titreşim kaydının USBM ve OSMRE standartlarına uyduğu çevre yapılarda patlatmadan kaynaklanan titreşim hareketinin sebep olabileceği herhangi bir yapısal hasarın meydana gelmeyeceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarının sonunda, sismograflarca kayıt edilen dalga formlarının düşük frekanslı ve yüksek genlikli olduğu görülmüş, en yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkileri %50 ve %95 güvenilirlikle belirlenmiştir.

Ma ve diğerleri (2000) yaptıkları çalışmada, yüzey yapıları için kabul edilebilir titreşim seviyeleri geliştirmişlerdir. Söz konusu titreşim seviyelerinin, yapı tipi, buldukları ortam koşulları gibi parametrelere bağlı olabildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada, titreşim dalgalarına maruz yüzey yapılarında hasar dereceleri sunulmuştur. Yer hareketleri Autodyn adında bir yazılım ile oluşturulmuş, nümerik olarak oluşturulan yer hareketi simülasyonunun gerçeğe yakınlık derecesi çeşitli kıyaslamalarla doğrulanmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında, yapı tipi, şarj mesafesi, ortam koşulları ve patlatma koşulları gibi parametrelere yer vermişlerdir. Söz konusu parametreler kullanılarak, İngiliz standartlarında üç adet yapı modeli tasarlanmış, elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Siskind ve arkadaşları (2000), yüzey kazılarında patlatmadan kaynaklanan yer titreşimlerinin olası hasarlarını, rahatsızlıklarını ve emniyet seviyelerini tayin etmek için 79 adet yapıda 219 adet üretim atımının meydana getirdiği karakteristikler ölçülmüştür. Konutlar için patlatma kaynaklı titreşimlerde emniyet seviyesi 0.5 ile 2.0 in/sec olarak sınıflandırılmıştır. Yapılarda başlangıç hasarının yüzeysel ve kozmetik çatlaklar olarak oluştuğu gözlemlenmiştir. Yapılarda sıvalı iç duvarlar modern alçı duvar kaplamalarına göre patlatma kaynaklı titreşim etkisinde daha hassas olduğunu belirtmişlerdir. Yapısal tepki büyütme faktörleri ölçülmüş, yapılar için tipik değerler 1.5, orta duvarlar için 4 olarak elde etmişlerdir. Patlatma faaliyetinin gerçekleştiği bölgeye yakın yaşamlarını

sürdüren insanların tepkilerini tetikleyen iki faktörden birini duvarlardaki çatırtılar, diğerini ise patlatma anında meydana gelen yüksek gürültü olarak değerlendirmişlerdir.

Kahriman (2001), İstanbul yakınlarındaki organize sanayi bölgesindeki patlatmalı kazı çalışmasının sebep olduğu 149 adet patlatma faaliyetini, söz konusu parçacık hızı tahini yapabilmek için incelemiştir. Elde edilen 149 adet titreşim bilgi dizisi ile yapılan çalışmalar neticesinde geliştirilen ölçekli mesafe ve parçacık hızı arasındaki bağıntının %50 ile %95 tahmin limitleri arasında olduğu belirlenmiştir. Söz konusu bölgede geçmişte yapılmış patlatma faaliyetleri için değerlendirme ve gelecekte yapılabilecekler için ise öneriler getirmiştir. Konu ile ilgili, ülkemizde henüz kabul edilebilir bir şartname olmadığı ve bu nedenle atımların izlenmesinin önem taşıdığını belirtmiştir.

Arpaz ve Ceylanoğlu (2001), literatürdeki 12 farklı tepe parçacık hızı tahmin yöntemini ve 9 farklı hasar ölçütünü değerlendirmişler, açık işletmelerdeki patlatma kaynaklı titreşim ölçümlerinin, daha önceki çalışmalar da dikkate alınarak, hızlı ve güvenilir bir şekilde değerlendirilebilmesi amacıyla bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir.

Arpaz ve Ceylanoğlu (2001), belirli bir kaya biriminde değişik şarj miktarları kullanılarak oluşturulan titreşim ve hava şoku parametrelerini farklı yön ve mesafelerde ölçmüşler, ölçüm sonuçlarını, ölçüm yönünü de dikkate alarak literatürde bulunan on bir değişik tepe parçacık hızı tahmin yöntemine göre değerlendirmişlerdir. Yapılan regresyon analizleri neticesinde, parçacık hızı tahmininde sadece patlayıcı madde miktarının ve ölçekli mesafenin değil, aynı zamanda ölçüm yönünün de dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Dhakal ve Pan (2002), yaptıkları çalışmada, zemin şoku etkisine karşı yapısal tepkiyi kavramsal olarak araştırmışlardır. Patlatmadan kaynaklanan zemin şoklarının temel karakteristikleri olan geniş genlik ve yüksek frekansın getirdiği yapısal tepkinin karakteristiklerini incelemek amacıyla, basitleştirilmiş lineer yapı modelleri üzerinde nümerik çalışmalar yapmışlardır. Yapıların patlatma etkisi karşısındaki tepkilerinin nitelik bakımından anlaşılabilmesi için, 2 katlı betonarme çerçeve sistem üzerinde sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, patlatma faaliyeti ile meydana

gelebilecek etkilere karşı maksimum yapısal tepkinin öncelikli olarak itki miktarına bağlı olduğunu, söz konusu etkenin de büyük zemin şokundan hemen sonra oluşabileceğini belirtmişlerdir. Güçlü titreşim şokuna maruz kalan yapıların veya yapı elemanlarının ani bir kesme etkisinden kaynaklanan göçme durumu ile karşı karşıya kalabileceğini vurgulanmış, buna rağmen; bir yapının dayanımı ani şok safhasında kesme etkisinden kaynaklanan göçme tehlikesini atlatmaya yeterli olsa da, sonraki serbest titreşim hareketleri boyunca birtakım hasarlar görebileceğini belirtmişlerdir.

Kahrıman ve arkadaşları (2002), yaptıkları çalışmada, açık maden ocaklarında karşılaşılan başlıca rahatsızlık verici durumların zemin titreşimi, hava şoku ve kaya fırlaması olduğuna değinmiş, söz konusu olumsuz etkilerin bazı durumlarda çevre yapıların hasar görmesine sebep olabildiğini, bununla beraber faaliyet alanı çevresinde yaşayan insanların bu durumdan olumsuz etkilenebildiklerini vurgulamışlardır. Zemin titreşimi bileşenlerinin tahmininin, patlatma faaliyetlerinden doğabilecek olumsuz çevre etkilerinin en aza indirgenebilmesi açısından önem taşıdığını belirtmişlerdir. Söz konusu çalışmada, olumsuz çevresel etkileri azaltmak ve patlatma faaliyetlerini kontrol altına almak için faaliyetlerde meydana gelen titreşimlerin parçacık hızının tahmini amaçlanmış ve bu doğrultuda gerçekleşen patlatma faaliyetleri için uzun bir faaliyet optimizasyonu süresince zeminde meydana gelen titreşim bileşenleri ölçülmüştür.

Çalışmada, ölçekli mesafe parametresi belirlenmiş, titreşim bileşenleri ise White Mini-Seis model titreşim izleme cihazları ile ölçülmüştür. Toplam 348 patlatma faaliyetinden alınan kayıtlar uluslararası standartlardaki hasar kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasında kabul edilebilir bir korelasyon ve deneysel bir bağıntı elde edilmiştir. Çalışmaya konu olan patlatma faaliyetlerinin çevre yapılara zarar vermeyecek düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Söz konusu alanda gelişmiş ülkelerde çeşitli standartlar bulunduğu, ülkemizin ise yetersiz kaldığına yer verilmiştir.

Kahrıman (2002), yaptığı çalışmada Çanakkale'nin Çan ilçesinde bulunan ve yerleşim birimine yakın açık linyit ocağındaki patlatma faaliyetlerini incelemiştir. Parçacık hızı tahmini için patlatma faaliyetlerinin meydana getirdiği titreşim bileşenleri ölçülmüş,

ölçekli mesafe parametresi 54 faaliyet için elde edilmiştir. Elde edilen veri çiftlerinin değerlendirilmesi ile titreşim frekanslarının test alanında oldukça düşük seviyelerde olduğu belirtilmiştir.

Ak ve Konuk (2003), çalışmalarında bir taş ocağında patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin, ocak çevresindeki yerleşim biriminde bulunan yapılara etkisini araştırmışlardır. Söz konusu sahada yapılan atımların ölçülen parçacık hızı ve frekans değerleri, yaygın kullanım alanına sahip hasar kriterleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırmalar sonucunda yerleşim birimine ait yapılarda herhangi bir hasarın söz konusu olabilmesi için gerekli olan gecikme başına düşen maksimum patlayıcı miktarı belirlenmiştir.

Kuzu ve diğerleri (2003), yaptıkları çalışmada İstanbul ilindeki bazı ocaklardaki patlatma kaynaklı titreşimleri incelemişlerdir. Yapılan ölçüm çalışmalarından elde edilen bilgiler, Alman DIN, Amerikan OSMRE, İngiliz BS ve benzeri standartlar göz önüne alınarak irdelenmiştir. Çalışmada, Amerikan USBM (U.S. Bureau of Mines) ve OSMRE (Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement) yaklaşımlarından hareket edilerek yapılan üretim atımlarına ait parametreler ve oluşan titreşim değerleri açısından söz konusu kaynakların limitlerinin altında kaldığı belirtilmiştir.

Kahriman (2004), patlatma kaynaklı yer sarsıntılarında, titreşim parametrelerinden biri olan parçacık hızının tahmini için İstanbul-Türkiye’ de kireçtaşı ocaklarında araştırmalar yapmıştır. Toplam 73 adet patlatma faaliyeti incelenmiş ve titreşim bileşenlerine ait kayıtlar tutulmuştur. Söz konusu patlatma faaliyetlerine ait ölçekli mesafe ve parçacık hızı bilgi çifti üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler ile birlikte, parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasında ampirik bir korelasyon tespit etmiştir.

Özer ve Dağ (2004), petrol botu hattı yakınından geçen bir otoyol inşaatında başarılı bir patlatma tekniği ve tasarımı geliştirmek adına çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada, patlatma noktasına 450 m mesafeden daha yakın mesafelerde yapı bulunduğu ortamlarda patlatma yapılması kaçınılmaz ise yapının durumu da göz önüne alınarak,

delik düzeni, gecikme aralığı ve uygun gecikme başına şarj miktarlarının kullanılmasının titreşim sorunlarının minimumda tutulması açısından önemli olduğunu belirtmişleridir. Kabul edilebilir tanecik hızı limitinin belirlenmesi ve test atımı ile söz konusu limitin aşılmadığı kontrolünün yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Erçikdi ve diğerleri (2004), Trabzon ili, Araklı ilçesinde Taşönü kalker ocağında üretim esnasında patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin çevrede bulunan okul, cami, tarihi yapılar ve konutlara olan yapısal etkilerini araştırmışlar, elde ettikleri verileri uluslararası standartlarla karşılaştırmışlardır. Yaptıkları 31 adet ölçüm neticesinde parçacık hızı - ivme, parçacık hızı – yerdeğiştirme ve frekans – yerdeğiştirme arasındaki ilişkileri değerlendirmişlerdir.

Cihangir ve diğerleri (2005), bir kalker ocağında yapılan üretim patlatmalarından kaynaklanan titreşimlerin çevredeki okul, cami, tarihi yapı ve konutlar üzerindeki olası etkilerini araştırmışlardır. Yazarlar, patlatma faaliyetlerine yakın bölgelerde bulunan yapıların %10'u betonarme, bazılarının blok taşlı, bazılarının ise temeli yığma blok taşlı ahşap evler olduğunu belirtmişlerdir. Söz konusu yapıların çoğunda atımlardan kaynaklanan tuğla kesmeleri, sıva çatlakları, sıva dökülmeleri ve yığma duvarların yıkılması gibi çeşitli hasarlar yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Elde edilen 49 adet atım ölçüm değerlerinin analizi ile tespit edilen parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasındaki ampirik bağıntılar incelendiğinde, ölçümle bulunan değerler ile saha ve atımlardan elde edilen formülasyonlar aracılığıyla tahmin edilen değerler arasında büyük farklılıklar olabileceği belirtilmiştir. Tüm atımlar için geliştirilen genel eşitlik kullanılarak benzer atımlardaki muhtemel titreşim değerleri, ölçme ekipmanına gerek olmadan belirli güvenilirlikte, belirli bir zaman için tahmin edildiğinde gerçekleşen değerler ile çok farklı sonuçlar verebileceği ortaya konulmaktadır. Bu nedenle yazarlar, söz konusu incelemenin istasyon bazında yapılması durumunda daha tutarlı ve doğruya yakın değerler alınabileceğini belirtmektedirler.

Tanaka ve diğerleri (2005), geniş ölçekli bir maden alanında titreşim testleri yapmışlardır. Söz konusu testlerde patlatma faaliyetinden elde edilen yer hareketleri uyarıcı kuvvet etkisi olarak ele alınmıştır. Yapılan çalışmada patlatmadan kaynaklanan

etkiler altında, kazık ihtiva eden temellere sahip yapıların dinamik etkiler altında davranışı ve temel bloğunda bulunan kazık grubunun etkisi incelenmiştir. Araştırmalar için, 4 metre derinliğe uzanan iki adet test yapısı oluşturulmuştur. İlk test yapısının temel bloğunda 25 adet, diğer test yapısında ise 4 adet kazık bulunmaktadır. Test yapılarında tek tip üst yapı tasarlanmıştır. Zeminde iyi bir sıkışma sağlanması granüle edilmiş dolgu malzemesi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Test yapılarında, yapılara ait temel bloklarında ve bitişik alanlarda çeşitli ölçümler yapılmıştır.

Farklı yer hareketi seviyelerinde altı farklı titreşim testi yapılmış, maksimum yatay ivme değerleri kaydedilmiştir. Bitişik zemin yüzeylerinde, patlatma noktası ve test alanı arasındaki mesafeye bağlı olarak 57 m/sn^2 ile 1683 cm/sn^2 aralığında ivme değerleri elde edilmiştir. Maksimum gerilme değeri ise, temel bloğunda 4 adet kazık bulunan test yapısının en üst noktasında 13.400 micro-strain olarak bulunmuştur. Titreşim testleri boyunca aynı yapıda doğal frekans, 6 Hz ile 2 Hz arasında değişirken, temel bloğunda 25 adet kazık bulunan yapının doğal frekans değeri, zemin ile kazık elemanlar arasındaki kuşatma ve sıkışma nedeni ile 8 Hz ile 6 Hz arasında elde edilmiştir. Her iki test yapısında da eğilme momentleri ve eksenel yükler kazıkların en üst noktalarında maksimum değerlerine ulaşmış, söz konusu kesit tesirleri temel bloğundaki dış hatlarda bulunan kazıklarda, iç bölümdeki kazıklara göre daha büyük değerlerde meydana gelmiştir. Dış hatlardaki kazıkların arasında yapılan değerlendirmede eğilme momenti ve eksenel yük değerlerinin köşe noktalarda bulunan kazıklarda daha fazla değerlere ulaştığı görülmüştür.

Hüdaverdi ve Kuzu (2005), patlayıcı kullanımı ve taş savrulmasını ele aldıkları çalışmalarında, yer sarsıntısı ve hava şoku için ölçüm ve değerlendirme yöntemlerini tanıtmışlar, söz konusu çevresel etkilerin kaynağını incelemiştirlerdir. KBİ Murgul Açık İşletmesi'nde ölçümler yapılmış ve OSMRE (U.S. Office of Surface Mining) standartlarına göre analiz edilip patlatma dizaynının yer sarsıntısı ve hava şoku üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi aşamasında mümkün mertebe literatürdeki farklı yaklaşımların da göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamışlardır. Olumsuz çevresel etkilerin giderilebilmesi için üzerinde durulması gereken temel hususun patlatma dizaynı olduğunu belirtmişlerdir.

Kahriman (2006), Türkiye de İstanbul ilinde bir yerleşim bölgesinin altında Beylerbeyi – Küçüksu atık su tüneli inşaatına ait patlatma faaliyetlerindeki zemin titreşimlerini, titreşimleri ölçerek etkilerini araştırmıştır. Söz konusu tünelin patlatma modeli Tunnel 2000 bilgisayar programı ile hazırlanmış, atımların güvenilirliği ve verimliliğinin değerlendirilmesi bakımından alan çalışmaları ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. 60 gün süren çalışmada 5 farklı titreşim tertibatı kullanılmış ve toplam 139 faaliyet için titreşim ölçümü yapılmıştır. Çalışma süresince ve tünel ilerledikçe, zemin titreşimi, hava şoku ve çevrede yaşamını sürdüren insanların şikayetleri araştırılmış, bir sonraki adımda yapılması planlanan işlemler incelenmiş ve geliştirilmiştir. Söz konusu tünel hattında faaliyetlerin güvenle ve verimli bir şekilde devam ettirilebilmesi için ölçekli mesafe ve maksimum patlayıcı madde miktarı arasında bir bağıntı geliştirilmiştir.

Cilsal ve diğerleri (2006) çalışmalarında geoteknik faktörlerin patlatmanın neden olduğu titreşim hareketleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ankara’da Ulus – Keçiören metro güzergahında 3.5 Km uzunluğundaki tünelde, delme – patlatma yöntemi ile yapılan kazı çalışmalarında, örtü kalınlığının 8 m’den 35 m’ye kadar ulaşan tünelin volkanik formasyona sahip olduğu görülmüştür. Şehirleşmiş alanlardan geçen metro hattında, kabul gören patlatma yöntemi, deneme – yanılma ve USBM R1 8507 standardına göre değerlendirilmesi kararlaştırılmıştır. Söz konusu çalışmada, yeraltı suyu yüzeyi, jeolojik formasyonlar, jeolojik bozunum ve örtü kalınlığı faktörleri ayrı ayrı değerlendirilmiş ve bu faktörlerin parçacık hızı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Kahriman ve diğerleri (2006), çalışmalarında, Kütahya – Hisarcık’ta patlatma kaynaklı titreşimlerin meydana getirdiği titreşim hareketlerinden kaynaklanan parçacık hızı tahmini için ölçüm sonuçlarına yer vermişlerdir. Çalışma alanında parçacık hızı tahmininde bulunabilmek için alınan 565 kayıt üzerinde çalışılmış ve %50 tahmin sınırında parçacık hızı-ölçekli mesafe parametreleri arasında deneysel bir bağıntı elde etmişlerdir.

Kahriman ve diğerleri (2006), çalışmalarında farklı bölgelerde bulunan bazı taş ve maden ocaklarında yaptıkları uygulamalardan basamak patlatması sonucu oluşan

yersarsıntısı ve hava şoku ölçümlerine yer vermişlerdir. Ölçüm işleminde ölçekli mesafe parametresi kayıt edilirken, titreşim ölçer cihazlarla yersarsıntısı unsurlarını ölçmüşlerdir. Parçacık hızı tahmini için literatürde yaygın kullanım alanına sahip olan kareköklü ölçekli mesafe eşitliğinin kullanıldığı çalışmada parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasında iyi dereceli korelasyona sahip ampirik ilişkiler elde etmişlerdir. Söz konusu araştırmaları yapmalarının sebepleri içerisinde yer alan çevre halktan gelen şikayetlerin ve açılan davaların itibar derecesini araştırmışlardır.

With ve Bodare (2006), belirli bir uygulama alanındaki trenlerin meydana getirdiği zemin titreşimlerinin yapılara transferi ile ilgili yaptıkları çalışmada, örnek olarak seçtikleri bir yapı içerisinde ve söz konusu yapı dışındaki zeminde belirlenen noktalara titreşim kayıtlarını kaydetmek üzere kayıt cihazları veya kayıt araçları yerleştirmişler. Özellikle yük trenlerinin geçişlerinde yapıda ve çevresindeki zeminde meydana gelen titreşimleri kaydetmişlerdir. Yapı içerisindeki ortalama parçacık hızı transfer fonksiyonları ile %10'luk hata ile hesaplanmıştır.

Özer ve arkadaşları (2007), İstanbul ili, Çatalca ilçesinde bulunan Akyol kireçtaşı ocağında çevresel şikayetler nedeniyle yaptıkları çalışmada 582 faaliyet kaydı almışlar ve elde edilen bilgiler, USBM, Ambraseyys – Hendron ve Langefors – Kihlstrom tahmin denklemlerinden faydalanılarak parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasında bağıntı kurulmaya çalışılmıştır. Patlatma faaliyetlerinin izlenmesi ve kayıt altına alınmasının önemine de değinilen çalışmada, parçacık hızının titreşim karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerden biri olduğu vurgulanmıştır.

Kahrıman ve arkadaşları (2007), çalışmalarında İstanbul ilinde bulunan, Kadıköy – Kartal metro tüneli kazıları sırasında yerleşim bölgesinden 20 m ile 40 m derinlikte gerçekleştirilen patlatmalardan meydana gelen zemin titreşim ölçümlerini ve söz konusu ölçümlerin araştırılması ile elde edilen sonuçları ortaya koymuşlardır. Sert kaya sınıfı ile karşılaşılan kazı çalışmalarından ölçülen parçacık hızı ve frekans değerleri, patlatmanın komşu yapılara olası etkilerini belirlemek için United States Bureau of Mines (USRM) ve DIN 4150 standartlarına göre araştırılmıştır. Elde edilen toplam 193

patlatma kaydından elde edilen parçacık hızı ve ölçekli mesafe parametreleri analiz edilmiş ve farklı kaya üniteleri için %95 tahmin limitinde sonuçlar elde edilmiştir.

Ak ve Konuk (2007), yaptıkları çalışmada bir taşocağında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimlerin ölçümlerinden elde edilen verilerle süreksizlik frekansı parametresini de ele alarak parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Kesimal ve diğerleri (2007), kesme göçmeleri meydana gelmiş bir kireçtaşı ocağında patlatmadan kaynaklanan titreşim ivmelerinin şev stabilitesindeki etkisini araştırmışlardır. Kesme göçmesini tetikleyen mekanizma 73 adet atımdan elde edilen ivme değerleri ile incelenmiştir. Şev stabilitesi analizlerinden elde edilen bulgulara göre araştırma kapsamındaki bölgede meydana gelen kesme göçmesinin büyük ölçüde kontrolsüz patlatma faaliyetleri sebebi ile oluştuğu ortaya koyulmuştur.

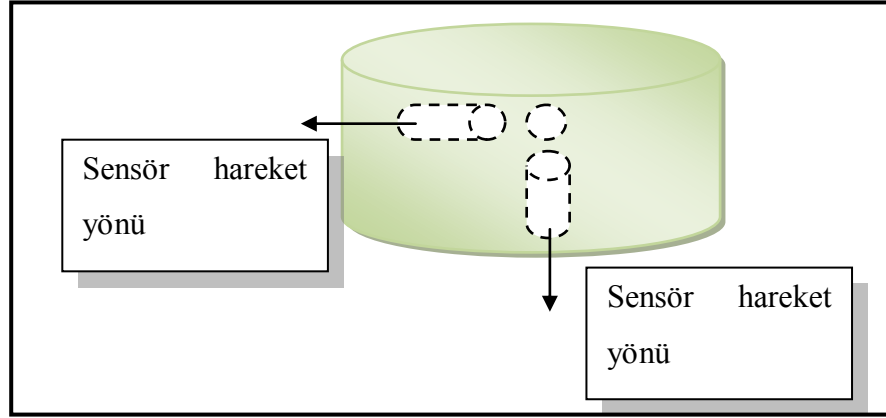
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 TİTREŞİM İZLEME SİSTEMLERİ

Günümüzde, patlayıcı madde üretimi yapan kurumlar veya patlayıcı madde kullanıcıları, patlatma faaliyetlerinin neden olacağı olumsuz çevresel etkilerin belirlenmesi ve kontrol altına alınabilmesi amacıyla, faaliyetinin çevresel karakteristiklerini izlemekte ve neticesinde değerlendirmeye tabi tutmaktadır.

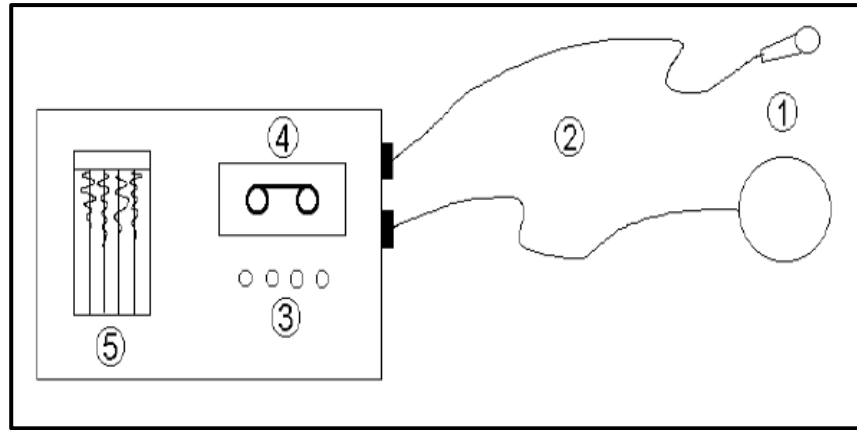
Diğer taraftan patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan titreşim ve hava şoku ölçümlerinin gerçekleştirilebilmesi için farklı üretici firmalar tarafından geliştirilen çok sayıda izleme sistemi bulunmaktadır. Söz konusu izleme sistemleri, farklı firmalar tarafından üretilse de, birbirlerine göre temelde farklılık göstermemektedir. Titreşim ölçer sistemleri birbirlerinden farklı kılan özellikler, cihaz kullanımına getirdikleri kolaylıklar ve patlatma sonrasında elde edilen verilerin değerlendirilmesinde faydalandıkları bilgisayar yazılımları olarak sıralanabilmektedir (Kahriman ve diğerleri, 1999).

Patlatma faaliyetlerinin çevresel etkilerini araştıran ölçüm cihazları, olumsuz çevresel etkilerden titreşim etkisini ve hava şoku etkisini detaylı bir şekilde kayıt edebilmektedir. Faaliyet neticesinde oluşan titreşim üç doğrultuda da kayıt edilmektedir. Boyuna, enine ve düşey olarak isimlendirilen doğrultularda titreşim kaydı yapılabilmektedir. Ayrı ayrı üç doğrultuda kayıt yapılabilmesi, cihazların içerisinde üç adet algılayıcı olduğu ve söz konusu algılayıcıların, kaydı istenen doğrultuda birbirlerine dik yerleştirildiğini işaret etmektedir. Söz konusu algılayıcıların silindirik bir jeofon içerisindeki konumu Şekil 3.1 'den görülebilmektedir. Jeofonların geometrik yapısı söz konusu cihazı üreten firmanın tercihi ile belirlenmektedir.



Şekil 3.1 Üç doğrultuda titreşim algılayıcılar ve hareket yönleri

Ölçüm cihazlarında üç adet sensör dışında, mikrofon, yazıcı, şarj, kontrol ve hafıza, bilgisayar bağlantı sistemi, muhafaza ve taşıma üniteleri bulunmaktadır. Şekil 3.2 'de standart bir titreşim ve hava şoku ölçen cihazın içerdiği temel bileşenler görülmektedir. (Karadoğan, 2008; Dowding 1985) Üç doğrultuda parçacık hızını algılayan jeofon, hava şoku değerini yakalayan mikrofon, jeofon ve mikrofondan gelen sinyalleri yükselticiye ileten ara bağlantı kabloları ve söz konusu sinyalleri yükseltmek ve analog verileri sayısal verilere çeviren yükseltici ve verilerin depolandığı disk söz konusu bileşenlerdendir.



Şekil 3.2 Titreşim ve hava şoku izleme sistemi (Dowding, 1985)

Cihazın kayıtları; zaman esaslı olarak her olay için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir. Ayrıca kaydedilen olayların ayrıntılı analizi için elde edilen veriler bilgisayar ortamına

aktarılabilmektedir. Cihazlar, tek bir olay için kayıt yapabildiği gibi sürekli kayıt da yapabilmektedirler. Şekil 3.3 'te örnek bir titreşim ölçer cihaz görülmektedir.



Şekil 3.3 Instantel Blastmate III model titreşim ve hava şoku izleme cihazı

3.2 PATLATMA FAALİYETLERİNDE KULLANILAN TİTREŞİM İZLEME TERTİBATI

Patlatma kaynaklı titreşimlerin ve bununla birlikte gürültünün (hava şoku) karakteristiklerini belirlemek üzere Instantel firması tarafından üretilen Minimate Plus model bir titreşim izleme cihazı kullanılmıştır. Minimate Plus sismograflar, yerinde yazdırma işleminin gerekli olmadığı durumlarda kullanışlıdır, dolayısı ile yazıcı ekipmanı bulunmamaktadır. Titreşim hareketlerini algılayan jeofonlar harici olarak seçilmiştir. 1500 kayıt kapasiteli, tam klavyesi bulunmayan bir titreşim kayıt cihazıdır. Günümüzde titreşim kaydını anında yazdırma olanağı sunan ve tam klavyeli

sismograflar da mevcuttur. Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 'te InstanTEL marka Minimate Plus titreşim kayıt cihazının özellikleri bulunmaktadır.

