

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAŞ DOLGU DALGAKIRANLARIN SİSMİK DAVRANIŞI**

**İnşaat Yük. Müh. Kubilay CİHAN**

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Kıyı ve Liman Mühendisliği Programında  
Hazırlanan**

**DOKTORA TEZİ**

**Tez Savunma Tarihi** : 23 Ekim 2009

**Tez Danışmanı** : Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL (YTÜ)

**Jüri Üyeleri** : Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI (İTÜ)

Prof. Dr. Esin Özkan ÇEVİK (YTÜ)

Prof. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER (ODTÜ)

Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN (YTÜ)

**İSTANBUL, 2009**

	Sayfa
<b>İÇİNDEKİLER</b>	
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xxiii
ÖNSÖZ.....	xxv
ÖZET.....	xxvi
ABSTRACT.....	xxvii
1 GİRİŞ.....	1
2 DEPREM HAREKETİ.....	4
2.1 Sismik Dalgalar.....	4
2.2 Faylar.....	6
2.2.1 Fay Geometrisi.....	7
2.2.2 Fay hareketi.....	7
2.2.2.1 Eğim Atım Hareketi.....	7
2.2.2.2 Doğrultu Atımlı Hareket.....	8
2.3 Depremlerin Boyutu.....	8
2.3.1 Deprem Şiddeti.....	9
2.3.2 Deprem Büyüklüğü.....	10
2.3.2.1 Richter Yerel Büyüklüğü.....	10
2.3.2.2 Yüzey Dalgası Büyüklüğü.....	10
2.3.2.3 Cisim Dalgası Büyüklüğü.....	11
2.3.2.4 Moment Büyüklüğü (MW).....	11
2.3.3 Depremin Enerjisi.....	12
2.4 Zemin Hareketi Parametreleri.....	13
2.5 Türkiye ve Depremler.....	15
3 TAŞ DOLGU DALGAKIRANLARIN SİSMİK DAVRANIŞI ve TEMEL KAVRAMLAR.....	18
3.1 Konu İle İlgili Çalışmalar.....	18
3.2 Sismik Şev Stabilite Analizi.....	39
3.2.1 Ataletsel Duraysızlık (Stabilitesizlik) Analizi.....	39
3.2.1.1 Psödo-statik Analiz.....	39
3.1.1.2 Newmark Kayan Blok Analizi.....	41
3.1.2 Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi.....	46
4 DENEYSEL ÇALIŞMA.....	48
4.1 Deney Sisteminin Tasarımı.....	48
4.1.1 Sarsma Tankı.....	48
4.1.2 Yağmurlama Sistemi.....	49
4.1.3 Ölçüm Sistemleri.....	51

4.2	Deney Sisteminin Kalibrasyonu.....	55
4.3	Deney Programı.....	61
4.4	Dalgakıran Modelleri .....	62
4.5	Deney Ölçüm Parametrelerinin Tanımı .....	71
4.6	Deneyler Sırasında Tank İçerisinde Oluşan Dalga Frekanslarının Belirlenmesi ..	74
4.6.1	Ölçüm Sistemi .....	74
5	ÜNİFORM KESİTLİ TAŞ DOLGU DALGAKIRANIN SİSMİK DAVRANIŞI	84
5.1	Anroşman Malzemesinin Sismik Davranışı.....	84
5.1.1	Kuru Ortamda Üniform Kesitin Sismik Davranışı.....	84
5.1.2	Su İçinde Üniform Kesitin Sismik Davranışı.....	119
5.1.3	Değerlendirme .....	156
5.2	Çekirdek Malzemesinin Sismik Davranışı.....	160
6	SAYISAL ANALİZLER.....	170
6.1	Üniform Dalgakıran Modelinin Analizi .....	170
6.2	Dinamik Davranış Analizi.....	172
7	TABAKALI KESİTLİ GELENEKSEL TAŞ DOLGU DALGAKIRANIN SİSMİK DAVRANIŞI.....	188
7.1	Giriş.....	188
7.2	Topuksuz Taş Dolgu Dalgakıranın Sismik Davranışı.....	188
7.3	Topuklu Geleneksel Taş Dolgu Dalgakıranın Sismik Davranışı .....	228
8	YAPAY BLOKLU DALGAKIRANIN SİSMİK DAVRANIŞI.....	260
8.1	Giriş.....	260
8.2	Topuksuz Küp Dalgakıranın Sismik Davranışı.....	260
8.3	Topuklu Küp Dalgakıranın Sismik Davranışı.....	271
8.4	Tetrapod Dalgakıranların Sismik Davranışı.....	283
8.4.1	Giriş.....	283
8.4.2	Birinci Yerleştirme Yöntemi .....	283
8.4.3	İkinci Yerleştirme Yöntemi.....	289
8.5	Accropode Dalgakıranların Sismik Davranışı.....	295
8.6	Core-loc Dalgakıranların Sismik Davranışı .....	300
9	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	307
	KAYNAKLAR.....	317
	EKLER .....	321
Ek 1	Boş durumdaki sarsma tankında ivme ölçerlerin 1 ve 2 nolu noktalara yerleştirilmesi durumunda elde edilen ivme değişimleri.....	322
Ek 2	Üniform anroşman malzemesi ile oluşturulan model için kuru ortamda 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları.....	326
Ek 3	Üniform anroşman malzemesi ile oluşturulan model için su içinde 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları.....	332
Ek 4	Geleneksel tabakalı model (topuksuz) için su içinde 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 7 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları.....	338

Ek 5	Geleneksel tabakalı model (topuklu) için su içinde 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 7 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları.....	346
Ek 6	Küp blok ile oluşturulan topuksuz model için 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 5, 6 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları .....	352
Ek 7	Küp blok ile oluşturulan topuklu model için 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 5, 6 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları .....	364
ÖZGEÇMİŞ	.....	376



## SİMGE LİSTESİ

$a$	Deprem karakteristik ivmesi
$a_b$	Eğimli düzlem üzerindeki ivme
$a_{röl}$	Rölatif ivme
$a_{max}$	Maksimum ivme
$a_y$	Yenilme ivmesi
$a_{(g)}$	İvme katsayısı
$a_{gb}$	Zemin ivme katsayısı
$a_{gc}$	Kret ivme katsayısı
$A_b$	Fay yüzeyinin kırılan kesiminin alanı
$A_a$	Mikrometre cinsinden P dalgası genliği
$A_d$	Yerde mikrometre cinsinden maksimum yerdeğiştirme
$A_m$	İvme büyümesi
$A_{mr}$	Rölatif ivme büyümesi
$A_r$	Dikdörtgen ivme palsı genliği
$ A $	Toplam şev kesit alanı değişimi
$-A$	Şevde deformasyona uğrayan ortalama kesit alanı
$+A$	Şevde yayılma nedeniyle kesit alandaki değişim
$c$	Kohezyon
$c'$	Efektif kohezyon
$c_v$	Sudaki ses dalgalarının yayılma hızı
$C$	Ek kütle katsayısı
$d_{röl}$	Rölatif yerdeğiştirme
$D_d$	Dinamik şartlarda göçmeye zorlayan kuvvetler
$D_n$	Nominal çap
$D_r$	Rölatif sıklık
$D_s$	Statik şartlarda göçmeye zorlayan kuvvetler
$D_{n50}$	Nominal çap
$E$	Deprem enerjisi
$E_d$	Dinamik elastisite modülü
$E_s$	Statik elastisite modülü
$E_n$	Dilim yan yüzeyine etkiyen yatay kuvvet
$E_{n+1}$	Dilim yan yüzeyine etkiyen yatay kuvvet
$E_{oed}^{ref}$	Ödometre modülü
$E_{ur}^{ref}$	Referans boşaltma- tekrar yükleme modülü
$E_{50}^{ref}$	Referans secant Young modülü
$f_n$	Boş tankın doğal frekansı
$F_h$	Yatay atalet kuvveti
$F_v$	Düşey atalet kuvveti
$FS$	Emniyet katsayısı
$g$	Yerçekimi ivmesi
$G_0$	Başlangıç kayma modülü
$h$	Su derinliği
$h_d$	Deformasyona uğramış kesit yüksekliği
$h_i$	Orijinal kesit yüksekliği
$k$	Yay rijitliği
$k_{eş}$	Eşdeğer yay rijitliği
$k_h$	Yatay psödo-statik katsayı
$k_v$	Düşey psödo-statik katsayı

$k_y$	Yenilme katsayısı
$K_{0nc}$	Sukünetteki toprak basıncı katsayısı
$l$	Dilim genişliği
$l_{ab}$	Yenilme düzleminin uzunluğu
$L$	Modelin karakteristik boyutu
$m$	Kütle
$m_b$	Cisim dalgası büyüklüğü
$m_d$	Kayaçların kayma gerilmesine gösterdikleri direnç
$m_0$	Malzeme sabiti
$M_L$	Richter yerel büyüklüğü
$M_s$	Yüzey dalga büyüklüğü
$M_w$	Moment büyüklüğü
$M_0$	Sismik moment
$n$	Porozite
$N$	Normal kuvvet
$N_d$	Dinamik durumdaki normal kuvvet
$N_s$	Statik durumdaki normal kuvvet
$p$	Basınç
$p_{ref}$	Referans gerilmesi
$q_a$	kayma dayanımına asimptot deviatorik gerilme
$q_f$	göçme durumuna karşı gelen deviatorik gerilme
$r$	Kayma dairesinin yarıçapı
$R$	Korelasyon sayısı
$R_d$	Dinamik şartlarda göçmeye karşı koyan kuvvetler
$R_f$	Göçme oranı
$R_s$	Statik şartlarda göçmeye karşı koyan kuvvetler
$S$	Hasar seviyesi
$S_k/FS$	Mobilize olmuş kayma kuvveti
$S_a$	Yüzde hasar
$S_c$	Kretteki maksimum düşey deplasman
$t$	Zaman
$t_1$	Rölatif hızın sıfır olduğu zaman
$T$	P dalgasının periyodu
$u$	Fay boyunca meydana gelen ortalama ötelenme
$u_p$	boşluk suyu basıncı
$U$	Titreşimin karakteristik hızı
$v_{max}$	Maksimum hız
$V_d$	Deformasyona uğramış kesit hacmi
$V_i$	Orjinal kesit hacmi
$+V$	Yayıma nedeniyle hacim değişimi
$-V$	Deformasyon nedeniyle şevde meydana gelen hacim azalması
$W$	Ağırlık
$y_k$	moment kolu
$\alpha$	Düzeltilme faktörü
$\beta$	Şev açısı
$\Delta$	Rölatif yoğunluk
$\Delta t$	Zaman aralığı
$\Delta H$	Rölatif yanal deplasman
$\Delta V$	Hacim değişimi

$\Delta_0$	Sismometrenin derece cinsinden dışmerkez uzaklığı
$\varepsilon_v$	Hacimsel şekil değiştirme
$\varphi$	İçsel sürtünme açısı
$\varphi'$	Efektif içsel sürtünme açısı
$\Phi$	Hız potansiyeli
$\gamma$	Kayma şekil değiştirme
$\gamma_{sat}$	Suya doygun birim ağırlık
$\gamma_{unsat}$	Suya doygun olmayan birim ağırlık
$\gamma_{0.7}$	Kritik kayma şekil değiştirme
$\mu$	Sürtünme katsayısı
$\nu$	Kinematik viskozite
$\theta$	Düzeltilme faktörü
$\rho$	Malzemenin doğal durumundaki özgül kütlesi
$\rho_{min}$	Malzemin en gevşek yerleşimdeki özgül kütlesi
$\rho_{maks}$	Malzemenin en sıkı yerleşimdeki özgül kütlesi
$\rho_s$	Malzemenin özgül kütlesi
$\rho_w$	Suyun özgül kütlesi
$\sigma_1$	En büyük efektif asal gerilme
$\sigma_3$	En küçük efektif asal gerilme
$\nu_{ur}$	Poisson oranı
$\psi$	Dilatasyon açısı
$\omega$	Yatay sismik salınımın çevrimsel frekansı
$\omega_s$	Yapının doğal frekansı
$\omega_1$	Yapıyı çevreleyen su kütesinin birinci kesim frekansı

## KISALTMA LİSTESİ

AD	Analog dönüştürücü
CERC	Coastal Engineering Research Center
CPU	Central processing unit
DC	Direct Current
DEM	Distinct Element Method
JMA	Japan Meteorological Agency
FEM	Finite Element Method
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
MMI	Modified Mercalli Intensity
MSK	Medvedev-Spoonheuer-Karnik
OCDI	The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan
PC	Personal Computer
PGA <sub>h</sub>	Peak ground horizontal acceleration
PGA <sub>v</sub>	Peak ground vertical acceleration
PGD	Peak ground displacement
PGV <sub>h</sub>	Peak ground horizontal velocity
PGV <sub>v</sub>	Peak ground vertical velocity
PIANC	The Permanent International Association for Navigation Congresses
PLC	Programmable logic controller
RF	Rossi-Forel
RPM	Revolutions per minute
SPT	Standart Penetrasyon Testi
S_VHS	Super Video Home System

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar: a) P dalgası, b) SV dalgası (Bolt, 1993)..... 5
Şekil 2.2	Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar a) Rayleigh dalgası, b) Love dalgası (Bolt, 1993)..... 6
Şekil 2.3	Fay düzlemi yöneliminin tanımlanmasında geometrik notasyon (Kramer, 1996)..... 7
Şekil 2.4	a) Normal faylanma, b) Ters faylanma (Noson, 1988)..... 8
Şekil 2.5	Doğrultu atımlı sol yönlü faylanma (Noson, 1988)..... 8
Şekil 2.6	Değiştirilmiş Mecalli (MMI), Rossi-Forel (RF), Japonya Meteoroloji Kurumu (JMA) ve Medvedev-Spoonheuer (MSK) ölçeklerindeki şiddet değerleri arasında karşılaştırma (Richter, 1958 ve Murphy-O'Brien, 1977)..... 9
Şekil 2.7	Değişik büyüklük ölçeklerinin doyması (Heaton, 1986)..... 12
Şekil 2.8	Farklı deprem ve bölge durumlarına göre akselogram örnekleri (PIANC, 2001) ..... 14
Şekil 2.9	Bir zemin hareket kaydının ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerinin zaman göre değişimi (California Institute of Technology Web sayfası, 2008)..... 15
Şekil 2.10	Türkiye'nin içinde bulunduğu bölgedeki levhalar ve sınırları (sayısalgrafik Web sayfası, 2008) ..... 16
Şekil 2.11	Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (deprem.gov.tr, 2008) ..... 17
Şekil 3.1	Deprem oluşumlarına göre dünya bölgeleri (PIANC 2001) ..... 20
Şekil 3.2	Sismik dalgaların yayılması (PIANC 2001) ..... 20
Şekil 3.3	Tipik liman yapıları (PIANC 2001)..... 22
Şekil 3.4	Taş dolgu dalgakıranda hasar (PIANC, 2001)..... 23
Şekil 3.5	Değişik yapay koruyucu blok tipleri..... 24
Şekil 3.6	Testlerde kullanılan model kesitleri (Sugano vd., 2004)..... 25
Şekil 3.7	a) I. Model b) II. Model için kesitlerin şematik gösterimi (Sadkerami vd., 2008)..... 28
Şekil 3.8	Psödo-statik şev stabilite analizinde düzlemsel yenilme yüzeyinin üzerinde üçgen zemin kaması üzerine etkiyen kuvvetler ..... 40
Şekil 3.9	a) Potansiyel heyelan ve b) eğimli düzlem üzerinde sükunetteki blok arasındaki benzerlik..... 41
Şekil 3.10	Eğimli düzlem üzerinde duran bloğa etkiyen kuvvetler a) statik şartlar, b) dinamik şartlar ..... 41
Şekil 3.11	200 eğimli düzlem üzerindeki blok için psödo-statik emniyet katsayısının yatay psödo-statik katsayı ile değişimi..... 42
Şekil 3.12	Kayan blok ile düzlem arasında $t=t_0$ ile $t= t_0+\Delta t$ arasında yenilme ivmesini aşan dörtgen etkiden ileri gelen rölatif hız ve rölatif yerdeğiştirmenin değişimi..... 43
Şekil 3.13	Gerçek deprem yer hareketinde kalıcı şev yerdeğiştirmelerinin gelişmesi (Wilson ve Keefer, 1985)..... 45
Şekil 3.14	Kalıcı şev yerdeğiştirmeleri yenilme ivmesi ile maksimum ivme arasındaki ilişkiye bağlıdır. a) Bir şevin yenilme ivmesinin belirli bir yer hareketinin maksimum ivmesinden büyük olması durumunda yerdeğiştirme meydana gelmez b) ve c)'de olduğu gibi yenilme ivmeleri azalırken şev yerdeğiştirmeleri artar..... 45
Şekil 3.15	Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi'nde kullanılan dilim ve etkili kuvvetler (Tagasoft Web sayfası, 2009) ..... 46

Şekil 4.1	Sarsma tankı.....	48
Şekil 4.2	Yağmurlama sistemi .....	50
Şekil 4.3	Bilgisayar destekli ivme ölçer verilerinin değerlendirilmesi.....	51
Şekil 4.4	Profil kaydedicinin çalışma esnasındaki bir görüntü .....	52
Şekil 4.5	Profil kaydedicinin çalışma esnasındaki bir görüntü .....	53
Şekil 4.6	Görüntü işleme sisteminin şematik görünümü .....	54
Şekil 4.7	Görüntü kaydetme işleme anı .....	54
Şekil 4.8	Görüntü işleme sisteminin genel görünümü .....	55
Şekil 4.9	Boş durumdaki sarsma tankından elde edilen ivme kayıtları .....	57
Şekil 4.10	Her uç kısmına toplam dört yayın yerleştirilmesi durumunda sarsma tankından alınan ivme kayıtları .....	59
Şekil 4.11	Bruel&Kjaer Vibration Analyser 2515.....	61
Şekil 4.12	İvme ölçerlerin modellere göre konumları .....	63
Şekil 4.13	Anroşman malzemesinin içsel sürtünme açısının tespiti için kullanılan deney düzeneği .....	67
Şekil 4.14	Deneylerde kullanılan köprülü kren sistemleri .....	68
Şekil 4.15	Kategorilenmiş taş dolgu .....	69
Şekil 4.16	Tabakalı dalgakıran modellerinde kullanılan yapay bloklar.....	69
Şekil 4.17	Tankın su dolu olması halinde sönmüldürücü yerleştirilmiş tank .....	70
Şekil 4.18	Model tabanı yapay pürüzlülük .....	71
Şekil 4.19	Modelin sismik davranışı ve ölçüm parametreleri.....	73
Şekil 4.20	Dalga mönitörü .....	75
Şekil 4.21	1 mm genlik, 3 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	76
Şekil 4.22	1 mm genlik, 4 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	77
Şekil 4.23	1 mm genlik, 5 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	77
Şekil 4.24	1 mm genlik, 6 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	78
Şekil 4.25	1 mm genlik, 7 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	78
Şekil 4.26	2 mm genlik, 3 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	79
Şekil 4.27	2 mm genlik, 4 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	79
Şekil 4.28	2 mm genlik, 5 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	80
Şekil 4.29	2 mm genlik, 6 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	80
Şekil 4.30	2 mm genlik, 7 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	81
Şekil 4.31	3 mm genlik, 3 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	81
Şekil 4.32	3 mm genlik, 4 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	82
Şekil 4.33	3 mm genlik, 5 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	82
Şekil 4.34	3 mm genlik, 6 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	83

Şekil 4.35	3 mm genlik, 7 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri .....	83
Şekil 5.1	1mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri.....	86
Şekil 5.2	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	87
Şekil 5.3	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	87
Şekil 5.4	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	87
Şekil 5.5	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	88
Şekil 5.6	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	88
Şekil 5.7	1 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri.....	88
Şekil 5.8	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	89
Şekil 5.9	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	89
Şekil 5.10	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	89
Şekil 5.11	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	90
Şekil 5.12	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	90
Şekil 5.13	2mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri.....	90
Şekil 5.14	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	91
Şekil 5.15	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	91
Şekil 5.16	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	91
Şekil 5.17	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	92
Şekil 5.18	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	92
Şekil 5.19	2mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri.....	92
Şekil 5.20	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	93
Şekil 5.21	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	93
Şekil 5.22	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	93
Şekil 5.23	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	94
Şekil 5.24	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	94
Şekil 5.25	3mm genlik 5 Hz frekans için ivme-zaman grafiği .....	94
Şekil 5.26	3mm genlik 5 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	95
Şekil 5.27	3mm genlik 5 Hz frekans için 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	95
Şekil 5.28	3mm genlik 5 Hz frekans için 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	95
Şekil 5.29	3mm genlik 5 Hz frekans için 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	96
Şekil 5.30	3mm genlik 5 Hz frekans için 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	96
Şekil 5.31	3 mm genlik 6 Hz frekans için ivme-zaman grafiği .....	96
Şekil 5.32	3mm genlik 6 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	97
Şekil 5.33	3mm genlik 6 Hz frekans için 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	97
Şekil 5.34	3mm genlik 6 Hz frekans için 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	97
Şekil 5.35	3mm genlik 6 Hz frekans için 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	98
Şekil 5.36	3mm genlik 6 Hz frekans için 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	98
Şekil 5.37	2mm genlik, 6 Hz frekans.....	98
Şekil 5.38	3 mm genlik, 5 Hz frekans.....	100
Şekil 5.39	1mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	101

