

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PATLAMA KAYNAKLI YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ
AYAKLI ÇELİK SU DEPOLARININ DİNAMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olgun KÖKSAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**OCAK 2013
SAMSUN**



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PATLAMA KAYNAKLI YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ
AYAKLI ÇELİK SU DEPOLARININ DİNAMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olgun KÖKSAL
(5210000012)

Tezin Savunma Tarihi : 22 Ocak 2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Kemal HACİEFENDİOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Olgun KÖKSAL Tarafından Hazırlanan**

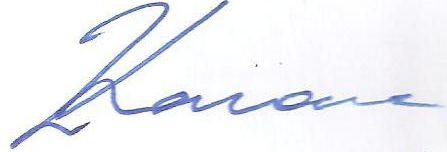
**PATLAMA KAYNAKLI YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ
AYAKLI ÇELİK SU DEPOLARININ DİNAMİK ANALİZİ**

**başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 22/01/2013 tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.**

Başkan : Doç. Dr. Kemal HACİEFENDİOĞLU
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Zeki KARACA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Nurettin ŞENYER
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



22/01/2013

Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ

Enstitü Müdürü

Eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Öncelikle bu tezin çalışma konusunu bana öneren ve tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın danışman hocam Doç.Dr.Kemal HACİEFENDİOĞLU' na sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışması sırasında yardımlarını esirgemeyen sayın Yrd.Doç.Dr. Murat Emre KARTAL'a çok teşekkür ediyorum.

Çalışmalarım süresince bana gösterdikleri ilgi, destek ve anlayışları için aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmanın bundan sonra yapılacak çalışmalara yardımcı olmasını ve ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Ocak 2013

Olgun KÖKSAL
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
KISALTMALAR	xx
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1 Patlatma Faaliyetleri.....	7
2.2 Ayaklı Su Depoları.....	9
2.2.1 Dairesel tanklar	10
2.3 Patlatma Kaynaklı Yer Hareketinin Genel Özellikleri.....	12
2.3.1 Genlik parametreleri	15
2.3.2 Frekans	16
2.3.3 Dalga boyu	17
2.3.4 Yakın ve uzak mesafedeki davranışı.....	18
2.4 Patlatma Kaynaklı Yer Hareketi Sırasında Yapı Davranışının Özellikleri	19
2.5 Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşim Sistemleri	20
2.5.1 Sıvı sistemlerinin Lagrange yaklaşımına dayalı sonlu eleman formülasyonu	21
2.5.2 Sıvı-yapı-zemin etkileşim sistemlerinin sonlu eleman formülasyonu	24
2.6 Temas Problemleri	25
2.7 Newmark- β Yöntemi.....	26
2.7.1 Sabit ivme yöntemi	28
2.7.2 Sabit ortalama ivme yöntemi	28
2.7.3 Doğrusal ivme yöntemi.....	29
2.8 Rayleigh Sönümü	32
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	33
3.1 Patlama Basınç Grafiği.....	33
3.2 Patlama Kaynaklı Oluşan Yer Hareketleri	35
3.2.1 Hava şoku etkili yer hareketi	37
3.2.1.1 Düşey maksimum hız	37
3.2.1.2 Düşey maksimum yer değiştirme.....	38
3.2.1.3 Düşey maksimum ivme.....	39
3.2.1.4 Yatay maksimum hız, maksimum yerdeğiştirme, maksimum ivme ..	40

3.2.2 Direkt etkili yer hareketi	41
3.2.2.1 Düşey ve yatay maksimum hız.....	41
3.2.2.2 Düşey ve yatay maksimum yerdeğiştirme	41
3.2.2.3 Düşey ve yatay maksimum ivme	42
3.3 Yer Hareketinin Benzeşimi	43
3.3.1 Filtre edilmiş beyaz gürültü.....	43
3.3.2 Shot gürültü modeli.....	43
3.3.3 Stokastik model.....	43
3.3.4 Mekanik model.....	44
3.3.5 Benzeşim işlem sırası	44
3.3.6 Yapay yer hareketi ivmelerinin üretilmesi	46
3.3.7 İvme kayıtlarının temel düzeltmeleri	47
3.4 Patlama Kaynaklı Yer Hareketinin Modellenmesi.....	48
3.5 Çelik Taşıyıcı Sistemli Ayaklı Su Deposunun İncelenmesi	50
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	53
4.1 Patlama Basınç Grafiğinin Elde Edilmesi	53
4.2 Patlama Kaynaklı Yer Hareketlerinin Dinamik Analiz Sonuçları	56
4.2.1 Hava şoku etkili yer hareketi analiz sonuçları	57
4.2.2 Direkt etkili yer hareketi analiz sonuçları	75
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR.....	97
EKLER.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	109

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Tipik zeminler ve kayalar için kütle yoğunlukları	38
Çizelge 3.2: Zeminler ve kayalar için tipik sismik hızlar	38
Çizelge 3.3: Malzeme Özellikleri.....	51
Çizelge 4.1: 20m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde hava şoku etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.....	70
Çizelge 4.2: 40m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde hava şoku etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.....	71
Çizelge 4.3: 20m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde direkt etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.....	88
Çizelge 4.4: 40m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde direkt etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.....	89

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1:	Açık ocak maden işletmelerinde basamak patlatmaları	7
Şekil 2.2:	Yer altı patlatma çalışmasının yapıldığı Marmaray Projesi	8
Şekil 2.3:	Kanal patlatma çalışması.....	8
Şekil 2.4:	Çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı su deposu.....	9
Şekil 2.5:	(a) Daire parçası tabanlı dairesel su tankı , (b) Konik tabanlı dairesel su tankı.	11
Şekil 2.6:	Eliptik tabanlı ayaklı su deposu.	12
Şekil 2.7:	Elastik ortamda dalga türleri ve yayılma özellikleri	13
Şekil 2.8:	Sonsuz büyük ortamda P ve S, SH dalgaları.	14
Şekil 2.9:	Patlatma kaynaklı yer hareketi kayıtları.....	16
Şekil 2.10:	Mühendislik patlatmaları ile deprem ve nükleer patlamalar sonucu oluşanyer hareketlerinin karşılaştırılması.....	17
Şekil 2.11:	Farklı dalga boyunda yer hareketlerinin yapıya etkisi	17
Şekil 2.12:	Yeraltı patlatmalarının yakın ve uzak mesafedeki davranışı	18
Şekil 2.13:	Patlatma kaynaklı titreşim bileşenlerinin uzaklıkla değişimi.....	19
Şekil 2.14:	Tek yönlü dinamik hareket verilen makas modeli ve yapı ile ilişkisi.....	19
Şekil 2.15:	Coulomb sürtünme yasasına göre temas durumunda kayma davranışı... 26	
Şekil 3.1:	Tipik açık hava basıncı-zaman grafiği.	33
Şekil 3.2:	Net yer hareketlerinin yer yüzeyinde bir patlamayla üretilmesi (a)Süpersismik bölgede yer hareketi, (b) Sınırı aşan bölgede yer hareketi	36
Şekil 3.3:	Deniz seviyesi yüzeyinde yarı küresel TNT patlaması için pozitif faz hareketinin dalga parametreleri.	39
Şekil 3.4:	(a) Çelik taşıyıcı sistemli ayaklı su deposu (b) Sonlu eleman modeli.	51
Şekil 3.5:	Çelik taşıyıcı sistemli ayaklı su deposunun düşey kesiti.	52
Şekil 4.1:	Patlama merkezinden R uzaklığındaki ayaklı su deposu.	53
Şekil 4.2:	Patlama merkezine 10m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.	54
Şekil 4.3:	Patlama merkezine 10m mesafede, 400kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.	54
Şekil 4.4:	Patlama merkezine 10m mesafede, 1600kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.	55
Şekil 4.5:	Patlama merkezine 10m mesafede, 6400kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.	55
Şekil 4.6:	Patlama merkezine 10m mesafede, 25600kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.	56
Şekil 4.7:	Ayaklı su deposunda dikkate alınan düğüm noktası numaraları.....	57
Şekil 4.8:	Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.....	58

Şekil 4.9: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	58
Şekil 4.10: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	59
Şekil 4.11: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.	59
Şekil 4.12: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.	60
Şekil 4.13: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	60
Şekil 4.14: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	61
Şekil 4.15: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.	61
Şekil 4.16: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.	62
Şekil 4.17: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	62
Şekil 4.18: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	63
Şekil 4.19: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.	63
Şekil 4.20: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.	64
Şekil 4.21: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	64
Şekil 4.22: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	65
Şekil 4.23: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.	65
Şekil 4.24: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.	66
Şekil 4.25: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	66
Şekil 4.26: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	67
Şekil 4.27: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.	67
Şekil 4.28: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.	68
Şekil 4.29: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	68
Şekil 4.30: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	69
Şekil 4.31: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.	69
Şekil 4.32: 20m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde hava şoku etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.	70

Şekil 4.33: 40m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde hava şoku etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.....	71
Şekil 4.34: Patlama merkezine dik uzaklık 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan eksenel normal gerilmeler.....	72
Şekil 4.35: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan eksenel normal gerilmeler.....	73
Şekil 4.36: Patlama merkezine dik uzaklık 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.	73
Şekil 4.37: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.	74
Şekil 4.38: Patlama merkezine dik uzaklık 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.	74
Şekil 4.39: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.	75
Şekil 4.40: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.....	76
Şekil 4.41: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	76
Şekil 4.42: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	77
Şekil 4.43: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.....	77
Şekil 4.44: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.....	78
Şekil 4.45: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	78
Şekil 4.46: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	79
Şekil 4.47: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.....	79
Şekil 4.48: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.....	80
Şekil 4.49: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	80
Şekil 4.50: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	81
Şekil 4.51: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.....	81
Şekil 4.52: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.....	82
Şekil 4.53: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	82
Şekil 4.54: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	83
Şekil 4.55: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.....	83
Şekil 4.56: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.	84

Şekil 4.57: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	84
Şekil 4.58: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	85
Şekil 4.59: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.	85
Şekil 4.60: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.	86
Şekil 4.61: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.	86
Şekil 4.62: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.	87
Şekil 4.63: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.	87
Şekil 4.64: 20m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde direkt etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.	88
Şekil 4.65: 40m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde direkt etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.	89
Şekil 4.66: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile direkt etkili yer hareketi sonucu oluşan eksenel normal gerilmeler.	90
Şekil 4.67: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile direkt etkili yer hareketi sonucu oluşan eksenel normal gerilmeler.	91
Şekil 4.68: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile direkt etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.	91
Şekil 4.69: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile direkt etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.	92
Şekil A.1: BlastGM yazılımının çalışma sistemi.	106
Şekil A.2: BlastGM yazılımının girdi ekranı.	107
Şekil A.3: Hava etkili yer hareketi için zemin bilgisi girdi ekranı.	107
Şekil A.4: Direkt etkili yer hareketi için zemin bilgisi girdi ekranı.	108
Şekil A.5: Analiz türünün seçildiği ekran.	108
Şekil A.6: Girdi ve çıktı bilgilerinin gösterildiği ekran.	108

SEMBOL LİSTESİ

P	: Basınç
β_f	: Sıvının hacimsel elastisite modülü
ε_v	: Hacimsel şekildeğiştirme
U_{fy}	: y doğrultusundaki yerdeğiştirme bileşeni
U_{fz}	: z doğrultusundaki yerdeğiştirme bileşeni
w	: Sıvının düzleme dik doğrultudaki dönmesi
P_w	: Dönmeye ait gerilme
α_f	: Rotasyonla ilgili kısıtlama parametresi
$\{\sigma_f\}$	: Sıvının gerilme vektörü
$[D_f]$	: Elastisite matrisi
$\{e\}$	: Şekildeğiştirme vektörü
$\prod_e$	: Sıvı sistemin toplam şekildeğiştirme enerjisi
$\{U_f\}$	: Düğüm noktası yerdeğiştirme vektörü
$[K_f]$	: Sıvı sistemin rijitlik matrisi
$\prod_s$	: Yüzey potansiyel enerjisi
$\{U_{fs}\}$	: Sıvı serbest yüzeyi düşey yerdeğiştirmesi
$[S_f]$	: Serbest yüzey eleman rijitlik matrisi
$[M_f]$	: Sıvı sistemin kütle matrisi
$\{\ddot{U}_f\}$	: Düğüm noktası ivme vektörleri
$[K_f^*]$	: Sıvı serbest yüzey rijitlikleri
$\{U_f\}$	: Düğüm noktası yerdeğiştirme vektörleri
$\{F_f\}$	: Zamana bağlı düğüm noktası yük vektörü
U_n	: Arayüzeye ait normal yerdeğiştirme

m	: Kütle
c	: Sönüm sabiti
k	: Rijitlik sabiti
$\ddot{u}$	: İvme
$\dot{u}$	: Hız
u	: Yerdeğiştirme
F_e	: Kuvvet
ξ	: Sönüm oranı
ω_n	: Açısal frekans
Δt	: Zaman aralığı
δ	: Newmark- β yöntemi katsayısı
β	: Newmark- β yöntemi katsayısı
γ	: Newmark- β yöntemi katsayısı
α	: Rayleigh sönüm katsayısı
β	: Rayleigh sönüm katsayısı
P_s	: Patlama basıncı
P_{so}	: Patlamadaki maksimum basınç
R	: Patlama merkezinden dik uzaklık
Q	: Patlayıcı ağırlığı
T_a	: Basıncın etkiyeceği yüzeye ulaşması için geçen süre
c_a	: Hava ortamındaki ses hızı
T_r	: Basıncın maksimum değere ulaşması için geçen süre
T_d	: Maksimum basınçtan ortam basıncına düşerken geçen süre
t	: Zaman
V_v	: Yeryüzeyinin maksimum düşey hızı
V_H	: Yeryüzeyinin maksimum yatay hızı
ρ	: Zeminin kütle yoğunluğu
C_p	: Zemindeki basınç dalgasının sismik hızı
D_v	: Yer yüzeyinin maksimum düşey yer değiştirmesi
D_H	: Yer yüzeyinin maksimum yatay yer değiştirmesi

i_s	: Birim pozitif impuls
A_V	: Yer yüzeyinin maksimum düşey ivmesi
A_H	: Yer yüzeyinin maksimum yatay ivmesi
U	: Sarsıntı ön hızı
R_G	: Patlama merkezine olan dik uzaklık
W	: TNT yükünün ağırlığı
Z_G	: Ölçekli uzaklık
PPA	: Yatay yöndeki pik ivme değeri
S_x	: Spektral yoğunluk fonksiyonu
S_o	: Beyaz gürültünün güç spektral yoğunluk fonksiyonu
H	: Filtrenin karmaşık frekans etki fonksiyonu
S_y	: Çıktı işleminin güç spektral fonksiyonu
p	: Zamanın deterministik fonksiyonu
w	: S_o yoğunluğunun durağan beyaz gürültü fonksiyonu
a_b	: Anakayadaki ivme
a_g	: Yer ivmesi
$\ddot{z}$	: İvme
$\dot{z}$	: Hız
z	: Yerdeğiştirme
h	: Filtrenin birim impuls etki fonksiyonu
ϕ	: Shot gürültünün değişim yoğunluk fonksiyonu
σ	: Varyans fonksiyonu
w_j	: Rastgele sayı
R	: Otokorelasyon
$\Delta\tau$	: Zaman aralığı
τ	: Zaman
ξ	: Zaman zarf fonksiyonu
m	: Yer hareketinin durağan olmayan özelliğine bağlı parametre
n	: Yer hareketinin durağan olmayan özelliğine bağlı parametre
t_p	: Yer sarsıntısı için geçen süre
t_d	: Sarsıntı dalgası süresi

PF : Parçacık frekansı

KISALTMALAR

UFC : Unified Facilities Criteria
AWWA : American Water Works Association

PATLAMA KAYNAKLI YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ AYAKLI ÇELİK SU DEPOLARININ DİNAMİK ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada, patlama kaynaklı oluşan yer hareketlerinin (hava şoku etkili ve direkt etkili) yapılar üzerindeki dinamik etkileri incelenmektedir. Hesaplarda kullanılacak olan yer hareketi ivme değerleri rastgele yöntem ile tahmini olarak elde edilmiştir. Patlama kaynaklı yer hareketinin modellenmesinde, patlama kaynağına olan uzaklığa ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak elde edilen pik ivme değerinden ve patlama basıncının zaman zarf eğrisinden yararlanılmaktadır. Patlama kaynaklı yer hareketi modelinin oluşturulması için stasyonere (durağan) olmayan rastgele işlem yeterli bir yöntem olarak sunulmaktadır. Patlama kaynaklı yer hareketini temsilen, yer hareketinin zamana bağlı ivme değerlerinin tahmin edilebilmesi için BlastGM (Artificial Generation of Blast Induced Ground Motion) adlı bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde patlamanın kaynağına olan uzaklığa ve patlama gücüne bağlı olarak zamana bağlı yapay ivme değerleri oluşturulabilmektedir.

Bu çalışmada, patlama kaynaklı yer hareketlerinin yapılar üzerindeki dinamik etkilerini araştırmak amacıyla çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı bir su deposu incelenmiştir. Bu ayaklı su deposu ANSYS sonlu elemanlar yazılımıyla modellenerek patlama kaynaklı yer hareketlerinin sonuçları değerlendirilmiştir.

Ayrıca analiz sonuçlarında elde edilen bulgular doğrultusunda hem hava şoku etkili yer hareketine hem de direkt etkili yer hareketine bağlı olarak sistemde meydana gelen yerdeğiştirme ve gerilme değerleri yayımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Patlama; Patlama Kaynaklı Yer Hareketi; Rastgele İşlem; Zarf Fonksiyonu; Pik İvme; Ayaklı Su Deposu.

DYNAMIC ANALYSIS OF ELEVATED STEEL WATER TANKS IN THE INFLUENCE OF BLAST INDUCED GROUND MOTION

SUMMARY

This study intended to obtain ground motion acceleration values due to blast-induced ground motions (air-blast induced and direct induced) estimated by a random method. In order to model blast-induced ground motion, firstly, peak acceleration of ground motion acceleration and the time envelope curve function for the blast pressure were obtained from distance of the explosion center and the explosion charge weight and then blast-induced acceleration time history were established by using these factors. Non-stationary random process is presented as an appropriate method to be created blast induced ground motion model. As a representative of blast induced ground motion, the software named BlastGM (Artificial Generation of Blast induced Ground Motion) was developed by authors to predict ground motion acceleration values. Artificial acceleration values generated from the software depend on the charge weight and distance from the source of the explosion.

In this study, in order to to obtain ground motion acceleration values due to blast-induced ground motions, steel elevated water tank was investigated. This elevated water tank was modeled with finite elements method ANSYS and results of blast-induced ground motions was evaluated.

Also, paralld to findings obtained from results of analysis , when distance of explosion center is constant, if explosive weight increases, displacements and stresses increase in dynamic analysis for air-blast induced and direct induced groun motion.

Key Words: Blast; Blast Induced Ground Motion; Random Process; Envelope Function; Peak Acceleration; Elevated Water Tank.

1. GİRİŞ

İnsanlar ve diğer canlılar için suyun emniyetli şekilde depolanması gerekmektedir. Bu nedenle su getirme projelerinde su basınçlarının her düzeyde aynı olmasını sağlamak amacıyla inşaa edilen ayaklı su depoları, mühendislikte önemli yapılardır. Ayaklı su depoları, inşaa edilirken dikkate alınan sabit yükler, hareketli yükler, rüzgar yükleri, deprem yükleri vb. yanında patlama kaynaklı yer hareketlerinin de dikkate alınması büyük önem arz etmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, patlama kaynaklı oluşan yer hareketlerinin (hava şoku etkili ve direkt etkili) oluşturduğu zamana bağlı ivme değerlerini rastgele yöntem ile tahmini olarak elde etmek ve patlama kaynaklı yer hareketinin yapılar üzerindeki dinamik etkilerini araştırmaktır. Bu amaçla, öncelikle patlama yüküne ve patlama merkezine dik uzaklığa bağlı olarak elde edilmiş ampirik ivme formülleri kullanılarak pik ivme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen pik ivme değerinin patlama basıncının zarf fonksiyonu yardımıyla zamana bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmıştır. Araştırmalar sonucu patlama kaynaklı yer hareketinin modellenebilmesi için en uygun yöntemin stasyoner olmayan rastgele işlem yöntemi olduğuna karar verilmiştir. Bu yöntemde, patlama kaynaklı yer hareketinin zamana bağlı ivme değerleri, deterministik şekil fonksiyonu (zarf fonksiyonu) ve stasyoner işlem parametreleri kullanılarak hesap edilmiştir. Tüm yer hareketi modelleme hesaplarında (MATLAB, 2012) yazılımı ile geliştirilen BlastGM(Artificial Generation of Blast Induced Ground Motion) yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, yapay deprem ivme kaydı üretebilen Fortran dilinde yazılmış olan PSEQGN (Ruiz ve Penzien, 1969) programından yararlanılarak, patlama kaynaklı yer hareketi için geliştirilmiştir. BlastGM yazılımıyla farklı patlayıcı miktarı ve uzaklık için elde edilen veriler daha sonra ANSYS sonlu elemanlar yazılımında (ANSYS, 2011)

modellenen tamamen çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı su deposunun dinamik analizinde kullanılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Patlama kaynaklı yer hareketi ile ilgili geçmiş yıllara ait çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Dowding (1985, 1996), madencilik ve mühendislik faaliyetlerinde, taşocaklarında yapılan patlamaların yer titreşimlerini ve nükleer patlamalardan kaynaklı yer hareketlerini deneysel çalışmalarında ve araştırmalarında incelemiştir. Yapılan çalışmalarda yüksek frekanslı yer titreşimlerinin temel özellikleri, yapı üzerindeki hasar oluşturma şekilleri ve hasar dereceleri gibi bulgulara ulaşılmıştır. Ayrıca yüksek frekanslı yer titreşimi temel parametrelerinin farklı patlayıcı ağırlığı, patlama merkezine olan uzaklığı ve zemin ortamının özelliklerine bağlı olduğunu ifade eden matematiksel bağıntılar da bu çalışmada elde edilmiştir.

Hao ve ark. (2001), kaya zemin ortamı içinde yer alan boşlukların ve kılcal çatlakların patlamalar sonucu oluşacak titreşim hareketleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmaları sonucu, kaya zemin ortamı içinde yer alan boşlukların ve kılcal çatlakların, yüksek frekanslı titreşimleri sönmülemde önemli etkilerinin olduğu ortaya çıkmıştır.

Lu ve ark. (2001), yüksek frekanslı titreşim altındaki yapı davranışlarını belirlemek amacıyla deneysel ve teorik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, yüksek frekanslı titreşim altındaki yapı davranışlarında üst modların etkin olduğu ve analizlerde modelleme yapılırken basitleştirme yapılmasının doğru olmayacağını ortaya çıkarmışlardır.

Ma ve ark. (2003), çalışmalarında patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki betonarme yapılarda meydana gelen deformasyon şekillerini ve bunların deprem nedeni ile oluşan deformasyonlardan farklılıklarını incelemiştir. Çalışmalarından patlama kaynaklı yer hareketi sonucunda betonarme yapılarda esas deformasyonların kolon-kiriş birleşimleri gibi rijit yapı elemanlarında meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır.

Wu ve ark. (2003), deneysel olarak değişik patlayıcı yoğunlukları için kaya zemin, kaya-toprak zemin ara yüzeyi ve zemin üstünde meydana gelen titreşimlerin karakteristik özelliklerini incelemiştir.

Wu ve ark. (2004a), araştırmalarında büyük patlayıcı yoğunlukları için kaya zeminlerde oluşan yer hareketlerinin Autodyn3D programı kullanılarak modellenmesi ve deneysel sonuçlara uygunluğu üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında patlatmanın oluştuğu odada ve kaya zemin içerisinde meydana gelen deformasyonları da incelemiştir. Analiz sonucunda modellemenin kaya zeminler için deneysel çalışmalara uygunluk gösterdiği belirlenmiştir.

Wu ve ark. (2004b), patlatma sonucu betonarme yapılarda meydana gelen deformasyonları azaltmada yapı temeli altında ince kum tabakası ile izolasyon yapılmasının etkisini incelemiştir. Çalışmaları sonucunda, kum izolasyonunun yüksek frekanslı titreşimleri sönümlemede etkili olduğu ve yapıdaki patlatma kaynaklı yer hareketi nedeni ile oluşabilecek deformasyonları büyük ölçüde azalttığı ortaya çıkmıştır.

Wu ve Hao (2005a), kaya zemin içerisinde meydana gelen patlatma sonucu zemin ortamında ve yüzeyde oluşan titreşim hareketlerinin karakteristik özelliklerini ve farklılıklarını, geliştirdikleri patlatma modellenmesi üzerinde incelemiştir.

Wu ve Hao (2005b), patlatma kaynaklı yer hareketi etkisindeki çerçeve sistem davranışlarını ve titreşim frekanslarının hasar oluşumundaki etkisini incelemiştir. Dinamik yapı davranışlarında yer hareketinin frekans bileşeninin önemli etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Wu ve ark. (2005), patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki iki katlı yığma yapı ile iki katlı ve altı katlı duvarlı betonarme çerçeve sistem yapılarının deformasyon davranışlarını incelemiştir. Patlatma kaynaklı yüksek frekanslı yer hareketi etkisi altında en fazla hasarın yığma yapılarda ve duvarlı çerçeve sistemlerdeki yapı elemanlarının rijit bölgelerinde meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır.

Wu ve Hao (2005c), zemin yüzeyinde meydana gelen patlatma sonucunda yapı üzerine gelen hava basıncı ve yer titreşimlerinin aynı anda etkimesi durumunda yapı davranışını incelemiştir.

Özmen (2006), çalışmasında yer altı patlatmaları sonucu oluşan yer hareketlerinin ivme-zaman değişimlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmesini ve yapılar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Patlatma sonucunda zemin ortamında kısa mesafelerde pik değerli yüksek frekanslı yer hareketi olduğu, patlayıcı miktarının azalması veya uzaklığın artması ile maksimum değerin hızla azaldığını tespit etmiştir. Patlatma kaynaklı yer hareketleri veya benzeri olan yüksek frekanslı dinamik etkiler altında yapı analizi için, temel modlardan sonra gelen üst modları dikkate alan modellemeler yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

Wu ve Hao (2007), patlatma sonucu yer sarsıntısının ve hava şokunun yapısal tepkilerinin eş zamanlı olarak etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, geliştirilmiş olan 3 boyutlu homojenleştirilmiş malzeme modeli, eşdeğer elastik özellikler, gerilme zarfı ve hasar başlangıcını içeren bir kargir duvar modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada başka bir malzeme hasar modeli, betonarme yapılar için geliştirilmiştir. Eş zamanlı yer sarsıntısı ve hava şoku kuvvetleri ya ayrı olarak ya da beraber dikkate alınarak örnek yapıdaki hasar ve dinamik etkiler incelenmiştir. Çalışma sonunda, ölçekli uzaklık küçükken yapısal davranışı ve hasarı hava şoku yüklerinin oluşturduğu belirlenmiştir. Ölçekli uzaklık arttığında, yapı davranışında, yer sarsıntısının rölatif öneminin artacağı ve yüzey patlama etkilerinin etkili olacağı belirlenmiştir.

Iqbal (2009), patlama yükleri etkisindeki reaktörlerin yapısal davranışlarını incelemiştir. Çalışmasında, nükleer enerji tesisleri etrafında meydana gelen patlama kaynaklı yer sarsıntısının yanında hava şoku parametreleri de dikkate almıştır. Çalışmada CONWEP yazılımı ile sonuçlar elde edilmiş ve önceki çalışmalarla karşılaştırmalar yapılmıştır.

Hacıfendioğlu (2009), yığma tarihi bir minarenin patlatma ve deprem kaynaklı yer hareketlerine göre üç farklı zemin sınıfı için dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. ANSYS sonlu eleman programını kullanarak analizlerini gerçekleştirdiği minarede, gerilmelerin şerefeye açılan kapı boşluğu çevresinde ve kesitler arası geçişlerin olduğu bölgelerde daha etkili olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Hacıfendioğlu ve ark. (2011), çalışmalarında yeraltında meydana gelen rastgele patlama kaynaklı yer hareketine maruz su tankının stokastik sismik

davranışını incelemişlerdir. Rastgele patlama kaynaklı yer hareketi güç spektral yoğunluk fonksiyonu ile temsil edilmiş ve sıvı yapı etkileşimli ayaklı su deposunun üç boyutlu sonlu eleman modeline bu etki uygulanmıştır. Parametrik çalışmada ayaklı su deposunun stokastik analizinde patlama kaynaklı yer hareketinin etkileri tahmin edilmiştir. Bu nedenle, analizler patlama merkezinden uzaklık ve patlayıcı ağırlığının farklı değerleri için gerçekleştirilmiştir. Ayaklı su deposunun stokastik analizinde sıvının etkisini araştırmak için üç farklı su seviyesi dikkate alınmıştır.

Ayaklı su depolarının dinamik davranışları ile ilgili yapılmış çalışmalar kısaca şöyle özetlenebilir.

Housner (1963), Durmuş ve Doğangün (1992) , çalışmalarında ayaklı su depoları için toplanmış kütle yaklaşımını kullanmışlardır. Housner'in geliştirdiği bu yaklaşımda ilk olarak sıvı için impuls ve salınım kütleleri belirlenmektedir. Daha sonra impuls kütesinin etkiye yüksekliğinde haznenin boş kütesini ve depo ayağının belirli bir kısmının (genelde ayak kütesinin $2/3$ ya da tamamını) kütesini kapsayan $m1$ kütesi ve salınım kütesinin oluşturduğu $m2$ kütesi belirlenmektedir. Ayak için bir $k1$ rijitliği, sıvı salınımlarını temsilen bir $k2$ rijitliği belirlenerek sistem iki serbestlik dereceli bir sistem olarak çözülmektedir. Bu yaklaşımla yapılan çalışmalarda depo ayağının zemine ankastre mesnetlendiği kabul edilmektedir (Livaoğlu, 2003).

Doğangün ve ark. (1997), Asthana ve ark.(1997) çalışmalarında ayaklı su depoları için eklenmiş kütle yaklaşımını kullanmışlardır. Bu çalışmalardaki amaç, yapılar için hazırlanan ve sıvı eleman içermeyen genel amaçlı paket programları kullanılarak ayaklı depoların dinamik davranışlarını belirlemektir. Bu yaklaşımda, ayaklı deponun sıvı haricindeki kısmı sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmekte ve sıvı için belirlenen impuls ve salınım kütleleri yapı kütesine eklenmektedir. Bu yaklaşımla yapılan çalışmalarda da depo ayağının zemine ankastre mesnetlendiği kabul edilmektedir.

Resheidat ve Sunna (1990) çalışmalarında ayaklı depoların zemin-yapı etkileşimini incelemişlerdir. Bu çalışmada depo ayağının zemine ankastre mesnetlenmediği kabul edilmektedir. Bunun için zemin, sonlu elemanlara bölünerek ayaklı bir deponun dinamik davranışları araştırılmıştır. Ancak, deponun tamamen

dolu olduğu ve sıvının salınım hareketi yapmadığı kabul edilmiş olup toplam sıvı kütlesi doğrudan boş hazne kütlesine eklenmiştir.

Shenton ve Hampton (1999), Shrimali ve Jangid (2002) çalışmalarında, ayaklı depoların taban izolasyonunu incelemişlerdir. Bu çalışmalarda daha çok son zamanlarda gündeme gelen taban izolasyonlarının deponun dinamik davranışına etkileri araştırılmıştır.

Marashi ve Shakib (1997) ayaklı su depolarının titreşim frekanslarını deneysel yöntemler kullanarak belirlemişlerdir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Patlatma Faaliyetleri

Patlatma yöntemi, yer altı ve yerüstü maden ocaklarında, tünel açma çalışmalarında, kazı işlerinde, yol ve baraj inşaatlarında, eski yapıların yıkılmasında oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca yerleşim yerlerinde insan güvenliğini tehdit eden kimyasal patlama, nükleer patlama gibi birçok patlama da meydana gelmektedir. Bu nedenle patlama kaynaklı yer hareketlerinin özelliklerinin ve yapılar üzerindeki dinamik etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Patlatma faaliyetlerinin gerçekleştirildiği alanlar;

Madencilik sektörü: Maden arama faaliyetleri, açık ve yeraltı maden işletme faaliyetleri, taş ocağı işletmeciliği, kuyu ve galeri açma, jeofizik araştırmalar, sismik patlatmalar vs.(Şekil 2.1)



Şekil 2.1: Açık ocak maden işletmelerinde basamak patlatmaları (URL-2, 2012).

İnşaat sektörü: Hammadde temini, demiryolu, karayolu, baraj, havaalanı, liman, çeşitli amaçlara yönelik tünel açımı, çeşitli temel kazıları, bina ve yapıların kontrollü yıkımı vs. (Şekil 2.2, 2.3)



Şekil 2.2: Yer altı patlatma çalışmasının yapıldığı Marmaray Projesi (URL-1, 2012).



Şekil 2.3: Kanal patlatma çalışması (URL-2, 2012).

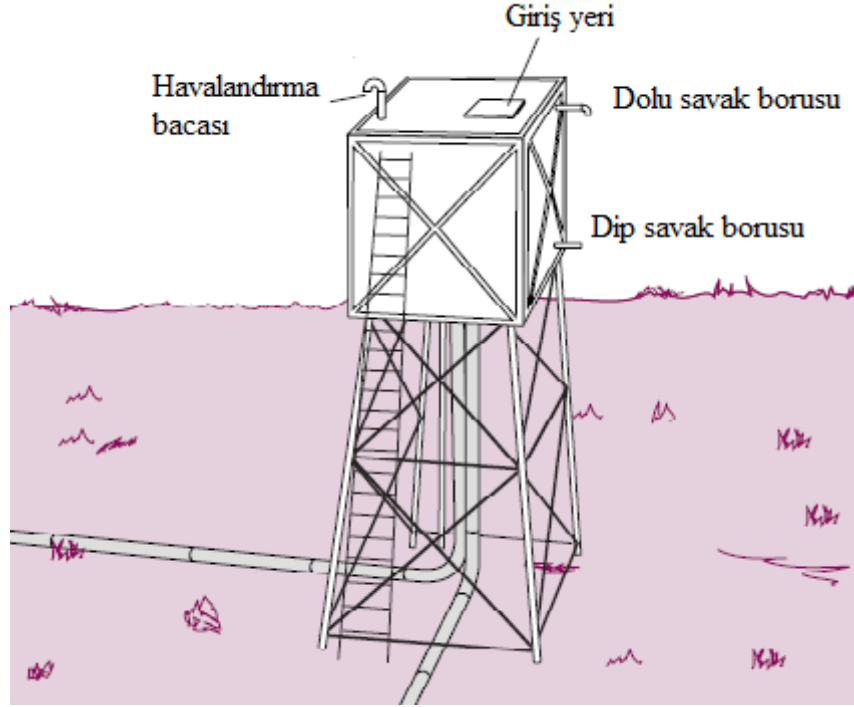
Petrol sektörü: Sismik aramalar, rezervuarların genişletilmesi, boru hatlarının yerleştirileceği kanalların açılması vs.

Tarım ve ormancılık sektörü: Su kuyusu açma, sulama ve drenaj kanalları açma, ağaç köklerinin sökülmesi vs.

Askeri faaliyetler: Çeşitli tahrip ve imha faaliyetleri, mevzi hazırlama, füze rampaları inşaatı, yeraltında sığınak ve cephanelik açma faaliyetleri vs.

Diğer faaliyetler: Su altı atımları, buz ve buz altı çalışmaları, kontrollü çıkış önleme atımları, büyük yangınlarda oksijeni kesmek amaçlı, tarımda kesilen ağaç kütüklerini yerinden oynatmak toprağı gevşetmek için vs (URL-2, 2012).

2.2 Ayaklı Su Depoları



Şekil 2.4: Çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı su deposu (URL-3, 2012).

Çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı su depoları, kule üzerinde ya da yükseltilmiş tezgah üzerindeki çelik hazne içinde temiz su depolamak için tasarlanmaktadır (Şekil 2.4). Tankın yükseltilmesi ile, dağıtım sisteminin basınç bölgesindeki bütün noktalara su basıncı sağlanır. Halka ait ihtiyaçlar için, çelik taşıyıcı sistemli ayaklı su depoları sıklıkla fabrikada yapılmış, galvanizlenmiş çelik elemanlarla birlikte cıvatalanmış ya da kaynaklanmış olarak inşaa edilmektedirler. Ancak, galvanizlemeye rağmen, çelik tanklar genellikle betondan yapılmış tanklara göre korozyona karşı daha hassastırlar. Diğer taraftan, çelik tanklar daha hızlı inşaa edilebilmektedirler. Özellikle yerel bölgede beton agregası üretilemediğinde malzeme nakliyesinin ücreti daha düşük olmaktadır. Çelik tanka bir takım borular bağlanmaktadır. Bunlar giriş borusu, çıkış borusu, dolu savak borusu ve dip savak

borusudur. Ayrıca tankın üst kısmında havalandırma holü ya da borusu bulunmaktadır. Depo içini inceleyebilmek için girişe izin veren bir kapak bulunmaktadır. Giriş yeri normalde kapakla kapatılmaktadır. Eğer depoya su pompalamak için elektrik pompası kullanılırsa, depo içindeki sensörle su seviyesi kontrol edilebilmektedir. Su seviyesi maksimuma ulaştığında alternatif olarak su girişini kesmek için şamandıra kullanılabilir. Çelik depoların olumsuz sayılabilecek yönleri ise şöyle sıralanabilir:

- Çelik depolar korozyona uğrayabilir ve sızdırma yapabilir.
- Çelik depolar normal olarak katodik korumaya ihtiyaç duyar.
- Çelik depolara, betonarme depolara nispeten daha fazla bakım gerekir. (URL-3, 2012)

Yükseltilmiş tanklar genellikle suyun temini ve suyun depolanması için inşaa edilmektedir. Tankın hizmet etme önemine göre yükseklik ve kapasite belirlenmektedir. Normal olarak kapasite maksimum yükleri karşılamak için saatlik ihtiyaca göre hesap edilmektedir. Taban yüksekliği 10-15m arasında olmak üzere yerel şartlara bağlıdır. Her durumda tank yüksekliği her bir noktaya uygun şekilde hizmet vermelidir.

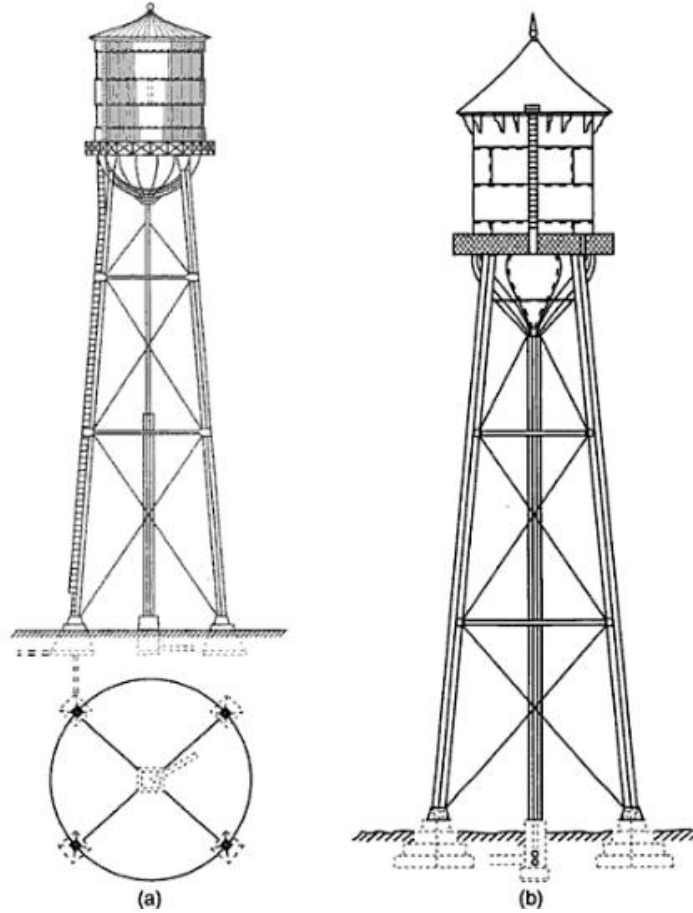
İlk olarak tankın kapasitesi ve taban yüksekliği saptanır ve genel şekle karar verilir. Temel olarak ayaklı tankların iki tipi vardır. Bunlar dikdörtgen tanklar ve dairesel tanklardır. Dikdörtgen tanklar kirişli çerçeve sistemle ayakta tutulmaktadır. Dairesel tanklarda asılan tabanlar bulunmaktadır. Bu tabanlar daire parçası, yarı küresel, eliptik ve konik olabilmektedir. Dikdörtgen tanklar kapasite ve metal tasarrufu bakımından çoğunlukla kullanılmaktadır.

Yarı küresel taban en yaygın olanıdır. Konik tabanlar silindirik tanklara yeterli bağlantı yapılmasındaki zorluk dikkate alınarak nadiren de olsa kullanılmaktadır (Duggal,2009).

2.2.1 Dairesel tanklar

Genelde dairesel tankların hepsi asılmış tabanlı silindirik kabuğa sahiptir. Bazen bu tanklar özel kabuklu olarak, tüp veya elektrik ampülü gibi objelere benzer şekilde tabana sahip olarak inşa edilebilmektedir.

Yarı küresel, eliptik veya daire parçası tabanlar çoğunlukla kullanılmaktadır (Şekil 2.5a,2.5b, Şekil 2.6). En yaygın olan yarı küresel tabanlı dairesel tanklardır. Yarı küresel taban fincan levhalar ve plakalar olarak bilinen tabanlardan oluşur. Yarı küresel tabanlı tanklarda, küçük kapasiteli tanklar için çapın silindirik kabuğun yüksekliğine oranı yaklaşık olarak 1:1'dir ve 5×10^5 litre üzerindeki kapasiteler için 1.25:1'dir. 7.5×10^5 litreden az kapasiteli eliptik tabanlı tanklarda, çapın kabuk yüksekliğine oranı 0.6:1 ve 7.5×10^5 litreden fazla kapasiteli tanklarda 0.5:1'dir. Konik tabanlı tanklar nadiren 9m çapını aşmaktadır (Şekil 2.5b). Koninin eğimi genellikle düşeyle 45° 'dir. 9 m yüksekliğe kadar tanklar düşey kolonlara sahiptir. Daha yüksek tanklar için, tankı destekleyen kuledeki kolonlar eğik olarak yapılmaktadır. Eğiklik 25×10^5 litre kapasiteye kadar yarı küresel tanklar için yaklaşık 1.25-1.5:12'dir ve daha geniş kapasiteler için 1:12'dir. Bu eğiklik kuledeki rüzgar gerilmelerini azaltır. Silindirik kabuğun biçimlendirilmiş levha kenarları farklı kalınlıktadır. Bu yüzden tabakaların her biri içerde ve dışarıda üst üste binmektedir.



Şekil 2.5: (a) Daire parçası tabanlı dairesel su tankı , (b) Konik tabanlı dairesel su tankı (Duggal,2009).

Küresel tabanlı tanklarda radyal bağlantılar ve yatay bağlantılar için ek yerleri tercihen üst üste gelmektedir. Yatay bağlantılar için ek yeri veya dip kısım eki geniş kalınlıklı levhalar için daha sonra kullanılabilir. Silindirik kısımdaki levhaların minimum kalınlığı 6 mm'dir. Küresel tabandaki levhaların kalınlığı tankın silindirik kısımdaki kalınlıktan daha küçük olmamalıdır (Duggal,2009).



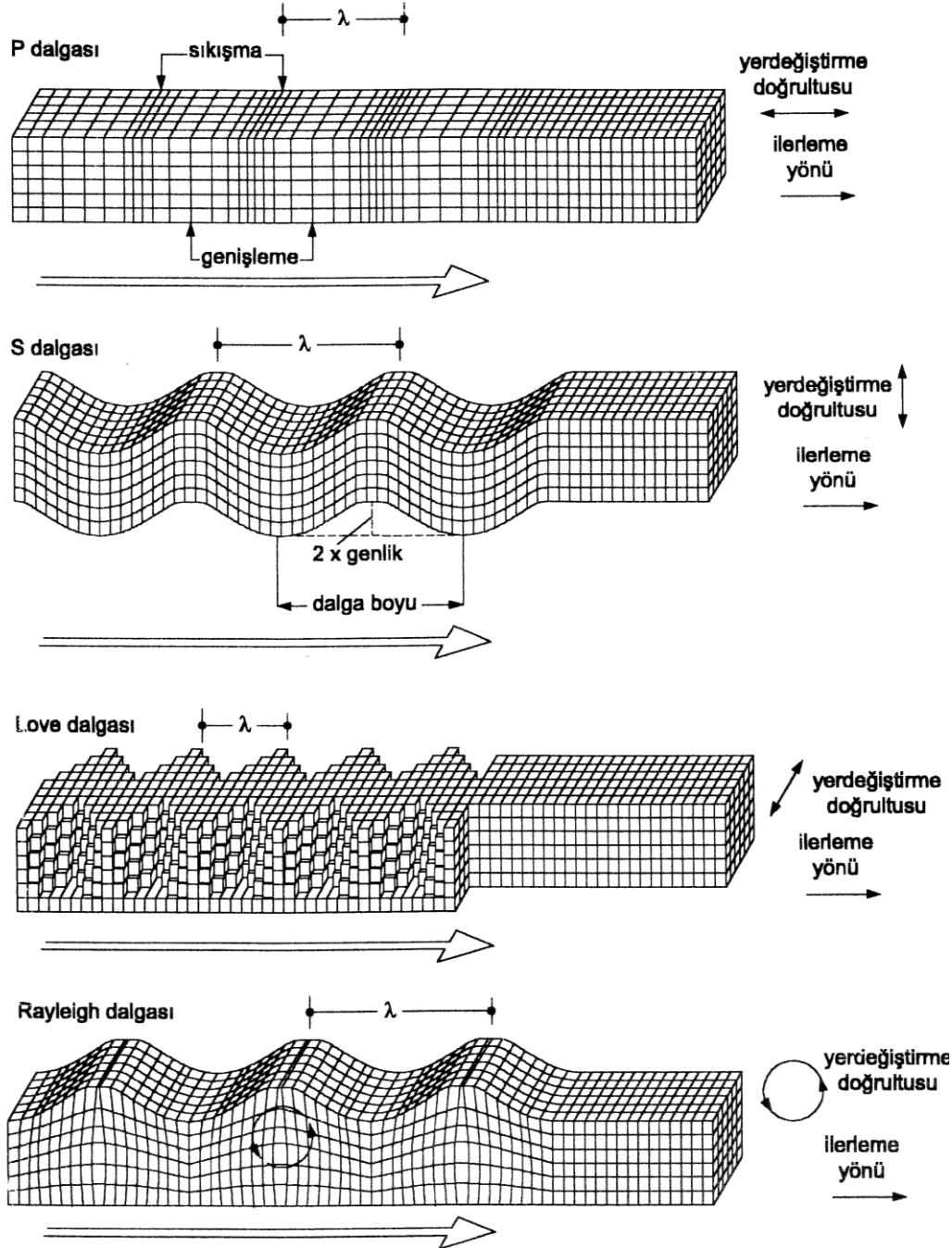
Şekil 2.6: Eliptik tabanlı ayaklı su deposu(AWWA,1998).