Tablo 3.1 InstanTEL Minimate Plus model sismografin titreşim kayıt özellikleri

Değişken	Tanım
Kanal sayısı	8
Titreşim izleme alanı	254 mm/sn değerine kadar (10 inç/sn)
Çözünürlük	0.0127 mm/sn
Doğruluk (ISEE/DIN)	+/-5% 0.5 mm/sn
Algılayıcı hassasiyeti	2.13 g/cc
Frekans alanı (ISEE/DIN)	2 – 250 Hz

Tablo 3.2 InstanTEL Minimate Plus model sismografin fiziksel özellikleri

Değişken	Tanım
Boyutlar	81 x 91 x 160 mm
Ağırlık	1.4 Kg
Batarya	Şarj edilebilir 6 Volt
Arayüz	8 tuşlu dokunmatik emboss klavye
Ekran	4 satır, 20 karakter, yüksek çözünürlüklü LCD ekran
PC Arayüz	RS-232

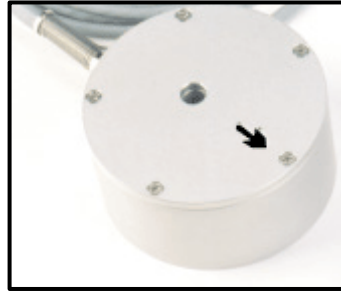
Tablo 3.3 InstanTEL Minimate Plus model sismografin kayıt alma özellikleri

Değişken	Tanım
Kayıt modları	Histogram ve InstanTEL Histogram Combo
Kayıt Süresi	2,5 yada 15 saniye, 1,5 yada 15 dakika
Kayıt depolanması	46.656 kayıt, 5 saniyelik 3 gün 15 dakikalık 120 gün

Titreşim ve hava şoku karakteristiklerini tespit edecek olan sismografin, patlatma kaynaklı oluşan titreşimleri algılaması için kullanılan ekipman olan jeofon (Transducer), sahip olduğu ayaklar kullanılarak, zemin ile sıkı bir etkileşim gösterecek şekilde konumlandırılmalıdır. Mümkün mertebe ankastre mesnetlenmesi gereken jeofon

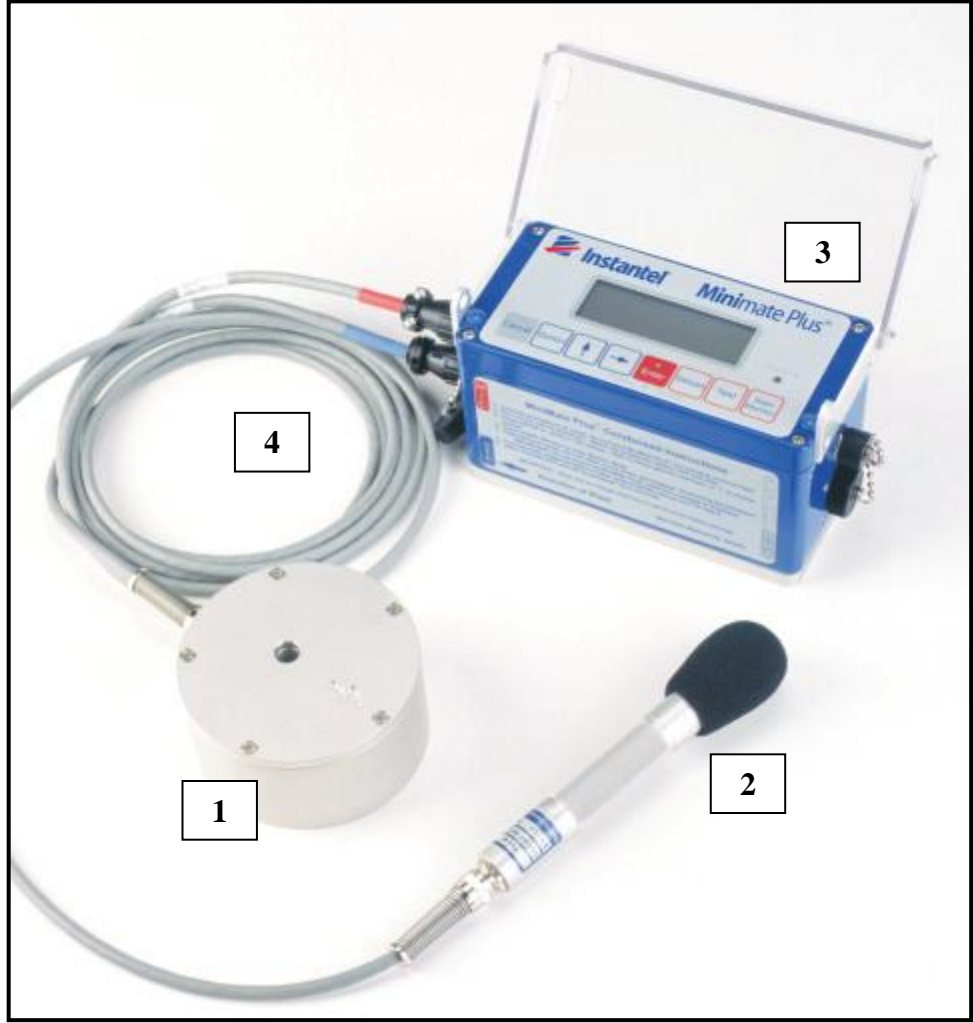
ile zemin arasındaki etkileşimin en yüksek düzeyde tutulması ile, elde edilen titreşim kayıtları gerçek titreşim hareketini temsil edebilmektedir. Mesnetlenme koşulunun yanı sıra jeofonun üzerinde bulunduğu zemin özellikleri de hassas kayıt alınmasında etkili parametrelerdendir. Algılayıcıların sabitleneceği zeminin gevşek olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Gevşek ya da ayırık zemin parçalarına yerleştirilen jeofon, titreşim hareketinde zeminden ayrılabilir ya da ayırık zemin parçası jeofon ile birlikte kütle halinde ana kütleden ayrılabilir. Bu durumda doğruya yakın sonuç elde etme olasılığı azalmaktadır.

Jeofonu zemine sabitlemek için ayakları kullanılmaktadır. Üç adet takılıp çıkarılabilir ve uzun ayaklara sahip olan jeofon, bu sayede zemin ile sıkı bir temas halinde olmaktadır. Alt kısma bağlanan ayaklar ile mümkün merteye düzgün ve pürüzsüz bir yüzeye oturtulup üzerine uygulanan basınç ile zemine sabitlenmesi sağlanmaktadır. Söz konusu ekipmanın sabitleme işleminde dikkat edilmesi gereken nokta, Şekil 3.5 'te görüldüğü gibi jeofonun üzerinde bulunan ok işaretinin yönünün atım yönünde olması gerekliliğidir. Bazı durumlarda ekipmanı yerleştirmeden önce minimum zeminde 15 cm derinliğinde bir kazı işlemi yapıldıktan ve zemin pürüzlerden arındırılıp düzgün hale getirildikten sonra jeofon yerleştirilmektedir. Bu aşamadan sonra içerisinde jeofonun yerleştirildiği küçük çaptaki kazı alanının üzeri tekrar zemin ile doldurulmakta ve mümkün olduğunca sıkıştırılmaktadır.



Şekil 3.4 Boyuna, enine ve düşey doğrultularda titreşim kayıtlarını algılayan jeofon

Beton yüzeylere sabitlenecek jeofonlarda, ayak ekipmanı kullanılmamaktadır. Jeofon, titreşim kaydının sağlıklı bir şekilde alınabilmesi açısından jeofonun beton yüzeye kullanıcı tercihli bir aparat ile monte edilmesi mümkündür.



Şekil 3.5 Instantel Minimate Plus titreşim ve gürültü kayıt cihazı

Şekil 3.5 'te 1 numaralı eleman olarak gösterilen jeofonlar, aynı şekilde 4 numara ile işaretlenen ara bağlantı kabloları yardımı ile, 3 numara ile gösterilen titreşim ölçer cihaza bağlanmaktadır. Algılayıcı ekipmanın bağlantı işleminin tamamlanmasının ardından gürültü seviyesinin tespiti için mikrofona kurulumu safhasına geçilmektedir.

Şekil 3.5 'te 2 numaralı eleman olarak gösterilen mikrofona, yer düzlemi üzerine yerleştirilen özel bir ayak yardımı ile belirli bir mesafe yer düzleminden yukarıda tutulmaktadır. Bu aşamada mikrofona yerleştirildiği noktanın önünde yapı veya duvar gibi ses dalgalarını kıran, engelleyen veya yansıtan herhangi bir materyalin bulunmamasına dikkat edilmesinde fayda vardır. Ses dalgalarında meydana gelebilecek herhangi bir doğal olmayan girişim, gerçeğe uzak sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayabilmektedir.

Jeofonun atım yönündeki konumuna göre kayıt cihazına erişen boyuna (Longitudinal), enine (Transverse) ve düşey (Vertical) titreşim hareketleri, cihazın ana ünitesindeki hafızaya alındıktan sonra bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

Bilgisayar ortamına aktarılan verilerin bilgisayar ortamında görülüp anlamlandırılması, ilave bir yazılım yardımıyla gerçekleşmektedir. Söz konusu yazılım, kayıt ünitesini üreten firma ile birlikte verilebileceği gibi, standartlara uygun harici bir yazılım da kullanılabilir. Faydalanılan yazılımlarla, patlatma kaynaklı titreşim kaydını daha önce de belirtilen üç ayrı eksen takımında ve gürültü kayıtlarını dalga formu ile elde etmek mümkündür.

Söz konusu yazılımlardan elde edilen yazdırılabilir raporlarda özellikle değişkenlerin maksimum değerlerinin vurgulandığını belirtmekte fayda vardır. Kaydedilen patlatma kaynaklı titreşim hareketinin her üç doğrultusundaki maksimum ivme değerlerinin mm/sn^2 cinsinden belirtilmiş olmasına rağmen, söz konusu ivme değerlerinin kayıt süresince değişimine erişilememektedir.

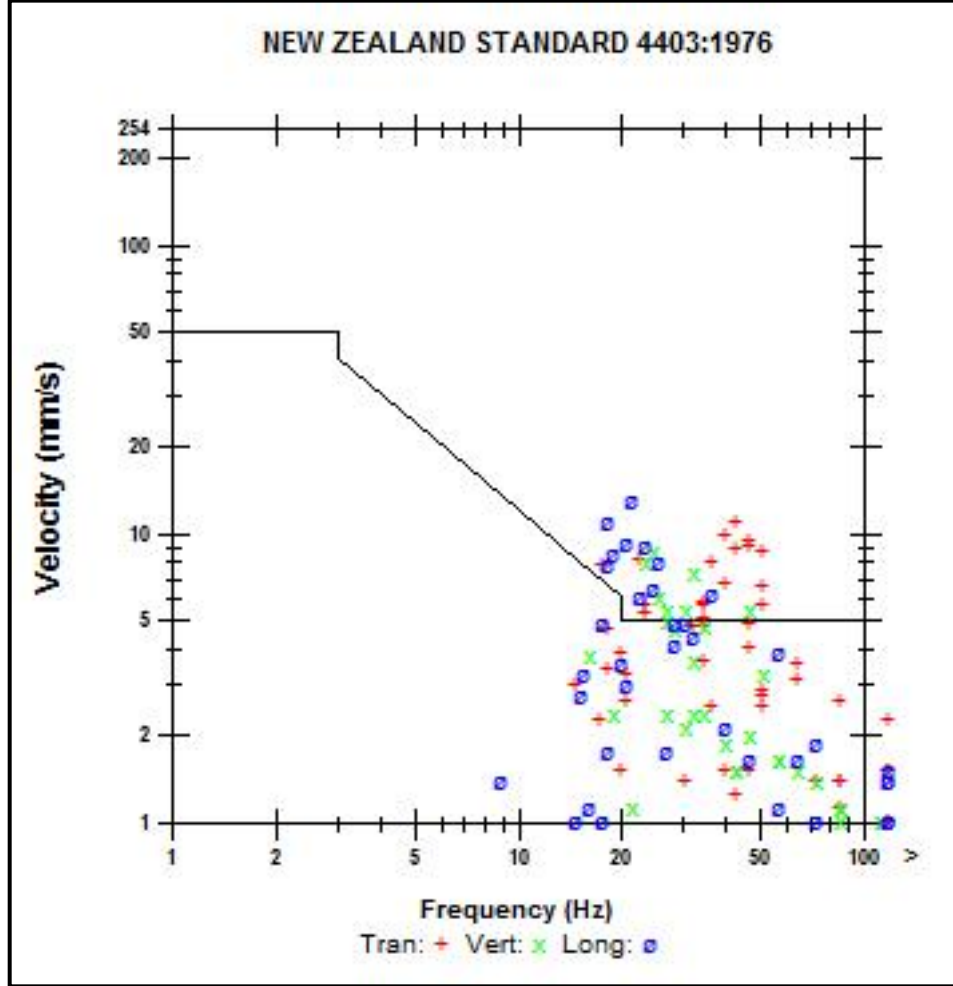
Tez çalışmasında, elde edilen titreşim kayıtlarının bilgisayar ortamında anlamlı hale ve formata getirilmesinde Instanet firması tarafından üretilen Blastware yazılımının 8.12 sürümü kullanılmıştır.

Yazılımlar genel itibari ile iki adet ana rapor sunmaktadır. Söz konusu raporlardan ilki faaliyet raporu, bir diğeri ise FFT (Fast Fourier Transform) raporudur.

Faaliyet raporunda (Event report) atım ile ilgili kaydın alındığı saat, gün ve yıl bilgileri ve söz konusu kaydın tamamlanma süresi gibi zaman ve süre bilgileri, kayıt dosyasının adı gibi dosya bilgileri ve kalibrasyon tarihi, yeri ve kayıt anındaki batarya durumu verilmektedir.

İlerleyen bölümlerde, kullanıcı tarafından seçilmiş şartname verileri ve kriterlerine göre belirlenmiş bir Parçacık hızı – Frekans değerlerinin işaretlendiği grafik yer almaktadır. Söz konusu grafik, kullanıcı tarafından seçilen şartnamenin prensiplerine hazırlanmaktadır. Şekil 3.6' da Yeni Zelanda şartnamesi aktif durumda iken alınan

faaliyet raporunda yer alan Parçacık hızı – Frekans ilişkisi ve sınır değerlerini gösteren bir grafik yer almaktadır.

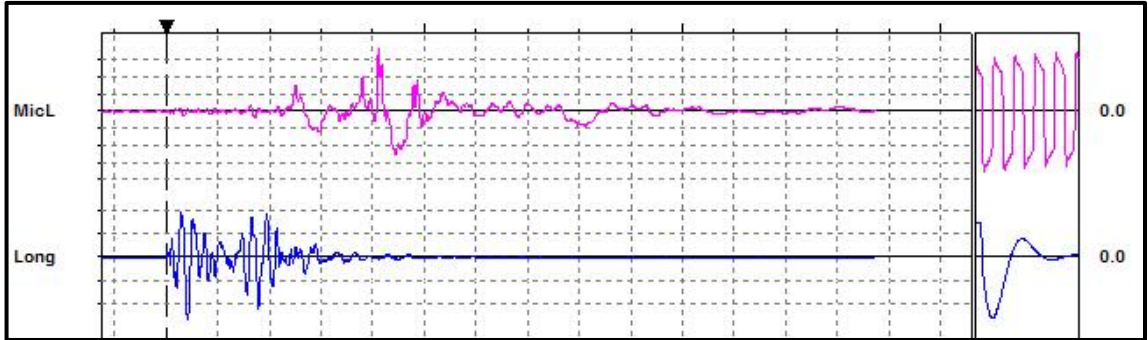


Şekil 3.6 Faaliyet raporunda yer alan parçacık hızı – frekans grafiği örneği

Genellikle tek sayfadan oluşan raporda, kayıt edilen patlatma kaynaklı titreşim hareketinin boyuna, enine ve düşey doğrultularında alınan maksimum parçacık hızı, frekans, zaman, maksimum ivme ve maksimum yer değiştirme değerlerine yer verilmektedir. Son olarak, faaliyet raporunda, mikrofon ile ölçülen hava şoku dalgalarının ve jeofonlar ile algılanan zemindeki titreşim dalgalarının zamana karşı genlik değerlerini içeren grafikler bulunmaktadır. Şekil 3.7’ de seçilen bir titreşim kaydına ait her doğrultuda titreşim karakteristikleri, Şekil 3.8’ de ise yine seçilen bir titreşim kaydına ait faaliyet raporunda yer alan genliğe bağlı zaman grafikleri örneği yer almaktadır.

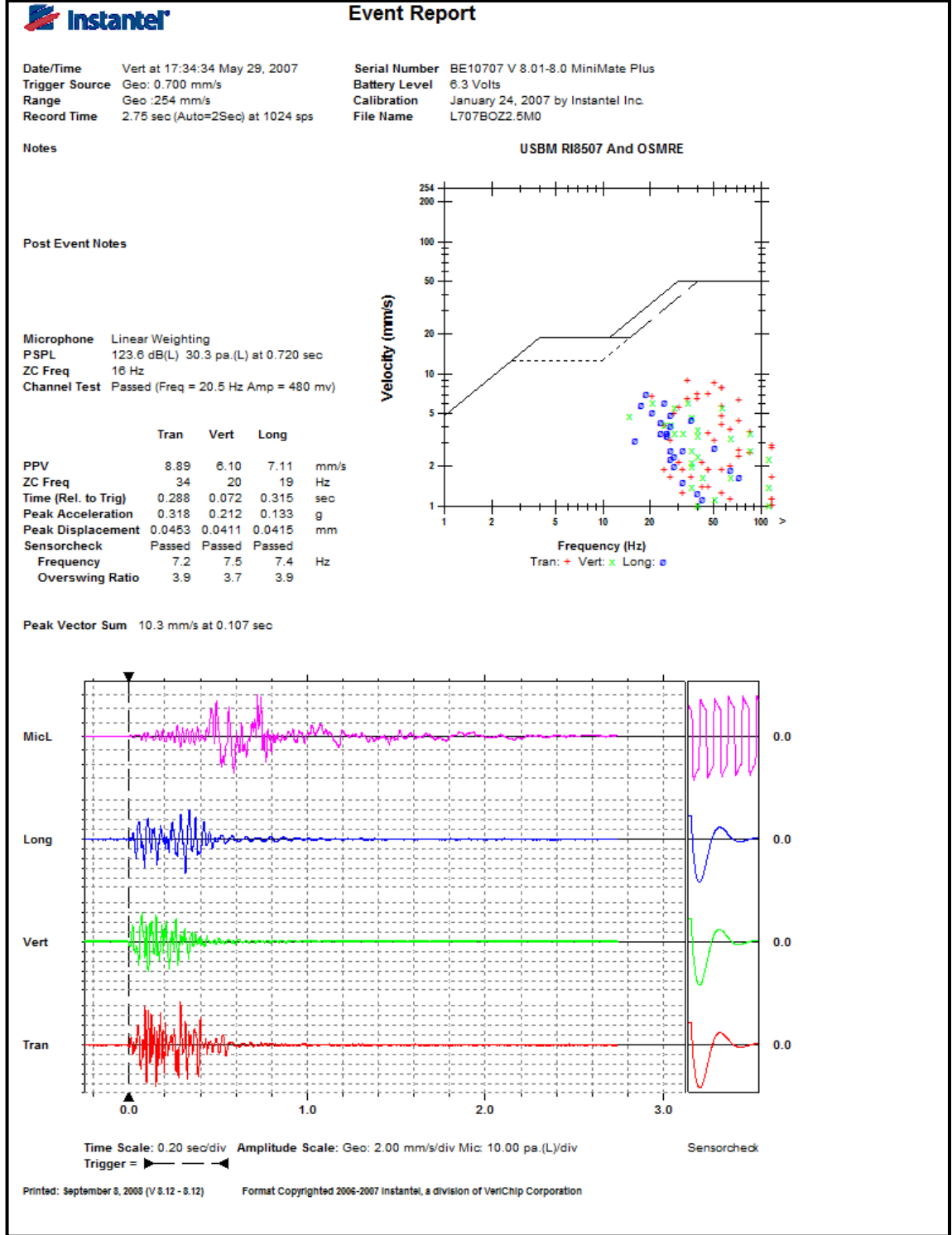
Microphone	Linear Weighting			
PSPL	131.1 dB(L) 71.8 pa.(L) at 0.822 sec			
ZC Freq	17 Hz			
Channel Test	Passed (Freq = 20.5 Hz Amp = 499 mv)			
	Tran	Vert	Long	
PPV	11.2	8.76	13.1	mm/s
ZC Freq	43	24	21	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.083	0.073	0.082	sec
Peak Acceleration	0.305	0.212	0.239	g
Peak Displacement	0.0505	0.0556	0.102	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.5	7.3	Hz
Overswing Ratio	3.9	3.7	3.8	

Şekil 3.7 Faaliyet raporunda yer alan titreşim karakteristikleri



Şekil 3.8 Faaliyet raporunda yer alan genlik – zaman grafiklerinden bir örnek

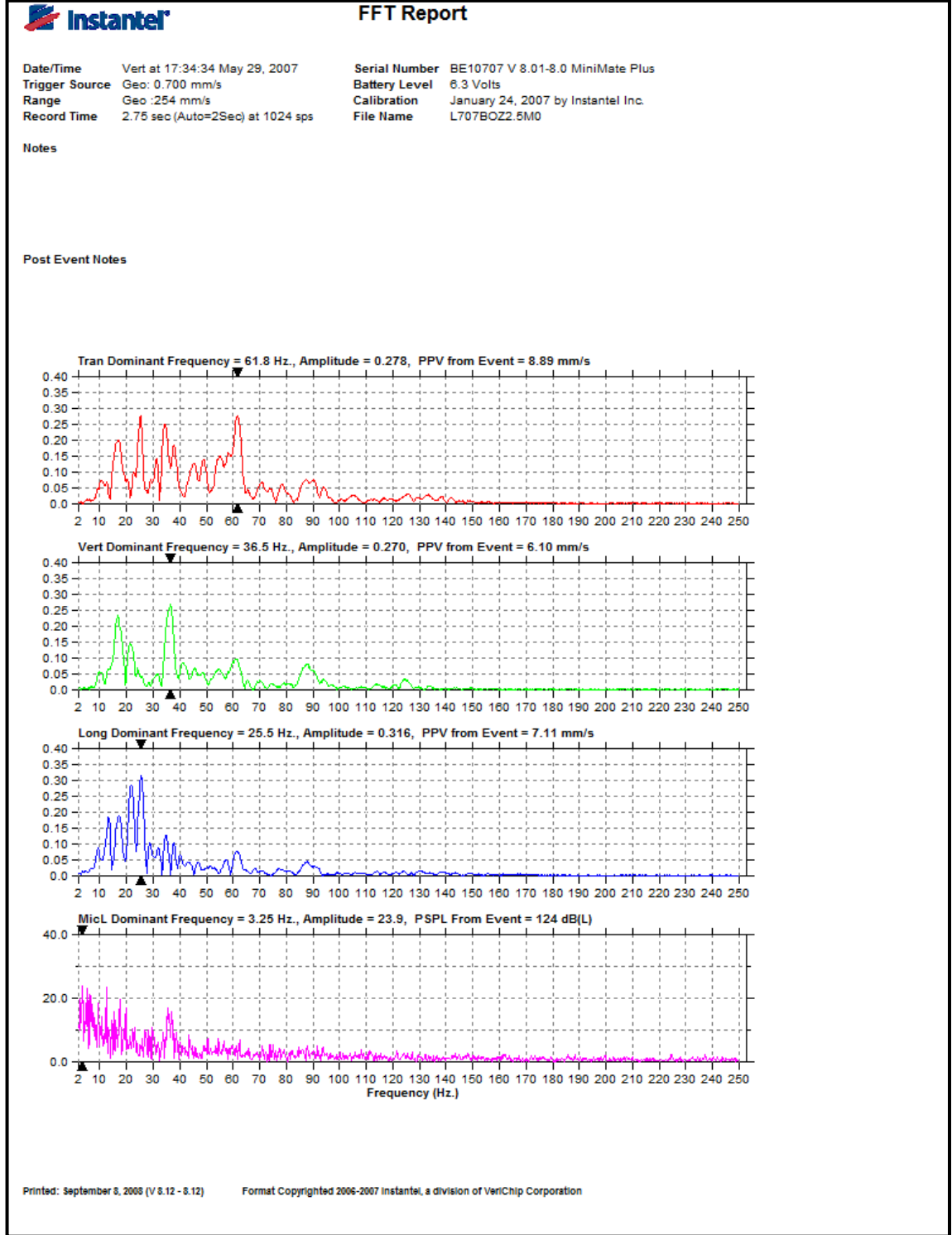
Şekil 3.9’ da boyuna, enine ve düşey doğrultuda parçacık hızları sırasıyla, 7.11 mm/sn, 8.89 mm/sn ve 6.10 mm/sn olan bir patlatma kaynaklı titreşim hareketinin ölçümünden sonra söz konusu yazılımlardan alınan örnek bir faaliyet raporu görülmektedir. Söz konusu faaliyet raporunda, daha önce adı geçen standart ve kriter olarak USBM RI8507 ve OSMRE tercih edilmiştir.



Şekil 3.9 Seçilen bir patlatmadan kaynaklanan titreşim hareketi için örnek bir faaliyet raporu

Patlatma kaynaklı titreşim kayıtlarının bilgisayar ortamına aktarılması ve verilerin anlamlı hale getirilmesi neticesinde elde edilen raporlardan bir diğeri FFT (Fast Fourier Transform) raporudur. Söz konusu raporda, faaliyet raporunda olduğu gibi, atım ile ilgili kaydın alındığı saat, gün ve yıl bilgileri ve söz konusu kaydın tamamlanma süresi gibi zaman ve süre bilgileri, kayıt dosyasının adı gibi dosya bilgileri ve kalibrasyon tarihi, yeri ve kayıt anındaki batarya durumu verilmektedir.

Giriş ve durum bilgilerinin hemen ardından, patlatmadan kaynaklanan titreşim hareketine ait boyuna, enine ve düşey doğrultuda kaydedilen parçacık hızlarının maksimum seviyelerine karşılık gelen titreşim dalgası genlik ve frekans düzeylerinin de işaretli bulunduğu genlik – frekans grafikleri yer almaktadır. Şekil 3.10’ da örnek bir FFT raporu görölmektedir.



Şekil 3.10 Seçilen bir patlatmadan kaynaklanan titreşim hareketi için örnek bir FFT (Fast Fourier Transform) raporu

3.3 ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN BÖLGE

Tez çalışmasında yapısal analizlerin büyük bir bölümüne esas teşkil edecek olan titreşim kayıtları, İstanbul ili, Gaziosmanpaşa ilçesi, Cebeci mevkiinde bulunan taş ocaklarında gerçekleştirilen açık ocak patlatma faaliyetlerinde yapılan titreşim ölçüm çalışmalarından elde edilmiştir. 16 farklı taş ocağının bulunduğu alanın çeşitli bölgelerinde yapılan patlatma faaliyetleri kontrollü bir şekilde izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. İnceleme yapılan taş ocakları, Cebeci Taş Ocakları Üretim ve Pazarlama Kooperatifi'nin ortaklarına ait taş ocaklarıdır. Söz konusu ocaklar yerleşim birimlerine yakın bir bölgede bulunmaktadır. Şekil 3.11' de patlatma faaliyetlerini gerçekleştirildiği ve titreşim ölçümlerinin yapıldığı Cebeci mevkiinde bulunan taş ocaklarından bir görünüm yer almaktadır.



Şekil 3.11 Patlatma kayıtlarının ölçüldüğü taş ocaklarından bir görünüm

Patlatma kaynaklı titreşim, hava şoku ve taş savrulması gibi olumsuz çevresel etkilerin en aza indirilmek istendiği ocaklarda, patlayıcı madde olarak genellikle ANFO ve deliklerde Powergel Magnum 600, yemlemede Powergel Magnum kullanıldığı, ateşlemede ise elektrikli kapsüllerin uygulandığı bilinmektedir.

Gerçekleştirilen patlatma faaliyetlerinin izlenmesi ve dolayısıyla karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla, patlatma noktasından uzakta belirlenen alanlara istasyonlar kurulmuştur. Atım noktası ile titreşim ve hava şoku ölçümü yapılacak istasyonların arasındaki mesafeler Global Positioning System (GPS) cihazları kullanılarak elde edilmiştir. Ölçüm istasyonlarında titreşim karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yerleştirilen cihazlar Instanetl Minimate Plus titreşim ölçer cihazlarıdır. Söz konusu titreşim ve hava şoku ölçümleri için bölgede ilk etapta dört adet, sonrasında ise bir adet titreşim ölçer cihaz kullanılmıştır.

Patlatma faaliyetleri izlenirken çok sayıda ölçüm yapılmasına özen gösterilmiştir. Literatürde belirli bir bilimsel yorum yapılabilmesi için en az otuz patlatma faaliyetinin izlenmesi ve gerekli ölçümlerinin yapılması gerekliliği belirtilmiştir. İstasyonların konumları bilinçli bir şekilde ocak çevresindeki yerleşim bölgelerinde bulunan yapılara yakın yerler olarak seçilmeye çalışılmıştır. Bu noktadan yola çıkılarak, ölçüm istasyonu seçiminde atım yapılan noktalara yakın mesafede bulunan okul, fabrika, ev konutların yanına titreşim ölçer cihazlar yerleştirilmiştir. Bazı durumlarda ise atım yapılan taş ocağında, atım noktasına yakın bölgelere söz konusu cihazlar yerleştirilmiştir. Böylelikle bir bakıma diğer atımlardan alınan sonuçlarla, atım noktasına yakın noktalardan alınan sonuçların kıyaslaması daha rahat yapılabilecek ve olası hatalardan uzaklaşılacaktır. Yapılan ölçümlerin bazılarında titreşim kayıtlar elde edilirken, gecikme başına düşen maksimum patlayıcı madde miktarı ve patlatma noktası ile istasyon arasındaki mesafeye bağlı olarak bazı faaliyetlerden herhangi bir kayıt elde edilememiştir. Kayıt alınabilen titreşimler için toplam kayıt süresi 2,5 sn ile 3 sn arasında değişmektedir. Söz konusu zaman aralığı titreşim ölçer cihazlara operatör tarafından verilmektedir. Elde edilen titreşim kayıtları incelendiğinde, istasyonların konumlandırıldığı yerlerde 3 sn sonunda titreşimin büyük ölçüde sönümlendiği gözlemlenmiştir. Şekil 3.12 - 3.15' te örnek bir patlatma faaliyetinden görüntüler gösterilmektedir.

Patlama faaliyetleri, titreşim ölçer cihazları ile kaydedildikten sonra, bilgisayar yazılımları ile anlamlı hale getirilmiştir. Söz konusu yazılımlardan elde edilen veriler daha önce de belirtildiği üzere genellikle titreşim hareketine ait üç doğrultuda ivme, hız,

zaman ve frekans değerlerinin maksimum noktalarıdır. Diğer parametrelerden farklı olarak parçacık hızı parametresinin, kayıt alınan zaman dilimi içerisindeki tüm zaman noktalarına isabet eden değerleri mevcuttur. Bilgisayar programının verdiği sonuçlar arasında, ivme – zaman değerlerinin maksimum noktaları haricinde herhangi bir ara değer bulunmadığından ve sadece parçacık hızı ara değerleri elde edilebildiğinden dolayı, parçacık ivmelerin ara değerlerine parçacık hızı ve zaman parametrelerinden ulaşılmıştır.

Benzer şekilde zaman parametresi için de herhangi bir ara değer bilgisi dokümantasyonu yazılımda yer almamaktadır. Titreşim kaydının alındığı zaman dilimi bilindiğinden ve dolayısıyla hareketin başlangıç ve sönümü arasında geçen toplam süre tespit edilebildiğinden dolayı, söz konusu toplam süre, parçacık hızı parametre sayısına bölünerek her bir parçacık hızı değerine karşılık gelen zaman değeri hesaplanmıştır. Elde edilen ivme – zaman değerleri genel amaçlı sonlu elemanlar yazılımına aktarılabilir formata getirildikten sonra zaman – tanım alanında sonlu elemanlar analizi (Time History) bilgi girişine ilave edilmiştir.



şekil 3.12 örnek bir patlatma faaliyetinden patlatma öncesi görünüm



Şekil 3.13 Örnek bir patlatma faaliyetinde patlama işleminin gerçekleştiği saniyelerdeki görünüm



Şekil 3.14 Örnek bir patlatma faaliyetinde patlama işleminin sonuçlandığı andaki görünüm



Şekil 3.15 Örnek bir patlatma faaliyetinde patlama işleminin sonuçlandığı andan sonraki görünüm

Patlatma kaynaklı titreşimlerin yapılar üzerinde hasar oluşturabilme riski bulunmaktadır. Söz konusu hasar oluşturabilme riski uzun yıllardır gerek ülkemizde, gerekse diğer ülkelerde araştırma konusu olmuştur. Ülkemizde konu ile ilgili bir standart bulunmadığından, genellikle farklı ülke standartlarından faydalanılmaktadır.