Şekil 5.40	2mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	101
Şekil 5.41	2mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	102
Şekil 5.42	3mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	102
Şekil 5.43	3mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	102
Şekil 5.44	Kretteki oturmanın frekans ile değişimi .....	103
Şekil 5.45	Kretteki oturmanın genlikle değişimi .....	103
Şekil 5.46	Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri.....	104
Şekil 5.47	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri.	104
Şekil 5.48	Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sol şevde oluşan hasar yüzdeleri.....	104
Şekil 5.49	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hasar yüzdeleri..	105
Şekil 5.50	Frekansa bağlı olarak farklı genlik durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi.....	106
Şekil 5.51	Genliğe bağlı olarak farklı frekans durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi.....	106
Şekil 5.52	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.....	107
Şekil 5.53	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.....	107
Şekil 5.54	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan yığılmalar .....	107
Şekil 5.55	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan yığılmalar .....	108
Şekil 5.56	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan hacim değişim... ..	108
Şekil 5.57	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hacim değişimi .	108
Şekil 5.58	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan yığılmalar.....	109
Şekil 5.59	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan yığılmalar.....	109
Şekil 5.60	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	109
Şekil 5.61	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	110
Şekil 5.62	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı.....	110
Şekil 5.63	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı.....	110
Şekil 5.64	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	111
Şekil 5.65	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	111
Şekil 5.66	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	111
Şekil 5.67	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	112
Şekil 5.68	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	112
Şekil 5.69	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	113
Şekil 5.70	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	113
Şekil 5.71	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	113
Şekil 5.72	Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.....	115



Şekil 5.73	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi.....	116
Şekil 5.74	Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi.....	117
Şekil 5.75	Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi .....	117
Şekil 5.76	Filtrelenmiş 3mm 5 Hz ivme için ivme-zaman grafiği .....	118
Şekil 5.77	İvme büyümesinin değişimi .....	119
Şekil 5.78	Rölatif ivme büyümesinin değişimi .....	119
Şekil 5.79	1mm genlik 5 Hz için ivme değerleri .....	122
Şekil 5.80	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	122
Şekil 5.81	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	123
Şekil 5.82	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	123
Şekil 5.83	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	123
Şekil 5.84	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	124
Şekil 5.85	1mm genlik 6 Hz için ivme değerleri .....	124
Şekil 5.86	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	124
Şekil 5.87	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	125
Şekil 5.88	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	125
Şekil 5.89	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	125
Şekil 5.90	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	126
Şekil 5.91	2 mm genlik 5 Hz için ivme değerleri .....	126
Şekil 5.92	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	126
Şekil 5.93	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	127
Şekil 5.94	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	127
Şekil 5.95	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	127
Şekil 5.96	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	128
Şekil 5.97	2 mm genlik 6 Hz için ivme değerleri .....	128
Şekil 5.98	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	128
Şekil 5.99	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	129
Şekil 5.100	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	129
Şekil 5.101	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	129
Şekil 5.102	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	130
Şekil 5.103	3 mm genlik 5 Hz için ivme değerleri .....	130
Şekil 5.104	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	130
Şekil 5.105	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	131
Şekil 5.106	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	131
Şekil 5.107	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	131
Şekil 5.108	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	132
Şekil 5.109	3 mm genlik 6 Hz için ivme değerleri .....	132
Şekil 5.110	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3mm, 6 Hz).....	132
Şekil 5.111	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	133
Şekil 5.112	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	133
Şekil 5.113	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	133
Şekil 5.114	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	134
Şekil 5.115	2 mm genlik, 6 Hz frekans .....	134
Şekil 5.116	3 mm genlik, 5 Hz frekans .....	135
Şekil 5.117	1mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi .....	137
Şekil 5.118	1mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi .....	137
Şekil 5.119	2mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi .....	137
Şekil 5.120	2mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi .....	138
Şekil 5.121	3mm-4 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi .....	138
Şekil 5.122	3mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi .....	138
Şekil 5.123	3mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi .....	139

Şekil 5.124	Kretteki oturmanın tank frekansı ile değişimi .....	139
Şekil 5.125	Kretteki oturmanın genlikle değişimi .....	140
Şekil 5.126	Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri.....	140
Şekil 5.127	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri .	140
Şekil 5.128	Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sol şevde oluşan hasar yüzdeleri.....	141
Şekil 5.129	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hasar yüzdeleri..	141
Şekil 5.130	Frekansa bağlı olarak farklı genlik durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi.....	142
Şekil 5.131	Genliğe bağlı olarak farklı frekans durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi.....	142
Şekil 5.132	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.....	143
Şekil 5.133	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.....	143
Şekil 5.134	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan yığılmalar .....	143
Şekil 5.135	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan yığılmalar .....	144
Şekil 5.136	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan hacim değişimi .	144
Şekil 5.137	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hacim değişimi .	144
Şekil 5.138	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan yığılmalar.....	145
Şekil 5.139	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan yığılmalar.....	145
Şekil 5.140	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	145
Şekil 5.141	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	146
Şekil 5.142	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı.....	146
Şekil 5.143	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı.....	146
Şekil 5.144	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	147
Şekil 5.145	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	147
Şekil 5.146	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	147
Şekil 5.147	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	148
Şekil 5.148	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	148
Şekil 5.149	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	148
Şekil 5.150	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	149
Şekil 5.151	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	149
Şekil 5.152	Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.....	151
Şekil 5.153	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi.....	151
Şekil 5.154	Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi.....	153
Şekil 5.155	Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi .....	153
Şekil 5.156	Sağ ve sol şevde ölçülen ivmeler ile hasarın değişimi.....	153

Şekil 5.157	Model kretinde ivme büyümesinin değişimi.....	154
Şekil 5.158	Sağ şevde ivme büyümesi.....	154
Şekil 5.159	Sol şevde ivme büyümesi.....	155
Şekil 5.160	Model kretinde rölatif ivme büyümesinin değişimi.....	155
Şekil 5.161	Sağ şevde rölatif ivme büyümesi.....	155
Şekil 5.162	Sol şevde rölatif ivme büyümesi.....	156
Şekil 5.163	Su içine yerleştirilmiş üniform model kesitinde kret ve şevlerdeki rölatif ivme büyümeleri.....	156
Şekil 5.164	Kuru hal ve su içinde birim oturma- ivme değişimleri.....	158
Şekil 5.165	Kuru hal ve su içinde hacimsel birim deformasyon- ivme değişimleri.....	158
Şekil 5.166	Kuru hal ve su içinde sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri- ivme değişimleri....	159
Şekil 5.167	Kuru hal ve su içinde sol şevde oluşan hasar yüzdeleri- ivme değişimleri....	159
Şekil 5.168	Kuru hal ve su içinde hasar yüzdesi- ivme değişimi.....	160
Şekil 5.169	Kuru ortam ve su içinde yapılan deneylerde krette oluşan rölatif ivme büyümeleri.....	160
Şekil 5.170	Test edilen çekirdek malzemesi.....	161
Şekil 5.171	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi.....	162
Şekil 5.172	Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.....	162
Şekil 5.173	Çekirdek kesit için 2mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	163
Şekil 5.174	Çekirdek kesit için 2mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	163
Şekil 5.175	Çekirdek kesit için 3 mm genlik, 3 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	164
Şekil 5.176	Çekirdek kesit için 3 mm genlik, 4 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	166
Şekil 5.177	Çekirdek kesit için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	166
Şekil 5.178	Çekirdek kesit için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	166
Şekil 5.179	2 mm genlik 6Hz frekans durumunda çekirdek kesitinin değişik anlardaki deformasyonu.....	167
Şekil 5.180	2 mm genlik 6 Hz frekans için ivme-zaman grafiği.....	167
Şekil 5.181	Çekirdek kesitindeki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	168
Şekil 5.182	Krette oluşan ivme büyümesi.....	168
Şekil 5.183	Sol şevde oluşan ivme büyümesi.....	168
Şekil 5.184	Sağ şevde oluşan ivme büyümesi.....	169
Şekil 6.1	Emniyet katsayısının yatay ivme değerleri ile değişimi.....	172
Şekil 6.2a.	Kuru model deneyin model ağı.....	173
Şekil 6.2b.	Su altındaki model deneyin model ağı.....	173
Şekil 6.3a	Kuru hal için ölçülen ivme kaydı.....	173
Şekil 6.3b	Su içindeki hal için ölçülen ivme kaydı.....	174
Şekil 6.4	Üç eksenli basınç deneyinden HS model için rijitlik parametreleri.....	176
Şekil 6.5	Modifiye edilmiş Hardin-Drnevich kayma modülü-kayma şekil değiştirme degradasyon eğrisi (Plaxis V9 Manual, 2009).....	177
Şekil 6.6	Statik elastisite modülü ve Dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki (Alpan,1970).....	178
Şekil 6.7a.	Kuru hal için 10 s sonunda oluşan düşey yer değiştirme dağılımı.....	179
Şekil 6.7b.	Su içindeki hal için 10 s sonunda oluşan düşey yer değiştirme dağılımı.....	179
Şekil 6.8a.	Kuru hal için toplam yer değiştirme dağılımı.....	180
Şekil 6.8b.	Su içindeki hal için toplam yer değiştirme dağılımı.....	180

Şekil 6.9a.	Kuru hal için şevlerde ( $y=0.30$ m) ve krette ( $x=1.40$ m) oluşan yanıl yer değiştirmelerin zamanla değişimi .....	181
Şekil 6.9b.	Su içindeki hal için şevlerde ( $y=0.30$ m) ve krette ( $x=1.40$ m) oluşan yanıl yer değiştirmelerin zamanla değişimi .....	182
Şekil 6.10a	Kuru haldeki dalgakıranın kanal eksenindeki kesitinde rölatif yanıl deplasmanların zamanla ve derinlikle değişimi .....	182
Şekil 6.10b	Su içindeki dalgakıranın kanal eksenindeki kesitinde rölatif yanıl deplasmanların zamanla ve derinlikle değişimi .....	183
Şekil 6.11a.	Kuru hal için krette ölçülen ve hesaplanan ivme tarihçesi .....	184
Şekil 6.11b.	Su içindeki hal için krette ölçülen ve hesaplanan ivme tarihçesi .....	184
Şekil 6.12a.	Kuru hal için krette ölçülen ve hesaplanan oturmaların zamanla değişimi ...	185
Şekil 6.12b.	Su içindeki hal için krette ölçülen ve hesaplanan oturmaların zamanla değişimi .....	185
Şekil 6.13	Model dalgakıranda nihai durumda oluşan kayma yüzeyleri ve deforme olmuş şekil (kuru ortamda) .....	186
Şekil 6.14	Model dalgakıranda nihai durumda oluşan deformasyon (su içinde) .....	187
Şekil 7.1	Topuksuz tabakalı taş dolgu dalgakıran kesiti .....	191
Şekil 7.2	Tabakalı taş dolgu dalgakıran modelinin sarsma tankında konumu ve ivme ölçer konumları .....	191
Şekil 7.3	1mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri .....	191
Şekil 7.4	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz) .....	192
Şekil 7.5	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz) .....	192
Şekil 7.6	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz) .....	192
Şekil 7.7	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz) .....	193
Şekil 7.8	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz) .....	193
Şekil 7.9	1 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri .....	193
Şekil 7.10	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz) .....	194
Şekil 7.11	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz) .....	194
Şekil 7.12	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz) .....	194
Şekil 7.13	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz) .....	195
Şekil 7.14	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz) .....	195
Şekil 7.15	2mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri .....	195
Şekil 7.16	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz) .....	196
Şekil 7.17	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz) .....	196
Şekil 7.18	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz) .....	196
Şekil 7.19	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz) .....	197
Şekil 7.20	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz) .....	197
Şekil 7.21	2mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri .....	197
Şekil 7.22	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz) .....	198
Şekil 7.23	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz) .....	198
Şekil 7.24	4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz) .....	198
Şekil 7.25	5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz) .....	199
Şekil 7.26	6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz) .....	199
Şekil 7.27	3mm genlik 5 Hz frekans için ivme-zaman grafiği .....	199
Şekil 7.28	3mm genlik 5 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz) .....	200
Şekil 7.29	3mm genlik 5 Hz frekans için 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz) .....	200
Şekil 7.30	3mm genlik 5 Hz frekans için 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz) .....	200

Şekil 7.31	3mm genlik 5 Hz frekans için 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	201
Şekil 7.32	3mm genlik 5 Hz frekans için 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	201
Şekil 7.33	3 mm genlik 6 Hz frekans için ivme-zaman grafiği .....	201
Şekil 7.34	3mm genlik 6 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	202
Şekil 7.35	3mm genlik 6 Hz frekans için 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	202
Şekil 7.36	3mm genlik 6 Hz frekans için 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	202
Şekil 7.37	3mm genlik 6 Hz frekans için 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	203
Şekil 7.38	3mm genlik 6 Hz frekans için 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	203
Şekil 7.39	2mm genlik, 5 Hz frekans.....	203
Şekil 7.40	3 mm genlik, 5 Hz frekans.....	205
Şekil 7.41	1mm-7 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	206
Şekil 7.42	2mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	206
Şekil 7.43	2mm-7 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	207
Şekil 7.44	3mm-7 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	207
Şekil 7.45	3mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	207
Şekil 7.46	Kretteki oturmanın frekans ile değişimi .....	208
Şekil 7.47	Kretteki oturmanın genlikle değişimi .....	208
Şekil 7.48	Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri.....	209
Şekil 7.49	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri .....	209
Şekil 7.50	Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sol şevde oluşan hasar yüzdeleri .....	209
Şekil 7.51	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hasar yüzdeleri .....	210
Şekil 7.52	Frekansa bağlı olarak farklı genlik durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi.....	211
Şekil 7.53	Genliğe bağlı olarak farklı frekans durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi .....	211
Şekil 7.54	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.....	212
Şekil 7.55	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.....	212
Şekil 7.56	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan yığılmalar .....	212
Şekil 7.57	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan yığılmalar.....	213
Şekil 7.58	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan hacim değişimi .....	213
Şekil 7.59	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hacim değişimi .....	213
Şekil 7.60	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan yığılmalar.....	214
Şekil 7.61	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan yığılmalar.....	214
Şekil 7.62	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	214
Şekil 7.63	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	215
Şekil 7.64	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı.....	215

Şekil 7.65	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı.....	215
Şekil 7.66	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	216
Şekil 7.67	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	216
Şekil 7.68	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı.....	216
Şekil 7.69	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı.....	217
Şekil 7.70	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	217
Şekil 7.71	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	218
Şekil 7.72	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	218
Şekil 7.73	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	218
Şekil 7.74	Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.....	220
Şekil 7.75	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi.....	220
Şekil 7.76	Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi.....	221
Şekil 7.77	Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi .....	221
Şekil 7.78	Topuksuz tabakalı taş dolgu dalgakıranda hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi .....	222
Şekil 7.79	Filtrelenmiş 3mm 5 Hz ivme için ivme-zaman grafiği.....	222
Şekil 7.80	İvme büyümesinin değişimi .....	223
Şekil 7.81	İvme büyütme değerlerinin değişimi .....	224
Şekil 7.82	Topuksuz tabakalı kesit için birim oturma.....	225
Şekil 7.83	Topuksuz tabakalı kesit ve anroşman için birim oturmalar .....	226
Şekil 7.84	Topuksuz tabakalı kesit, anroşman ve çekirdek için birim oturmalar .....	226
Şekil 7.85	Topuksuz tabakalı kesit için hacimsel birim deformasyon.....	227
Şekil 7.86	Topuksuz tabakalı kesit ve anroşman için hacimsel birim deformasyonlardaki değişimler.....	227
Şekil 7.87	Topuksuz tabakalı kesit, anroşman ve çekirdek için hacimsel birim deformasyonlardaki değişimler .....	228
Şekil 7.88	Topuklu taş dolgu dalgakıranda modeli .....	228
Şekil 7.89	1mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri.....	231
Şekil 7.90	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz).....	231
Şekil 7.91	1 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri.....	231
Şekil 7.92	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz).....	232
Şekil 7.93	1 mm genlik, 7 Hz frekans için ivme değerleri.....	232
Şekil 7.94	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 7 Hz).....	232
Şekil 7.95	2 mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri.....	233
Şekil 7.96	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz).....	233
Şekil 7.97	2 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri.....	233
Şekil 7.98	2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz).....	234
Şekil 7.99	2mm genlik, 7 Hz frekans için ivme değerleri.....	234
Şekil 7.100	3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 7 Hz).....	234
Şekil 7.101	3mm genlik 5 Hz frekans için ivme-zaman grafiği .....	235

Şekil 7.102	3mm genlik 5 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz).....	235
Şekil 7.103	3 mm genlik 6 Hz frekans için ivme-zaman grafiği .....	235
Şekil 7.104	3mm genlik 6 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz).....	236
Şekil 7.105	3 mm genlik 7 Hz frekans için ivme-zaman grafiği .....	236
Şekil 7.106	3mm genlik 7 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 7 Hz).....	236
Şekil 7.107	2mm genlik, 5 Hz frekans.....	237
Şekil 7.108	3 mm genlik, 5Hz frekans.....	238
Şekil 7.109	1mm-7 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	239
Şekil 7.110	2mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	240
Şekil 7.111	3mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	240
Şekil 7.112	3mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği .....	240
Şekil 7.113	Krettteki oturmanın frekans ile değişimi .....	241
Şekil 7.114	Krettteki oturmanın genlikle değişimi .....	241
Şekil 7.115	Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri.....	242
Şekil 7.116	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri ..	242
Şekil 7.117	Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sol şevde oluşan hasar yüzdeleri.....	242
Şekil 7.118	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hasar yüzdeleri..	243
Şekil 7.119	Frekansa bağlı olarak farklı genlik durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi .....	244
Şekil 7.120	Genliğe bağlı olarak farklı frekans durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi .....	244
Şekil 7.121	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.....	244
Şekil 7.122	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.....	245
Şekil 7.123	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan yığılmalar .....	245
Şekil 7.124	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan yığılmalar .....	245
Şekil 7.125	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan hacim değişimi ..	246
Şekil 7.126	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hacim değişimi ..	246
Şekil 7.127	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan yığılmalar.....	246
Şekil 7.128	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan yığılmalar.....	247
Şekil 7.129	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	247
Şekil 7.130	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	247
Şekil 7.131	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı.....	248
Şekil 7.132	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alan.....	248
Şekil 7.133	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	248
Şekil 7.134	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	249
Şekil 7.135	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	249

Şekil 7.136	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı .....	249
Şekil 7.137	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	250
Şekil 7.138	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	250
Şekil 7.139	Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	250
Şekil 7.140	Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan.....	251
Şekil 7.141	Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.....	252
Şekil 7.142	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi.....	252
Şekil 7.143	Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi.....	253
Şekil 7.144	Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi .....	254
Şekil 7.145	Topuklu tabakalı taş dolgu dalgakıranda hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi .....	254
Şekil 7.146	Filtrelenmiş 3mm 5 Hz ivme için ivme-zaman grafiği .....	254
Şekil 7.147	İvme büyümesinin değişimi.....	255
Şekil 7.148	İvme büyüme değerlerinin değişimi .....	257
Şekil 7.149	Topuklu tabakalı kesit için birim oturma.....	257
Şekil 7.150	Topuklu ve topuksuz tabakalı kesitler için birim oturmalar .....	258
Şekil 7.151	Topuklu tabakalı kesit için hacimsel birim deformasyon .....	258
Şekil 7.152	Topuklu, topuksuz ve üniform anroşman kesitlerde şev hasarları.....	259
Şekil 8.1	Küp bloklu dalgakıran modelinin şev görünümü.....	260
Şekil 8.2	Küp dolgu dalgakıran kesiti .....	263
Şekil 8.3	Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.....	264
Şekil 8.4	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi.....	264
Şekil 8.5	Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi .....	265
Şekil 8.6	Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi.....	265
Şekil 8.7	Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi (sağ ve sol şev birlikte).....	266
Şekil 8.8	İvme büyütme değerlerinin değişimi .....	266
Şekil 8.9	Topuksuz küp dalgakıran için birim oturma .....	267
Şekil 8.10	Topuksuz küp dalgakıran için hacimsel birim deformasyon .....	268
Şekil 8.11	Topuksuz küp kesit için 1 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	269
Şekil 8.12	Topuksuz küp kesit için 1 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	269
Şekil 8.13	Topuksuz küp kesit için 2 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	270
Şekil 8.14	Topuksuz küp kesit için 2 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	270
Şekil 8.15	Topuksuz küp kesit için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	270
Şekil 8.16	Topuksuz küp kesit için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği.....	271
Şekil 8.17	Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.....	274
Şekil 8.18	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi.....	274
Şekil 8.19	Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi.....	275
Şekil 8.20	Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi .....	275
Şekil 8.21	Topuklu küp dalgakıranda hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi.....	276