Küresel tabanlı tankların radyal kısımları tankı destekleyen kolonların sayısının katlarında yapılmaktadır ve borulama için yapılan hollerdeki daha düşük kısımlardaki kolonlar betonarme yapılmalıdır. Küresel tabanlı tankın merkezi tankın silindirik kısımla bağlantı noktasının yukarısında olduğunda, kiriş yatay basıncı söz konusu bağlantı noktasına aktarmaktadır. Bu durum tankın eğik kolonlar tarafından desteklendiğinde de ortaya çıkmaktadır. Tankın çevresinde balkon yapılmaktadır. Korkuluk 1m yüksekliğinde olabilmektedir. Kule kolonları üzerindeki eksantrik yüklemeyi ve küresel tabandaki yerel gerilmeleri önlemek amacıyla tankın yanları ile kolonlar arasındaki bağlantılar, tankın yanları ve küresel taban arasındaki bağlantının merkezi ile kolon kesitinin ağırlık merkezinin kesişmesi durumunda yapılmaktadır. (Duggal,2009).

2.3 Patlatma Kaynaklı Yer Hareketinin Genel Özellikleri

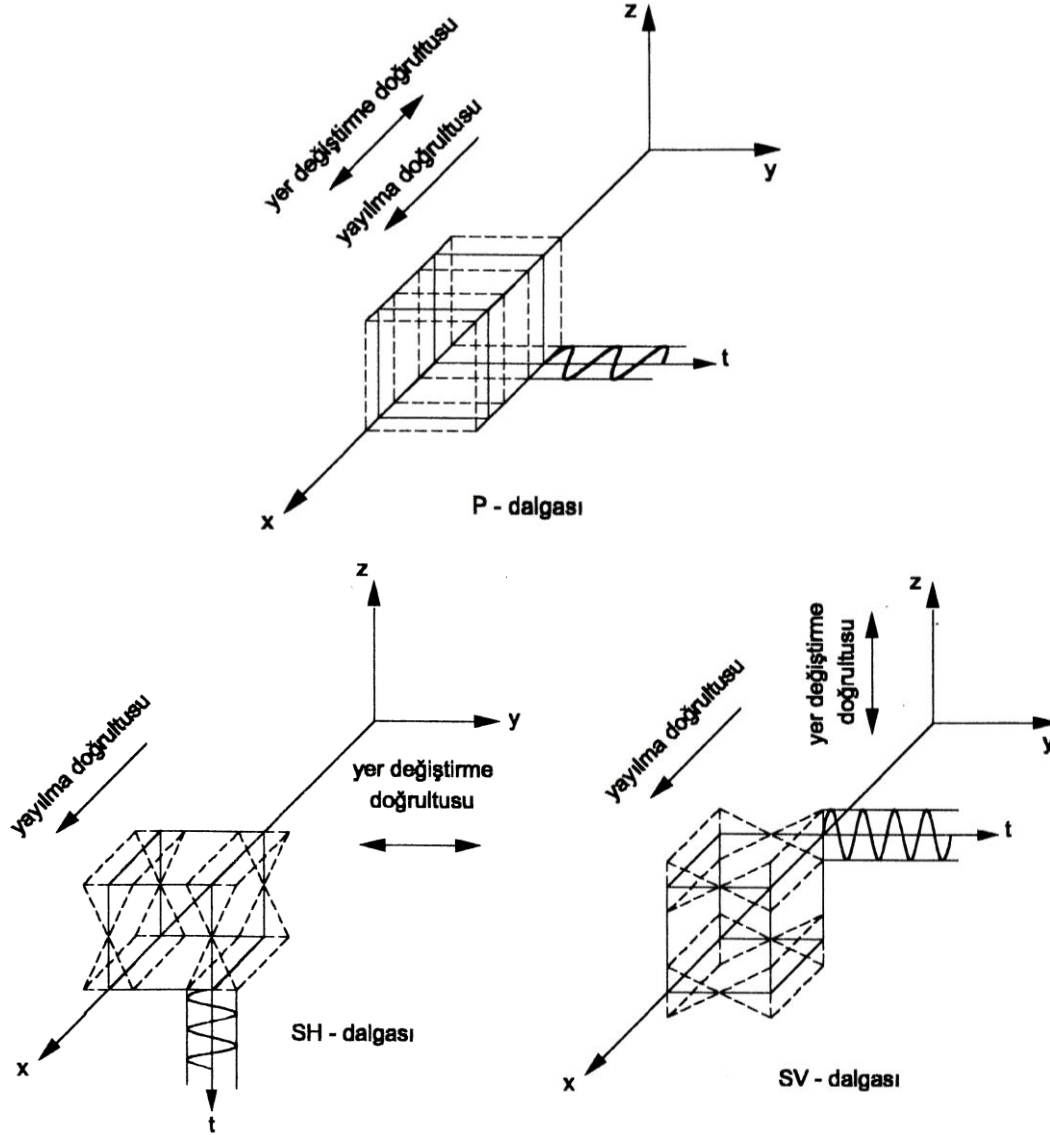
Karmaşık özelliklere sahip deprem, patlatma, vb. kaynaklı yer hareketlerinin analizler için kullanılmasında, temel olarak arazide yapılan ölçümlerden elde edilen

kayıtlar esas alınmaktadır. Arazi ölçümleri üç boyutlu yer hareketi için birbirine dik üç doğrultuda yapılır. Elde edilen davranış-zaman grafiklerinden etkin doğrultu, frekans ve en büyük değerlerin birleştirilmesi ile sınırlandırmalarda kullanılacak en büyük yer hareketi bileşenleri elde edilir.



Şekil 2.7: Elastik ortamda dalga türleri ve yayılma özellikleri(Celep ve Kumbasar, 2004).

Elastik bir ortamda, dinamik bir etkinin yayılması dalga hareketi şeklinde olur. Sınırsız olarak kabul edilebilecek bir homojen ortamda iki tür dalga hareketi mümkündür. Bunlardan P-Dalgası, ortam zamana bağlı olarak hacimsel değişikliğe uğrarken dalga hareketi yayılır. Ana dalga veya basınç-çekme dalgası olarak da bilinen bu dalga hareketinde yayılma sırasında, yayılma doğrultusunda ve ona dik doğrultuda yerdeğiştirmeler ve normal gerilmeler meydana gelir. Hızı daha düşük olan S-Dalgası ikinci tür dalga hareketidir. Bu dalga hareketinde, ortamda hacim



Şekil 2.8: Sonsuz büyük ortamda P ve S, SH dalgaları (Celep ve Kumbasar, 2004).

değişikliği olmadan biçim değişikliği meydana gelir. İkincil dalga veya kayma dalgası olarak da bilinen bu dalga hareketinin özel olarak yatay veya düşey düzlemde meydana gelmesi durumları yatayda kayma dalgası veya SH-Dalgası ve düşeyde

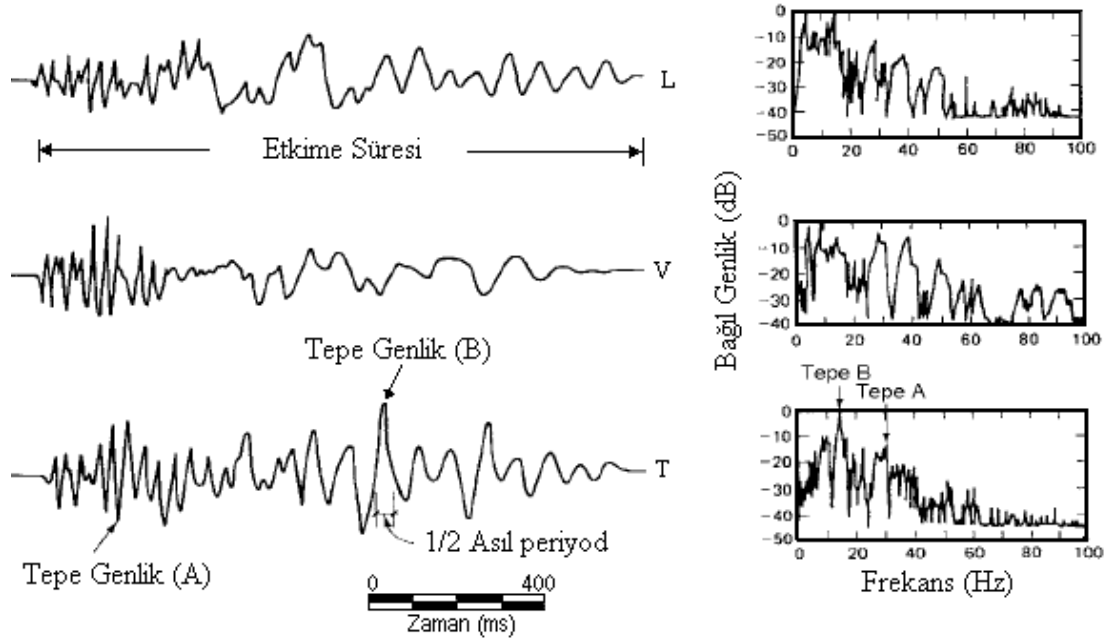
kayma dalgası veya SV-Dalgası olarak bilinir (Şekil 2.8). P-dalgası ve S-dalgası yanında, yeryüzeyine yakın olarak yayılan ortamın bir sınır yüzeye sahip olması nedeniyle ortaya çıkan daha başka dalga türleri de mevcuttur. Bunlar yüzey dalgaları olarak isimlendirilir. Şekil 2.7'de gösterilen Rayleigh ve Love dalgaları bunlardandır. Rayleigh dalgasında yerdeğiştirmeler serbest yüzeyden derinlere inildikçe azalır. Yerdeğiştirmeler ilerleme doğrultusunu içeren düşey düzlemlerde bulunur. Yüzey noktaları elips üzerinde hareket eder. İlerleme doğrultusuna dik bir yerdeğiştirme bileşeni mevcut değildir.

Deprem dalgalarının incelenmesinden bunların yayılma doğrultusuna dik yerdeğiştirme bileşenleri bulunan ve SH-dalgasına benzetilebilecek türden dalgaları da içediği görölmüşür. Yapılan araştırmalar, bu tür dalgaların, yarı sonsuz homojen ortamın üstünde bir elastik tabaka bulunması durumunda meydana gelebileceğini ortaya çıkarmışır. Love dalgası olarak bilinen bu tür dalgalar kayma dalgasının üstteki tabaka içine yansıması sonucu ortaya çıkar (Celep ve Kumbasar, 2004). Patlatma çalışmalarında elde edilebilecek tipik yer hareketi kayıtları Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Buradan kolaylıkla görölebileceği gibi yer hareketinin zamanla değişiminin tanımlanabilmesi için en önemli parametreler yer hareketinin en büyük genlik (ivme, hız veya yerdeğiştirme), hakim periyot ve etkime süresi bileşenleridir. Tüm bu parametreler patlatma için kullanılan patlayıcı miktarına (merkezde açığa çıkan enerjiye) ve dalga iletim ortamına (zemin özellikleri) bağlıdır. (Dowding, 1996; Özmen, 2006; Özcan, 2010).

2.3.1 Genlik parametreleri

Bir yer hareketinin tanımlanması genellikle zaman kayıtları yardımıyla yapılmaktadır. Hareketle ilgili parametre ivme, hız veya yerdeğiştirme olabilir. Tipik olarak bunlardan biri ölçölür, diğer ikisi de integral veya türev alma yoluyla hesaplanmaktadır. Belirli bir yer hareketinin genliğini belirlemede en belirgin ölçü olarak en büyük yatay ivme(EBYİ) dikkate alınmaktadır. Bir hareket bileşeni için EBYİ, çok basit olarak o bileşenin akselerogramından elde edilen yatay ivme (mutlak) değerinin en büyüğüdür. Yatay ivmeler atalet kuvvetleri ile olan doğal ilişkilerinden dolayı yer hareketini tanımlamada sıkça kullanılmaktadır (Kayabalı,2003). Patlatma nedeni ile oluşacak yer hareketinin hız, ivme ve yerdeğiştirme bileşenlerinin en büyük değerleri ve zamanla değişimleri patlatma

merkezinden uzaklık ile patlatma enerjisine bağı olarak farklılık göstermektedir. Kısa mesafedeki yer hareketlerinde yüksek bir genlik değerinden hızlı bir azalma ile ilk değere göre küçük genliklerle değişim gözlenirken; uzak mesafelerde küçük azalmalarla sinüs dağılımına uygun bir hareket gözlenmektedir(Dowding, 1996; Özmen, 2006; Özcan, 2010).

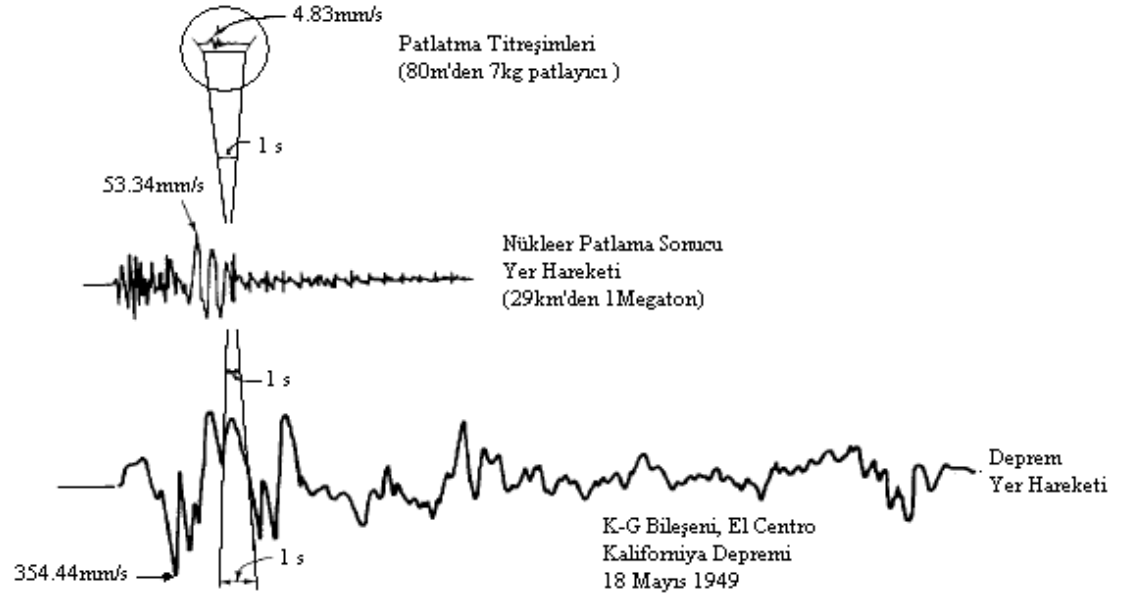


Şekil 2.9: Patlatma kaynaklı yer hareketi kayıtları (Dowding, 1996).

2.3.2 Frekans

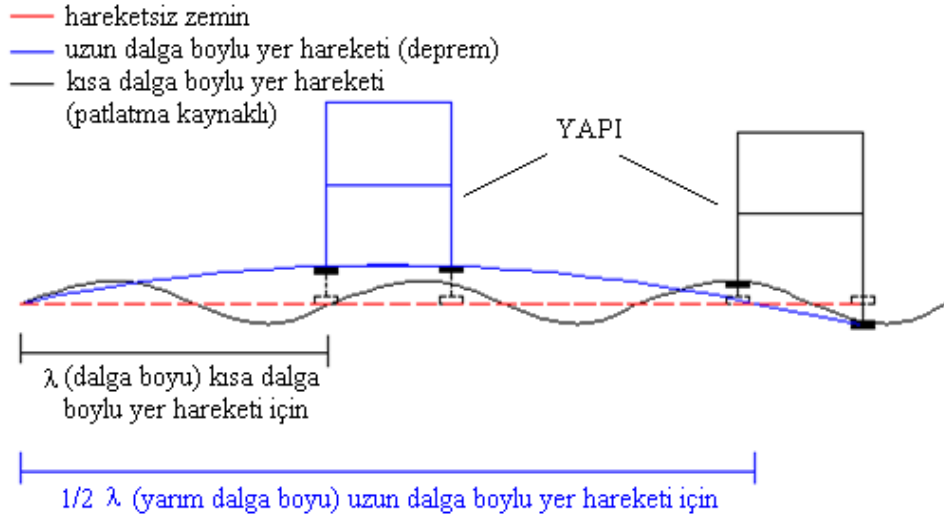
Periyot (T), zamana bağı bir hareketin bir salınım yapması için geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Frekans (f) ise birim zamanda yapılan salınım sayısı olarak ($f=1/T$) tanımlanmaktadır. Mühendislik uygulamalarında gerçekleştirilen patlatmalardan kaynaklanan yer hareketlerinin temel frekans bileşenleri 0.5 Hz ile 200 Hz arasında değişiklik göstermektedir. Şekil 2.10'dan temel karakteristikleri incelendiğinde patlatma kaynaklı, deprem ve nükleer patlatma kaynaklı yer hareketlerinin farklılıklar gösterdiği görülür (Dowding, 1996; Özmen, 2006; Özcan, 2010). Patlatma sonucu oluşan titreşimler deprem ve nükleer patlatma sonucu oluşan titreşimlere oranla daha yüksek frekanslarla ortamda iletilirler. Bunun yanında patlatma titreşimleri, deprem ile nükleer patlatmaya oranla çok daha kısa etki süresine ve daha az enerjiye sahiptir. Ancak, patlatma kaynaklı yer hareketlerinin kısa mesafelerde bulunan yapılar üzerinde etkilerinin bilinmesi projelendirmeler ve

sınırlandırmalar için gerekli olmaktadır (Dowding, 1996; Özmen, 2006; Özcan, 2010).



Şekil 2.10: Mühendislik patlatmaları ile deprem ve nükleer patlamalar sonucu oluşan yer hareketlerinin karşılaştırılması (Dowding, 1996).

2.3.3 Dalga boyu



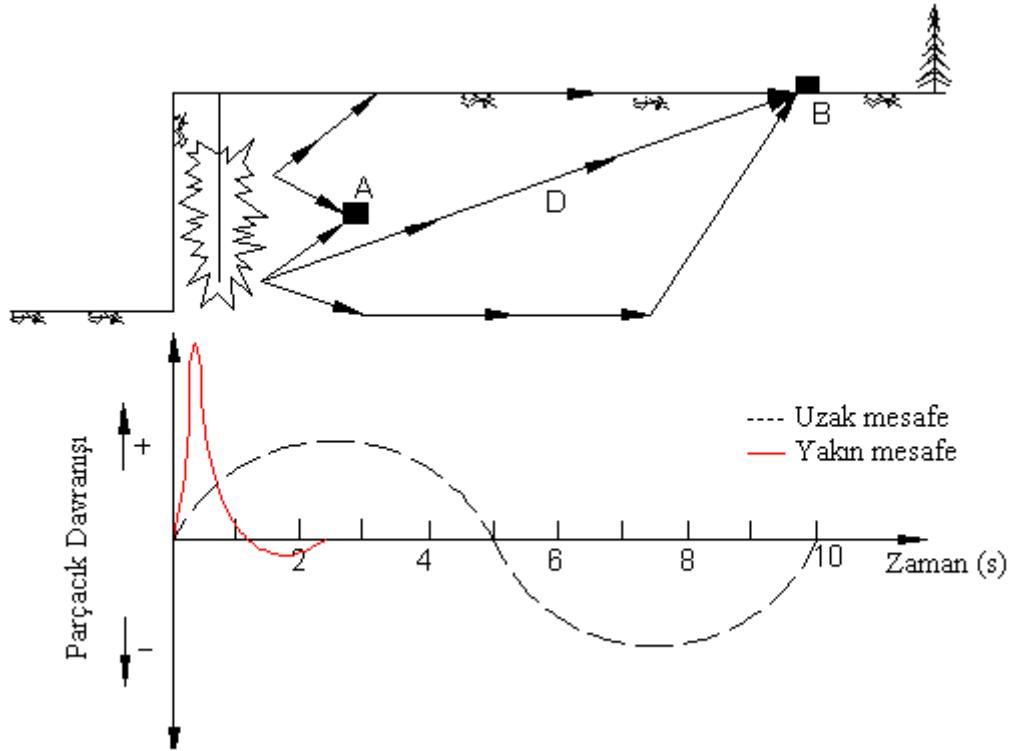
Şekil 2.11: Farklı dalga boyunda yer hareketlerinin yapıya etkisi (Özmen,2006).

Farklı dalga boylu yer hareketlerinin yapıya etkisi Şekil 2.11’de verilmektedir (Özmen, 2006; Özcan, 2010). Dalga hareketinin uzun dalga boyuna sahip olması durumunda yapı üzerinde zeminde oluşacak ivmeden kaynaklanan atalet kuvvetleri

etkili olurken, kısa dalga boyuna sahip yer hareketlerinde yapı temelinde oluşacak farklı yer değiştirmelerin etkisi de hesaba katılmalıdır.

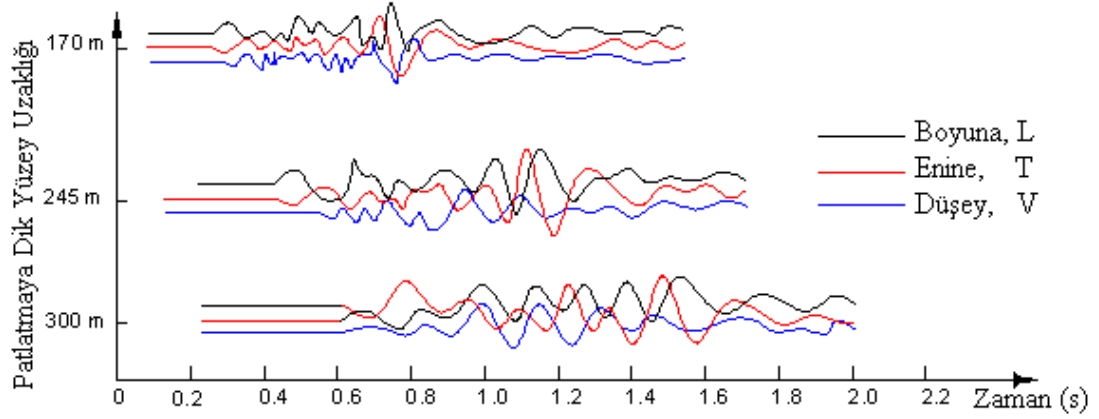
2.3.4 Yakın ve uzak mesafedeki davranışı

Şekil 2.12’den görülebileceği gibi uzak mesafede yer hareketi, patlatma sonucu oluşan etkinin direkt iletimi, yansımalar ve kırılmalar sonucundaki toplam davranıştan oluşur ve genel olarak sinüs dağılımına uyar. Patlatma merkezine yakın yapılarda ise ani bir maksimuma sahip bir etki gözlenir.



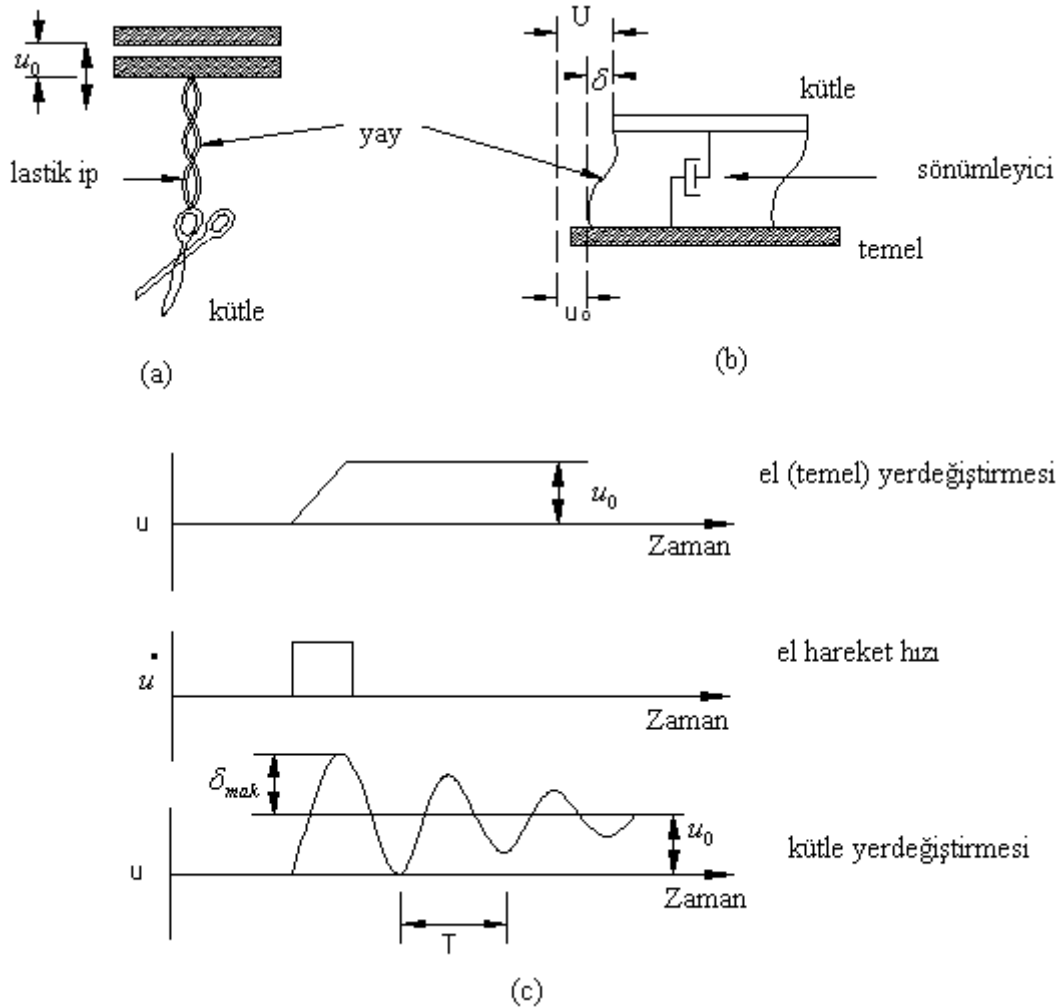
Şekil 2.12: Yeraltı patlatmalarının yakın ve uzak mesafedeki davranışı (Dowding,1996; Özmen, 2006; Özcan, 2010).

Bu etki yaklaşık olarak patlatma basıncının zamanla değişimine benzemektedir. Bunun nedeni yakın mesafelerdeki bir yer üzerinde yalnız patlatmadan kaynaklanan direkt etkinin bulunmasıdır (Dowding, 1996; Özmen, 2006; Özcan, 2010). Şekil 2.13’de yer hareketi bileşenlerinin belirli mesafelerde elde edilebilecek tipik ivme zaman grafikleri verilmektedir.



Şekil 2.13: Patlatma kaynaklı titreşim bileşenlerinin uzaklıkla değişimi (Dowding,1996).

2.4 Patlatma Kaynaklı Yer Hareketi Sırasında Yapı Davranışının Özellikleri



Şekil 2.14: Tek yönlü dinamik hareket verilen makas modeli ve yapı ile ilişkisi(Dowding, 1985; Özmen, 2006)

Yapıların dinamik davranışlarının tahmini için mühendislik alanında birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak, deprem mühendisliği için yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçların, patlatma kaynaklı yer hareketinin yapı üzerinde etkisi için uygun olmayacağı ifade edilmektedir (Lu vd., 2001, Özmen, 2006).

Patlatma kaynaklı yer hareketi etkisindeki yapı davranışı, tek serbestlik dereceli sistemin bu tür frekansa duyarlı bir dinamik etki altında davranışının gözlemlenmesi ile belirlenebilir. Örnek olarak Şekil 2.14'den görülebileceği gibi lastik iptе asılı bulunan bir makasın, elle verilen düşey hareketin yavaş ve çok hızlı olması durumundaki sistem davranışı verilebilir.

El ile makasa verilecek düşey hareketin yavaş olması durumunda makas aşağı yönde belli bir yer değiştirme yapar. Bu yer değiştirme sebebiyle lastik ip üzerinde gerilmeler oluşur. Buradan anlaşılabileceği gibi düşük frekansa sahip yer hareketlerinde (deprem etkisi) Şekil 2.14'teki modele benzer olarak yapı davranışını belirleyen temel parametre olarak yatay kat yerdeğiştirmeleri alınabilir. Bunun tersi olarak makasa düşey hareketini veren (yüksek frekansa sahip yer hareketini temsil edecek şekilde) el hareketinin hızı arttırılırsa makasın aşağı yöndeki yer değiştirmesinin azaldığı görülür. Sonuç olarak çok hızlı bir dinamik hareket sonrası (yüksek frekanslı hareket) düşey yerdeğiştirmelerin çok az olacağı anlaşılabılır (Dowding, 1985). Ancak, yer değiştirmelerin az olmasına karşın lastik iptе gerilme oluşması davranışın belirlenmesinde temel parametre olarak yer değiştirmelerin değil iç gerilmelerin etkili olduğunu göstermektedir. (Özmen, 2006).

2.5 Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşim Sistemleri

Barajlar, sıvı depoları ve su kanalları gibi yapılar sıvı-yapı etkileşim sistemleridir. Bu tip yapılarda dinamik bir etki altında sıvı yapının, yapı da sıvının davranışını önemli derecede etkilediğinden, sıvı-yapı etkileşiminin çözümlerde dikkate alınması gerekmektedir. Sıvı-yapı-zemin etkileşim problemlerinin çözümünde çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Westergaard yaklaşımı
2. Euler yaklaşımı
3. Lagrange yaklaşımı

Westergaard yaklaşımı, Euler yaklaşımına dayalı ilk sıvı-yapı etkileşim uygulamalarındandır. Bu yaklaşımda, barajın rijit, sonsuz uzun ve düşey memba yüzeyli olduğu, rezervuarın memba doğrultusunda sonsuza uzandığı ve yüzey dalgalarının oluşmadığı kabulleri yapılmıştır. Söz konusu yaklaşımda, yapı ile birlikte hareket eden sıvıyı temsil etmek üzere ilave bir kütle tanımlanmıştır (Westergaard, 1933). Euler yaklaşımında, yapıda yerdeğiştirmeler sıvıda ise basınçlar veya hız potansiyelleri değişkendir. Bu yaklaşımda, sıvı ve yapı ortamında değişkenler farklı olduğundan sistemin çözümü için ara yüzey denklemine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıvı-yapı zemin etkileşim sisteminin bu yaklaşıma göre çözümü özel amaçlı bilgisayar programları ile gerçekleştirilebilmektedir (Calayır, 1994). Lagrange yaklaşımında, her iki ortamda da yerdeğiştirmeler bilinmeyen olarak seçildiğinden eleman matrisleri simetrik olarak oluşturulmaktadır. Yapı sistemlerini analiz etmek için mevcut olan eleman alt programlarından yerdeğiştirmelere dayalı sıvı elemanları elde etmek ve genel amaçlı yapı analizi programlarına uyarlamak daha kolaydır (Calayır, 1994; Bayraktar, 1995). Bu çalışmada, Lagrange yaklaşımı esas alınmıştır.

2.5.1 Sıvı sistemlerinin lagrange yaklaşımına dayalı sonlu eleman formülasyonu

Lagrange yaklaşımına dayalı sıvı sonlu elemanın geliştirilmesi, standart bir katı elemanın elastisite matrisinin uygun bir şekilde değiştirilerek dikkate alınması fikri ile ortaya çıkmıştır. Wilson ve Khalvati (1983) tarafından önerilen sıvı eleman kullanılarak sıvı, sıvı-yapı ve baraj-rezervuar sistemlerinin davranışı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. (Greeves, 1991; Calayır, 1994; Calayır ve Dumanoglu, 1994; Bayraktar, 1995; Bayraktar vd., 1996; 2005a; 2005b; 2005c; Akköse, 2004; Köseoğlu, 2007; Bayram, 2008). Sıvı sistemlerin lineer elastik, rotasyonsuz ve viskoz olmayan, küçük yerdeğiştirmeler yapması durumu için temel bağıntılar Wilson ve Khalvati (1983), Calayır (1994) ve Bayraktar (1995) tarafından verilen formülasyona dayalı olarak sunulmuştur. Lagrange yaklaşımına göre rotasyonsuz ve viskoz olmayan lineer elastik bir sıvının küçük yerdeğiştirmeler yapması durumunda basınç ile hacimsel şekildeğiştirme arasında aşağıda verilen bağıntı vardır (Kartal, 2010).

$$P = \beta_f \varepsilon_v \quad (2.1)$$

Bu ifadede, P basıncı, β_f sıvının hacimsel elastisite modülünü, ε_v ise hacimsel şekildeğiştirmeyi göstermektedir. İki boyutlu problemler için ε_v aşağıdaki gibi ifade edilmektedir(Kartal, 2010).

$$\varepsilon_v = \frac{\partial U_{fy}}{\partial y} + \frac{\partial U_{fz}}{\partial z} \quad (2.2)$$

Bu ifadede, U_{fy} ve U_{fz} sırasıyla y ve z doğrultularındaki yerdeğiştirme bileşenleridir. Sıvının gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarına rotasyonlar ve bu rotasyonlarla ilgili kısıtlama parametreleri yerleştirilmektedir. Bu parametrelerin büyük değerde seçilmesiyle sıvı rotasyonsuz hale yaklaşacaktır (Wilson ve Khalvati, 1983). İki boyutlu haldeki rotasyonlar aşağıdaki bağıntı ile verilebilir(Kartal, 2010).

$$w = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_{fy}}{\partial y} - \frac{\partial U_{fz}}{\partial z} \right) \quad (2.3)$$

Bu ifadedeki w sıvının düzleme dik doğrultudaki dönmesini göstermektedir. Bu rotasyonlarla ilgili gerilmeler,

$$P_w = \alpha_f w \quad (2.4)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. P_w dönmeye ait gerilmeyi, α_f rotasyonla ilgili kısıtlama parametresini göstermek üzere (2.1) ve (2.4) eşitlikleri kullanılarak iki boyutlu sıvının matris formundaki gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{Bmatrix} P \\ P_w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_f & 0 \\ 0 & \alpha_f \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_v \\ w \end{Bmatrix} \quad (2.5)$$

ya da

$$\{\sigma_f\} = [D_f] \{e\} \quad (2.6)$$

Burada $\{\sigma_f\}$ sıvının gerilme vektörünü, $[D_f]$ elastisite matrisini ve $\{e\}$ ise $\{e\}^T = \{\varepsilon_v \quad w\}$ şeklinde verilen şekildeğiştirme vektörünü göstermektedir.

Sıvı sistemin sonlu eleman formülasyonu enerji prensiplerinden yararlanılarak elde edilmektedir. Bir sıvı sistemin toplam şekildeğiştirme enerjisi,

$$\Pi_e = \frac{1}{2} \int \{e\}^T [D_f] \{e\} dV \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak (2.7) denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Pi_e = \frac{1}{2} \{U_f\}^T [K_f] \{U_f\} \quad (2.8)$$

Bu bağıntıda $[K_f]$ ve $\{U_f\}$ sırasıyla sıvı sistemin rijitlik matrisi ve düğüm noktası yerdeğiştirme vektörünü göstermektedir. Sıvı sistemlerin önemli davranışlarından biri de hacimde bir değişme olmadan yerdeğiştirme yapabilmesidir. Baraj rezervuarları ve sıvı depoları için bu hareket yerdeğiştirmelerin düşey olduğu yüzey dalgaları şeklindedir. Bu hareketle ilgili enerji,

$$\Pi_s = \frac{1}{2} \int \rho g U_{fs}^2 dA \quad (2.9)$$

bağıntısıyla verilebilir. Burada, ρ sıvının kütle yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini, U_{fs} ise sıvı serbest yüzeyi düşey yerdeğiştirmesini göstermektedir. Denklem (2.9)'daki yüzey potansiyel enerjisi, Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak sıvı yüzeyindeki düğüm noktalarının düşey yerdeğiştirmeleri cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\Pi_s = \frac{1}{2} \{U_{fs}\}^T [S_f] \{U_{fs}\} \quad (2.10)$$

Bu ifadede, $[S_f]$ serbest yüzey eleman rijitlik matrisini göstermektedir. Sıvının toplam potansiyel enerjisi (2.8) ve (2.10) bağıntılarının toplanmasıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Pi_t = \Pi_e + \Pi_s \quad (2.11)$$

Bir sıvı sistemin kinetik enerjisi,

$$T = \frac{1}{2} \int \rho (\dot{U}_{fy}^2 + \dot{U}_{fz}^2) dV \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, $\dot{U}_{fy}^2$ ve $\dot{U}_{fz}^2$ sırasıyla y ve z doğrultularındaki hız bileşenlerini göstermektedir. Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanarak (2.12) denklemi aşağıdaki formda yazılabilir.

$$T = \frac{1}{2} \{\dot{U}_f\}^T [M_f] \{\dot{U}_f\} \quad (2.13)$$

Burada $[M_f]$ ve $\{\dot{U}_f\}$ sırasıyla sıvı sistemin kütle matrisini ve düğüm noktası hız vektörünü göstermektedir. Sıvı sistemin hareket denklemi aşağıdaki Lagrange denklemi kullanılarak elde edilebilir (Clough ve Penzien, 1993).

$$\frac{\partial}{\partial} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi_t}{\partial q_i} = Q_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2.14)$$

Bu ifadede q_i ve Q_i sırasıyla i . genelleştirilmiş koordinatı ve kuvveti göstermektedir. Denklem (2.11) ve (2.13), denklem (2.14)'te yerine yazılırsa,

$$[M_f]\{\ddot{U}_f\} + [K_f]\{U_f\} + [S_f]\{U_f\} = \{F_f\} \quad (2.15)$$

veya

$$[M_f]\{\ddot{U}_f\} + [K_f^*]\{U_f\} = \{F_f\} \quad (2.16)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu ifadede, $[K_f^*]$ sıvı serbest yüzey rijitliklerini de içeren sıvı sistemin rijitlik matrisini, $\{F_f\}$ zamana bağlı düğüm noktası yük vektörünü, $\{\ddot{U}_f\}$ ve $\{U_f\}$ sıvı sistemin düğüm noktası ivme ve yerdeğiştirme vektörlerini göstermektedir (Kartal, 2010).

Denklem (2.16)'da verilen formülasyon alan ve hacim üzerinde alınacak integralleri içermektedir. Sayısal integrasyon teknikleri kullanılarak bu integrallerin sayısal olarak elde edilmesi gerekir. Bunun için birçok sayısal integrasyon tekniği geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanlarından biri Gauss integrasyon tekniğidir. Bu teknikte integral, elemanın içinde Gauss noktaları adı verilen belirli noktalarda elde edilen bir ağırlıklı toplama eşdeğer alınmaktadır (Bathe, 1996).

2.5.2 Sıvı-yapı-zemin etkileşim sistemlerinin sonlu eleman formülasyonu

Sıvı-yapı sisteminin ortak hareket denklemleri her iki sisteme ait eşitliklerin arayüzey şartı dikkate alınarak birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Bu nedenle, ortak sistemin arayüzey şartının belirlenmesi gerekmektedir. Sıvının viskoz olmadığı kabul edildiğinden ortak sistemin ara yüzeyinde, yalnızca arayüzey normalindeki yerdeğiştirmeler sürekli, teğet yerdeğiştirmeler ise süreksiz olmaktadır. Ortak sistemin arayüzeyinde, yapı kısmının pozitif yüzeye ve sıvı kısmının negatif yüzeye sahip olduğu kabul edilirse arayüzey şartı (Kartal, 2010).,

$$U_n^- = U_n^+ \quad (2.17)$$

şeklinde yazılabilir (Akkaş vd., 1979). Burada, U_n arayüzeye normal yerdeğiştirmeyi göstermektedir. Bu şart, sıvı-yapı ya da sıvı-zemin arayüzeyinde arayüzeye normal doğrultuda karşılıklı düğüm noktaları arasına kısa ve yeterli rijitliğe sahip çubuk elemanlar yerleştirilerek (Akkaş vd., 1979) veya bu çalışmada olduğu gibi ortak sistemin ara yüzeyinde karşılıklı düğüm noktalarında ceza metodu (Bathe, 1996) kullanılarak da sağlanabilir.

Arayüzey şartları dikkate alınarak, n serbestlik dereceli sıvı-yapı sistemlerinin yer hareketi altındaki sönümlü hale ait ortak hareket denklemi(Kartal, 2010).,

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F\} \quad (2.18)$$

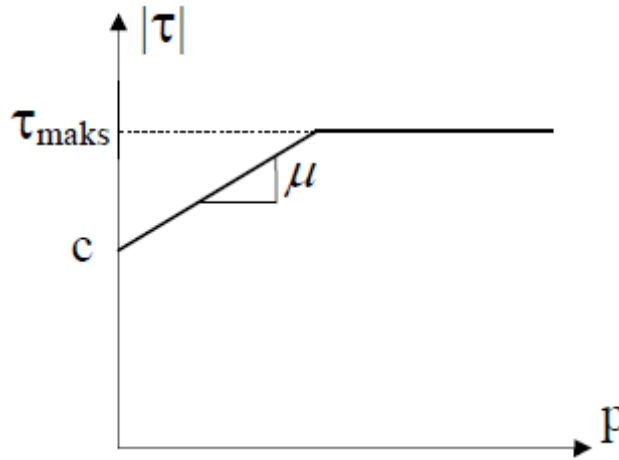
şeklinde yazılabilir. Burada $[M]$, $[C]$, $[K]$ sırasıyla ortak sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini; $\{\ddot{U}\}$, $\{\dot{U}\}$, $\{U\}$ ise sırasıyla toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini, $\{F\}$ ise dış yük vektörünü göstermektedir. Lagrange yaklaşımına dayalı sıvı-yapı sisteminin hareket denklemi, (2.18), simetrik sistem matrislerine sahip olduğundan herhangi bir yapı sisteminin hareket denklemi ile benzer bir formdadır. Bu nedenle, yapı analizi için kullanılan çözüm yöntemleri sıvı-yapı sistemi için de kullanılabilir. Bu da sıvı-yapı etkileşim sistemlerinin çözümünde Lagrange yaklaşımının tercih edilmesinin en önemli sebebidir (Bayraktar, 1995; Akköse ve Dumanoglu, 1998; Oskoue ve Dumanoglu, 2001; Akköse, 2004; Bayraktar vd., 2005a; 2005b; 2005c; Parrinello ve Borino, 2007; Bayram,2008).

2.6 Temas Problemleri

İki ortam birbiriyle ayrık ya da temas halinde bulunabilir (Kartal, 2010). Ortamlar arasında temas bulunması halinde aradaki davranış Coulomb sürtünme yasasına bağlı olarak elde edilmektedir. Temel Coulomb sürtünme modelinde, temas eden iki yüzey bir birine göre kayma hareketine başlamadan önce, arayüzeyleri boyunca belli bir kayma gerilmesi seviyesine kadar kayma gerilmesi taşıyabilirler (yapışık durum) (Kartal,2010;Wriggers, 2006). Coulomb sürtünme modeli yüzeyde kaymanın P temas basıncının bir bölümü olarak başladığı bir τ eşdeğer kayma gerilmesi tanımlar. Bu gerilme,

$$\tau = \mu P + c \quad (2.19)$$

olarak ifade edilebilir (ANSYS, 2011). Burada μ sürtünme katsayısını ve c kaymaya karşı mukavemeti temsil eder. Kayma gerilmesi bir kez aşıldı mı, iki yüzey bir diğerine göre rölatif olarak hareket eder (kayma durumu). Yapışma-kayma hesaplamaları bir noktanın yapışmadan-kaymaya ya da kaymadan-yapışmaya geçişini belirler. Sürtünme katsayısının 0 olması sürtünmesiz temas problemlerini işaret etmektedir. Pürüzlü ve bağlı temaslar için dinamik sürtünme katsayısı 1 olarak dikkate işleme alınır. ANSYS (2011) sonlu eleman yazılımında maksimum kayma gerilmesi ($\tau_{\max}$) temas basıncından, bağımsız olarak tanımlanabilir. Eğer sürtünme gerilmesi bu değere ulaşırsa kayma oluşmaktadır. En büyük kayma gerilmesi ampirik formüller ile hesaplanabilir. Ayrıca, bu değer $\sigma_y / \sqrt{3}$ σ_y ifadesine de yaklaşabilir (ANSYS, 2011). Burada σ_y , malzemenin deformasyona uğrayacağı akma gerilmesidir. Bir diğer sabit olan kohezyon da kayma gerilmesi gibi gerilme birimine sahiptir ve sıfır normal basıncı olsa bile kaymaya karşı mukavemet sağlar (Kartal,2010) (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: Coulomb sürtünme yasasına göre temas durumunda kayma davranışı (ANSYS, 2011).