Patlatma noktasına yakın mesafedeki yapının, patlatma etkisi nedeniyle hasar görmüş olması, tek başına patlatma faaliyetinin bir hatası olmayabilir. Öncelikle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik ve diğer ilgili standartlarca öngörülen kriterlere uygun projelendirilmiş ve imalatı tamamlanmış bir yapıda meydana gelen hasarın patlatma faaliyetinden kaynaklanması olasılığı vardır. Bu noktada patlatma faaliyetinin yapı üzerindeki etkisinin, yapının tasarım aşamasında standartlarca öngörülen etkilerden büyük ya da küçük oluşu önem kazanmaktadır. Yapıyı standartlarca öngörülen etkilerden daha büyük etkilere maruz bırakan patlatma faaliyetleri olası hasarlardan sorumlu tutulabilir. Fakat, söz konusu kriterlerden bir veya daha fazlasına uygun olmayacak şekilde tasarlanmış yapılar için meydana gelen hasarda, kusurlu olması muhtemel etkenler oldukça fazla olabilmektedir.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik' in kriterlerine göre tasarlanan ve söz konusu yönetmeliğin öngördüğü etkilere göre projelendirilen bir yapının patlatma faaliyeti neticesinde hasar görmüş olması, söz konusu patlatma faaliyetinin bir kusuru olabilmektedir. Bu durumun gerçekleşmiş olabilmesi için, patlatma faaliyeti ile söz konusu yapının, kendisi için güncel yönetmeliklerde öngörülen çevresel etkilerden daha büyük bir etkiye maruz kalması gerekmektedir. Doğal olarak, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik ve ilgili yönetmelikler uyarınca belirli bir etkiye karşı koyabilecek durumda tasarlanan yapı, daha büyük etkilere karşı koyamıyor ise, bu durum yapının bir kusuru değil, patlatma faaliyetinin ve söz konusu faaliyeti gerçekleştirenlerin kusuru olmaktadır.

Benzer şekilde, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik ve diğer ilgili yönetmeliklerin kriterlerine göre tasarlanmayan ve yine güncel yönetmeliklerin öngördüğü etkiler göz önünde bulundurularak projelendirilmeyen bir yapının, patlatma faaliyetleri neticesinde hasar görmüş olması da söz konusu yapının kusuru olabilmektedir. Bu doğrultuda, patlatma faaliyetinin meydana getirdiği etki, yapının tasarlandığı deprem ve benzeri etkilerden daha küçük ve de söz konusu yapı yine de hasar görmüş ise, mevcut kusurun yapı üzerinde aranması gerekmektedir.

Mukayese konusu olan, patlatma faaliyetlerince yapıya etkitilen çevresel etkilerin ve henüz yapının tasarım aşamasında yönetmeliklerce öngörülen tasarım etkilerinin çok sayıda parametreye bağlı olduğu bilinmektedir. Patlatma kaynaklı titreşim hareketinin deprem etkilerine benzer olduğu daha önce yapılan araştırmalarca ortaya konulduğuna göre, patlatma faaliyetlerinden meydana gelen çevresel etkilerden titreşim hareketi ile yapının tasarımında önemli bir rol oynayan deprem etkileri arasında bir bağ kurulması muhtemel görünmektedir.

Ülkemizde yapılar için çoğu durumda belirleyici yük faktörü deprem olmaktadır. Yapıya tasarım aşamasında etkitilen diğer yük türleri her ne kadar önemli olsa da, genelde deprem etkileri kadar belirleyici olmamaktadır. İçerisinde bulunduğumuz coğrafi ve jeolojik koşullar nedeniyle deprem etkilerinin yapılar üzerinde tasarım yükü olarak denenmesi, hangi durumlarda ve nasıl değerlendirileceği Afet Bölgelerinde

Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik’ te detaylı olarak belirtilmiştir. Söz konusu yönetmelik Resmi Gazete’de yayımlandığından dolayı uyulması zorunludur. Bu sebepten dolayı mukayese durumu için deprem etkisinde oluşacak tesirler ile patlatma kaynaklı titreşimden meydana gelen tesirlerin karşılaştırılması, yapının kendisi ile patlatma faaliyeti arasındaki kusur dengesini ortaya koyabilecek bir çalışma olabilmektedir.

3.4 AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDAKİ YÖNETMELİK’TE DEPREM ETKİSİ

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik (ABYYHY) bina ve bina türü yapıların deprem etkisindeki analizlerinde kullanılmak üzere aşağıdaki üç farklı hesap türünü önermektedir;

- Eşdeğer deprem yükü yöntemi
- Mod birleştirme yöntemi
- Zaman tanım alanında hesap yöntemi

Yukarıda sıralanan yapı analiz metotlarının uygulama sınırları ve yöntemleri söz konusu yönetmelikte belirtilmektedir.

3.4.1 Elastik Deprem Yüklerinin Yönetmelikçe Belirlenmesinde Kullanılan Parametreler

3.4.1.1 Spektral İvme Katsayısı

ABYYHY’de yapılara etkimesi muhtemel görülen elastik deprem yüklerinin belirleniş adımlarında kullanılan parametrelerden biri Spektral ivme katsayısıdır $A(T)$.

%5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu’nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme $S_{ea}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesinin çarpımına eşittir (ABYYHY).

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad \text{Spektral İvme Katsayısı} \quad (3.1)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) \cdot g \quad \text{Elastik Spektral İvme Katsayısı} \quad (3.2)$$

3.4.1.2 Etkin Yer İvmesi Katsayısı

Formülasyonda A_0 olarak ifade edilen parametre Etkin Yer İvmesi Katsayısı olarak ifade edilmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı ise ABYYHY’de ülkemiz coğrafyasının ayrılmış olduğu bölgelere göre değişkenlik göstermektedir. Aşağıda Etkin yer ivmesi katsayısının elde edileceği tablo görülmektedir.

Tablo 3.4 Etkin Yer İvmesi Katsayısı

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Yapının bulunduğu yerin deprem bölgelerini gösteren haritadaki durumuna göre etkin yer ivmesi katsayısı değişkenlik göstermektedir. Etkin yer ivmesi de etkin yer ivmesi katsayısının yerçekimi ivmesi ile çarpımı olarak g cinsinden ifade edilmektedir. ABYYHY uyarınca ülkemizde herhangi bir bölgede bulunan bir betonarme yapının elastik deprem kuvvetlerinin belirlenmesinde kullanılacak en büyük etkin yer ivmesi katsayısı 0.4, etkin yer ivmesi de 0.4g olmaktadır. Benzer şekilde en küçük etkin yer ivmesi katsayısı 0.1, etkin yer ivmesi değeri ise 0.1g olmaktadır.

Etkin yer ivmesi katsayısı, deprem yüklerinin hesaplanmasında doğrudan sonuca çarpan olarak etki etmektedir. Bu doğrultuda aynı özelliklerde bir yapı, farklı bölgelerde projelendirildiğinde farklı etkin yer ivmesi katsayılarına sahip olabilmekte, tasarım deprem yükü de buna paralel olarak değişebilmektedir.

3.4.1.3 Bina Önem Katsayısı

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik uyarınca kullanım amaçlarına göre kategorize edilen yapı türleri ve tekabül eden bina önem katsayıları aşağıdaki tabloda görülmektedir. Söz konusu tabloda yapılar, depremden sonra acil ihtiyaç duyulan ve servis verme zorunluluğu olan yapıların önem derecelerine göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.5 Kullanım amacına göre Bina Önem Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<p>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri,</i>• <i>PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri,</i>• <i>enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</i>• <i>Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</i>	1.5
<p>İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kıışlalar, cezaevleri, vb.</i>• <i>Müzeler</i>	1.4
<p>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</p> <p><i>Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.</i></p>	1.2
<p>Diğer binalar</p> <ul style="list-style-type: none">• <i>Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)</i>	1.0

3.4.1.4 Spektrum Katsayısı

3.1 ifadesinde yer alan Spektrum Katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyoduna bağlı olarak Denklem ifadesinde olduğu gibi hesaplanmaktadır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \cdot \left(\frac{T}{T_A}\right) \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (3.3)$$

$$S(T) = 2.5 \quad T_A < T \leq T_B \quad (3.4)$$

$$S(T) = 2.5 \cdot \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} \quad T_B < T \quad (3.5)$$

3.4.1.5 Spektrum Karakteristik Periyotları

Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B , Tablo 3.6 'da tanımlanan zemin grupları ve Tablo 3.7 ile ifade edilen Yerel Zemin Sınıfları'na bağlı olarak Tablo 3.8 'de görülmektedir.

Tablo 3.6 Zemin grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıklık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar....	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl.....	> 50	85–100	—	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil.....	> 32	—	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar....	—	—	500–1000	700–1000
	2. Sıkı kum, çakıl.....	30–50	65–85	—	400–700
	3. Çok katı kil ve siltli kil...	16–32	—	200–400	300–700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar.....	—	—	< 500	400–700
	2. Orta sıkı kum, çakıl.....	10–30	35–65	—	200–400
	3. Katı kil ve siltli kil.....	8–16	—	100–200	200–300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları.....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil.....	< 8	—	< 100	< 200

Tablo 3.7 Yerel zemin sınıfları

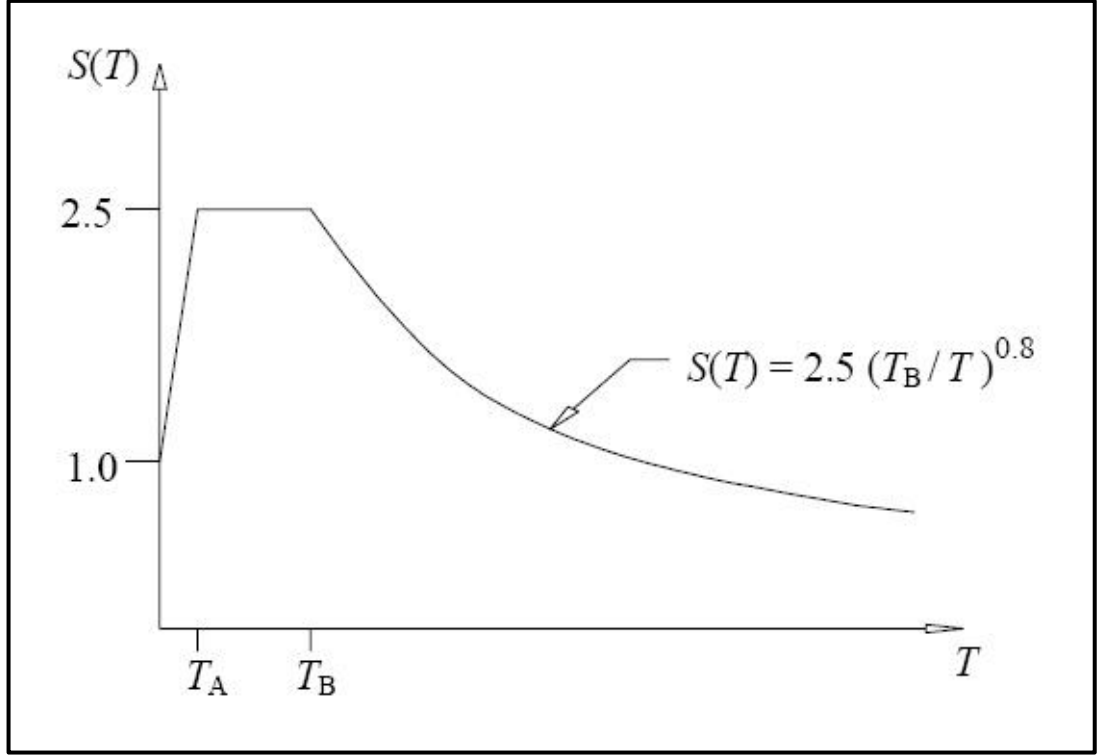
Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 3.6 'ya Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Tablo 3.8 Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

3.4.1.6 Özel Tasarım İvme Spektrumları

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları göz önüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilmektedir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Tablo 3.8 'deki ilgili karakteristik periyotlar göz önüne alınarak 3.1 ve 3.2 ifadelerinde yer alan değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmaması koşulu aranmaktadır. Şekil 3.16 'da özel tasarım ivme spektrumu grafiği bulunmaktadır.



Şekil 3.16 Özel Tasarım İvme Spektrumu

3.4.1.7 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları, süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler ve süneklik düzeyi normal taşıyıcı sistemler için Tablo 3.9’da belirtilmiştir. Her iki süneklik düzeyi için betonarme yapılar, prefabrike betonarme yapılar ve çelik yapılar’ın farklı durumlarda alacağı taşıyıcı sistem davranış katsayıları söz konusu tablodan elde edilmektedir.

3.4.1.8 Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere, spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı’na bölünmektedir. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için Tablo 3.9 ’da tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R’ye ve doğal titreşim periyodu, T’ye bağlı olarak 3.6 ve 3.7 ifadeleri ile belirlenmektedir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \cdot \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (3.6)$$

$$R_a(T) = R \quad T_A < T \quad (3.7)$$

Tablo 3.9 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi	Süneklik Düzeyi
	Normal Sistemler	Yüksek Sistemler
Yerinde dökme betonarme binalar		
<i>Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar</i>	4	8
<i>Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar</i>	4	7
<i>Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar</i>	4	6
<i>Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar</i>	4	7
Prefabrike Betonarme Binalar		
<i>Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar</i>	3	7
<i>Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar</i>	-	3
<i>Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar</i>	-	5
<i>Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar</i>	3	6
Çelik Binalar		
<i>Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar</i>	5	8
<i>Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar</i>	-	4
<i>Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar</i>		
• Çaprazların merkezi olması durumu	4	5
• Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	7
• Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	6
<i>Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelikperdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar</i>		
• Çaprazların merkezi olması durumu	5	6
• Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	8
• Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	7

3.5 PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİM ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Şekil 3.13’de örneği görülen, patlatma kayıtlarından elde edilen parametrelerden faydalanılarak, patlatma faaliyetinden kaynaklanan titreşimlerin, faaliyet çevresine yakın yerlerde bulunan yapılara olası etkileri irdelenmek istenmektedir. Bu amaçla, atım gerçekleştirilen bir ya da daha fazla bölgede ölçümler yapılarak titreşim kayıtlarının alınması gerekmektedir. Elde edilen kayıtlar bilgisayar ortamında nümerik analizlerle yapılar üzerinde irdelenecektir.

Söz konusu araştırma için titreşimlerin üzerinde etkilerinin inceleneceği yapı ya da yapıların bilgisayar ortamında detaylı modeli oluşturulduktan sonra, patlatma kaynaklı titreşim etkilerindeki dinamik analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

3.5.1 Bilgisayar Modelleri

Genel amaçlı sonlu elemanlar yazılımlarından yararlanılarak bilgisayar ortamında oluşturulan detaylı yapı modeli ve titreşim kayıtlarının söz konusu bilgisayar modeli üzerinde test edilmesi işlemleri genel anlamda mümkün olmakla birlikte, konusunda uzman kişilerce gerçekleştirilmesi gereken bir çalışmadır. Aynı zamanda yoğun bir emek ve zaman gerektirmektedir.

Çalışma kapsamında, mevcut yapılardan örnek olarak seçilen bir yapı bilgisayar ortamında bire bir modellenmiş, elde edilen titreşim kayıtları, bilgisayar modeli oluşturulan yapılar üzerinde denenmiştir. Örnek modeller, her üç doğrultuda elde edilen ivme değerleri etkisinde genel amaçlı sonlu elemanlar yazılımları ile analiz edilmiştir ve söz konusu etkiler altında yapıların davranışları irdelenmiştir.

3.5. 2 Patlatma Kaynaklı Titreşim Kayıtları ve Deprem Şartnamesi İlişkisi

Patlatma faaliyetinin gerçekleştirildiği bölgeye yakın mesafedeki yapıların tümünün bilgisayar modelinin hazırlanıp patlatma kaynaklı titreşim hareketleri etkisinde incelenmesi, harcanması gereken zaman açısından çoğu kez ekonomik olmamaktadır. Bu noktadan hareketle, patlatma kaynaklı titreşim kayıtlarından elde edilen parametreler ile deprem şartnamesinde elastik deprem yükü hesabında kullanılan parametreler arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Patlatma kaynaklı titreşim kayıtlarından elde

edilen maksimum ivme parametresi, deprem şartnamesindeki deprem yükü hesabında kullanılan etkin yer ivme katsayısı (A_0) yerine kullanılarak çeşitli karılatırmalar yapılmıştır. Bölüm 3.4.1.2’de açıklanan ve deprem bölgelerine göre değişen Etkin Yer İvme Katsayısı yerine, patlatma faaliyetlerinde yapılan ölçümler ile elde edilen ve her faaliyete göre değişkenlik gösteren maksimum ivme değerleri kullanılarak yapılan sonlu elemanlar analizinde ulaşılan sonuçlar ile, etkin yer ivmesi parametresinin kullanıldığı bilgisayar modellerinden elde edilen sonuçlar karılatırılmıtır.

4. BULGULAR

4.1 YAPISAL ANALİZ YÖNTEMLERİ

Ülkemizde bina türü yapıların statik hesap ve analizleri “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik” uyarınca yapılmaktadır. Yapılara etkiyen sismik yüklerin hesabı genellikle Eşdeğer Statik Deprem Yükü Yöntemi veya Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanmaktadır. Elde edilen yükler yapı modelleri üzerine etkililir, gerekli parametreler elde edilir ve boyutlandırma aşamasına geçilmektedir.

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler ve yapısal analiz verilerinin elde edilmesinde sağlanan yenilik ve gelişmeler ile birlikte, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik’te de yer alan Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemi yapıların tasarım ve analizinde de zaman zaman kullanılmaktadır. Söz konusu hesap yöntemi yönetmelikteki diğer yöntemlere kıyasla farklılıklar içermektedir.

4.1.1 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Söz konusu yöntemin uygulanabilmesi için, yapımı planlanmış binanın veya mühendislik yapısına yakın bir yerde veya civar bölgesinde kaydedilmiş Akzelerogram kayıtlarının bulunmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer bu tür kayıtlar bulunmuyorsa suni olarak yapılmış ivme diyagramları kullanılabilir. Akzelerogram değerlendirilmesi teknik deyim ile dinamik denge denklemlerinin çözümü için Numerik Entegral yöntemi kullandığı gibi, Duhamel Entegrali Yöntemi de kullanılabilir. Mühendislerin Akzelerogram sismik ivme kayıtlarından her zaman yararlanma olanağı bulunmayabilmektedir. Statik ve dinamik hesapların yapılabilmesi için uzun bir zaman dilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu kayıtların değerlendirilmesi işleminin ancak bilgisayar yardımı ve özel bilgisayar programlarından yararlanılarak bu konuda uzman kişilerce yapılması gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır (Leylek, 2005).

4.1.2 Sismik Kayıtların Temin Edilmesi

Zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılırken ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri, yönetmelik gereksinimlerini karşılayan deprem kayıtlarının teminidir. Deprem ivme kayıtları üç kaynaktan elde edilebilir;

- Tasarım ivme spektrumu uyumlu yapay kayıtlar,
- Benzeştirilmiş kayıtlar,
- Deprem esnasında kaydedilen ivme kayıtları.

Mevcut olan kuvvetli yer hareketi veri bankalarının her geçen gün zenginleşmesi ve bunlara ulaşmanın ilerleyen teknoloji ile birlikte daha da kolaylaşması, gerçek depremlerden alınan kayıtların kullanılması ve ölçeklenmesini en güncel araştırma konularından biri haline getirmiştir (Fahjan, 2008).

4.1.2.1 Yapay Olarak Üretilmiş Deprem Kayıtları

Geniş bir periyot aralığında, tepki spektrumu elastik tasarım spektrumuna aynen benzeyen yapay kayıtlar üretilebilir. Sadeleştirilmiş tepki spektrumundan güç spektral yoğunluk fonksiyonu bulunur ve bu fonksiyon ile rastgele faz açıları birleştirilerek sinüzoidal sinyaller türetilir. Bu sinüzoidal hareketler toplanarak yapay kayıt elde edilmiş olur. Tasarım spektrumuyla eşleşmeyi iyileştirmek için iteratif bir yöntem kullanılır. Bu yöntemde, seçilen frekanslarda gerçek tepki spektrumu ve hedef tasarım spektrumu ordinatları arasındaki ölçekleme katsayısı hesaplanır ve güç spektral yoğunluk fonksiyonu bu ölçekleme katsayısının karesi ile ayarlanarak kayıt düzeltilir. Bu işlemler sonucunda yeni hareket elde edilmiş olur (Fahjan, 2008).

Tasarım spektrumuna uyumlu yapay kayıtların diğer özelliklerini öğrenmek için, beklenen depremle ilgili tepki spektrumunun yanında hareketin süresi gibi başka tamamlayıcı bilgilere de ihtiyaç vardır. Yapay kayıtları kullanmaktaki en büyük zorluk, çok sayıda kaydedilmiş hareketin ortalamasını simgeleyen tasarım spektrumuna uygun tek bir kayıt elde etmeye çalışmaktır (Naeim ve diğerleri, 1999). Tasarım spektrumu, genellikle, pek çok sismik kaynağın etkisini eş zamanlı olarak göz önüne alan istatistiksel bir analizin sonucu olduğundan, farklı periyotlara karşı gelen spektrum ivme değerleri de değişik kaynaklarda oluşan depremlerden elde edilmiş olabilir (Reiter, 1990, Bommer ve diğerleri, 2000). Ayrıca, yapay kayıtlardaki temel problem, kuvvetli yer hareketindeki çevrim sayısının artması sonucunda, gerçeğe aykırı olacak kadar büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasıdır (Fahjan, 2008).

4.1.2.2 Simüle Edilmiş (Benzeştirilmiş) Deprem Kayıtları

Bu tür kayıtlar yayılım ortamı ve zemin özelliklerini dikkate alan sismolojik kaynak modellerinden elde edilir. Buradaki en büyük zorluk uygun kaynak, yayılım ortamı ve zemin özelliklerinin tanımlanmasıdır. Kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş kayıtları elde etmekte kullanılan analizlerde, inceleme yapılacak alan için, senaryo depreminin büyüklük ve mesafeye bağlı olarak tanımlanmış olması gerekir. Özellikle sismik tasarım yönetmelikleri kullanıldığı durumlarda, bu bilgilerin çoğu genellikle mevcut değildir (Bommer ve diğerleri, 2003)

4.1.2.3 Gerçek Depremlerden Elde Edilen Kayıtlar

Gerçek deprem kayıtları, yer sarsıntısının doğası ve belli başlı özellikleri (genliği, süresi, faz özellikleri ve frekans içeriği) hakkında sağlıklı bilgiler içerir. Ayrıca, kayıtları etkileyen kaynak, yayılım ortamı ve zemin gibi bütün faktörleri de yansıtır. Bu yüzden sahanın sismolojik parametrelerini de göz önünde bulundurarak bu tür kayıtların seçilmesi diğer alternatiflere göre büyük üstünlük sağlar (Fahjan, 2008).

Mevcut olan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının artması sebebiyle, depremlerde kaydedilmiş ivme kayıtlarının kullanılması ve ölçeklenmesi bu alandaki en güncel araştırma konularından biri haline gelmektedir. Sürekli artan kuvvetli yer hareketi veri tabanlarına rağmen, büyüklük, yırtılma mekanizması, kaynakla saha arasındaki mesafe ve zemin sınıfı gibi deprem parametrelerine bağlı pek çok kombinasyon oluşturulabileceğinden, bazı hallerde duruma uygun kayıt bulmada zorluklarla karşılaşabilmektedir (Bommer ve diğerleri, 2003).

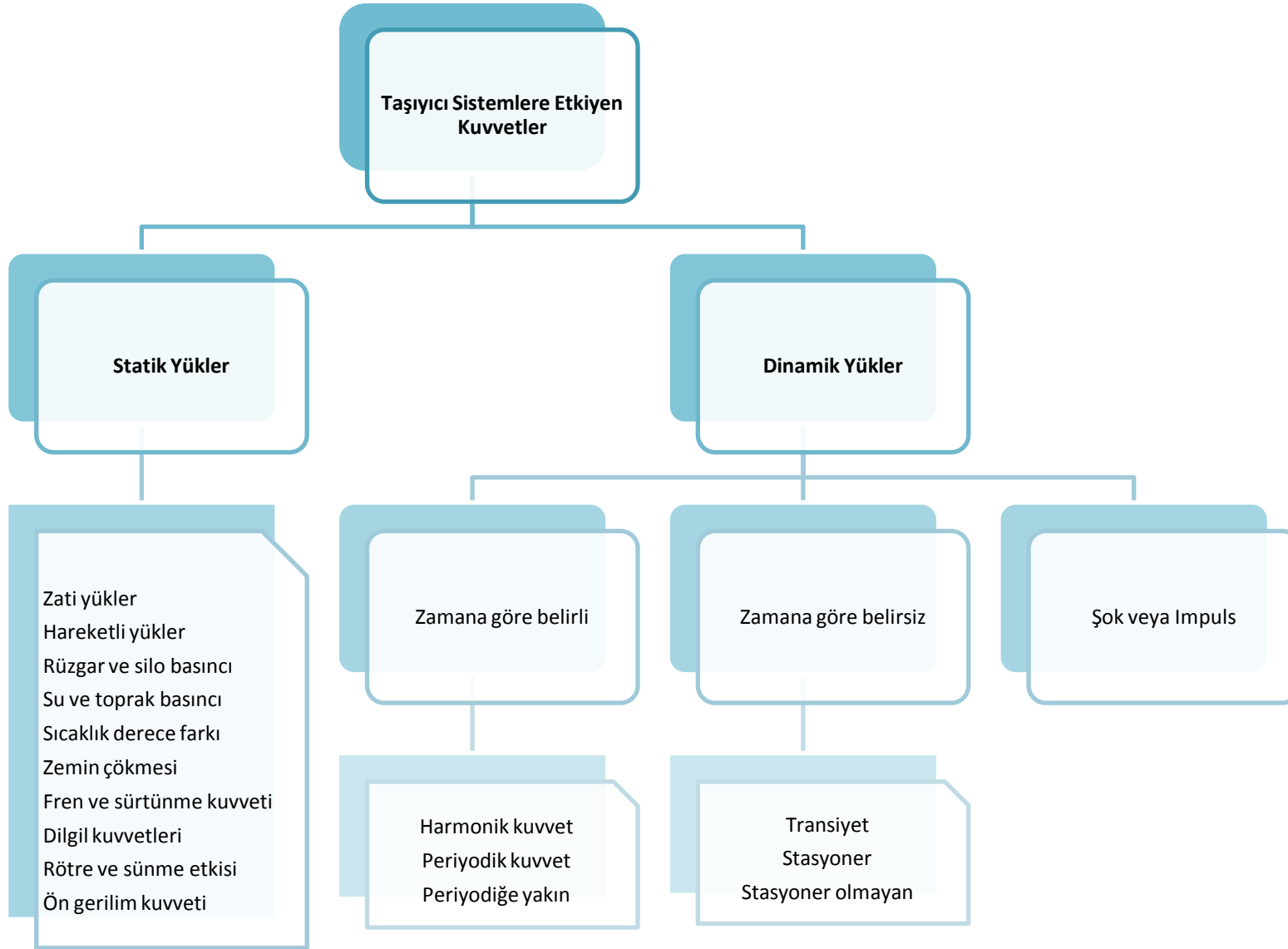
4.2 ZAMANA GÖRE DEĞİŞEN YÜKLER

Zamana göre değişen dinamik yükler, etkili oldukları zaman dilimine göre ve her bir zaman dilimi içerisindeki değişimlerine göre sınıflandırılmaktadır. Yapıların yaşayıcı sistemleri üzerinde etkili olması muhtemel yükler farklı özelliklere sahiptir. Statik yüklerin zamana bağlı bir değişimi söz konusu olmaz iken, dinamik yükler etkili oldukları süre ve söz konusu süre içerisindeki değişimleri ile yapı davranışını şekillendirebilmektedir.

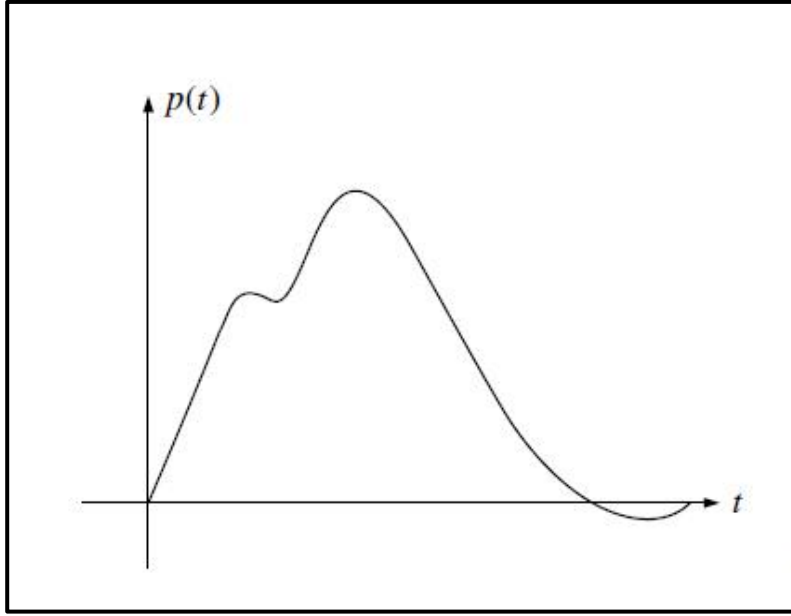
Taşıyıcı sistemin dinamik yüklerle zorunlu titreşim yapmaya zorlanmasından dolayı dinamik yük cinsleri, bazı zamanlar sebep oldukları titreşimlerin şekilleri için kullanılan ifadeler ile adlandırılmaktadır. Şekil 4.1 'de inşaat mühendisliğinde geçerli olan statik ve dinamik yükler ve genel olarak kırımları görülmektedir.

4.2.1 Şok (Darbe) Şeklindeki Dinamik Yükler

İmpuls yükleme durumu, özel dinamik yükleme sınıflarından biridir. Bu çeşit yüklerin etkidiği zaman dilimi önem arz etmektedir. Eğer dinamik yük ani olarak etkiyorsa ve ne kadar süreceği belli değil ise söz konusu yükler “Şok” olarak adlandırılmaktadır. İmpuls olarak adlandırılan yükler ise, birden bire etkili olan fakat etki süresi sınırlı olan yüklerdir. Uçakların çarpması ile meydana gelen etki kuvvetleri de impuls tipi kuvvet etkisi olarak sınıflandırılmaktadır. Yapı üzerindeki yük, genellikle kısa zaman aralığında etkimektedir. İmpuls veya şok yükleri, söz konusu yüklemeye maruz kalan yapıların tasarımında genellikle büyük öneme sahiptirler. Şekil 4.2’de gelişigüzel bir çarpma yüklemesi görülmektedir.