Şekil 8.22	İvme büyütme değerlerinin değişimi .....	276
Şekil 8.23	Topuklu küp kesit için 1 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	277
Şekil 8.24	Topuklu küp kesit için 1 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	277
Şekil 8.25	Topuklu küp kesit için 2 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	277
Şekil 8.26	Topuklu küp kesit için 2 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	278
Şekil 8.27	Topuklu küp kesit için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	278
Şekil 8.28	Topuklu küp kesit için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	278
Şekil 8.29	Topuklu ve topuksuz küp kesit için hacimsel birim deformasyon .....	279
Şekil 8.30	Topuklu ve topuksuz tabakalı kesitler için birim oturmalar .....	279
Şekil 8.31	Topuklu ve topuksuz durumda küp dalgakıranlar için hasar değişimi .....	280
Şekil 8.32	Tam hasara ulaşmış topuklu küp dalgakıran (3 mm 5 Hz için hasarlı dalgakıran modeli) .....	280
Şekil 8.33	Taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda birim oturmalar .....	281
Şekil 8.34	Taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda hacimsel birim deformasyonlar .....	281
Şekil 8.35	Topuksuz taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda hasar .....	282
Şekil 8.36	Topuklu taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda hasar .....	282
Şekil 8.37	Topuklu ve topuksuz taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda hasar ..	282
Şekil 8.38	Tetrapod blokların yerleştirme yöntemleri .....	283
Şekil 8.39	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi .....	286
Şekil 8.40	Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi .....	287
Şekil 8.41	Deney sonrası dalgakıran modeli .....	287
Şekil 8.42	İvme büyütme değerlerinin değişimi .....	288
Şekil 8.43	Tetrapod bloklu dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	288
Şekil 8.44	Tetrapod bloklu dalgakıran için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	288
Şekil 8.45	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi .....	291
Şekil 8.46	Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi .....	291
Şekil 8.47	İvme büyütme değerlerinin değişimi .....	292
Şekil 8.48	Tetrapod bloklu dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	292
Şekil 8.49	Tetrapod bloklu dalgakıran için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	293
Şekil 8.50	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi .....	294
Şekil 8.51	Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi .....	294
Şekil 8.52	Her iki yerleştirme yöntemine göre dalgakıran çekirdeğinde oluşan ivme büyütme değerlerinin değişimi .....	294
Şekil 8.53	Her iki yerleştirme yöntemine göre dalgakıran şevinde oluşan ivme büyütme değerlerinin değişimi .....	295
Şekil 8.54	Accropode bloklu dalgakıran modelinin şev görünümü .....	295
Şekil 8.55	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi .....	298
Şekil 8.56	Hasarın zemin ivmesi ile değişimi .....	299
Şekil 8.57	İvme büyütme değerlerinin değişimi .....	299

Şekil 8.58	Accropode bloklı dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	300
Şekil 8.59	Accropode bloklı dalgakıran için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	300
Şekil 8.60	Core-loc bloklı dalgakıran modelinin Şev görünümü .....	301
Şekil 8.61	Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi .....	303
Şekil 8.62	Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi .....	304
Şekil 8.63	İvme büyütme değerlerinin değişimi .....	304
Şekil 8.64	Core-loc bloklı dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	305
Şekil 8.65	Core-loc bloklı dalgakıran için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği .....	305
Şekil 8.66	Yapay bloklar (kp, tetrapod, accropode, core-loc) için Şevde oluşan hasar seviyelerinin zemin ivmesi ile değişimi .....	306
Şekil 8.67	Yapay bloklar (kp, tetrapod, accropode, core-loc) ve topuklu geleneksel tabakalı model için Şevde oluşan hasar seviyelerinin zemin ivmesi ile değişimi .....	306

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1	Sarsma tankına ait özellikler ..... 49
Çizelge 4.2	Yağmurlama sisteminin mekanik ve otomasyon donanımı ..... 49
Çizelge 4.3	İvme ölçerlere ait kalibrasyon değerleri..... 52
Çizelge 4.4	Deneylerde kullanılan malzemelere ait özellikler..... 69
Çizelge 4.5	Model deneylerinde uygulanan genlik ve frekanslar ..... 70
Çizelge 4.6	Sarsma tankı deney koşulları ..... 74
Çizelge 4.7	Deneyler sırasında tank içinde oluşan dalgaların frekans, periyotları ve dalga yükseklikleri ..... 76
Çizelge 5.1	Genlik ve frekans değerleri ..... 84
Çizelge 5.2	Kuru halde kesit geometresine ait ölçüm sonuçları ..... 85
Çizelge 5.3	Homojen taş dolgu dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri ..... 114
Çizelge 5.4	Su içinde kesit geometresine ait ölçüm sonuçları. .... 121
Çizelge 5.5	Su içinde homojen taş dolgu dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri ..... 150
Çizelge 5.6	Su içinde çekirdek malzemesinin boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri ..... 165
Çizelge 5.7	Su içinde kesit geometresine ait ölçüm sonuçları ..... 165
Çizelge 6.1	Farklı taban ivme değerlerine göre hesaplanan emniyet sayıları ..... 171
Çizelge 6.2	Sayısal analizlerde kullanılan malzeme parametreleri ..... 174
Çizelge 7.1	Genlik ve frekans değerleri ..... 188
Çizelge 7.2	Tabakalı geleneksel taşdolgu dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları (Topuksuz). .... 190
Çizelge 7.3	Taş dolgu dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri (Topuksuz) ..... 219
Çizelge 7.4	Tabakalı geleneksel taşdolgu dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları (Topuk hali)..... 230
Çizelge 7.5	Topuklu taş dolgu dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri. .... 251
Çizelge 8.1	Genlik ve frekans değerleri ..... 261
Çizelge 8.2	Topuksuz küp dolgu dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları. .... 262
Çizelge 8.3	Topuksuz küp bloklü dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri ..... 263
Çizelge 8.4	Topuklu küp dalgakıran geometresine ait ölçüm verileri. .... 272
Çizelge 8.5	Topuklu küp dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri. .... 273
Çizelge 8.6	Genlik ve frekans değerleri ..... 284
Çizelge 8.7	Tetrapod bloklü dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları ..... 284
Çizelge 8.8	Tetrapod bloklü dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri ..... 285
Çizelge 8.9	Genlik ve frekans değerleri ..... 289
Çizelge 8.10	Tetrapod kesit geometresine ait ölçüm sonuçları (II.Model) ..... 289
Çizelge 8.11	Tetrapod bloklü dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri ..... 290
Çizelge 8.12	Genlik ve frekans değerleri ..... 296
Çizelge 8.13	Accropode bloklü dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları ..... 296
Çizelge 8.14	Accropode bloklü dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri ..... 297

Çizelge 8.15	Genlik ve frekans değerleri .....	301
Çizelge 8.16	Core-loc kesit geometresine ait ölçüm sonuçları (II.Model) .....	301
Çizelge 8.17	Core-loc bloklı dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri .....	302
Çizelge 9.1	Dalgakıran modelleri için hacimsel Şekil değiştirme, birim oturma ve hasar seviyeleri değişimi .....	315
Çizelge 9.2	Dalgakıran modelleri için elde edilen hasar seviyeleri bağıntıları.....	316

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince bilimsel görüş ve tavsiyeleri ile yol gösteren aynı zamanda Geoteknik Laboratuvarı'nı kullanmama olanak sağlayan hocam Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Sedat KAPDAŞLI'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince ihtiyacım olduğunda bilgisini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Esin ÇEVİK'e teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan küp blokları temin etmemizi sağlayan Sayın Prof. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER'e teşekkür ederim.

Deney sisteminin kurulmasında verdikleri maddi destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Deney sisteminin kuruluş aşamasında göstermiş olduğu çaba için Teknisyen Gazi KURT'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen Hidrolik Anabilim Dalı Öğretim Üye ve Yardımcılarına teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni koşulsuz ve karşılıksız olarak destekleyen annem Zennure CİHAN'a, babam Sadık CİHAN'a ve kardeşim Ebru CİHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2009

İnş. Yük. Müh. Kubilay CİHAN

## ÖZET

Dalgakıranlar gemilerin emniyetli olarak barınmaları, liman faaliyetlerinin düzenli olarak yürütülmesi, limanların kumlanmaya karşı korunması ve kıyıların erozyona karşı koymaları gibi amaçlarla inşa edilen deniz yapılarıdır. Dalgakıranların en sık karşılaşılan tipleri taş dolgu ve kompozit olanlardır. Taş dolgu dalgakıranlar sadece dalga etkisine değil, aynı zamanda deprem gibi çevresel yüklemelere de maruz kalmaktadırlar. Bu yapıların dalga etkisindeki davranışları hakkında literatürde çalışmalar bulunmasına rağmen, deprem durumundaki davranışı üzerine yapılan incelemeler sınırlıdır. Ancak orta büyüklükteki deprem etkisinde bile önemli derecede hasara uğrayan dalgakıranlar bilinmektedir. Bu durum tasarımda deprem etkisinin gözönüne alınmasını gerektirmektedir.

Bu çalışmada, taş dolgu dalgakıranların sismik etki altındaki davranışlarının deneysel ve sayısal olarak araştırılması amaçlanmıştır. Deneyler farklı modeller için gerçekleştirilmiştir. Bunlar; üniform anroşmandan oluşan dalgakıran modeli, geleneksel tabakalı dalgakıran modeli ve koruma tabakasında yapay blok (küp, tetrapod, accropode, core-loc) kullanılan dalgakıran modelleridir. Deneylerde tek boyutta harekete izin verilen sarsma tankı kullanılmıştır. Deneyler farklı genlik ve frekans değerleri için dalgasız ortamda yapılmıştır. Model ölçeği 1/50'dir. Modellerin hepsi 1/2 eğime sahiptir ve kret yüksekliği 0.60 m'dir. Tank içindeki su derinliği 0.40 m'dir. Deneylerde dört adet ivme ölçer kullanılmıştır. Bu ivme ölçerler model üzerinde farklı noktalara (zemin, kret ve şevler) yerleştirilmiştir. Krette ve şevlerde ölçülen ivme değerleri büyütme oranının elde edilmesi için zemin ivmesiyle karşılaştırılmıştır. Modeller rijit temel üzerine yerleştirilmiştir. Böylece sadece dalgakıran kesitinin sismik davranışı belirlenmiştir. Sismik davranışın tanımı boyutsuz parametrelerle verilmiştir. Bu parametreler; dalgakırandaki kaymayı ve sıkışmayı tanımlayan kretteki birim oturma ve hacimsel birim deformasyondur. Ayrıca dalgakıran şevlerinde meydana gelen deformasyonları tanımlayan hasar seviyesi de belirlenen boyutsuz bir parametredir. Bu üç parametre yardımıyla dalgakıran modellerinde meydana gelen sismik hasar miktarlarının sismik ivmeyle değişimi belirlenmiştir.

Plaxis V9.0 yazılımı kullanılarak üniform anroşmandan oluşan model dalgakıranın kuru ortamdaki ve su içindeki dinamik davranışı incelenmiştir. Sayısal modelde, modelin dinamik davranışının belirlenmesi için malzemenin elasto-plastik davranışını temsil edebilen Hardening Soil Small Strain Model tercih edilmiştir. Ayrıca Newmark (1965) ve Bishop (1955) yöntemleri kullanılarak şev için yenilme ivmesi değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sayısal model sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** deprem, sismik davranış, taş dolgu dalgakıran, şev stabilitesi, yapay blok

## ABSTRACT

Breakwaters are the marine structures constructed for safety harbouring of ships, handling of harbour activities regularly, protection of harbours against sedimentation and protection of coasts against erosion. Most common types of breakwaters are rubble mound and composite breakwaters. Rubble mound breakwaters are subjected to not only wave actions but also other types of environmental loadings such as earthquakes. Although there are a lot of studies about their response under wave effect in literature, investigations concerning their seismic response are limited. But it is known some breakwaters are damaged seriously even under earthquakes of medium magnitude. For this reason, the effect of earthquake on breakwaters is required to be taken into account during design of breakwaters.

In this study, an experimental investigation of seismic response of rubble mound breakwaters was aimed. Thus, experiments were carried out for different breakwater models. These are homogeneous rubble mound breakwater, conservative layered breakwater and breakwaters which are composed using artificial units (cube, tetrapod, accropode, core-loc) for armour layer. Shaking tank allowed only one dimensional moving was used in experimental study. Experiments were carried out for different values of amplitudes and frequencies on condition without waves. Model scale is 1/50. The slopes of all models are 1/2 and crest elevation is 0.60 m. The water depth is 0.40 m in the tank. Four accelerometers were used during tests. These accelerometers were placed different points (base, crest, slopes) on models. The accelerations measured at the crest and the side slopes were compared with the base acceleration to obtain the amplification ratio. The breakwater models sit on the rigid bed. Therefore, only seismic response of cross section of breakwater was determined. Definition of seismic response was given with dimensionless parameters. These parameters are relative settlement on breakwater crest and unit volume deformation which define sliding and compaction on the breakwater cross section. And also damage level is a dimensionless parameter which defines deformations on breakwater slopes. Owing to three parameters, variations of seismic damage occurring on the breakwater models were determined against seismic acceleration.

Dynamic response of homogenous rubble mound breakwaters in dry and in water conditions was investigated by using Plaxis V9.0 Software. In numerical model, Hardening Soil Small Strain Model that can represent the elasto-plastic behaviour of material of breakwaters was preferred to determine dynamic response of model. Also, yield accelerations of breakwater's slopes were determined by using Newmark (1965) and Bishop (1955) methods. Results of numerical model and of physical model were compared.

**Keywords:** earthquake, seismic response, rubble mound breakwater, slope stability, artificial unit

## 1. GİRİŞ

Dalgakıranlar gemilerin emniyetli olarak barınmaları, liman faaliyetlerinin düzenli yürütülmesi, limanların kumlanmaya karşı korunması ve kıyıların erozyona karşı koymaları gibi amaçlarla inşa edilen deniz yapılarıdır. Dalgakıranların en sık karşılaşılan tipleri taş dolgu ve kompozit olanlarıdır.

Dalgakıranlar çoğunlukla belirli tasarım fırtınası süresince dalganın iletilmesini ve dalga aşmasını sınırlamak ve aynı zamanda ilgili dalga yüklerine karşı dayanım için tasarlanırlar. Büyük bir deprem ile tasarım dalga şartının aynı anda meydana gelmesi olasılığı oldukça düşüktür. Bu nedenle tasarım dalgası ve deprem etkisi, iki bağımsız yükleme durumu gibi ele alınabilir. Sadece ortalama bir deniz durumundaki dalga yükleri, tasarım deprem yüküyle birlikte düşünülmelidir.

En yaygın dalgakıran tipi olan taş dolgu dalgakıranların dalga ekisindeki davranışları bilinmesine rağmen, sismik hareket altındaki davranışı bugüne kadar oldukça az dikkate alınmıştır. Ancak, literatürde deprem etkisi altında büyük hasara uğramış taş dolgu dalgakıranlar çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Bu taş dolgu dalgakıranların bazılarının orta şiddetli deprem serileri sonrasında büyük hasara uğramaları, tasarım sırasında deprem etkisinin gözönüne alınması gerekliliğini göstermektedir.

Literatürde toprak dolgu barajlar gibi taş dolgu dalgakıranlara benzer yapıların sismik davranışını inceleyen çalışmalar mevcuttur. Barajların şevlerinde genellikle taş kaplama kullanılmakta buna karşın dalgakıranlarda farklı geometrilere sahip beton bloklar da kullanılmaktadır. Bu elemanlar öncelikle dalga etkisinde birbirlerine kilitlenmeye çalışmaktadırlar. Dalgakıranlar ve barajlar arasındaki önemli bir başka fark ise, barajların her zaman sağlam zemin üzerine yerleştirilirken dalgakıranların bazen yumuşak zemin üzerine de yerleştirilmesidir. Ayrıca dalgakıran yüzlerinin iki tarafı da suyun etkisi altındadır ve dalgakıranların kaplama tabakaları, barajlardan daha geçirimli ve gevşek yapılı malzemelerden oluşmaktadır. Ancak her iki yapı tipi için deprem sonucu oluşan hasarlar daha çok şevlerdeki yatay yer değiştirmeler ve krettteki oturmalar şeklinde oluşan kalıcı deformasyonlar olarak belirlenmiştir.

Taş dolgu dalgakıranların koruma tabakasında, koruyucu eleman olarak doğal ocak taşının dışında, beton bloklar da kullanılabilir. Bu bloklar dalga etkisine karşı yüksek stabilitelere sahiptirler. Literatürde bu blokların dalga etkisindeki davranışlarını inceleyen çok sayıda çalışma mevcuttur. Ancak deprem etkisi altındaki davranışları bilinmemektedir. Gerek



doğal ocak taşının gerekse beton blokların deprem etkisindeki davranışlarının bilinmesi tasarım aşamasında oldukça önemlidir. Böylece deprem bölgelerinde inşa edilecek dalgakıranlar için uygun eleman seçimi ile oluşabilecek hasar en aza indirilebilir ve böylece onarım maliyeleri düşürülerek yapının ekonomik olarak tasarlanması sağlanabilir.

Kıyı mühendisliği uygulamaları son derece yüksek maliyetli olup yapılacak hataların doğuracağı sonuçların geriye dönüşünün imkansız olması ülke ekonomisine büyük yükler getirebilmektedir. Bu nedenle yeterli çalışmanın bulunmadığı bu konuda özgün bilimsel çalışmaların gerçekleştirilerek, dalgakıran yapılarının daha ekonomik ve güvenli bir şekilde tasarımlarını yapabilmek için sismik yükler altındaki davranışlarının bilinmesi gerekmektedir.

Deprem bölgesinde bulunan ülkemizde liman alanları gibi son derece stratejik alanların korunması ancak dalgakıranların ayakta kalmasıyla sağlanmaktadır. Bilindiği gibi yurdumuz ithalat ve ihracatının yaklaşık %90'ı limanlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca olası bir deprem felaketi sonrasında bölgeye yardım amaçlı ulaşmak için deniz yolu en elverişli ulaşım tipidir. Bu yüzden, deprem sonrası liman yapılarının işletmede kalması son derece önemlidir.

Bu çalışmada, sağlam temel üzerine yerleştirilmiş taş dolgu dalgakıranların deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Böylece sadece dalgakıran kesitinin sismik davranışı belirlenmiştir. Sismik davranışın tanımı boyutsuz parametrelerle verilmiştir. Bu parametreler, dalgakırandaki göçmeyi ve sıkışmayı tanımlayan kretteki birim oturma ve hacimsel birim deformasyondur. Ayrıca dalgakıran şevlerinde meydana gelen deformasyonları tanımlayan hasar seviyesidir. Bu üç parametre yardımıyla dalgakıran modellerinde meydana gelen sismik hasar miktarlarının sismik ivmeyle değişimi belirlenmiştir. Böylece dalgakıran modellerinin ve bu modelleri oluşturan malzemelerin davranışları karşılaştırılmalı olarak belirlenerek tanımlanmıştır. Bu çalışma ile ülke ekonomilerinin önemli yatırımları olan ayrıca doğal hayatı etkileyen kıyı ve liman mühendisliği yapılarından biri olan taş dolgu dalgakıranların, bugüne kadar literatüründe tanımlanamamış deprem etkisindeki davranışının tanımlanmasına çalışılmıştır. Ayrıca sonuçları mühendislik uygulamalarına da katkı sağlayacaktır.

Yukarıda yapılan açıklamalar ışığında tez içeriği şu şekilde özetlenebilir:

Bölüm 2'de deprem mekanizması açıklanmış ve deprem hareketini tanımlayan çeşitli kavramlar anlatılmıştır.

Bölüm 3'te kıyı yapılarının deprem etkisindeki davranışını inceleyen literatürdeki çalışmalar özetlenmiştir ve şev stabilite analiz yöntemi olan Newmark Kayan Blok yöntemi açıklanmıştır.

Bölüm 4'te oluşturulan deney sistemi ile deney sonuçlarında elde edilmesi planlanan parametreler tanımlanmıştır.

Bölüm 5'te üniform kesitli taş dolgu dalgakıranların sismik davranışı, modelin kuru ortamda ve su içinde olmasına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlar öncelikle kendi içlerinde ve daha sonra her iki durum için karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca dalgakıran çekirdek malzemesinin sismik davranışı su içinde incelenerek, sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bölüm 6'da üniform kesitli taş dolgu dalgakıranın kuru ortamda yapılan deneyler için Newmark yöntemi ile sismik etki altında şev stabilitesinin bozulacağı yenilme ivmesi değeri belirlenmiştir. Ayrıca kuru ortamdaki ve su içindeki üniform dalgakıran modeli yenilme ivmesi değeri Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi kullanılarak ta belirlenmiştir. Bununla birlikte her iki model Plaxis V.9 yazılımı ile sayısal olarak analiz edilmiştir. Sayısal model ile fiziksel model sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bölüm 7'de tabakalı kesitli taş dolgu dalgakıranların sismik davranışı iki farklı durum için incelenmiştir. Birinci durumda dalgakıran modeli topuksuz olarak oluşturulmuş ve davranışı incelenmiştir. İkinci durumda ise dalgakıran modeline bir topuk oluşturularak davranışı incelenmiştir. Her iki durum için elde edilen sonuçlar öncelikle kendi içlerinde ve sonra da karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bölüm 8'de dalgakıran koruma tabakası olarak kullanılan bazı yapay blokların (küp, tetrapod, accropode ve core-loc) sismik davranışı incelenmiştir. Küp beton bloklulu dalgakıranların sismik davranışı, modelin topuklu ve topuksuz olması durumu için ayrı ayrı incelenmiştir. Tetrapod, accropode ve core-loc gibi yapay bloklar için modeller sadece topuklu durum için incelenmiştir. Tetrapod blokların davranışı ise literatürde yer alan iki tip yerleştirme yöntemine göre ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlar kendi içinde ve karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar tabakalı kesitli taş dolgu dalgakıran modeli sonuçları ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bölüm 9'da ise yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar öncelikle her model için ayrı ayrı verilmiş ve en son olarak modellerin sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilerek verilmiştir.