2.7 Newmark- β Yöntemi

Dış kuvvet etkisi altındaki bir yapının davranışının tahmin edilebilmesi için sayısal yöntemler kullanılabilir. Denklem (2.18)'de verilen hareket denkleminin sayısal çözümü için Newmark- β yöntemi kullanılabilir. Sayısal analizi gerçekleştirmek için davranış ve kuvvet fonksiyonunun ayrıştırılması

gerekmektedir. Kuvvet fonksiyonu genelde zamana bağılı olarak belirlenmektedir. Bu nedenle, sayısal analizin gerçekleştirilmesindeki esas sorun sistem davranışının ayrı olarak tespit edilmesidir.

Belirlenen sistem için t_k zamanında verilen bütün davranış ve kuvvet bilgileri ve t_{k+1} zamanında istenen sistemin yerdeğiştirmesi, hızı ve ivmesi için kullanılmaktadır. Dinamik denge denklemi t_{k+1} zamanında davranışın hesaplanması için gerekli üç eş zamanlı denklemlerden birisidir. Bu denklem burada normalize edilmiş biçimde

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = F_e(t) \quad (2.20)$$

$$\ddot{u}(t) + 2\zeta\omega_n\dot{u}(t) + \omega_n^2u(t) = F_e(t)/m \quad (2.21)$$

olarak da yazılabilir. Burada iki ilave denklem yazabiliriz.

$$\dot{u}(t) = \frac{du(t)}{dt}, \quad \ddot{u}(t) = \frac{d\dot{u}(t)}{dt} = \frac{d^2u(t)}{dt^2} \quad (2.22)$$

(2.22) denkleminin integral çözümü, bir eğri altındaki alanının hesaplanması ile elde edilebileceği için tercih edilmektedir. Bu nedenle (2.22) denklemi aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\dot{u}(t) = \dot{u}(t_0) + \int_{t_0}^t \ddot{u}(s)ds, \quad u(t) = u(t_0) + \int_{t_0}^t \dot{u}(s)ds \quad (2.23)$$

$t_{k+1} = t$, $t_k = t_0$, $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ olarak ifade edilmektedir. (2.23) denklemi düzenlenirse

$$\dot{u}_{k+1} = \dot{u}_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \ddot{u}(s)ds, \quad u_{k+1} = u_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \dot{u}(s)ds, \quad (2.24)$$

(2.24) denkleminin integrasyonunun çözümü için $\ddot{u}(s)$ sürekli ivme fonksiyonuna yaklaşılmaya gerek vardır. Sürekli fonksiyonun çözümünün birçok yolu vardır. Mühendislikte en yaygın olarak kullanılan yöntemler: sabit ivme yöntemi, sabit ortalama ivme yöntemi ve doğrusal ivme yöntemidir (Hart ve Wong, 1999).

2.7.1 Sabit ivme yöntemi

Sabit ivme yöntemi, t_k ve t_{k+1} zaman aralığında ivmeyi sabit kabul eder. Zaman aralığındaki ivmenin büyüklüğü, zaman aralığının başlangıcındaki büyüklüğe eşittir.

$$\ddot{u}(t) = \ddot{u}(t_k) = \ddot{u}_k, \quad t_k \leq t < t_{k+1} \quad (2.25)$$

Bu durumda, hız ve yerdeğiştirme (2.24)'den elde edilmektedir.

$$\dot{u}_{k+1} = \dot{u}_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \ddot{u}_k dt = \dot{u}_k + \ddot{u}_k \Delta t \quad (2.26)$$

$$u_{k+1} = u_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} [\dot{u}_k + \ddot{u}_k (t - t_k)] dt = u_k + \dot{u}_k \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{u}_k (\Delta t)^2 \quad (2.27)$$

(2.27) denkleminin sağ tarafı sadece k'ıncı adımı ifade etmektedir (Hart ve Wong, 1999).

2.7.2 Sabit ortalama ivme yöntemi

Sabit ortalama ivme yönteminde, her bir zaman aralığında ivmenin sabit olduğu kabul edilir. İvmenin büyüklüğü zaman aralığının sonundaki ve başlangıcındaki ivmelerin ortalamasına eşittir.

$$\ddot{u}(t) = \frac{1}{2} (\ddot{u}(t_k) + \ddot{u}(t_{k+1})) = \frac{1}{2} (\ddot{u}_k + \ddot{u}_{k+1}), \quad t_k \leq t < t_{k+1} \quad (2.28)$$

Bu durumda, hız ve yerdeğiştirme

$$\dot{u}_{k+1} = \dot{u}_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \frac{1}{2} (\ddot{u}_k + \ddot{u}_{k+1}) dt = \dot{u}_k + \frac{1}{2} \ddot{u}_k \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{u}_{k+1} \Delta t \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned} u_{k+1} &= u_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \left[\dot{u}_k + \frac{1}{2} (\ddot{u}_k + \ddot{u}_{k+1}) (t - t_k) \right] dt \\ &= u_k + \dot{u}_k \Delta t + \frac{1}{4} \ddot{u}_k (\Delta t)^2 + \frac{1}{4} \ddot{u}_{k+1} (\Delta t)^2 \end{aligned} \quad (2.30)$$

olmaktadır (Hart ve Wong, 1999).

2.7.3 Doğrusal ivme yöntemi

Doğrusal ivme yöntemi, ivmenin her bir zaman aralığında zaman adımının başlangıcından, zaman adımının sonuna kadar doğrusal biçimde değiştiğini kabul etmektedir.

$$\ddot{u}(t) = \ddot{u}(t_k) + \left[\frac{\ddot{u}(t_{k+1}) - \ddot{u}(t_k)}{t_{k+1} - t_k} \right] (t - t_k) = \ddot{u}_k + \left[\frac{\ddot{u}_{k+1} - \ddot{u}_k}{t_{k+1} - t_k} \right] (t - t_k), \quad t_k \leq t < t_{k+1} \quad (2.31)$$

Bu durumda hız ve yerdeğiştirme,

$$\dot{u}_{k+1} = \dot{u}_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \left[\ddot{u}_k + \left(\frac{\ddot{u}_{k+1} - \ddot{u}_k}{t_{k+1} - t_k} \right) (t - t_k) \right] dt = \dot{u}_k + \frac{1}{2} \ddot{u}_k \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{u}_{k+1} \Delta t \quad (2.32)$$

$$u_{k+1} = u_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \left[\dot{u}_k + \ddot{u}_k (t - t_k) + \frac{1}{2} \left(\frac{\ddot{u}_{k+1} - \ddot{u}_k}{t_{k+1} - t_k} \right) (t - t_k)^2 \right] dt \quad (2.33)$$

$$= u_k + \dot{u}_k \Delta t + \frac{1}{3} \ddot{u}_k (\Delta t)^2 + \frac{1}{6} \ddot{u}_{k+1} (\Delta t)^2$$

Yapı mühendisleri tarafından en yaygın olarak kullanılan integrasyon yöntemi Newmark β -yöntemidir. Bu yöntem öncelikle eş zamanlı kurulan aşağıdaki denklemlerin genellemesidir.

$$\ddot{u}_{k+1} + 2\zeta\omega_n \dot{u}_{k+1} + \omega_n^2 u_{k+1} = F_{k+1} / m \quad (2.34)$$

$$\dot{u}_{k+1} = \dot{u}_k + (1 - \delta) \Delta t \ddot{u}_k + \delta \Delta t \ddot{u}_{k+1} \quad (2.35)$$

$$u_{k+1} = u_k + \dot{u}_k \Delta t + \left(\frac{1}{2} - \alpha \right) (\Delta t)^2 \ddot{u}_k + \alpha (\Delta t)^2 \ddot{u}_{k+1} \quad (2.36)$$

Burada F_{k+1} , $F_e(t)$ sürekli fonksiyonunun sayısallaştırılmış değeridir. (2.35)

ve (2.36) denklemleri arasında benzerlik ve üç durum söz konusudur:

1. sabit ivme yönteminde: $\delta=0$ ve $\alpha=0$ 'dır.
2. sabit ortalama ivme yönteminde: $\delta=1/2$ ve $\alpha=1/4$ 'tür.
3. doğrusal ivme yönteminde: $\delta=1/2$ ve $\alpha=1/6$ 'dır.

(2.35) ve (2.36) denklemlerinin (2.34)'de yerine yazılması ile,

$$\ddot{u}_{k+1} + 2\zeta\omega_n [\dot{u}_k + (1-\delta)\Delta t \ddot{u}_k + \delta\Delta t \ddot{u}_{k+1}] + \omega_n^2 \left[x_k + \dot{u}_k \Delta t + \left(\frac{1}{2} - \alpha \right) (\Delta t)^2 \ddot{u}_k + \alpha (\Delta t)^2 \ddot{u}_{k+1} \right] = F_{k+1} / m \quad (2.37)$$

çözölmektedir. (2.37) denklemleri yeniden düzenlenirse,

$$\begin{aligned} (1 + 2\zeta\omega_n \delta\Delta t + \omega_n^2 \alpha (\Delta t)^2) \ddot{u}_{k+1} &= -\omega_n^2 x_k - [2\zeta\omega_n + \omega_n^2 \Delta t] \dot{u}_k \\ &- \left[2\zeta\omega_n (1-\delta)\Delta t + \omega_n^2 \left(\frac{1}{2} - \alpha \right) \alpha (\Delta t)^2 \right] \ddot{u}_k + F_{k+1} / m \end{aligned} \quad (2.38)$$

$\ddot{u}_{k+1}$ için çözüm yapılırsa,

$$\ddot{u}_{k+1} = - \left(\frac{\omega_n^2}{\beta} \right) u_k - \left(\frac{2\zeta\omega_n + \omega_n^2 \Delta t}{\beta} \right) \dot{u}_k - \left(\frac{\gamma}{\beta} \right) \ddot{u}_k + \left(\frac{1}{m\beta} \right) F_{k+1} \quad (2.39)$$

elde edilir. Burada,

$$\beta = 1 + 2\zeta\omega_n \delta\Delta t + \omega_n^2 \alpha (\Delta t)^2 \quad (2.40)$$

$$\gamma = 2\zeta\omega_n (1-\delta)\Delta t + \omega_n^2 \left(\frac{1}{2} - \alpha \right) (\Delta t)^2 \quad (2.41)$$

(2.39) denklemleri (2.35) ve (2.36) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} \dot{u}_{k+1} &= - \left(\frac{\omega_n^2 \delta\Delta t}{\beta} \right) u_k + \left(\frac{\beta - 2\zeta\omega_n \delta\Delta t - \omega_n^2 \delta (\Delta t)^2}{\beta} \right) \dot{u}_k + \left(\frac{\beta\Delta t - \delta(\beta + \gamma)\Delta t}{\beta} \right) \ddot{u}_k \\ &+ \left(\frac{\delta\Delta t}{m\beta} \right) F_{k+1} \end{aligned} \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned} u_{k+1} &= \left(\frac{\beta - \omega_n^2 \alpha (\Delta t)^2}{\beta} \right) u_k + \left(\frac{\beta\Delta t - 2\zeta\omega_n \alpha (\Delta t)^2 - \omega_n^2 \alpha (\Delta t)^3}{\beta} \right) \dot{u}_k \\ &+ \left(\frac{\frac{1}{2}\beta (\Delta t)^2 - \alpha(\beta + \gamma)(\Delta t)^2}{\beta} \right) \ddot{u}_k + \left(\frac{\alpha (\Delta t)^2}{m\beta} \right) F_{k+1} \end{aligned} \quad (2.43)$$

k zaman adımında verilen bütün bilgiler ve F_{k+1} bilgilerinin tümü, k+1 zaman adımındaki davranışı, (2.39), (2.42) ve (2.43) denklemleri kullanılarak elde edilmektedir. Bu denklemler matris biçiminde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{u}_{k+1} \\ \dot{\mathbf{u}}_{k+1} \\ \ddot{\mathbf{u}}_{k+1} \end{Bmatrix} = \mathbf{F}_N \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_k \\ \dot{\mathbf{u}}_k \\ \ddot{\mathbf{u}}_k \end{Bmatrix} + \mathbf{H}_N \mathbf{F}_{k+1} \quad (2.44)$$

$$\mathbf{F}_N = \frac{1}{\beta} \begin{bmatrix} \beta - \omega_n^2 (\Delta t)^2 & \beta \Delta t - 2\zeta \omega_n \alpha (\Delta t)^2 - \omega_n^2 \alpha (\Delta t)^3 & \frac{1}{2} \beta (\Delta t)^2 - \alpha (\beta + \gamma) (\Delta t)^2 \\ -\omega_n^2 \delta \Delta t & \beta - 2\zeta \omega_n \delta \Delta t - \omega_n^2 \delta (\Delta t)^2 & \beta \Delta t - \delta (\beta + \gamma) \Delta t \\ -\omega_n^2 & -2\zeta \omega_n - \omega_n^2 \Delta t & -\gamma \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

$$\mathbf{H}_N = \left(\frac{1}{m\beta} \right) \begin{Bmatrix} \alpha (\Delta t)^2 \\ \delta \Delta t \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (2.46)$$

N indisi, Newmark- β yöntemini göstermektedir. (2.44) denklemi basitleştirilirse,

$$\mathbf{q}_k = \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_k \\ \dot{\mathbf{u}}_k \\ \ddot{\mathbf{u}}_k \end{Bmatrix} \quad (2.47)$$

$$\mathbf{q}_{k+1} = \mathbf{F}_N \mathbf{q}_k + \mathbf{H}_N \mathbf{F}_{k+1} \quad (2.48)$$

elde edilir (Hart ve Wong, 1999).

Yukarıda kullanılan denklemlerdeki, γ katsayısının değeri, $\gamma=1/2$ olarak alınmıştır. Dolayısıyla yalnız β katsayısını serbestçe seçmek mümkündür. Uygulamada en çok ortalama ivme ve doğrusal ivme yöntemleri kullanılır. Ancak doğrusal ivme yönteminde kullanılan zaman aralığı Δt 'nin, periyodun T'ye göre değeri

$$\Delta t \leq 0.551T = \Delta t_{kr} \quad (2.49)$$

koşulunu sağlaması gerekir(Yerlici ve Luş,2007).

2.8 Rayleigh Sönümü

Titreşimin ilk iki modunda sönüm,

$$2\xi_1\omega_1 = \alpha + \beta\omega_1^2 \quad (2.50)$$

$$2\xi_2\omega_2 = \alpha + \beta\omega_2^2 \quad (2.51)$$

olmaktadır. α ve β için çözüm yapılırsa

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(\xi_1\omega_2 - \xi_2\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2} \quad \beta = \frac{2(\xi_2\omega_2 - \xi_1\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2} \quad (2.52)$$

elde edilir.

Titreşimin ilk ve ikinci modları kullanılarak, α ve β değerleri hesaplanabilmektedir. Genel hal için α ve β ifadeleri şöyle yazılabilir.

$$2\xi_i\omega_i = \alpha + \beta\omega_i^2 \quad (2.53)$$

$$2\xi_j\omega_j = \alpha + \beta\omega_j^2 \quad (2.54)$$

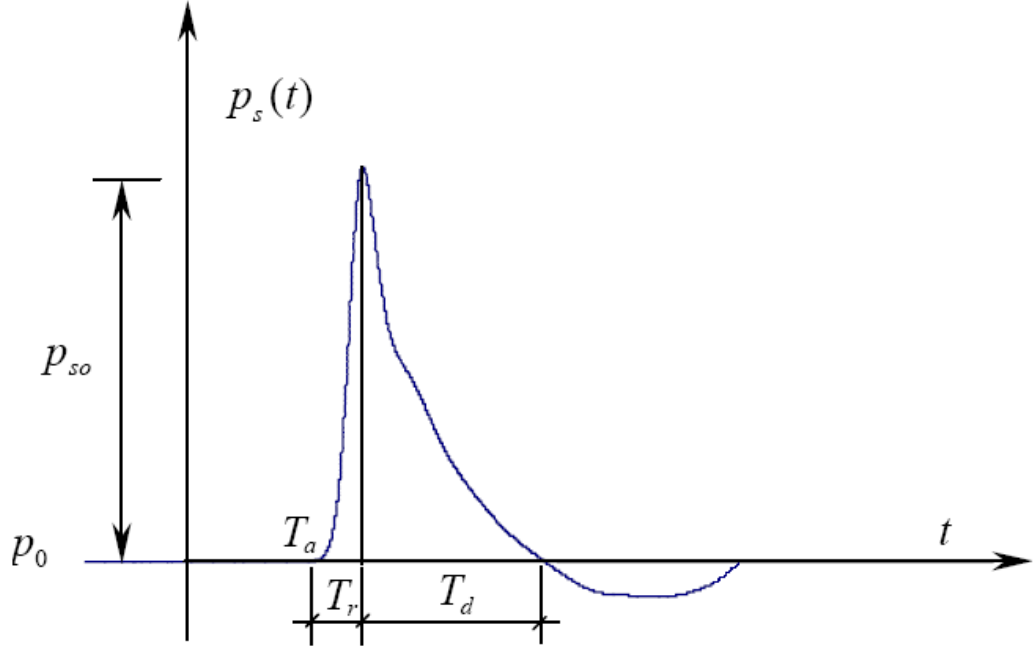
Burada α ve β değerleri yalnız bırakılırsa,

$$\alpha = \frac{2\omega_i\omega_j(\xi_i\omega_j - \xi_j\omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} \quad \beta = \frac{2(\xi_j\omega_j - \xi_i\omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} \quad (2.55)$$

şeklinde (2.55) denklemi elde edilmektedir. (Hart ve Wong, 1999).

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1 Patlama Basıncı Grafiği



Şekil 3.1: Tipik açık hava basıncı-zaman grafiği.

Şekil 3.1 hava basıncının zamanla değişimini göstermektedir. Şekil 3.1'den de görüldüğü gibi basınç dalgası ani olarak maksimum P_{so} değerine ulaşmaktadır. Daha sonra basınç dalgasının, eksponansiyel azalışla ortam basıncına geri döndüğü ve son olarak negatif bölgeye geçtiği Şekil 3.1'den görülmektedir. Bu grafikte T_a , ilk basınç dalgasının varış zamanını, T_r , basıncın maksimum değere yükselme zamanını, P_{so} , maksimum basıncı, T_d , basıncın, maksimum basınç değerinden çevre basıncına geri dönmesi için geçen zamanı göstermektedir. Burada P_{so} ,

$$P_{so} = 1.059 \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{-2.56} - 0.051 \quad 0.1 \leq R / Q^{1/3} \leq 1 \quad (\text{MPa}) \quad (3.1)$$

$$P_{so} = 1.008 \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{-2.01} \quad 1 \leq R / Q^{1/3} \leq 10 \quad (\text{MPa}) \quad (3.2)$$

olarak elde edilmiştir. R, patlama merkezinden ölçülen metre cinsinden uzaklık, Q, kilogram cinsinden patlayıcı (TNT) ağırlığıdır. Basınç dalgasının belirli bir yüzeye ulaşma süresi, T_a , genellikle yakın mesafedeki açık patlatmalarda basınç ile yer titreşiminin yapıya aynı anda etkiyip etkmediğinin önemli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Sadece, basınç değişiminin önemli olduğu durumlarda ise hesaplanmamaktadır. T_a değeri, hava ortamında ses hızına ($c_a = 340\text{m/s}$), yüzeyin patlatma merkezine olan uzaklığına (R) ve patlayıcı ağırlığına (Q) bağlı olarak,

$$T_a = 0.34R^{1.4}Q^{-0.2} / c_a \quad (3.3)$$

formülünden hesaplanır (Wu ve Hao, 2005c). Basıncın artım zamanı T_r ile sıfırdan maksimum değere doğrusal olarak arttığı farzedilmektedir. Sonuç olarak T_r için

$$T_r = 0.0019(R / Q^{1/3})^{1.30} \quad (3.4)$$

eşitliği kullanılabilir. Bir sonraki adımda basıncın maksimumdan ortam basıncına azalma süresi olan T_d değeri için,

$$T_d = 0.0005(R / Q^{1/3})^{0.72}Q^{0.4} = 0.0005R^{0.72}Q^{0.16} \quad (3.5)$$

eşitliği dikkate alınmaktadır. Bu eşitlikten anlaşılacağı gibi, patlayıcı ağırlığı arttıkça basıncın sıfıra inmesi için geçen süre artmaktadır. Denklem (3.4) ve (3.5)'ten bulunan sürelerin toplanması ile toplam etkiye süresi,

$$T_t = T_r + T_d \quad (3.6)$$

olarak bulunur.

Patlama basıncı-zaman kaydı, iki kısma ayrılarak basitleştirilmektedir. Maksimum değere ulaşmada ani olarak doğrusal basınç yükselmesi, sonra basıncın exponansiyel düşüşü görülmektedir. Sıfırdan maksimum değere yükselen basınç için doğrusal kısım,

$$P_s(t) = P_{so} \left(\frac{t}{T_r} \right) = 526.3 * t * P_{so} \left(R / Q^{1/3} \right)^{-1.3} \quad 0 \leq t \leq T_r \quad (3.7)$$

Exponansiyel azalış bölgesi,

$$P_s(t) = P_{so} \left(1 - \frac{t - T_r}{T_d} \right) \exp \left(\frac{a(t - T_r)}{T_d} \right) \quad t \geq T_r \quad (3.8)$$

olarak ifade edilmektedir. "a" azalışın oranını kontrol eden bir sabittir. Tipik basınç-zaman kayıtlarından "a" değeri için en iyi uydurulmuş fonksiyonlar;

$P_{so} \leq 1 \text{ MPa}$ için,

$$a = \begin{cases} 3.02P_{so}^{0.38} + 6.85P_{so}^{0.79} \exp \left(-4.55 \frac{t - T_r}{T_d} \right) & T_r \leq t \leq T_+ \\ 1.96P_{so}^{0.25} + 0.176P_{so} \exp \left(-0.73P_{so}^{-0.49} \frac{t - T_r}{T_d} \right) & t > T_+ \end{cases} \quad (3.9)$$

$1 \leq P_{so} \leq 100 \text{ MPa}$ için,

$$a = \begin{cases} 1.62P_{so}^{0.3} + 5.13P_{so}^{0.28} \exp \left(-1.05P_{so}^{0.37} \frac{t - T_r}{T_d} \right) & T_r \leq t \leq T_+ \\ 0.74P_{so}^{0.17} + 2.17P_{so}^{0.28} \exp \left(-0.26P_{so}^{0.33} \frac{t - T_r}{T_d} \right) & t > T_+ \end{cases} \quad (3.10)$$

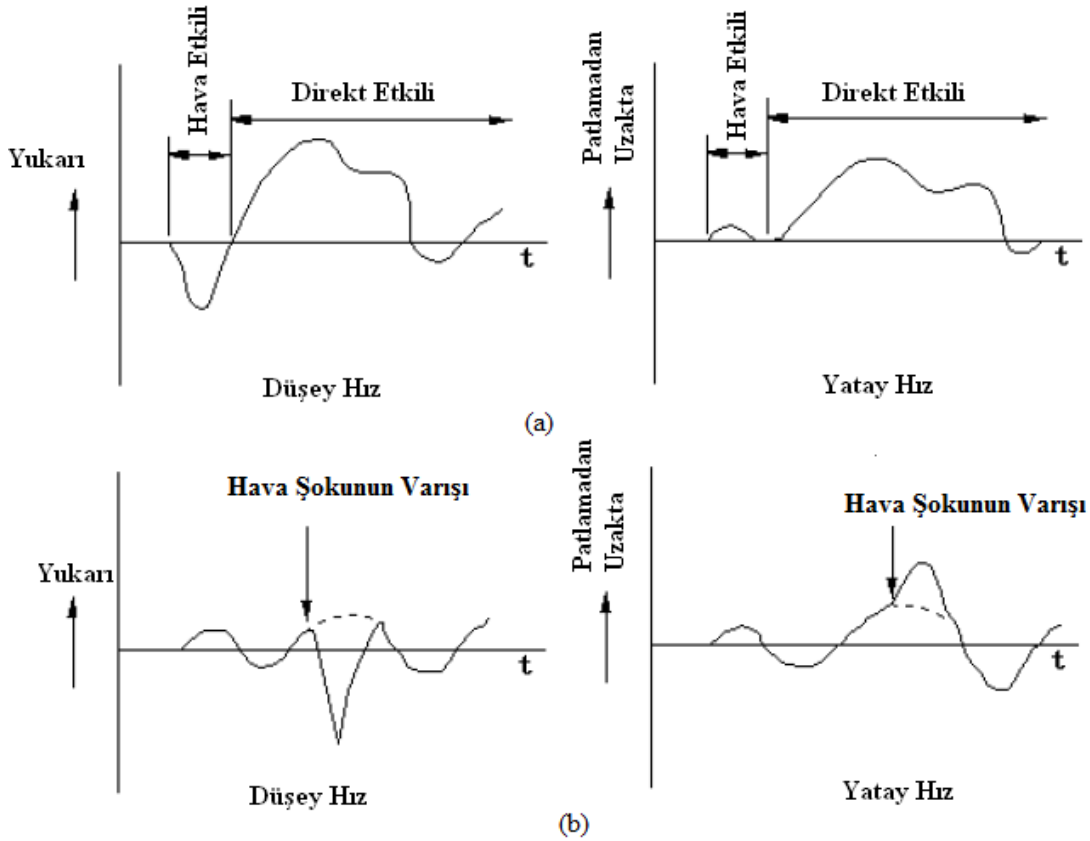
olarak ifade edilmektedir .

3.2 Patlama Kaynaklı Oluşan Yer Hareketleri

Yer yüzeyinde veya yer yüzeyi yakınlarında bir patlama gerçekleştiğinde, patlamayla birlikte yerde açığa çıkan enerjiden yer sarsıntısı oluşur. Bu enerjinin bir kısmı hava şoku nedeniyle oluşan yer hareketi(hava şoku etkili) biçiminde havayla iletilir, bir kısmı da direkt etkili yer hareketi olarak yer boyunca iletilir (UFC,2008).

Hava şoku etkili yer hareketi dalgası, yeryüzüne basınç uyguladığında hava şoku etkili yer hareketi oluşur. Yerdeki gerilmenin büyüklük ve süresi, yer ortamına ve hava şokunun karakterine bağlıdır. Genellikle, hava şoku etkili yer hareketi aşağı doğrudur. Hava şoku etkili yer hareketi, yer yüzeyinde maksimumdur ve derinlikle azalır. Bununla birlikte, sığ su tabakası, sığ kaya zemin arayüzeyi veya diğer süreksizliklerin bulunması normal azalış süresini değiştirir. Yüzeysel zemin katmanı ve aşırı basıncın özellikleri, genellikle yeryüzeyi yapısında hava şoku etkili yer hareketinin karakterini belirler (UFC,2008).

Direkt etkili yer hareketi, yer boyunca doğrudan iletilen patlama enerjisinden kaynaklanmaktadır. Bu hareket, hem gerçek direkt etki hareketlerini hem de krater etki hareketlerini(çukurlaştırma) içerir. Krater etki hareketi genellikle daha uzun sürer ve krater patlamalarında krater oluşum süreciyle birlikte üretilir. Her iki türden meydana gelen yer hareketi etkisi, hava şoku etkili yer hareketine göre daha uzun sürer ve dalga biçimleri sinüzoidal eğilim biçimindedir (UFC,2008).



Şekil 3.2: Net yer hareketlerinin yer yüzeyinde bir patlamayla üretilmesi (a)Süpersismik bölgede yer hareketi, (b) Sınırı aşan bölgede yer hareketi (UFC,2008).

Yer yüzeyinde bir noktadaki net yer sarsıntısı, hava şoku etkili yer hareketinin ve direkt etkili yer hareketinin birleşimidir (Şekil 3.2). Yer hareketlerinin izafi büyüklükleri ve sıralaması, patlama merkezinden uzaklık ve sarsıntı boyunca ortamın (hava ve zemin) fonksiyonları ile ifade edilmektedir. Patlama merkezine yakın mesafelerde, aşırı basınçlı hava, yerin sismik hızından daha büyük hızlarda yayılan hava şoku etkili yer hareketini meydana getirir. Aşırı basıncın olduğu süper sismik bölgede, hava şoku, direkt etkili yer sarsıntısından önce belirlenen noktaya ulaşır. Hava şoku etkili yer hareketi, patlama merkezinden uzağa yayıldığından,

sarsıntı ön hızı azalır ve direkt etkili yer hareketi, hava şoku etkili yer hareketinin hızına yetişir ve onu geçer (UFC,2008).

Direkt etkili yer hareketinin oluştuğu bölge, sınır aşan bölge olarak isimlendirilir. Sınırı aşan bölgedeki dalga biçimleri, genellikle hava şoku etkili ve direkt etkili yer hareketinin, karmaşık birleşimidir. Birleşik hareket, her bir dalganın varış zamanının hesap edilmesinden elde edilir. Hava şokunun varış zamanı, serbest patlamalar için belirlenen verilerden elde edilir. Oysa, direkt etkili yer sarsıntısının varış zamanı, yer ortamının sismik hızıyla yol alan yer hareketi olduğu düşünülerek tahmin edilebilir. Hem süper sismik bölgede hem de sınırı aşan bölgede birleşik yer hareketi Şekil 3.2 ' de görülmektedir (UFC,2008).

3.2.1 Hava şoku etkili yer hareketi

Bir boyutlu dalga yayılma teorisi, hava şoku etkili yer hareketini tahmin etmekte kullanılmaktadır. Homojen özelliklere sahip zemin ortamına yerleştirilen yüzey yapıları için bu hareketi tanımlamaya yönelik ifadeler çeşitli kaynaklarda yer almaktadır (UFC,2008).

3.2.1.1 Düşey maksimum hız

Yukarıdaki yaklaşım kullanılarak, yer yüzeyinde meydana gelen patlama kaynaklı maksimum düşey hız V_v ;

$$V_v = \frac{P_{so}}{\rho \cdot C_p} \quad (3.11)$$

ile ifade edilmektedir. Burada V_v , yer yüzeyinin maksimum düşey hızı, P_{so} , pozitif basınç, ρ , zeminin kütle yoğunluğu, C_p , zemindeki basınç dalgasının sismik hızı olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 3.1'de kaya ve tipik zeminler için ρ kütle yoğunluğu ve Çizelge 3.2'de sismik hızlar verilmiştir. P_{so} pozitif basınç Şekil 3.3'ten elde edilmektedir (UFC,2008).

3.2.1.2 Düşey maksimum yer değıştirme

Hava şoku etkili yer hareketinde maksimum düşey yerdeğıştirme, D_v , zamana bağı olarak yukarıdaki ifadelerin birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Zamana bağı toplam basınç, toplam pozitif impulsun basit halidir (UFC,2008),

$$D_v = i_s / 1000 \cdot \rho \cdot C_p \quad (3.12)$$

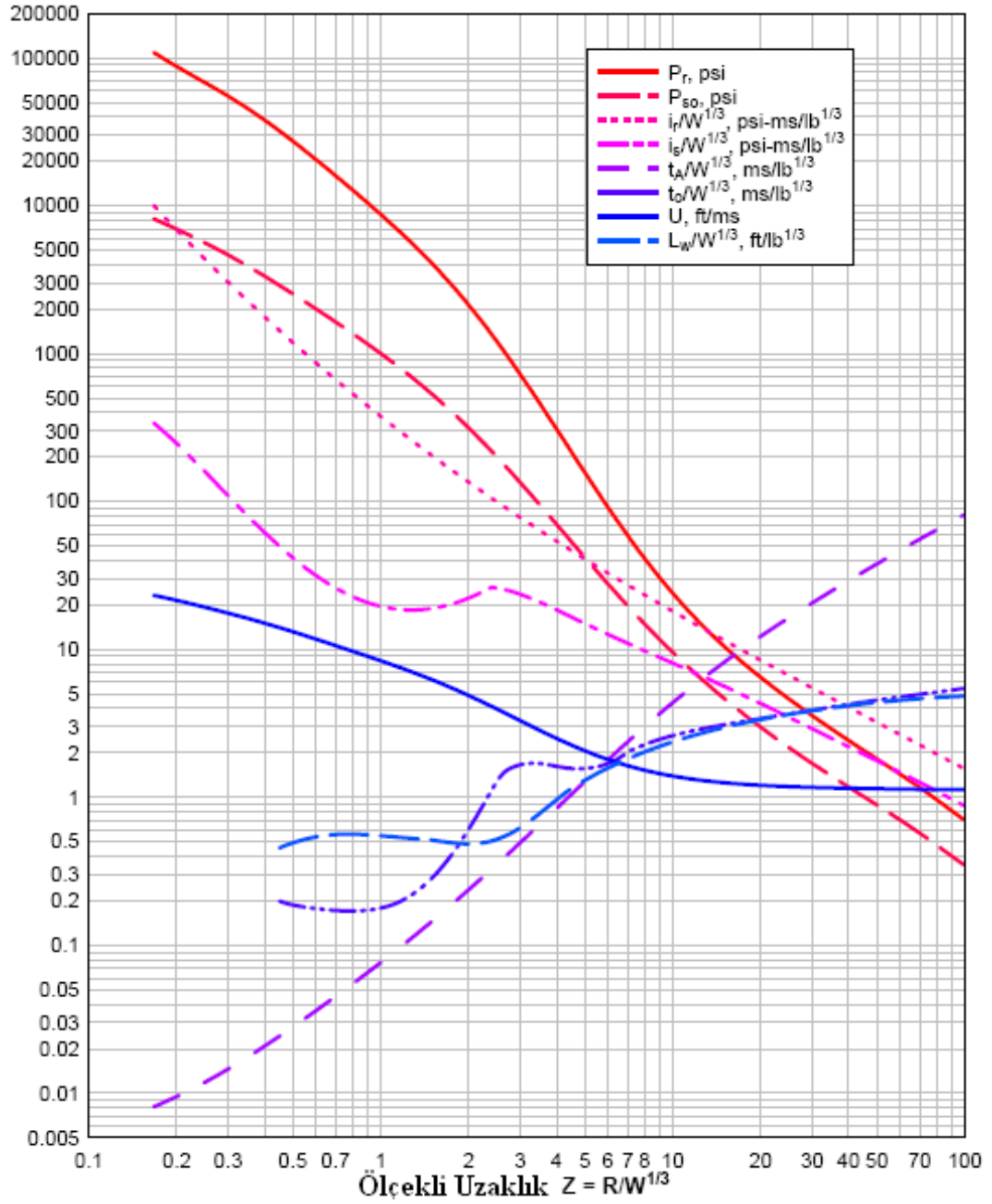
Burada D_v , yer yüzeyinin maksimum düşey yer değıştirmesi, i_s , birim pozitif impuls ile ifade edilmektedir. i_s , birim pozitif impuls Şekil 3.3'den elde edilmektedir.

Çizelge 3.1: Tipik zeminler ve kayalar için kütle yoğunlukları (UFC,2008).

Malzeme	Kütle yoğunluğu,	
	ρ (lb-sn ²)/in ⁴	ρ (kg-sn ²)/m ⁴
Gevşek, kuru kum	1.42E-04	154.746
Gevşek, doymun kum	1.79E-04	195.067
Sıkı, kuru kum	1.65E-04	179.810
Sıkı, doymun kum	2.02E-04	220.132
Kuru kil	1.12E-04	122.053
Doymun kil	1.65E-04	179.810
Kuru, kumlu silt	1.57E-04	171.092
Doymun, kumlu silt	1.95E-04	212.503
Bazalt	2.56E-04	278.979
Granit	2.47E-04	269.171
Kalker	2.25E-04	245.196
Kumtaşı	2.10E-04	228.850
Killi şist	2.17E-04	236.478
Beton	2.25E-04	245.196

Çizelge 3.2: Zeminler ve kayalar için tipik sismik hızlar (UFC,2008).

Malzeme	Sismik hız(in/sn)	Sismik hız(m/sn)
Gevşek ve kuru zeminler	7200-39600	182.880-1005.840
Kil ve yaş zeminler	30000-75600	762.000-1920.240
İri ve sıkıştırılmış zemin	36000-102000	914.400-2590.800
Kumtaşı ve çimentolu zeminler	36000-168000	914.400-4267.200
Killi şist ve kireçli kil	72000-210000	1828.800-5334.000
Kireçtaşı-tebeşir	84000-252000	2133.600-6400.800
Metamorfik kayalar	120000-252000	3048.000-6400.800
Volkanik kayalar	120000-270000	3048.000-6858.000
Sağlam plutonik kayalar	156000-300000	3962.400-7620.000
Çatlak granit	9600-180000	243.840-4572.000
Ayrışmış kayalar	24000-120000	609.600-3048.000



Şekil 3.3: Deniz seviyesi yüzeyinde yarı küresel TNT patlaması için pozitif faz hareketinin dalga parametreleri (UFC,2008).

3.2.1.3 Düşey maksimum ivme

Hava şoku etkili yer hareketinde maksimum düşey ivme, A_v , 1 milisaniyeye eşit artış zamanı süresince doğrusal hız artışının kabulüne dayandırılmaktadır. Sonuçta oluşan ivme, doğrusal olmayan artış süreleri için yapılan hesaplarda %20 arttırılmaktadır. İvmeler, yerçekimi sabitinin katlarında ifade edilmektedir (UFC,2008).

$$A_v = \frac{100.P_{so}}{\rho.C_p.g} \quad (3.13)$$

Burada A_v , yer yüzeyinin maksimum düşey ivmesi, g , yerçekimi sabiti 32.2 ft/sec^2 olarak ifade edilmektedir.

(3.13) denklemi, kuru zemindeki ivmenin tahmin edilmesi için yeterli olmaktadır. Ancak (3.13) denklemi kaya ve doymuş zeminlerdeki ivmeyi ihmal etmektedir. Yaklaşık olarak, kaya ve suya doymuş zeminlerin ivmesi için, (3.13) denkleminde elde edilen ivme değerinin iki katına çıkarılması önerilmektedir.

3.2.1.4 Yatay maksimum hız, maksimum yerdeğiştirme, maksimum ivme

Hava şoku etkili maksimum yatay yer hareketleri, sarsıntı dalga hızı ve zeminin sismik hızının bir fonksiyonu olarak maksimum düşey hareketlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (UFC,2008).

$$D_H = D_v \cdot \tan \left[\sin^{-1} \left(\frac{C_p}{12000.U} \right) \right] \quad (3.14)$$

$$V_H = V_v \cdot \tan \left[\sin^{-1} \left(\frac{C_p}{12000.U} \right) \right] \quad (3.15)$$

$$A_H = A_v \cdot \tan \left[\sin^{-1} \left(\frac{C_p}{12000.U} \right) \right] \quad (3.16)$$

U , sarsıntı ön hızı $(C_p / 12000.U)$ 'nın 1'den daha büyük değeri için, düşey ve yatay hareketler yaklaşık olarak eşittir. Bu sebeple, yukarıdaki fonksiyonun 1'den daha büyük bütün değerleri için, hesap edilen düşey hareket denklemi, yatay hareket için eşit olarak elde edilmektedir.

Hava şoku etkili yer hareketi için elde edilen denklemler, zeminin sismik hızına ve yoğunluğuna bağlıdır. Bununla birlikte, Çizelge 3.2'de her bir zemin için sismik hızlar verilmektedir. Zeminin sismik hızının ve yoğunluğunun doğru olarak tespit edilebilmesi için zemin testlerinin hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Testlerde elde edilen değerlerin yerine Çizelge 3.1'de verilen kütle yoğunlukları kullanılabilir. Ancak Çizelge 3.2'de verilen sismik hızların aralığı çok geniş

olduğundan, analizlerde güvenli tarafta kalınabilmesi için kullanılan hızın daha düşük sınır değerinin alınması tavsiye edilmektedir.

Kaya zeminler için A_H hesaplanırken (3.13) denklemi dikkate alınabilmektedir.

3.2.2 Direkt etkili yer hareketi

Ampirik denklemler, direkt etkili yer hareketlerini tahmin etmek için geliştirilmektedir. Denklemler, yer yüzeyinde veya yakınındaki TNT patlamaları için kullanılmaktadır. Bu ampirik denklemler üç tür yer ortamı için elde edilmiştir. Bunlar kuru zemin, doymuş zemin ve kayadır. Yer hareketi parametreleri, patlama merkezinden uzaklığa ve patlayıcı ağırlığına göre ifade edilmektedir (UFC,2008).

3.2.2.1 Düşey ve yatay maksimum hız

Direkt etkili yer hareketinde, bütün yer ortamları için maksimum düşey hız, V_v ,

$$V_v = \frac{150}{Z_G^{1.5}} \quad (3.17)$$

ile ifade edilmektedir (UFC,2008).

Maksimum yatay hız (V_H) bütün yer ortamları için maksimum düşey hıza eşittir.

$$V_H = V_v \quad (3.18)$$

3.2.2.2 Düşey ve yatay maksimum yerdeğiştirme

Direkt etkili yer hareketinde, kaya ortamlar için yer yüzeyinde meydana gelen maksimum düşey yerdeğiştirme,

$$D_v = 0.025 \cdot \frac{R_G^{1/3} \cdot W^{1/3}}{Z_G^{1/3}} \quad (3.19)$$

ile ifade edilmektedir (UFC,2008). Burada

$$Z_G = \frac{R_G}{W^{1/3}} \quad (3.20)$$

ile gösterilmektedir. Denklemde, R_G , patlama merkezine olan dik uzaklık, W , TNT patlayıcı ağırlığı, Z_G , ölçekli uzaklık olarak ifade edilmektedir. Yer yüzeyinde meydana gelen maksimum yatay yerdeğiştirme, D_H , maksimum düşey yerdeğiştirmenin yarısıdır.

$$D_H = 0.5D_V \quad (3.21)$$

Yer ortamı kuru veya doymuş zemin içerdiğinde maksimum düşey yerdeğiştirme,

$$D_V = 0.17 \cdot \frac{R_G^{1/3} \cdot W^{1/3}}{Z_G^{2.3}} \quad (3.22)$$

şeklindedir. Maksimum yatay yerdeğiştirme, maksimum düşey yerdeğiştirmeye eşittir (UFC,2008).

$$D_H = D_V \quad (3.23)$$

3.2.2.3 Düşey ve yatay maksimum ivme

Sonuç olarak, bütün ortamlar için yer yüzeyinde meydana gelen maksimum ivme değeri A_V ,

$$A_V = \frac{10000}{W^{1/3} Z_G^2} \quad (3.24)$$

ile ifade edilmektedir (UFC,2008).

Kuru zemin için maksimum yatay ivme, A_H , maksimum düşey ivmenin yarısıdır (UFC,2008).

$$A_H = 0.5A_V \quad (3.25)$$

Ancak ıslak zemin veya kaya ortam için yatay ve düşey ivme değeri birbirine eşittir.

$$A_H = A_V \quad (3.26)$$

Direkt etkili yer hareketinde pik ivme değerleri için birçok ampirik denklem elde edilmiştir. Wu ve Hao (2005c) yaptıkları deneysel çalışmada, yatay yöndeki pik ivme (PPA) değerini veren aşağıdaki ampirik denklemi elde etmişlerdir.

$$PPA = 3.979R^{-1.45}Q^{1.07} \quad (g) \quad (3.27)$$

olarak verilmektedir. Burada R, patlama merkezinden uzaklık[m], Q, patlayıcı ağırlığı[kg] olarak ifade edilmektedir.

3.3 Yer Hareketinin Benzeşimi

Kuvvetli yer hareketlerinin kayıtlarında gözlemlenen rastgele dalgalanmaları elde etmek için, genellikle stokastik modelin tasarımında ifade edilen bilgiler kullanılmaktadır. Rastgele dalgalanmalar daha kuvvetli sarsıntıların ortaya çıkmasına kadar küçük genlikle başlarlar. Esas sarsıntılar aşıldığında, genlikler hareketin sonlanmasına doğru azalır. (Ruiz ve Penzien, 1969).

3.3.1 Filtre edilmiş beyaz gürültü

Filtre edilmiş beyaz gürültünün güç spektral yoğunluk fonksiyonu,

$$S_x(\omega) = S_o |H(i\omega)|^2 \quad (3.28)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Denklem (3.28)'deki, $H(i\omega)$, filtrenin karmaşık frekans etki fonksiyonu ve S_o beyaz gürültünün güç spektral yoğunluk fonksiyonudur. Çıktı işleminin güç spektrası, ikinci dereceden doğrusal filtre için,

$$S_y(\omega) = S_o \frac{\left(1 + 4\xi^2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)}{\left(\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + 4\xi^2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)} \quad (3.29)$$

olarak ifade edilmektedir.

3.3.2 Shot gürültü modeli

Yer hareketi benzeşimi için uygun shot gürültü modeli, ikinci dereceden doğrusal filtre kullanımı ile shot gürültünün filtre edilmesiyle elde edilmektedir.

3.3.3 Stokastik model

Gaussian durağan olmayan shot gürültü işlemi, bir patlama süresince anakayadaki ivmeyi temsil etmek için kullanılmaktadır. Bu işlem yüzeysel zemin katmanının

altında sismik dalgaları oluşturan rastgele titreşimleri belirlemektedir. Durağan olmayan özellik bu sismik dalgaların rastgele varış zamanlarında değişkenlik gösterir. Bu stokastik işlem shot gürültünün değişim yoğunluk fonksiyonu $\phi(t)$ ile tamamen karakterize edilmektedir.