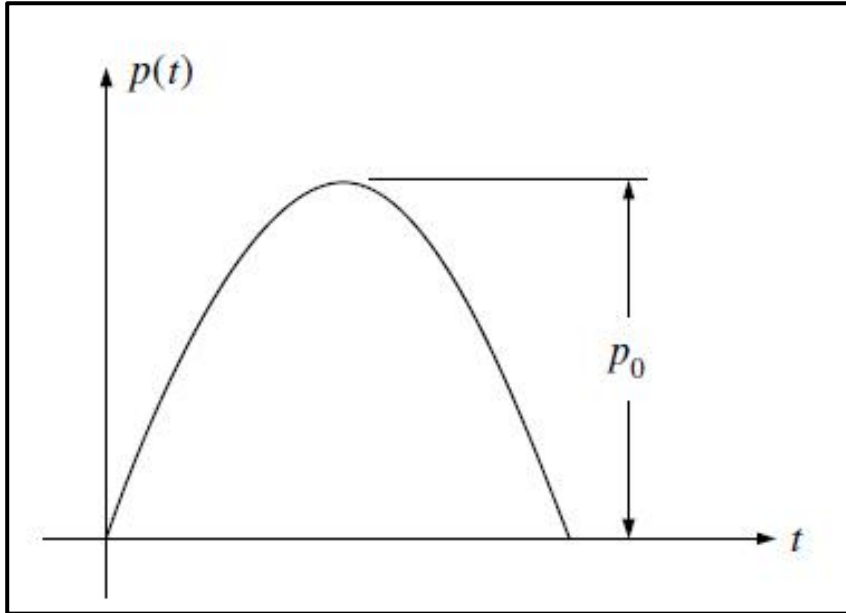


Şekil 4.1 Taşıyıcı sisteme etkiyen yükler

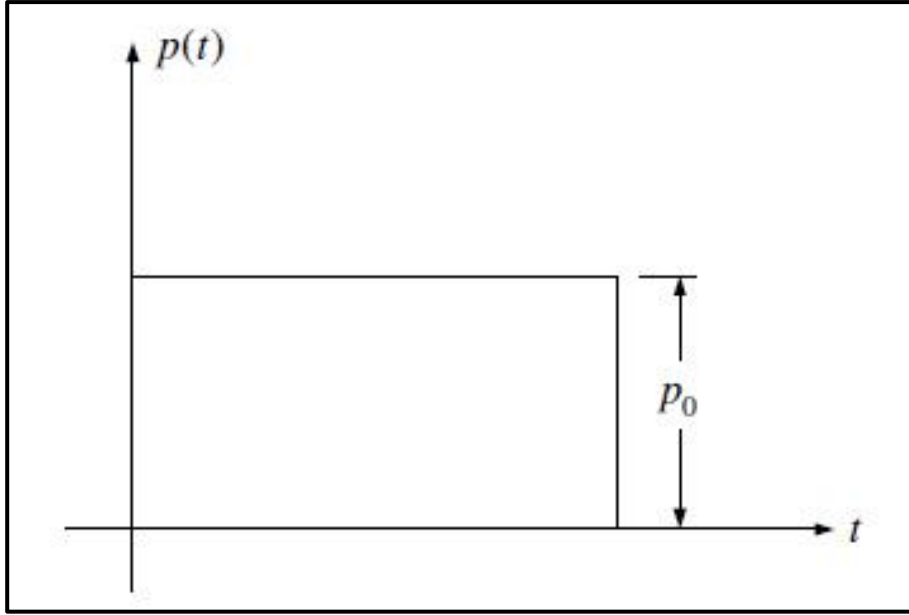


Şekil 4.2 Gelişigüzel çarpma yüklemesi

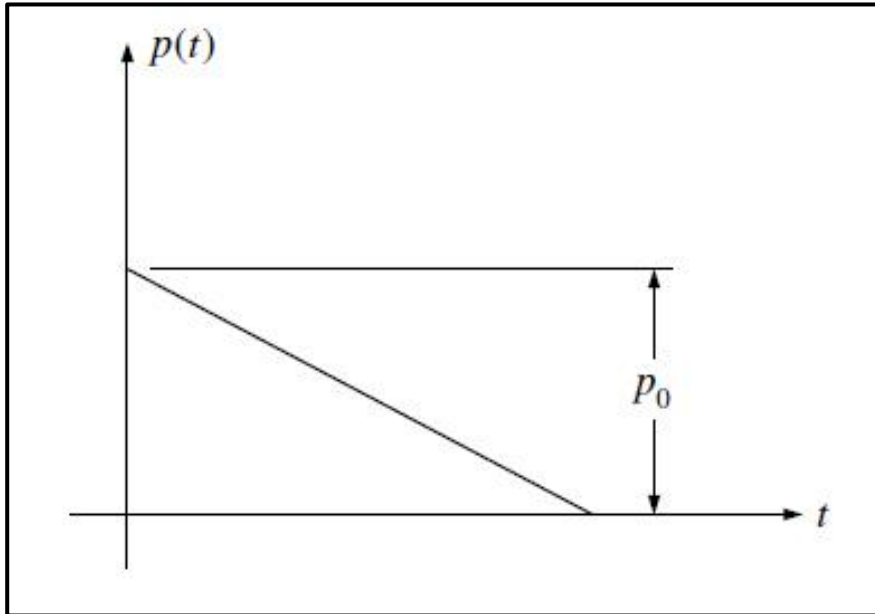
Impuls yüklemesinde sönümlenme, periyodik ya da harmonik yüklere kıyasla, maksimum tepkinin kontrolünde daha az derecesine sahiptir, çünkü sönümlenme yüklerinin yapı üzerinde enerjiyi absorbe edebilmesinden önce, özel bir itki yüklemesi için maksimum tepkiye kısa bir süre içerisinde ulaşılmaktadır. Zamana bağlı yük durumları ile ilgili impuls yük çeşitleri Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.3 Sinüs eğrisi çarpma yükü



Şekil 4.4 Dikdörtgen çarpma yükü



Şekil 4.5 Üçgen çarpma yükü

4.3 NÜMERİK UYGULAMA

4.3.1 Uygulamaya Esas Teşkil Eden Yapı

Örnek olarak İstanbul ili Avcılar ilçesinde betonarme bir yapı ele alınmıştır. 81 m² oturma alanına sahip yapıda, üst katlarda 117m² 'lik bir kullanım alanı bulunmaktadır. İş merkezi olarak servis veren yapı 5 katlıdır. Bir bodrum kat, bir zemin kat ve üç normal kattan oluşmaktadır. Taşıyıcı sistemi betonarme perde ve çerçevedir. Döşeme sistemi her katta ayıdır ve asmolen döşemedir. Yapının bodrum katı her iki doğrultuda 30 cm kalınlığındaki betonarme perdeler ile çevrilmektedir. Üst katlarda 30 cm kalınlığında U şeklindeki asansör boşluğunu çevreleyen betonarme perdeler bulunmaktadır ve yapı yüksekliği boyunca devam etmektedir. Yapı yaklaşık olarak 60 cm kalınlığında radye temele sahiptir. Kolon boyutları yapı yüksekliği boyunca 60 cm x 60 cm olarak devam etmektedir. Bodrum kat yüksekliği 4.5 m, zemin kat yüksekliği 3.5 m ve normal katların yükseklikleri 2.6 m'dir. Şekil 4.6 - 4.10' da örnek yapıya ait fotoğraflar, Şekil 4.11 - 4.13' te ise kat planları görülmektedir.



Şekil 4.6 Örnek yapının perspektif görünüşü

Şekil 4.7 Örnek yapının sağ cephe görünüşü



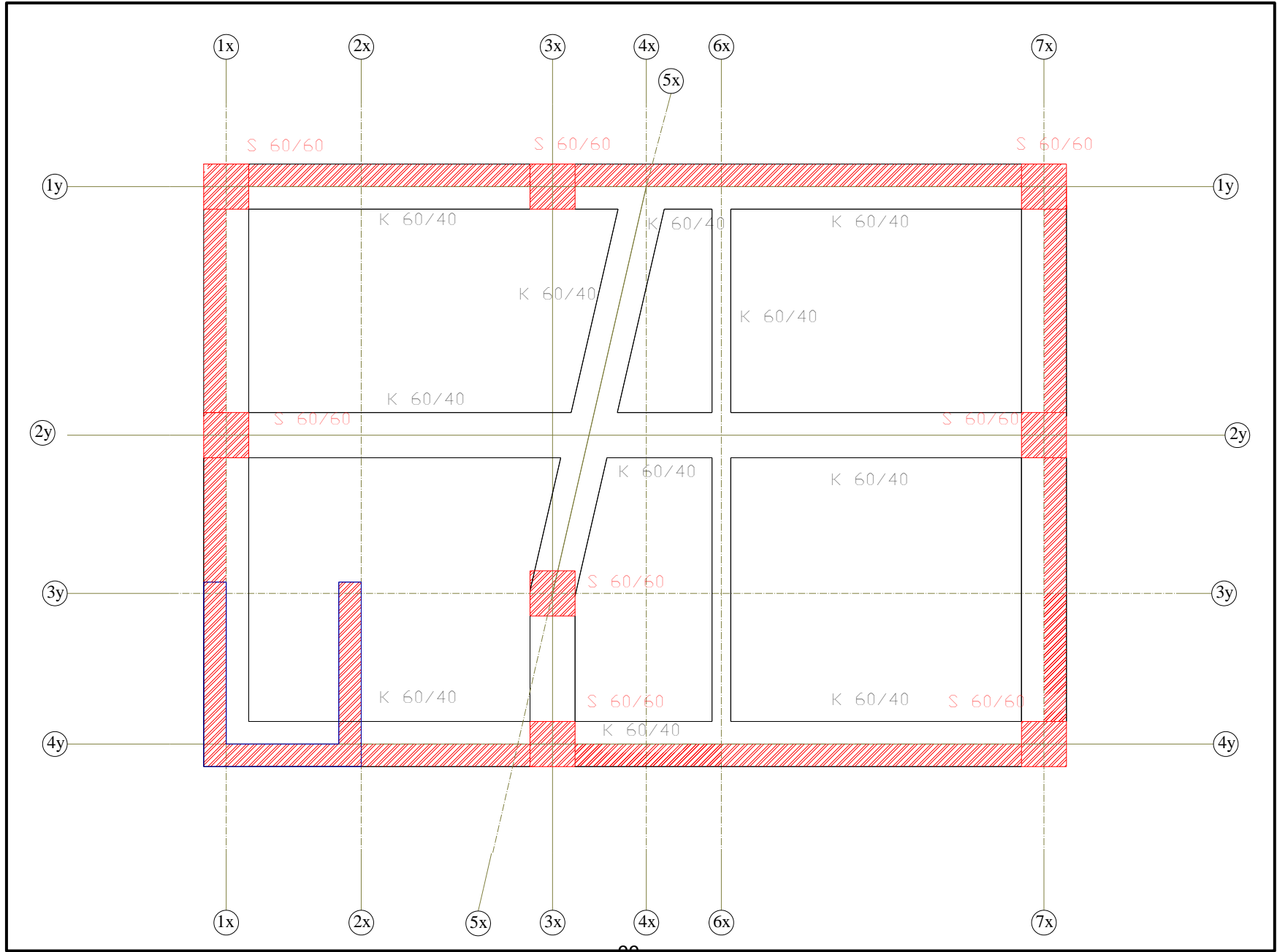
Şekil 4.8 Örnek yapının sağ cepleden perspektif görünüşü



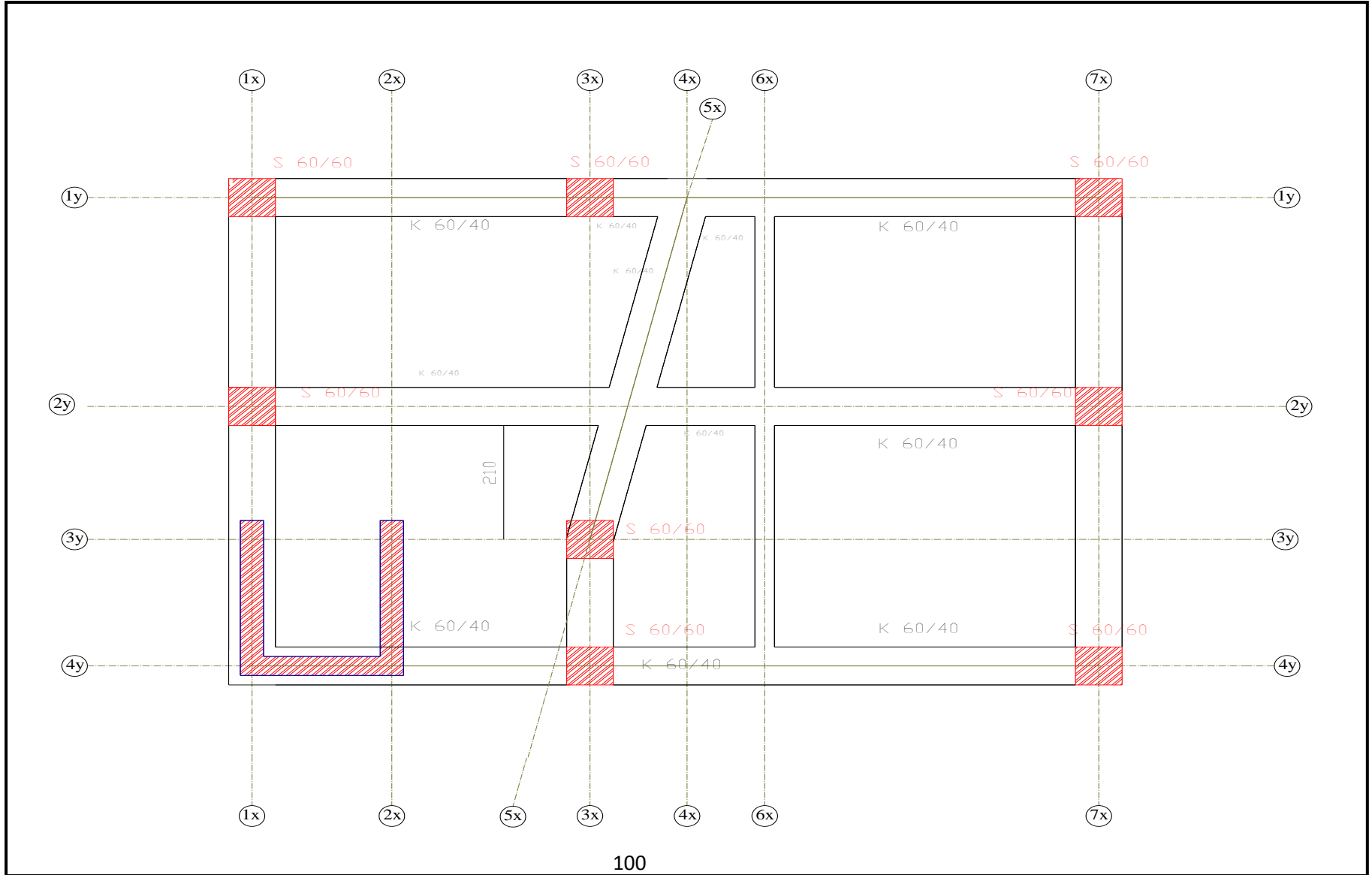
Şekil4.9 Örnek yapının sol cepheden perspektif görünüşü



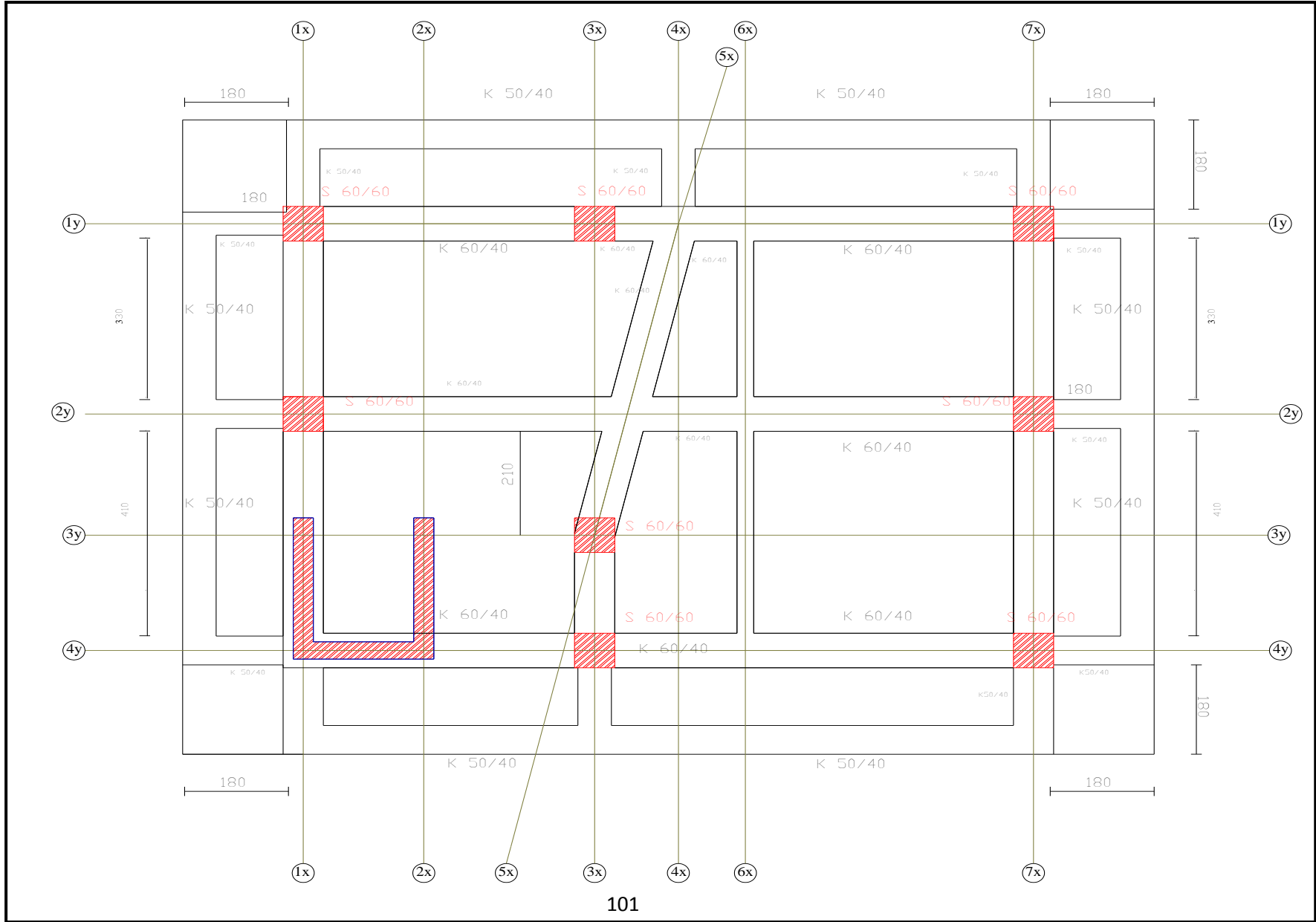
Şekil 4.10 Örnek yapının arka cephe görünüşü



Şekil 4.11 Örnek yapının bodrum kat planı



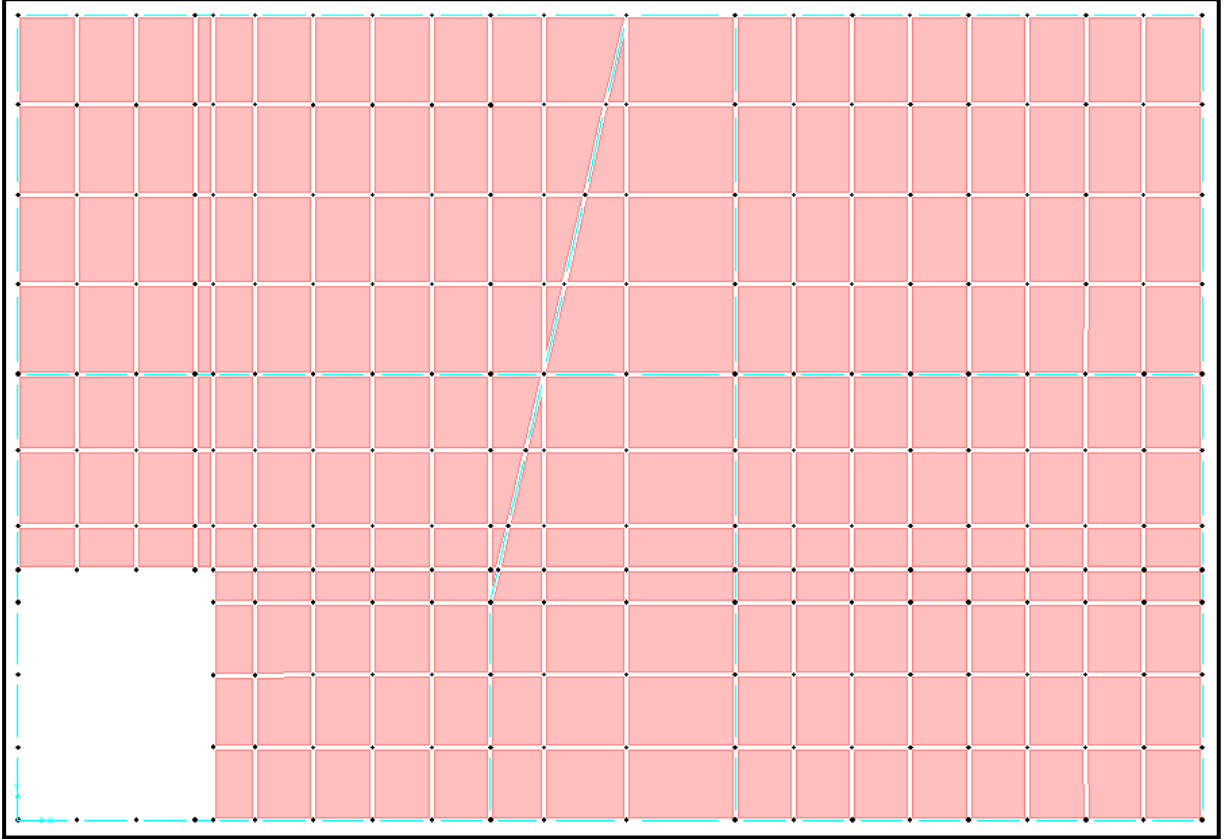
Şekil 4.12 Örnek yapının zemin kat planı



Şekil 4.13 Örnek yapının normal kat planı

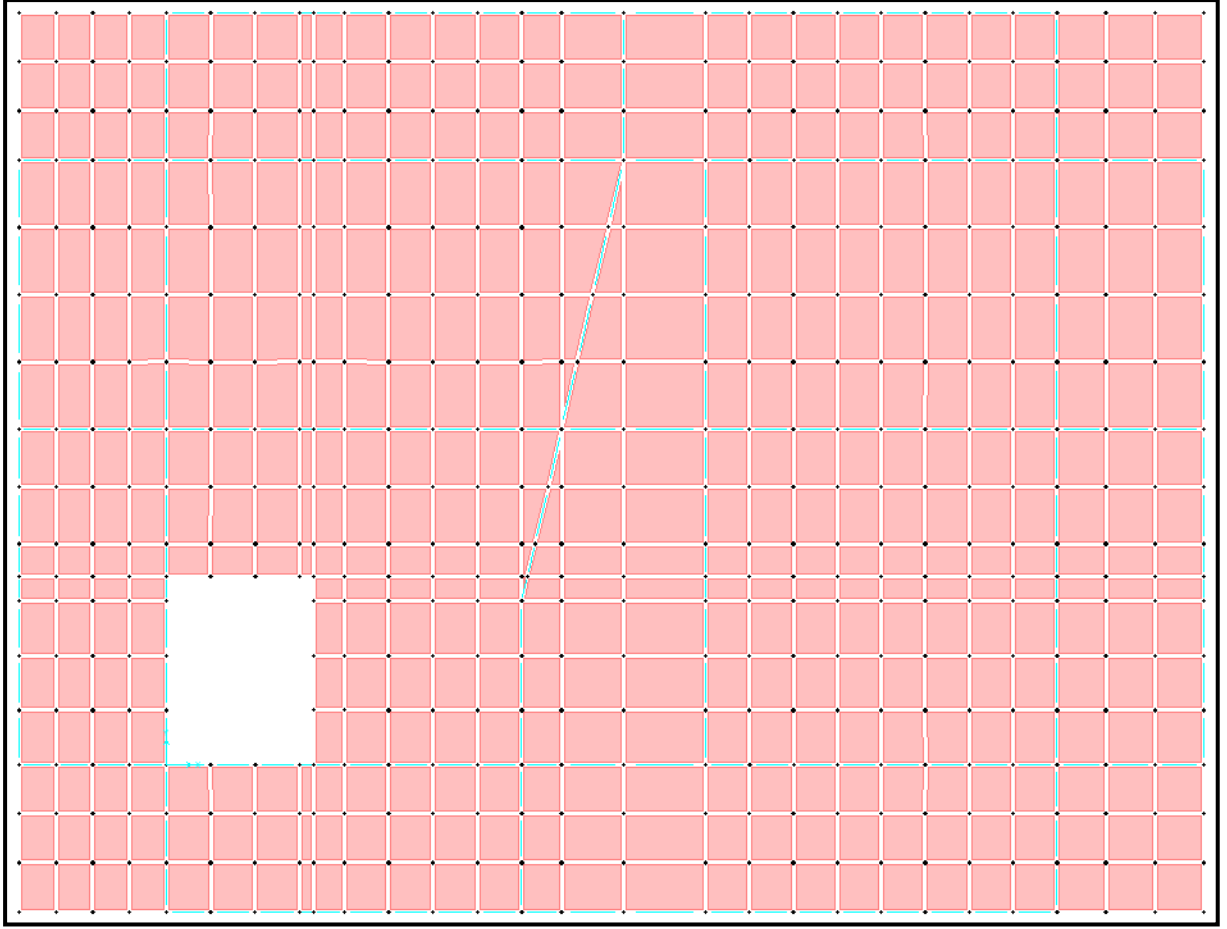
4.3.2 Örnek Yapının Sonlu Elemanlar Modeli

Söz konusu örnek yapı SAP2000 genel amaçlı sonlu elemanlar yazılımında modellenmiştir. Şekil 4.14 'de örnek yapının yatay düzlemde zemin kat modeli, Şekil 4.15 'de normal kat modeli, Şekil 4.16 - 4.18' de ise yapının üç boyutlu bilgisayar modeli görülmektedir.

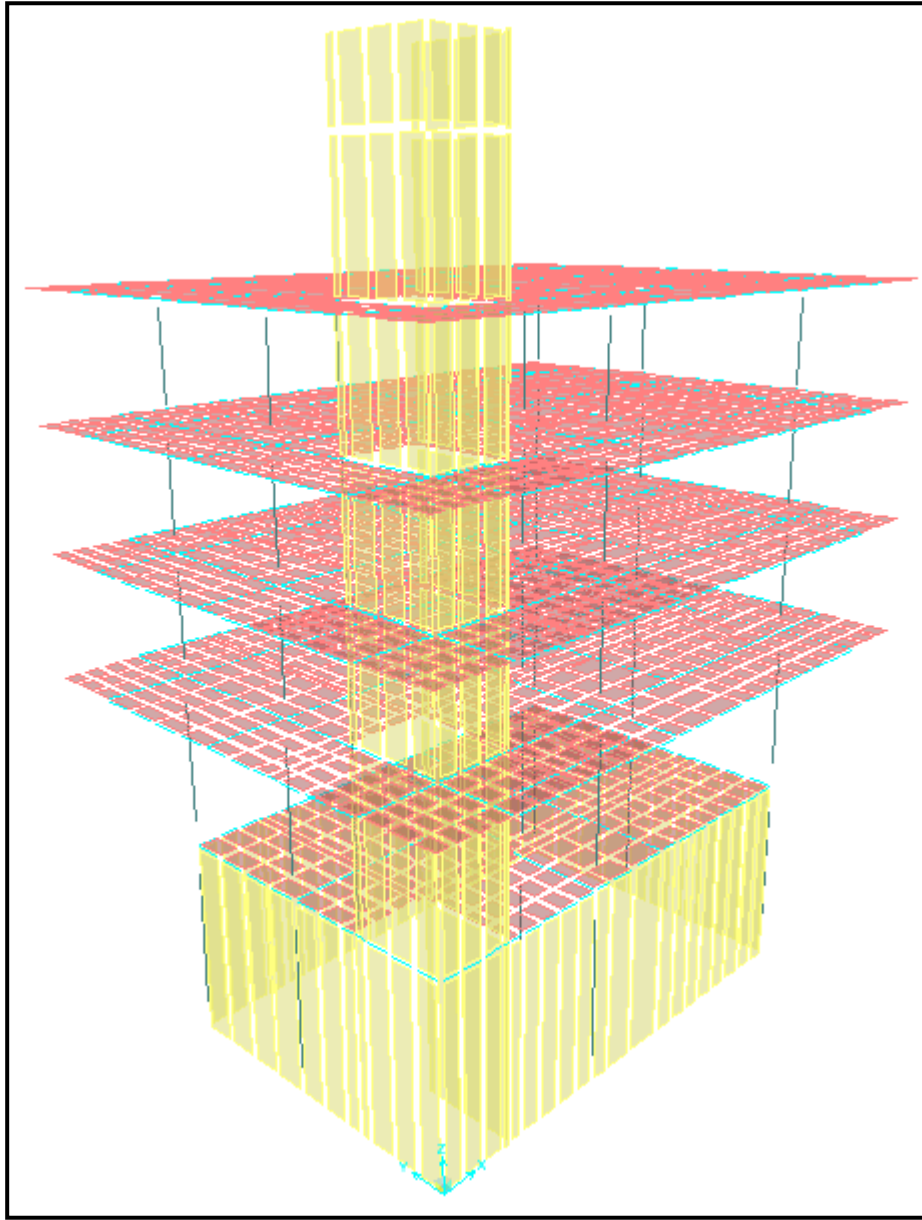


Şekil 4.14 Örnek yapının zemin kat bilgisayar modeli

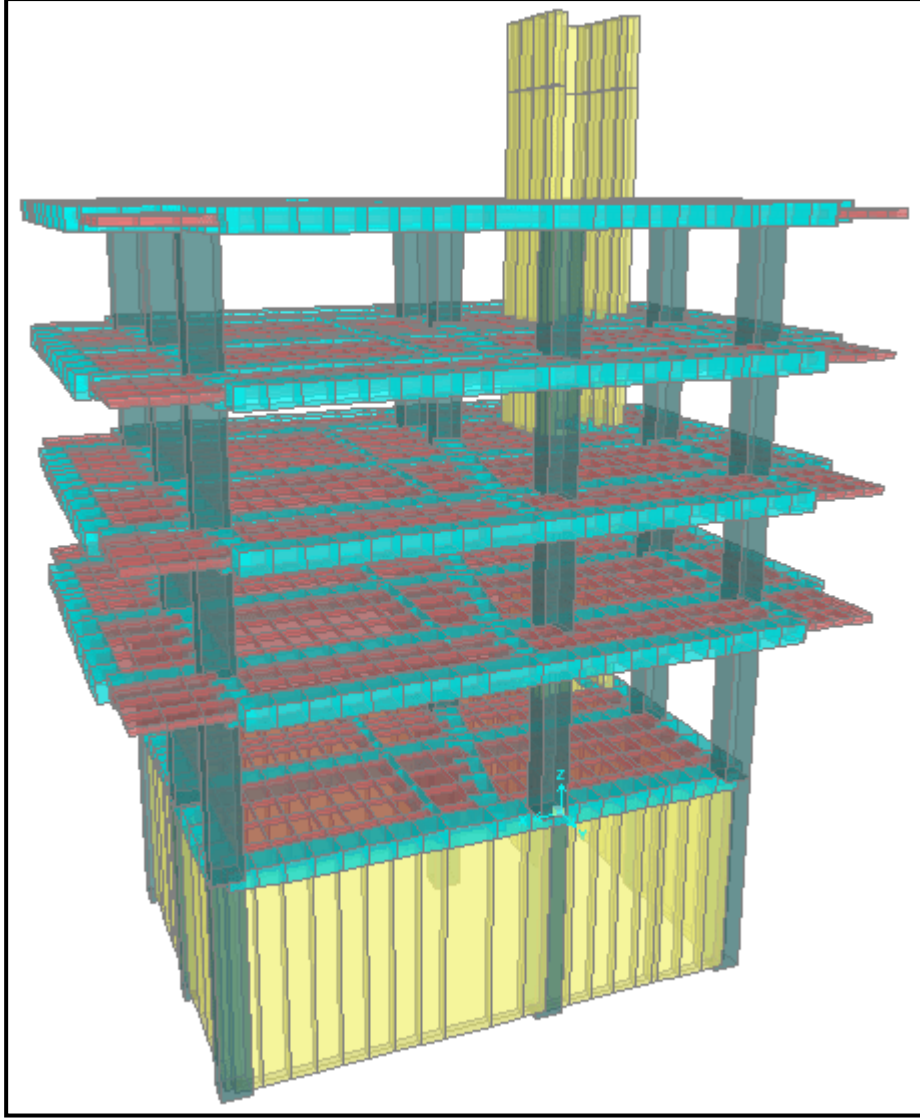
Nümerik uygulamaya esas teşkil edecek olan örnek yapı sonlu elemanlar yazılımında bulunan eleman kütüphanesinde, kolon ve kirişler çerçeve elemanı olarak, betonarme perde duvarlar ve döşemeler kabuk eleman olarak modellenmiştir. Döşemeler kat hizalarında düzleminde sonsuz rijit olarak modellenmemiş, dolayısı ile sahip oldukları rijitlikler nümerik analizlerde göz önünde bulundurulurken üzerlerinde oluşacak gerilme dağılımlarının incelenmesine olanak sağlanmıştır. Temel bloğundaki düğüm noktalarının serbestlikleri tutulmuş (ankastre mesnet) ve söz konusu örnekte yapı – zemin ilişkisi gözardı edilmiştir.