## 2. DEPREM HAREKETİ

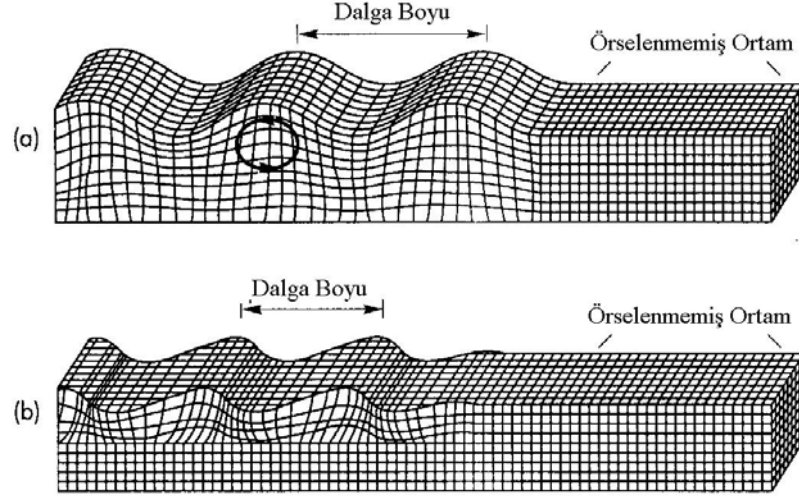
Yer yüzeyi kıtasal boyuttaki 6 levhadan ve daha küçük boyuttaki 14 plakadan oluşmuştur. Levhalar arasındaki göreceli deformasyon, levha sınırlarına yakın dar kuşaklarda gelişmektedir. Levhaların bu deformasyonları yavaş ve devamlı şekilde olmakta yada depremler şeklinde meydana gelmektedir. Levha hareketi konusunda en çok kabul gören açıklama, yeri oluşturan maddelerin termo-mekanik dengesi prensibine dayanmaktadır. Mantonun üst kısmı çok daha soğuk olan kabuk ile temasta iken, alt kısmı ise çok sıcak olan dış çekirdekle temas halindedir. Bu durum manto içinde bir sıcaklık gradyanı oluşturmaktadır. Bunun sonucunda daha soğuk ve daha yoğun olan malzeme batmaya ve daha az yoğun olan malzeme de yükselmeye başlar. Batan malzeme giderek ısınırken yoğunluğu azalır, sonunda yatay yönde hareket etmeye ve tekrar yükselmeye başlar. Bu şekilde devam eden sürece konveksiyon denir. Bu olay sırasında levhaların altında kayma gerilmeleri oluşmakta ve levhalar değişik yönlerde doğru sürüklenerek birbirlerine göre göreceli bir hareket yapmaktadırlar (Kayabalı, 2003).

Levhaların göreceli hareketi meydana gelirken, levhaları ayıran fay düzlemlerindeki kayma gerilmesindeki artışlar, sınır yakınındaki kayalarda elastik deformasyon enerjisinin depolanmasına neden olmaktadır. Kayma gerilmesinin bu kayaların kayma dayanımına ulaşmasıyla yenilme meydana gelir ve birikmiş olan deformasyon enerjisi boşalır. Kayanın yenilmesi, birikmiş olan enerjinin patlama derecesinde açığa çıkmasına yol açmaktadır. Açığa çıkan enerji, kısmen ısı kısmen de deprem olarak kendini hissettiren gerilme dalgaları şeklindedir (Kayabalı, 2003).

### 2.1 Sismik Dalgalar

Bir deprem meydana geldiğinde cisim dalgaları ve yüzey dalgaları adı verilen iki farklı tipte sismik dalgalar ortaya çıkmaktadır. Yerin iç kısmında hareket eden cisim dalgalarının P ve S olmak üzere iki çeşidi vardır. Şekil 2.1'de P ve S dalgalarının hareket ettikleri ortamlarda oluşturdukları deformasyonlar gösterilmektedir. Boyuna veya basınç dalgası olarak da bilinen P dalgaları geçtikleri ortamda önce sıkışma sonra genleşme meydana getirirler. Ses dalgalarına benzeyen bu dalgalardan etkilenen bir partikülün titreşimi dalga ilerleme yönüne paraleldir. Bu dalgalar, ses dalgaları gibi katı ve sıvı ortamlardan geçebilirler. İkincil, enine veya kesme dalgası olarak bilinen S dalgaları, içinden geçtikleri ortamda kayma deformasyonlarına yol açarlar. S dalgasından etkilenen bir partikülün hareketi dalga ilerleme yönüne diktir. Kesme dalgaları partikül hareketinin yönüne göre SV (düşey düzlemsel





Şekil 2.2 Yüzeysel dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar a) Rayleigh dalgası, b) Love dalgası (Bolt, 1993)

## 2.2 Faylar

Levha tektoniği teorisi levhaların göreceli hareketini genellikle üç çeşit levha sınırından biri ile açıklamaktadır. Bunlar;

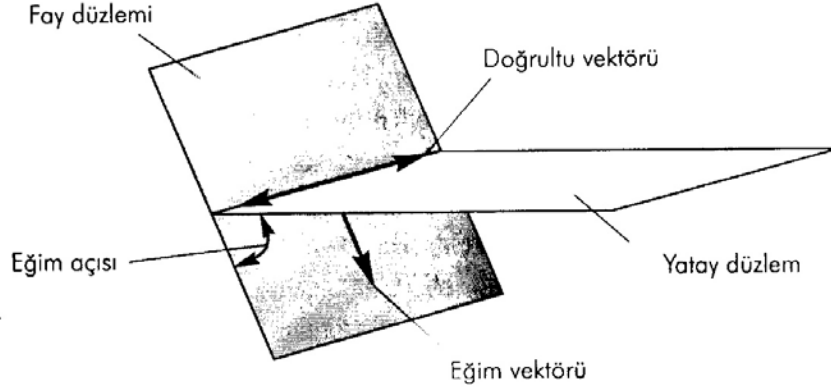
- a) Yayılan sırt türü sınırlar
- b) Dalma-batma zonu türü sınırlar
- c) Transform fay sınırları

Daha küçük ölçekte yapılan incelemeler belirli bir bölgedeki hareketin oldukça karmaşık olduğunu göstermiştir. Levha sınırları bazı bölgelerde gayet belirgin ve teşhisleri de kolay iken, bazı levha sınırları kırıklı ve çok parçalıdır. Daha büyük levhalar arasında hapsolmuş levhacık veya mikro-levhacıklardan oluşmuş şekildedir. Yerel olarak kabuğun iki bölümü arasındaki hareket sonucunda levhalar birbiri üzerine kuvvet uygulamaktadırlar. Bu kuvvet kabuktaki kayaçların direnç göstermesi sebebiyle belli bölgelerde enerji birikimine yol açmaktadır. Bu enerji, kayaçların kırılma sınırını aştığı anda kırılma (faylanma) olmakta ve biriken enerji açığa çıkmaktadır.

Fayların uzunluğu birkaç metreden yüzlerce kilometreye kadar değişebilir ve derinlikleri de yer yüzeyinden onlarca kilometre derinliklere kadar uzanabilmektedir. Fayların varlığı bazen topografik verilerden kolaylıkla anlaşılabilirken, belirlenmeleri bazen çok zor olabilmektedir. Bir yerde fay olması mutlaka o bölgede deprem olacağı anlamına gelmediği gibi yüzeyde fay belirtisi olmayan bir bölgede deprem meydana gelebilmektedir (Kayabalı, 2003).

### 2.2.1 Fay Geometrisi

Fayın uzaydaki yönelimini tanımlamak için, standart notasyon kullanılmaktadır. Fay düzleminin yönelimi fayın doğrultu ve eğimi ile tanımlanmaktadır. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi, bir fayın doğrultusu, fay düzlemi ile yatay düzlemin arakesitinden oluşan yatay çizgidir. Fay düzleminin eğimi; yönü fayın doğrultusuna dik olan ve yatay düzlemle fay düzlemi arasındaki açı olan eğim açısı ile tanımlanmaktadır.



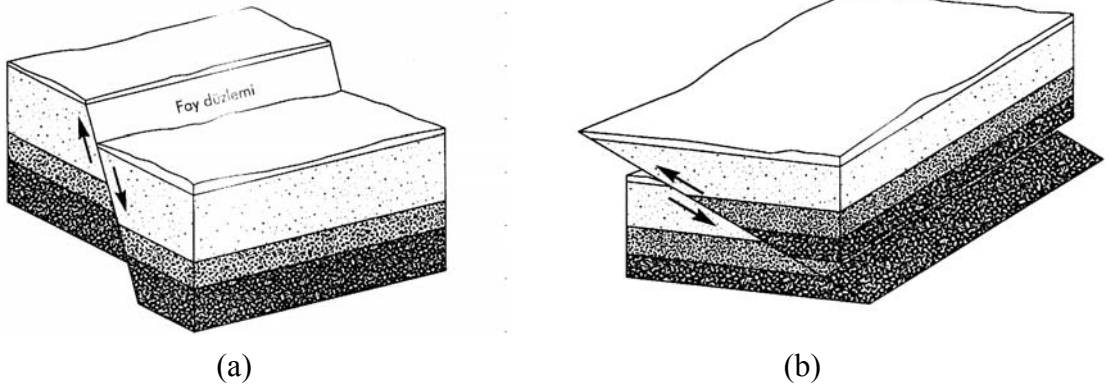
Şekil 2.3 Fay düzlemi yöneliminin tanımlanmasında geometrik notasyon (Kayabalı, 2003)

### 2.2.2 Fay hareketi

Bir fay üzerinde oluşan hareketin türü genellikle doğrultu ve eğim yönündeki bileşenlerine indirgenmektedir. Bazen her iki yönde hareket gelişebilirse de, genellikle iki yönden birindeki hareket diğerine göre daha baskın olmaktadır.

#### 2.2.2.1 Eğim Atım Hareketi

Başlıca eğim yönünde gelişen fay hareketine eğim atım hareketi denir. Hareketin yönüne ve fayın eğim açısına göre üç çeşit eğim atım hareketi vardır. Normal faylar, eğimli fay düzlemi üzerindeki malzemenin (tavan bloğunun) fay düzlemi altındaki malzemeye (taban bloğuna) göre göreceli olarak aşağı doğru hareket ettiği zaman oluşmaktadır. Normal faylanma kabuğun yatay yönde genişlemesine neden olmaktadır. Eğim atım hareketinin yatay bileşeni sıkışma şeklinde olduğu zaman ve fay düzlemi üzerindeki malzemenin alttakine göre göreceli olarak yukarı doğru hareket ettiği zaman oluşan faya ters fay denmektedir. Ters faylar üzerindeki hareketler kabuğun yatay yönde kısılmasına neden olmaktadır. Şekil 2.4a ve 2.4b'de sırasıyla normal faylanma ve ters faylanma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir (Kayabalı, 2003).

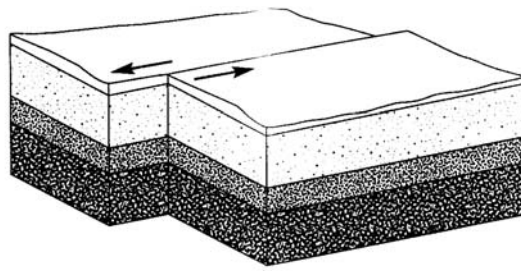


Şekil 2.4 a) Normal faylanma, b) Ters faylanma (Noson, 1988)

### 2.2.2.2 Doğrultu Atımlı Hareket

Doğrultuya paralel şekilde oluşan fay hareketine doğrultu atım hareketi denmektedir. Doğrultu atımlı faylar çok büyük hareketler üretebilmektedirler. Bu tip faylar, fayın iki tarafındaki blokların göreceli hareketine bağlı olarak daha alt sınıflara ayrılmaktadırlar. Doğrultu atımlı sağ yönlü bir fayın yakınında duran bir gözlemci, fayın diğer tarafının sağa doğru hareket ettiğini görecektir. Şekil 2.5'te doğrultu atımlı fay oluşumu gösterilmiştir.

Bazı durumlarda fay hareketinin hem eğim atım hem de doğrultu atım bileşeni bulunabilmektedir. Bu tip faylara verev faylar adı verilmektedir (Kayabalı, 2003).



Şekil 2.5 Doğrultu atımlı sol yönlü faylanma (Noson, 1988)

## 2.3 Depremlerin Boyutu

Depremlerin büyüklüğünü karakterize eden basit parametreler; şiddet, büyüklük, ve enerji harcanımıdır.

### 2.3.1 Deprem Şiddeti

Deprem boyutunu belirlemede en eski yöntem depremin şiddetidir. Bir depremin şiddeti, o depremin belirli bir bölgedeki yapılarda yol açtığı hasar ile insanlar üzerindeki etkilerinin nitel bir tanımlamasıdır. Şiddet parametresi, depremin büyüklüğüne, kaynak mesafesine, yerel zemin etkilerine dayanarak bir bölgeden diğerine farklılık göstermektedir. Şiddet, depremin yıkıcılığının miktarının belirlenmesinde verilen bölgede kullanılan en basit parametredir fakat bu parametre dinamik analizlerde girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca birçok durumda şiddet, özellikle tarihi depremlerde deprem hareketini karakterize etmek için en uygun parametre olarak kullanılmaktadır (Kayabalı, 2003).

Şiddeti I ile X arasında değişen değerlerle tanımlayan Rossi-Forel şiddet ölçeği uzun yıllar kullanılmıştır. Bu ölçeğin yerine Değiştirilmiş Mercalli şiddet ölçeği (MMI) daha sonra kullanılmaya başlanmıştır. Japonya Meteoroloji Kurumu (JMA)'nın kendine özgü bir şiddet ölçeği bulunmaktadır. Ayrıca Orta ile Doğu Avrupa'da Medvedev-Spoonheuer-Karnik (MSK) ölçeği kullanılmaktadır. Bu ölçek tipleri arasındaki karşılaştırma Şekil 2.6'da verilmiştir.

Değişik bölgelerde rapor edilen şiddet gözlemlerinin bir harita üzerine aktarılmasıyla eş şiddet eğrileri oluşturulabilmektedir. Bu şekilde oluşturulan haritaya eş şiddet haritası denir. Eş şiddet haritaları deprem merkezine olan uzaklığın artmasıyla şiddetin nasıl sönümlendiğini göstermektedir (Kayabalı, 2003).

MMI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
RF	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
JMA		I	II	III	IV	V	VI	VII				
MSK	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

Şekil 2.6 Değiştirilmiş Mecalli (MMI), Rossi-Forel (RF), Japonya Meteoroloji Kurumu (JMA) ve Medvedev-Spoonheuer (MSK) ölçeklerindeki şiddet değerleri arasında karşılaştırma (Richter, 1958 ve Murphy-O'Brien, 1977)



### 2.3.2 Deprem Büyüklüğü

Büyüklük, kaydedilmiş deprem verilerinden ölçülen, depremin büyüklüğünü tanımlamak için kullanılan fiziksel bir değerdir. Sismograf kayıtlarından elde edilen birçok farklı ölçekler bulunmaktadır; Richter yerel büyüklüğü  $M_L$ , yüzey dalga büyüklüğü  $M_s$ , cisim dalgası büyüklüğü  $m_b$ , Moment büyüklüğü ( $M_w$ ) ise sismik momentten yararlanılarak ölçülmektedir.

#### 2.3.2.1 Richter Yerel Büyüklüğü

1935 yılında Charles Richter güney California'daki sığ, yerel (dışmerkezi yaklaşık 600 km'den küçük) depremlerden bir büyüklük ölçeği geliştirmek için Wood-Anderson sismometresini kullanmıştır. Richter, günümüzde yerel büyüklük olarak bilinen büyüklüğü, deprem dış merkezinden 100 km uzaktaki bir Wood-Anderson sismometresinde (mikrometre cinsinden) kaydedilmiş maksimum genliğin (10 tabanına göre) logaritması olarak tanımlamıştır. Richter yerel büyüklüğü ( $M_L$ ) en iyi bilinen büyüklük ölçeğidir (Kayabalı, 2003).

#### 2.3.2.2 Yüzey Dalgası Büyüklüğü

Richter yerel büyüklüğü değişik dalga türleri arasında bir ayırım yapmamaktadır. Belirli bir dalga genliğinin büyüklüğüne dayalı diğer büyüklük ölçekleri geliştirilmiştir. Büyük mesafelerde cisim dalgaları genellikle sönümlenmekte ve önemli ölçüde saçılmaktadır. Sonuçta, yer hareketinde yüzey dalgaları daha baskın olmaktadır. Yüzey dalgası büyüklüğü periyodu yaklaşık olarak 20 saniye olan Rayleigh dalgalarının genliğine dayalı olan ve dünyanın her tarafında kullanılan bir büyüklük ölçeğidir (Gutenberg ve Richter, 1936). Yüzey dalgası büyüklüğü;

$$M_s = \log A_d + 1.66 \log \Delta_0 + 2.0 \quad (2.1)$$

bağıntısından bulunmaktadır.

Burada,

$A_d$ : yerde mikrometre cinsinden maksimum yerdeğiştirme

$\Delta_0$ : sismometrenin derece cinsinden dışmerkez uzaklığıdır.

Yüzey dalgası büyüklüğü, zemindeki maksimum yerdeğiştirme genliğine dayalı olduğu için herhangi bir sismograf türündende tanımlanabilir. Genellikle sığ (yaklaşık 70 km'den daha az), uzak (yaklaşık 1000 km'den daha büyük), orta ve büyük ölçekteki depremlerin boyutunu tanımlamada kullanılmaktadır.

### 2.3.2.3 Cisim Dalgası Büyüklüğü

Derin odaklı depremlerin yüzey dalgaları çoğu zaman bunların yüzey dalgası büyüklüğü ile değerlendirilmesine imkan vermeyecek kadar küçük olmaktadır. Cisim dalgası büyüklüğü, P dalgalarının odak derinliğinden kuvvetlice etkilenmeyen ilk birkaç devrin genliğine dayalı, dünyanın her tarafında kullanılan bir büyüklük ölçeğidir (Bolt, 1989). Cisim dalgası büyüklüğü,

$$m_b = \log A_a - \log T + 0.01 \Delta_0 + 5.9 \quad (2.2)$$

Şeklinde tanımlanmaktadır. Burada,

$A_a$ : mikrometre cinsinden P dalgası genliği

T: P dalgasının periyodudur.

### 2.3.2.4 Moment Büyüklüğü ( $M_w$ )

Yukarıda tanımlanan büyüklük ölçekleri yer sarsıntısı özelliklerini kaydeden değişik cihazların ölçümüne dayalı ampirik büyüklüklerdir. Ancak, bir deprem sırasında açığa çıkan toplam enerji miktarı artarken yer sarsıntısına dair özellikler de her zaman aynı oranda artmamaktadır. Kuvvetli depremlerde ölçülen yer sarsıntısı karakteristikleri küçük depremlerinkine kıyasla deprem büyüklüğüne daha az duyarlı olmaktadır. Bu özellik doygunluk olarak adlandırılmaktadır. Cisim dalgası ve Richter yerel büyüklükleri 6 ile 7 civarında doygunken yüzey dalgası büyüklüğü de  $M_S=8$  civarında doygunluğa ulaşmaktadır. Çok büyük depremlerin boyutunu tanımlamak için, yer sarsıntısı özelliklerine dayalı olmayan ve sonuçta doygunluğa erişmeyen bir büyüklük ölçeğinin tanımlanması gerekmektedir. Doygunluk problemi olmayan tek büyüklük ölçeği moment büyüklüğüdür (Kanamori,1977; Hanks ve Kanamori, 1979). Moment büyüklüğü, bir fay boyunca yırtılmaya neden olan faktörlerin doğrudan bir ölçüsü olan sismik moment kavramına dayanmaktadır (Kayabalı, 2003).

Moment büyüklüğü aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır:

$$M_w = \frac{\log M_0}{1.5} - 10.7 \quad (2.3)$$

$M_0$  sismik moment olup birimi de dyne-cm' dir .

$$M_0 = m_d A_b u \quad (2.4)$$

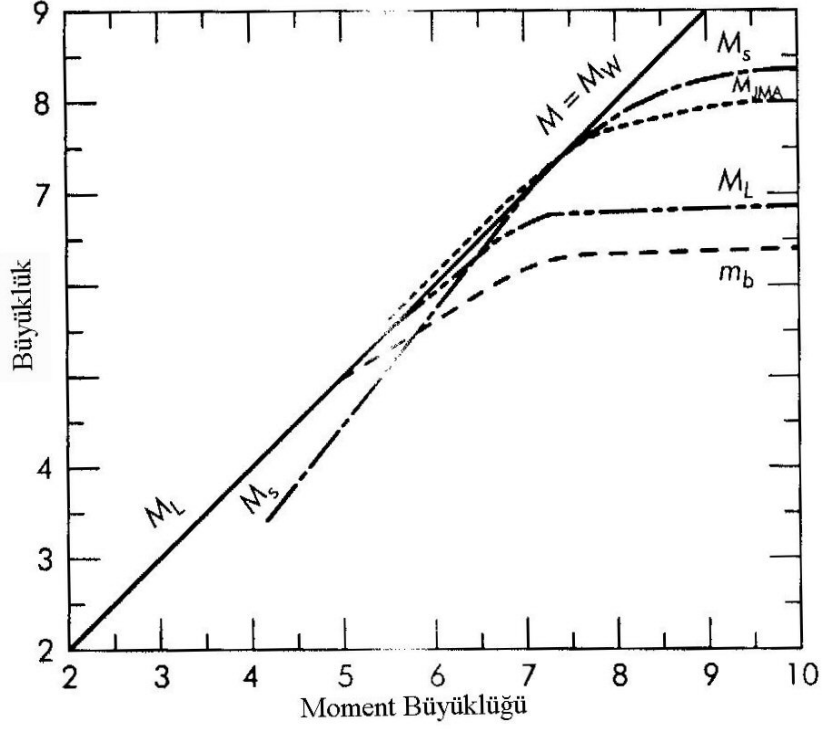
Burada;

$m_d$ : kayaçların kayma gerilmesine gösterdikleri direnç,

$A_b$ : fay yüzeyinin kırılan kesiminin alanı ,

u: fay boyunca meydana gelen ortalama ötelenme, yani kaymadır.