3.3.4 Mekanik model

İkinci dereceden doğrusal filtre, birbirine paralel bir yay ve bir amortisör üzerine konulmuş mesnetli bir kütlenin sönümlü tek serbestlik dereceli sistem benzeşimi ile temsil edilmektedir. Kütlenin mutlak ivmesi ve mesnedin ivmesi olarak kullanılan anakayadaki ivme yer yüzeyinin ivmesine benzemektedir. Kabaca, bu model yer katmanının temel kayma modu etkisine benzemektedir. Mekanik modelin davranışı, ξ ve ω_0 parametreleri ile tanımlanmaktadır.

3.3.5 Benzeşim işlem sırası

Anakayadaki ivme, $p(t)$, zamanın deterministik fonksiyonunun, S_0 beyaz gürültü fonksiyonuna bağlı olarak elde edilen $w(t)$ çarpımı ile ifade edilen Gauss shot gürültüsü ile benzetim yapılmaktadır.

$$a_b(t) = p(t)w(t) \quad (3.30)$$

$p(t)$ şekillendirme fonksiyonu, negatif argümanlar için sıfır olmalıdır. Negatif olmayan diğer argümanlar için genelde zamanın düzgün değişen bir fonksiyonudur. Zemin tabakasının filtre etkisi, ω_0 sönümsüz açısal frekans ve ξ sönüm oranı ile ifade edilen sönümlü tek serbestlik dereceli doğrusal sistemle benzeşim yapılmaktadır. $a_g(t)$ yer ivmesi,

$$\ddot{z} + 2\xi\omega_0 \dot{z} + \omega_0^2 z = -a_b(t) \quad (3.31)$$

$$a_g(t) = -2\xi\omega_0 \dot{z} + \omega_0^2 z \quad (3.32)$$

(3.31) ve (3.32) denklemleri ile mutlak ivme değeri elde edilmektedir.

Eğer yer hareketinin hızı ve yer değiştirmesi sıfır başlangıç şartları olarak düşünülürse, yer hareketi ivmesi işlemi,

$$a_g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} a_b(\tau) h(t-\tau) d\tau \quad (3.33)$$

olarak ifade edilmektedir. (3.33) denkleminde filtrenin birim impuls etki fonksiyonu,

$$h(t) = \frac{\omega_0^2}{\omega_d} \exp(-\xi \omega_0 t) \sin(\omega_d t + 2\alpha) \quad (3.34)$$

ile ifade edilmektedir. Burada,

$$\omega_d = \omega_0 (1 - \xi^2)^{1/2} \quad \text{ve} \quad \alpha = \arcsin(\xi) \quad (3.35)$$

olarak ifade edilmektedir.

Baskın frekans sayesinde yer hareketi ivmesi işlemi, yer hareketi ivmesinin Fourier dönüşümü ile

$$A_g(i\omega) = H(i\omega) A_b(i\omega) \quad (3.36)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. (3.36) denkleminde, $H(i\omega)$, karmaşık frekans davranış fonksiyonudur ve

$$H(i\omega) = \frac{\left(1 + 2\xi \frac{i\omega}{\omega_0}\right)}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + 2i\xi \frac{\omega}{\omega_0}\right)} \quad (3.37)$$

şeklinde gösterilir.

Yer hareketi ivmesi işleminin stokastik özellikleri

$$\text{Cov}(t_1, t_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(\tau) h(t_1 - \tau) h(t_2 - \tau) d\tau \quad (3.38)$$

(3.38) kovaryans fonksiyonu ile ifade edilmektedir. $t_1=t_2$ özel durumu için bu kovaryans fonksiyonu, işlemin varyans fonksiyonu haline gelmektedir. Diğer bir ifadeyle,

$$\sigma^2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(\tau) h(t - \tau) d\tau \quad (3.39)$$

olmaktadır. Bu çalışmada varyans fonksiyonu,

$$\sigma^2_c(t) = \phi_0 \omega_0 \frac{1 + 4\xi^2}{4\xi} \quad (3.40)$$

olarak ifade edilmektedir. Yer hareketi ivmesi işlemi, ξ ve ω_0 filtre parametreleri ve shot gürültünün değişim yoğunluk fonksiyonu, $\phi(t)$ ile tanımlanabilmektedir.

3.3.6 Yapay yer hareketi ivmelerinin üretilmesi

Yapay yer hareketini ivmelerinin üretilmesinde, ilk olarak, beyaz gürültünün örnekleri elde edilmektedir. Daha sonra bu örnekler şekillendirme fonksiyonu kullanılarak oluşturulmaktadır ve temsil edilen yer hareketi ivmesinin dalga biçimlerini elde etmek için filtre üzerinden geçiş yapılmaktadır. (0,1) aralığında üniform dağılım ile u_j bağımsız rastgele sayılar dizisi üretilmektedir. Birim varyans ve sıfır ortalamaya sahip Gauss dağılımı ile w_j bağımsız rastgele sayıların yeni dizisi aşağıdaki dönüşümle elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} w_j &= (-2 \ln u_j)^{1/2} \cos(2\pi u_{j+1}) & j = \text{tek} \\ w_{j+1} &= (-2 \ln u_j)^{1/2} \sin(2\pi u_{j+1}) & j = \text{tek} \end{aligned} \quad (3.41)$$

Beyaz gürültü sayılarının bu dizisi, $(0, \Delta\tau)$ aralığında üniform dağılımdan rastgele olarak örneklendirilen başlangıç zamanı ile $\Delta\tau$ aralıklarında ayrılmaktadır. Zamanın yeterli sayısı ile bu işlem tekrarlanarak $w(t)$ rastgele dalga biçimlerinin topluluğu elde edilmektedir. Eğer dalga biçimlerinin her birinin w_j ordinatları $(\pi S_0 / \Delta\tau)^{1/2}$ ile çarpılırsa işlemin otokorelasyonu,

$$R(\tau) = \begin{cases} 0 & \tau \leq -2\Delta\tau \\ \frac{\pi S_0}{\Delta\tau} \left\{ \frac{4}{3} + 2\left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right) + \left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right)^2 + \frac{1}{6}\left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right)^3 \right\} & -2\Delta\tau \leq \tau \leq -\Delta\tau \\ \frac{\pi S_0}{\Delta\tau} \left\{ \frac{2}{3} - \left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right)^3 \right\} & -\Delta\tau \leq \tau \leq 0 \\ \frac{\pi S_0}{\Delta\tau} \left\{ \frac{2}{3} - \left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right)^3 \right\} & 0 \leq \tau \leq \Delta\tau \\ \frac{\pi S_0}{\Delta\tau} \left\{ \frac{4}{3} - 2\left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right) + \left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right)^2 - \frac{1}{6}\left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right)^3 \right\} & \Delta\tau \leq \tau \leq 2\Delta\tau \\ 0 & \tau \geq 2\Delta\tau \end{cases} \quad (3.42)$$

şeklinde olmaktadır. Limit durumda $\Delta\tau$, sıfıra yaklaşırsa , $R(\tau)$,

$$R(\tau) = \pi S_0 \delta(\tau) \quad (3.43)$$

biçimine yaklaşmaktadır. Bu limit durum, S_0 , güç spektral yoğunluklu beyaz gürültüye uymaktadır.

Anakayadaki ivme işlemini temsil için seçilmiş durağan olmayan shot gürültü, $p(t)$, şekillendirme fonksiyonu ile zamanın S_0 , yoğunluğunun beyaz gürültüsü fonksiyonu ile çarpılarak elde edilmektedir. $p(t)$, şekillendirme fonksiyonu varyans yoğunluk fonksiyonunun aşağıdaki terimleriyle elde edilmektedir.

$$p(t) = \left[\frac{\phi(t)}{\pi S_0} \right]^{1/2} \quad (3.44)$$

Sayısal hesaplamaların amaçları için, şekillendirme fonksiyonu, ölçekleme katsayısı ile gösterilmektedir. Böylece anakayadaki ivme dalga biçimleri,

$$a_b = \left(\frac{\phi(t)}{\Delta\tau} \right)^2 w(t) \quad (3.45)$$

haline gelmektedir.

Anakaya ivme topluluğunun dalga biçimleri, (3.31) ve (3.32) denklemlerinden, $a_g(t)$, yer hareketi ivmesini elde etmek için ikinci dereceden doğrusal filtre üzerinden filtre edilmektedir. (3.31) ve (3.32) denklemlerinin çözümü, parça parça doğrusal ivme varsayımı ile adım adım işlemle elde edilmektedir (Ruiz ve Penzien, 1969).

3.3.7 İvme kayıtlarının temel düzeltmeleri

İvme kayıtları gerçek patlama etkili yer hareketi kayıtları için bir düzeltme işleminden geçecektir. Temel düzeltmeler, titreşimin sonunda yer hızının sıfır eğiliminde olmasını kabul eden Berg ve Housner (1961) tarafından belirtildiği gibi yapılmaktadır. Bu durum, hızın ortalama kare değerinin minimize edilmesi için seçilen düzeltme katsayıları kullanılarak ivme kaydının temeli parabolik düzeltme ile elde edilmektedir (Ruiz ve Penzien, 1969).

Eğer $a_g(t)$ 'nin (3.32) denkleminde çözümü elde edilirse, düzeltilmiş ivme kaydı, $a'(t)$, aşağıdaki biçime sahip olur.

$$a'(t) = a_g(t) + c_0 + c_1 \frac{t}{T} + c_2 \left(\frac{t}{T} \right)^2 \quad (3.46)$$

Yer hareketi hızı, (3.46) denkleminin sıfır başlangıç şartları ile integre edilmesiyle belirlenmektedir. c_0, c_1, c_2 , katsayıları bu çalışmada 30 saniyeye göre ayarlanmış $(0, T)$ aralığında hızın ortalama kare değerinin minimize edilmesi için seçilmiştir. Bu nedenle, bağıntı,

$$\begin{Bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -300 & 900 & -630 \\ 1800 & -5760 & 4200 \\ -1890 & 6300 & -4725 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{Bmatrix} \quad (3.47)$$

haline gelmektedir. Burada,

$$b_k = T^{-k-3} \int_0^T v(t) t^{k+1} dt \quad k = 0, 1, 2 \quad (3.48)$$

olarak verilmektedir. $v(t)$, $a_g(t)$ 'ye uyan yer hareketi hızıdır.

(3.57) denklemindeki integral, parça parça doğru olan, $a_g(t)$, ivme kaydı varsayımı ile sayısal olarak kolayca hesaplanmaktadır (Ruiz ve Penzien, 1969).

3.4 Patlama Kaynaklı Yer Hareketinin Modellenmesi

Patlama kaynaklı oluşan yer hareketlerinin (hava şoku etkili ve direkt etkili) yapılar üzerindeki dinamik etkilerini incelemek için, hesaplarda kullanılacak olan yer hareketi ivme değerleri rastgele yöntem ile tahmini olarak elde edilecektir. Patlama kaynaklı yer hareketinin modellenmesinde, patlama kaynağına olan uzaklığa ve patlama şarj ağırlığına bağlı olarak elde edilen pik ivme değerinden ve patlama basıncının zaman zarf eğrisinden yararlanılmaktadır. Patlama kaynaklı yer hareketi modelinin oluşturulması için durağan olmayan rasgele işlem yeterli bir yöntem olarak görülmektedir. Patlama kaynaklı yer hareketini temsilen, yer hareketi ivme değerlerinin tahmin edilebilmesi için BlastGM (Artificial Generation of Blast

Induced Ground Motion) adlı bir yazılım MATLAB dilinde (MATLAB,2012) geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde patlamanın kaynağına olan uzaklığa ve patlama gücüne bağlı olarak yapay ivme değerleri oluşturulabilmektedir. Yapıların yakınında meydana gelen patlamaların, çok etkili ani yer hareketlerine neden olduğu üretilen ivme değerlerinin incelenmesi ile görülmektedir. BlastGM yazılımının özellikleri EK-A'da verilmektedir.

Patlama etkili yer hareketinin modellenmesi için önceden yapılmış arazi deneylerinden elde edilen pik ivmelerin ampirik formüllerinden yararlanılmıştır. Yer yüzeyinde veya yer yüzeyine yakın bölgelerde meydana gelen patlamadan dolayı oluşan hava şoku etkili yer hareketi ve direkt etkili yer hareketi için aşağıdaki pik ivme formülleri kullanılmıştır.

Hava şoku etkili yer hareketini temsilen (UFC,2008) ;

$$A_H = \frac{100.P_{so}}{\rho.C_p.g} \quad (g) \quad (3.49)$$

Burada, A_H , yer yüzeyinin maksimum yatay ivmesi, ρ , zeminin kütle yoğunluğu [(lb-sn²)/in⁴] , g , yerçekimi sabiti 32.2 ft/sn², C_p , zeminin sismik hızı [in/sn], P_{so} , maksimum patlama basıncı [Psi] olarak ifade edilmektedir.

Direkt etkili yer hareketini temsilen (3.27) denklemi kullanılmıştır.

Yer hareketlerinin varış zamanı için yapılarda eşzamanlı olarak yer hareketinin ve hava şoku patlama kuvvetlerinin modellenmesi gerekir. Yapılan deneylerden patlama merkezinden R uzaklığı ile yer yüzeyindeki bir noktada dalganın varış zamanı (Wu ve Hao, 2005c)

$$t_a = 0.91R^{1.03}Q^{-0.02}/c_s \quad (3.50)$$

ile basitçe tahmin edilebilmektedir. c_s , granit zeminin P dalga hızıdır.

Şekil fonksiyonu deprem mühendisliğinde zamanlama bakımından sismik yer titreşiminin durağan olmayan özelliğini belirlemede kullanılmaktadır. Bu şekil fonksiyonu Hilbert dönüşümünden elde edilmekte (Kanasewich,1981) ve patlama basıncının zarfını exponansiyel tipte modelleyebilmektedir (Bogdanoff,1960). Bu fonksiyon,

$$\xi(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0, \\ mte^{-nt^2} & t > 0, \end{cases} \quad (3.51)$$

biçimindedir. "m" ve "n" yer hareketinin durağan olmayan özelliğine bağlı parametrelerdir. "e" doğal logaritmanın tabanıdır. "m" ve "n" parametreleri t_p ile belirlenmektedir. $\xi(t)$ bütünü maksimum değerini araştırır. t_p , t_a 'dan sonra yer hareketi için patlama basıncının maksimum değerine ulaşması için geçen süredir (Wu ve Hao, 2005c). Burada,

$$t_p = \sqrt{1/2n} \quad (3.52)$$

ve

$$m = \sqrt{2ne} \quad (3.53)$$

ile gösterilmektedir. t_p tahmin edilen zaman anı için ampirik bağıntı,

$$t_p = 5.1 \times 10^{-4} Q^{0.27} (R/Q^{1/3})^{0.81} = 5.1 \times 10^{-4} R^{0.81} \quad (s) \quad (3.54)$$

olarak elde edilmektedir. Görüldüğü gibi, t_p , yalnızca R uzaklığına bağlıdır.

Yer hareketi dalgasının süresi, yapısal davranışa tesir eden önemli bir parametredir. Bu çalışmada yer sarsıntısının dalga süresi t_d

$$t_d = t - t_a \quad (3.55)$$

olarak tanımlanmaktadır.

PF, patlamada parçacık frekansı,

$$PF = 465.62 (R/Q^{1/3})^{-0.13} \quad 0.3 \leq R/Q^{1/3} \leq 10 \quad (\text{Hz}) \quad (3.56)$$

olarak verilmektedir (Wu ve Hao, 2005c).

3.5 Çelik Taşıyıcı Sistemli Ayaklı Su Deposunun İncelenmesi

Bu çalışmada, patlama kaynaklı yer hareketlerinin yapılar üzerindeki dinamik etkilerini araştırmak amacıyla, çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı su deposu incelenmiştir (Şekil 3.4a). Bu ayaklı su deposu, Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanan ANSYS yazılımıyla (ANSYS, 2011) modellenerek patlama kaynaklı yer hareketlerinin sonuçları değerlendirilmiştir (Şekil 3.4b). Şekil 3.5'de ele alınan çelik taşıyıcı sistemli ayaklı su deposunun düşey kesiti görülmektedir (URL -5, 2012). Deponun hazne hacmi 30 m^3 tür. Deponun en üst kotu 15.40m'dir. Haznedeki su

kotu 14.60m'dir. Deponun taşıyıcı sisteminde 6" çapında çelik borulardan yapılmış eğik kolonlar, 2" çapında çelik borulardan yapılmış kirişler, 60cm çapında çelik borudan yapılmış içme suyu borularını da içine alan ve taşıyıcı özelliği olan boru menholü kullanılmıştır. Ayaklı deponun hazne kısmı 6mm kalınlığında kabuktan yapılmıştır. Yine Ø20'lik demir ile diyagonal elemanlar stabilite bağlantısı için kullanılmıştır. Malzeme özellikleri Çizelge 3.3'de verilmektedir. Zemin olarak granit zemin ortamı dikkate alınmıştır. Granit zemin için sönüm oranı 0.6 alınmıştır.

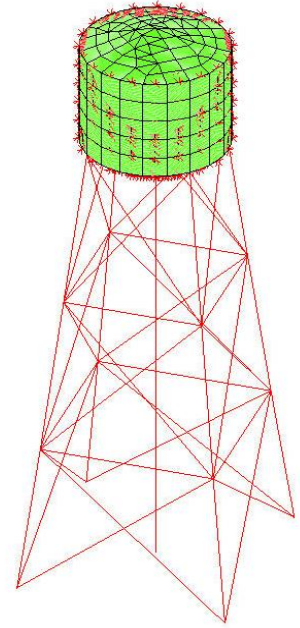
Çizelge 3.3: Malzeme Özellikleri

Malzeme	Elastisite -Bulk Modülü(kg/m ²)	Poisson Oranı	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Sönüm Oranı
Çelik	2.1e10	0.3	7860	0.05
Su	2e8	-	999.18	-

ANSYS yazılımında(ANSYS,2011) eğik kolonlar ve kirişler BEAM188 ile, gergi çubukları LINK180 ile, hazne kabuğu SHELL63 ile, su ise FLUID80 sonlu elemanı ile modellenmiştir (Şekil 3.4b).

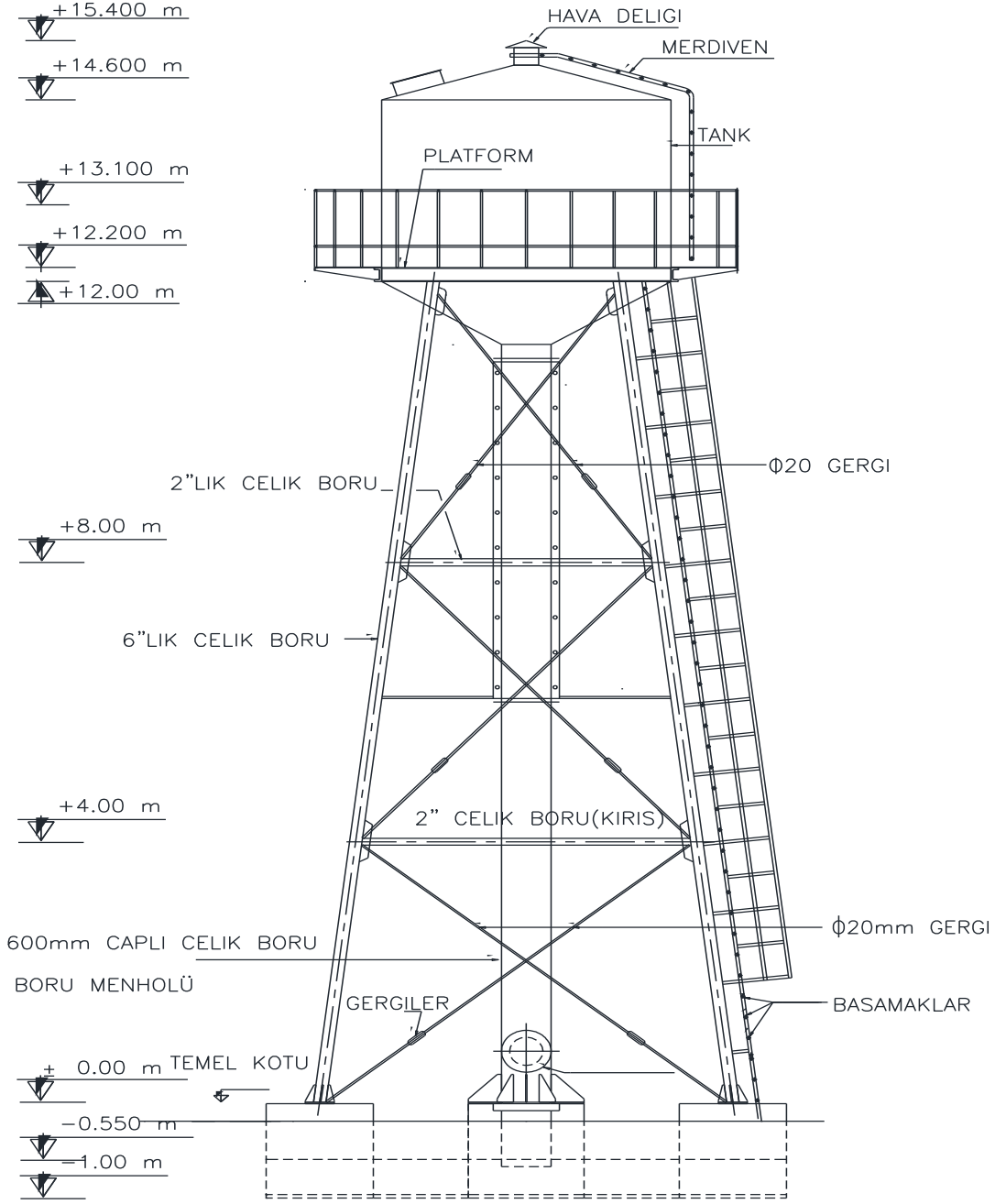


(a)



(b)

Şekil 3.4: (a) Çelik taşıyıcı sistemli ayaklı su deposu (URL -4, 2012)
(b) Sonlu eleman modeli.

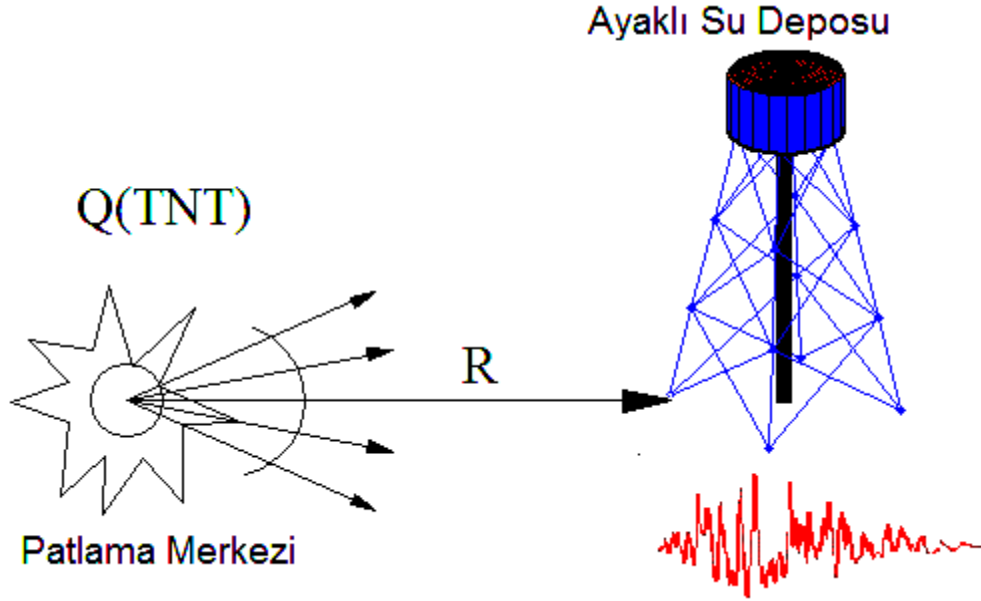


DUSEY KESIT

Şekil 3.5: Çelik taşıyıcı sistemli ayaklı su deposunun düşey kesiti (URL -5,2012).

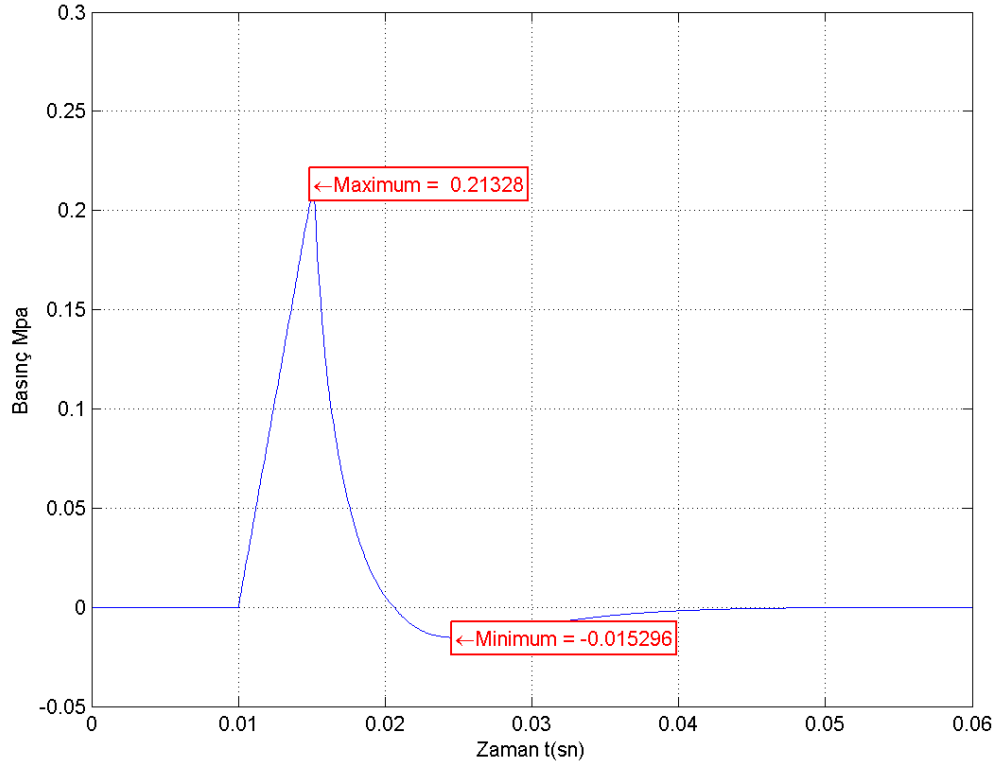
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Patlama Basınç Grafiğinin Elde Edilmesi

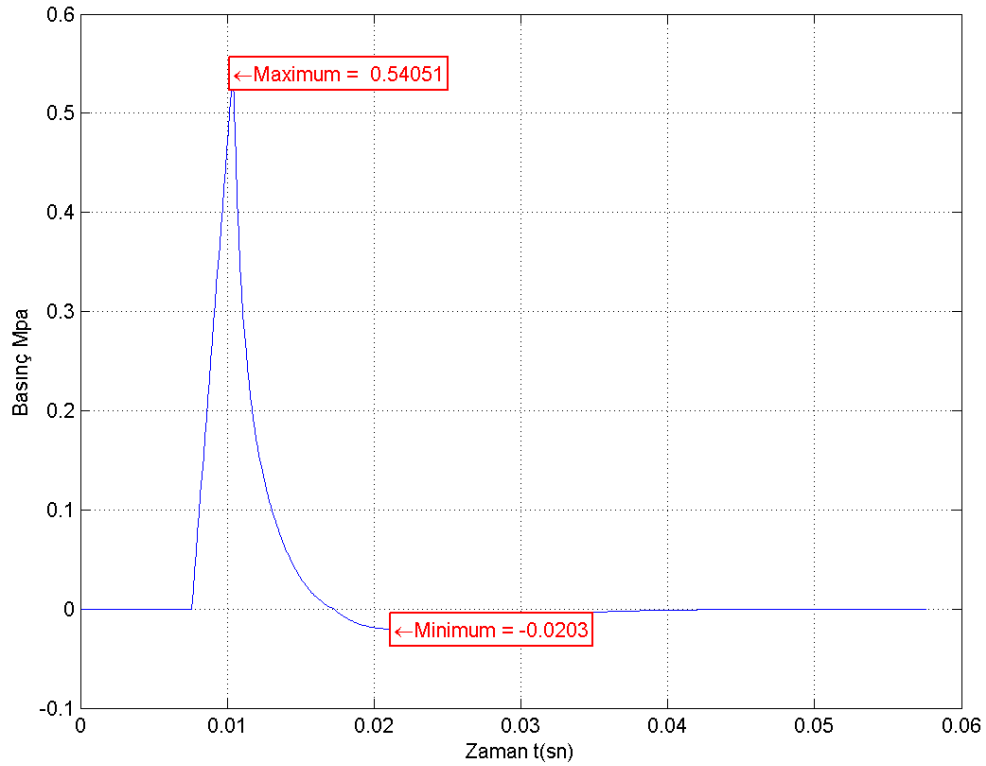


Şekil 4.1: Patlama merkezinden R uzaklığındaki ayaklı su deposu.

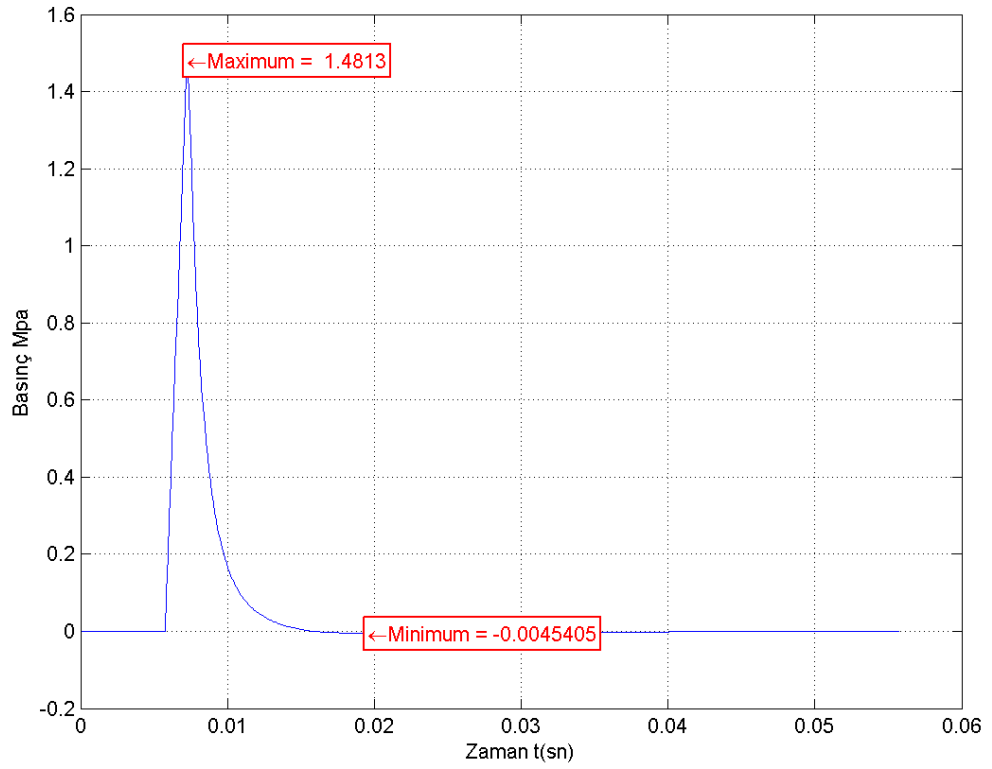
Şekil 4.1'de olduğu gibi yer yüzeyinde veya yer yüzeyi yakınlarında meydana gelen patlamalar açık havada bir basınç oluşturmaktadır. Bölüm 3'deki denklemler kullanılarak geliştirilen BlastGM(Artificial Generation of Blast Induced Ground Motion) yazılımı ile bu basınç grafikleri elde edilebilmektedir (EK-A). Çeşitli patlayıcı yoğunlukları ile 10 m uzaklık için patlama basınç grafikleri yazılımla çizdirilmiştir. Patlayıcı miktarları (Q,TNT) 100kg, 400kg, 1600kg, 6400kg, 25600kg seçilmiştir (Şekil 4.2-4.6). Şekil 4.2-4.6 incelendiğinde patlayıcı miktarı arttıkça basınç da artmaktadır. BlastGM yazılımı ile elde edilen basınç grafikleri diğer çalışmalarla uyum içindedir (Wu ve Hao,2005c, Özmen,2010).



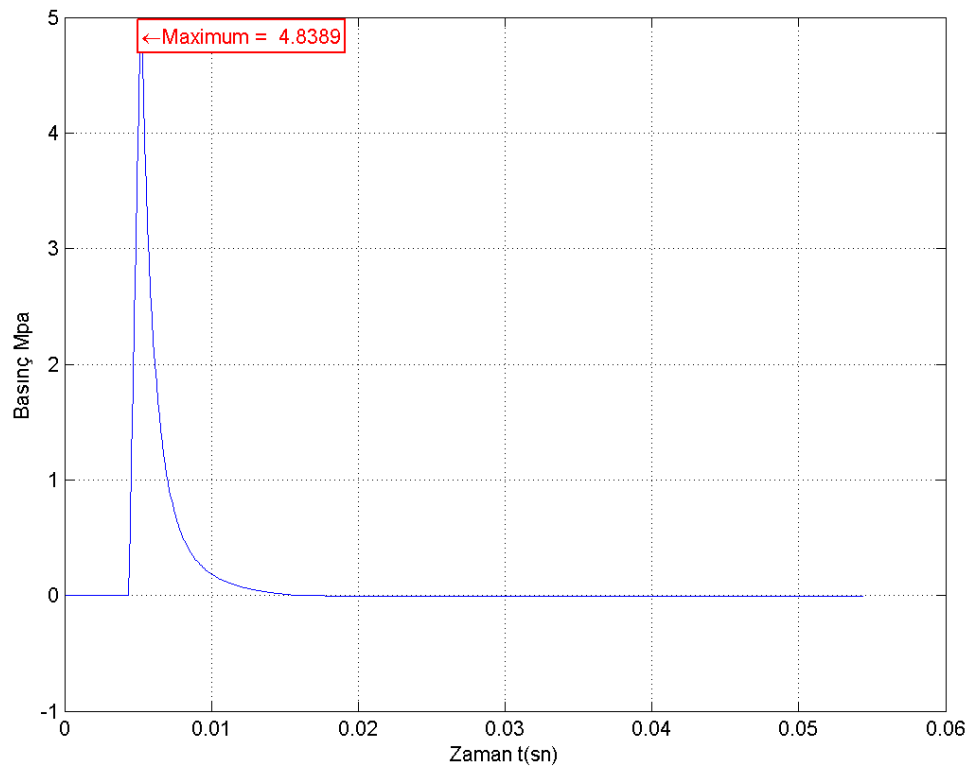
Şekil 4.2: Patlama merkezine 10m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.



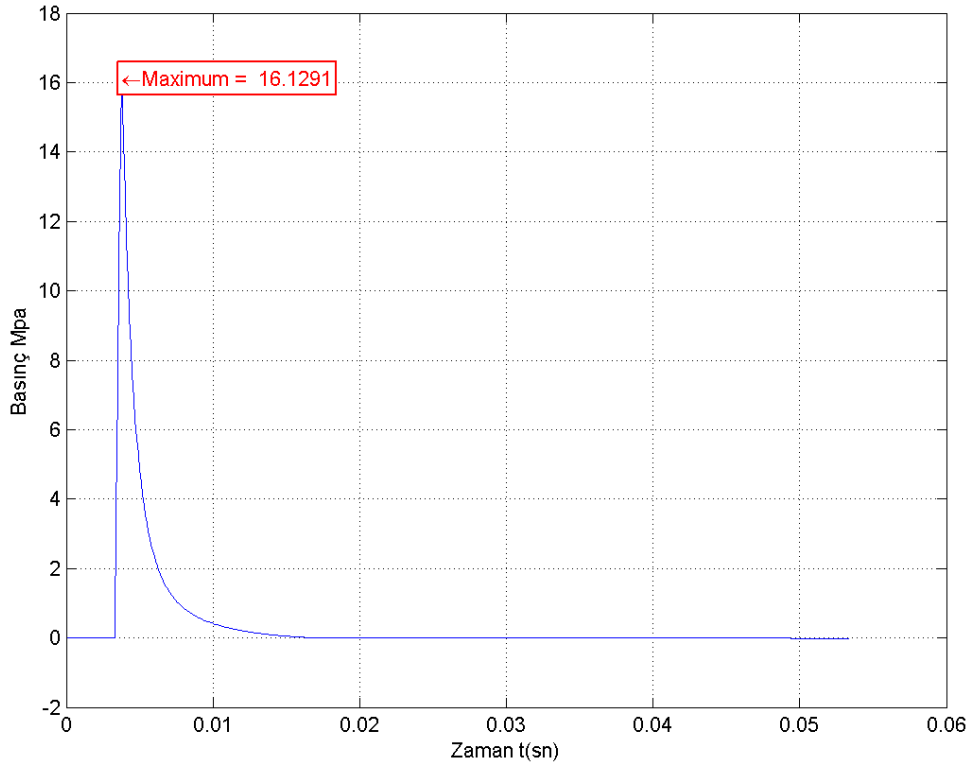
Şekil 4.3: Patlama merkezine 10m mesafede, 400kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.



Şekil 4.4: Patlama merkezine 10m mesafede, 1600kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.



Şekil 4.5: Patlama merkezine 10m mesafede, 6400kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.



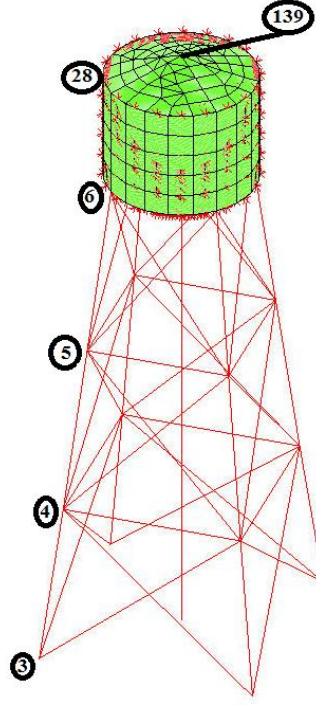
Şekil 4.6: Patlama merkezine 10m mesafede, 25600kg patlayıcı ile oluşan basınç değişimi.

4.2 Patlama Kaynaklı Yer Hareketlerinin Dinamik Analiz Sonuçları

Patlama kaynaklı yer hareketlerinin yatay ivme değerleri ampirik formüllerden edilmektedir. Bu formüllerden elde edilen maksimum ivme değeri kullanılarak, zamana bağlı ivme, hız, yerdeğiştirme değişimleri elde edilmektedir (EK-A). Zamana bağlı bu değerler şekil fonksiyonu (Şekil 4.11) yardımıyla rastgele işlem yöntemini kullanan BlastGM yazılımı sayesinde elde edilmektedir. 100kg, 500kg, 1000kg gibi çeşitli patlayıcı(TNT) ağırlıkları sırasıyla 20m, 40m uzaklıklar için ivme, hız, ve yerdeğiştirme değerleri Şekil 4.8-4.31 ve Şekil 4.40-4.63'te verilmiştir. Şekil 4.8-4.31 ve Şekil 4.40-4.63'de ivmenin, hızın, yerdeğiştirmenin maksimum ve minimum değerleri verilmektedir. Ayrıca BlastGM yazılımında uzaklığa ve patlayıcı ağırlığına bağlı hesaplanan maksimum ivme değerleri MAXACC ile ifade edilmektedir. Şekillerden hesaplanan MAXACC değerlerinin hesaplanan ivme kayıtlarındaki maksimum ivme değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, daha önce kaya zemin için yapılmış olan deneysel çalışmaların kaynak alınması sebebiyle malzeme granit zemin olarak dikkate alınmıştır. Şekil

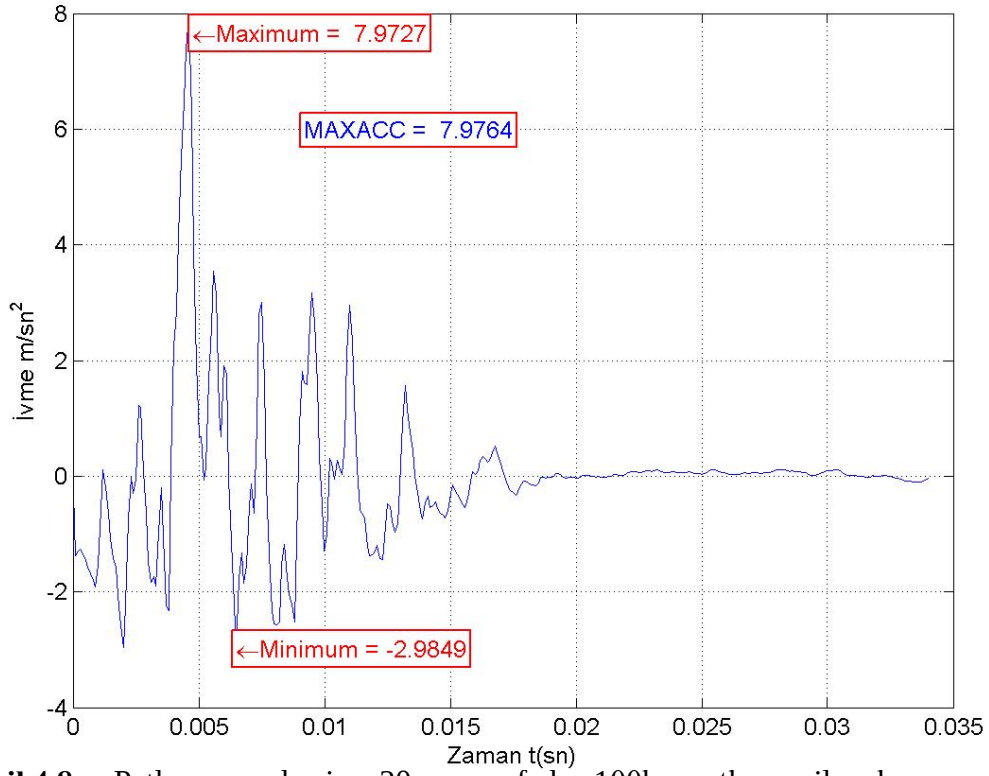
4.7'de çeşitli yer hareketleri dikkate alınarak ayaklı su deposunun x yönündeki yatay yerdeğiştirmeleri hesap edilmiştir. Ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca 3, 4, 5, 6, 28 ve 139 nolu düğüm noktaları için elde edilen gerilme ve yerdeğiştirme değerleri Çizelge 4.1-4.4'te ve Şekil 4.32-4.33, Şekil 4.64-4.65'te grafikler halinde sunulmuştur. Ayaklı su deposuna ait x yönündeki gerilmeler Şekil 4.34-4.39 ve Şekil 4.66-4.69'da gösterilmektedir. Çelik taşıyıcı sistemli ayaklı su deposunun patlama kaynaklı yer hareketi dinamik analizinde 1.periyodu $T=0.723\text{sn}$, 2.periyodu $T=0.720\text{sn}$ ANSYS programı (ANSYS,2011) ile elde edilmiştir.



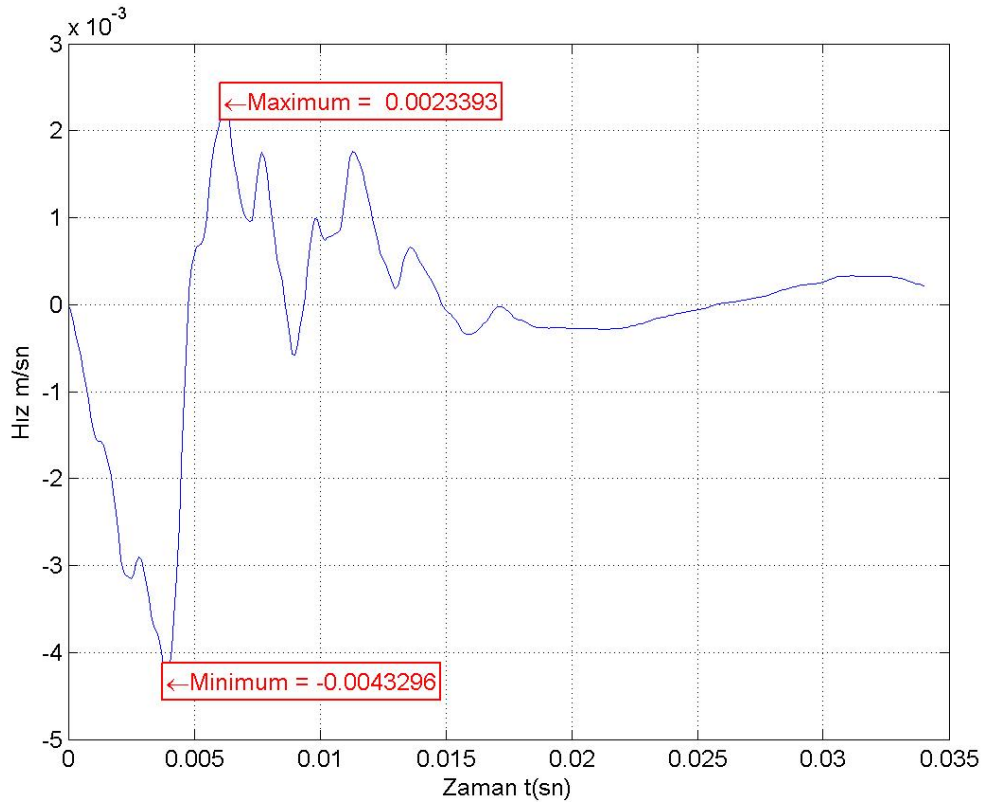
Şekil 4.7: Ayaklı su deposunda dikkate alınan düğüm noktası numaraları.