Şekil 4.15 Örnek yapının normal kat bilgisayar modeli



Şekil 4.16 Örnek yapının genel amaçlı sonlu elemanlar programı 3 boyutlu model görünümü



Şekil 4.17 Örnek yapının genel amaçlı sonlu elemanlar programı 3 boyutlu model görünümü

4.3.3 Örnek Yapının Sonlu Elemanlar Yazılımında İncelenme Kriterleri

Yapı öncelikle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik 'e göre deprem yükleri etkisinde incelenmiş, yerdeğiştirme ve kesit tesirleri elde edilmiştir. Patlatma kaynaklı titreşimlerin söz konusu yapı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla, farklı bir arazi üzerinde yapılmış bir patlatma faaliyetinden yapılan ölçümler neticesinde elde edilen veriler kullanılmıştır. Arazi üzerinde yapılan 50 adet patlatma faaliyetine ait maksimum parçacık hızı, maksimum parçacık ivmesi, baskın frekans ve maksimum deplasman parametrelerine ait boyuna, enine ve düşey doğrultudaki ölçüm değerleri EK' te yer almaktadır.

Patlatma kaynağından yayılan titreşimlerden alınan ölçüm verileri, genel amaçlı sonlu elemanlar programında kullanılacak formatta düzenlenip örnek yapı üzerine uygulanmıştır. Deprem yükleri etkisine maruz bırakılan modelde olduğu gibi, titreşim etkisindeki yapının deplasman ve kesit tesirleri elde edilmiştir.

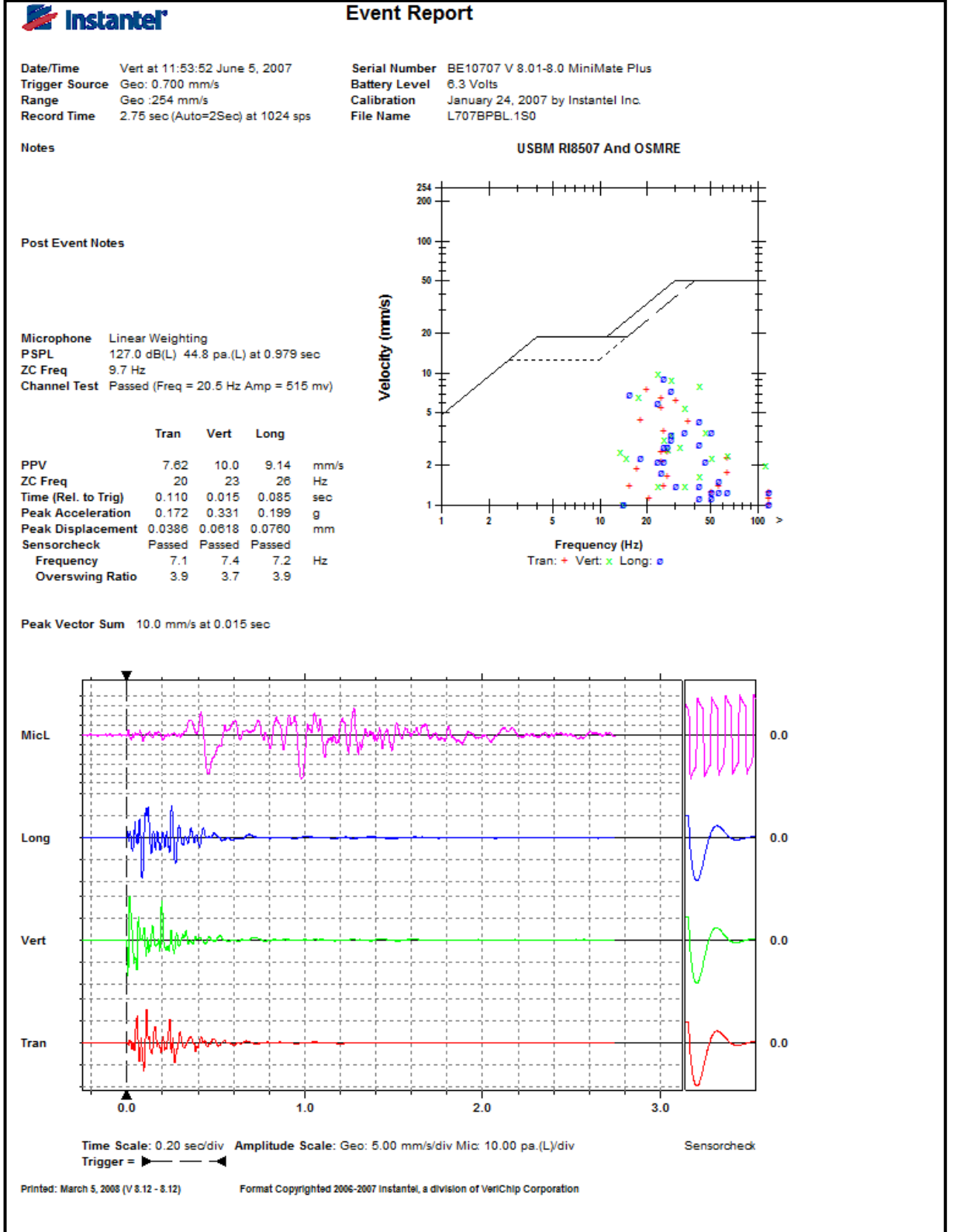
Örnek olarak seçilen yapı ile ilgili yapısal analize esas teşkil edecek olan titreşim kaydı, İstanbul ili, Gaziosmanpaşa ilçesi, Cebeci mevkiinde bulunan taşocaklarında yapılan açık ocak patlatma faaliyetlerinden alınan ölçümlerden alınmıştır. 5 Haziran 2007 tarihinde saat 11:53 'deki patlatma faaliyetinde yapılan titreşim ölçümü örnek yapının yapısal analizlerinde kullanılmıştır. Söz konusu titreşimin karakteristikleri Tablo 4.1 'de listelenmiştir.

Tablo 4.1 Örnek yapı modelinde uygulanacak titreşim karakteristikleri

	Boyuna Doğrultu	Enine Doğrultu	Düşey Doğrultu
Maksimum Parçacık Hızı (mm/s)	9.14	7.62	10.0
Frekans (Hz)	26	20	23
Zaman (Sn)	0.085	0.110	0.015
Parçacık İvmesi (g)	0.199	0.172	0.331
Yerdeğiştirme (mm)	0.0760	0.0386	0.0618

Alınan titreşim kadında maksimum parçacık hızları yatay doğrultularda 9.14 ve 7.62 mm/sn, düşey doğrultuda ise 10.0 mm/sn olarak ölçülmüştür. Söz konusu maksimum hızlar patlatma anından itibaren sırasıyla 0.0085. sn, 0.110. sn ve 0.015. sn'lere tekabül etmektedir. Parçacık ivmeleri yatay doğrultularda 0.199g, 0.172g ve 0.331g olarak tespit edilmiş, maksimum parçacık yerdeğiştirmeleri 0.0760 mm, 0.0386 mm ve 0.0618 mm olarak elde edilmiştir. Toplamda 2.75 sn'lik periyotta yapılan ölçüm sonuçlarının bilgisayar ortamında anlamlandırılması neticesinde, söz konusu zaman dilimi içerisinde ölçülen parçacık hızları ve bu hızlara ait zaman koordinatları değerlendirilerek, ivme – zaman parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen ivme – zaman değerleri genel amaçlı sonlu elemanlar programına aktarılacak formata getirildikten sonra söz konusu yapı

titreşim etkisine maruz bırakılmıştır. Kaydedilen titreşimler, ayrı ayrı yatay doğrultularda etkitildiği gibi, iki yatay doğrultu ve bununla birlikte düşey doğrultu bileşeni de yapı üzerine etkitilmiştir. Söz konusu titreşim karakteristiklerini temsil eden bilgisayar programı raporları Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’ da görülmektedir.



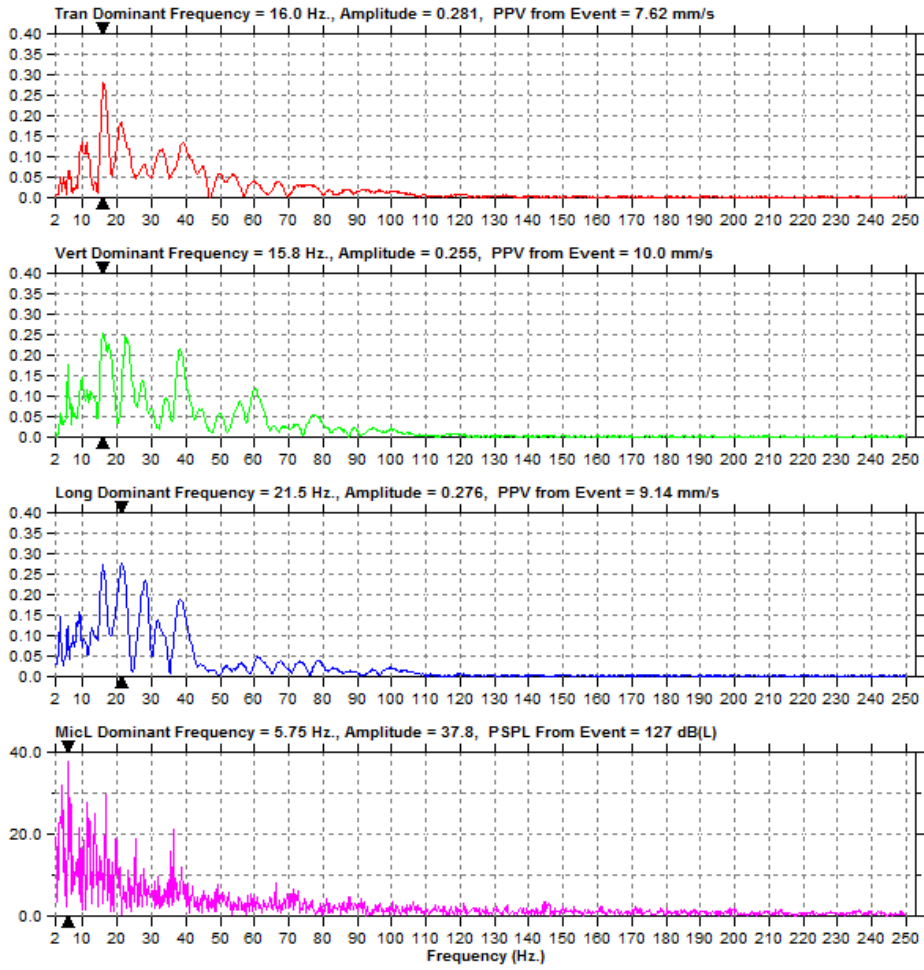
Şekil 4.18 Örnek yapıya etkilecek olan patlatma kaynaklı titreşim ölçümünün bilgisayar programından alınan faaliyet raporu

Date/Time Vert at 11:53:52 June 5, 2007
 Trigger Source Geo: 0.700 mm/s
 Range Geo :254 mm/s
 Record Time 2.75 sec (Auto=2Sec) at 1024 sps

Serial Number BE10707 V 8.01-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.3 Volts
 Calibration January 24, 2007 by Instanter Inc.
 File Name L707BPBL.1S0

Notes

Post Event Notes



Şekil 4.19 Örnek yapıya etkilecek olan patlatma kaynaklı titreşim ölçümünün bilgisayar programından alınan Frekans – İvme raporu

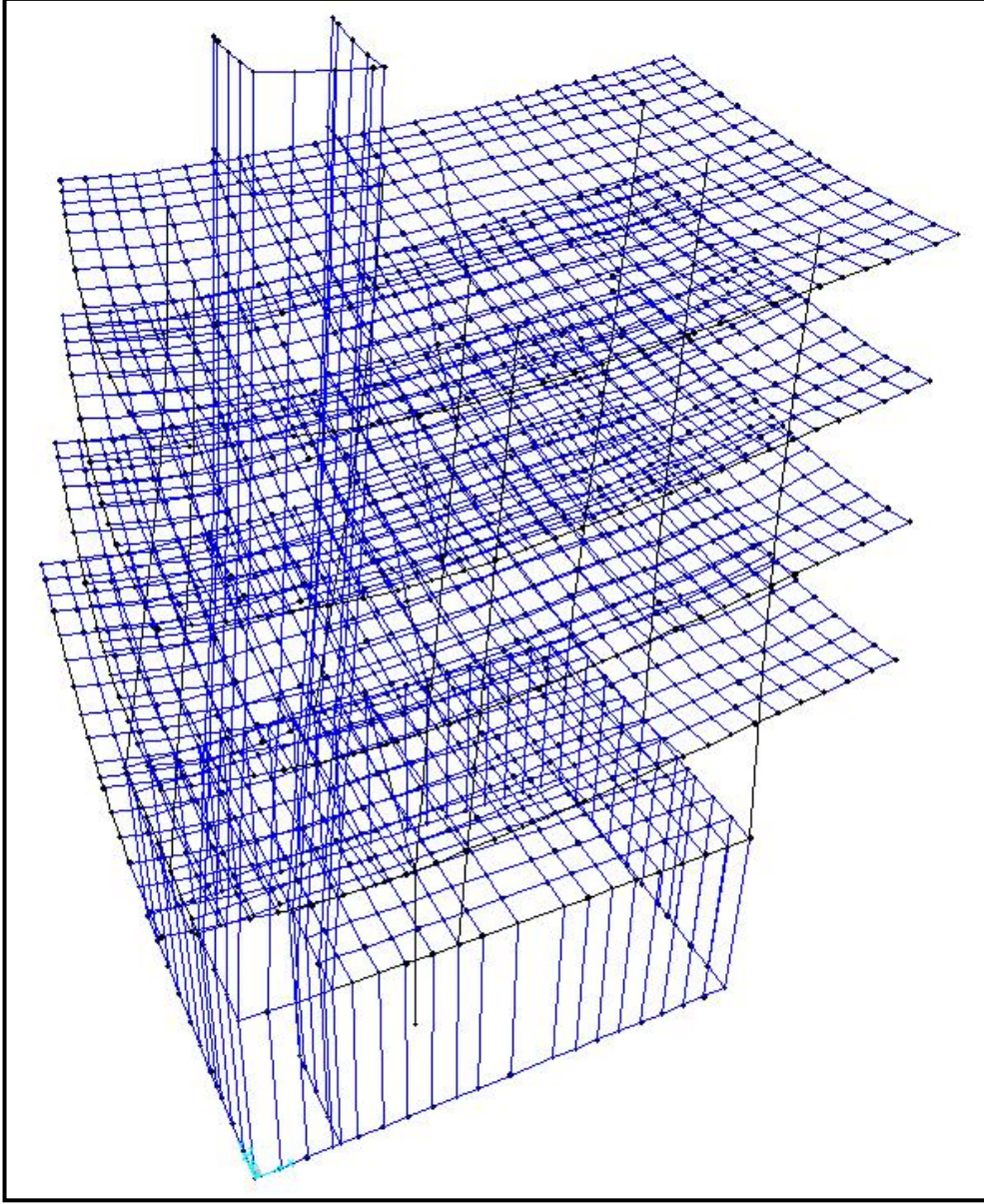
Aynı yapı, titreşim kayıtlarının dışında, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik 'e göre tekrar modellenmiş ve incelenmiştir. Ayrı ayrı her iki durumda da yapıdaki kesit tesirleri ve yerdeğiştirmeleri incelenmiş, yakınsamalar araştırılmıştır.

4.3.4 Örnek Yapının Deprem Yükleri Etkisinde İncelenmesi

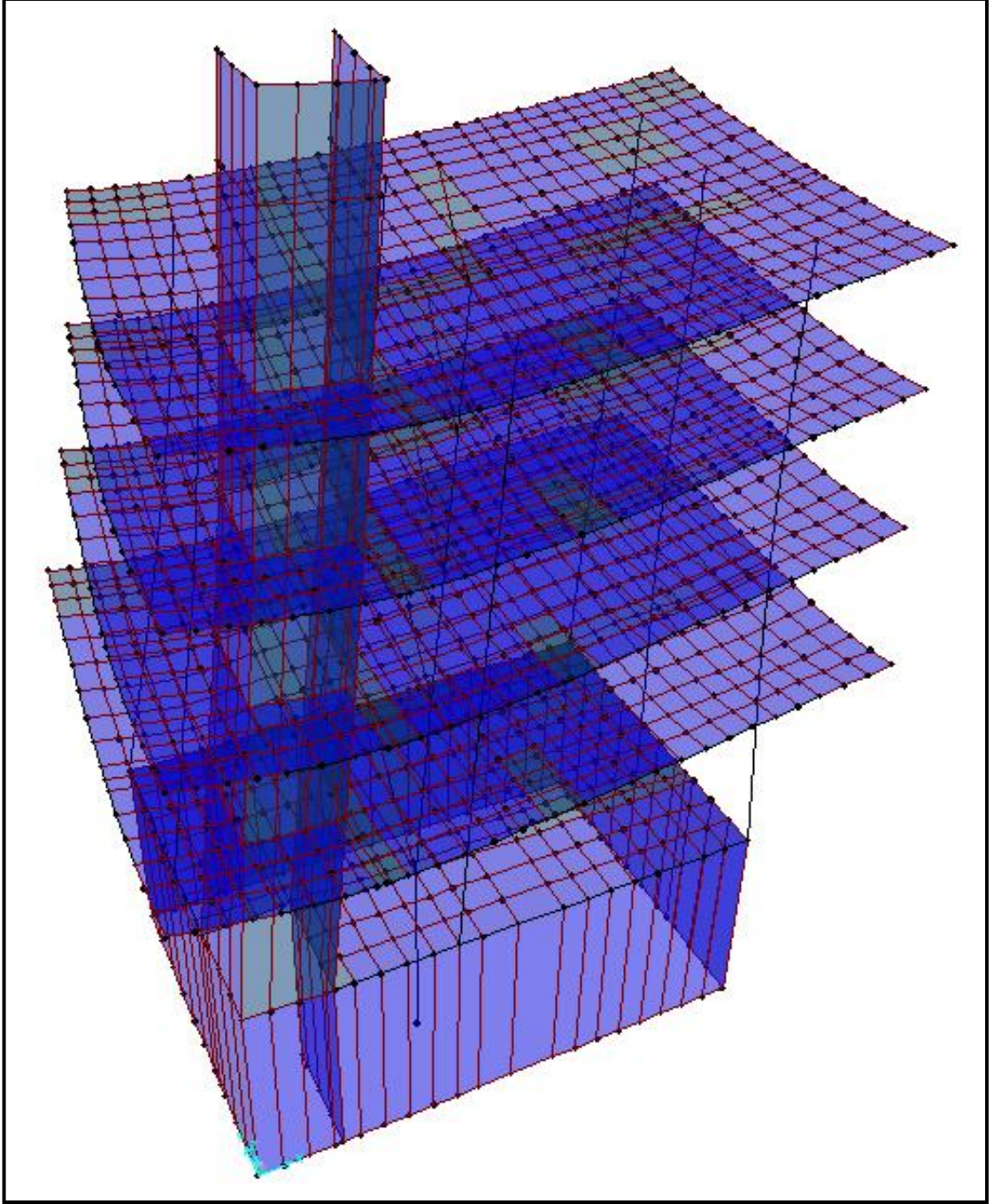
Söz konusu yapı modeli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik uyarınca analiz edilmiştir. Öncelikle “Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi” 'ne göre hesaplanan deprem yükleri etkisinde incelenen yapı için analiz karakteristikleri Tablo'da görölmektedir. Konut türü yapı olması nedeni ile bina önem katsayısı 1 olan binanın, I. deprem bölgesinde bulunması nedeni ile etkin yer ivmesi katsayısı 0.4 olarak alınmıştır. Z3 grubu yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edilmiş olan binada spektrum karakteristik periyotları 0.3 ve 0.9' dur. Taşıyıcı sistemi betonarme perde duvar ve betonarme çerçevelerden oluştuğundan taşıyıcı sistem davranış katsayısı 7 olarak alınmıştır. Düzlemde her iki doğrultuda deprem yükleri ile beraber zati yükler ve hareketli yükler de yapısal analizlerde yükleme kombinasyonlarına dahil edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen deforme olmuş yapı görüntülerinden, yatay düzlemde X eksenı doğrultusundaki deprem yüklemesi etkisi altındaki şekil değıştirmiş hali Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 'te görölmektedir.

Tablo 4.2 Örnek yapının deprem karakteristikleri

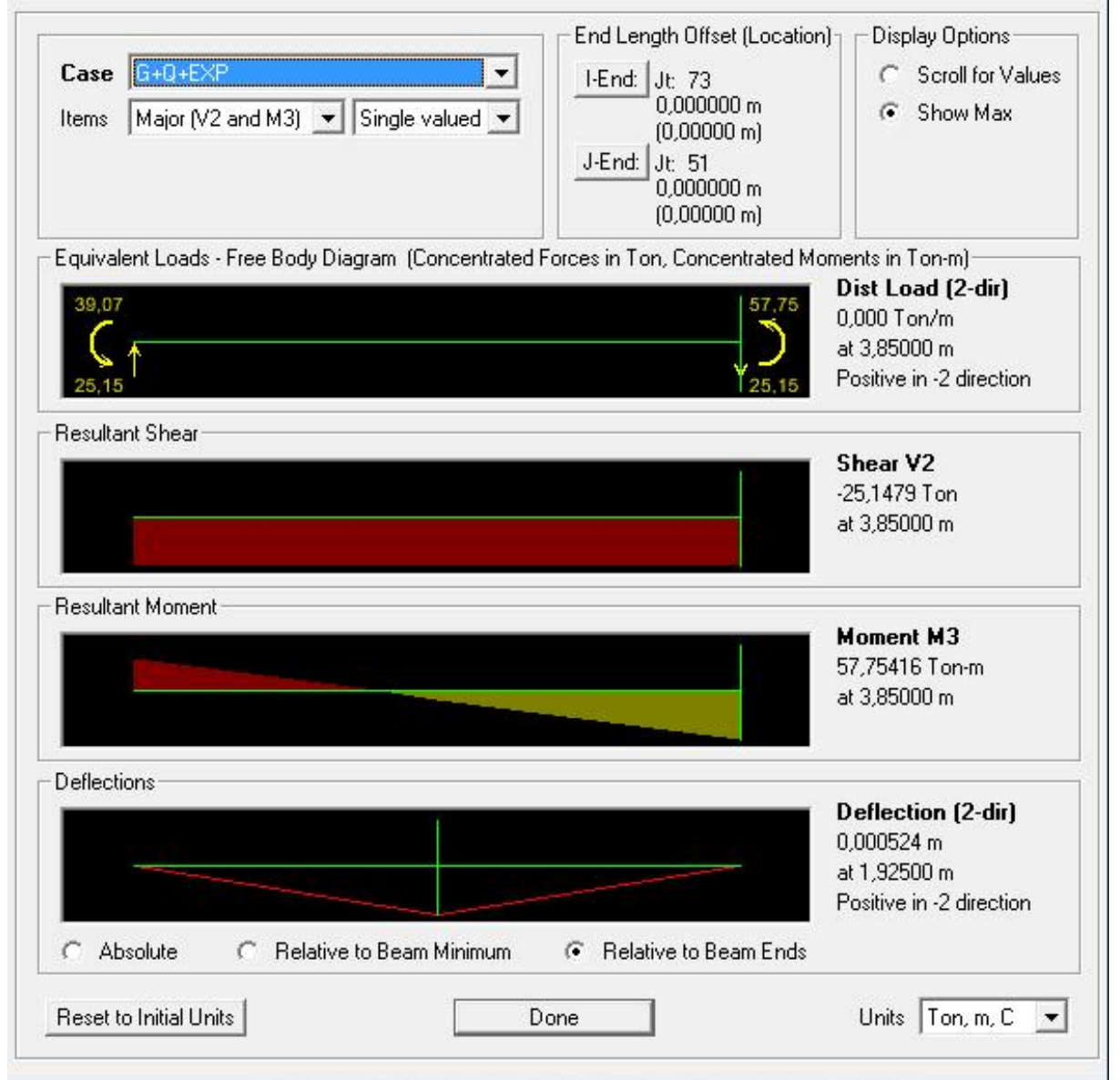
Bina önem katsayısı (I)	1.0
Deprem Bölgesi	1. derece
Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0)	0.4
Yerel zemin sınıfı	Z3
Spektrum karakteristik periyotları (T_A, T_B)	0.3 – 0.9
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	7



Şekil 4.20 Örnek yapı modelinin X ekseninde deprem yükleri etkisinde şekil değiştirmesi



Şekil 4.21 Örnek yapı modelinin X ekseninde deprem yükleri etkisinde şekil değıştirmesi

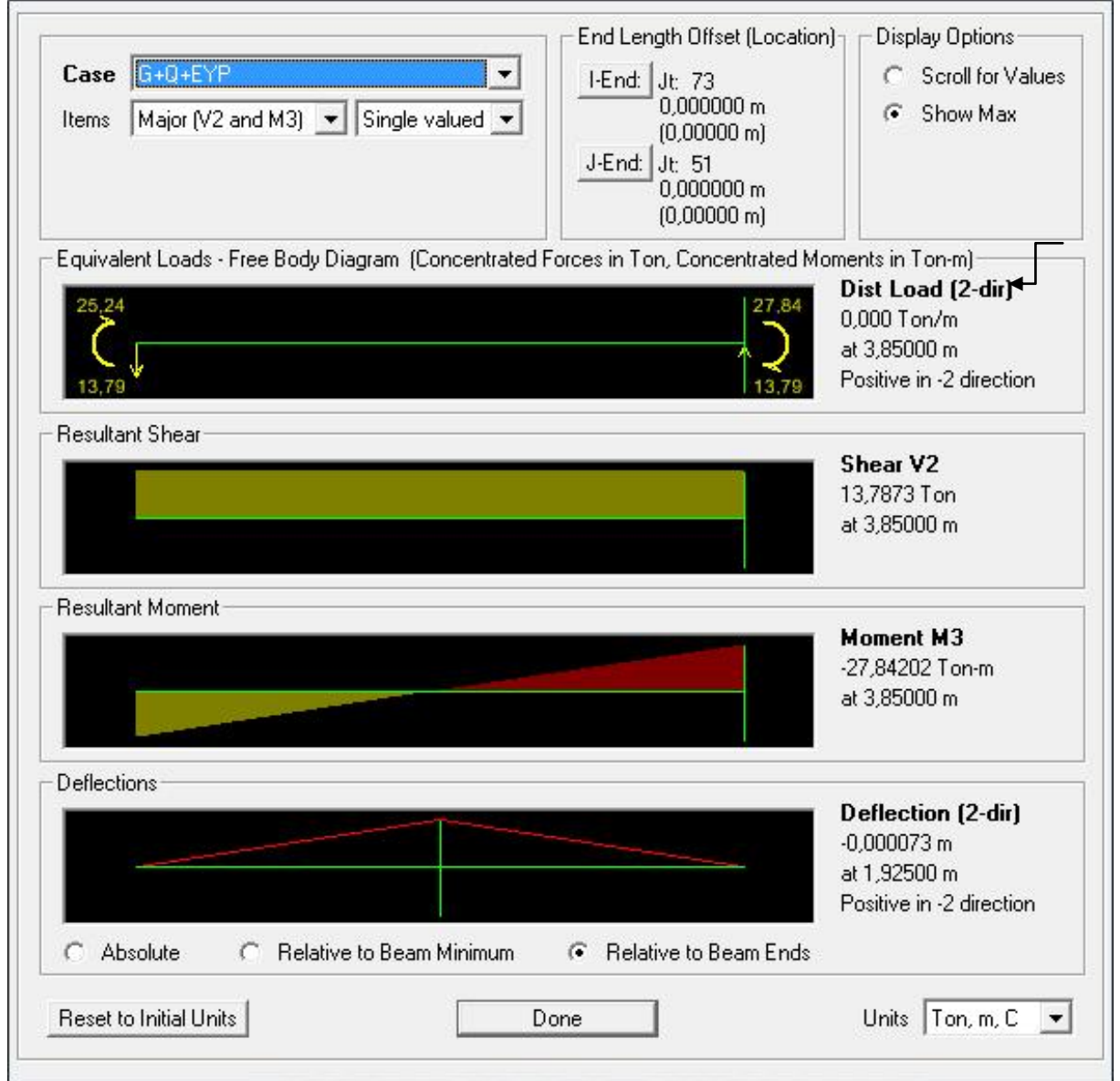


Şekil 4.22 Örnek olarak seçilen düşey elemanın X ekseninde deprem yükleri etkisindeki kesit tesirleri

Şekil 4.22' de X-Z düzleminde konumu gösterilen ve işaretlenen düşey elemanın, X ekseninde, deprem yükleri etkisinde 2-2 ekseninde kesme kuvveti ve 3-3 eksenindeki moment değerleri yukarıda grafikte gösterildiği şekildedir. Kesme kuvveti, söz konusu eksen takımında -9.484 t olarak sabit iken, moment değerleri alt düğüm noktasında 25.78 tm, üst düğüm noktasında ise -10.74 tm olarak elde edilmiştir.