Değişik büyüklük ölçekleri arasındaki ilişki Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Değişik büyüklük ölçeklerinin doyması (Heaton, 1986)

### 2.3.3 Deprem Enerjisi

Bir deprem sırasında açığa çıkan toplam sismik enerji çoğu zaman aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$\log E = 11.8 + 1.5M_s \quad (2.5)$$

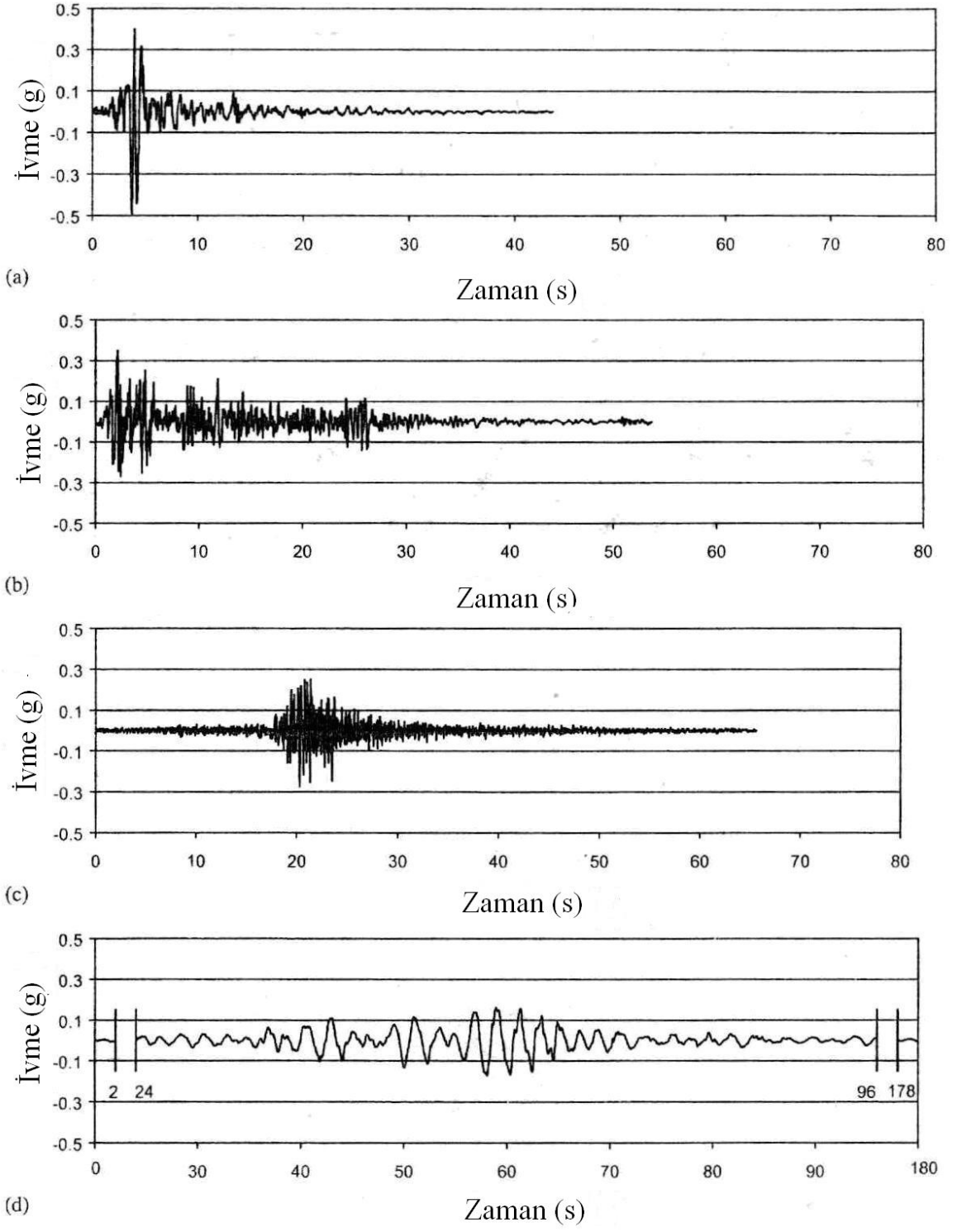
Bağıntıdaki E'nin birimi erg cinsinden ifade edilmektedir. Bu bağıntının daha sonraları moment büyüklüğüne uygulanabileceği gösterilmiştir (Kanamori, 1983). Bu bağıntı ile büyüklükteki bir birimlik artışın sismik enerjide 32 kat artışa neden olduğu anlatılmaktadır. Buna göre 5 büyüklüğündeki bir depremin boşalttığı enerji 7 büyüklüğündeki bir depremin boşalttığı enerjinin 0.001'i kadardır. Bu durum, çok büyük depremlere yol açan birikmiş deformasyon enerjisinin boşalımında küçük depremlerin fazla etkili olmadığını göstermektedir (Kayabalı, 2003).

#### 2.4 Zemin Hareketi Parametreleri

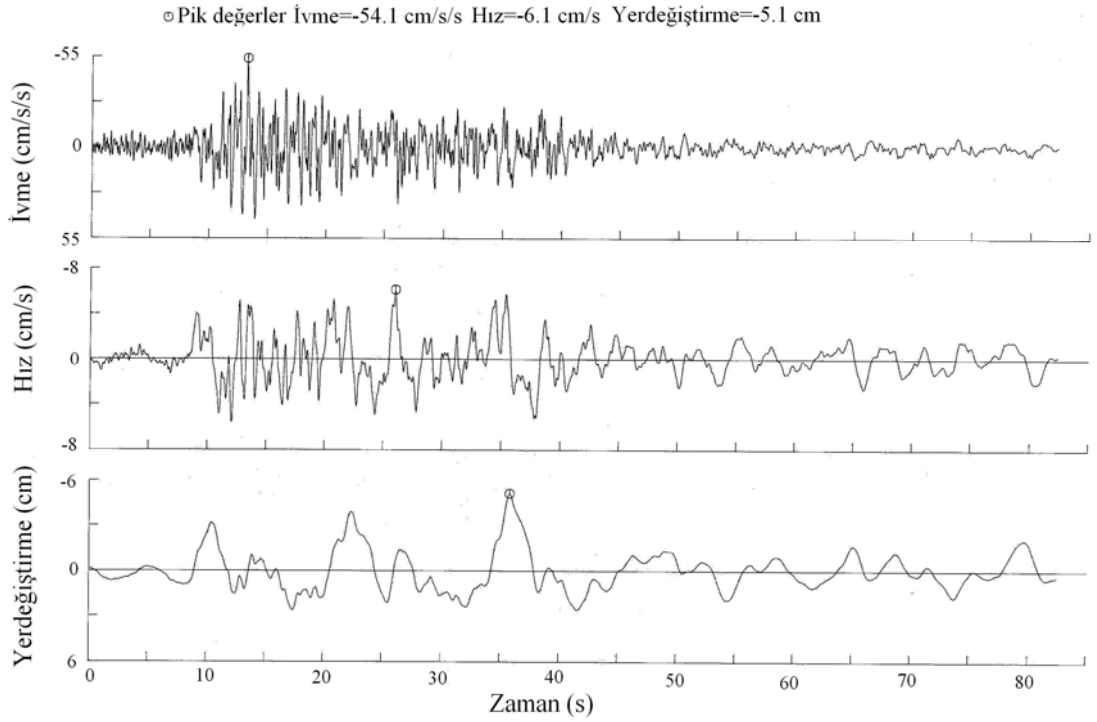
Sismik analizler ve depremler, depremlerin oluşturduğu zemin hareketleri ile karakterize edilmektedir. Bu zemin hareketleri de aşağıdaki parametrelerle tanımlanmaktadır(PIANC, 2001):

- Pik Yatay Zemin İvmesi,  $PGA_h$ , veya basit olarak PGA, deprem sırasında zeminin ivmelenmesinin ulaştığı maksimum değerdir. Aynı zamanda pik ivme veya maksimum ivme de denilmektedir.
- Pik Düşey Zemin İvmesi,  $PGA_v$ , deprem sırasında zeminin düşey ivmelenmesinin ulaştığı maksimum değerdir.
- Akselogramlar  $a(t)$ , ivmenin zamanla değişimini gösteren grafiklerdir. Bu akselogramlar yatay ve düşey olup genellikle zamanın düzensiz fonksiyonları şeklinde gösterilmektedir (Şekil 2.8).
- Pik Yatay Zemin Hızı,  $PGV_h$ , deprem sırasında zemin hızının yatay bileşeninin ulaştığı maksimum değerdir.
- Pik Düşey Zemin Hızı,  $PGV_v$ , deprem sırasında zemin hızının düşey bileşeninin ulaştığı maksimum değerdir.
- Pik Zemin Deplasmanı, PGD, maksimum deplasman.

Şekil 2.9'da bir ivme kaydı ile bu ivme kaydının integre edilmesiyle elde edilen hız ve yerdeğiştirme grafikleri gösterilmiştir. Ayrıca tespit edilen pik ivme, hız ve yerdeğiştirmeler gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Farklı deprem ve bölge durumlarına göre akselogram örnekleri (PIANC, 2001)



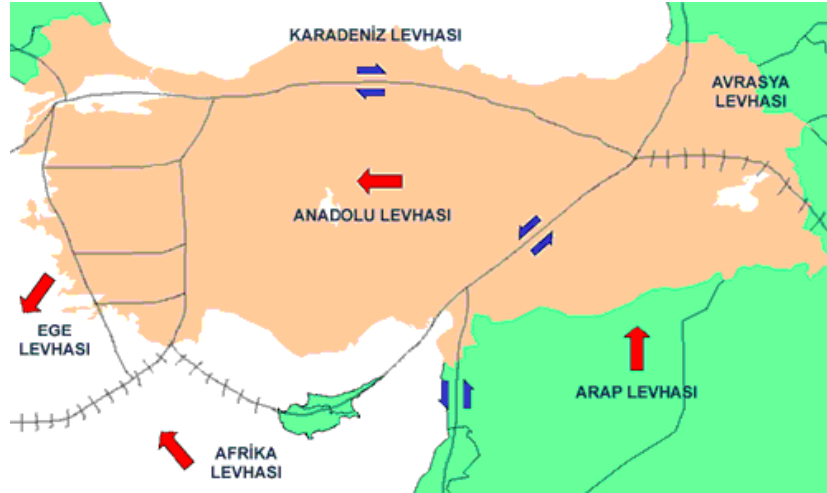
Şekil 2.9 Bir zemin hareket kaydının ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerinin zamana göre değişimi (Earthquake Engineering Research Laboratory, 1971)

## 2.5 Türkiye ve Depremler

Yerküre üzerinde oluşan depremlerin büyüklüğü ve neden oldukları zararlar gözönüne alındığında iki ana deprem kuşağı en çok ilgi çeken bölgelerdir. Bunlardan biri Büyük Okyanusu çevreleyen ve özellikle Japonya üzerinde etkili olan Pasifik Deprem Kuşağı, diğeri ise Cebelitarık'tan Endonezya adalarına uzanan ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz-Himalaya deprem kuşağıdır. Türkiye'nin bulunduğu bölgede büyük levhalar arasında küçük birçok levhanın olması, Türkiye'nin büyük bir bölümünün deprem kuşağı içinde yer almasına neden olmaktadır.

Türkiye, üç büyük levhanın etkisi altındadır. Bunlar, Avrasya, Afrika ve Arap levhalarıdır. Anadolu'nun büyük bir kısmının yer aldığı Anadolu levhası, Avrasya levhasının küçük bir bölümüdür (Sayısalgrafik Web sayfası, 2008).

Şekil 2.10'da Türkiye'nin yer aldığı bölgedeki levhalar ve bu levhaların sınırları gösterilmiştir.

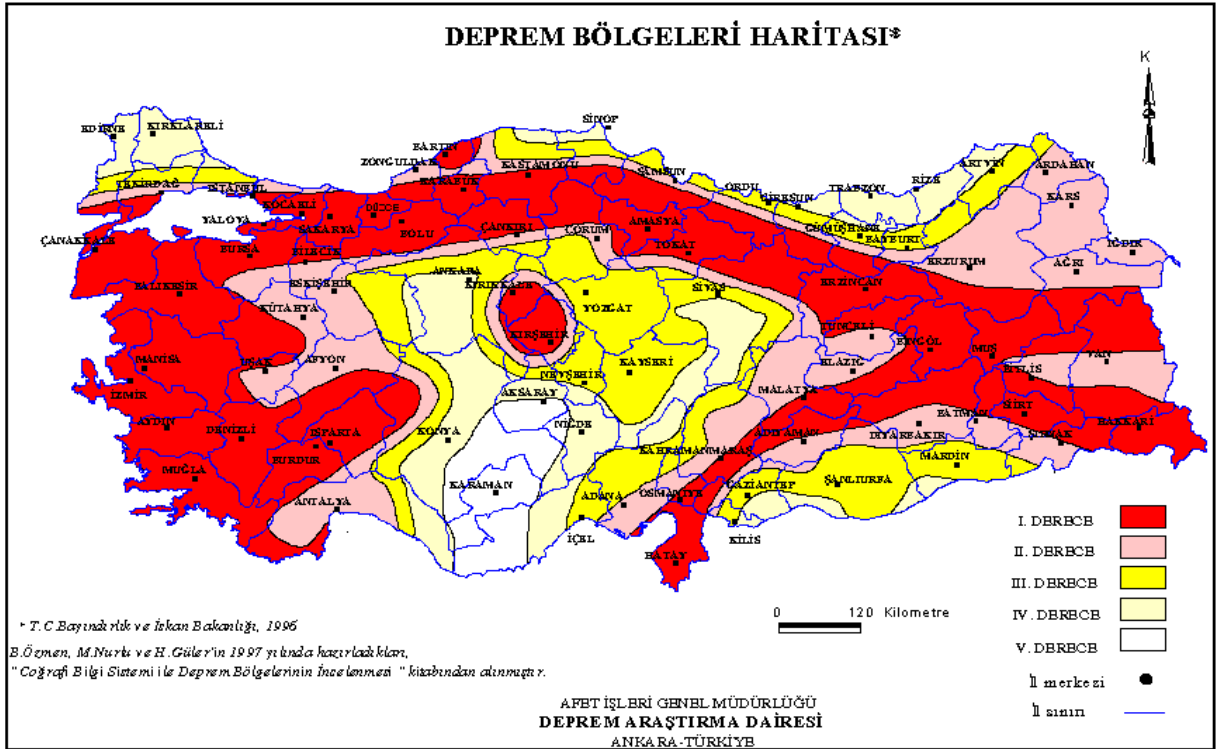


Şekil 2.10 Türkiye'nin içinde bulunduğu bölgedeki levhalar ve sınırları  
(Sayısalgrafik Web sayfası, 2008)

Bu levhalar arasındaki etkileşim şöyle tanımlanmıştır: Afrika levhası, Akdeniz'de Helenik-Kıbrıs Yayı denilen bölgede, Avrasya (veya onun bir parçası olan Anadolu) levhasının altına dalmaktadır. Arap levhası ise Kızıldeniz'deki açılma nedeniyle kuzeye doğru hareket etmekte ve Anadolu levhasını sıkıştırılmaktadır. Bu sıkıştırma sonucu Bitlis Bindirme Zonu (Bitlis Kenet Kuşağı) oluşmuştur. Sıkıştırma halen sürdüğü için, Anadolu levhası kuzey ve güneydeki fay hatları boyunca batıya doğru hareket etmektedir. Anadolu levhasının kuzey sınırı, bir bölümünde 17 Ağustos depreminin olduğu Kuzey Anadolu Fayı'dır. Güney sınırını ise, Helenik-Kıbrıs Yayı ile Doğu Anadolu Fayı oluşturmaktadır (Sayısalgrafik Web sayfası, 2008).

Arap levhasının sıkıştırması sonucu batıya kayan Anadolu levhasının sınırlarında ve Afrika levhasının Avrasya levhasının altına dalması sonucu Akdeniz'de ve Ege Graben Sistemi içerisinde depremler meydana gelir. Ancak Arap levhasının sıkıştırması bu bölgelerdeki hareketlenme ile tamamen telafi edilemediği için İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde de içsel deformasyon nedeniyle depremler olabilmektedir (Sayısalgrafik Web sayfası, 2008).

Şekil 2.11'de Türkiye'nin Deprem Bölgeleri Haritası görülmektedir. Bu haritaya göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir (Ketin,1988).



Şekil 2.11 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (deprem.gov.tr, 2008)

Türkiye Deprem Bölgeleri, ivme değerlerine göre aşağıdaki şekilde derecelendirilmiştir (deprem.gov.tr, 2008).

1. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.40 g 'den büyük
2. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.40 g ile 0.30 g arasında
3. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.30 g ile 0.20 g arasında
4. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.20 g ile 0.10 g arasında
5. Derece deprem bölgesi: beklenen ivme değeri 0.10 g 'den az



### 3. TAŞ DOLGU DALGAKIRANLARIN SİSMİK DAVRANIŞI ve TEMEL KAVRAMLAR

#### 3.1 Konu İle İlgili Çalışmalar

Taş dolgu dalgakıranlar dalgaları kırarak ve yansıtarak dalgakıran arkasındaki su haznesini dalgalara karşı koruyan, taş veya beton blokların yığılmasıyla inşa edilen yapılardır. Hemen hemen bütün taş dolgu dalgakıranlar tabakalı olarak inşa edilirler. Dalgakıranın her tabakası, bitişik tabakalardaki ince malzemenin yıkanma etkisiyle boşluklardan kaçmayacak şekilde planlanmaktadır. Ayrıca, dış tabakalar, yapım sırasında ve yapım bittikten sonra beklenen dalga etkilerine dayanıklı tasarlanmaktadır. Ancak dalgakıranların deprem etkilerine karşı davranışları da tasarımları sırasında göz önüne alınmalıdır.

Şiddetli bir depremin büyük bir kentin yakınında meydana gelmesi nadir görülen bir olay olsa da bunun sosyal ve ekonomik etkileri ulusal boyut açısından yıkıcı olabilmektedir. 1994 Los Angeles, ABD depremi (61 ölü ve 30 milyar \$ maddi zarar); 1995 Kobe, Japonya depremi (6,400'ün üzerinde ölü ve 100 milyar \$ maddi zarar); 1999 Kocaeli, Türkiye depremi (15,000'in üzerinde ölü ve 20 milyar \$ maddi zarar); 1999 Atina, Yunanistan depremi (143 ölü ve 2 milyar \$ maddi zarar) ve 1999 Tayvan depremi (2,300'ün üzerinde ölü ve 9 milyar \$ maddi zarar) son yıllardaki örneklerdir. Sismik aktivitenin Şekil 3.1'de gösterildiği gibi kıyı bölgelerinde farklılık göstermesine rağmen deprem felaketleri sadece dünyanın sismik aktif bölgelerinde değil, şekildeki; 1. ve 2. bölgelerdeki gibi daha sakin bölgelerde de görülmektedir. Deprem felaketlerinin sonuçlarının hafifletilmesi dünya çapında bir sorundur (PIANC, 2001).

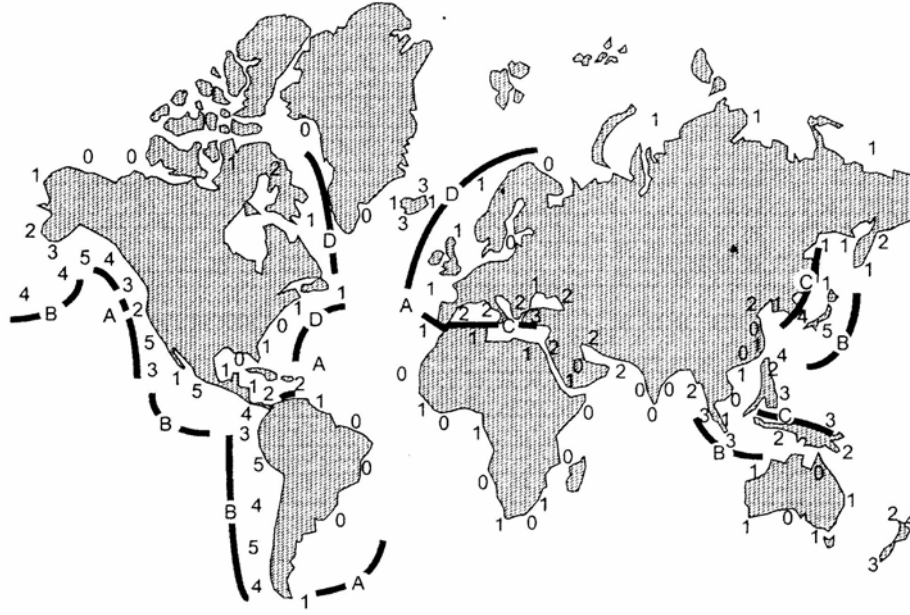
Depremler yüzünden oluşan zarar ve kayıpların azaltılması amacıyla, sismik tasarım yöntemleri, 20.yy.'ın başlarından itibaren birçok bölgede kurallar ve standartlar ile tasarım uygulamaları geliştirilmiş ve gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu yerçekimi ivmesiyle verilen sismik kuvvetin tanımlanan bir seviyesine direnç gösterecek şekilde tasarlanan yapılardaki kuvvet dengesi yaklaşımına dayanmaktadır. Bu yöntemler, özellikle deprem hareketlerinin, tanımlanan tasarım seviyesinin az çok içinde olması durumunda liman yapılarının kabul edilebilecek ölçüdeki sismik performanslarına katkıda bulunmaktadır. Deprem felaketleri yeryüzünde oluşmaya devam edecektir. Bu felaketler, genellikle sismik bölgelerin yakınlarındaki güçlü deprem hareketleri veya zemin göçmesi dolayısıyla oluşacak

hasarın, sismik tasarımın göz önüne alınmadığı bölgelerdeki orta büyüklükteki deprem hareketlerinde bile meydana gelmektedir.