4.2.1 Hava şoku etkili yer hareketi analiz sonuçları

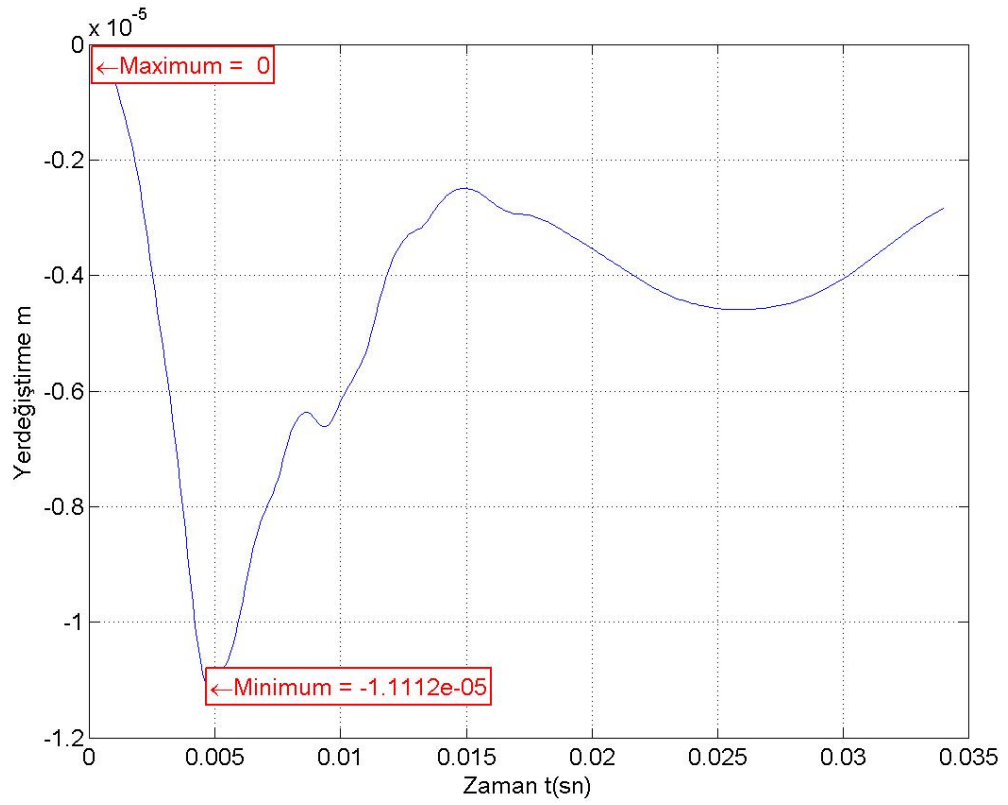
Şekil 4.8-4.31 hava şoku etkili yer hareketine ait zamana bağlı ivme, hız ve yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Şekil 4.8-4.31 incelendiğinde patlayıcı miktarı arttıkça maksimum ivme, hız ve yer değiştirme de artmaktadır. Patlayıcı miktarı arttıkça etkiye süresi de uzamaktadır. Patlayıcı miktarı sabit iken, eğer patlama merkezinden dik uzaklık artarsa maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme azalmaktadır. Şekil 4.8-4.31 ve Şekil 4.40-4.63 karşılaştırıldığında hava şoku etkili yer hareketi kayıtlarının, direkt etkili yer hareketi kayıtlarından daha küçük çıktığı görülmektedir.



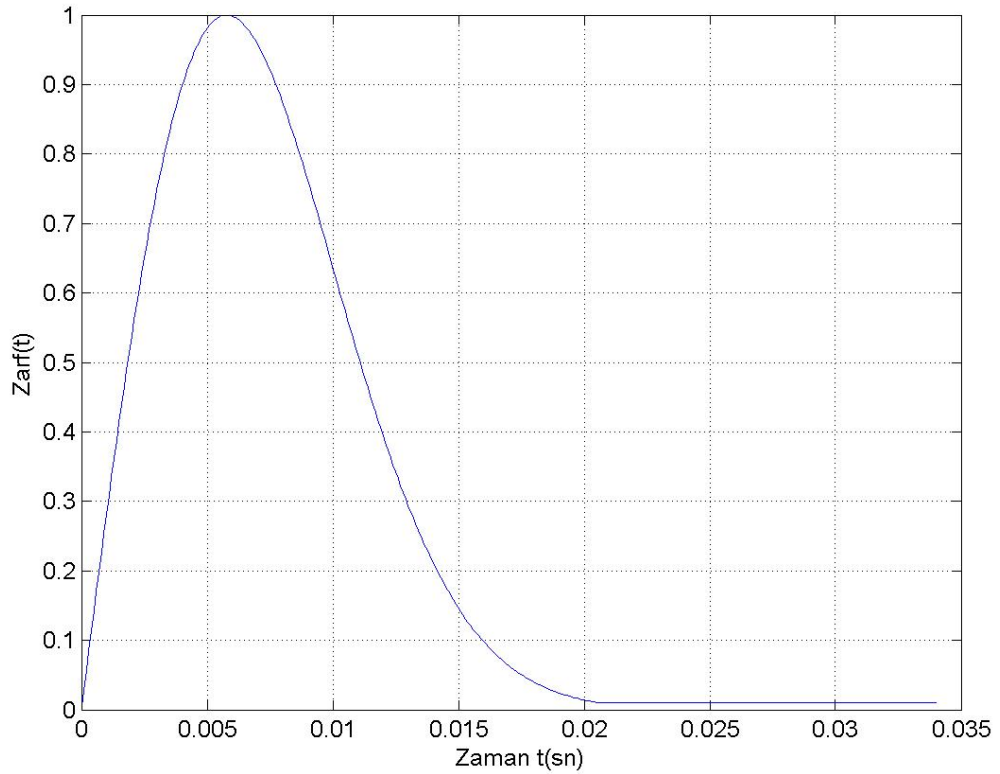
Şekil 4.8: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



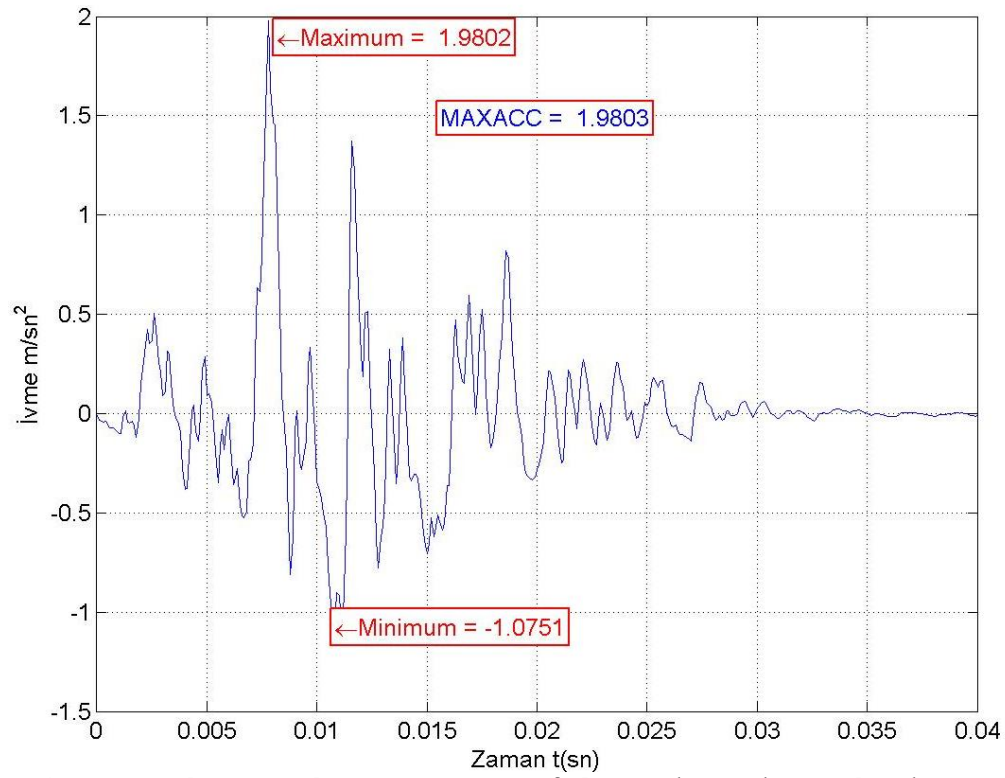
Şekil 4.9: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



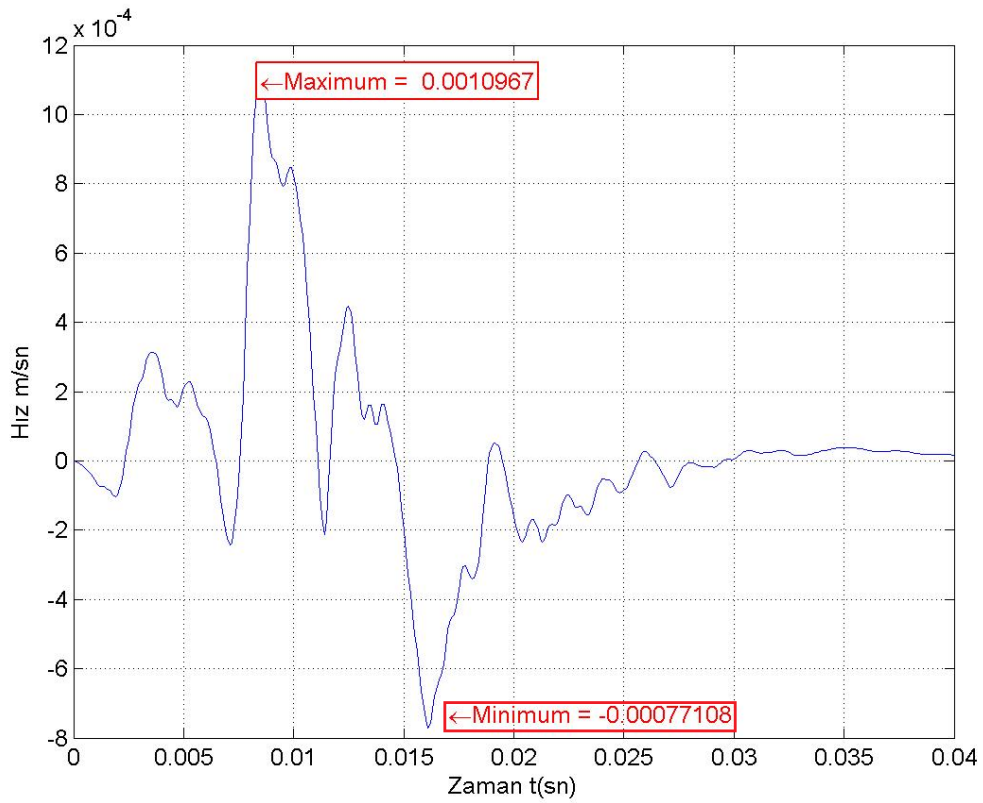
Şekil 4.10: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



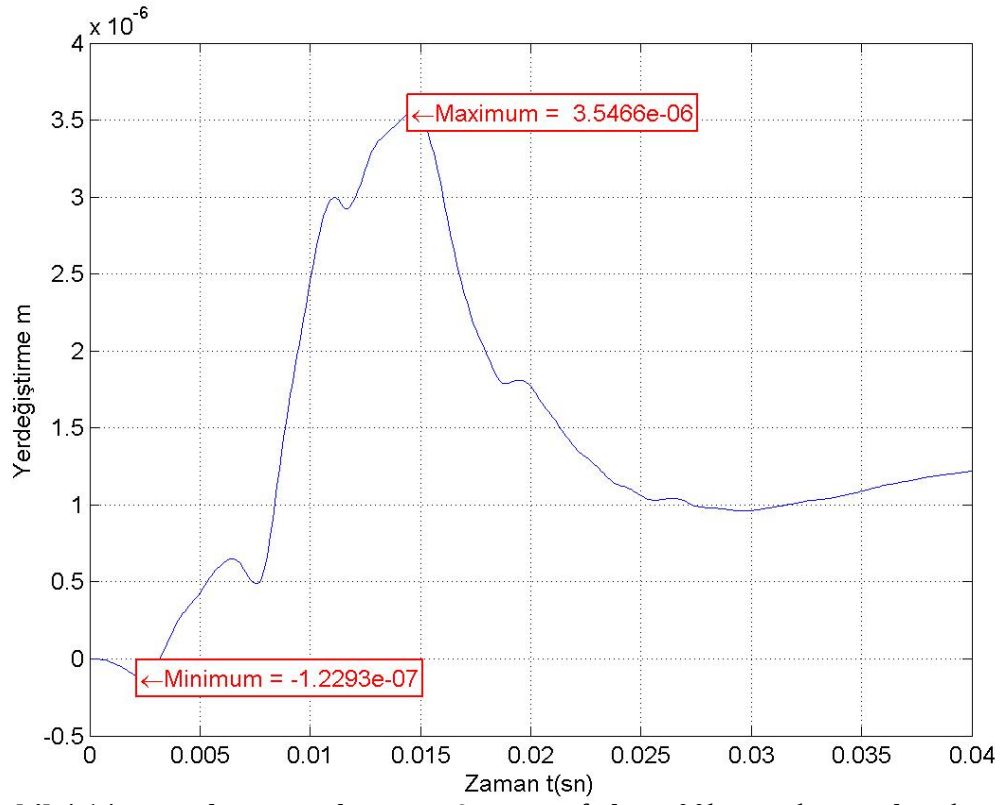
Şekil 4.11: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



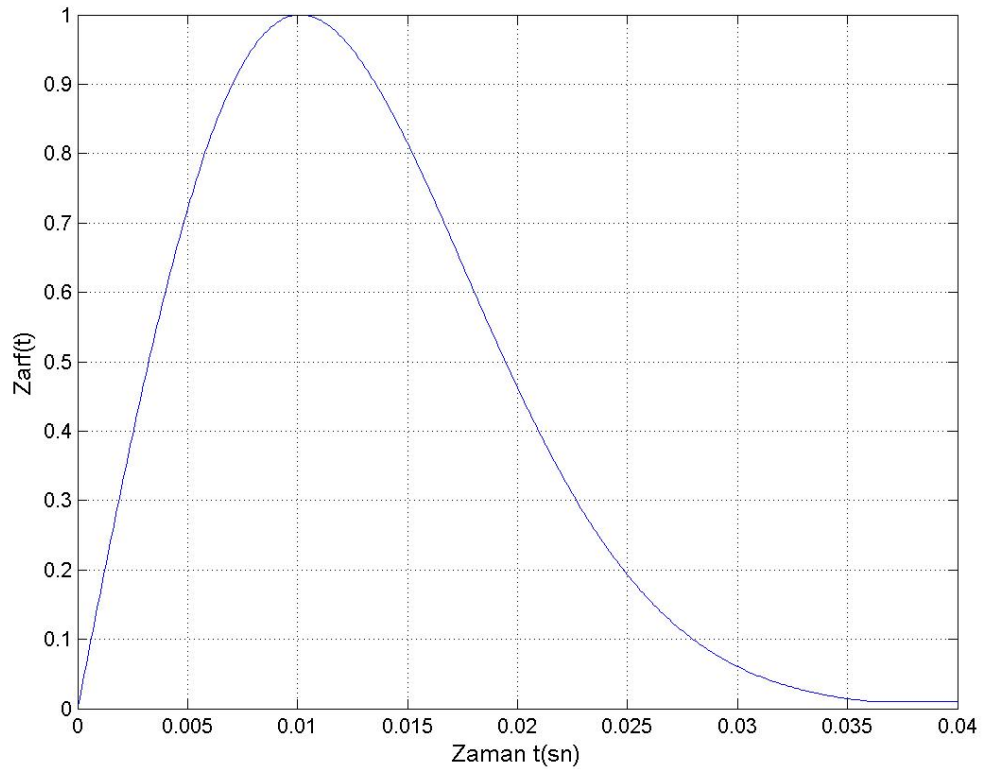
Şekil 4.12: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



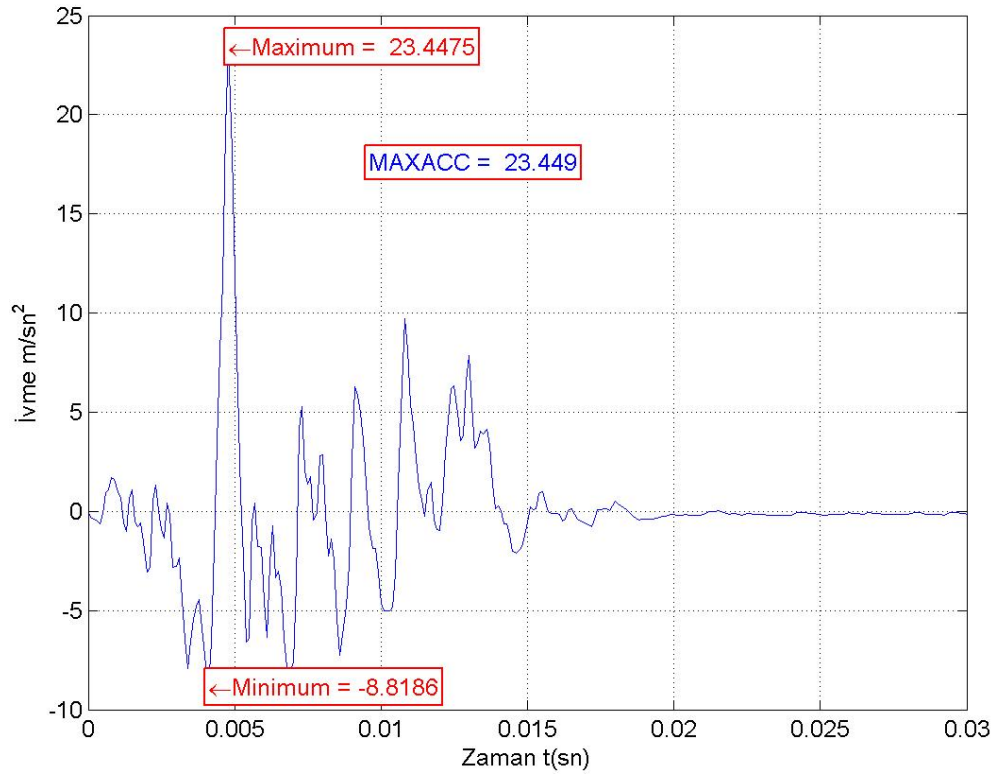
Şekil 4.13: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



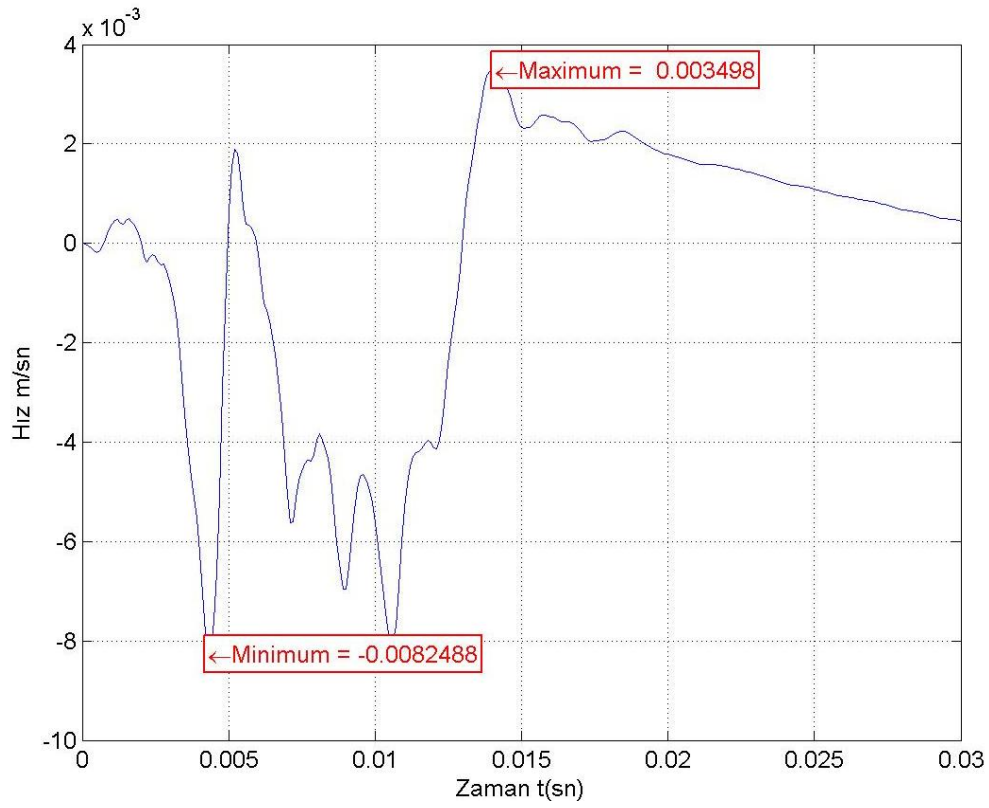
Şekil 4.14: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



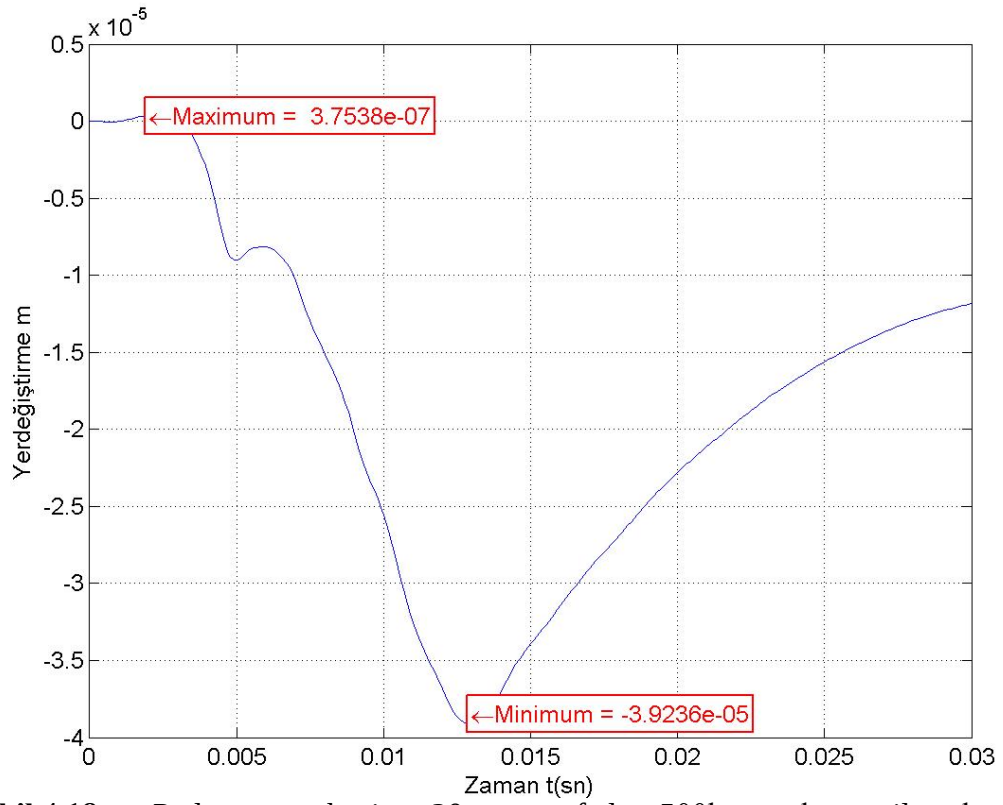
Şekil 4.15: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



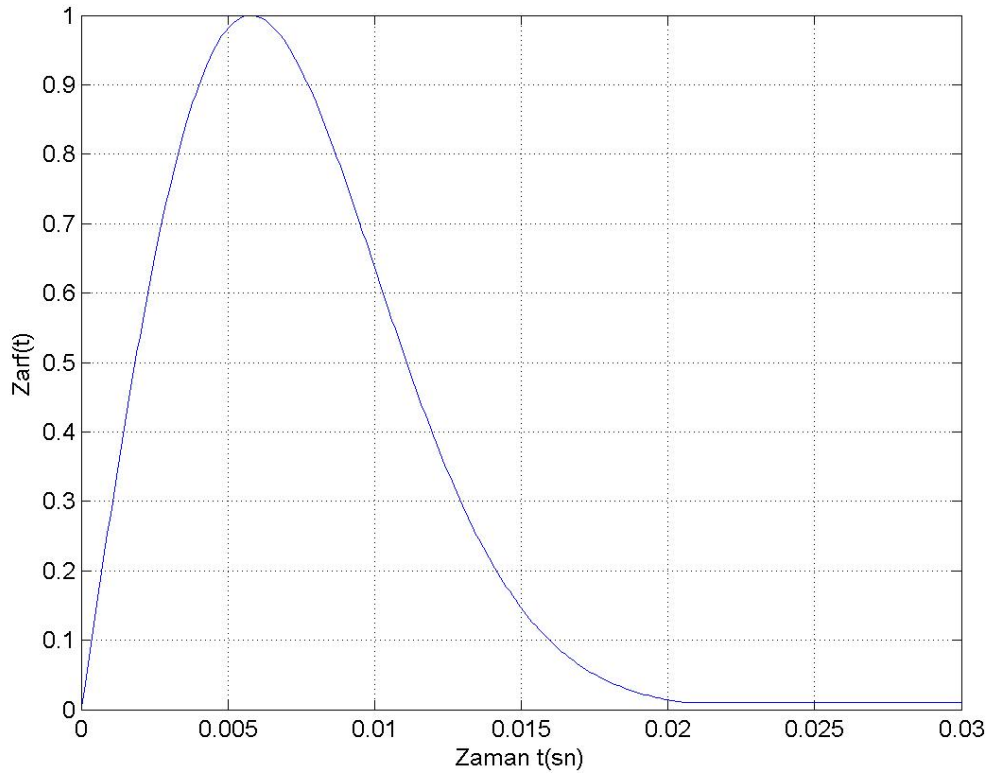
Şekil 4.16: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



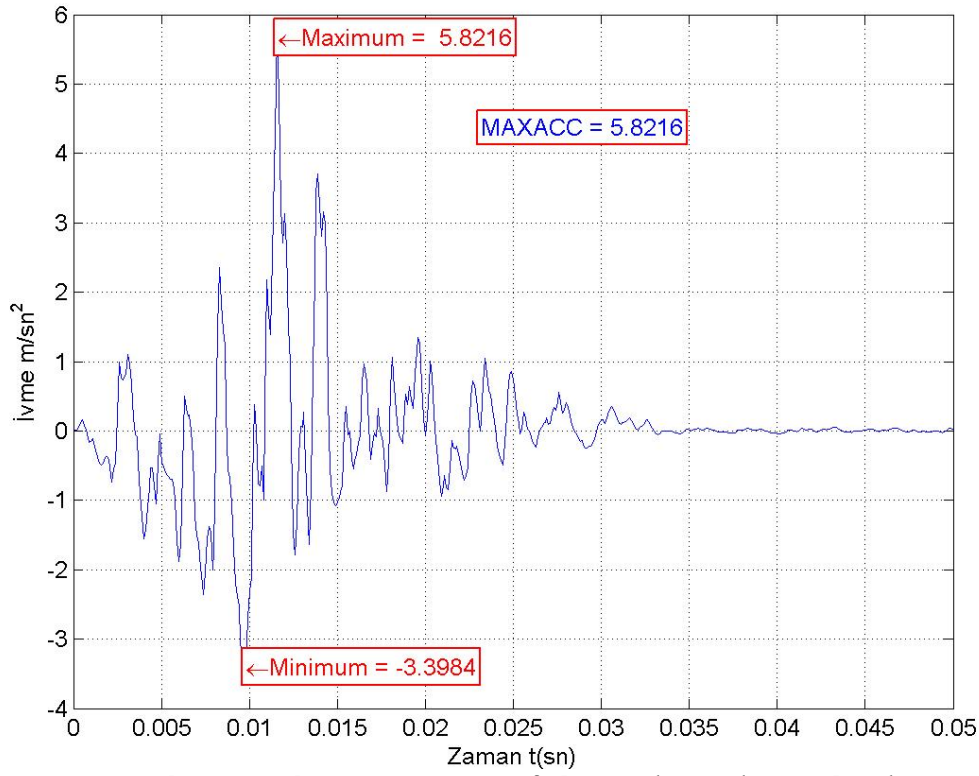
Şekil 4.17: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi



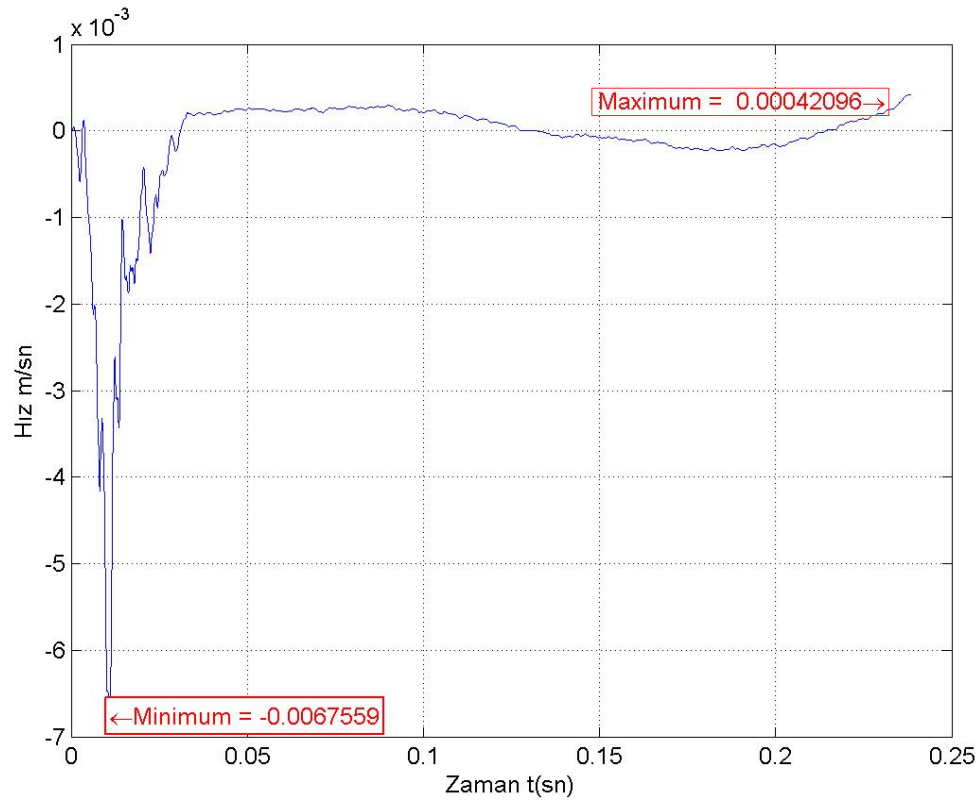
Şekil 4.18: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



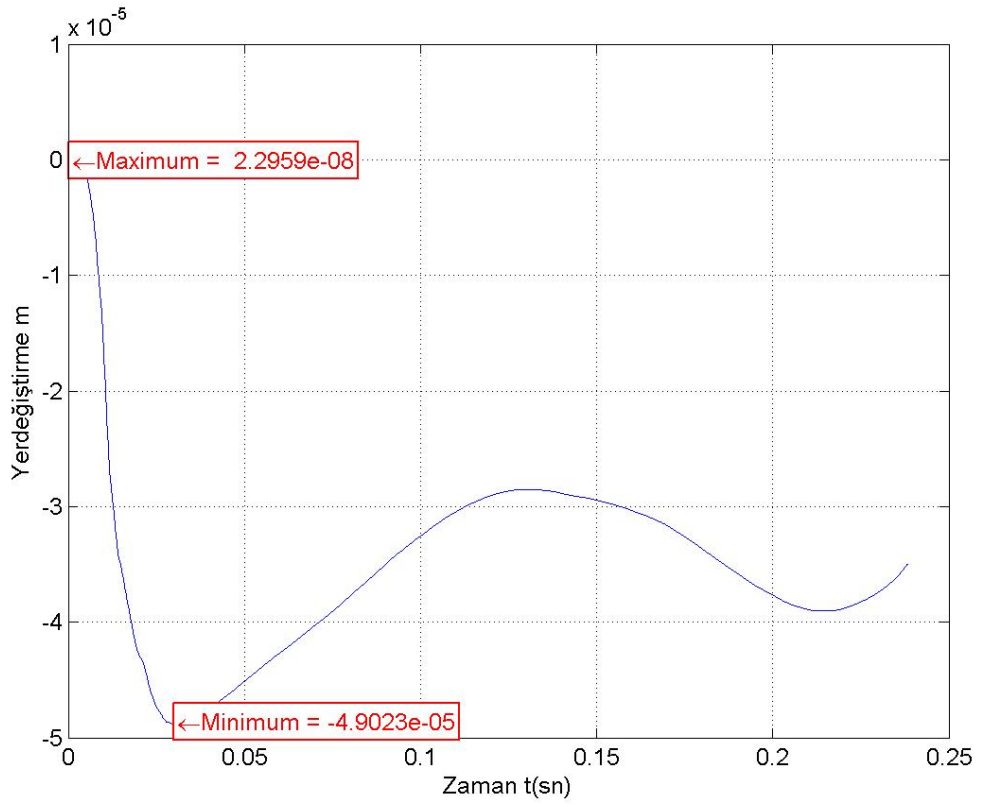
Şekil 4.19: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



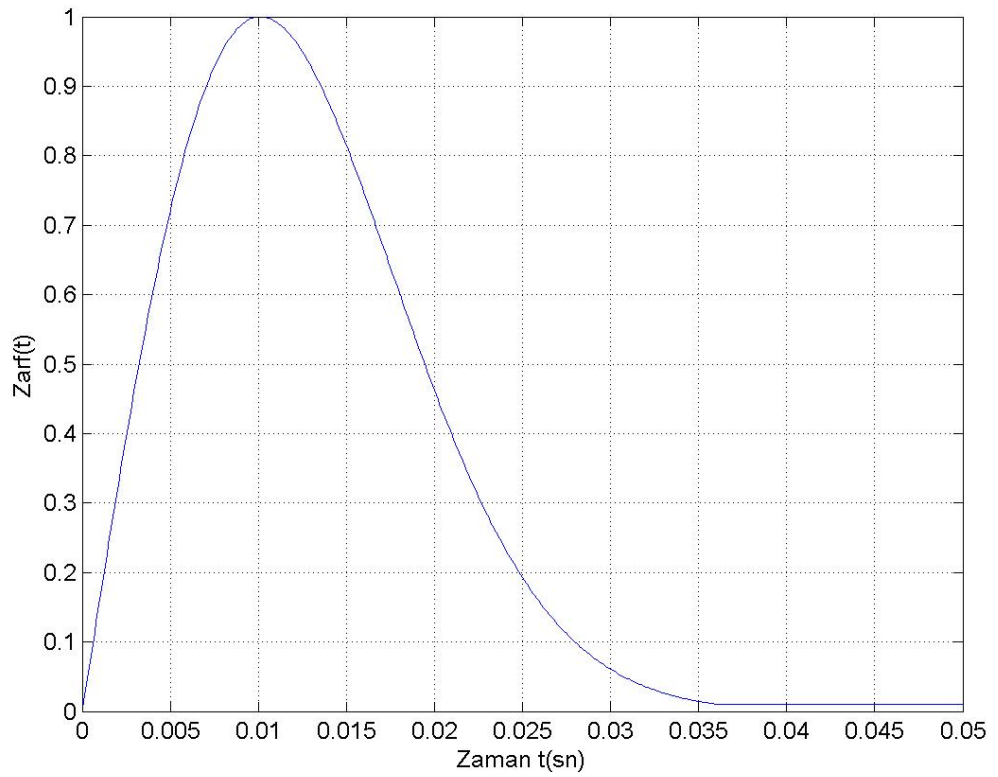
Şekil 4.20: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



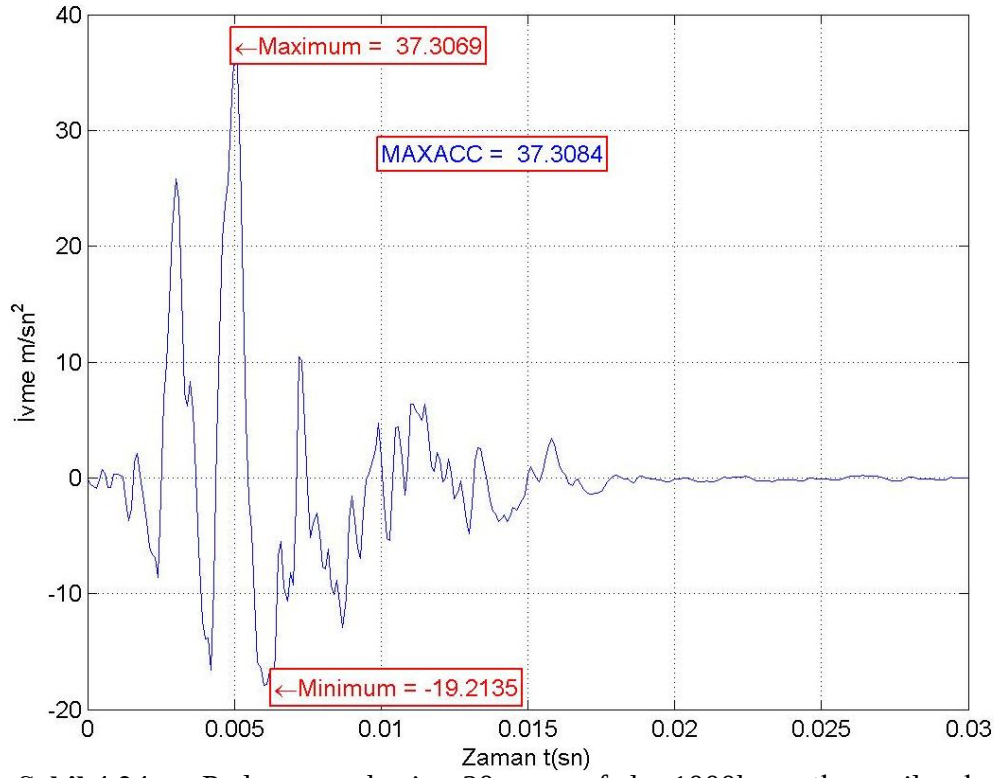
Şekil 4.21: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



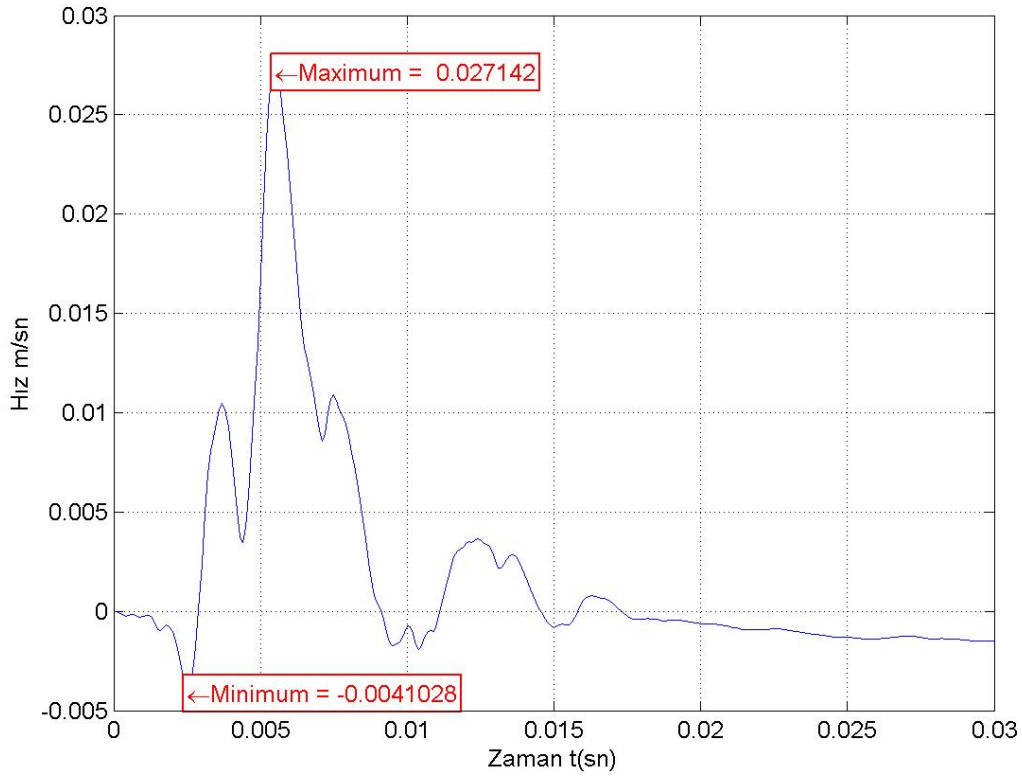
Şekil 4.22: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



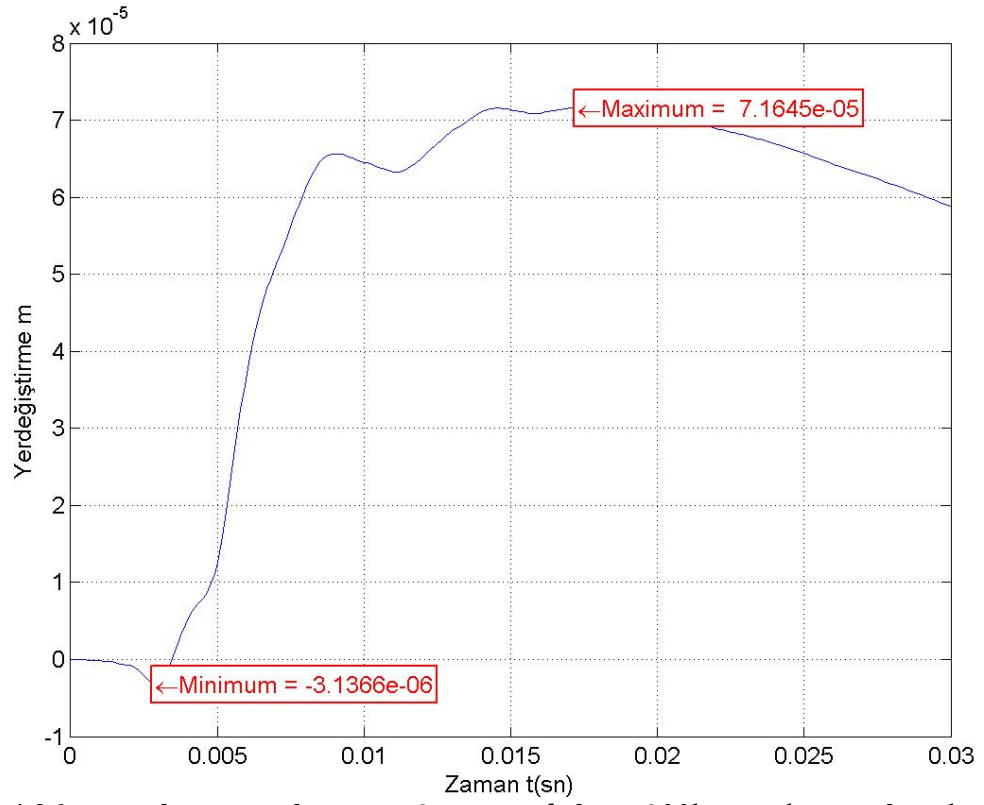
Şekil 4.23: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



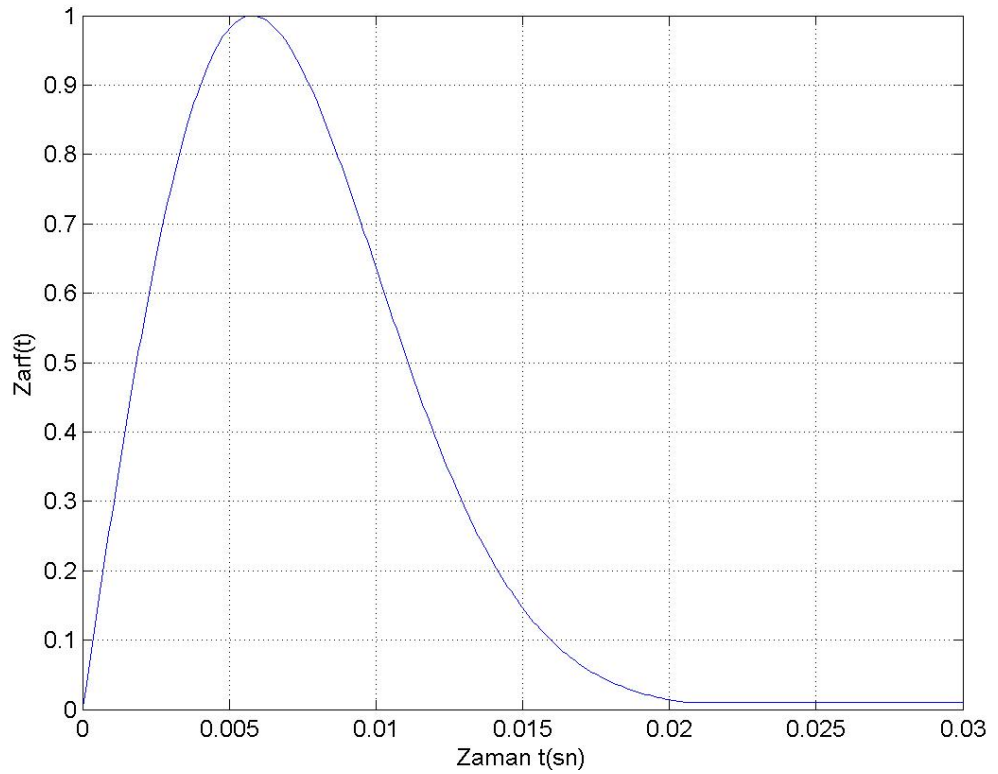
Şekil 4.24: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