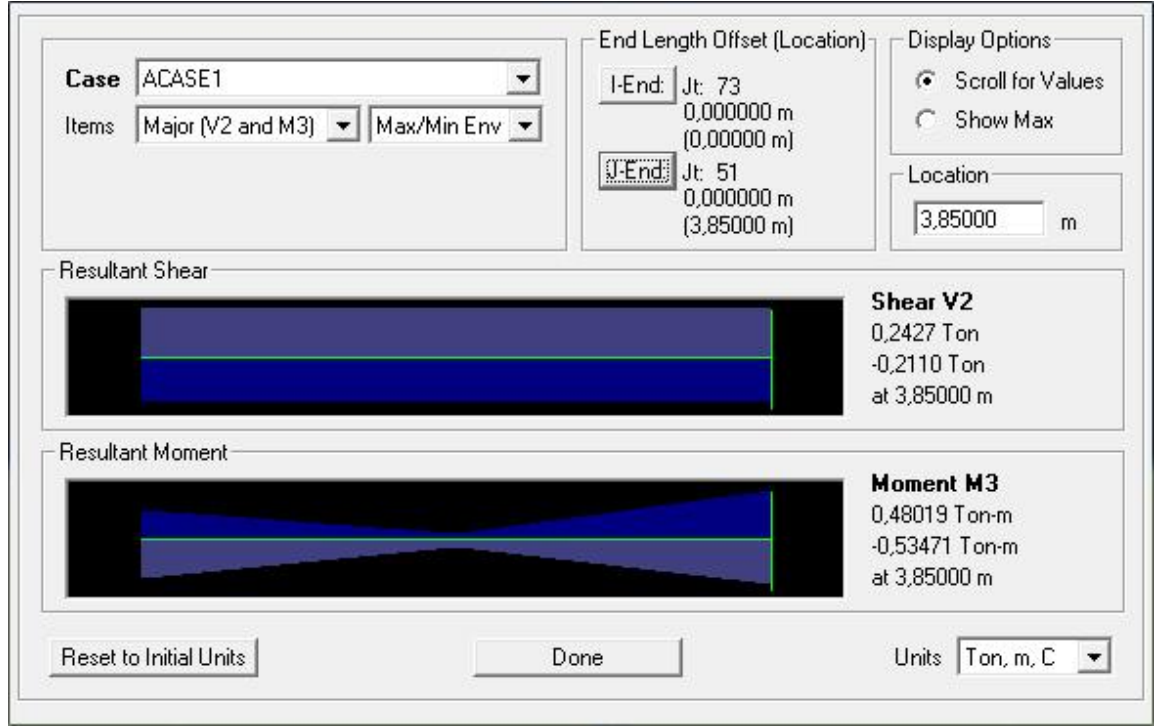
Şekil 4.23' de, aynı düşey elemanın Y ekseninde deprem yükleri etkisinde 2-2 ekseninde kesme kuvveti ve 3-3 eksenindeki moment değerleri görülmektedir. Söz

konusu elemanda 2-2 ekseninde kesme kuvveti 2.96 t, 3-3 ekseninde moment değerleri ise alt uğta -4.55 tm, üst düğüm noktasında ise 6.85 tm olarak belirlenmiştir.

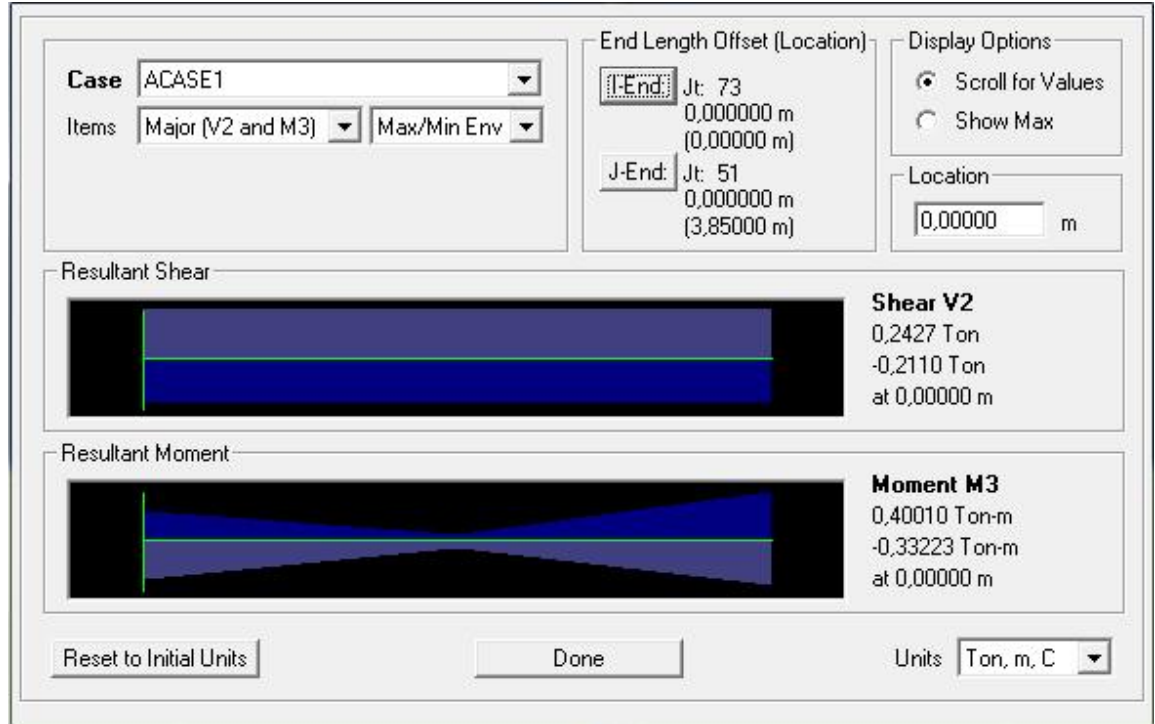


Şekil 4.23 Örnek olarak seçilen düşey elemanın Y ekseninde deprem yükleri etkisindeki kesit tesirleri

4.3.5 Örnek Yapının Ölçülen Titreşim Kaydı Etkisinde İncelenmesi



Şekil 4.24 Örnek olarak seçilen düşey elemanın global X ekseninde titreşim kayıtlarına bağlı alt uç kesme kuvveti ve moment değişimleri



Şekil 4.25 Örnek olarak seçilen düşey elemanın global X ekseninde titreşim kayıtlarına bağlı üst uç kesme kuvveti ve moment değişimleri

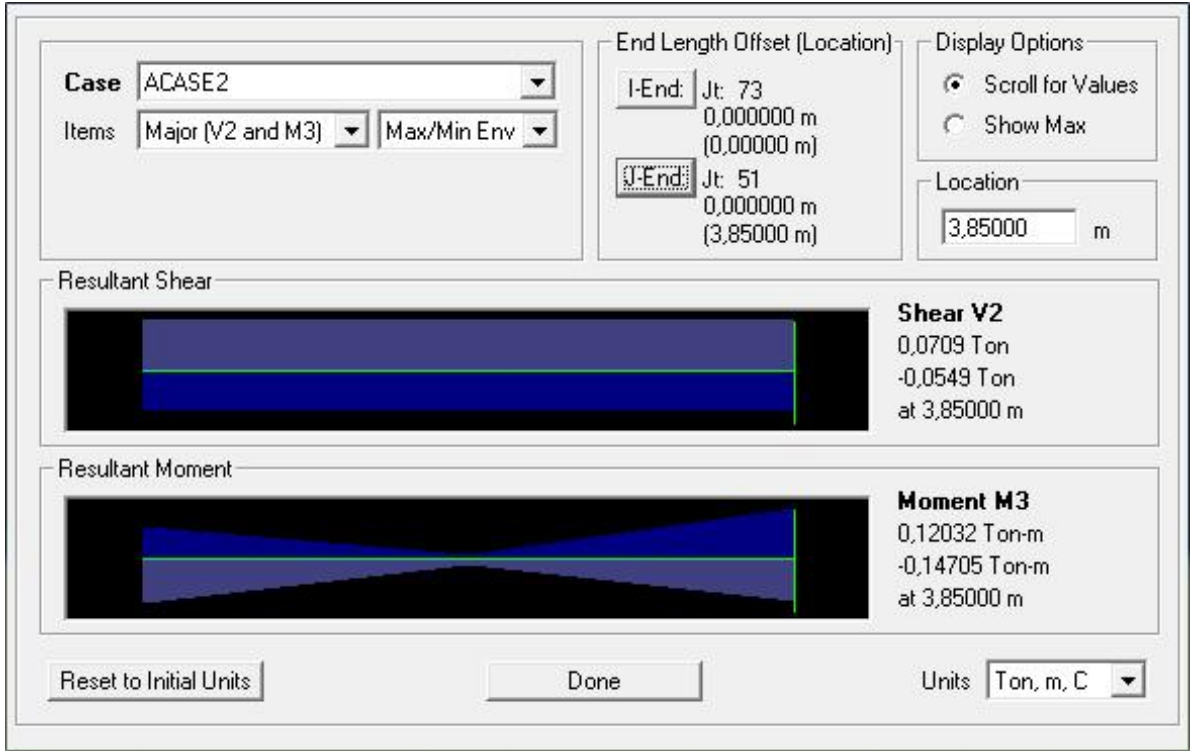
Titreşim kayıtlarındaki X eksenindeki hız verilerinden yola çıkarak elde edilen ivme değerlerinin kullanılmasıyla 3X – 4Y akslarında bulunan 61 numaralı düşey elemanın alt ucundaki 2-2 eksenindeki kesme kuvveti ve 3-3 eksenindeki moment değerlerindeki değişimler Şekil 4.24’ de görülmektedir. Söz konusu elemanın alt ucundaki kesme kuvveti değişimi 0.2427 t ile -0.2110 t arasında, moment ise 0.4802 tm ile -0.5347 tm arasında değişmektedir. Diğer taraftan Şekil 4.25’ te söz konusu elemanın üst ucundaki kesme kuvveti değişimi aynı kalırken, moment değişimi 0.40 tm ile -0.3322 tm arasında gerçekleşmiştir.

4.3.6 Deprem Yükleri ve Titreşim Kayıtlarına Göre İncelenen Yapının Eleman Bazında Kesit Tesirleri Açısından Kıyaslanması

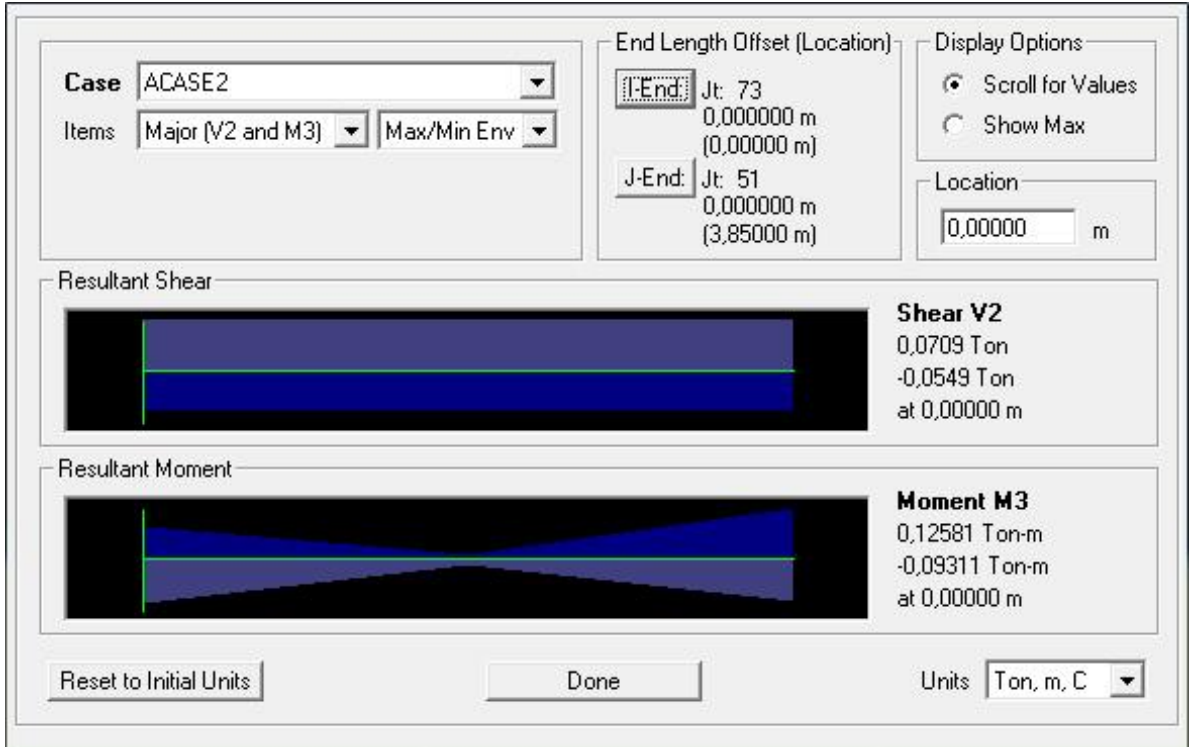
Söz konusu elemanın alt ve üst uçları için yapılmış mukayese tabloları Tablo 4.3’ de görülmektedir. Karşılaştırmalar, yatay düzlemde her iki doğrultu için ayrı ayrı yapılmıştır.

Tablo 4.3 Örnek olarak seçilen düşey elemanın alt düğüm noktasına ait X doğrultusu deprem yükleri ve patlatma kaynaklı titreşim etkisinde kesit tesirleri mukayese tablosu

Etki	Alt Düğüm Noktası		Üst Düğüm Noktası	
	V ₂₂ (t)	M ₃₃ (tm)	V ₂₂ (t)	M ₃₃ (tm)
Deprem	-25.47	-57.75	-25.15	-39.06
Patlatma	0.2427 ~ -0.2110	0.4802 ~ -0.5347	0.2427 ~ -0.2110	0.4001 ~ -0.3322



Şekil 4.26 Örnek olarak seçilen düşey elemanın global Y ekseninde titreşim kayıtlarına bağlı alt uç kesme kuvveti ve moment değişimleri



Şekil 4.27 Örnek olarak seçilen düşey elemanın global Y ekseninde titreşim kayıtlarına bağlı üst uç kesme kuvveti ve moment değişimleri

Titreşim kayıtlarındaki Y eksenindeki hız verilerinden yola çıkarak elde edilen ivme değerlerinin kullanılmasıyla 61 numaralı düşey elemanın alt ucundaki 2-2 eksenindeki kesme kuvveti ve 3-3 eksenindeki moment değerlerindeki değişimler Şekil 4.26' da görülmektedir. Söz konusu elemanın alt ucundaki kesme kuvveti değişimi 0.0709 t ile -0.0549 t arasında, moment ise 0.1203 tm ile -0.1470 tm arasında değişmektedir. Öte yandan Şekil 4.27 'de söz konusu elemanın üst ucundaki kesme kuvveti değişimi aynı kalırken, moment değişimi 0.1258 tm ile -0.0931 tm arasında gerçekleşmiştir. Söz konusu elemanın alt ve üst uçları için yapılmış mukayese tabloları Tablo 4.4' te görülmektedir.

Tablo 4.4 Örnek olarak seçilen üst düğüm noktasına ait Y doğrultusu deprem yükleri ve patlatma kaynaklı titreşim etkisinde kesit tesirleri mukayese tablosu

Etki	Alt Düğüm Noktası		Üst Düğüm Noktası	
	V ₂₂ (t)	M ₃₃ (tm)	V ₂₂ (t)	M ₃₃ (tm)
Deprem	13.7873	-27.8400	13.7873	25.2391
Patlatma	0.0709 ~ -0.0549	0.1203 ~ -0.1470	0.0709 ~ -0.0549	0.1258 ~ -0.0931

4.3.7 Deprem Yükleri ve Titreşim Kayıtlarına Göre İncelenen Yapının Maksimum Kesit Tesirleri Açısından Kıyaslanması

Söz konusu yapının maksimum kesit tesirleri değerlendirildiğinde, patlatma kaynaklı titreşim hareketinin X eksenini doğrultusundaki bileşeninin etkisinde meydana gelen maksimum V₂₂ ve V₃₃ kesme kuvvetleri, aynı doğrultuda deprem kuvveti etkisinde oluşan maksimum kesme kuvvetleri değerinin yaklaşık %35.8 ve %19.2 mertebesinde olduğu görülmektedir. Diğer yatay doğrultudaki patlatma kaynaklı titreşim bileşeninin, aynı doğrultudaki deprem kuvveti etkisinde meydana gelen maksimum kesme kuvvetlerinin sırasıyla yaklaşık %59.4 ve %11.9 oranında olduğu görülmektedir. Tablo 4.5 'te deprem ve patlatma etkisinin örnek yapı modeli üzerinde oluşturduğu maksimum kesme kuvveti değerleri görülmektedir.

Tablo 4.5 Deprem ve patlatma kaynaklı titreşim etkisinin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği maksimum kesme kuvveti değerleri

Etki	X Eksen		Y Eksen	
	V ₂₂ (t)	V ₃₃ (t)	V ₂₂ (t)	V ₃₃ (t)
Deprem	43.16	27.27	26.00	43.49
Patlatma	-15.47	-5.24	-15.44	-5.21

Tablo 4.6 'te örnek yapı modelinin her iki yatay doğrultuda deprem ve patlatma faaliyetinden kaynaklanan titreşim etkisinde oluşan maksimum moment değerleri görülmektedir. Patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin M₂₂ ve M₃₃ moment değerlerinin, deprem kuvvetinin örnek yapı üzerinde oluşturduğu moment değerlerinin X eksen doğrultusundaki etkide sırasıyla yaklaşık %15.4 ve %19.6, Y eksen doğrultusundaki etkide ise sırasıyla yaklaşık %10.0 ve %29.5 oranlarında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.6 Deprem ve patlatma kaynaklı titreşim etkisinin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği maksimum moment değerleri

Etki	X Eksen		Y Eksen	
	M ₂₂ (tm)	M ₃₃ (tm)	M ₂₂ (tm)	M ₃₃ (tm)
Deprem	-51.7550	-69.3500	-78.8270	-45.7400
Patlatma	-7.96	-13.60	-7.91	-13.51

Tablo 4.7 'de görüleceği üzere, örnek yapının kendi ağırlığı, düşey hareketli yükler ve her üç doğrultuda ölçülen titreşim hareketinin aynı anda örnek yapıya etkimesi ile elde edilen maksimum kesit tesiri değerlerinin, deprem etkisinde meydana gelmesi muhtemel maksimum kesit tesirlerine oranı, kesme kuvvetlerinde %37.8 ve %7.7, moment değerlerinde ise %11 ve %20.7 olmaktadır.

Tablo 4.7 Global eksen takımında her üç doğrultudaki patlatma kaynaklı titreşim etkilerinin örnek yapıda meydana getirdiği maksimum kesit tesirleri

3 Eksen Titreşim	Kesit Tesirleri			
	V ₂₂ (t)	V ₃₃ (t)	M ₂₂ (tm)	M ₃₃ (tm)
	-16.33	-5.64	-8.65	-14.40

4.3.8 Deprem Yükleri ve Titreşim Kayıtlarına Göre İncelenen Yapının Yer Değiştirmeler Açısından Kıyaslanması

Deprem kuvvetinin örnek yapıya yalnızca global X eksenine doğrultusunda etkilmesi durumunda elde edilen düğüm noktaları yer değiştirme değerleri ile, patlatma kaynaklı titreşim hareketinden elde edilen titreşim kayıtlarından sadece global X eksenine doğrultusundaki bileşenin örnek yapı üzerindeki etkisinden kaynaklanan düğüm noktası maksimum yer değiştirme değerleri Tablo 4.8 'de görülmektedir. Global X eksenine doğrultusunda tatbik edilen deprem etkilerinin örnek yapı üzerinde yine X eksenine doğrultusunda oluşturduğu maksimum yer değiştirme 24.14 mm olarak elde edilirken, sırası ile Y ve Z eksenine doğrultularındaki maksimum değeri 15.51 mm ve -6.15 mm 'dir. Patlatma kaynaklı titreşim hareketinin global X eksenine doğrultusundaki bileşenin örnek yapıda yine X eksenine doğrultusunda meydana getirdiği maksimum yer değiştirme noktasında ve -0.19 mm olarak belirlenmiştir. Aynı bileşenin, global Y ve Z eksenleri doğrultusundaki maksimum değeri sırası ile 0.35 mm ve -3.01 mm olmaktadır.

Tablo 4.8 Örnek yapının global X doğrultusunda deprem kuvveti ve patlatma kaynaklı titreşim etkilerinde düğüm noktalarının yapmış olduğu maksimum yer değiştirme değerleri

Etki	Yer değiştirme (mm)		
	δ_x	δ_y	δ_z
Deprem	24.14	15.51	-6.15
Patlatma	-0.19	0.35	-3.01

Benzer şekilde, deprem kuvvetinin örnek yapıya yalnızca global Y eksenine doğrultusunda etkilmesi durumunda elde edilen düğüm noktaları yer değiştirme değerleri ile, patlatma kaynaklı titreşim hareketinden elde edilen titreşim kayıtlarından sadece global Y eksenine doğrultusundaki bileşenin örnek yapı üzerindeki etkisinden kaynaklanan düğüm noktası maksimum yer değiştirme değerleri Tablo 4.9'da görülmektedir. Global Y eksenine doğrultusunda tatbik edilen deprem etkilerinin örnek yapı üzerinde yine Y eksenine doğrultusunda oluşturduğu maksimum yer değiştirme 25.77 mm olarak elde edilirken, X ve Z eksenleri doğrultusundaki maksimum değerleri 14.15 mm ve -5.23 'dir. Patlatma kaynaklı titreşim hareketinin global Y eksenine doğrultusundaki bileşenin örnek yapıda yine Y eksenine doğrultusunda meydana getirdiği maksimum yer değiştirme 0.37 mm olarak belirlenmiştir. Aynı bileşenin,

global X ve Z eksenleri doğrultusundaki maksimum değerleri ise -0.16 mm ve -3.00 mm olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.9 Örnek yapının global Y doğrultusunda deprem kuvveti ve patlatma kaynaklı titreşim etkilerinde düğüm noktalarının yapmış olduğu maksimum yer değiştirme değerleri

Etki	Yer değiştirme (mm)		
	δ_x	δ_y	δ_z
Deprem	14.15	25.77	-5.23
Patlatma	-0.16	0.37	-3.00

Örnek yapının kendi ağırlığı, düşey hareketli yükler ve her üç doğrultuda ölçülen titreşim hareketinin aynı anda yapıya etkimesi ile elde edilen maksimum yer değiştirmeler Tablo 4.10 'da görülmektedir.

Tablo 4.10 Global eksen takımında her üç doğrultudaki patlatma kaynaklı titreşim etkilerinin örnek yapıda meydana getirdiği maksimum yer değiştirmeler

Etki	Yer değiştirme (mm)		
	δ_x	δ_y	δ_z
3 Doğrultuda Titreşim Etkisi	-0.35	0.45	-3.25

Patlatma kaynaklı titreşimin, örnek yapı üzerinde meydana getirdiği kesit tesirleri ve yer değiştirmelerin, aynı yapının öngörülen deprem etkileri altında meydana gelmesi muhtemel olan kesit tesirleri ve yer değiştirmelerin altında olduğu görülmektedir. Daha önce açıklanan karakteristiklerde bir patlatma etkisine maruz kalan örnek yapıda oluşabilecek herhangi bir yapısal hasar, söz konusu patlatma faaliyetinden kaynaklanmayacaktır. Olası bir yapısal hasardan yapının kendisi sorumlu olmaktadır. Zira, normal şartlarda söz konusu titreşim hareketinin meydana getirdiği kesit tesirlerinin üzerinde bir kapasiteye sahip olacak düzeyde detaylandırılmış olması gerekmektedir

Diğer taraftan patlatma faaliyeti sırasında yapılan ölçümler neticesinde elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri Şekil 4.18 ve Tablo 4.11'den da görülebileceği üzere boyuna, enine ve düşey doğrultularda sırasıyla 0.0760 mm, 0.0386 mm ve 0.0518 mm'dir. Bununla beraber söz konusu değerler yapılaşma durumuna göre yer değiştirme

limit değerlerinin altında kalmaktadır. Netice itibari ile yapı, hem tasarım aşamasında öngörülmesi muhtemel yer değiştirme sınırları altında kalmıştır hem de titreşim kaydından elde edilen yer değiştirmeler limit değerlerin altındadır. Tablo 4.12’de yapılaşma durumuna göre yer değiştirme limit değerleri görülmektedir.

Tablo 4.11 Örnek titreşim kaydından elde edilen maksimum yer değiştirmeler

Yer değiştirme (mm)		
δ_x	δ_y	δ_z
0.0760	0.0386	0.0518

Tablo 4.12 Yapılaşma durumuna göre yerdeğiştirme limit değerleri (Cihangir, 2005)

Yapı Tipi	Yer değiştirme Limiti (mm)
Manevi ve yüksek değerde yapılar, Maden kuyuları, Zayıf şartlardaki evler, Tarihi yapılar (eserler)	0.10
Birbirine çok yakın olan evler	0.20
Tek başına ev	0.40
Çelik konstrüksiyon yapılar	0.76

4.3.9 Deprem ve Titreşim Kayıtları Etkisinde İncelenen Yapının Taban Kesme Kuvvetleri Açısından Kıyaslanması

Deprem yükleri altında şartname kriterlerine göre incelenmiş örnek yapı ile, yapılan titreşim ölçümlerinden alınan bir okuma sonuçları ile incelenen örnek yapının taban kesme kuvveti açısından kıyaslanması aşağıda görülmektedir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik uyarınca incelenen yapıda her iki doğrultuda eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Söz konusu kuvvet değeri, titreşim kayıtlarının örnek yapıya etkilmesi ile yapılan zaman tamın alanında yapısal analizlerin her bir doğrultu için ayrı ayrı elde edilen taban kesme kuvvetleri ile kıyaslanmıştır. Son olarak titreşim kaydının her üç bileşeninin de aynı anda etkitildiği örnekten alınan sonuçlar verilmektedir.

Tablo 4.13’de örnek yapının deprem yükleri etkisinde, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti değerleri, Tablo 4.14’de değerlendirmeye alınan titreşim kaydının boyuna bileşeninin örnek yapı üzerinde oluşturduğu taban kesme kuvveti değer aralıkları, Tablo 4.15’de titreşim kaydının enine bileşeninin örnek yapı üzerinde oluşturduğu taban kesme kuvveti değer aralıkları, Tablo 4.16’da titreşim kaydının düşey bileşeninin örnek yapı üzerinde oluşturduğu taban kesme kuvveti değer aralıkları, Tablo 4.17’de ise titreşim kaydının her üç doğrultudaki bileşeninin örnek yapı üzerinde oluşturduğu taban kesme kuvveti değer aralıkları görülmektedir.

Tablo 4.13 Deprem yükleri etkisinde her iki doğrultuda taban kesme kuvveti değerleri

Doğrultu	V_{t_x}	V_{t_y}
Taban kesme kuvveti (t)	320.90	320.90

Tablo 4.14 Seçilen örnek titreşim kaydının X eksenli doğrultusundaki bileşeninin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği taban kesme kuvveti

Doğrultu	V_{t_x}	V_{t_y}	V_{t_z}
Taban kesme Kuvveti (t)	16.50	2.45	0.27
	-15.38	-2.33	-0.28

Tablo 4.15 Seçilen örnek titreşim kaydının Y eksenli doğrultusundaki bileşeninin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği taban kesme kuvveti

Doğrultu	V_{t_x}	V_{t_y}	V_{t_z}
Taban kesme Kuvveti (t)	2.10	10.76	0.23
	-2.47	-13.46	-0.23

Tablo 4.16 Seçilen örnek titreşim kaydının Z eksenli doğrultusundaki bileşeninin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği taban kesme kuvveti

Doğrultu	V_{t_x}	V_{t_y}	V_{t_z}
Taban kesme Kuvveti (t)	0.32	0.26	23.51
	0.30	0.23	-24.15

Tablo 4.17 Seçilen örnek titreşim kaydının her üç doğrultudaki bileşeninin örnek yapı üzerinde meydana getirdiği taban kesme kuvveti

Doğrultu	V_{t_x}	V_{t_y}	V_{t_z}
Taban kesme	18.22	11.30	23.52
Kuvveti (t)	-15.79	-13.23	-24.15

Deprem yükleri etkisinde incelenen yapıda eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti değerleri her iki doğrultu için 320.90 t olurken, yapıya etkitilen örnek titreşim kaydının her üç bileşeninin aynı anda söz konusu yapı üzerinde oluşturduğu taban kesme kuvvetleri X doğrultusunda -15.79 t ve 18.22 t aralığında, Y doğrultusunda oluşturduğu taban kesme kuvveti -13.23 t ve 11.30 t aralığında, düşey bileşen ise -24.15 t ve 23.52 t aralığında olmaktadır.

4.3.10 Titreşim Kayıtlarından Elde Edilen Maksimum Parçacık İvmesinin Deprem Şartnamesinde Kullanılması

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik 'te ifade edilen Etkin Yer İvmesi Katsayısı, söz konusu şartname kriterleri uyarınca incelenen örnekte taban kesme kuvveti hesaplarına 0.4.g olarak dahil edilmiştir. Örnek olarak seçilen titreşim kayıtlarından alınan okumalardan elde edilen sonuçlarda, patlatma kaynağından gelen titreşimlerin her üç doğrultu için elde edilen maksimum ivme değerleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.18 'den görüleceği üzere, boyuna doğrultuda 0.199 (g), enine doğrultuda 0.172 (g) ve düşey doğrultuda 0.331 (g) mertebesindedir.

Tablo 4.18 Örnek patlatma kaynaklı titreşim kaydının maksimum parçacık ivmesi okumaları

Doğrultu	Boyuna	Enine	Düşey
Maksimum Parçacık ivmesi (g)	0.199	0.172	0.331

Tablo 18'de görülen boyuna ve enine doğrultulardaki maksimum parçacık ivmesi değerleri, deprem şartnamesinde eşdeğer deprem yükü yönteminde kullanılan A_0 parametresi yerine kullanıldığında taban kesme kuvveti açısından farklı sonuçlar elde edilmiştir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve şartnamede bulunan diğer yöntemlerde sadece düzlemde iki doğrultuda yapıya etkiyen deprem kuvvetleri söz konusu

olduğundan, düşey doğrultuda herhangi bir deprem etkisi dahil edilmediğinden dolayı, maksimum parçacık ivmesi değerlerinden boyuna ve enine doğrultudaki ivme bileşenleri etkin yer ivmesi katsayısı parametresi yerine kullanılmıştır.

Düzlemde her iki doğrultu için ayrı ayrı hesaplanan taban kesme kuvvetlerinden X eksenini doğrultusunda kullanılan etkin yer ivmesi katsayısı yerine, titreşim kayıtlarının boyuna bileşeni olan 0.199.g, Y eksenini doğrultusundaki taban kesme kuvveti hesabında kullanılan etkin yer ivmesi katsayısı yerine ise 0.172.g değeri kullanılmıştır.