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, sismik dalgalar bir kabuğu ayıran fay tarafından üretilmektedir ve dikkate alınan bölgede ana kayanın yüzeyine hareket ederek üstteki kabuk boyunca yayılmaktadır. Yer hareketleri daha sonra yer yüzeyine ulaşarak, yerel zemine doğru yayılır ve yapıları etkilerler. Zemin koşullarına ve sarsıntının büyüklüğüne bağlı olarak zemin yüzeyine yakın tabakaların yumuşaması veya sıvılaşması ile meydana gelecek mukavemet kayıplarına bağlı olarak zemindeki göçmeler ve/veya deformasyonlar liman yapılarını önemli ölçüde etkileyebilecek şekilde meydana gelebilmektedir. Eğer kıyının açığında bir fay hareketi deniz yatağının düşey tektonik yer değiştirmesine yol açarsa, tsunami de oluşabilmektedir. Bu olağan dışı durumlar mühendislik açısından liman yapılarında sismik etkilerin değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Belli bir bölgedeki ana kayanın hareketi, sismik hasar analizi yardımıyla karakterize edilir. Eğer sismik hasar analizinde belirli bir deprem senaryosu varsayımı yapılırsa, ana kaya hareketi deprem kaynak parametreleri ve kaynaktan bölgeye doğru bir yol boyunca dalga yayılma etkileri ile deterministik olarak ifade edilir. Yine de genellikle, ana kayanın hareketi, oluşma frekansı ve depremin yeri ile ilgili belirsizlikleri de hesaba katarak sismik hasar analizi yardımıyla ifade edilir.

Mühendislik tasarım uygulamasındaki temel parametrelerden biri de, pik zemin yatay ivmesi ( $PGA_h$ ) veya bazı koşullarda pik zemin yatay hızına ( $PGV_h$ ) göre tanımlanan ana kayanın hareketinin seviyesidir. Bu parametre ya kendi başına veya davranış spektrumu ilgili bir ölçek ya da zaman serisi olarak kullanılır. Olası sismik hasar analizinde, ana kayanın hareketinin düzeyi dönüş periyodunun veya tanımlanan bir oluşma zamanı boyunca aşılma olasılığının bir fonksiyonu olarak tariflenir (PIANC, 2001).



#### DEPREM ŞİDDETİ

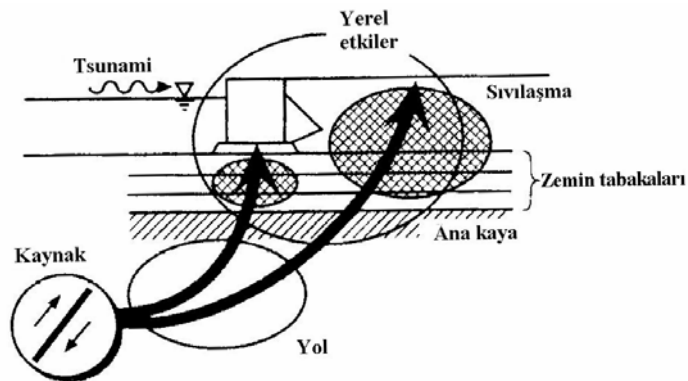
- bölge 0 = 0,00 - 0,05 g  
 bölge 1 = 0,05 - 0,15 g  
 bölge 2 = 0,15 - 0,25 g  
 bölge 3 = 0,25 - 0,35 g  
 bölge 4 = 0,35 - 0,45 g  
 bölge 5 = 0,45 - 0,55 g

#### SİSMOTEKTONİK TİP

- A = Sığ fay bölgeleri  
 B = Derin borulaşma bölgeleri  
 C = Sığ fay ve derin borulaşma bölgeleri  
 D = İç tabaka bölgeleri

NOT : İvme değerleri, 475 senelik bir dönüş aralığına karşılık gelmektedir  
 Sismik hasar ortalaması düşük olan bazı bölgeler geçmişte büyük yıkıcı depremlere maruz kalmıştır.

Şekil 3.1 Deprem oluşumlarına göre dünya bölgeleri (PIANC, 2001)



Şekil 3.2 Sismik dalgaların yayılması (PIANC, 2001)

Belirli bir bölgedeki dolgu alan, depremin genliğini, frekansını ve süresini değiştirerek ana kayanın hareketini önemli bir şekilde farklılaştırabilir. Bunun sebebi zeminin dinamik davranış karakteristikleridir ve “yerel etki” olarak adlandırılır. Yerel etkiler, zemin altındaki malzemenin özelliklerine ve tabakalaşmasına bağlı olduğu kadar yer hareketinin büyüklüğüne ve frekans özelliklerine de bağlıdır. Derinliklerine ve özelliklerine bağlı olarak, yumuşak tabakalar hareketin belirli frekanslarının büyümesine sebep olabilirler. Çok yumuşak zeminler sarsıntı hareketinin şiddetini azaltılabilir fakat yüksek gerilme seviyelerinde göçme ve büyük deformasyonlara neden olurlar. Yerel davranış analizinin zemin başlangıç koşullarına göre yapılmasına özen gösterilmelidir (PIANC, 2001).

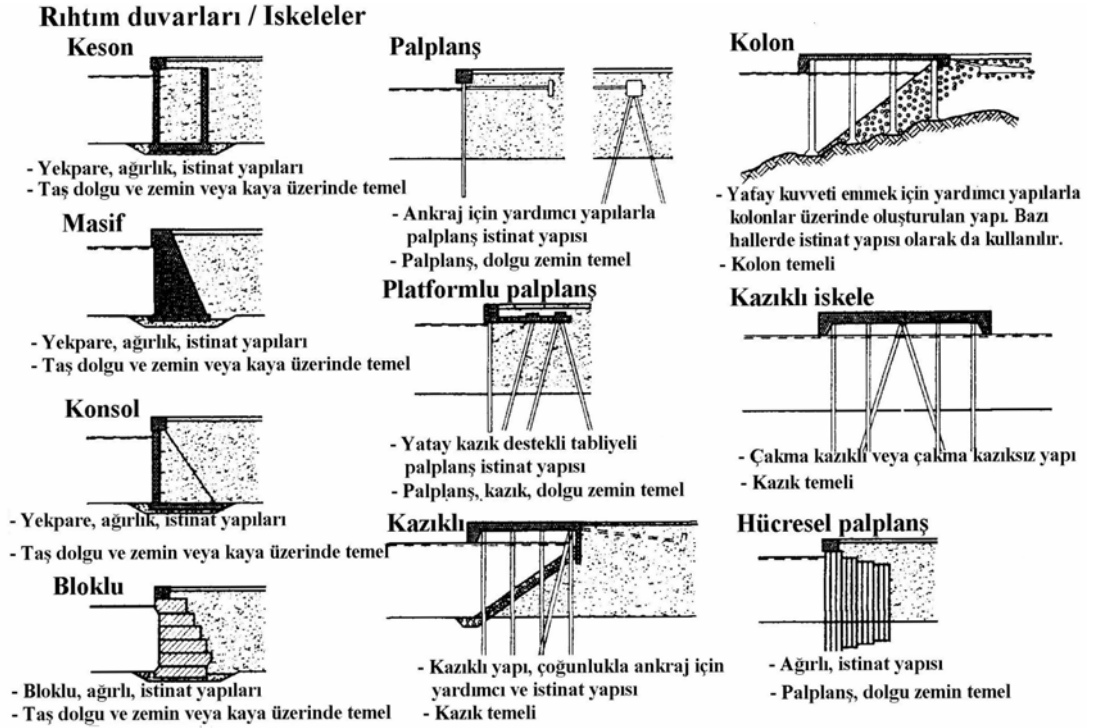
Mühendislik açısından, liman yapıları değişik üst yapı ve temel tiplerinin kombinasyonlarını içeren zemin-yapı sistemleridir. Tipik liman yapıları Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi bazı liman yapıları “karma” sistemlerdir ve tek bir yapı ile temel tipi veya stabilize mekanizması ile ifade edilemezler. Ayrıca yapının, büyük zemin hareketleriyle oluşacak hasara karşı hassasiyetine dayanan alternatif bir tanımlama üretmek de oldukça zordur. Bu, zemin dolgu durumunun, yapının sismik performansı üzerindeki göreceli etkisinden kaynaklanmaktadır.

Taş dolgu dalgakıranlar için deprem esnasında beklenen tipik hasar durumları Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Dalgakıranlar çoğunlukla belirli tasarım fırtınası süresince dalganın iletilmesini ve dalga aşmasını sınırlamak, aynı zamanda ilgili dalga yüklerine karşı dayanım için tasarlanırlar. Büyük bir deprem ile tasarım deniz (dalga) şartının aynı anda meydana gelmesi muhtemel değildir çünkü bu iki olay ilişkili değildir. Bu nedenle tasarım dalga hareketi ve deprem etkisi, iki bağımsız yükleme durumu gibi ele alınabilir. Sadece ortalama bir deniz durumundaki dalga yükleri, tasarım depremleriyle birlikte düşünülmelidir. Bu deniz durumu ile ilgili karar, fırtınanın bölgeye ait uzun dönem istatistiği ile verilmelidir.

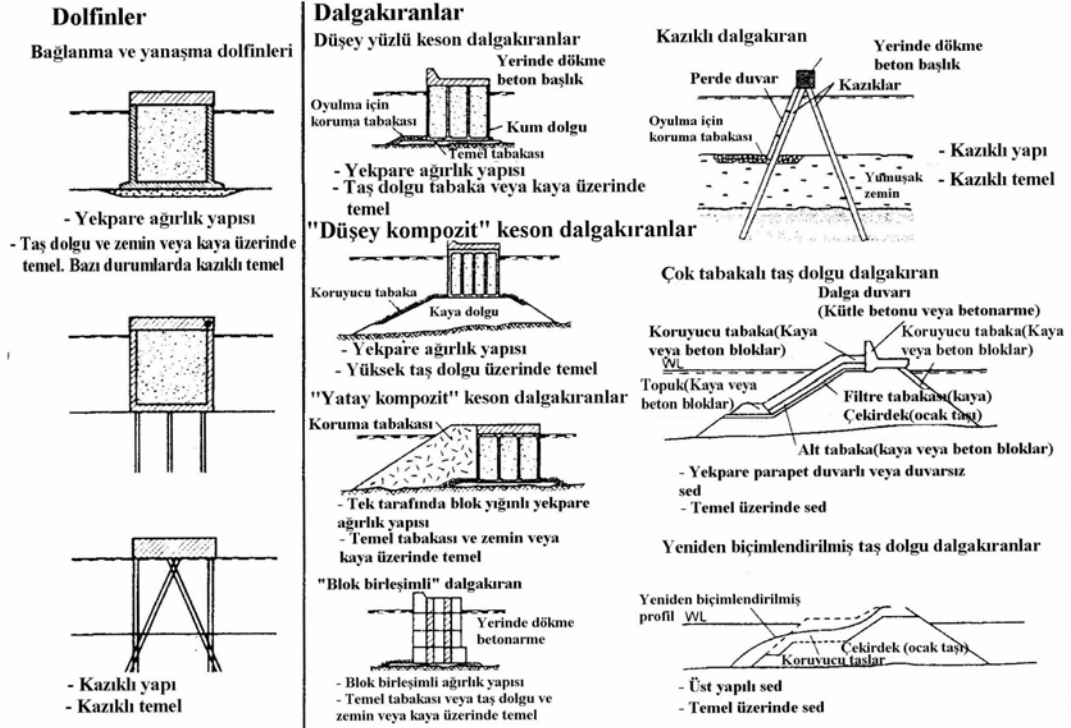
Taş dolgu dalgakıranlardaki koruma tabakasında doğal ocak taşının haricinde betondan imal edilmiş elemanlar da kullanılmaktadır (Şekil 3.5). Bu tip elemanların birbirine kilitleme özellikleri nedeniyle dalga etkileri karşısındaki stabiliteleri daha fazladır. Ancak farklı geometrilere sahip olan bu blokların dalga etkileri altındaki davranışlarının bilinmelerine rağmen deprem etkisindeki davranışları bilinmemektedir. Farklı eğimlerdeki doğal taştan imal edilen dalgakıranların dalga etkisindeki stabilitelerinin araştırılmasına karşın, bazı yapay blokların dalga etkisindeki araştırmaların sınırlı olması nedeniyle, ya çalışılan eğimde imal edilmelerine ya da model deneylerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Dalgakıranların

koruma elemanlarının deprem etkisindeki davranışları ise bilgi yetersizliği nedeniyle dikkate alınmamaktadır.

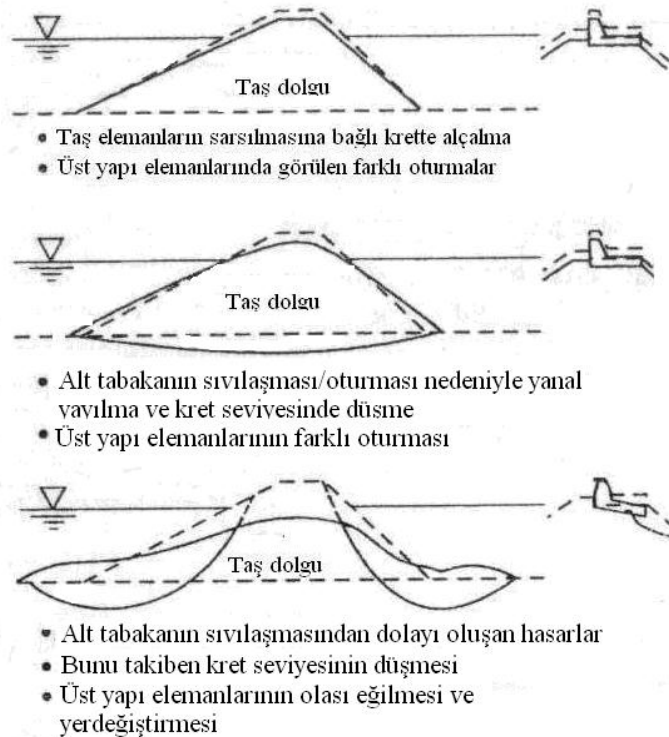
Taş dolgu dalgakıranların sismik performansı ile ilgili laboratuvar çalışmasına literatürde çok nadir rastlanmıştır. Ancak son yıllarda kompozit dalgakıranların monolitik yapısının taş dolgu yapıyla olan etkileşimlerinin, özellikle Japon araştırmacılar tarafından ele alındığı bilinmektedir. Bu çalışmaların dahi sonuçları henüz detaylı olarak yayımlanmamıştır. Buna karşın toprak dolgu barajların ve keson dalgakıranların sismik performansları ile ilgili olarak çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu yapıların deprem etkisindeki davranışları taş dolgu dalgakıranlara kısmen benzeyeceği düşünülerek, ilgili çalışmalar incelenmiş ve bu çalışma için bazı deneysel koşullar ile değerlendirme teknikleri göz önüne alınmıştır.



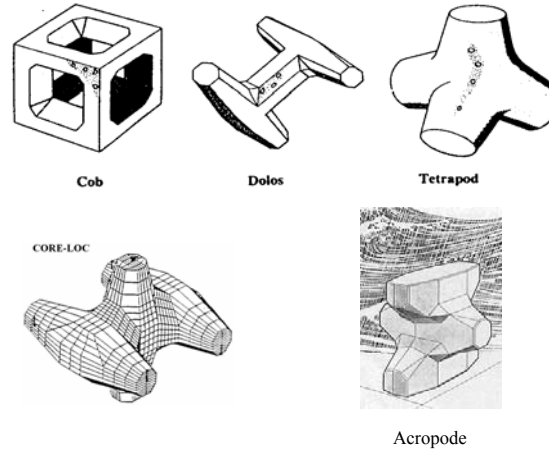
Şekil 3.3 Tipik liman yapıları (PIANC, 2001)



Şekil 3.3 Devam



Şekil 3.4 Taş dolgu dalgakıranda hasar (PIANC, 2001)



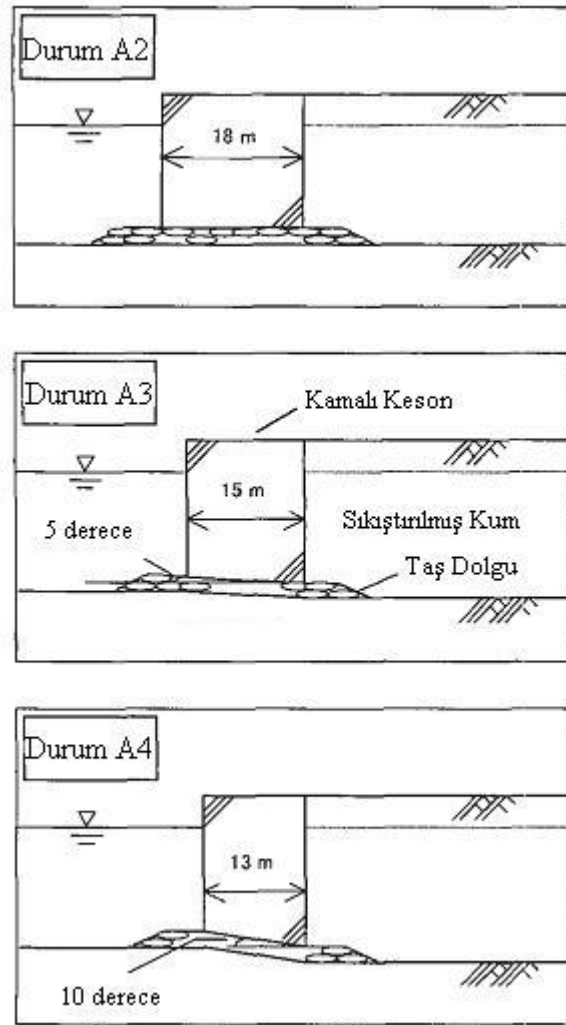
Şekil 3.5 Değişik yapay koruyucu blok tipleri

Toprak dolgu barajların deprem etkisinde uğradığı hasarlara ilişkin bir çok örneğe literatürde rastlanmaktadır. Örneğin 1971 San Fernando depreminde, San Fernando barajında yaklaşık 9 m oturma meydana gelmiştir. Bu arada yörede bulunan dört baraj ise servis dışı kalmıştır. Bu tip yapılara yönelik laboratuvar çalışmalarında sınılaşma ve deformasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak, toprak barajların depreme karşı performansları için geliştirilmek istenen teknikler yeterince kabul edilebilir değildir.

Ayrıca literatürde keson tipi rıhtım duvarları için yapılmış sarsma tablası deneyleri mevcuttur. Hagiwara vd. (2004) yaptıkları çalışmada yeni yapay bir drenaj sisteminin sınılaşma ve keson duvarın yanıl ötelenmesi üzerindeki etkisini incelemiştirlerdir. Sarsma tankı boyutları 5.5 m genişlikte ve 5.5 m uzunluktadır. Yatay salınım 2 g değerine kadar uygulanabilmektedir. Model ile prototip arasındaki ölçek 1/25. Model 0.5 m uzunluğa, 0.48 m yüksekliğe ve 1.0 m genişliğe sahiptir. Uygulanan ivme aralığı 150-570 gal (0.15-0.57 g) arasındadır. Zemin malzemesi iki tabakadan oluşmaktadır. Alt tabakanın rölatif sıklığı %90'dır. Drenlerin ve kesonun yerleştirilmesinden sonra rölatif sıklığı %60 olan sınılaşabilen tabaka yerleştirilmiştir. Kesonun yanıl ötelenmesinin tespiti için deneyler drenlerin yerleştirilmiş durumu ve yerleştirilmemiş durumu için ayrı ayrı incelenmiştir. Drenlerin yerleştirilmediği durumda yerdeğıştirmenin sarsmanın sonuna kadar devam ettiği bulunmuş ve toplam yerdeğıştirme 5.8 mm olarak ölçülmüştür. Diğer yandan dren yerleştirilmesi durumunda yanıl ötelenmenin sarsma hareketi tamamlanmadan durduğu ve toplam yerdeğıştirmenin 2.5 mm olduğu belirlenmiştir.