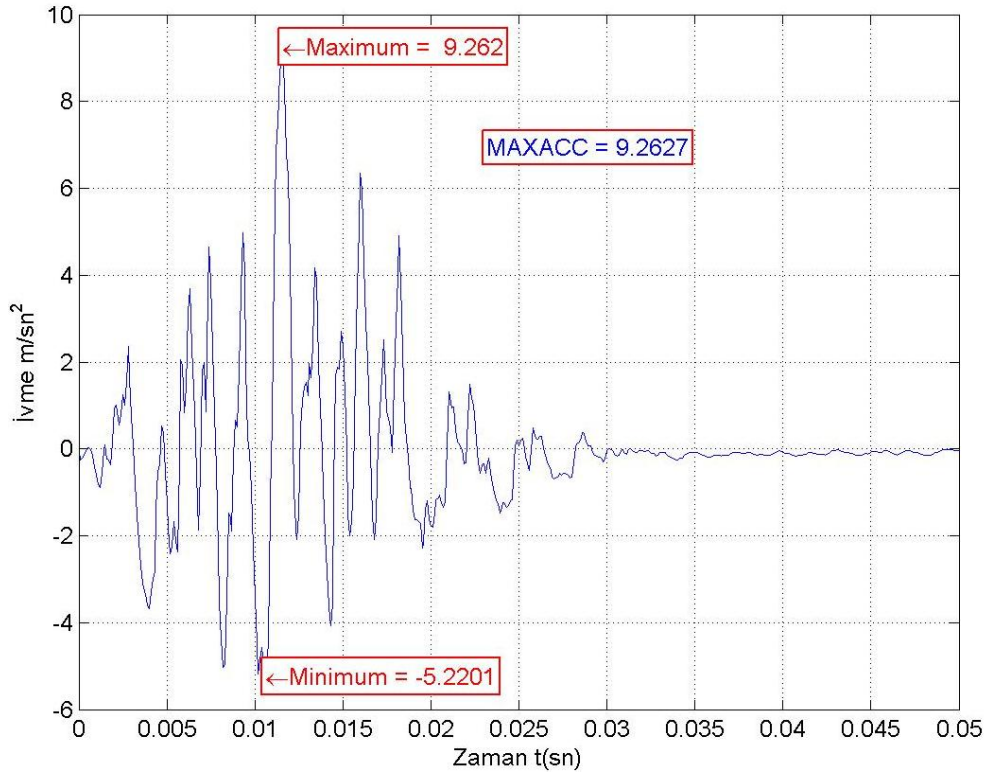
Şekil 4.25: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



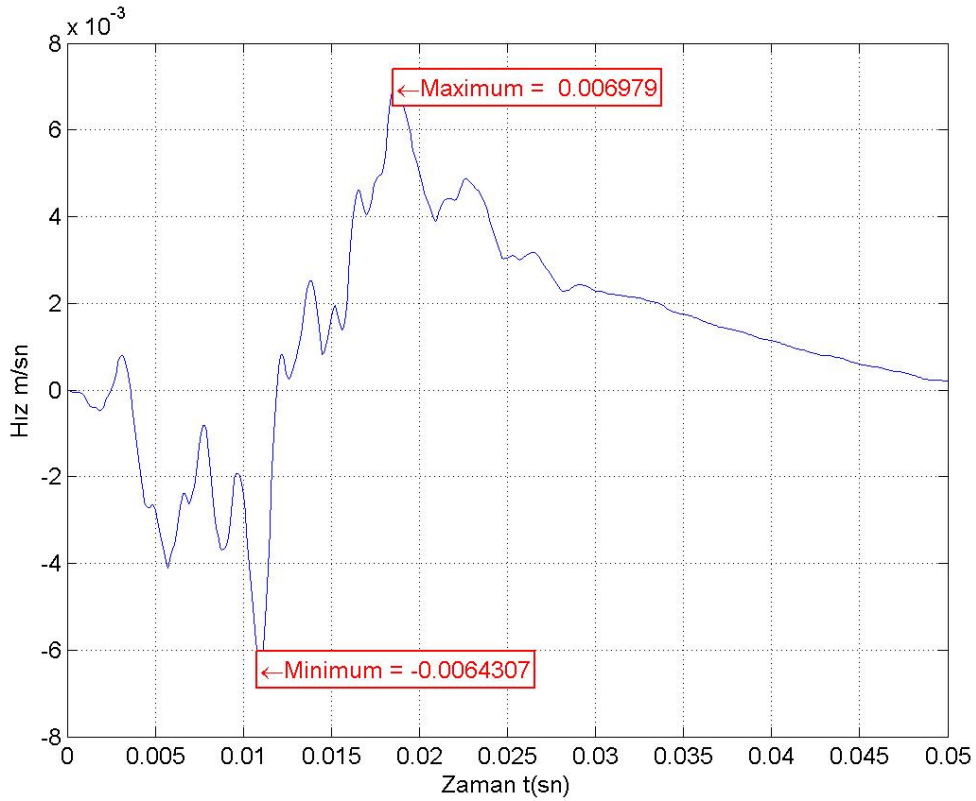
Şekil 4.26: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



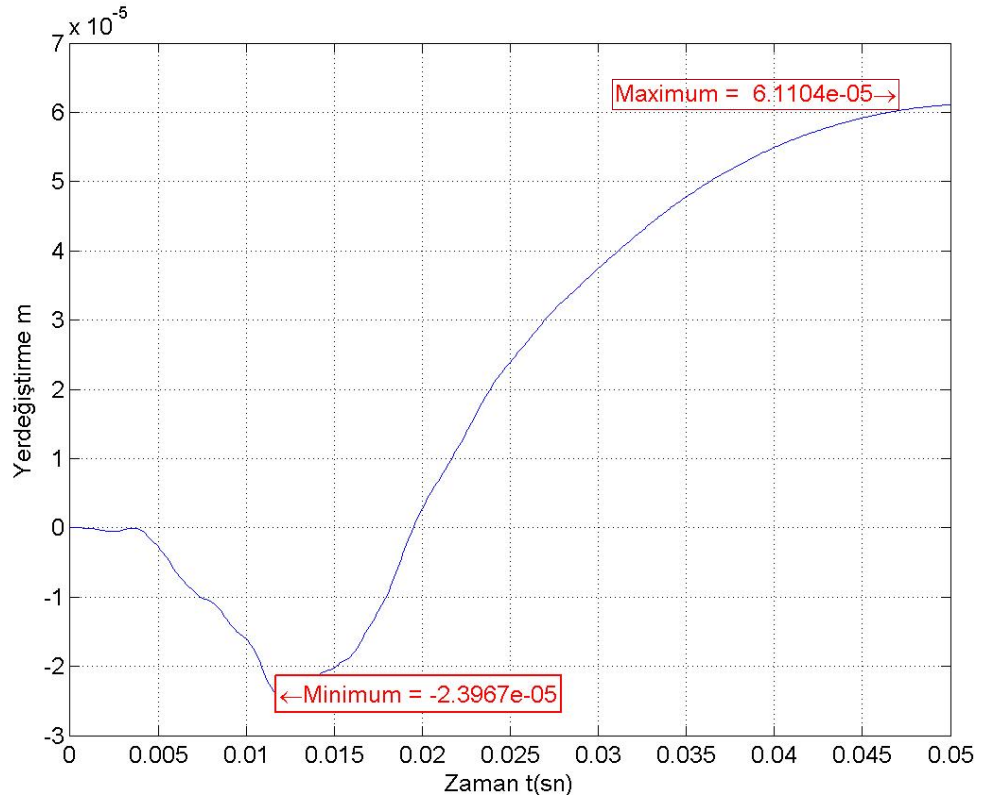
Şekil 4.27: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



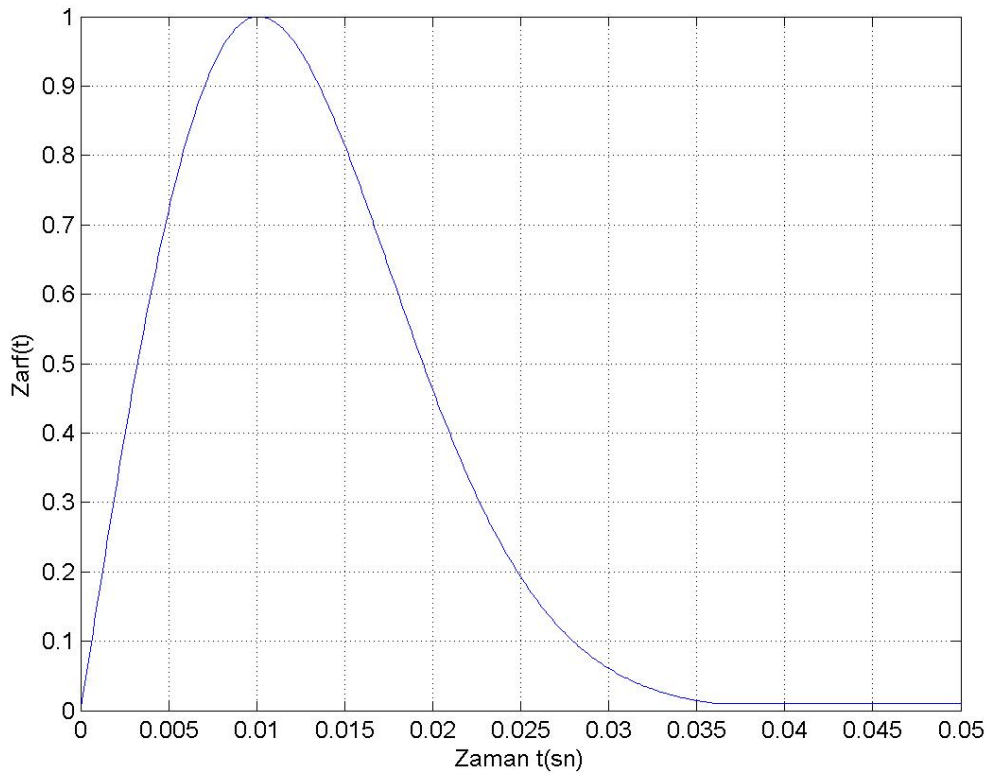
Şekil 4.28: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



Şekil 4.29: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



Şekil 4.30: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.

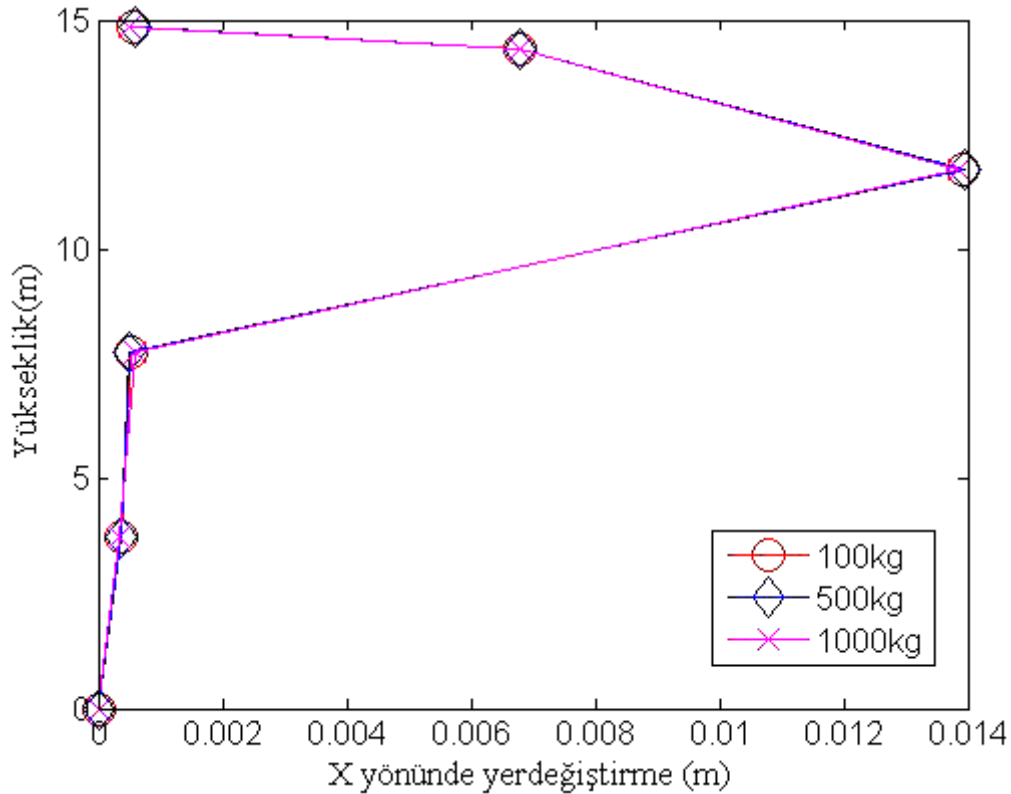


Şekil 4.31: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.

Hava şoku etkili yer hareketi etkisi altındaki çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı su deposunun dinamik analizi sonlu elemanlar yazılımı (ANSYS,2011) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çeşitli patlayıcı ağırlıkları (100kg, 500kg, 1000kg) ve patlama merkezine farklı uzaklıklar (20m, 40m) için yapılan dinamik analizlerde, depo yüksekliğince bakılan 3, 4, 5, 6, 28 ve 139 nolu düğüm noktaları boyunca elde edilen x yönündeki yerdeğiştirmeler Çizelge 4.1-4.2 ve Şekil 4.32-4.33'de verilmektedir.

Çizelge 4.1: 20m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde hava şoku etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.

Yükseklik(m)	Düğüm Noktası	X Yönündeki Yerdeğiştirme(m)		
		Q=100kg	Q=500kg	Q=1000kg
0.00	3	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
3.75	4	0.0003781830	0.0003804110	0.0003352860
7.75	5	0.0005260940	0.0005009240	0.0006042620
11.75	6	0.0139195000	0.0139386000	0.0138458000
14.35	28	0.0067986200	0.0067986300	0.0067986300
14.85	139	0.0005744610	0.0006071490	0.0005071430

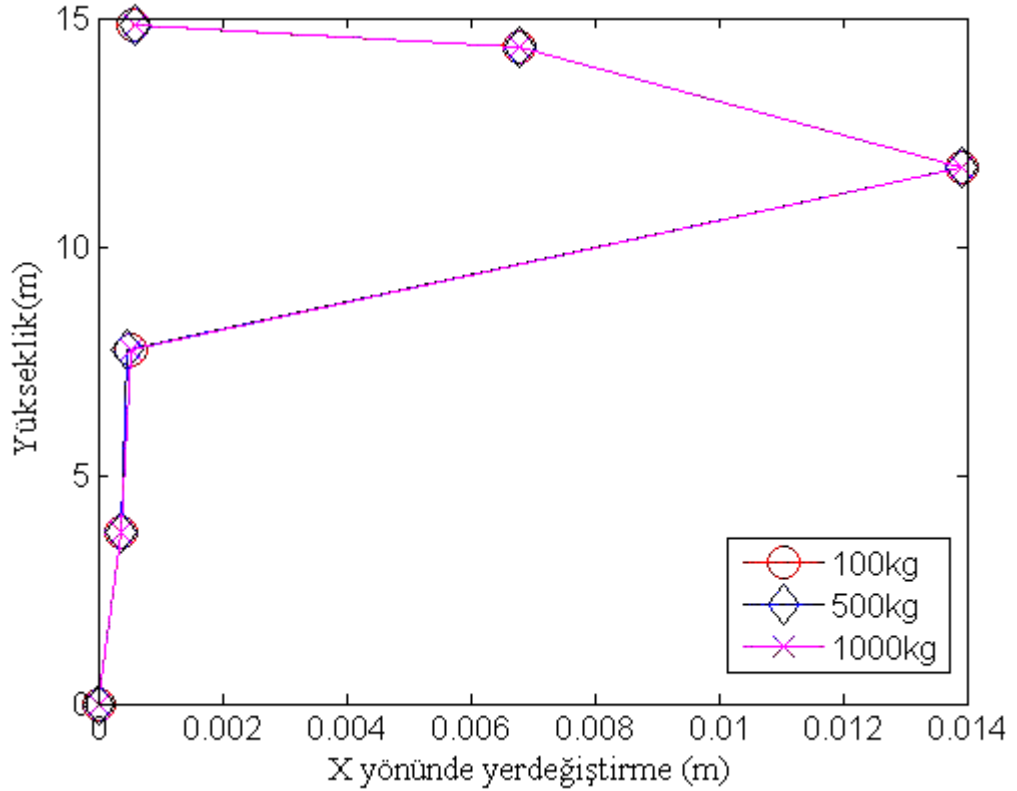


Şekil 4.32: 20m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde hava şoku etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.32'ten de görüldüğü gibi patlayıcı ağırlığı artarken düğüm noktalarına ait x yönündeki yerdeğiştirmeler artmaktadır.

Çizelge 4.2: 40m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde hava şoku etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.

Yükseklik(m)	Düğüm Noktası	X Yönündeki Yerdeğiştirme(m)		
		Q=100kg	Q=500kg	Q=1000kg
0.00	3	0.00000000	0.00000000	0.00000000
3.75	4	0.00037517	0.00037957	0.00038266
7.75	5	0.00052223	0.00048100	0.00051927
11.75	6	0.01391120	0.01392890	0.01392970
14.35	28	0.00679864	0.00679864	0.00679863
14.85	139	0.00056744	0.00059923	0.00059271

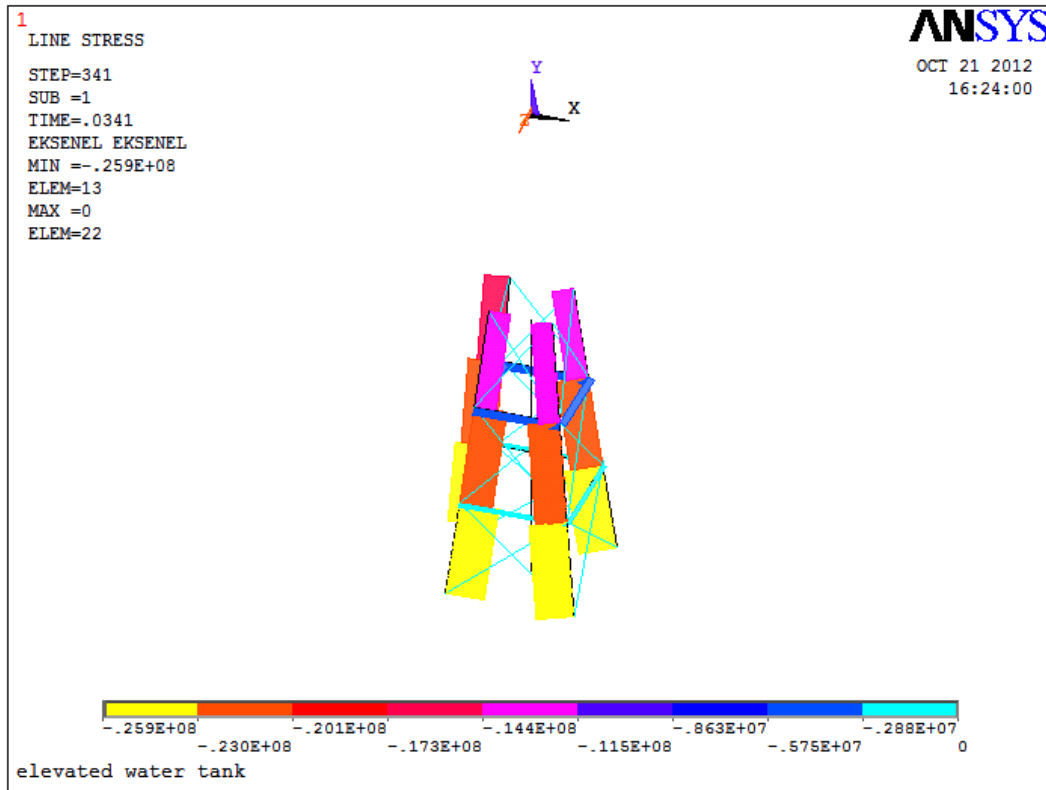


Şekil 4.33: 40m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde hava şoku etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.

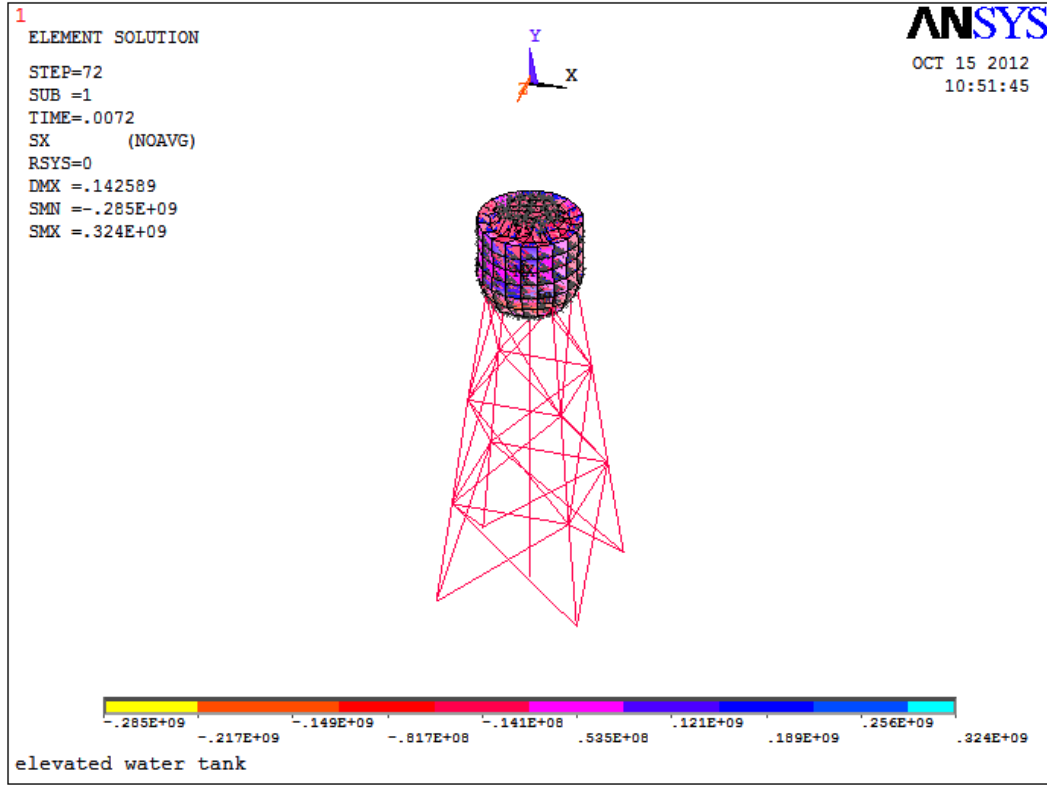
Benzer durumda Çizelge 4.2 ve Şekil 4.33 incelendiğinde patlayıcı ağırlığı artarken düğüm noktalarında meydana gelen x yönündeki yerdeğiştirmeler artmaktadır.

Şekil 4.34'te 100kg patlayıcı ile 20m uzaklıktaki, Şekil 4.35'te 100kg patlayıcı ile 40m uzaklıktaki hava şoku etkili yer sarsıntısı sebebiyle ayaklı su deposunda meydana gelen eksenel normal gerilmeler verilmektedir. Şekil 4.34-4.35'te ayaklı su deposunun kolon, kiriş ve gergi elemanlarında meydana gelen eksenel normal gerilmeler, patlayıcı ağırlığı 100kg sabit kaldığı durumda, patlama merkezine dik uzaklık arttıkça azaldığı görülmektedir.

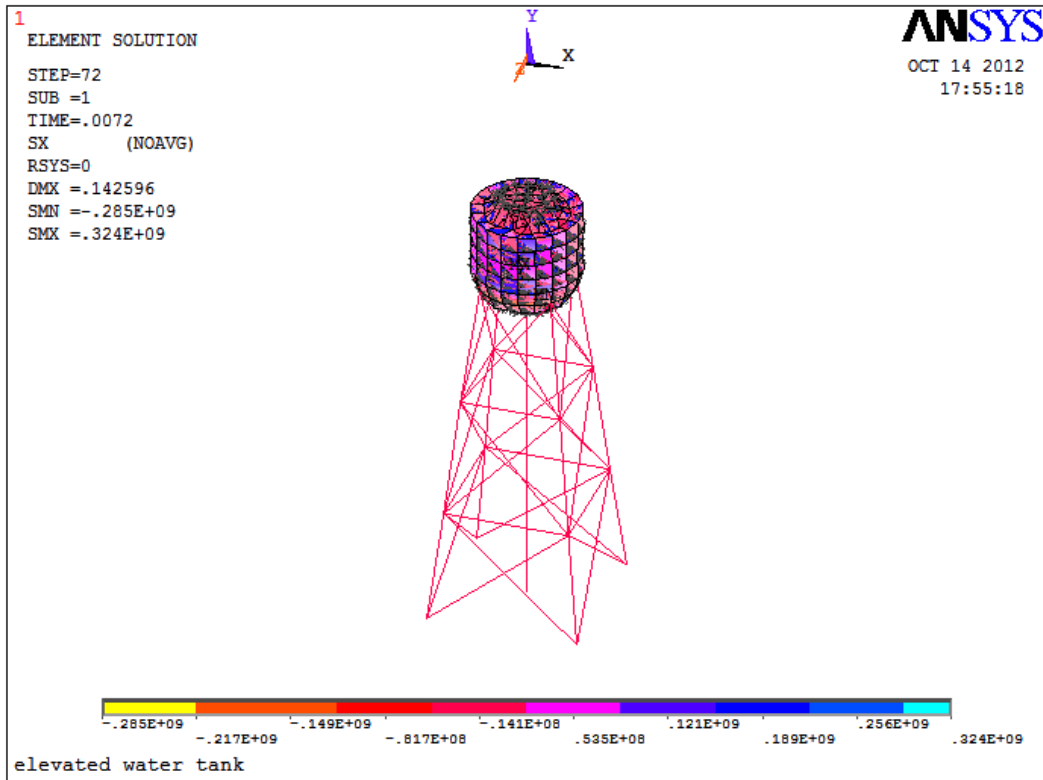
Şekil 4.36'da, 100kg patlayıcı ile 20m uzaklıktaki, Şekil 4.37'te, 100kg patlayıcı ile 40m uzaklıktaki, Şekil 4.38'de, 1000kg patlayıcı ile 20m uzaklıktaki, Şekil 4.39'da, 1000kg patlayıcı ile 40m uzaklıktaki hava şoku etkili yer hareketi sebebiyle ayaklı su deposunda meydana gelen x yönündeki gerilmeler verilmektedir. Şekil 4.36-4.39 incelendiğinde patlayıcı miktarı 100kg ve 1000kg sabit iken, patlama merkezinden dik uzaklık arttığı durumda x yönündeki gerilmeler azalmaktadır. Yine benzer şekilde patlama merkezinden dik uzaklık sabit kalırken patlayıcı miktarı artırıldığında x yönündeki gerilmeler artmaktadır.



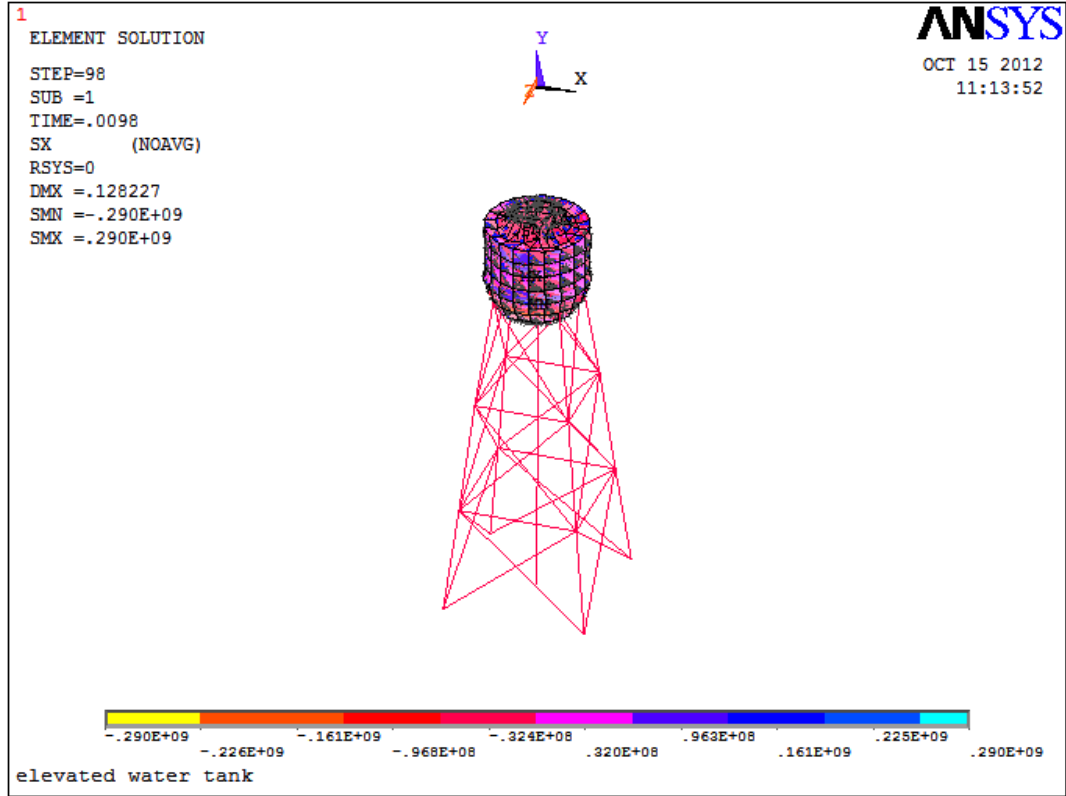
Şekil 4.34: Patlama merkezine dik uzaklık 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan eksenel normal gerilmeler.



Şekil 4.37: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.



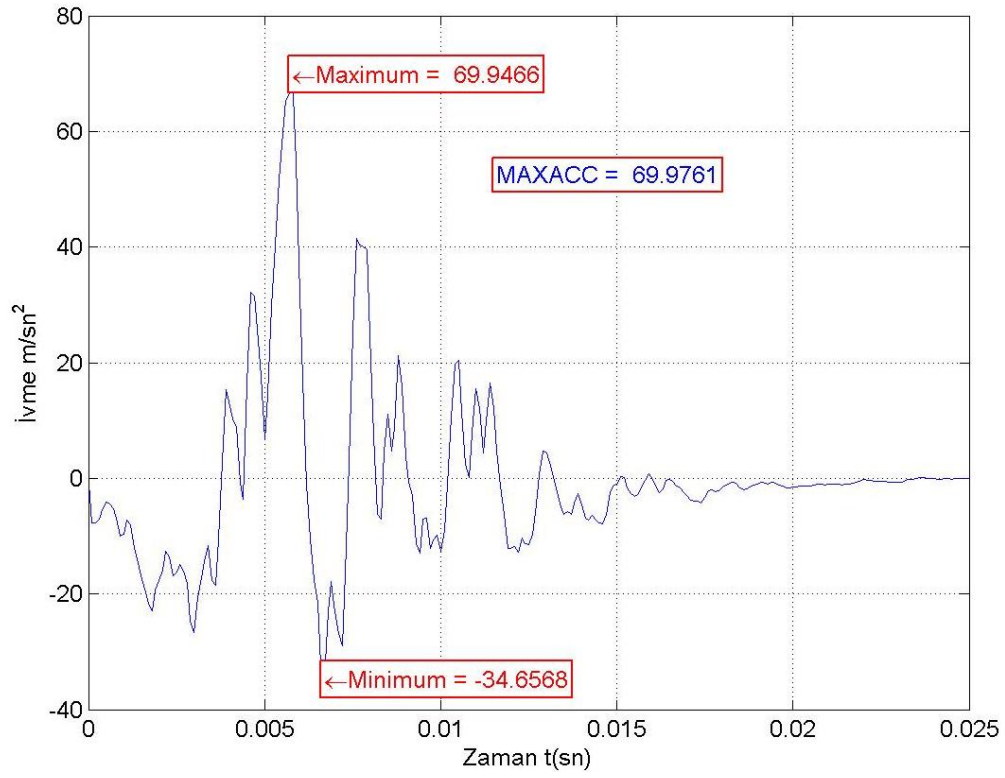
Şekil 4.38: Patlama merkezine dik uzaklık 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.



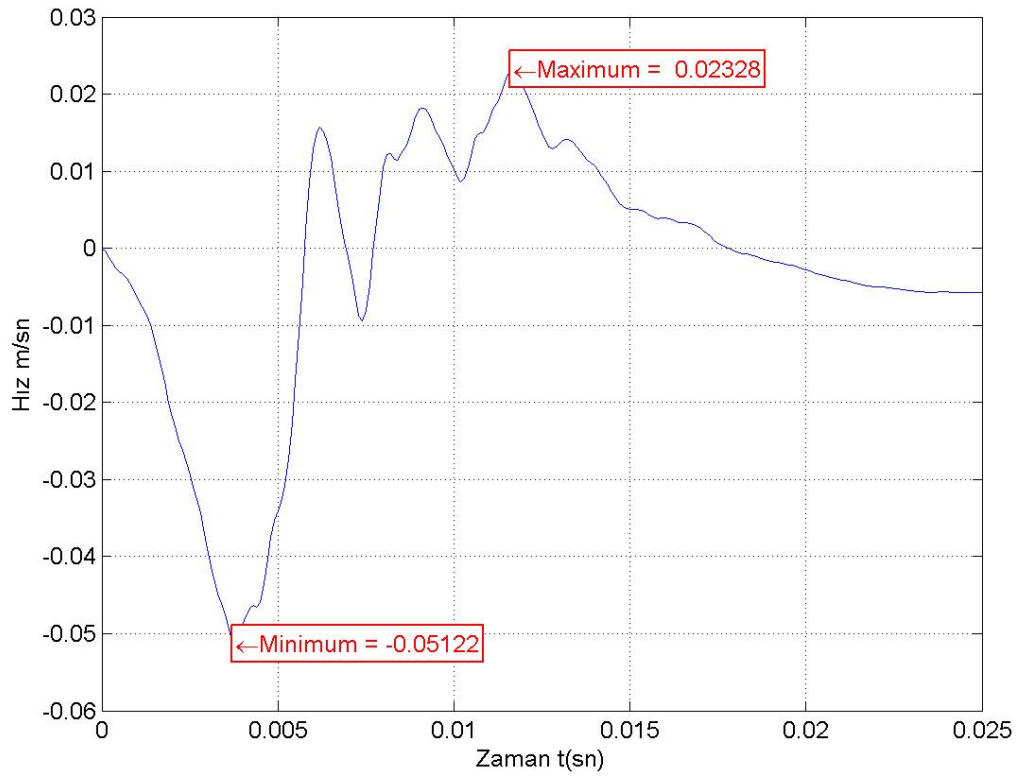
Şekil 4.39: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile hava şoku etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.

4.2.2 Direkt etkili yer hareketi analiz sonuçları

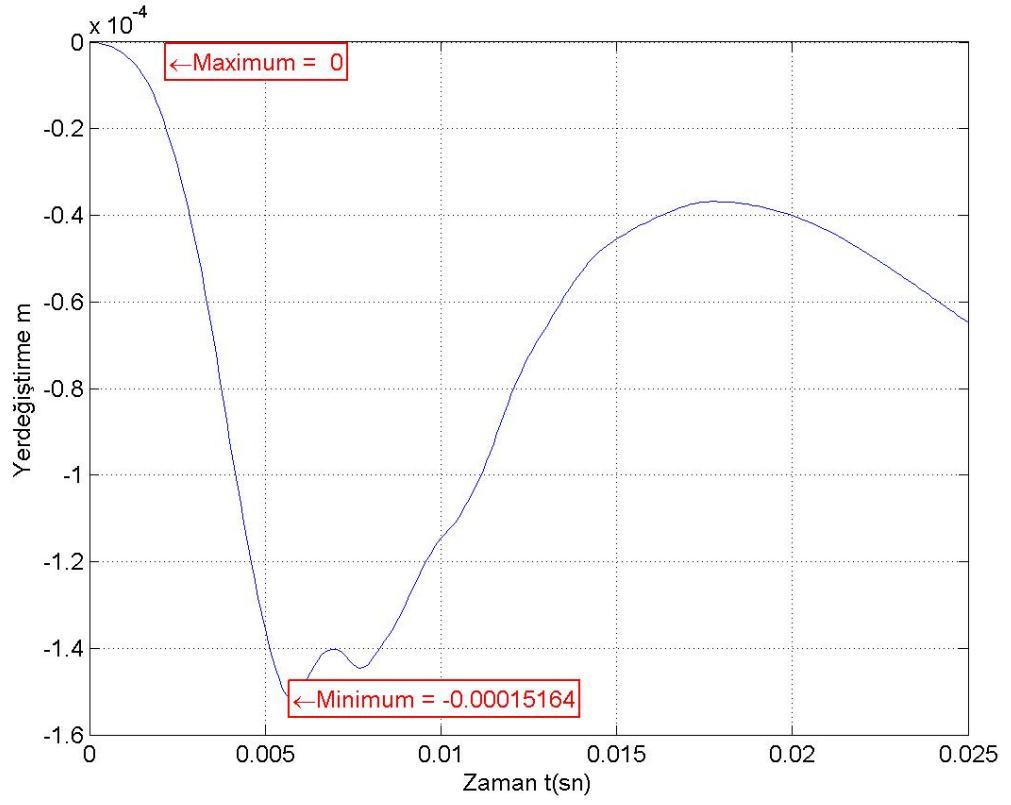
Şekil 4.40-4.63'te 100kg, 500kg ve 1000kg patlama gücü, 20m ve 40m patlama merkezine dik uzaklık için ivme, hız, yerdeğiştirme değerleri ve zarf fonksiyonları verilmektedir. Şekil 4.40-4.63'ten görüldüğü gibi patlayıcı miktarı arttıkça meydana gelen maksimum ivme, hız ve yer değiştirme de artmaktadır. Patlayıcı miktarı arttıkça etkiye süresi de uzamaktadır. Patlayıcı miktarı sabit iken, patlama merkezinden dik uzaklık artırılırsa maksimum ivme, hız ve yer değiştirme azalmaktadır. Şekil 4.8-31 ve Şekil 4.40-63 karşılaştırıldığında direkt etkili yer hareketi kayıtlarının, hava şoku etkili yer hareketi kayıtlarından daha büyük çıktığı görülmektedir. Patlama olayının anlık olması yer hareketlerinin de çok kısa olmasına neden olmaktadır.



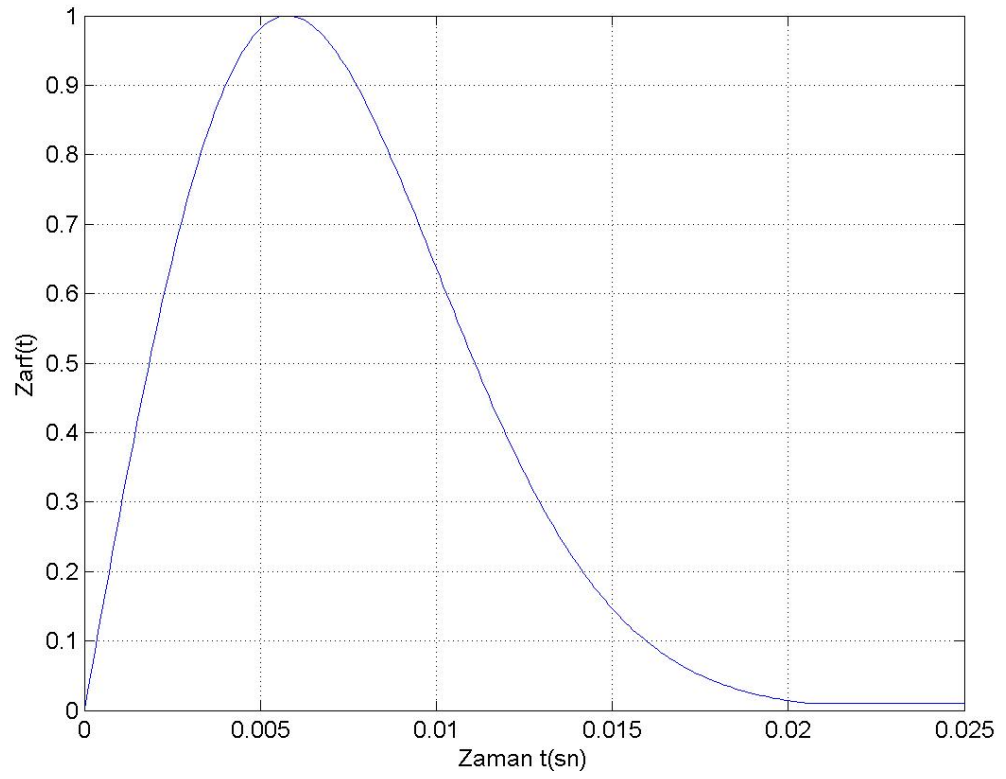
Şekil 4.40: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



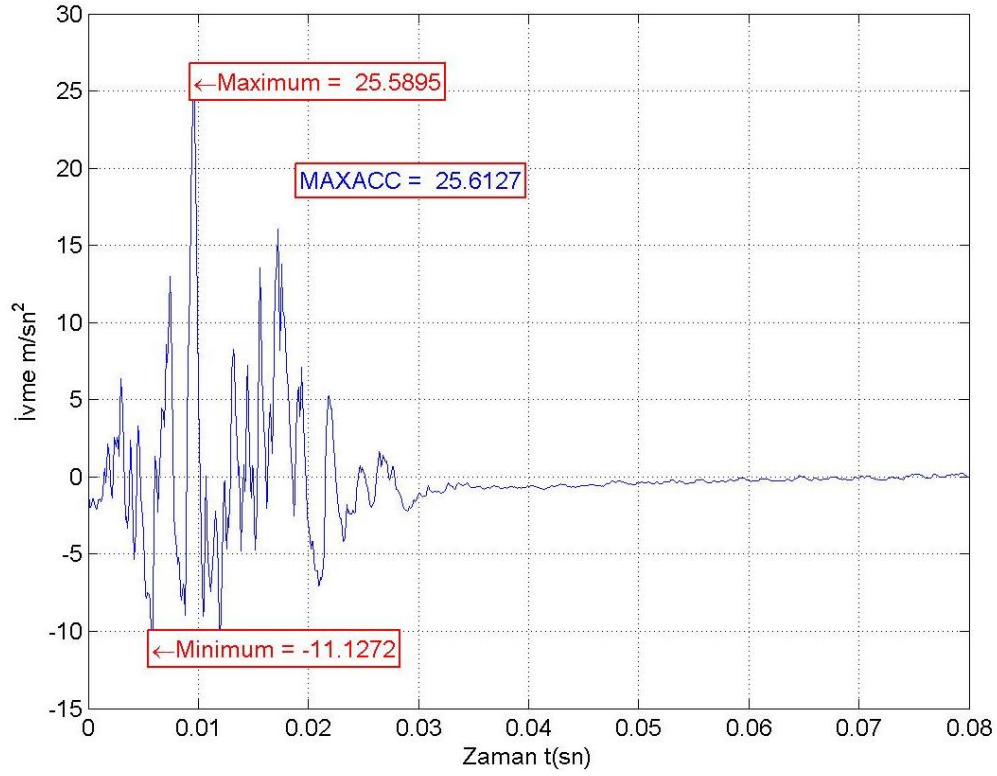
Şekil 4.41: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



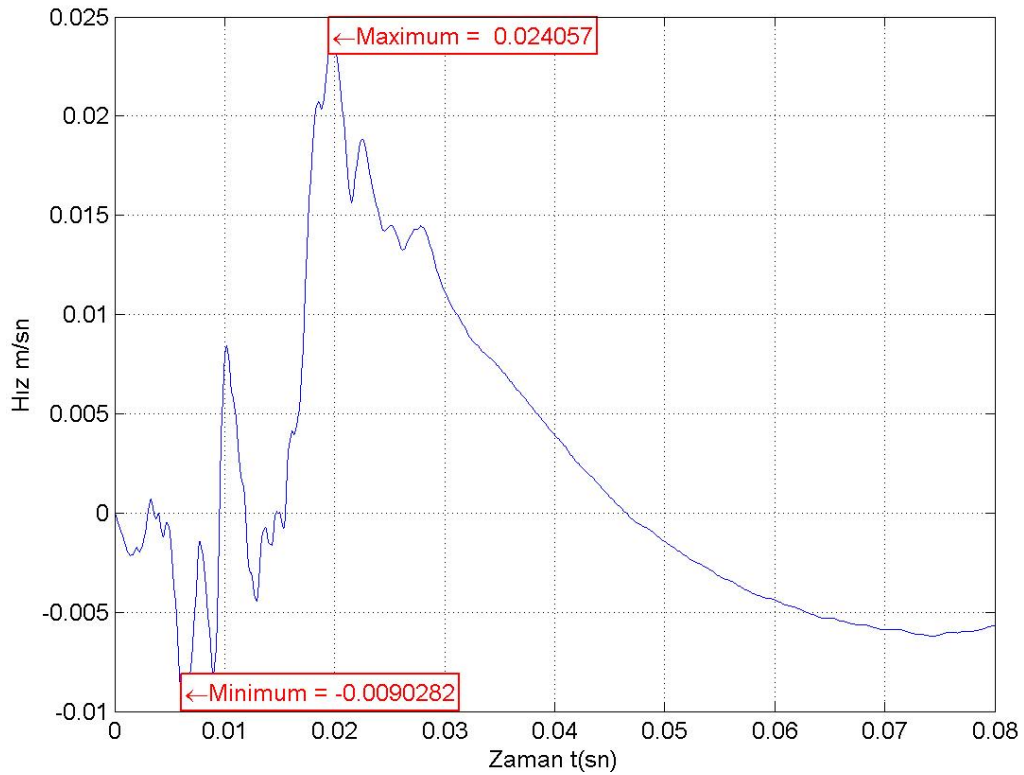
Şekil 4.42: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