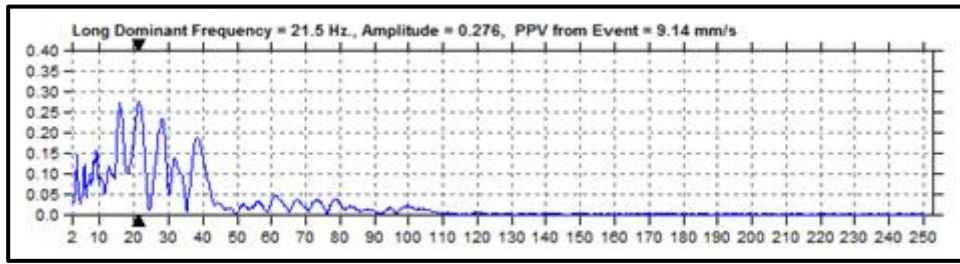
Etkin yer ivmesi katsayılarının yerine titreşim kaydının ilgili doğrultudaki maksimum parçacık ivmesi değeri kullanılarak yapılan yapısal analizler neticesinde her iki doğrultuda elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Tablo 4.19’da görülmektedir. Söz konusu kabul ile yapılan hesaplarda boyuna doğrultuda (X eksenini doğrultusu) 159.76 t ve enine doğrultuda (Y eksenini doğrultusu) 138.10 t değerlerinde taban kesme kuvveti elde edilmektedir.

Tablo 4.19 Etkin yer ivmesi katsayısı yerine titreşim kayıtlarından alınan maksimum parçacık ivmesi değerinin kullanılması ve eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti değerleri

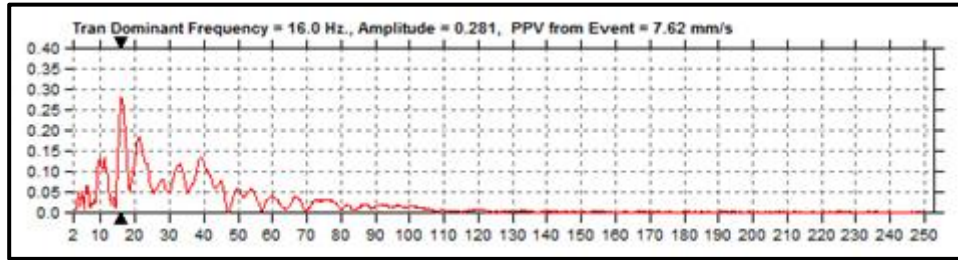
Doğrultu	Boyuna (X doğrultusu)	Enine (Y doğrultusu)
Taban kesme kuvveti (t)	159.76	138.10

Titreşim kayıtlarından alınan verilerden elde edilmiş ve etkin yer ivmesi katsayısı yerine kullanılmış olan ivme katsayısı her iki doğrultuda 0.199 ve 0.172 olarak ölçülüp hesaplara etkilmiştir. Söz konusu değerler hemen hemen Tablo 3.4’te bulunan ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik’te yer alan etkin yer ivmesi katsayılarından, III. derece deprem bölgesinde bulunan bir yapıya uygulanacak olan etkin yer ivmesi katsayısına eşit veya yakın değerlerdir. İlk etapta, hesaplarda göz önünde bulundurulmuş patlatma kaydının test edilen örnek yapıyı neredeyse III. derece deprem bölgesinde bulunan yapıya etkiyen deprem yükü kadar zorlayacağı düşünülse bile gerçekte durum ve davranış bu şekilde olmamaktadır. Örnek yapının ve titreşim

kaydının frekans değerleri karşılaştırıldığında söz konusu durumu açıklamak mümkün olabilmektedir. Örnek yapının frekans değeri 2 Hz iken, titreşim kayıtlarından elde edilen baskın frekans değeri boyuna doğrultuda 21.5 Hz, enine doğrultuda 16 Hz değerindedir. Dolayısı ile yapı, titreşim dalgalarından III. derece deprem bölgesinde incelenen bir yapı kadar etkilenmemektedir. Belirli bir hız için yüksek frekanslı bir titreşimin, düşük frekanslı bir titreşime göre çok daha az hasar riski taşıdığı bilinmektedir (Cihangir ve diğerleri).şekil 4.28 ve şekil 4.29'da titreşim kaydının boyuna ve enine doğrultularda elde edilen frekans spektrum grafikleri görülmektedir.



şekil 4.28 Örnek titreşim kaydına ait boyuna doğrultuda frekans spektrum grafiği



şekil 4.29 Örnek titreşim kaydına ait enine doğrultuda frekans spektrum grafiği

Titreşimlerin frekans özelliklerinin etkilendiği unsurlar, zeminin jeolojik yapısı ve patlatma faaliyetlerinde gecikmeli olarak yapılan ateşlemelerdeki gecikme aralığı olmaktadır (Dowding, 1985). Parçacık hızının düşük olduğu ve çevre yapılarda herhangi bir hasarın meydana gelmediği durumlarda dahi söz konusu titreşimlerin hissedilebilmesi düşük frekans özelliğinden kaynaklanabilmektedir. Frekans değeri yüksek olduğu durumda ise insanların titreşim dalgalarını algılaması zor olmaktadır. Ayrıca 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yer değiştirmelere ve yüksek düzeyde birim deformasyonlara sebep olduğu için hasar olasılığını da arttırmaktadır (Siskind ve diğerleri, 1980).

Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile söz konusu binanın doğal frekansının birbirleri ile olan ilişkisine bağlı olmaktadır. Patlatma faaliyetlerinde kritik durum, zemindeki uyarıcı dalganın frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5 Hz ile 10 Hz arasında değişen bina doğal frekansına eşit veya söz konusu değerden bir miktar büyük olduğunda oluşmaktadır. Bu durumda yapı rezonansa girmektedir. Rezonans halinde iken parçacık hızı sınır değerlerin oldukça altında ise yapı üzerinde hasar oluşmamaktadır. Fakat bina rezonans halinde olduğu zaman diliminde parçacık hızı da yeterli büyüklükte ise yapıda hasar oluşturabilme riski bulunmaktadır. Bir diğer durum, zemindeki uyarıcı dalganın genliği yeterli düzeyde olmasa da rezonans halindeki yapının, söz konusu genliği arttırması sonucu olası bir hasardan bahsetmek mümkün olabilmektedir.

Konut tipi (bir veya iki katlı) yapıların doğal frekansının 5 Hz ile 10 Hz arasında değiştiği düşünüldüğünde (Dowding, 1992), en yüksek parçacık hızında meydana gelebilecek artım olasılığının, zemin hareketinin (uyarıcı dalganın) frekansının da 5 Hz ile 12 Hz arasında olması durumunda oluşacağı görülmektedir (Bilgin ve diğerleri, 1999).

Söz konusu değerlendirmeler ışığında, inceleme kapsamında patlatma faaliyetinin yapıldığı bölge üzerinde bulunan binaların, deprem şartnamesinde belirtilen deprem bölgelerine tekabül eden etkin yer ivmesi katsayıları, patlatma faaliyetleri sırasında yapılan titreşim ölçümlerinden elde edilen maksimum parçacık ivme değerleri, incelenen yapının doğal frekansı ve uyarıcı titreşim dalgalarının frekansı parametreleri arasında bir ilişki kurmak mümkündür.

Tablo 4.20’de söz konusu parametrelere ait bir kıyas tablosu görülmektedir. Patlatma yapılan bölge etrafında bulunan ve incelemeye konu olan yapıların bulunduğu yerin, ilave bir çalışma yapılmadığı takdirde, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası uyarınca tekabül ettiği bölgenin Afet Bölgeleri Hakkında Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik’te belirtilen etkin yer ivmesi katsayısı ile patlatma kaynaklı titreşimlerin maksimum ivme değerleri arasında bir kıyas yapılabilmektedir. Patlatma kaynaklı titreşimlerin karakteristiklerinin belirlendiği titreşim ölçümlerinden alınan sonuçlarda,

maksimum parçacık ivmesi değeri yerçekimi ivmesinin bir çarpanı olarak elde edilmektedir. Söz konusu değeri incelenen yapının bulunduğu bölgeye ait etkin yer ivmesi katsayısı ile kıyaslandığında, daha küçük bir değeri ise, rezonans durumu incelenmeden, “Yapı söz konusu ivme değerinden daha büyük bir ivme değerine göre tasarlanmış olmalıdır” yorumu yapılabilmektedir. Buna karşılık, titreşim ölçümlerinden elde edilen maksimum parçacık ivmesi değeri etkin yer ivme katsayısından büyük ise, titreşim hareketinin ve yapının frekans değerleri irdelenmelidir.

Patlatma kaynaklı titreşim hareketinin baskın frekansı ile incelenen yapı veya yapıların doğal frekansları arasında fark yapı ya da yapıların hasar görebilme durumuna etki etmektedir. Frekans değerlerinin birbirlerine yakın olması durumunda olası bir hasardan söz etmek mümkün iken, büyük frekanslı bir titreşim hareketinin yapıya hasar verme olasılığı azalmaktadır. Yukarıda açıklandığı gibi, bir veya iki katlı yapıların frekans değerleri 5 ile 10 Hz aralığında değiştiği kabulünden hareket edildiğinde, patlatma kaynaklı titreşimlerin sahip olduğu baskın frekans değerleri de 5 ile 10 Hz arasında ise rezonans olasılığı, dolayısıyla yapıda hasar olasılığı bulunmaktadır.

Bu durumda ilk etapta üzerinde durulması gereken iki kıyaslama durumu söz konusu olmaktadır. Öncelikle patlatma kaynaklı titreşimlerin maksimum parçacık ivmesi ile yapının bulunduğu bölgenin etkin yer ivmesi katsayısı arasında yapılacak olan kıyaslamadan sonra, zeminden elde edilen titreşim dalgalarının baskın frekansı ile incelemeye esas teşkil eden yapının doğal frekansının kıyaslanması hasar olasılığına ışık tutmaktadır.

Bölüm 4.3’de sayısal uygulama başlığı altında incelenen örnek yapı, bulunduğu mevki itibari ile Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında I. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Söz konusu deprem bölgesine tekabül eden etkin yer ivme katsayısı Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik’te 0.4 olarak belirlenmiştir. Patlatma faaliyetlerinin kontrol altına alınması amacıyla yapılan titreşim ölçüm çalışmaları neticesinde elde edilen ölçüm değerlerinde örnek yapı üzerinde test edilecek olan faaliyetin maksimum parçacık ivmesi değeri boyuna doğrultuda 0.199.g ve enine doğrultuda 0.172.g olarak ölçülmüştür. Söz konusu maksimum parçacık ivmesi

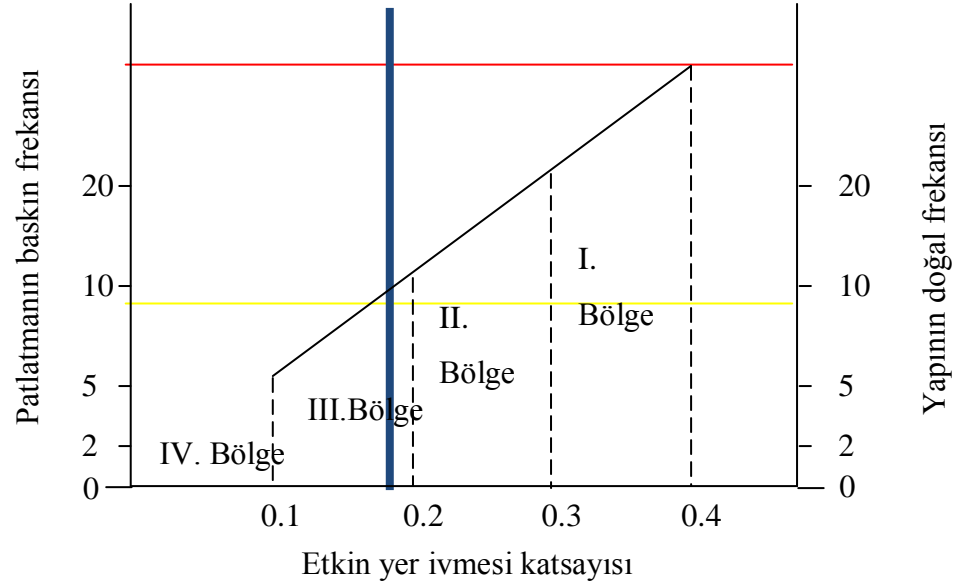
değerleri, örnek yapının deprem şartnamesine göre tasarlandığı parametrelerden etkin yer ivmesi katsayısından küçüktür. Dolayısı ile titreşim hareketinin frekansı hangi değerde olursa olsun, yapıya deprem etkisinde incelenirken öngörülen deprem yüklerinden daha az bir etkide bulunacağı açıktır. Şartname esaslarına göre eşdeğer deprem yükü yönteminde yapı, Tablo 4.13’de görüldüğü üzere 320.90 t değerinde bir taban kesme kuvvetine maruz kalırken, patlatma kaynaklı titreşim hareketi etkisinde boyuna doğrultuda 159.76 t, enine doğrultuda ise 138.10 t değerinde bir taban kesme kuvvetine maruz kalmaktadır.

Frekans değerleri açısından düşünüldüğünde ise, patlatma faaliyetinin neden olduğu titreşimlerin baskın frekansı boyuna doğrultuda Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 ‘de görüldüğü üzere 21.5 Hz, enine doğrultuda 16 Hz olurken, incelenen yapının doğal frekansı 2 Hz mertebesindedir. Dolayısı ile literatürde daha önce yapılan çalışmalar ışığında rezonans olasılığının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Söz konusu durum, irdelenen yapının patlatma kaynaklı titreşim faaliyetleri nedeni ile normal şartlar altında herhangi bir yapısal hasar görmemesi gerektiğine işaret etmektedir.

Tablo 4.20 ‘de patlatma faaliyetinin gerçekleştirildiği ve incelenen yapının bulunduğu bölgeye ait deprem şartnamesince belirlenen parametreler ile patlatma faaliyetinden kaynaklanan titreşimlerin ve yapının frekansları arasındaki ilişkiyi ifade eden bir çizelge görülmektedir. Yukarıda açıklanan sayısal uygulamada belirtilen veriler kullanılarak patlatma faaliyeti ve inceleme konusu olan yapı arasındaki ilişkiyi esas alan grafiksel gösterim Şekil 4.29 ‘da görülmektedir.

Tablo 4.20 Patlatmanın yapıldığı bölge, patlatma kaynaklı titreşim ve incelenen yapı ve deprem şartnamesi arasındaki ilişki

Deprem Bölgesi	Maksimum parçacık ivmesi (g)		Frekans
	I	< 0.4	
II	< 0.3		
III	< 0.2		
IV	< 0.1		



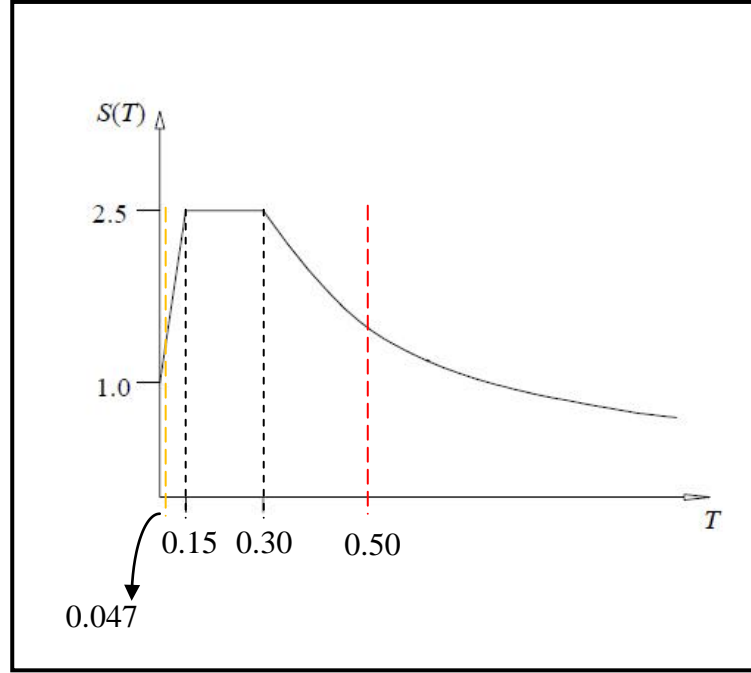
Şekil 4.30 Patlatmanın yapıldığı bölge, patlatma kaynaklı titreşim ve incelenen yapı ve deprem şartnamesi arasındaki frekans ilişkisi

Tablo 4.20 'de I, II, III ve IV, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'te ifade edilen deprem bölgelerini göstermektedir. f_t patlatma kaynaklı titreşim hareketinin baskın frekansını, f_b ise incelenen yapının doğal frekansını anlamında kullanılmıştır.

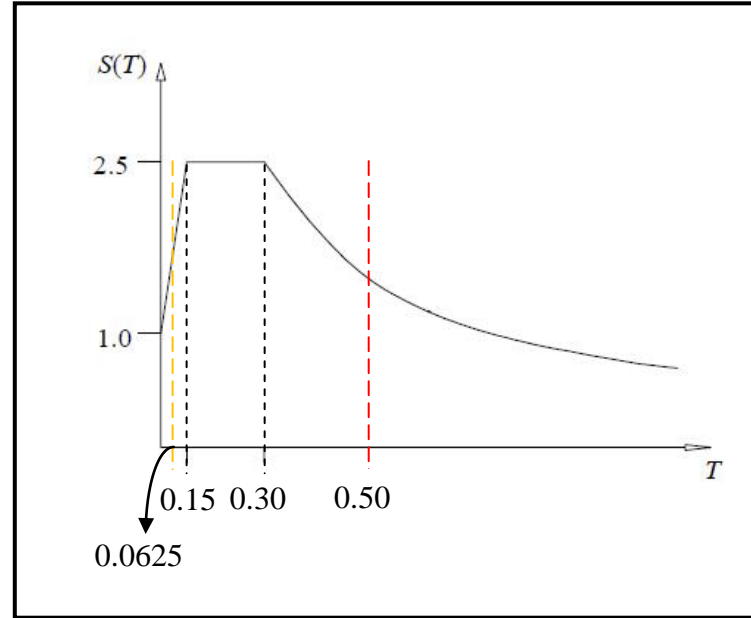
Şekil 4.30 'da ki grafikte kırmızı yatay çizgi patlatma faaliyetinden kaynaklanan titreşimlerin baskın frekans değerini, sarı yatay çizgi yapının doğal frekansını ifade etmektedir. Söz konusu şekilde, mavi dikey çizgi yine patlatma kaynaklı titreşimlerin arazide yapılan ölçüm çalışmasından herhangi bir yatay doğrultuda alınan maksimum parçacık ivmesi değerini göstermektedir.

Söz konusu patlatma faaliyeti ve yapı periyot değerleri açısından değerlendirildiğinde patlatma faaliyetinden kaynaklanan boyuna doğrultudaki titreşim dalgasının periyodu 0.046 sn, enine doğrultudaki titreşim dalgasının periyodu 0.625 sn olmaktadır. Söz konusu yapının doğal titreşim periyodu ise 0.5 sn mertebesindedir. İncelenen her iki doğrultudaki titreşim dalgalarının periyot değerleri yapı doğal periyodundan farklıdır. İncelenen yapı olası bir rezonans halinden uzak bulunmaktadır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'te belirtilen yerel zemin koşulları ve bina

doğal periyoduna bağlı spektrum grafiğinde söz konusu periyot değerleri Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de görülmektedir.



Şekil 4.31 Patlatma faaliyetinden kaynaklanan titreşim hareketinin boyuna doğrultudaki bileşenin periyodu ve bina doğal periyodunun spektrum grafiğindeki konumları



Şekil 4.32 Patlatma faaliyetinden kaynaklanan titreşim hareketinin enine doğrultudaki bileşenin periyodu ve bina doğal periyodunun spektrum grafiğindeki konumları

Söz konusu durumda, patlatma faaliyetinden kaynaklanan enine ve boyuna doğrultudaki titreşimler yapıya zarar vermeyecek düzeyde bulunmaktadır. Buna rağmen inceleme kapsamındaki patlatma karakteristiklerin yapıya herhangi bir hasar vermesi durumunda, patlatma faaliyeti ve söz konusu faaliyeti gerçekleştiren kişi ya da kurumların herhangi bir kusuru olmayacaktır. Olası bir hasarın kusuru yapı üzerinde yoğunlaşacaktır. Çünkü incelenen yapının projelendirme aşamasından başlayarak Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik ve diğer Türk standartlarına uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Yapının projelendirilmesi aşamasında ya da uygulama aşamasında yönetmelik şartlarının yerine getirilip getirilmediği sorgulanmalıdır.

İlgili yönetmeliklerce uygulanması zorunlu olan kurallardan yoksun durumda olan yapının, yukarıda yapılan hesaplarda herhangi bir hasara uğramayacağı düşünülse dahi patlatma kaynaklı titreşimlerden dolayı zarar görme olasılığı bulunmaktadır. Yapılar, yönetmeliklere uygun bir şekilde tasarlanmış ve inşa edilmiş olsa dahi, geçen zaman içerisinde yapısal elemanlara müdahale edilmesi, donatılarda korozyon hasarı, betonda dayanım kaybı gibi sebeplerden dolayı ilk imalat aşamasından farklı bir dayanıma sahip olabilmektedir. Bu noktada olması gereken emniyet düzeyine sahip olmayan yapı üzerinde patlatma kaynaklı titreşimlerin sebep olduğu yapısal hasarları görmek olasıdır. İlgili yönetmeliklere uygun olarak tasarlandığına karar verilen yapı, incelendiği tarih itibari ile emniyet düzeyini koruyor ve buna rağmen tasarım yüklerinden daha düşük seviyelerdeki bir patlatma kaynaklı titreşim etkisinde hasar görüyor ise, söz konusu kusur yapı üzerinde veya patlatma faaliyetinde değil, ilgili yönetmeliklerde aranabilmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyada artan nüfus ile birlikte insanların yaşamlarını sürdürdüğü yerlerde çeşitli altyapı veya üst yapı ihtiyacı oluşmaktadır. Şehirleşmiş bölgelerde dahi söz konusu ihtiyaç çeşitli nedenlerle varlığını sürdürebilmektedir. Ham madde gereksinimine sebep olan söz konusu ihtiyaçlar patlatmalı kazı çalışmalarına olan eğilimi artırmaktadır. Metro, baraj, tünel gibi inşaat çalışmaların gibi çok sayıda alanda genellikle patlatmalı kazı tekniği kullanılmaktadır.

Patlatma faaliyetleri ile gerçekleştirilen çalışmalar beraberinde bir takım çevresel sorunları da getirebilmektedir. Söz konusu çevresel sorunlardan patlatma kaynaklı titreşimler çevre yapıların hasar görmelerine sebebiyet verebilmektedir. Patlatma kaynaklı titreşimlerin yapılara hasar vermemesi ve dolayısı ile kontrol altına alınması için gelişmiş ülkelerde geçmişte bir takım çalışmalar yapılmış ve konu ile ilgili standartlar geliştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, İsveç ve İngiltere söz konusu çalışmaları gerçekleştiren ülkelerden bazılarıdır.

Patlatmalı kazı tekniklerinin yoğun bir şekilde kullanıldığı ülkemizde henüz bir standart geliştirilmemiştir. Yakın tarihte konu ile ilgili ciddi çalışmalar yapılmış olsa dahi, diğer ülkeler göz önüne alındığında ülkemizdeki araştırmalar ve bilgi birikimi yeterli seviyeye ulaşabilmiş değildir. Gerçekleştirilen patlatma faaliyetleri, diğer ülkelerin hazırlamış olduğu standartlar kullanılarak denetlenebilmekte ve kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır.

Geçmişten günümüze söz konusu alanda araştırmalar yapan ülkeler, çalışmalarını kendi yapı stokları üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Oysaki tarihsel, kültürel, ekonomik ve bunun gibi çeşitli nedenlerden dolayı ülkemiz yapı stoğu diğer ülke yapılarından farklılıklar içermektedir.

Patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan titreşim hareketlerinin çevre yapılara hasar verip vermeyeceğinin araştırılması hususunda yapılan çalışmalarda kullanılan farklı ülkelere ait standartlar farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu durumda hangi ülkenin standardının

kullanılması gerektiği konusunda soru işaretleri oluşabilmektedir. Patlatma kaynaklı çevresel sorunların sebep olduğu çok sayıda hukuki davanın varlığı problemin önem derecesini açıkça ortaya koymaktadır.

Tez çalışması kapsamında, taş ocaklarında ham madde üretimi amacı ile yapılan patlatma faaliyetleri izlenmiş ve karakteristikleri kayıt altına alınmıştır. Söz konusu karakteristiklerden patlatma kaynaklı titreşim hareketine ait veriler çalışma kapsamında ele alınmıştır. İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü tarafından yürütülen çalışma kapsamında elde edilen titreşim verileri incelenmiş ve Şekil 4.6 - 4.10'da görülen örnek olarak seçilen bir yapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Örnek olarak seçilen yapının sonlu elemanlar bilgisayar modeli oluşturulmuş ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik uyarınca deprem yükleri altında analiz edilmiştir. Söz konusu analizler neticesinde, deprem şartnamesi gereğince elde edilen yükler altında kesit tesirleri ve yer değiştirme değerleri belirlenmiştir.

Arazi çalışmalarında kayıt altına alınan patlama kaynaklı titreşimlerden seçilen veriler bilgisayar ortamında modellenen örnek yapı üzerine uygulanmıştır. Gerçekleştirilen nümerik analizler neticesinde örnek olarak seçilen ve Tablo 4.1' de karakteristikleri görülen titreşim kaydının yapı üzerindeki etkisinin, tasarım taban kesme kuvvetinin yapı üzerinde meydana getirdiği etkilerden daha az olduğu sonucu Tablo 4.3' den Tablo 4.11' e kadar gösterildiği üzere elde edilmiştir.

Söz konusu kıyaslar uzun bir yapı modeli oluşturma ve nümerik analiz serisi gerektirmektedir. Genellikle belirli bir bölgede farklı zamanlarda çok sayıda patlatma faaliyetinin gerçekleştirildiği ve söz konusu faaliyetin gerçekleştiği bölge çevresinde çok sayıda ve farklı türden yapıların oluşu, yapılan model ve analizleri zaman ve efor açısından ekonomik olmaktan uzaklaştırmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında, söz konusu nümerik analizlere gereksinim duymadan patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimlerin çevre yapılara hasar verip vermeyeceğinin tahmininin yapılması hususunda bir yöntem denenmiştir.

Patlatma faaliyetlerinin çevresel etkilerinden yer sarsıntısı ile ilgili diğer ülkelerin geliştirdiği standartların bire bir olarak ülkemiz yapı stoğu üzerinde kullanılması yerine, patlatma faaliyetlerini ülkemiz mevcut standartları ile ilişkilendirmek, konu ile ilgili standardın geliştirilmesi çalışmalarına hız kazandıracaktır. Zira Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik örneği gibi mevcut yönetmelikler ülkemiz yapı stoğu göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Patlatma kaynaklı titreşimler ile mevcut deprem yönetmeliğinin ilişkilendirilmesi neticesinde, deprem şartnamesinde kullanılan yaklaşımların kısmi bir bölümü veya tamamının patlatmadan kaynaklanan titreşimler üzerinde de etkili olabileceği düşünülmektedir. Bahsedilen türde bir ilişki kurulması, patlatma faaliyetlerini ülkemiz yapı stoğuna hitap eden bir yaklaşım ile çözüme yaklaştıracaktır.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik ile patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan titreşim kayıtları arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Arazi çalışmalarında ölçülen patlatma kaynaklı titreşimlerden alınan kayıtlarda her üç doğrultudaki titreşimlerin maksimum ivme değerleri yerçekimi ivmesinin bir çarpanı olarak elde edilmektedir. Patlatma kaynaklı titreşim kayıtlarından alınan maksimum parçacık ivmesi parametresi, söz konusu yönetmelikte bulunan Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) parametresi yerine ilgili formülasyonlarda kullanılarak örnek yapıya etkimesi muhtemel taban kesme kuvveti Tablo 4.19' dan görüleceği üzere yeniden belirlenmiştir.

Ölçülen patlatma kaynaklı titreşim kayıtlarından elde edilen maksimum parçacık ivmesi değeri, deprem şartnamesinde bulunan etkin yer ivmesi katsayısı olarak değerlendirildiğinde maksimum parçacık ivmesi değerlerinin, bazı kayıtlarda ülkemiz deprem şartnamesinde yer alan ivme sınır değerlerine yakın olduğu ve hatta III. ve IV. derece deprem bölgelerine tekabül eden ivme değerlerini geçebildiği görülmüştür. Söz konusu durumda ilgili deprem bölgelerindeki ivme değerlerine göre tasarlanan yapıların söz konusu titreşimler etkisinde hasar görebilme ihtimali düşüncesi oluşsa bile, titreşimlerin periyot – frekans değerleri ile çevre yapıların periyot – frekans değerleri arasındaki büyük farklar nedeni ile söz konusu yapıların patlatma kaynaklı titreşimlerden ciddi derecede etkilenmedikleri görülmüştür.

Patlatma faaliyetlerinin gerçekleştiği bölge ve çevresindeki yapıların, patlatmadan kaynaklanan titreşimlerden hasar görme olasılığı araştırılırken boyuna ve enine doğrultudaki maksimum parçacık ivmesi değerleri ile faaliyetin gerçekleştiği yerin deprem bölgesi derecesine tekabül eden etkin yer ivme katsayısı değerleri kıyaslanabilmektedir. lmlerden elde edilen iki doğrultudaki maksimum parçacık ivmeleri yerçekimi ivmesine bölündüğünde, ilgili deprem bölgesindeki etkin yer ivmesi katsayısından kk ise yapıların tasarım deprem yükünden daha fazla bir etkiye maruz kalmayacakları söylenebilmektedir.

Eğer iki doğrultudaki maksimum parçacık ivmesi ve yerçekimi ivmesi oranı, etkin yer ivmesi katsayısından büyük bir değer ise, evre yapıların tasarım deprem yükünden daha büyük bir etkiye maruz kalabileceği beklenebilir. Bu durumda en azından patlatma faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bölgelerde yapılacak yapıların II. Derece deprem bölgesi parametreleri göz önüne alınarak tasarlanması dşnlmelidir.

Her iki durumda da, yani iki doğrultudaki maksimum parçacık ivmesi ve yerçekimi ivmesi oranı, etkin yer ivmesi katsayısından büyük ya da kk olması durumunda, enine ve boyuna doğrultudaki patlatma kaynaklı titreşimlerin periyotları ile hasar olasılığı araştırılan yapıların periyot değerleri incelenmelidir. İncelenen yapı ve titreşim periyot değerlerinin arasındaki büyük farklar hasar olasılığını azaltmakta, düşük periyotlu titreşim hareketi yapı üzerinde bir şok etkisi yaratmaktadır.

Patlatma faaliyetlerinin olumsuz çevresel etkilerinden yer sarsıntısının evre yapılara zarar verip vermeyeceği hususunda yapılacak araştırmalarda, her bir patlatma faaliyeti için llen her iki doğrultudaki patlatma kaynaklı titreşimlere ait maksimum parçacık ivmesi değerleri ile patlatma faaliyetinin gerçekleştirildiği bölgeye ait etkin yer ivmesi katsayısı arasında mukayese yapılması, söz konusu mukayese ile beraber titreşim hareketinin her iki doğrultudaki periyot değerleri ile incelenen yapı ya da yapıların doğal titreşim periyodu değerlerinin karşılaştırılması doğru bir yaklaşım olabilmektedir.