Sugano vd. (2004)'ün yaptığı bir diğer çalışmada ise yeni bir tip rıhtım duvarı olan kama tipi keson geliştirmişlerdir. Bu tip yapılar toprak tarafına doğru eğim verilmiş taban malzemesi

üzerine yerleştirilmektedir. Şekil 3.6'da deneylerde kullanılan modellerin kesitleri gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Testlerde kullanılan model kesitleri (Sugano vd., 2004)

Kaymaya karşı güvenlik belli bir değere kadar taban eğimiyle birlikte artmasından dolayı, kesonun genişliği geleneksel keson genişliğine göre azaltılabileceği belirlenmiştir. Uygun taban eğim açısı aralığının bulunabilmesi için sarsma tablası deneyleri 1/22 model ölçeğinde ve 0, 5, 10<sup>0</sup> taban eğimi değerleri için gerçekleştirilmiştir. Her deneyde kıyı çizgisi doğrultusundaki genişliği 525 mm olan üç model keson birlikte yerleştirilmiştir. Model kesonlar ince alüminyum plakalardan yapılmış ve içleri kuru kum ile doldurulmuştur. Böylelikle kesonların birim ağırlıkları 21 kN/m<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir. Model kesonların tabanlarına kauçuk süngerler yapıştırılarak sürtünme faktörünün prototipte kabul edilen değer olan 0.7 olması sağlanmıştır. Keson altındaki taş dolgu kısmı için büyüklükleri 20-30 mm arasında değişen taşlar kullanılmıştır. Üç kesonun yerleştirilmesinden sonra ivme ölçerler ve



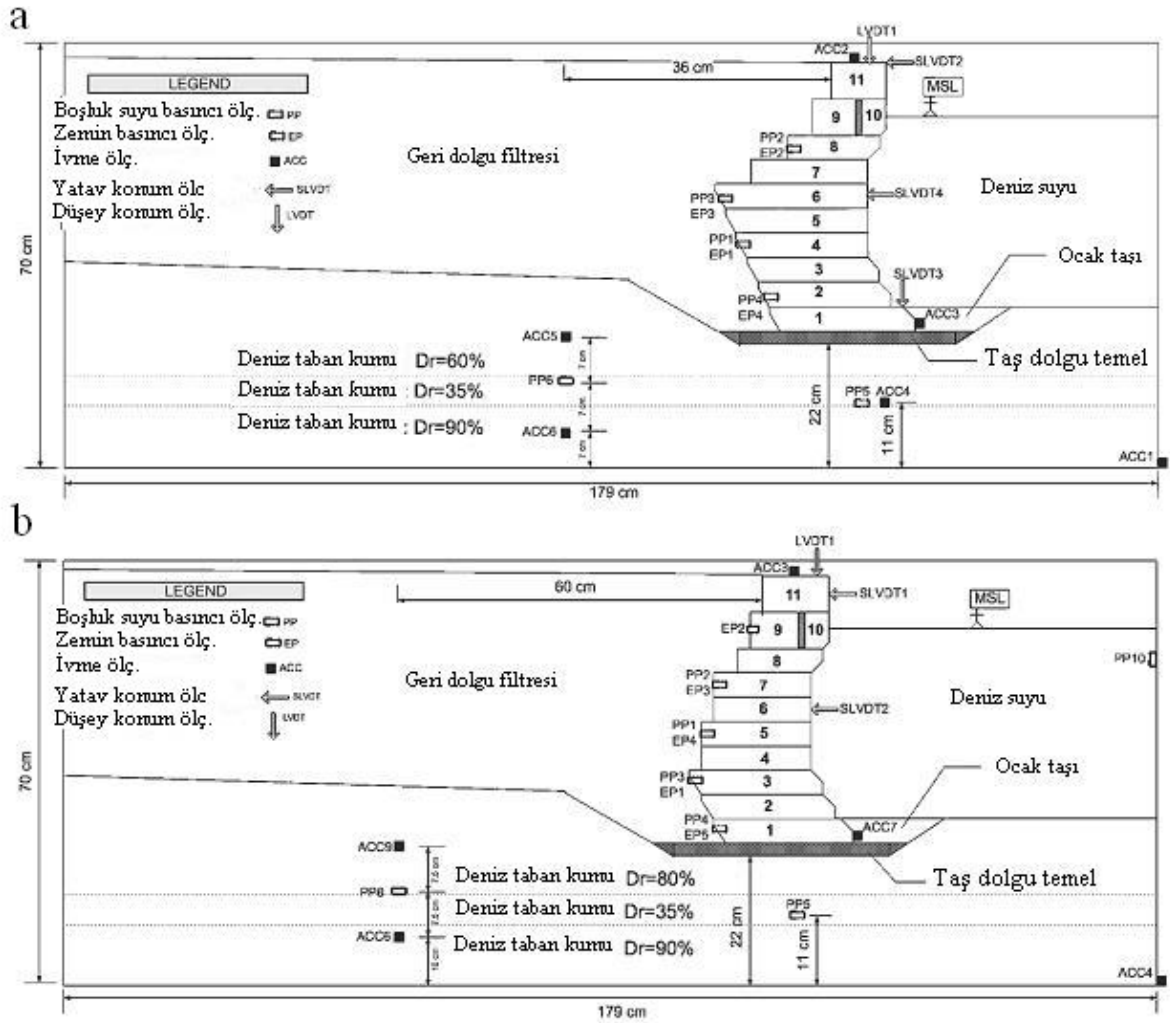
basınç ölçerler yerleştirilmiştir. Bu işlemlerden sonra geri dolgunun yerleştirilmesi yapılmış ve sıkıştırılması el ile tamamlanmıştır. Model kesonların sismik performanslarının karşılaştırılabilmesi için aşamalı sarsma metodu (staged shake model) uygulanmıştır. Aşamalı sarsma testi sırasında, ilk bölümde ivme 100 Gal (0.1g) uygulanmış ve daha sonra 200 (0.2g) ve 400 Gal (0.4g) ivmeler uygulanmıştır. Her salınımdan sonra modelin kalıcı yerdeğiştirmeleri ve geri dolgu yüzeyinin deformasyonu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçları şu şekilde özetlenebilir: Kesonda oluşan kalıcı dönmeler, taban eğiminin  $10^0$  olması durumunda en büyük olmaktadır.  $5^0$ 'lık eğimli taş dolgu tabakası üzerine yerleştirilen model keson (bu durumda keson genişliği daha azdır) ile herhangi bir eğim verilmeyen taş dolgu zemin üzerine yerleştirilen keson modellerin deney sonuçları yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Buna karşılık  $10^0$ 'lık eğimli taş dolgu zemin üzerine yerleştirilen model kesonun kalıcı yanal yer değiştirmesi en büyük bulunmuştur.

Bilindiği gibi dalgakıranlar şevli yapılardır ve dalgakıran şev stabilitesi üzerine literatürde pek fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Lin vd. (2006) bir şevin sismik davranışını incelemek için sarsma tablası deneyleri yapmışlardır. Model şev, uzunluğu 4.4 m genişliği 1.3 m ve yüksekliği 1.2 m olan bir model tankına yerleştirilmiştir. Üniform orta (medium) büyüklükteki kum kullanılmış ve model kontrollü hacim kompaksiyonu kullanılarak su muhtevası %8 ve özgül ağırlığı  $16.6 \text{ kN/m}^3$  olarak oluşturulmuştur. Model şev 0.5 m yüksekliğinde, 1.3 m genişliğindedir ve şev açısı  $30^0$ 'dir. Bu deneyde kullanılan model ölçeği 1/20'dir. şev yüksekliği olan 0.5 m, prototipte 10 m'ye karşılık gelmektedir. Deney için yükleme serisini belirlemek amacıyla, prototip şevinin tanımlanması gerekli olmaktadır ve yükleme koşulları modellenmiştir. Psödo-statik stabilite analizleri kullanılarak prototip şev göçmesi analiz edilmiştir. Yenilme katsayısı  $k_y$ , 0.532 olarak bulunmuştur. Böylelikle yükleme serileri ivme genlikleri 0.1g'den 0.6 g'ye kadar artacak şekilde tasarlanmıştır ve sinüzoidal dalga formu kullanılmıştır. Deneylerde, toplam 17 sensör kullanılmıştır. 7 tane ivme ölçer model şevi içine farklı derinlikte gömülmüştür, 6 ivme ölçer tankın dışına yerleştirilmiştir. 4 adet doğrusal değişken diferansiyel transformers (LVDT) tankın yerdeğiştirmesini kaydetmek için 4 köşeye yerleştirilmiştir. Lin vd. (2006)'nin ulaştığı sonuçlar şu şekilde özetlenebilir. Model şev 0.4g'den düşük genliğe sahip ivmeler altında elastik olarak davranmaktadır ve psödo-statik analiz sismik yükleme altındaki şev göçmesinin başlangıcını belirlemek için yeterli görünmektedir. Ayrıca, şevin zemin büyütmesi, oldukça belirgindir ve etkileri doğrusal olmayan zemin davranışı belirgin olduğunda artmaktadır. Göçme yüzeyinin sığ olduğu görülmekle beraber, dairesele yakın ve şev yüzeyine yakın bir bölgede sınırlanmıştır. Bu durumun saha gözlemleri ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Sadrekarimi vd. (2008), yaptıkları çalışma ile kambur sırtlı ağırlık tipi kıyı duvarlarının statik ve dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Bir istinat duvarının arkasında oluşan yanıl basınçları etkileyen parametrelerden biri duvarın arka yüzünün şeklidir. Bu amaçla betondan imal edilmiş kambur sırtlı ağırlık tipi kıyı duvarı için 1g sarsma tablası deneyleri gerçekleştirilmiştir. İki tip duvar için toplam 16 deney yapılmıştır. Birinci model büyük bir kambura sahiptir ve kamburun kırılma noktası duvarın ortasındadır (6. bloğun olduğu yer). İkinci model daha küçük bir kambura sahiptir ve kamburun kırılma noktası duvarın yüksekliğinin üçte birlik kısmındadır (3. bloğun olduğu yer). Kamburun kırılma noktasının aşağısında kalan kısım negatif geri şev ve kırılma noktasının üstünde kalan kısım ise pozitif geri şev olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.7’de I. Model ve II. Modelin kesitleri görülmektedir.

Firoozkuh silis kumu deniz taban malzemesi olarak kullanılmıştır. Sıvılaşmayı önlemek için iri taneli kireç taşı geri dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Duvarın ağırlığını deniz tabanına üniform olarak dağıtabilmek için, 2 cm kalınlığında taş dolgu tabakası duvarın altına yerleştirilmiştir. Duvar beton bloklardan oluşmaktadır. Blokların üzerinde ve tabanında sürtünmeyi arttırmak ve rölatif kaymayı engellemek için kayma kilitleri yapılmıştır.

Modelin davranışını belirleyebilmek için minyatür boşluk suyu basınç ölçerler, toprak basıncı ölçerler, ivme ölçerler, yatay ve düşey yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Plexiglas model tankı 179 cm uzunlukta, 44 cm genişlikte ve 70 cm yüksekliktedir. Deniz tabanı yoğunlukları farklı olacak şekilde modeller oluşturulmuş ve deneyler yapılmıştır. Bütün modeller için girdi hareketi yatay sinüzoidal formda kullanılmıştır ve salınımın frekansı 2.8 Hz olarak sabit belirlenmiştir. Ancak ivmenin genliği değışkenlik göstermektedir. Deneylerde kullanılan ivme aralığı 0.12-0.40 g’dir. Toplam kayıt süresi 40.96 s’dir ve sarsma etkisi 10 s’lik süre için uygulanmıştır.



Şekil 3.7 a) I. Model b) II. Model için kesitlerin şematik gösterimi (Sadkerami vd., 2008)

Sadkerami vd. (2008), yapılan çalışmada oluşan hasarları dört tipe ayırmışlardır. Bunlar oturma, kayma, karaya doğru dönme ve devrilme (denize doğru dönme). Deney sonuçlarına göre bunlardan hiçbiri oluşmayabildiği gibi, birden fazla hasar tipi aynı anda oluşabilmektedir. Maksimum duvar hareketine bakıldığında, taban ivmesinin daha büyük olması ve deniz tabanının daha yumuşak olması durumunda duvarın daha fazla hareket ettiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, deniz tabanının aynı rölatif yoğunlukta olması ve taban ivmesinin aynı değerleri alması durumunda ise II. tip modelin I. tip modele göre daha fazla hareket ettiği görülmüştür. Bunun nedeninin II. tip modelin pozitif geri yüz şevinin daha büyük ve negatif geri yüz şevinin daha küçük olması sebebiyle duvara uygulanan itmenin daha büyük olduğu düşünülmektedir. Ayrıca duvar üzerindeki maksimum efektif itmenin duvar tipine bakılmaksızın taban ivmesi ile arttığı tespit edilmiştir. Deniz tabanının rölatif yoğunluğu ve hasar tipi, maksimum efektif yatay itmeyi etkileyen iki faktör olarak belirlenmiştir. Benzer hasar tipine sahip durumlarda, yumuşak deniz tabanının daha büyük maksimum yatay itmeye sebep olduğu tespit edilmiştir. Duvar üzerinde oluşan maksimum

toplam devirme momentinin, taban ivmesinin artması ile arttığı görülmüştür. Aynı şekilde, aynı hasar tipine sahip durumlarda deniz taban yoğunluğu azaldıkça moment artmaktadır. Oluşan devirme momentleri I. ve II. tip modeller için karşılaştırıldığında daha büyük pozitif geri yüz şevine sahip olan II. tip modele daha büyük momentin etkilediği bulunmuştur.

Bütün bu sonuçlar altında, güvenli bir kambur sırtlı duvar oluşturabilmek için negatif ve pozitif geri şev bölümleri dikkatlice seçilmesi gerektiği Sadrekarimi vd. (2008) tarafından bildirilmiştir. Kambur sırtlı duvarın pozitif geri şevi üzerindeki geri dolgunun ağırlığı kaymayı ve devrilmeyi azaltarak stabiliteyi artırıcı etki yaptığı belirlenmiştir. Aynı zamanda duvarın arkasında daha az oturma oluşan, endüstriyel ve kıyı yapılarının yerleştirilebileceği güvenli bir bölge oluşturulacağı ifade edilmektedir.

Tochigi (1995) tetrapod blokların keson duvarlara olan etkilerini incelemiştir. Şiddetli depremlerde keson tipi dalgakıranların kayma ve oturma miktarlarını belirlemek için, dinamik göçmeyi gözönüne alan bir analiz metodu geliştirilmeye çalışmıştır.

Çalışma iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 1/50 ölçekli keson ve tetrapodtan oluşan ve taş dolgu üzerine yerleştirilen bir model oluşturulmuştur. Dinamik davranış sarsma deneyleri ile araştırılmıştır. Deprem durumunda keson dalgakıranların başlıca deformasyonunun kayma olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda daha büyük deprem ivmesinde, daha uzun periyotta daha büyük miktarda kayma tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ayrık elemanlar yöntemi (Distinct element method, DEM) ile tetrapod dolgu gözönüne alınmış ve keson ile olan etkileşimi incelenmiştir. Bu yol ile yeni bir kayma analiz metodu geliştirilmiştir. Tetrapodun geometrik formunun etkisi iki boyutlu DEM elemanları ile modellenmiştir. Deneylerde ister sinüzoidal dalga, isterse sismik dalga olsun elde edilen keson kayma miktarı yeteri doğrulukta ifade edilebilmiştir.

Kesonlarla ilgili sarsma tablası deneyleri genelde 10 Hz ve 100-500 gal aralıklarında yapılmıştır. Mohajeri vd. (2002), keson dalgakıranlara ait bir fiziksel model çalışması gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, oluşturulan kesitler iki ayrı dairesel sarsma tablası üzerine yerleştirilerek yapay deprem etkisi uygulanmıştır. İki ayrı deney düzeni için dairesel sarsma tablaları kullanılmıştır. Her iki tablanın çapı yaklaşık 6 m'dir ve bir havuz içerisine yerleştirilmişlerdir. Havuz 1.8 m derinliğe kadar su ile doldurulmuştur. Deneylerin birinci serilerinde, keson yapı oldukça sıkı bir kum dolgu üzerine yerleştirilmiştir. Sinüzoidal dalganın yirmi farklı periyodu, girdi ivmesi olarak düşünülmüştür ve farklı genlikler deneyler sırasında denenmiştir. Deneylerin ikinci serisinde, keson tipinde üç adet kompozit dalgakıran modellenmiş ve bir taş dolgu tabaka üzerine yerleştirilmiştir.

Deneler, havuzun boş olması ve üç farklı su seviyesine sahip olması durumu için gerçekleştirilmiştir. Hachionhe, Ofunato ve Kobe limanlarındaki depremlerde elde edilen deprem kayıtları her deney için girdi hareketi olarak kullanılmıştır. Kuru ortamda yapılan deney sisteminin rezonans frekansını belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Deneylere 100 gal maksimum ivme ile başlanmıştır ve net olarak yatay bir deformasyon gözlemleninceye kadar 200, 300, 400, 500, 600 gal pik ivmeler için tekrarlanmıştır.

Deneylerin birinci serileri için nispeten ideal şartlar dikkate alınmış ve 13 Hz'lik sabit frekanslı harmonik sinüzoidal ivme, girdi hareketi olarak seçilmiştir. Geleneksel kayan blok kavramına dayanarak, yenilme katsayısı ( $k_y$ ) ve ona karşılık gelen yenilme ivmesi ( $a_y$ ) değeri hesaplanmıştır. Bununla birlikte, kaymanın başladığı her yükleme çevirimi için eşik ivmesi olarak adlandırılan ivme değerleri bulunmaya çalışılmıştır. Kaymanın başlama eğilimi gösterdiği andaki ve kayma sırasındaki yenilme ivmesi değerinin sabit olmadığı ve kaymadan hemen sonra yenilme ivmesi değerinin ani olarak düştüğü belirlenmiştir. Analitik bir süreç bulmak için yenilme ivmesinin iki seviyesi tanımlanmıştır. Birinci seviye, statik yenilme ivmesi olarak adlandırılırken, kaymanın başlama noktasındaki eşik ivme değerine eşit olduğu belirtilmiştir. İkinci seviye ise dinamik yenilme ivmesi olarak adlandırılmış ve dinamik seviye aynı yerdeğiştirme değerlerine sahip deney sonuçlarının analizi ile deneme-yanılma yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Dinamik yenilme ivmesinin statik yenilme ivmesinden (eşik ivme) küçük olduğu belirlenmiştir.

Deneylerin ikinci serisi daha gerçekçi deney koşulları sağlamak için planlanmıştır. Kobe, Hachinohe ve Ofunato limanlarında elde edilen deprem ivme kayıtları hareket verisi olarak kullanılmıştır. Kompozit modelde tabana taş dolgu yerleştirilmiş ve farklı su seviyeleri denenmiştir.

İkinci seri deney sonuçlarına göre, kaymanın başladığı nokta gibi belirgin bir anın belirlenemediği belirtilmiştir. Bu nedenle yenilme ivmesi gibi özel bir değer tanımlanamamaktadır. İlk sarsmanın düşey harekete sebep olduğu görülmüştür. Dolgu üzerinde kesonun sallanma hareketini yatay dalgalanma başlatmıştır. Bu başlangıç dalgalanmasından sonra, ilk büyük kayma yerdeğiştirmesi meydana gelmiştir.

Yatay deformasyonun başlangıç zamanını belirleyebilmek için en az iki parametrelili bir kombinasyon önerilmiştir. Tablanın frekansı, sistemin çevrinti rezonans frekansına ulaştığında ve aynı zamanda ivme belirli bir limite vardığında, yatay deformasyon başlar. Bu limit ya da yenilme ivmesi değeri geleneksel kayan blok tanımlanmasına göre farklıdır.

Geleneksel yenilme ivmesine bir düzeltme faktörü ( $\alpha$ ) uygulanarak statik yenilme ivmesine ulaşılabilmektedir. Ayrıca statik yenilme ivmesine uygulanacak ( $\theta$ ) gibi bir düzeltme faktörü ile dinamik yenilme ivmesine ulaşılmaktadır. Buna göre, kayma hareketi ivme değeri statik yenilme ivmesi değerine ulaşmadan başlamayacağı ve hareket başladıktan sonra ise limit değer dinamik yenilme değerine düşeceği ifade edilmiştir.

Mohajeri vd., (2002)'un yapmış olduğu çalışmadan elde edilen sonuçlar ise şu şekilde özetlenebilir;

- Pik sinüzoidal girdi ivmesi arttığında, kritik ivme değeri de artmıştır.
- Kaymanın başlama eğilimi gösterdiği andaki, kayma sırasındaki yenilme ivme değerinin sabit olmadığı tespit edilmiş ve kaymadan hemen sonra yenilme ivmesi değeri ani olarak düşmüştür.
- En az iki parametrenin, yatay deformasyonun başlangıç anını belirleyebilmek için gerekli olduğu belirtilmiştir. Bu parametreler, girdi hareketi frekansı ve girdi ivmesi genliği olarak ifade edilmiştir.

Memos ve Protonotarios, (1992), Yunanistan'ın batısında İtalya'ya Ro-Ro kapısı olarak hizmet veren Patras Limanı'na ait dalgakıranın deprem etkisindeki davranışını incelemiştir. Birincil koruma tabakası 4-6 t'luk taş birimlerden oluşmaktadır ve şev eğimi 1:3'dür. -18 m derinliğindeki dalgakıranın genişliği yaklaşık olarak 90m civarındadır. Yapının zayıf zemin üzerine hiçbir iyileştirme çalışması yapılmadan inşa edildiği rapor edilmiştir. 1984 Şubat'ında Patras Körfezi'nde dalgakıran bölgesi yakınlarında büyüklüğü 3.5 ile 4.5 arasında olan deprem serileri meydana gelmiştir. Bu olaydan hemen sonra dalgakıranın güney bölgesinde oluşan deprem oturmalarının 3-4 m mertebelerinde olduğu belirlenmiştir.