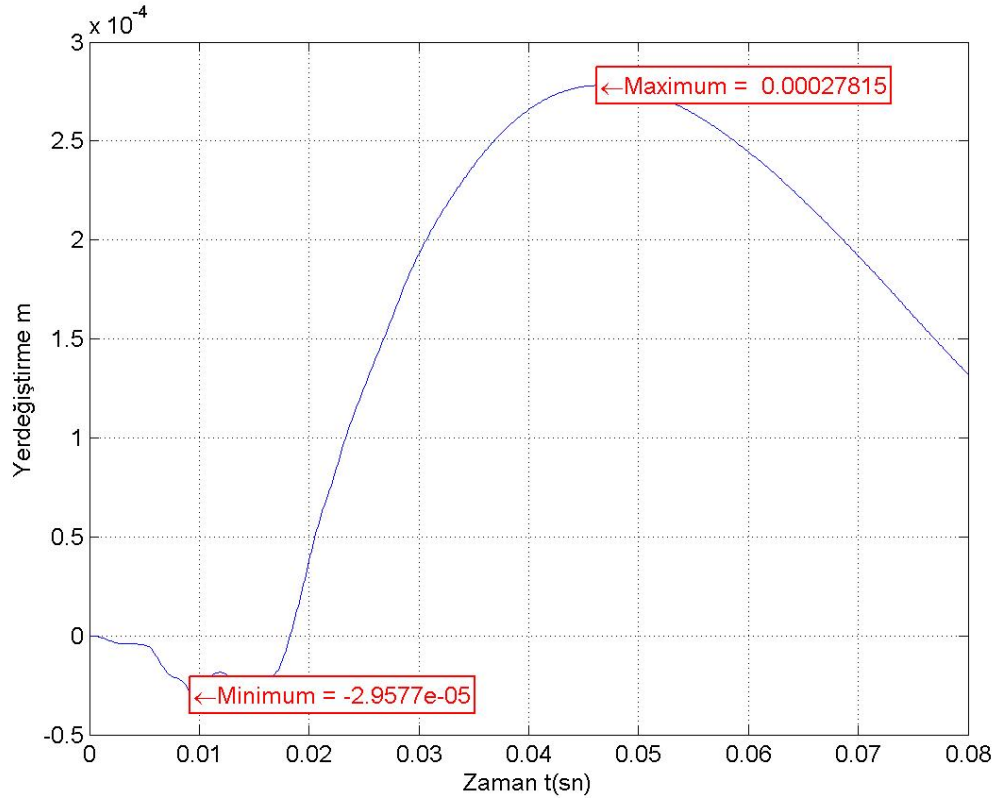
Şekil 4.43: Patlama merkezine 20m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



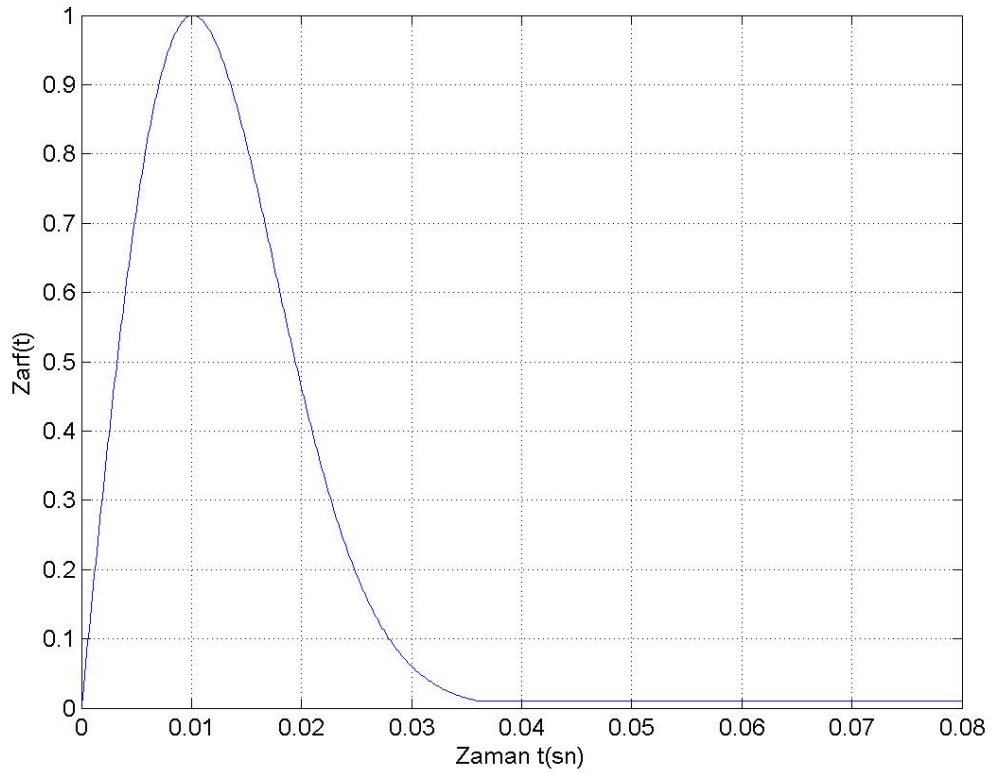
Şekil 4.44: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



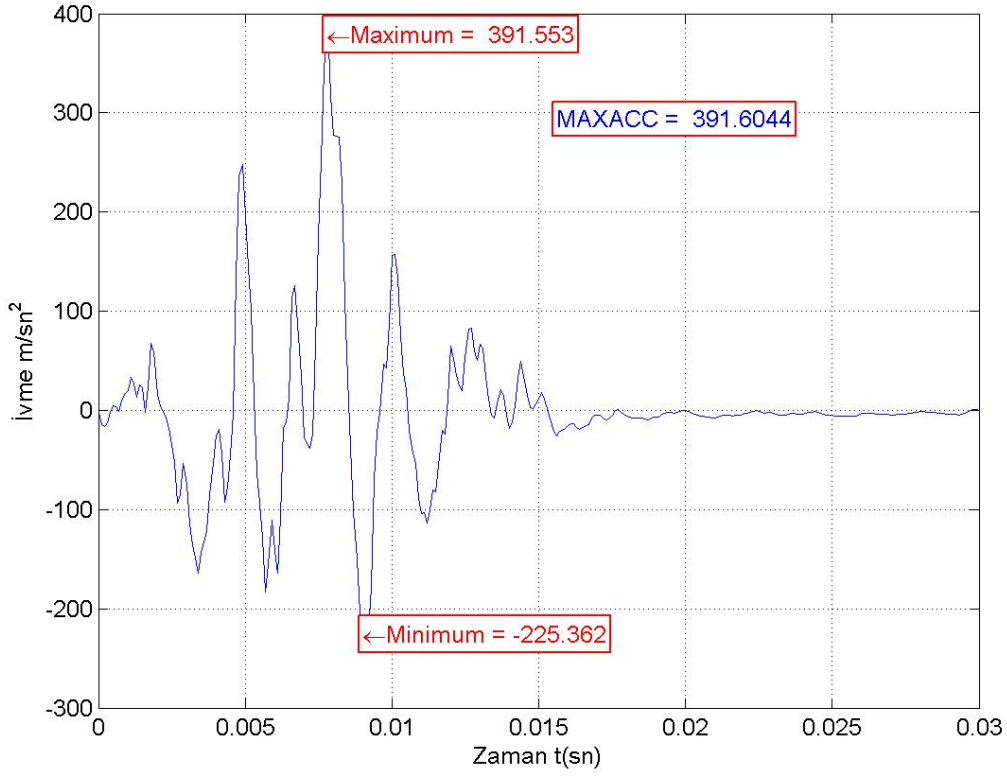
Şekil 4.45: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



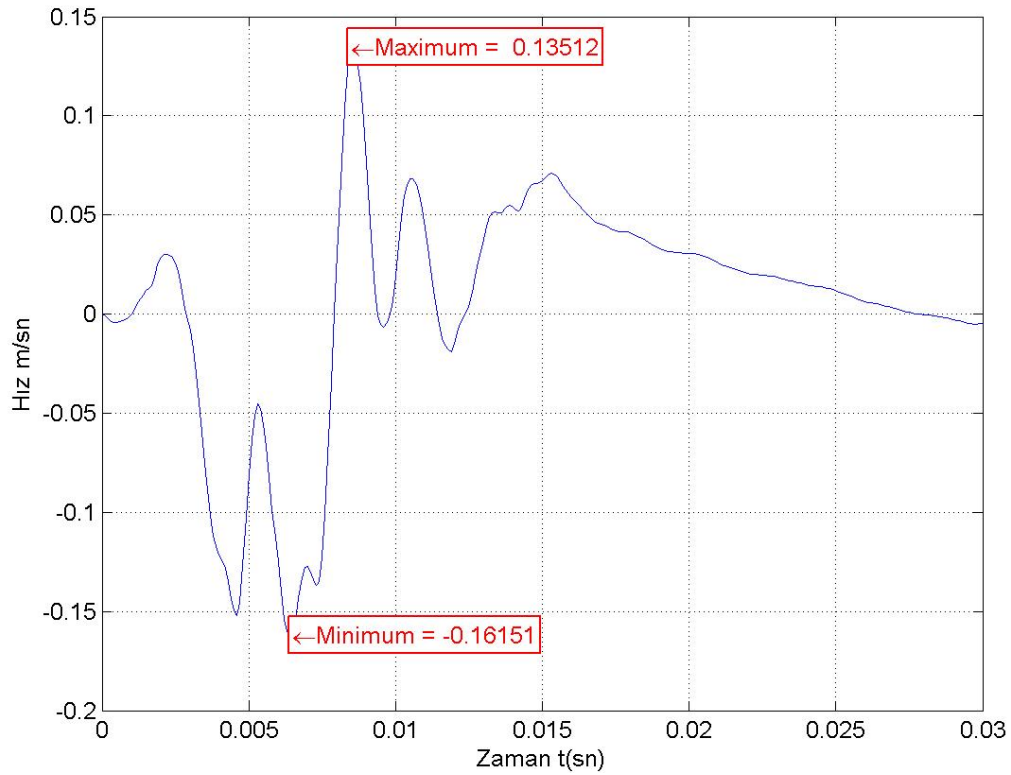
Şekil 4.46: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



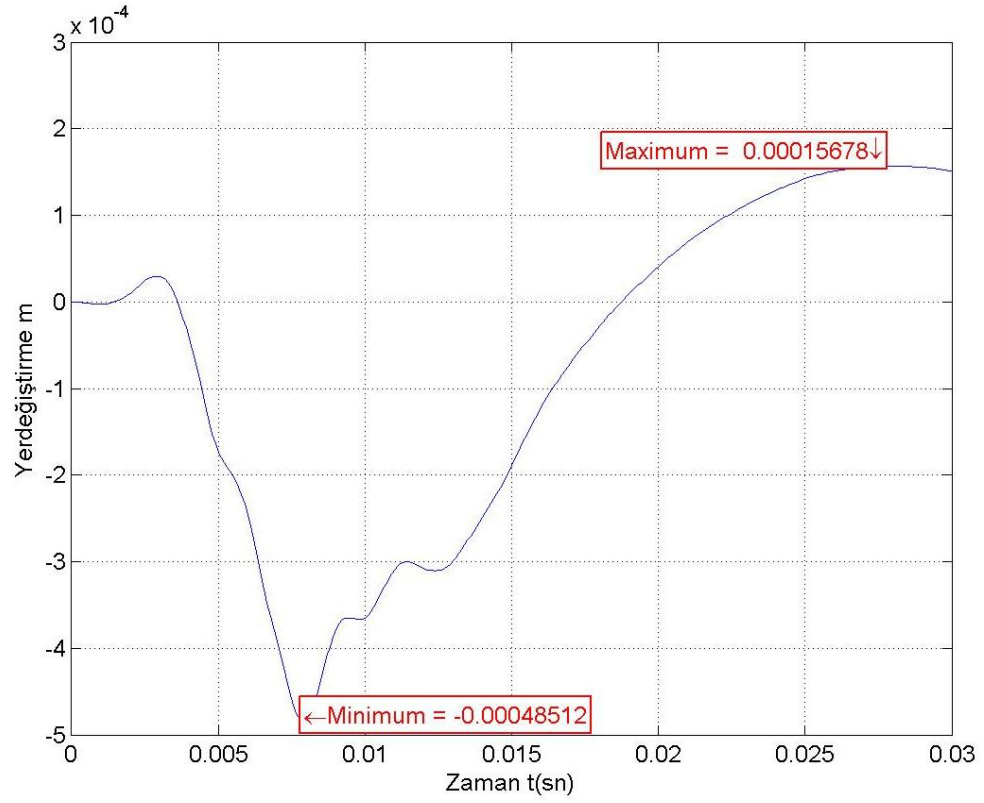
Şekil 4.47: Patlama merkezine 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



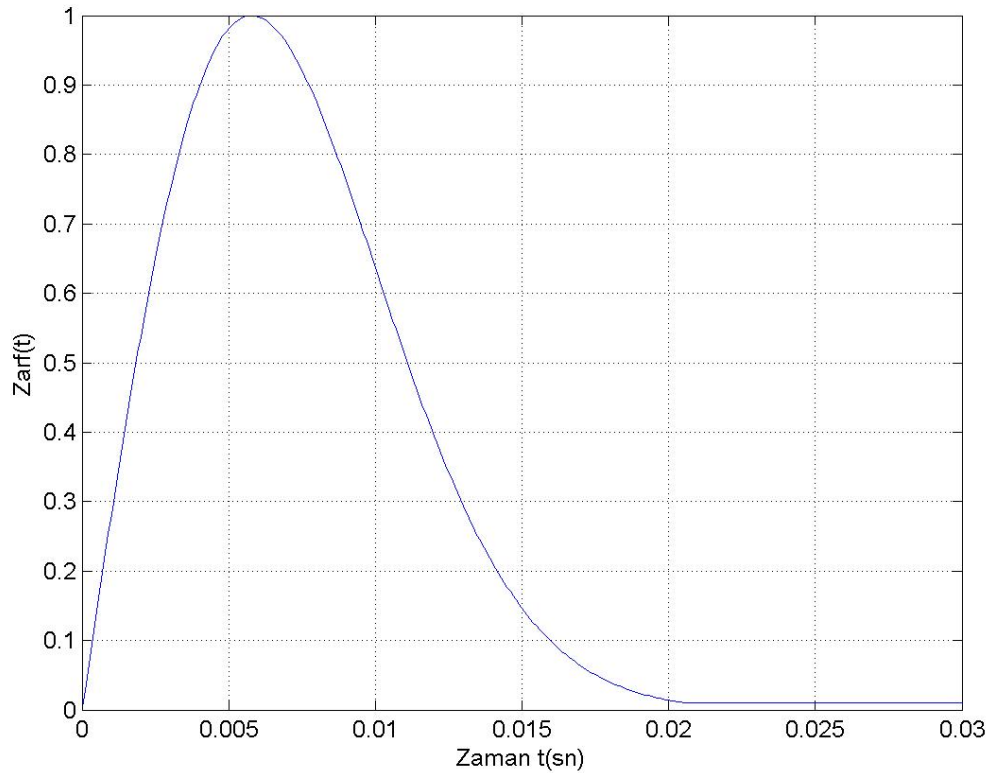
Şekil 4.48: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



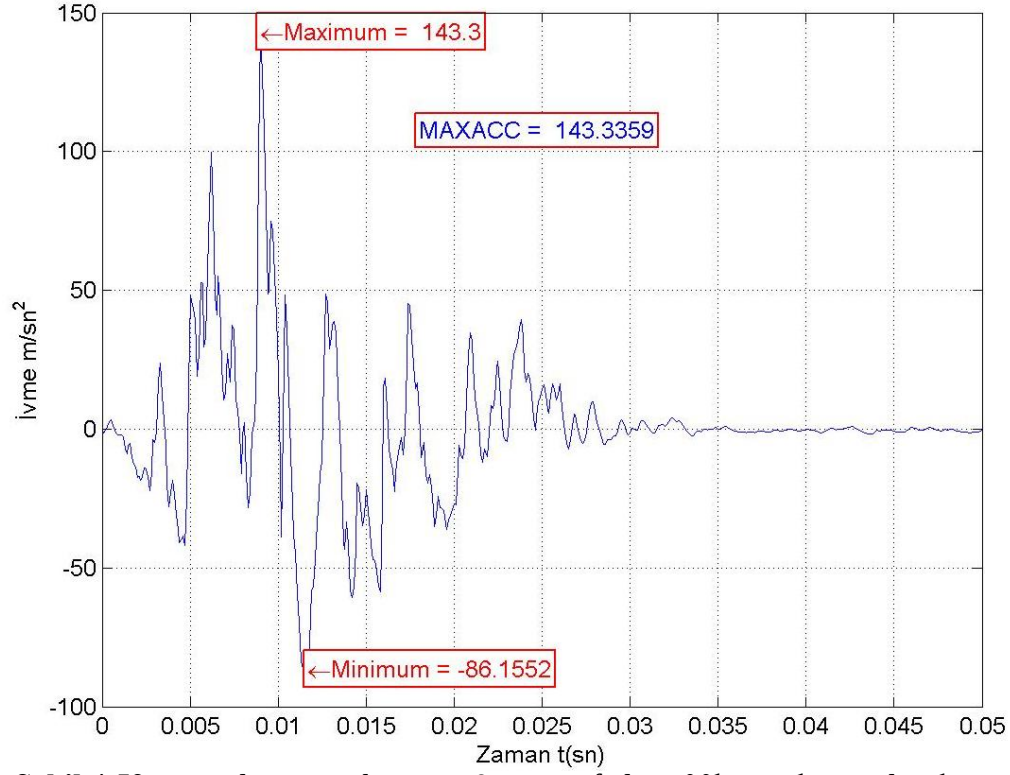
Şekil 4.49: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



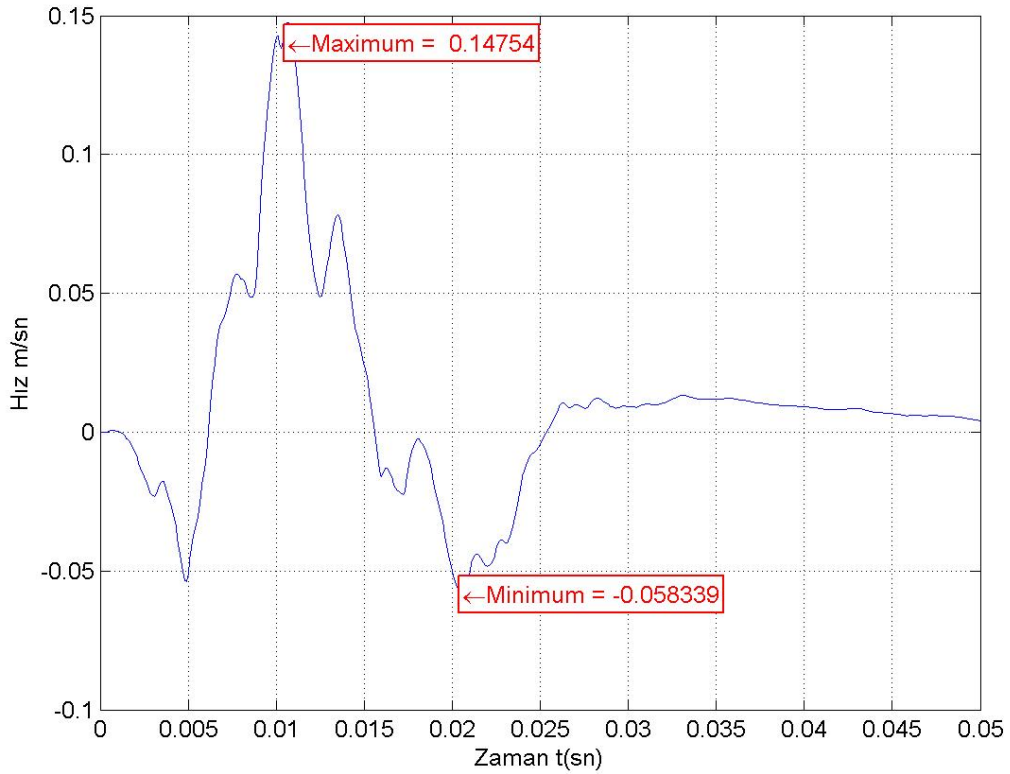
Şekil 4.50: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



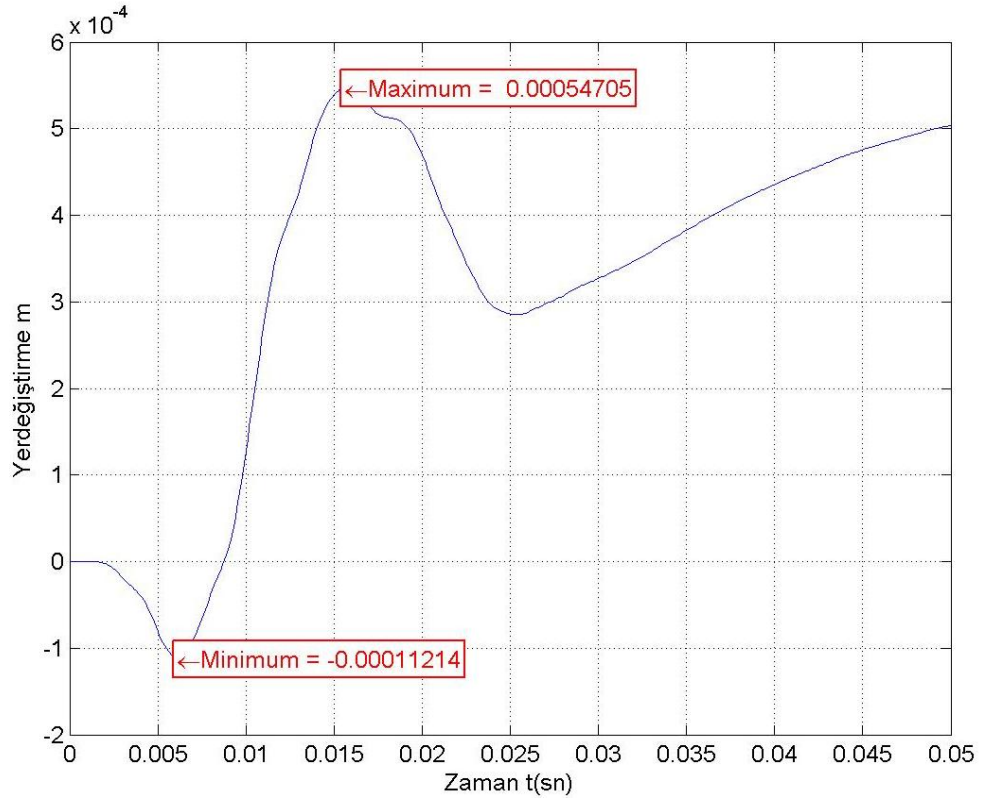
Şekil 4.51: Patlama merkezine 20m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



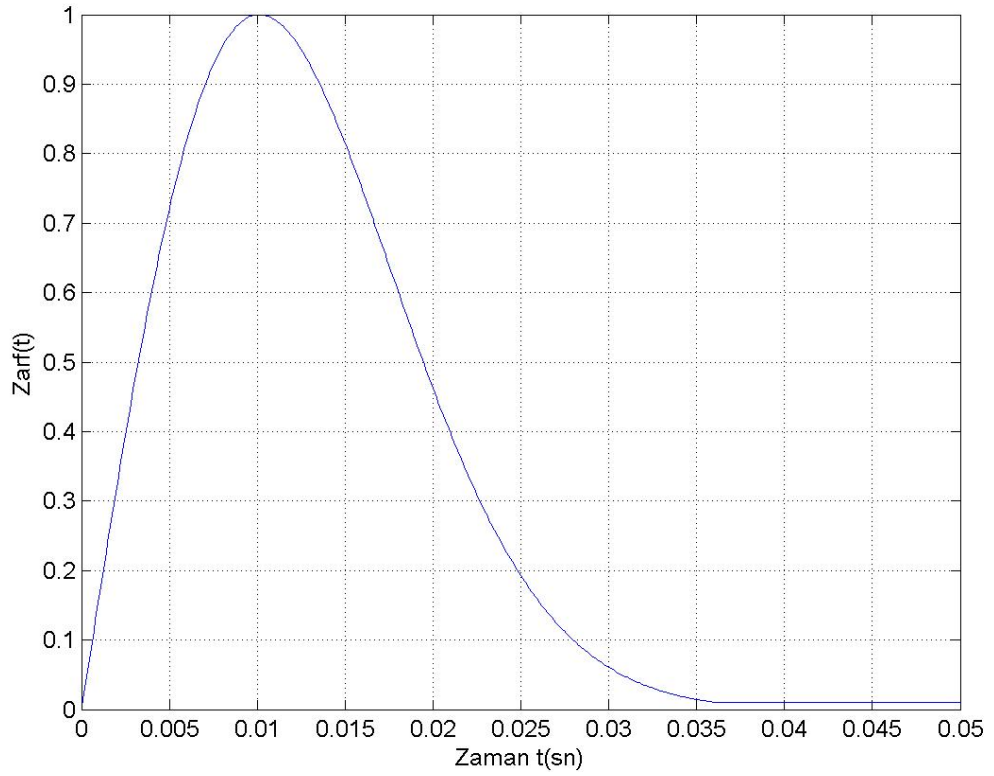
Şekil 4.52: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



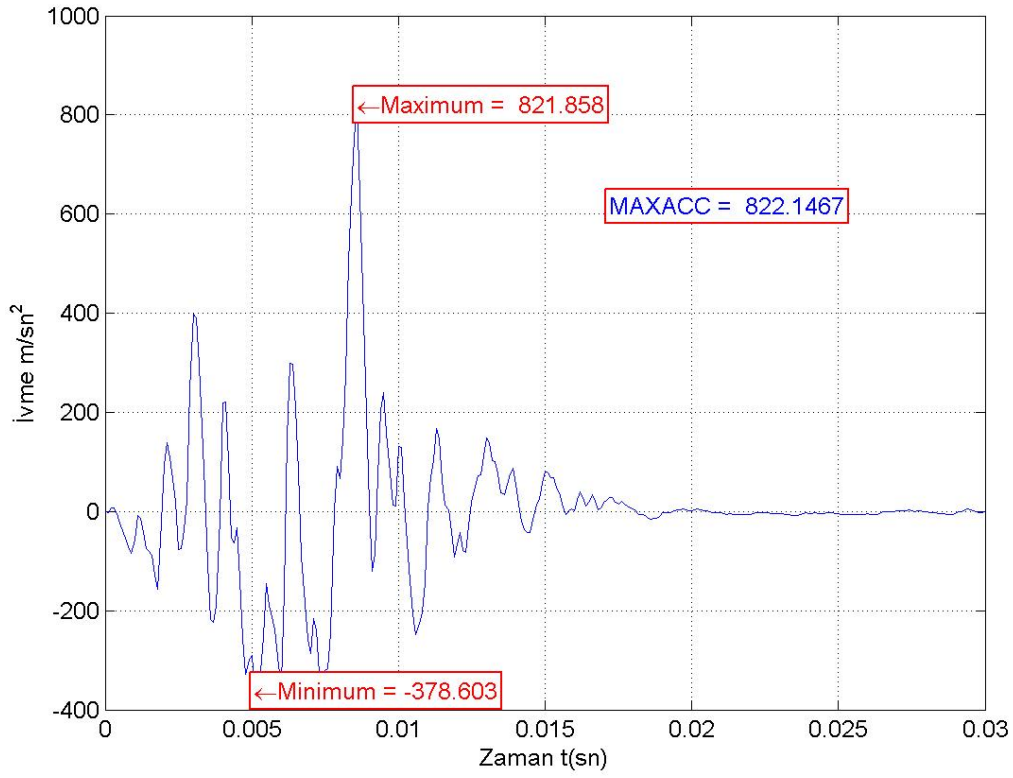
Şekil 4.53: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



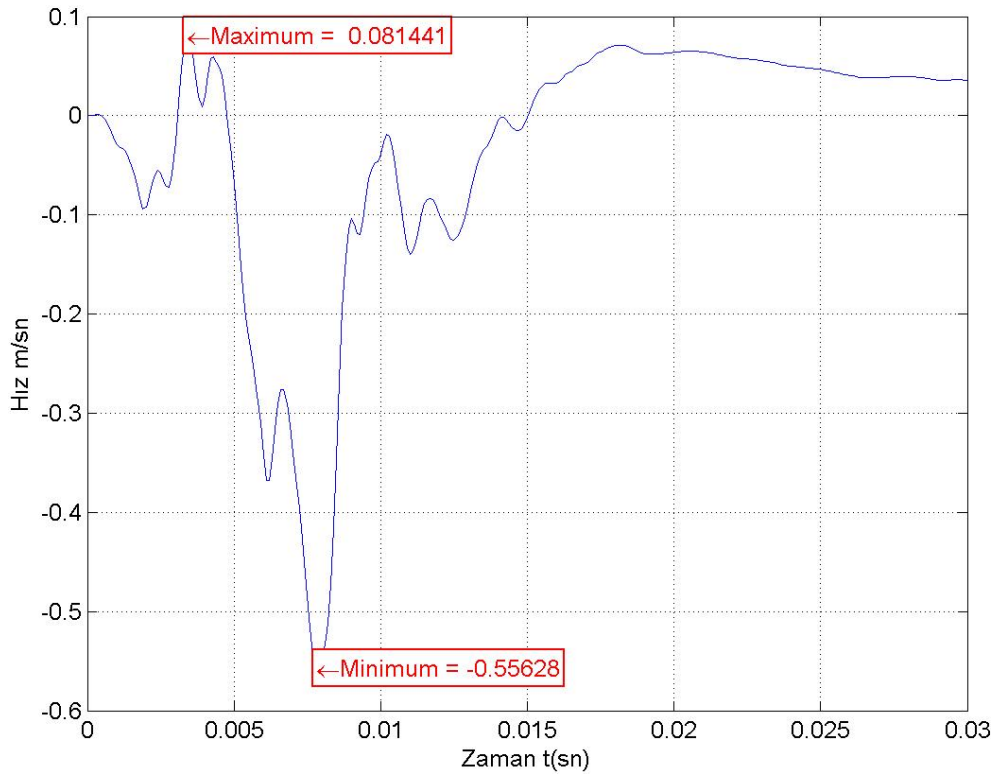
Şekil 4.54: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



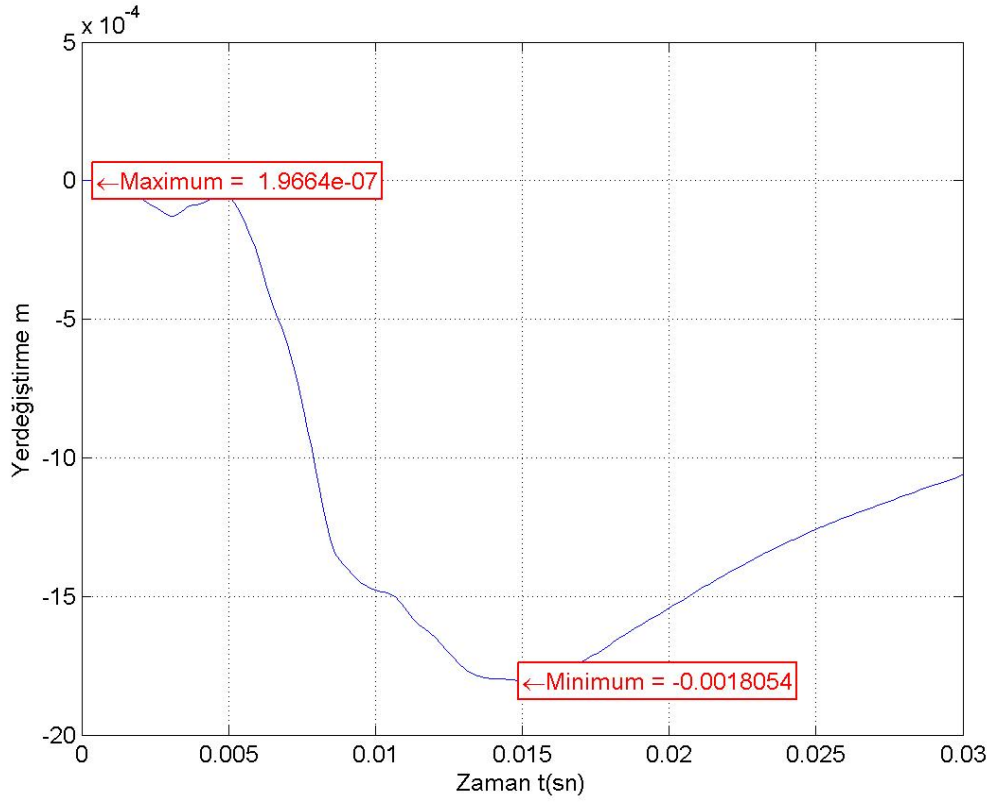
Şekil 4.55: Patlama merkezine 40m mesafede, 500kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



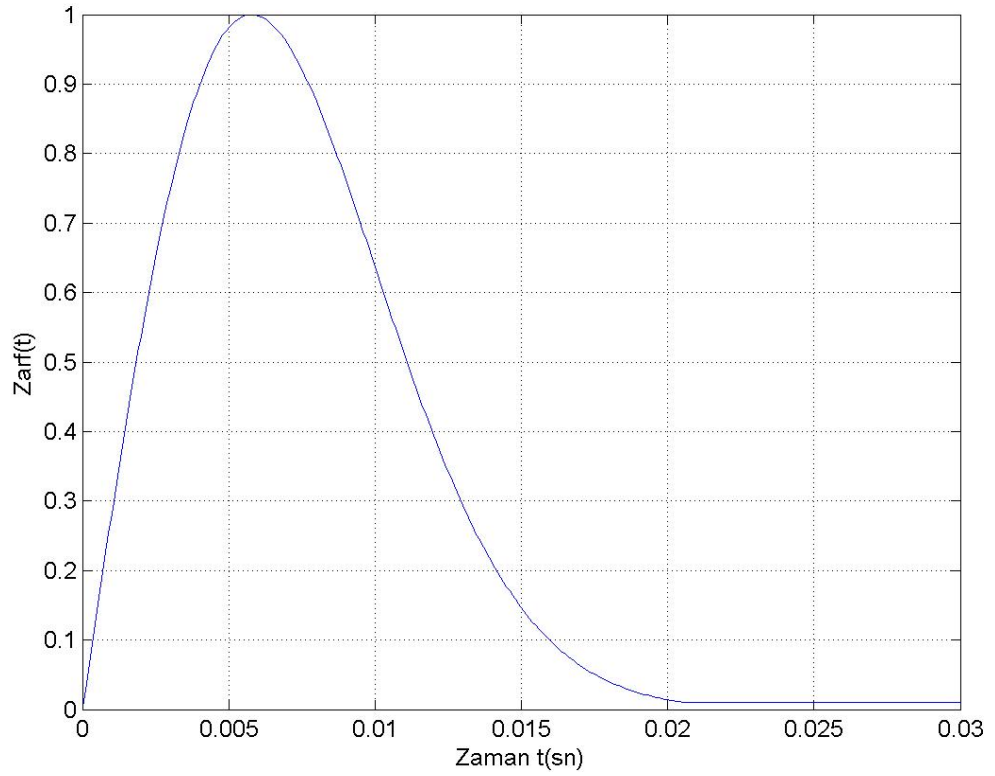
Şekil 4.56: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



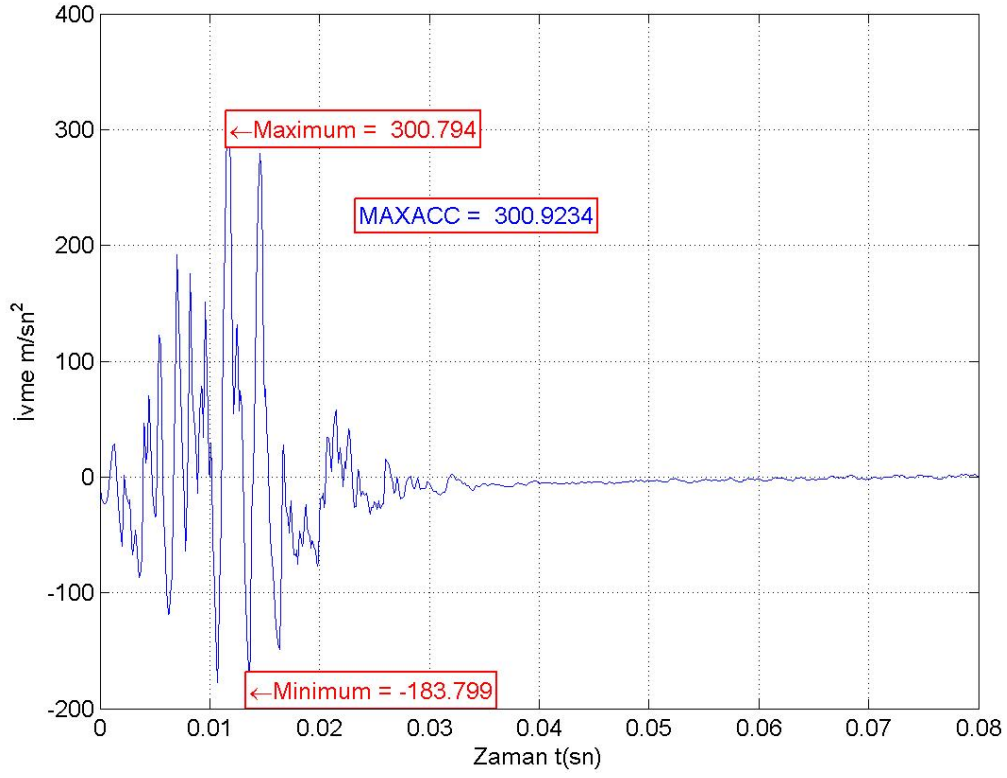
Şekil 4.57: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



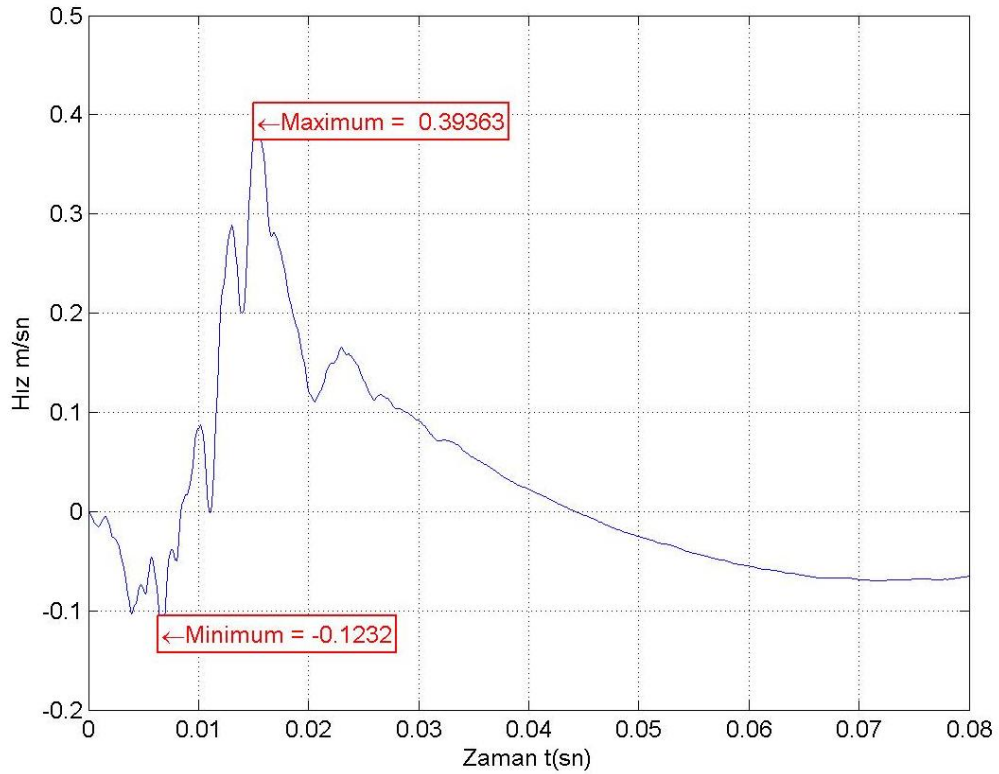
Şekil 4.58: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.



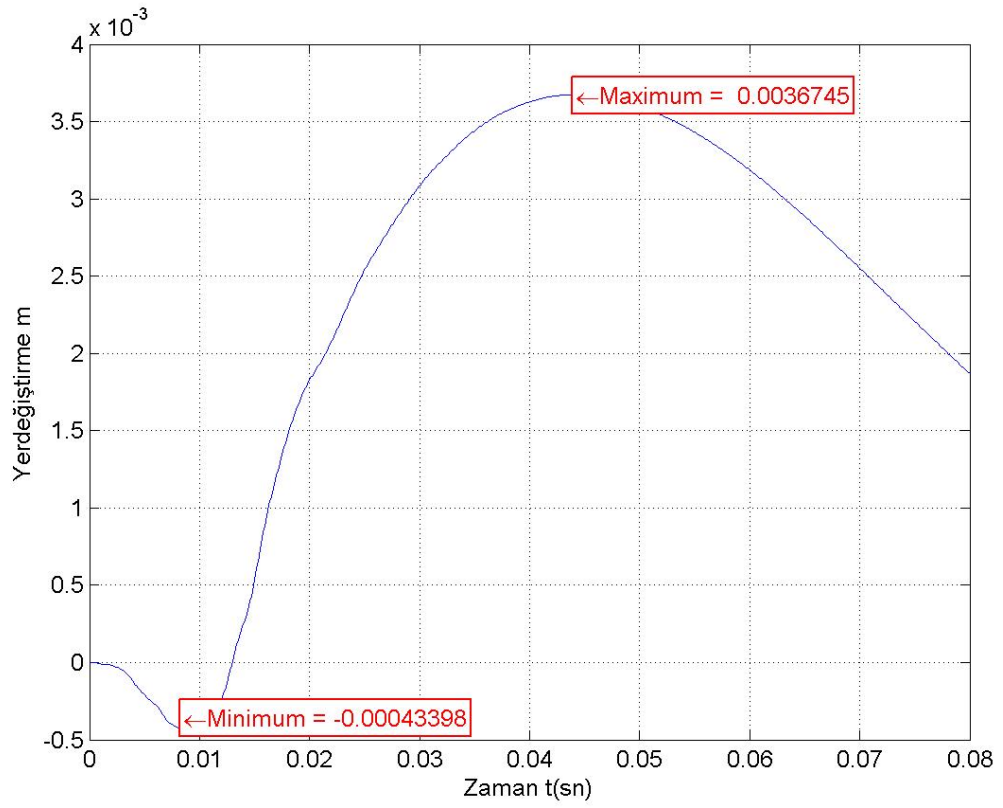
Şekil 4.59: Patlama merkezine 20m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.



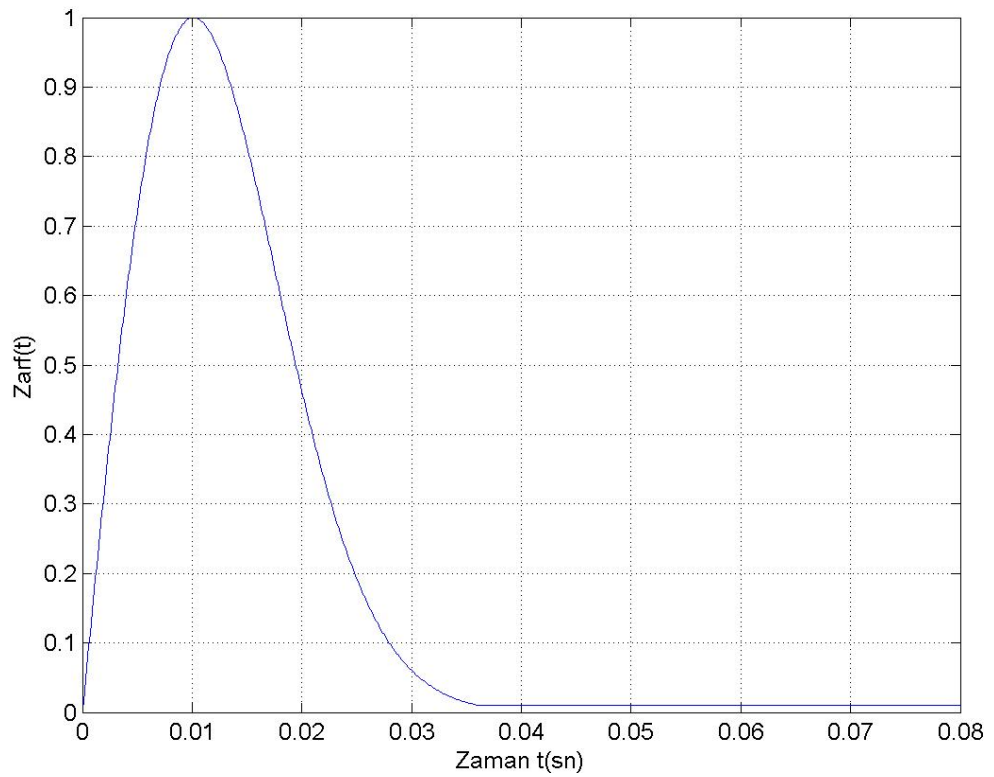
Şekil 4.60: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yatay ivme-zaman değişimi.