Yukarıda açıklanan yaklaşım ve yapılan hesaplarda, llen patlatma kaynaklı titreşimlerden alınan karakteristikler, incelenen yapı ya da yapılar üzerinde doğrudan

kullanılmıştır. Ölçüm sonunda elde edilen titreşim ivmeleri, zaman, periyot ve frekans değerleri incelenen binanın etrafında kısa mesafede etkiyor olarak varsayılmıştır. Patlatma faaliyetlerinin yapı üzerinde olası etkilerine patlatma noktası ile incelenen yapı arasındaki mesafe, patlatma noktası ile yapı arasındaki bölgeye ait jeolojik formasyon gibi parametreler de doğal olarak etkili olmaktadır. Özellikle jeolojik formasyon çok değişken bir parametre olabileceğinden geniş kapsamlı bir çalışmaya gereksinim duyulmaktadır. Söz konusu çalışma, mesafe ve jeolojik formasyon parametreleri de göz önünde bulundurularak geliştirilmesi muhtemeldir.

Ayrıca, ülkemiz yapı stoğunda bulunan taşıyıcı sistemdeki çeşitlilik ve mevcut yapı dokusu, söz konusu çalışmanın içerisine dahil edilebilir. Bahsedilen parametrelerin sayısı oldukça fazladır. Her parametrenin etkisi ayrı bir çalışma konusudur. Söz konusu çalışmada, patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin idealize edilmiş bir betonarme yapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çok katlı betonarme yapılar, çelik yapılar ve yığma yapılar üzerindeki etkiler ayrı bir araştırmayı gerektirmektedir. Ülkemizde bulunan mevcut yapıların karakteristikleri değişkenlik göstermektedir. Çalışma içerisinde de bahsedildiği üzere, yapılan araştırmalarda mevcut yapıların sahip olmaları gereken emniyet düzeyinde olmadıkları sonucuna varılmıştır. Tez çalışmasında, DBYBHY uyarınca yeterli görülen bir yapı üzerinde araştırmalar yoğunlaştırılmıştır. Patlatma kaynaklı titreşimlerin şartname gereksinimlerini sağlamayan yapılar üzerindeki etkisi ayrıca araştırılmalıdır.

Arazi çalışmalarından elde edilen titreşim kayıtlarının maksimum parçacık ivmeleri incelendiğinde (EK-2) bazı faaliyetlerden elde edilen düşey doğrultudaki maksimum parçacık ivmelerinin, enine ve boyuna doğrultudaki maksimum parçacık ivmelerinden daha büyük seviyelerde olduğu, bazı faaliyetlerde de her üç doğrultudaki maksimum parçacık ivmesi değerlerinin eşit olduğu görülmüştür. Kayıt altına alınan 50 adet patlatma faaliyetinden 7 faaliyette (1, 8, 17, 26, 28, 36 ve 40 no'lu faaliyetler) düşey doğrultudaki maksimum parçacık ivmesi, diğer iki doğrultudaki maksimum parçacık ivmesi değerinden büyüktür. Kaydedilen 8 adet faaliyette ise (4, 10, 14, 15, 21, 29, 30 ve 38 no'lu faaliyetler) her üç doğrultudaki maksimum parçacık ivmesi değerleri birbirine eşit bulunmuştur. Bazı faaliyetlerde düşey doğrultudaki ivme değerinin diğer

doğrultulardaki ivme değerlerinden büyük elde edilme olasılığı metro veya tünel kazı çalışmaları gibi derin patlatmalarda daha da yüksek olmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen titreşim kayıtlarına ait karakteristiklerden düşey doğrultudaki maksimum ivme değerleri, bazı titreşim kayıtlarında enine ve boyuna doğrultudaki ivme değerlerine eşit veya yüksek olarak elde edilmiştir. Deprem dalgalarına bener nitelikler taşıyan patlatma kaynaklı titreşim kayıtlarında rastlanan bu durum, sadece boyuna ve enine doğrultuları değerlendirme kapsamına alan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik uyarınca da değerlendirilmelidir.

Tez çalışması kapsamında bulunmamakla beraber sonrasında yapılması planlanan çalışmalar mevcuttur. Patlatma faaliyetinin gerçekleştirildiği taş ocakları veya benzeri bölgelerde, patlatma noktalarına makul ölçülerde yakın mesafelerde betonarme yapılar inşa edilecek, patlatma kaynaklı titreşimler söz konusu yapı içerisinde ve dışarısında kayıt altına alınacaktır. Titreşim kayıtları, yapı içerisinde yapısal elemanlar üzerinden alınacaktır. Yapılması planlanan çalışmada, patlatma noktasına mesafe, bölgenin jeolojik yapısı, incelenen yapıların taşıyıcı sistem türü gibi parametreler araştırma kapsamında bulunacaktır. Bu bağlamda, mevcut Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik ile patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimler arasında bir ilişki kurulmasına yönelik çalışmalar devam edecektir.

KAYNAKLAR

AK, H., KONUK, A., 2003, Eskişehir – Süpren Yöresinde Bir Taş Ocağında Patlatmadan Kaynaklanan Yer Sarsıntılarının Ölçülmesi ve Analizi, *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, Vol. XVI (2)

AK, H., 2006, *Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Yönel Değişiminin Araştırılması*, Doktora Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

AK, H., KONUK, A., 2007, The Effect of Discontinuity Frequency on Ground Vibrations Produced From Bench Blasting: A Case Study, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol 28 (9), 686-694

ARPAZ, E., CEYLANOĞLU, A., 2001, Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısı ve Hava Şoku Ölçümlerinin Değerlendirilmesi İçin Geliştirilen Bir Bilgisayar Programı, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS 2001*, 19-22 Haziran 2001, Ankara, 9 s.

BİLGİN, H.A., ESEN, S., KILIÇ, M., 1999, Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Binalar Üzerindeki Etkisi ve Büyütme Faktörünün Önemi. *"Türkiye 16. Madencilik Kongresi"*, 1, 25-32

BİLGİN H.A., ESEN S., KILIÇ M., ALDAS G.G.U., 2000, Yeniköy Linyit İşletmesinde Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının İncelenmesi, *4. Delme ve Patlatma Sempozyumu*, 18-19 Nisan 2000, Ankara, 147-158

CEYLANOĞLU, A., ARPAZ, E., 2001, Belirli Bir Kaya Kütlesinde Oluşturulan Yer Sarsıntılarının Ölçümü ve Değerlendirilmesi, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS 2001*, 19-22 Haziran 2001, Ankara, 7 s.

CİHANGİR, F., KESİMAL, A., ERÇIKDI, B., DURMUŞ, O., 2005, Bir Kalker Ocağında Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Çevresel Etkilerin Analizi, *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, 5-6 Mayıs 2005, Ankara, 149-158

CİLSAL, M., CUCEN, O., TİMUR, E., 2006, The Effect of Geotechnical Factors on Blasting Induced Ground Vibration Particle Velocity, *Tunnelling And Underground Space Technology*, Volume 21 (3-4)

CİLSAL, M., CUCEN, O., TİMUR, E., 2006, The Effect of Geotechnical Factors on Blasting Induced Ground Vibration Particle Velocity, *Tunnelling And Underground Space Technology*, Volume 21 (3-4)

CLOUGH, R.W., PENZIEN, J., 1995, Dynamics of Structures, *Computers & Structures, Inc.*,
1995 University Ave. Berkeley, USA, CA 94704,

SAP 2000, 1984-2000, Structural Analysis Program, Computers & Structures Inc.,
University Avenue, Berkeley, California, USA

ETABS, 2005, Extended 3D Analysis of Building Considering, Systems, Computer and Structures Inc. CA 94704, Nonlinear Version 9.04, University Avenue, Berkeley, California, USA

DHAKAL, R.,P., PAN, T.,C., 2003, Response Characteristics of Structures Subjected to Blasting – Induced Ground Motion, *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 28, 813-828

DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, *Resmi Gazete*, Sayı: 26454

DOWDING, C.H., 1985, Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, USA.

ERÇIKDI, B., KESİMAL, A., YILMAZ, E., 2004, Araklı – Taşönü Kalker Ocağında Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Değerlendirilmesi, KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 21-22 Ekim 2004, Sivas, 337-347

ERKOÇ, Ö.,Y., ESEN, S., 1996, Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Ölçülmesi ve Sarsıntı Ölçer Cihaz Çıktılarının Değerlendirilmesi, 2. Delme ve Patlatma Sempozyumu, 1996 Ankara,139-149

FELICE, J.J., 1993, “Applications of Modeling to Reduce Vibration and Air Blast Levels”, *Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, 5 – 8 July Vienna, Austria

JOHNSTON, G.J., DURUCAN, Ş., 1994,“The Numerical Prediction Analysis and Modeling of Ground Vibration Induced by Blasting”, *Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, 18 – 20 October, Istanbul, Turkey,

Instantel Inc., 1993, *Blastmate Series II User Manual*, Canada.

MA, G., HAO, H., ZHOU, Y., 1999, Assessment of Structure Damage to Blasting Induced Ground Motions, *Engineering Structures*, Vol. 22 (2000), 1378-1839

ÖZER, Ü., DAĞ, A., 2004, Petrol Boru Hattı Yakınında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçümlerinin Değerlendirilmesi, VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 21-22 Ekim 2004 Sivas

OZER, U., KAHRİMAN, A., AKSOY, M., ADIGÜZEL, D., KARADOĞAN, A., 2007, The Analysis of Ground Vibrations Induced by Bench Blasting at Akyol Quarry And Practical Blasting Charts, *Environmental Geol*, DOI 10.1007/s00254-007-0859-7

KAHRİMAN, A., TUNCER, G., GÖRGÜN, S., KARADOĞAM, A.K., 1998, “Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Titreşimlerin Kentsel Yerleşim Alanlarına Etkileri ve Alınacak Önlemler”, *Jeoloji ve Kentleşme Sempozyumu*, İstanbul

KAHRİMAN, A., KARADOĞAN, A., GÖRGÜN, S., TUNCER, G., 1999, "Taşocaklarında Patlatmadan Kaynaklanan Yer Sarsıntısının Ölçülmesi ve Analizi", 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 3-4 Haziran 1999, İstanbul, s. 129-142.

KAHRİMAN, A., TUNCER, G., GÖRGÜN, S., KARADOĞAN, A., 1999, Çatalca Yöresi Sarıkaya Tepe Taşocağında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi", 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 3-4 Haziran 1999, İstanbul, s. 149-156.

KAHRİMAN, A., 2001, Prediction of Particle Velocity Caused by Blasting for An Infrastructure Excavation Covering Granite Bedrock, *Mineral Resources Engineering*, Vol. 10 (2), 205-218

KAHRİMAN, A., 2002, Analysis of Ground Vibrations Caused by Bench Blasting at Can Open – Pit Lignite Mine in Turkey, *Environmental Geology*, Volume 41 (6), 653-661

KAHRİMAN A., 2004, "Analysis of Parameters of Ground Vibration Produced From Bench Blasting at A Limestone Quarry", *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 7, 887-892

KAHRİMAN, A., 2006, Evaluation of Environmental Effects Induced by Blasting Around A Waste Water Tunnel Project in High – Urbanized Area in Turkey, *Proceedings of The Thirty – Second Annual Conference on Explosives And Blasting Technique*, 29 January – 1 February 2006 Dallas, Texas: International Society of Explosives Engineers, 49-57

KAHRİMAN, A., KARADOGAN, A., OZER, U., AKSOY, M., ADIGÜZEL, D., 2006, The Analysis of Blast Induced Ground Vibration at Can Open – Pit Lignite Mine in Turkey, *VIth International Scientific Conference*, Volume 1 (1), 61-74

KAHRİMAN, A., OZER, U., AKSOY, M., KARADOGAN, A., TUNCER, G., 2006, Environmental Impacts of Bench Blasting at Hisarcik Boron Open Pit Minein Turkey, *Environmental Geology*, Volume 50 (7), 1015-1023

KAHRİMAN, A., ÖZER, Ü., KARADOĞAN, A., ADIGÜZEL, D., 2006, Patlatma Kaynaklı Çevresel Sorunlar ve Çözüm Yaklaşımları, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 16-16 Eylül, Trabzon

KAHRİMAN, A., OZER, U., KARADOGAN, A., OZDEMİR, K., AKSOY, M., ADIGÜZEL, D., 2007, The Assessment of Environmental Impacts of Blasting During The Construction of A Metro Tunnel, *Proceedings of The Thirty-Third Annual Conference on Explosives And Blasting Technique*, 28 – 31 January, Nashville, Tennessee: International Society of Explosives Engineers, 253-265

KARADOĞAN, A., 2008, *Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması*, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

KARAKUŞ, D., 2000, *Patlatmadan Kaynaklanan Yer Sarsıntılarının Binalar Üzerindeki Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

KESİMAL, A., ERÇIKDI, E., CİHANGİR, F., 2007, Environmental İmpacts Of Blast İnduced Acceleration On Slope İnstability At Limestone Quarry, *Environmental Geology*, Vol 54 (2), 381-389

KUZU, C., NASUF, E., ÖRGÜN, Y., YALÇIN, T., ÖZTÜRK, A., 2003, Büyükçekmece Gölü Taş Ocaklarındaki Üretim Atımlarından Kaynaklanan Sarsıntıların İncelenmesi, *Türkiye Kuvaterneri Çalıştayı IV*, 29-30 Mayıs 2003 İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, 138-143

KUZU, C., ERGİN, H., 2005, “An assessment of environmental impacts of quarry-blasting operation: a case study in Istanbul, Turkey”, *Environ Geol* (2005) 48: 211–217

SINGH, P.K., VOGT, W., PAL ROY, P., SINGH, D.P., 1996, “Prediction and Control of Ground Vibration in a Dolomite Quarry in India”, *Braunkohle Surface Mining*, 391 – 398

SISKIND, D., E., STAGG, M., S., KOPP, J., W., DOWDING, C., H., 1980, Structure Response And Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting, *BuMines RI 8507*, 74

SISKIND, D., E., STAG, M., S., 1985, Blast Vibration Measurements Near and on Structure Foundations, *BuMines RI 8969*

SISKIND, D., E., CRUM, S., V., PLIS, M., N., 1993, Blast Vibrations and Other Potential Causes of Damage in Houses Near Surface Coal Mine in Indiana, *BuMines RI 9455*

SISKIND, D., E., STAG, M., S., WIEGAND, J., E., SCHULZ, D., L., 1994, Surface Mine Blasting Near Pressurized Transmission Pipelines, *BuMines RI 9523*

STAG, M., S., SISKIND, D., E., STEVENS, M., G., DOWDING, C., H., 1984, Effect of Repeated Blasting on a Wood – Frame House, *BuMines RI 8896*, 82

TANAKA, H., HIJIKATA, K., HASHIMOTO, T., FUJIWARA, K., KONTANI, O., MIYAMOTO, Y., SUZUKI, A., 2005, Vibration Tests on Pile-Group Foundations Using Large-Scale Blast Excitation, *Nuclear Engineering And Design*, 235, 2087-2098

TS 498, 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü

TS 500, 2000, Beton Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü

TS 648, 1980, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü

WITH C, BODARE A., 2007, Prediction of train-induced vibrations inside buildings using transfer. Functions, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27 (2007), 93-98

EKLER

EK-A : Patlatma Faaliyetlerinden Elde Edilen Boyuna, Enine ve Düşey Doğrultuda Maksimum Parçacık Hızı Değerlerinin Tablo Halinde Gösterimi

EK-B : Patlatma Faaliyetlerinden Elde Edilen Boyuna, Enine ve Düşey Doğrultuda Maksimum Parçacık İvmesi Değerlerinin Tablo Halinde Gösterimi

EK-C : Patlatma Faaliyetlerinden Elde Edilen Boyuna, Enine ve Düşey Doğrultuda Baskın Frekans Değerlerinin Tablo Halinde Gösterimi

EK-D : Patlatma Faaliyetlerinden Elde Edilen Boyuna, Enine ve Düşey Doğrultuda Maksimum Deplasman Değerlerinin Tablo Halinde Gösterimi

EK-A

Tablo A.1 Patlatma faaliyetlerinden elde edilen boyuna, enine ve düşey doğrultuda maksimum parçacık hızı değerleri

Faaliyet No	Boyuna Doğrultuda Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)	Enine Doğrultuda Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)	Düşey Doğrultuda Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)
1	0.762	1.78	1.65
2	0.381	0.762	0.762
3	1.14	2.16	1.78
4	0.762	0.762	0.762
5	8.64	11.29	9.52
6	2.16	2.29	2.67
7	3.68	2.16	2.92
8	0.381	0.381	0.762
9	7.11	8.89	6.10
10	0.762	0.508	0.508
11	0.635	0.762	0.762
12	1.27	0.762	1.14
13	0.254	0.762	0.254
14	0.762	0.762	0.762
15	0.635	0.762	0.381
16	1.27	3.56	2.16
17	9.14	7.62	10.0
18	5.21	5.46	5.46
19	1.40	1.27	0.508
20	1.02	0.635	0.635
21	2.03	1.27	1.14
22	3.94	2.54	2.79
23	1.02	0.762	0.635

24	1.78	1.65	0.889
25	13.1	11.2	8.76
26	0.762	0.762	0.762
27	1.27	1.02	0.762
28	3.30	3.56	5.33
29	0.762	0.508	0.381
30	1.02	0.762	1.14
31	0.762	1.14	0.635
32	0.381	0.762	0.508
33	0.508	0.762	0.508
34	0.762	0.254	0.381
35	0.508	0.889	0.381
36	0.635	0.762	0.762
37	0.762	0.508	0.508
38	0.762	0.381	0.381
39	1.02	0.381	0.381
40	0.508	1.02	0.635
41	0.889	1.27	0.508
42	0.889	0.635	0.381
43	4.19	4.32	5.71
44	3.94	6.48	4.44
45	3.17	2.41	3.05
46	0.762	0.635	0.254
47	1.27	0.381	0.127
48	9.27	6.21	4.44
49	2.41	2.92	2.03
50	4.95	9.78	5.33

EK-B

Tablo B.1 Patlatma faaliyetlerinden elde edilen boyuna, enine ve düşey doğrultuda maksimum parçacık ivmesi değerleri

Faaliyet No	Boyuna Doğrultuda Maksimum Parçacık İvmesi (g)	Enine Doğrultuda Maksimum Parçacık İvmesi (g)	Düşey Doğrultuda Maksimum Parçacık İvmesi (g)
1	0.0265	0.0398	0.0530
2	0.0530	0.0928	0.0663
3	0.172	0.305	0.199
4	0.0928	0.0795	0.0928
5	0.119	0.159	0.133
6	0.211	0.228	0.217
7	0.0530	0.0398	0.0398
8	0.0530	0.0398	0.0663
9	0.133	0.318	0.212
10	0.0265	0.0265	0.0265
11	0.0398	0.0530	0.0265
12	0.0398	0.0398	0.0265
13	0.0265	0.0795	0.0265
14	0.0265	0.0133	0.0265
15	0.0530	0.0530	0.0530
16	0.0795	0.252	0.186
17	0.199	0.172	0.331
18	0.212	0.278	0.186
19	0.133	0.106	0.0530
20	0.0530	0.0398	0.0265
21	0.0265	0.0265	0.0265
22	0.119	0.106	0.106
23	0.0795	0.0795	0.0663

24	0.119	0.119	0.0928
25	0.239	0.305	0.212
26	0.0265	0.0265	0.0398
27	0.0530	0.0398	0.0265
28	0.0398	0.0398	0.0530
29	0.0265	0.0265	0.0265
30	0.0398	0.0530	0.0530
31	0.0398	0.0530	0.0398
32	0.0265	0.0398	0.0265
33	0.0265	0.0398	0.0265
34	0.0398	0.0265	0.0133
35	0.0265	0.0398	0.0265
36	0.0398	0.0398	0.0530
37	0.0265	0.0265	0.0133
38	0.0265	0.0265	0.0265
39	0.0398	0.0398	0.0265
40	0.0265	0.0530	0.0795
41	0.0265	0.0530	0.0265
42	0.0530	0.0265	0.0265
43	0.133	0.119	0.106
44	0.119	0.133	0.106
45	0.0398	0.0530	0.0663
46	0.0398	0.530	0.0265
47	0.106	0.0398	0.0133
48	0.265	0.172	0.106
49	0.530	0.0530	0.0398
50	0.490	0.557	0.345

EK-C

Tablo C.1 Patlatma faaliyetlerinden elde edilen boyuna, enine ve düşey doğrultuda baskın frekans değerleri

Faaliyet No	Boyuna Doğrultuda Baskın Frekans (Hz)	Enine Doğrultuda Baskın Frekans (Hz)	Düşey Doğrultuda Baskın Frekans (Hz)
1	38.0	34.3	37.8
2	203	243	2.25
3	224	2.00	2.25
4	225	236	3.00
5	9.5	15.3	20.5
6	76.0	71.5	39.3
7	23.6	11.8	23.3
8	189	198	2.25
9	25.5	61.8	36.5
10	32.0	31.8	26.5
11	15.5	15.5	15.5
12	4.50	10.5	9.50
13	163	165	2.25
14	9.25	7.75	9.25
15	99.0	104	2.50
16	77.8	119	2.25
17	21.5	16.0	15.8
18	19.8	27.8	36.5
19	180	182	2.25
20	12.3	4.50	9.50
21	4.75	4.75	9.00
22	32.0	18.8	8.50
23	82.5	207	2.25
24	199	2.00	2.50

25	21.5	17.5	18.5
26	25.8	41.3	40.0
27	42.3	41.3	39.8
28	4.75	12.8	11.5
29	16.8	16.5	16.5
30	33.3	16.5	16.5
31	16.5	16.5	16.5
32	16.8	16.5	33.3
33	16.5	16.5	49.8
34	16.5	16.5	16.5
35	16.5	49.8	16.5
36	16.8	16.5	33.3
37	16.5	16.5	16.5
38	16.5	16.5	16.5
39	16.5	16.5	16.5
40	33.3	16.5	16.5
41	33.3	16.5	49.8
42	33.3	16.5	49.8
43	18.3	14.3	31.5
44	16.3	15.5	26.0
45	8.25	8.25	9.25
46	16.5	16.5	16.5
47	149	16.5	2.25
48	41.5	16.8	40.3
49	13.5	16.5	19.5
50	2.63	2.00	2.13

EK-D**Tablo D.1** Patlatma faaliyetlerinden elde edilen boyuna, enine ve düşey doğrultuda maksimum yer değiştirme değerleri

Faaliyet No	Boyuna Doğrultuda Maksimum Deplasman	Enine Doğrultuda Maksimum Deplasman	Düşey Doğrultuda Maksimum Deplasman
1	0.00471	0.00936	0.00564
2	0.00012	0.00037	0.00050
3	0.00068	0.00155	0.00105
4	0.00037	0.00037	0.00037
5	0.111	0.103	0.0814
6	0.00781	0.00533	0.00843
7	0.0265	0.02	0.0210
8	0.00037	0.00031	0.00043
9	0.0415	0.0453	0.0411
10	0.00298	0.00260	0.00248
11	0.0181	0.00657	0.00825
12	0.0303	0.0104	0.0195
13	0.00012	0.00050	0.00012
14	0.0125	0.0110	0.00726
15	0.00099	0.00093	0.00037
16	0.00316	0.00490	0.00180
17	0.0760	0.0386	0.0618
18	0.0237	0.0148	0.0247
19	0.00087	0.00081	0.00037
20	0.00850	0.00850	0.00905
21	0.0514	0.0329	0.0149
22	0.0280	0.0216	0.0136

23	0.00074	0.00062	0.00043
24	0.00112	0.00378	0.00074
25	0.102	0.0505	0.0556
26	0.00329	0.00360	0.00316
27	0.00453	0.00391	0.00310
28	0.0573	0.0438	0.0743
29	0.00366	0.00161	0.00180
30	0.00229	0.00242	0.00291
31	0.00322	0.00198	0.00267
32	0.00180	0.00161	0.00186
33	0.00304	0.00180	0.00149
34	0.00366	0.00112	0.00149
35	0.00304	0.00167	0.00143
36	0.00236	0.00223	0.00186
37	0.00508	0.00459	0.00310
38	0.00409	0.00093	0.00211
39	0.00384	0.00180	0.00223
40	0.00291	0.00397	0.00273
41	0.00540	0.0542	0.00254
42	0.00366	0.00546	0.00124
43	0.0342	0.0290	0.0294
44	0.0247	0.0688	0.0254
45	0.0392	0.0283	0.0163
46	0.00136	0.00118	0.00050
47	0.00099	0.00050	0.0
48	0.0430	0.0574	0.0317
49	0.0135	0.0206	0.0146
50	0.0387	0.0951	0.0137

ÖZGEÇMİŞ

	Barış YILDIZLAR
	Doğum yeri : Ankara
	Doğum tarihi : 05.12.1979
	Medeni Hali : Evli

Eğitim Özgeçmişi		
Lise	Eyüp Otakçılar Lisesi	(1993-1995)
Lisans	İ.Ü Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü	(1996-2000)
Yüksek Lisans	İ.Ü FBE İnşaat Müh. A.B.D İnşaat Müh. Prog.	(2000-2004)
Doktora	İ.Ü FBE İnşaat Müh. A.B.D İnşaat Müh. Prog.	(2004-)

Profesyonel Özgeçmiş	
İ.Ü. Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi	(2001-.....)
İ.Ü. Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, İnş. Yük. Müh.	(2005-.....)

Askerlik Durumu	
Tecilli	-

Akademik, İdari ve Bölüm Görevleri	
İ.Ü. Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Yapı Denetim Gör.	(2005-.....)
Yapım işleri yaklaşık maliyet komisyonu (Yedek Üye)	(2008-.....)
Mal hizmet alımları piyasa araştırma görevlileri (Yedek Üye)	(2008-2009)
İ.Ü. Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı İhale Komisyon Üyesi	(2009-.....)

Çalışma Konuları	
Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi, Patlatma Kaynaklı Titreşimler, Mevcut Yapıların Durum Tespit Çalışmaları, Bilgisayar Destekli Tasarım ve Projelendirme	

Yardımcı Olduğu Dersler				
No	Dersin Adı	Öğretim Türü	Yarıyılı	Kredisi
1	Bilgisayar Programlama II	Lisans	2	(3+0+0) 3.0
2	Teknik Resim	Lisans	2	(3+1+0) 3.5
3	Yapı Statiği I	Lisans	5	(3+2+0) 4.0
4	Yapı Statiği II	Lisans	6	(3+1+0) 3.5
5	Yapı Müh. Bilgisayar Uyg.	Lisans	7	(2+1+0) 2.5

Ulusal / Uluslararası Yayınlar	
1	Yıldızlar, B., Gürsoy, G., Damcı, E., Öztoran, N., Çelik, T. (2002): “İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Bloklarına Ait Temel Sisteminde Güçlendirme ve Onarım Tekniği”, Gümüşhane ve Yöresinin Kalkınması Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Müh. Fakültesi, Gümüşhane Atatürk Kültür Merkezi.
2	Yıldızlar, B., Gürsoy, G., Damcı, E., Öztoran, N., Çelik, T. (2002): “İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Bloklarında Uygulanmış Olan Üst Yapı Güçlendirme ve Onarım Tekniği”, Gümüşhane ve Yöresinin Kalkınması Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniv., Gümüşhane Mühendislik Fak., Gümüşhane Atatürk Kültür Merkezi.
3	Yıldızlar, B., Gürsoy, G., Damcı, E., Öztoran, N., Çelik, T. (2002): “Mevcut Yapı Stoğunun Deprem Riski Açısından Durum Tespiti İçin Bir Yöntem ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Kıyaslanması”, Gümüşhane ve Yöresinin Kalkınması Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniv., Gümüşhane Müh. Fakültesi, Gümüşhane.
4	Yıldızlar, B., Gürsoy, G., Damcı, E., Öztoran, N., Çelik, T. (2002): “Bakırköy İlçesi Yapı Stokunun Deprem Riski Analizi”, Gümüşhane ve Yöresinin Kalkınması Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Gümüşhane Atatürk Kültür Merkezi.

5	Gürsoy, G., Yıldızlar, B. , Özturun, N. K., Çelik, T. (2003): “Mevcut Yapı Stoğunun Deprem Riski Açısından Durum Tespiti İçin Önerilen Yöntem ile Bakırköy İlçesi Verileri”, Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar I. Kongresi MBGAK’ 2003, İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü, İstanbul.
6	Yıldızlar, B. , Özturun, N.K., Çelik, T. (2003): “İstanbul Üniversitesi Nadir Eserler Kütüphanesi’nde Uygulanmakta Olan Onarım ve Güçlendirme Tekniği”, Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar I. Kongresi MBGAK’2003, İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü, İstanbul.
7	Bektaş, G., Temur, R., Şahan, S., Çavuş, K., Özcan, H., Şener, E., Deniz, K., Yıldızlar, B. , Gürsoy, G., Özturun, N. K., Çelik, T. (2003) “İstanbul Üniv. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Eğitim Hastanesi A3 Bloğu Ön İncelemesi”, Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar I. Kongresi MBGAK’ 2003, İstanbul Üniv., Avcılar Kampüsü, İstanbul.
8	E. Damcı, B. Yıldızlar , G. Gürsoy, N. K. Özturun, T. Çelik (2003): “Bakırköy Özelinde, Türkiye Genelinde Yapı Durum Tespiti İçin Bir Algoritma”, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İ.T.Ü. Süleyman Demirel Kültür Merkezi, İstanbul.
9	B. Yıldızlar , M.G.Gürsoy, N.K. Özturun, T. Çelik (2003): “Mevcut Yapı Stoğunun Deprem Riski Açısından Durum Tespiti İçin Bakırköy İlçesi Örneği İle Önerilen Yöntem”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli 2003, Kocaeli
10	M.G.Gürsoy, B. Yıldızlar , N.K. Özturun, T. Çelik (2003): “Şehirleşmiş Alanlarda Yeni Bir Deprem Riski Tarama Yöntemi”, Küçükçekmece ve Yakın Çevresi Teknik Kongresi, Deprem ve Planlama, Küçükçekmece Belediyesi. 2003., Sayfa 639-648.
11	B. Yıldızlar , M.G.Gürsoy, N.K. Özturun, T. Çelik (2003): “İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Bloklarının Güçlendirme Sebepleri ve Uygulanmış Olan Temel ve Üst Yapı Onarım ve Güçlendirme Teknikleri”, Küçükçekmece ve Yakın Çevresi Teknik Kongresi, Deprem ve Planlama, Küçükçekmece Belediyesi. 2003., Sayfa 460-471.
12	Betonarme Yapı Analizlerinde Dolgu Duvarların Modellenme Teknikleri, Sayın B., Yıldızlar B. , Kaplan S.A., İMO 17.Teknik Kongre ve Sergisi, 2004

Araştırma ve Uygulama Projeleri			
1	İ.Ü. İnşaat Müh. Böl. Bakırköy Belediyesi	Bakırköy İlçesi Yerleşim Alanlarının Zemin-Yapı Etkileşimine Bağlı Risk Analizi	2002-2003
2	İ.Ü. Bilimsel Araştırma Projesi Birimi (B.A.P)	Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Yapı Davranışı Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Araş. Gör. Barış YILDIZLAR (Yürütücü) 3893 no'lu Tez Projesi	2009-....