Şekil 4.61: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan hız-zaman değişimi.



Şekil 4.62: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan yerdeğiştirme-zaman değişimi.

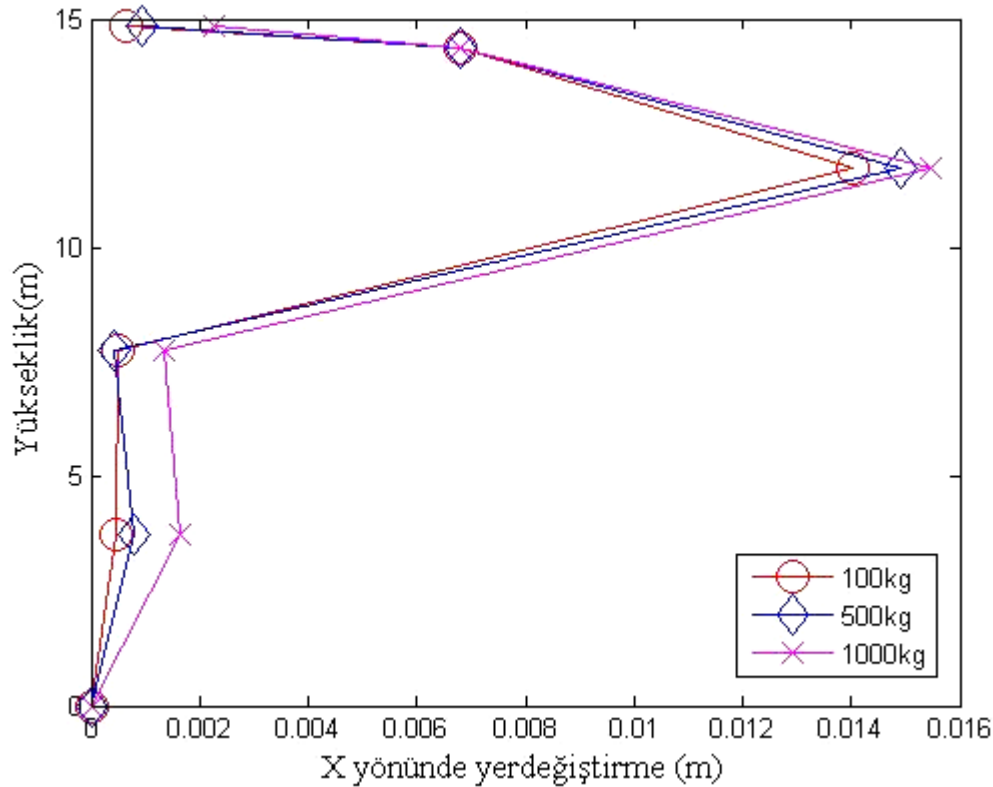


Şekil 4.63: Patlama merkezine 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile oluşan patlama kaynaklı yer hareketinin zarf fonksiyonu.

Direkt etkili yer hareketi etkisindeki çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı su deposunun dinamik analizleri Sonlu Elemanlar Yönteminini kullanan yazılımı ANSYS (2011) paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.3-4.4 ve Şekil 4.64-4.65'te, 100kg, 500kg, 1000kg gibi çeşitli patlayıcı ağırlıkları ve patlama merkezine 20m ve 40m mesafeler için yapılan dinamik analizlerde, depo yüksekliğince belirlenen 3, 4, 5, 6, 28 ve 139 nolu düğüm noktalarında meydana gelen x yönündeki yerdeğiştirmeler verilmektedir.

Çizelge 4.3: 20m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde direkt etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.

Yükseklik(m)	Düğüm Noktası	X Yönündeki Yerdeğiştirme(m)		
		Q=100kg	Q=500kg	Q=1000kg
0.00	3	0.00000000	0.00000000	0.00000000
3.75	4	0.00047019	0.00078673	0.00163615
7.75	5	0.00051469	0.00043630	0.00135550
11.75	6	0.01403150	0.01492100	0.01546610
14.35	28	0.00679856	0.00679850	0.00679863
14.85	139	0.00065945	0.00092910	0.00225449

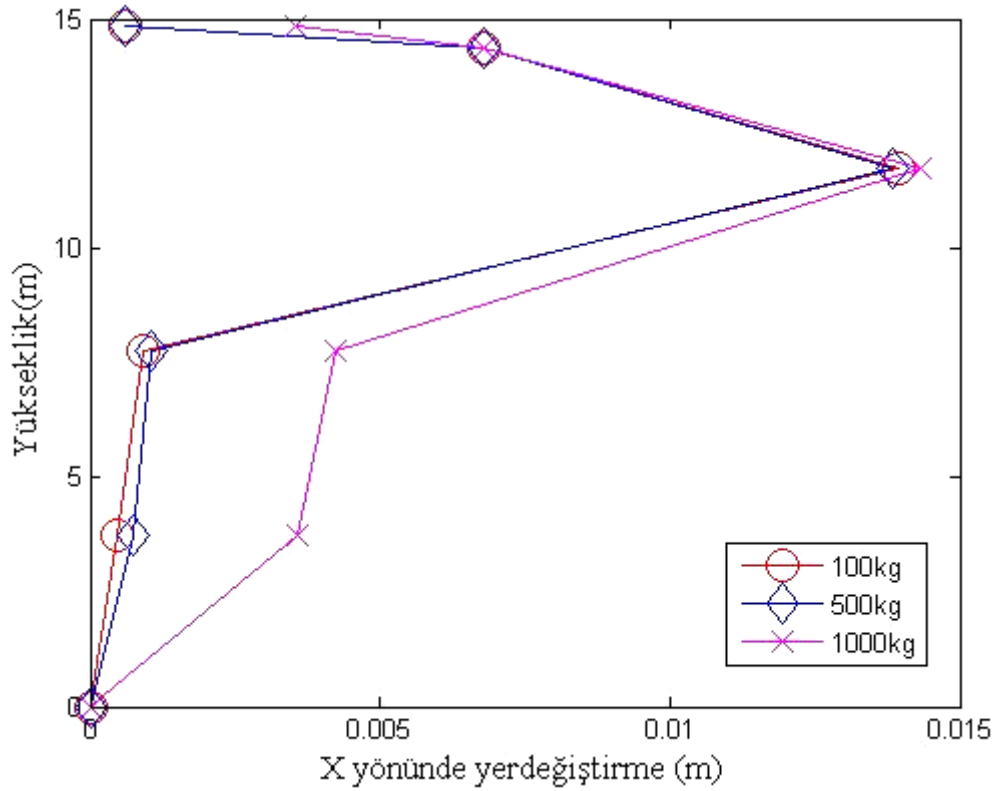


Şekil 4.64: 20m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde direkt etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliği boyunca oluşan x yönündeki yerdeğiştirmeler.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.64'ten görüldüğü gibi patlama merkezine dik uzaklık 20 iken, patlayıcı ağırlığı artarken düğüm noktalarında meydana gelen x yönündeki yerdeğıştirmeler hava şoku etkili yer hareketinde olduğu gibi yine artmaktadır.

Çizelge 4.4: 40m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde direkt etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliğı boyunca oluşan x yönündeki yerdeğıştirmeler.

Yükseklik(m)	Düğüm Noktası	X Yönündeki Yerdeğıştirme(m)		
		Q=100kg	Q=500kg	Q=1000kg
0.00	3	0.00000000	0.00000000	0.00000000
3.75	4	0.00047032	0.00074399	0.00357162
7.75	5	0.00090122	0.00104409	0.00421936
11.75	6	0.01394370	0.01384950	0.01432480
14.35	28	0.00679862	0.00679863	0.00679845
14.85	139	0.00059157	0.00059346	0.00352710

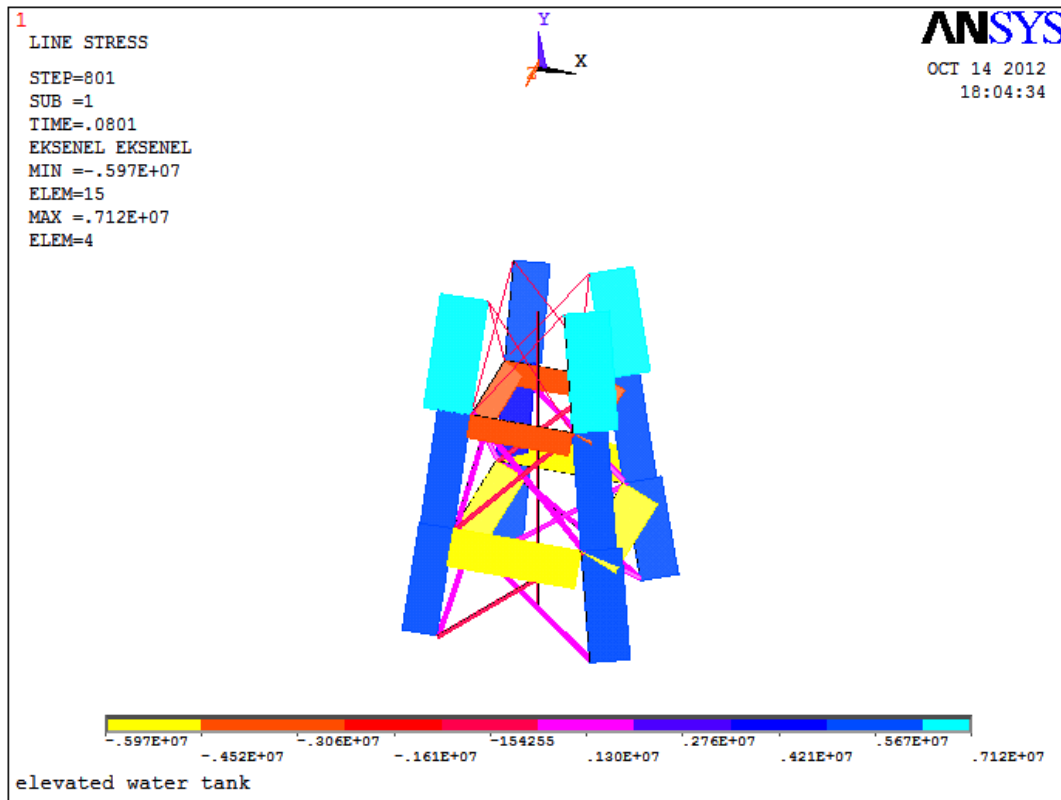


Şekil 4.65: 40m uzaklıkta ve 100kg, 500kg ve 1000 kg patlayıcı gücünde direkt etkili yer hareketi etkisi altındaki ayaklı su deposunun yüksekliğı boyunca oluşan x yönündeki yerdeğıştirmeler

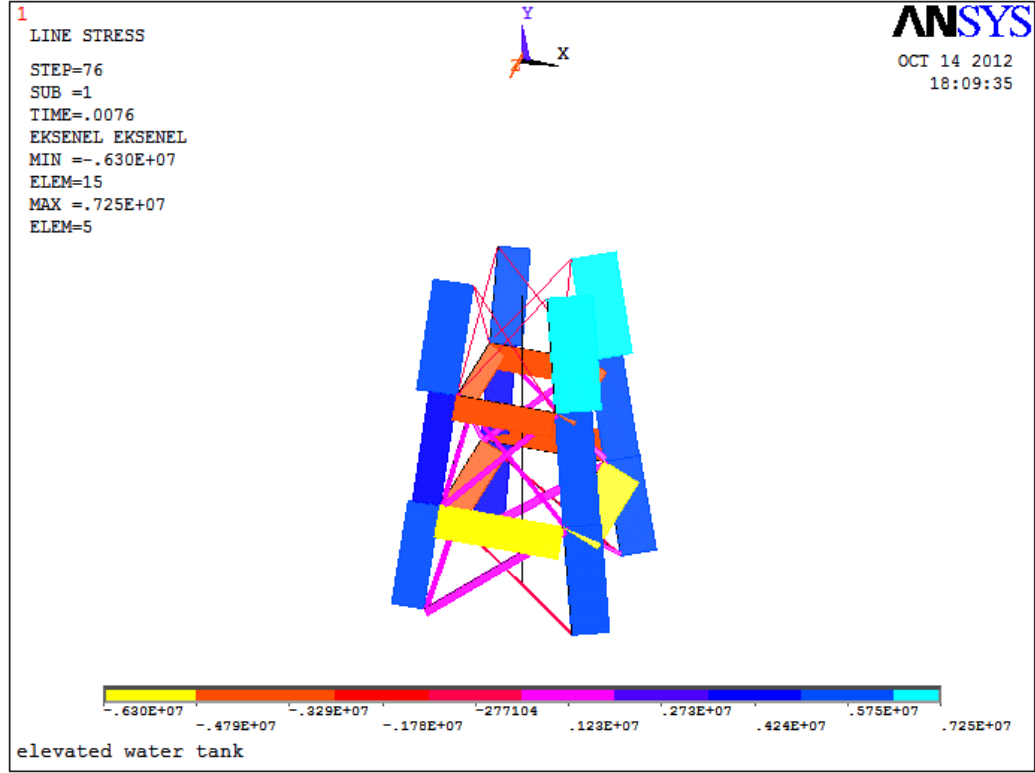
Benzer durumda Çizelge 4.4 ve Şekil 4.65 incelendiğinde, patlama merkezine dik uzaklık 40m iken, patlayıcı ağırlığı artarken belirlenen düğüm noktalarında meydana gelen x yönünde yerdeğiştirmeler artmaktadır.

Patlama merkezine dik uzaklık 40m olduğu durumda, Şekil 4.66'da 100kg, Şekil 4.67'de 1000kg patlayıcı kullanılarak meydana gelen direkt etkili yer hareketi sebebiyle ayaklı su deposunda oluşan eksenel normal gerilmeler verilmektedir. Şekil 4.66-4.67'de görüldüğü gibi ayaklı su deposunun kolon, kiriş ve gergi elemanlarında eksenel normal gerilmeler, patlayıcı ağırlığının artması durumunda artmaktadır.

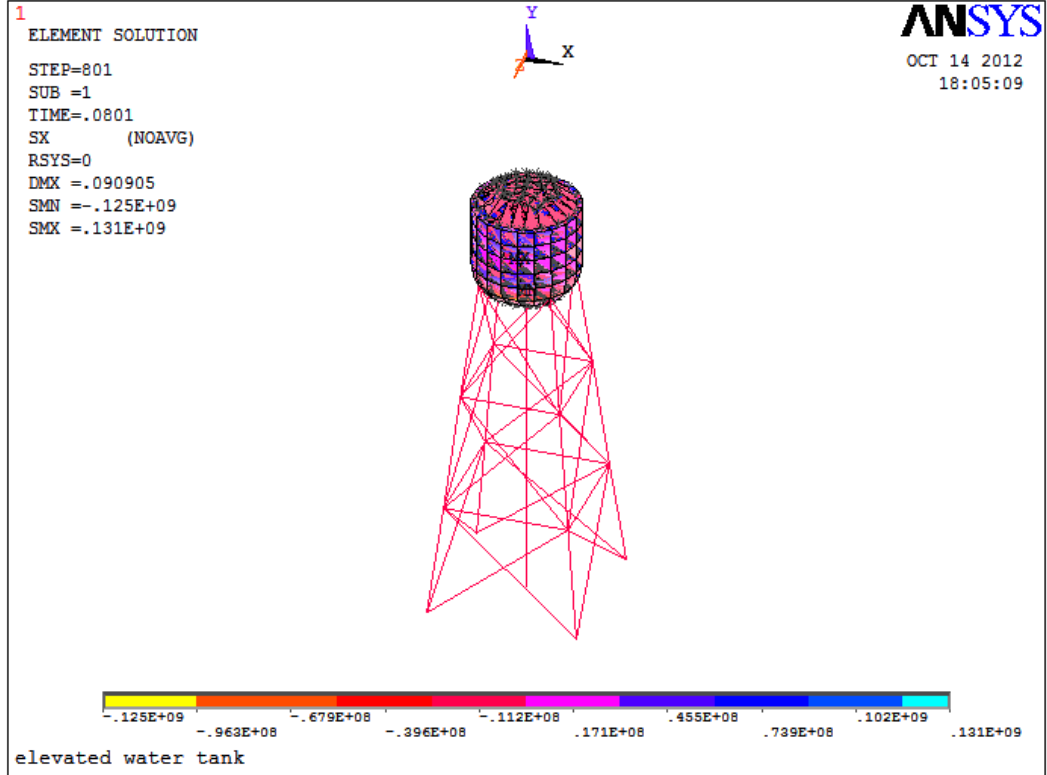
Şekil 4.68-4.69'da patlama merkezine dik uzaklık 40m olduğu durumda, sırasıyla 100kg ve 1000kg patlayıcı kullanılarak meydana gelen direkt etkili yer hareketi sebebiyle oluşan x yönündeki gerilmeler verilmektedir. Şekil 4.68-4.69 incelendiğinde patlayıcı miktarı artarken, x yönündeki gerilmelerin arttığı görülmektedir.



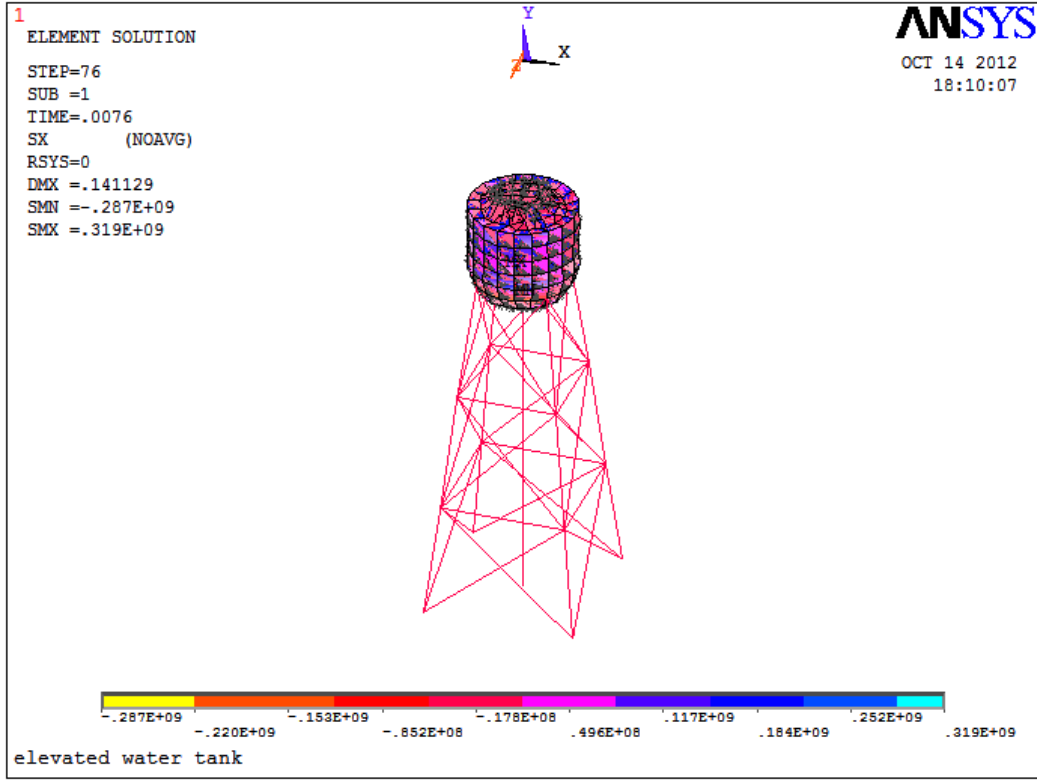
Şekil 4.66: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile direkt etkili yer hareketi sonucu oluşan eksenel normal gerilmeler.



Şekil 4.67: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile direkt etkili yer hareketi sonucu oluşan eksenel normal gerilmeler.



Şekil 4.68: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 100kg patlayıcı ile direkt etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.



Şekil 4.69: Patlama merkezine dik uzaklık 40m mesafede, 1000kg patlayıcı ile direkt etkili yer hareketi sonucu oluşan x yönündeki gerilmeler.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibi kısaca özetlenebilir;

Patlama sonucu büyük bir enerji ortaya çıkmaktadır. Patlama nedeniyle oluşan çevresel etkilerden biri olan yer hareketi iki kısma ayrılabilir. Bunlar hava şoku etkili ve direkt etkili yer hareketleridir. Bu iki yer hareketi ayrı ayrı incelenmiştir. Bu nedenle yapıların dinamik analizi her iki yer hareketi için gerçekleştirilmiştir. Bu yer hareketlerini temsilen daha önce gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan yararlanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, patlama kaynaklı yer hareketleri için maksimum yer hareketi ivmeleri ampirik formüllerle hesaplanabilmektedir. Patlama basıncının zarf fonksiyonu dikkate alınarak ve stasyonier olmayan rastgele işlem yöntemi kullanılarak yer hareketinin zamana bağlı ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Patlama kaynaklı yer hareketlerinin temsil edilmesinde ve sayısal hesaplamalarda BlastGM yazılımı kullanılmıştır. Patlama kaynaklı yer hareketinin dinamik etkileri, çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı su deposu için incelenmiştir. Farklı patlama kaynaklı yer hareketleri için patlayıcı ağırlıkları ve patlama merkezine uzaklıklar değiştirilmiştir. Dinamik analiz hesaplamaları sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Patlama basıncını ve etkiye süresini etkileyen en önemli parametreler patlayıcı ağırlığı ve patlama merkezine olan dik uzaklıktır. Patlama basıncı ve etkiye süresi patlayıcı miktarı arttıkça artmaktadır.
- Patlama kaynaklı yer hareketlerini temsilen stasyonier olmayan yöntem kullanılarak yer hareketi ivme zaman değerleri elde edilmiştir. Bu yöntemle elde edilen patlama kaynaklı yer hareketlerinin yapılar üzerindeki dinamik etkileri gerçek patlatma yapılmadan temsili olarak incelenebilmektedir.

- Patlama basıncının oluşturulmasında daha önceden yapılmış olan çalışmalar gözönüne alınarak belirli ölçekli bir uzaklık ve belirli frekans aralıkları dikkate alınmıştır. Bu nedenle, yer hareketleri bu aralıklarda oluşturulmuştur.
- Patlama basıncı ortam basıncına eşit olana kadar yer hareketinin devam ettiği anlaşılmaktadır.
- Patlayıcı ağırlığı, patlama merkezine dik uzaklık ve zemin ortamı değiştirilerek birçok yer hareketi geliştirilen BlastGM yazılımı kullanılarak elde edilebilmektedir.
- BlastGM yazılımı ile patlama kaynaklı yer hareketine ait maksimum ivme değeri dikkate alınarak, zarf fonksiyonu yardımı ile ivmenin zamana bağlı değişimi elde edilebilmektedir.
- BlastGM yazılımı ile zamana bağlı olarak elde edilen ivme değerleri farklı analiz yazılımlarına aktarılabilmekte ve bu sayede sonlu elemanlar yazılımı kullanan hazır paket programlar ile modellenen yapılar üzerinde patlama kaynaklı yer hareketlerinin dinamik etkileri hesaplanabilmektedir.
- Geliştirilen BlastGM yazılımı ile elde edilen zamana bağlı ivme değerlerinin, daha önceden yapılmış olan deneysel çalışmalarda ivmeölçerle elde edilen değerlere çok yakın oldukları görülmektedir. Benzer şekilde parçacık hızı ve yerdeğiştirmesi de daha önce yapılmış olan çalışmalarda elde edilen değerlerle benzerlik göstermektedir.
- Zamana bağlı olarak elde edilen ivme değerleri sadece yatay yöndedir.
- Kaya zemin ortamında elde edilen hava şoku etkili yer hareketi ivme değerleri, direkt etkili yer hareketi ivme değerlerinden daha küçük çıkmaktadır. Bu nedenle, hava şoku etkili yer hareketi için gerçekleştirilen dinamik analizler sonucu elde edilen yer değiştirme ve gerilme değerleri, direkt etkili yer hareketi için elde edilen değerlere oranla daha küçüktür.
- Hava şoku etkili yer hareketi ve direkt etkili yer hareketi için patlama merkezine dik uzaklık sabit iken, patlayıcı ağırlığının artırılması yerdeğiştirmelerin ve gerilmelerin artmasına sebep olmaktadır. Patlayıcı

ağırlığı sabit iken, patlama merkezinden uzaklaştıkça yerdeğiştirmeler ve gerilmeler azalmaktadır.

- Deprem yer hareketi frekansı patlama kaynaklı yer hareketi frekansından daha küçük olmaktadır.

Bu çalışma sonucunda ileride yapılacak olan çalışmalara yönelik olarak öneriler aşağıda sunulmuştur;

- Patlama basıncının ölçekli uzaklık ve frekans aralığının dışındaki durumlarda nasıl değiştiğinin belirlenmesi, yer hareketlerinin davranışının tespitinde önemli katkı sağlayacaktır.
- Patlama kaynaklı yer hareketlerinden olan direkt etkili yer hareketinin temsil edilmesinde yumuşak, orta ve sert zeminler için yapılan sınırlama genişletilerek her tür zemindeki sonuçların kullanılması daha uygun olacaktır.
- Patlama kaynaklı yer hareketleri üç boyutta oluşturularak daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.
- Patlama kaynaklı yer hareketini temsilen yapılan çalışmalar deneysel olarak desteklenmelidir.
- Patlama kaynaklı oluşan hava şoku etkili ve direkt etkili yer hareketlerinin birleşimi ile elde edilen yer hareketleri ile dinamik etkilerin incelenmesi daha uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akkaş N., Akay H.U. ve Yılmaz, Ç., Applicability of general purpose finite elements programs in solid-fluid interaction problems, Computers and Structures, 1979,10, 5, 773-783.
- Akköse M. ve Dumanoglu A.A., Rezervuar-kemer baraj-zemin sistemlerinin lineer olmayan üç boyutlu dinamik analizi, III. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı, 1998, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 57-64.
- Akköse M., Lagrange yaklaşımı ile kemer baraj-su-zemin sistemlerinin malzeme bakımından lineer ve lineer olmayan dinamik analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004, 139211.
- Amin M., Ang A.H.S., A non-stationary stochastic model of earthquake motion, J. Eng. Mech. Div., 1968, 94(2), 559–583.
- American Water Works Association, Steel water-storage tanks, Denver, CO : American Water Works Association, 144s, Amerika, 1998.
- Asthana A., Sridhar P., Earthquake Analysis of Elevated Water Tanks Using SESAM” 4th International Conference On Civil Engineering, 1997,449-457..
- ANSYS Finite Element Analysis System,2011, SAS IP, Inc., U.S.
- Bathe K.J., Finite Element Procedures, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1037 s.,New Jersey, 1996.
- Bayraktar A., Asinkronize yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-temel sistemlerinin dinamik davranışı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1995, 38406.
- Bayraktar A., Dumanoglu A.A. ve Calayir Y., Asynchronous dynamic analysis of dam-reservoir-foundation systems by the lagrangian approach, Computers and Structures, 1996, 58, 5, 925-935.

- Bayraktar A., Hacıfendioglu K. ve Muvafik M., Asynchronous seismic analysis of concrete-faced rockfill dams including dam-reservoir interaction, Canadian Journal of Civil Engineering, 2005a, 32, 5, 940-947.
- Bayraktar A., Hançer E. ve Dumanoglu A.A., Comparison of stochastic and deterministic dynamic responses of gravity dam-reservoir systems using fluid finite elements, Finite Elements in Analysis and Design, 2005b, 41, 14, 1365- 1376.
- Bayraktar A., Hançer E. ve Akköse M., Influence of base-rock characteristics on the stochastic dynamic response of dam-reservoir-foundation systems, Engineering Structures, 2005c, 27, 10, 1498-1508.
- Bayram, Y., Değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-zemin sistemlerinin stokastik dinamik analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008, 222194.
- Bogdanoff J.L., Response of a simple structure to random earthquake type disturbance, Bull Seismol Soc Am, 1960, 51, 293-310.
- Bolotin V.V., Statistical theory of the aseismic design of structures, In: Proceedings of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, 1960, Tokyo, 2, 1365-1374.
- Calayır Y., Beton ağırlık barajların euler ve lagrange yaklaşımları kullanılarak dinamik analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1994, 33759.
- Calayır Y. ve Dumanoglu, A.A., Sıvı sıkışabilirliğinin baraj-rezervuar sistemlerinin modal davranışına etkisi, İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı IV. Sempozyumu, 1994, İstanbul, 151-160.
- Celep Z. ve Kumbasar N., Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- Clough R.W. ve Penzien J., PSEQN - Artificial generation of earthquake accelerograms, Earthquake Engineering Research Center, Report No EERC 69-3, University of California, Berkeley, California, 1969

- Clough R.W. ve Penzien J., Dynamics of structures, 2nd Edition, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1993.
- Doğangün A., Ayvaz Y., Durmuş A., Earthquake analysis of water towers, 4th International Conference on civil Engineering, 1997,4-6.
- Dowding C.H., Blast vibration monitoring and control, Prentice-Hall, London, 1985.
- Dowding C.H., Construction vibrations, Prentice-Hall, London, 1996.
- Duggal S.K., Design of steel structures, Tata McGraw-Hill Education, New, 839s, Delhi, 2009.
- Durmuş A., Doğangün A., Türkiye'de inşa edilen betonarme ayaklı su depolarının deprem emniyeti, Prefabrik Birliği Yayın Organı, 1992, sayı:22, 17-24.
- Greeves E.J., The modelling and analysis of linear and nonlinear fluid-structure systems with particular reference to concrete dams, Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Bristol, Bristol, 1991.
- Hacıfendioğlu K., Seasonally frozen soil's effect on stochastic response of masonry minaret–soil interaction systems to random seismic excitation, Cold Regions Science and Technology, 2009, Vol.60, 66-74.
- Hacıfendioğlu K., Kurtuluş S., Birinci F., Numerical investigation of stochastic response of an elevated water tank to random underground blast loading”, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2011, Vol. 26, 599-607.
- Hao H., Wu Y., Ma G.W. ve Zhou Y.X., Characteristics of surface ground motions induced by blasts in jointed rock mass, Soil Dynamics and Earthquake, 2001, 21, 85-98.
- Hart C.G. ve Wong K., Structural dynamics for structural engineers, John Wiley&Sons, Inc., Toronto, 1999.
- Housner G. W., Dynamic behavior of water tanks, Bulletin of the Seismological Society of the America, 53 pp 381-387, 1963.

- Iqbal J., Effects of an external explosion on a concrete structure. Ph. D. Thesis, Faculty of Civil & Environmental Engineering University of Engineering and Technology, Taxila-Pakistan, 2009, 196s.
- Jennings P.C., Housner G.W.ve Tsai N.C., Simulated earthquake motions for design purposes”, In: Proc. 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 1969, 1, 145–160.
- Kanasewich E.R., Time sequence analysis in geophysics, The University of Alberta Press, Edmonton, Alberta, Canada, 1981.
- Kartal M.E., Önyüzü beton kaplı kaya dolgu barajların güvenirlilik analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010, 270656.
- Kayabalı K., Geoteknik deprem mühendisliğine giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 2003
- Köseoğlu E., Sıvı-yapı etkileşim sistemlerinin Lagrange yaklaşımıyla stokastik dinamik analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2007, 212045.
- Livaoğlu R.,Doğangün A., Farklı taşıyıcı sisteme sahip ayaklı depoların zemin sınıflarına göre dinamik davranışlarının irdelenmesi,Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2003, Cilt:7 sayı:3, 70-77.
- Lu Yu., Hao H., Mao G.W. ve Zhou Y.X., Simulation of structural response under high-frequency shock excitation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2001, 30, 307-325.
- Lu Y. ve Wang Z., Characterization of structural effects from above-ground explosion using coupled numerical simulation”, Computers & Structures, 2006, 84(28), 1729-1742.
- Ma G., Lu Y. ve Hao H., Modelling damage potential of high-frequency ground motions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2003, 32, 1483-1503.
- Ma H. J., Quek S. T., Ang K. K., Soil–structure interaction effect from blast-induced horizontal and vertical ground vibration, Engineering Structures, 2004, 26(12), 1661-1675.

- Marashi E. S., Shakib H., Evaluations of dynamic characteristics of elevated water tanks by ambient vibration tests, 4th International Conference on civil Engineering, 1997.
- MATLAB, The MathWorks, Natick, MA, 2012.
- Oskoue V. ve Dumanoglu A.A., Nonlinear dynamic response of concrete gravity dams: cavitation effect, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2001, 21,2, 99-112.
- Özcan D.M., Yapıların patlatma kaynaklı doğrusal olmayan davranışlarının deneysel yöntemlerle belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010, 276440.
- Özmen H., Patlatma kaynaklı yer hareketinin modellenmesi ve yapı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006, 145208.
- Parrinello F. ve Borino G., Lagrangian finite element modelling of dam-fluid interaction, Accurate Absorbing Boundary Conditions, Computers and Structures, 2007, 85, 11-14, 932-943.
- Resheidat R. M. Sunna, H., Behavior of elevated storage tanks during earthquakes, Proceedings of the 3th World Conference on Earthquake Engineering, 1990, Vol II, pp 13,22, Moscow.
- Shenton H. W., Hampton F.P., Seismic response of isolated elevated water tanks, Journal of Structural Engineering, 1999, Vol. 125, 965-975.
- Shrimali M. K., Jangid R.S., Earthquake response of liquid storage tanks with sliding systems, JSEE, 2002, vol:4, No 2&3, 51-61.
- Singh P.K. ve Roy M.P., Damage to surface structures due to blast vibration, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2010, 47(6), 949-961.
- Unified Facilities Criteria (UFC), Structures to resist the effects of accidental explosions, Technical Manual, US Department of the Army, Navy, and Air Force, Washington, 2008.

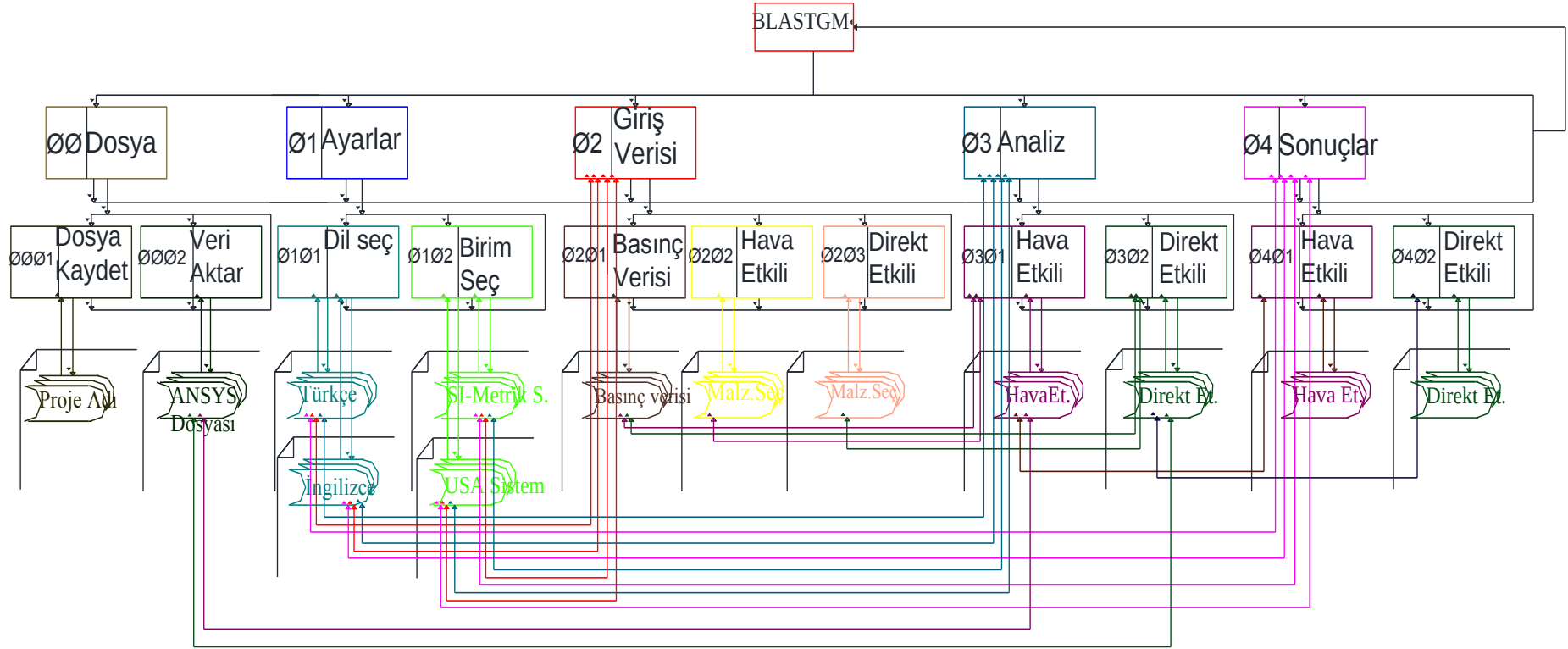
- URL-1:<http://www.barbourproductsearch.info/marmaray-tunnel-rail-project-in-turkey-file020349.html>, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2012).
- URL-2:<http://www.delmeplatlatma.org>, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2012).
- URL-3:http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/om/wsh9241562153.pdf (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2012).
- URL-4: <http://vis.eng.uci.edu/~curee/e3/Elevated%20water%20tank.jpeg>, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2012).
- URL-5:<http://hossinhassany.blogfa.com/post-320.aspx>, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2012).
- Westergaard M., Water pressures on dams during earthquakes, Transactions, ASCE, 1933, 98, 418-433.
- Wilson E.L. ve Khalvati M., Finite elements for the dynamic analysis of fluid-solid systems, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1983, 19,11. 1657-1668.
- Wriggers P., Computational contact mechanics, Second Edition, Springer Verlag, Netherlands, 2006.
- Wu C.Q., Hao H., Lu Y.,Lim W.K., Zhou Y. ve Seah C.C., Characterisation of underground blast induced ground motions from large-scale field tests, Shock Waves, 2003, 13, 237-252.
- Wu C., Hao H., Lu Y., Numerical prediction of blast-induced stress wave from large-scale underground explosion, International Journal For Numerical And Analytical Methods In Geomechanics, 2004a, 28, 93-109.
- Wu C., Hao H., Lu Y.ve Sun S., Numerical simulation of structural responses on a sand layer to blast induced ground excitations, Computers & Structures, 2004b, 82 (9-10), 799-814.
- Wu C.Q. ve Hao H., Numerical study of characteristics of underground blast induced surface ground motion and their effects on above-ground structures:Part I.Ground motion characteristics, Soil Dynamics ans Earthquake Engineering, 2005a, 25, 27-38.

- Wu C.Q. ve Hao H., Numerical study of characteristics of underground blast induced surface ground motion and their effects on above-ground structures:Part II.Ground motion characteristics, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2005b, 25, 39-53.
- Wu C., Hao H., Lu Y., Dynamic response and damage analysis of masonry structures and masonry infilled RC frames to blast ground motion, Eng Struct, 2005, 27(3):323–333
- Wu C.ve Hao H., Modeling of simultaneous ground shock and airblast pressure on nearby structures from surface explosions, International Journal of Impact Engineering, 2005c, 31(6), 699-717.
- Wu C. ve Hao H., Numerical simulation of structural response and damage to simultaneous ground shock and airblast loads, International Journal of Impact Engineering, 2007, 34(3), 556–572.
- Yerlici V. ve Luş H., Yapı dinamiğine giriş, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 2007.

EKLER

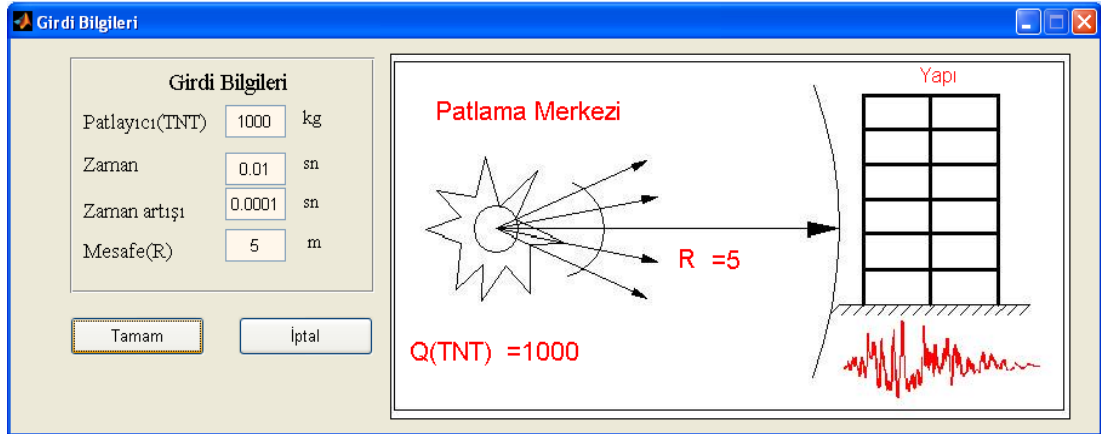
EK A: BlastGM yazılımı ile ilgili bilgiler.

EK A

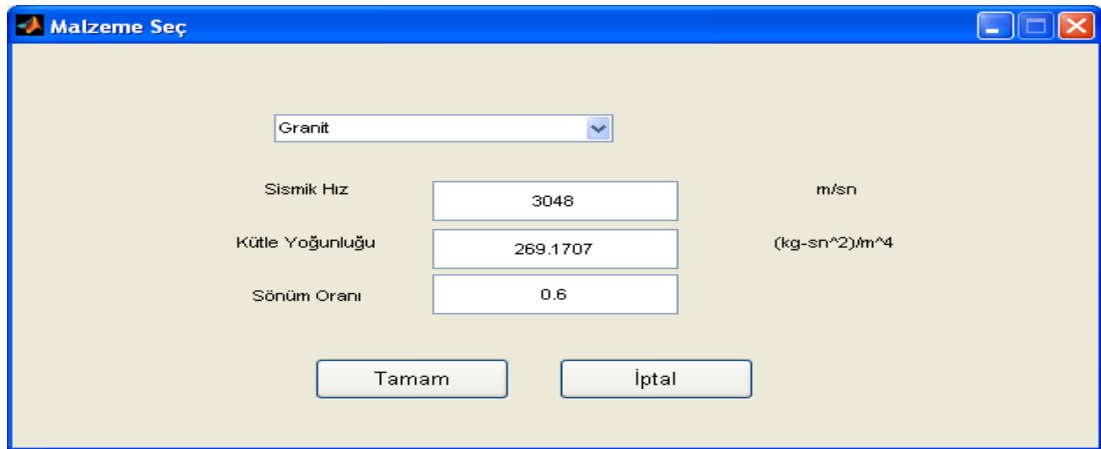


Şekil A.1: BlastGM yazılımının çalışma sistemi.

Fortran programlama dilinde deprem ivmelerinin probabilistik olarak tahmin edilmesi için hazırlanan yazılım (Ruiz ve Penzien, 1969), patlama etkili yer hareketi için MATLAB programlama dilinde geliştirilmiştir. Şekil A.1'de yazılımın çalışma sistemi gösterilmektedir. Geliştirilen yazılım en büyük ivme değerine ulaşana kadar döngü yapmakta ve bu ivmeye göre zamana bağlı sonuçları elde etmektedir. BlastGM yazılımında bilgi girişleri, analiz seçenekleri, sonuçların gösterilmesi pull-down menü sistemi ile son derece kolay hale getirilerek istenen amaca ulaşılması sağlanmıştır. Sayısal sonuçlar Excel programına aktarılmakta ve ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman, patlama basıncı-zaman, zarf fonksiyonu grafikleri de çizdirilebilmektedir. ANSYS sonlu elemanlar yazılımında kullanılmak üzere gerekli dosyalar yazılım tarafından oluşturulmaktadır. Yazılım Türkçe, İngilizce dillerinde kullanılabilir. Birim sistemi olarak SI birim sistemi ve Amerikan birim sistemi tercih edilebilmektedir. Geliştirilen yazılıma ait bilgi girişi, analiz ve sonuç kısımlarına ait ekran görüntüleri Şekil A.2-A.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil A.2: BlastGM yazılımının girdi ekranı.



Şekil A.3: Hava etkili yer hareketi için zemin bilgisi girdi ekranı.

Malzeme Seç

Sert

Sönüm Oranı 0.6

Sismik Hız 3048 m/sn

Tamam İptal

Şekil A.4: Direkt etkili yer hareketi için zemin bilgisi girdi ekranı.

Analiz türleri

Analiz türü seçiniz

Hava Etkili Yer Hareketi Direkt Etkili Yer Hareketi

Şekil A.5: Analiz türünün seçildiği ekran.

	A	B	C
1	Proje Adı	1000kg_5m	
2	Girdi Bilgileri		
3			
4	Patlayıcı(TNT)	1000 kg	
5	Zaman	0.01 sn	
6	Zaman artışı	0.0001 sn	
7	Mesafe(R)	5 m	
8	Maxivme	625.5578 g	
9	Analiz	Direkt Etkili Yer Hareketi	
10			
11	Malzeme Özellikleri		
12	Sönüm Oranı	0.6	
13	Sismik Hız	3048 m/sn	
14	Zemin cinsi	Sert	
15	Çıktı Bilgileri		
16			
17	Maksimum İvme	6133.97 m/sn^2	
18	Maksimum Hız	2.0584 m/sn	
19	Maksimum Yerdeğiştirme	0.0012331 m	

Şekil A.6: Girdi ve çıktı bilgilerinin gösterildiği ekran.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Olgun KÖKSAL

Doğum Yeri ve Tarihi: AYVACIK -1983

Adres: Sinop Üniversitesi Boyabat Meslek Yüksek Okulu 57200 Boyabat / SİNOP

E-Posta: olgunk@sinop.edu.tr

Lisans: Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Müh.-2004