Memos ve Protonotarios, (1992), yukarıda bahsedilen Patras limanına ait taş dolgu dalgakıran için yapmış olduğu bu çalışma ile yapım aşamasında dalgakıranın dinamik davranışını araştırmış ve yapının göçmesine sebep olan mekanizmayı ifade etmeyi amaçlamıştır. Göçme mekanizması, hidrodinamik ve geoteknik olarak adlandırılan iki yöntem ile araştırılmıştır. Birinci yöntemde, yapıyı çevreleyen su kütlelerinin taş dolgu üzerindeki dinamik yükü izah edilerek hidrodinamik yapı araştırılmıştır. İkinci yöntemde "dalgakıran-zemin etkileşimi" sismik analizi ile tanımlanmıştır.

Hidrodinamik karakteristikler incelenerek, sismik aktivite sebebiyle yapıdaki hidrodinamik yüklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece, dolgudan zemine doğru olan sismik hareket nedeniyle oluşacak hidrodinamik yükler hesaplanmaya çalışılmıştır.

Hidrodinamik basınçlar, yapının çevresindeki ek su kütlesi hareketinin hesaba katılması ile elde edilmiştir. Bunun için, suyun sıkışabilirliği ve yapının elastikliğini dikkate alan iki yöntem dikkate alınmıştır. Yatay sismik salınımın çevrimsel frekansı  $\omega$ , yapıyı çevreleyen su kütlesinin birinci kesim frekansı  $\omega_1 = \pi c_v / 2h$ , sudaki ses hızı  $c_v$ , su derinliği  $h$  ve yapının doğal frekansı  $\omega_s$  ile gösterilmiştir.

Eğer  $\omega < \omega_1$  için “dalgakıran-deniz” etkileşiminin olmadığı sistemde suyun sıkışabilirliğinin önemli bir rol oynamadığı ve ihmal edilebileceğini Chopra (1967) tarafından belirtilmiştir. “Dalgakıran-deniz” etkileşiminin olduğu bir sistemde suyun sıkışabilirliğinin ihmal edilebilmesi için gerekli olan ilave koşulun  $\omega_1 / \omega_s > 2$  olduğu belirtilmiştir (Chopra, 1968). Chopra'nın tanımından hareketle bölgeye ait veriler  $\omega_1 / \omega_s \approx 7$  olduğundan, bu yöntem probleme uygulanabilmiştir.

Ele alınan problem küçük bir sismik aktivite problemi olarak düşünülmüş  $\omega / \omega_1$  oranının yaklaşık olarak 0.05 ( $\omega / \omega_1 \approx 0.05$ ) olduğu görülmüştür. Böyle bir düşük oran sayesinde, ilk yaklaşım olarak toplam hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanması için yapının elastikliği ihmal edilebilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, deniz içinde sallanan eğimli bir yüzeydeki ek kütle basıncı (hidrodinamik basınç) bileşenleri tahmin edilmiştir. Yapıyı dinamik olarak yükleyen su kütlesi genişliğinin derinlik boyunca belirlenmesi ile hidrodinamik basınçlar analitik olarak hesaplanmıştır. Çözümde geçirimsiz yüzey kabulü yapılmış ve şevde kayma oluşturmayacak koşullar uygulanmıştır.

Patras Dalgakıranı'nın bulunduğu bölgenin geoteknik özelliklerini belirlemek için arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Su seviyesinden 50 m derinliğe kadar ulaşan 21 sondaj, dalgakıran ekseninden 50 m'lik uzaklığa kadar olacak şekilde 125 m uzunluğunda ve 100 m genişliğinde bir bölgede yapılmıştır. SPT sayıları dışında, 1-D konsolidasyon testleri, drenajlı ve drenajsız üç eksen testleri bütün sondajlardan alınan numuneler üzerinde uygulanmıştır. Yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri, zemin tabakalarının 30-38 m'lik normal konsolide yumuşak kil tabakası ile altında (>50 m) aşırı konsolide ve orta sertlikte kil tabakalarından oluştuğunu göstermiştir.

“Zemin malzemesi-taşdolgu” sisteminin sismik davranışının analizleri için girdi verisi olarak, 0.02g pik ivme ile normalize edilmiş 1986-Kalamata deprem kayıtları ve 0.015g pik ivme ile normalize edilmiş Taft deprem kayıtları dikkate alınmıştır.

Analiz sonuçları maksimum zemin ivmesinin yumuşak tabakanın üzerinde 2 ila 2.5 kat arttığını göstermiştir. Rölatif olarak küçük depremlerin yapının göçme mekanizmasını tetiklemek için yeterli olduğu belirlenmiştir. Bunun ana nedeni, derin yumuşak kil tabakasının varlığının düşük sismik hareketi önemli derecede arttırarak marjinal statik güvenlik faktörünü aşması olarak açıklanmıştır.

Memos ve Protonotarios (1992), elde ettikleri sonuçları şu şekilde özetlemişlerdir.

- 1) 1984 Şubatı’ndaki sismik aktivite zaten düşük olan yapı güvenlik faktörünü kabul edilebilir bir seviyenin altına düşürerek dolgu göçmesini başlatmıştır. Göçmeye neden olan depremler oldukça zayıf olmasına rağmen, sismik kuvvetler dolgunun üzerine yerleştirildiği kalın yumuşak kil tabakası ile oldukça arttırılmıştır ve düşük dayanımlı zeminin kayma göçmesine neden olmuştur.
- 2) Dolgunun sallanması sebebiyle oluşan hidrodinamik yükleme, ek su kütlesi ile oluşan basınçlarla yaklaşık olarak eş değerde oluşmuştur. Yapının elastikliği ve suyun sıkışabilirliğinin ihmal edilmesi sonuçları etkilememiştir.
- 3) Deprem etkisi ile oluşan hesaplanmış hidrodinamik kuvvetler, zemin malzemesi üzerine doğrudan sismik yükleme ile oluşan kuvvetlerle karşılaştırmıştır ve hidrodinamik kuvvetlerin daha düşük kuvvetler olduğu görülmüştür.
- 4) Genel olarak, eğimli rijit bir yüzde hidrodinamik yükleme için önerilen analitik ifade toplam hidrodinamik kuvvetin belirlenmesi için ilk yaklaşım olarak uygun olduğu ifade edilmiştir.

Memos vd., (2000) iki taş dolgu dalgakıran kesitini fiziksel ve matematiksel olarak modellemiştir. Birinci dalgakıran modeli, kaya tabanı temsil eden katı bir düzlem üzerine yerleştirilmiştir. İkinci model ise sıkıştırılmamış kum tabaka üzerine inşa edilmiştir. Dalgakıran kesitleri CERC (1984) tarafından önerilen genel uygulamaya göre tasarlanmıştır.

Her model için girdi ivmesi büyüklüğü ardışık deneylerde arttırılmıştır. I. Model için yapılan 17 testte  $a_{max} = 0.157g-1.481g$  maksimum girdi ivmeleri kullanılmıştır. II. Model için yapılan 20 test için  $a_{max} = 0.063g-1.553g$  maksimum girdi ivmeleri kullanılmıştır.



Sismik salınım altındaki taş dolgu dalgakıranının davranışının sayısal simülasyonu sonlu elemanlar yöntemini temel alan QUAD4M yazılımı ile yapılmıştır. İlk yaklaşım olarak, Westergaard (1933)'in analitik ifadesi, dalgakıran yüzü boyunca yatay ivmenin değişkenliği varsayımı ile kullanılmıştır. Bu etkiye göre dörtgen elemanlar kullanılarak ayrıklaştırılan dolgu için eşit yükseklikte yatay tabakalar oluşturulmuştur. Westergaard yaklaşımına göre tabakalardaki hidrodinamik basınç varsayımını sağlamak için, dörtgen elemanların yüksekliği boyunca ivmenin sabit olduğu kabul edilmiştir. Bu basınç yapının her tabakasinda "ek kütle"ye çevrilmiştir. Ana denklem, zaman alanı içinde Newmark tipi algoritma kullanılarak çözülmüştür. Üretilen sonuçlar, düşeyde değişken ve genel olarak varsayılandan farklı olan yatay ivmeleri içermiştir. Kullanılan zemin malzemesi parametreleri, Vucetic ve Dobry (1991)'nin deneysel eğrileri ile tanımlanabilen doğrusal olmayan viskoelastik ortam kabulüne dayanmıştır.

Çalışmada hidrodinamik basınçların dalgakıranların sanal kütesini arttırarak salınımın ana periyodunu değiştirdiği için oldukça önemli olduğu düşünülmüş ve II. Model'de şevin iki noktasında hidrodinamik basınçlar ölçülmüştür.

Hidrodinamik basınçların tayini için, sınır eleman yazılımı taşdolgu kesitinin dışında iki yarı sonsuz su alanını kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. Ağırlık etkisi ve suyun viskozitesi ihmal edilmiş ve zamandan bağımsız hale getirilmiştir. Böylece problem Helmutz Denklemi ile çözülebilecek hale dönüştürülmüştür. Denklemin çözümü, sınırda hız potansiyelini vermektedir. Bernoulli ifadesinin uygulanması ile basınç;

$$p = i\omega \rho_w \Phi \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilmiştir, burada;  $\Phi$  hız potansiyeli,  $\omega$  uyarım frekansı,  $\rho_w$  suyun özgül kütesidir.

Ölçülen ve tahmin edilen hidrodinamik basınç değerleri karşılaştırılmıştır. Tahmin edilen maksimum ve ortalama basınç değerlerinin ölçülen değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Deneyle sırasında dalgakıran kesitlerinin başlangıç ve son durumlarının şekli ölçülmüştür. I. Model'in kalıcı deformasyonlarının küçük olduğu bulunmuştur. II Model'de ise deformasyonlar daha büyük olmuştur. Orijinal kesit alanında %17.5 seviyesinde bir azalma meydana gelmiştir.

Sarsma deneyleri sırasında fiziksel modelin, sismik olarak dirençli ve davranışının oldukça elastik olduğu görülmüştür. Zemin malzemesi, yapının sismik davranışında önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Temel altında sıvılaşma oluştuğunda, hasar daha şiddetli olmuştur.

Hasarın ana nedeninin, çekirdek malzemesinin yoğunlaşması ile birlikte yapı kretinin oturması ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Eğer yapı gevşek temel üzerine yerleştirilmiş ise, blokların temel içine gömülmesi ve dolgu kesiti şeklinin düzleşmesi sebebiyle, bu oturma daha büyük miktarda olmuştur. Bu durum içinde, büyük kalıcı deformasyonlar, kısmi yada toplam göçmeye sebep olmuştur.

Taş dolgu dalgakıranların yapıldığı malzemeler, yapıya ekstra kayma direnci sağlamaktadır, böylece taban ivmesinin büyük genliğini engellemek, salınım periyodunun yapı salınıminin ana periyodundan uzakta olmasını sağlamaktadır.

Memos (2000), sismik yükleme altında taş dolgu dalgakıranların davranışı üzerine yapmış olduğu deneysel çalışmada iki tip fiziksel model oluşturulmuştur. Birinci model rijit taban üzerine yerleştirilmiş ve ikinci model kohezyonsuz zeminden oluşan yumuşak temel üzerine yerleştirilmiştir. Girdi deprem etkileri ardışık deneylerde büyüklüğü artırılan yatay ivmeleri içermektedir. Çalışmada hidrodinamik basınçlar ve ivmeler kaydedilmiştir.

Deneysel çalışmanın amacı sismik yükleme altında su içindeki taşdolgunun hareketinin nitel terimlerini araştırmak, ivme ve basınç algılayıcılar yolu ile verileri toplayıp sayısal sonuçlar ile karşılaştırmaktır. Bunun için altı bağımsız serbestlik derecesinde harekete izin veren  $4m \times 4m$  boyutunda yatay rijit bir tabladan oluşan sarsma tablası kullanılmıştır. Altı bağımsız serbestlik derecesinin üçü yerdeğiştirme ve üçü dönmedir. Sarsma tablası yazılım ile desteklenen elektronik ekipman ile çalıştırılmaktadır. Veriler elektronik olarak toplanmış, kaydedilmiş ve işlenmiştir. Hareketsiz haldeki pozisyonundan maksimum translasyon sapması her üç eksen boyunca  $\pm 10cm$ 'dir. Maksimum açısal sapma her ekseninde  $\pm 7 \times 10^{-2} rad$ 'dir. Her yatay yön hızı için maksimum izin verilen ivme bütün yönler için eş zamanlı olarak  $89 cm/s^2$ 'dir. Her serbestlik derecesi için frekans aralığı  $0.1-100 Hz$ 'dir.

Deneysel için iki tarafı şevli metalden oluşan rijit bir tank yapılmıştır. Oluşturulan model bu tank içine yerleştirilmiştir ve tank su ile doldurulmuştur.

Fiziksel modeller için yapılan boyut analizinde geometrik ve dinamik benzerliğin elde edilmesine çalışılmıştır. Ana kuvvetin atalet etkisi olması nedeniyle Froude sayısının  $U/[L(1+C\Delta)a]^{1/2}$  prototip ve model arasında sabit olması sağlanmıştır. Bu sayıda, U titreşimin karakteristik hızını, L modelin karakteristik boyutunu, C ek kütle katsayısını,  $\Delta$  rölatif

yoğunluğu, a depremin karakteristik ivmesini ifade etmektedir. Sürtünme kuvvetleri, katı-sıvı ve katı-katı etkileşimi olarak ayrı ayrı tanımlanmıştır. Taşların kilitlenme etkisini gösterdiği için katı-katı sürtünme kuvvetleri dikkate alınmıştır. Katı-katı sürtünme kuvvetlerinin doğru modellenebilmesi için aynı sürtünme katsayısının hem modelde hem de prototipte kullanılması gerekmiştir. Bu nedenle prototipteki malzemenin aynısı model için de kullanılmıştır.

İki dalgakıran modeli test edilmiştir. Birinci model, rijit taban üzerine yerleştirilmiştir. Taban üzerine dalgakıran eksenini boyunca yerleştirilen 11 adet  $\phi 10$ 'luk çubuk ile yapay pürüzlülük sağlanmıştır. Bu modelde koruma tabakasındaki blokların, birbirleri ile kilitlenmeleri yüksek olacak şekilde yerleştirilmiştir. İkinci model gevşek temeli temsil eden orta yoğunluklu gevşek bir taban üzerine yerleştirilmiştir. Bu modelin hazırlanması sırasında prototip dalgakıranların inşasında kullanılan tekniğin mümkün olduğu kadar uygulandığı belirtilmiştir ve koruyucu blokların birbirleri ile kilitlenmeleri düşük seviyede kalmıştır.

Memos vd., (2000) elde ettiği sonuçları şu şekilde özetlemiştir;

Dalgakıran yüzündeki hidrodinamik basınçlar, ek su kütlesi etkisi ile dalgakıranın sanal kütlesini arttırarak salınımın ana periyodunu değiştirme eğilimi göstermiştir. Sismik analizlerde hesaba katılmalıdır.

Taş dolgu dalgakıran temeli yapının sismik davranışında önemli bir rol oynamıştır. Yumuşak zemin yapıda büyük oturmalara neden olabilmekte ve sıvılaşma tehlikesini içermektedir.

Rijit temel üzerine genel tasarım ilkesine göre yerleştirilen taşdolgu dalgakıranlar 0.4-0.5 g'ye kadar olan  $a_{max}$  için depreme direnç gösterebilmiştir.

Dalgakıranın koruma tabakası, yüksek ivmeler için dahi büyük miktarda malzemenin kesitten ayrılmasına izin vermeyecek kadar dirençli olduğu bulunmuştur. Bu direncin, dikkatli yerleştirme ve koruyucu birimlerin kenetlenmesi ile büyük oranda geliştirilebileceği belirlenmiştir.

Temeldeki boşluk suyu basınçları geoteknik koşulların izin verdiği durumlarda dolgunun çekirdeğine doğru hızlı bir şekilde yükselmiştir. Bu olay temel malzemesinin sıvılaşmasını tetiklemiştir, böylece büyük kalıcı deformasyon tehlikesini arttırdığı görülmüştür.

Yüksel vd., (2003), 1999 yılında olan Doğu Marmara Depremi'nin deniz yapıları ve kıyı alanları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Doğu Marmara Depremi'nin moment büyüklüğü,  $M_w$ , 7.4 olarak gerçekleşmiş, İzmit Körfezi ve Doğu Marmara Bölgesi'nde etkili olmuştur.

Ana fay doğrudan atımlı bir fay olup 140 km uzunluğundadır. Deprem, 45 s boyunca sürmüştür.

Bölgede birçok deniz yapısı ve liman bulunmaktadır. Bu yapılardan biri Derince Limanı'dır. Bu liman, bölgenin en büyük limanıdır ve 1.5 km uzunluğunda rıhtım ile sekiz iskeleye sahiptir. Rıhtımlardan üçü bloklu tip rıhtım duvarına sahip iken beş rıhtım kazıklı tiptir. Depremın pik zemin ivmesi 0.25-0.3g olup özellikle beton bloklu tip rıhtım duvarında ciddi hasarlara neden olmuştur. Deniz tarafına doğru 0.5 m maksimum yanal yerdeğiştirme ve geri dolguda 0.5-0.8 m oturmalar meydana gelmiştir. Sualtındaki araştırmalar sonucunda benzer yanal yerdeğiştirmeler gözlenirken, taş dolgu temel üzerindeki duvarda herhangi bir oturma gözlenmemiştir.

Bu çalışmada, Karamürsel Ereğli balıkçı barınağına ait olan taş dolgu dalgakıranın uğradığı hasar yerinde yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Bu dalgakıran 230 m uzunluğundadır. Koruma tabakasında 2-6 t (%50) ve 0.40-2 t (%50) aralığında ocaktaşı, çekirdek tabakasında ise 50-200 kg aralığında taş kullanılmıştır. Toplam kıyı duvarı uzunluğu 75 m olup liman baseninde derinlik 2 m'dir. Deprem sonrası yapılan ölçümlere göre, dalgakıranın bütün eksenleri boyunca 1.5 m'lik oturmanın gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca betonarme kıyı duvarında çatlaklar gözlemlenmiş ve geri dolguda oturma oluşan bölgelerde kıyı duvarının denize doğru 10 cm yerdeğiştirmeye uğradığı bildirilmiştir. Deformasyonların nedenini belirleyebilmek için, sıvılaşma potansiyeli, şev stabilitesi ve oturma analizleri gibi geoteknik analizler yapılmıştır.

Elde edilen sondaj sonuçları ve laboratuvar testleri ile bölgenin zemin özellikleri belirlenmiş, dalgakıran ve kıyı duvarı boyunca farklı kesitlerdeki zemin sıvılaşma potansiyeli kontrol edilmiştir. Oluşan deformasyonların nedenlerinden birinin zemin tabakasının üst kısmında bulunan 4 m'lik gevşek kumun sıvılaşması olduğu düşünülmüştür.

Ayrıca, dalgakıran için şev stabilitesi Stable isimli bilgisayar programı ile modellenmiş ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Farklı pik ivme değerleri için yükleme yapılmış ve 0.1g'lik zemin ivmesinde şevin göçmeye uğradığı belirlenmiştir. Konsolidasyon ve sıvılaşmadan oluşan toplam oturma miktarı 1.2 m olarak bulunmuştur ve bu değer ölçümlere yakın olduğu belirtilmiştir. Şev topuğunun yakınında oluşan sıvılaşmanın şevde stabilitesizliğe neden olduğu belirtilmiştir.

Yüksel vd., (2004), Ereğli balıkçı barınağına ait taş dolgu dalgakıranının 1999 Kocaeli depremi sırasında gösterdiği sismik davranışı incelemiştir. Yapılan çalışma dört ana başlık altında

özetlenmiştir. Bunlar, (1) deprem sonrası oluşan deformasyonlar ve yerdeğiştirmeler, (2) standart penetrasyon testlerini içeren sondaj sonuçları, (3) gözlemlenen deformasyon mekanizmasının uygun yöntemlerle analizleri, (4) zemin sıvılaşmasının deformasyonlar üzerindeki etkisidir. Bölgede yapılan incelemeler ile meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir. Bölgede oluşan deformasyonlar Yüksel vd. (2003), tarafından bildirilmiştir.

Deprem sonrası oluşan zemin deformasyonlarının nedenini anlamak amacıyla seçilen bir kesit üzerinde sayısal analizler yapılmıştır. Bu analizler, elastik, konsolidasyon ve sismik etki sonucu oluşan oturmaların zemin deformasyonu etkilerini içermektedir. Dalgakıranın kendi ağırlığının sebep olduğu deformasyonun belirlenebilmesi için, dört yükleme aşaması içeren sonlu elemanlar analizi Plaxis yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zemin parametreleri, laboratuvar deneyleri ve bölgedeki incelemeler sonucunda elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, maksimum deformasyon dolgunun kretinde oluşmuştur ve 40 mm civarındadır. Benzer şekilde dalgakıranın statik stabilitesi, limit denge analizleri (Janbu yöntemi, 1973) ile incelenmiştir. Statik yükleme durumu için minimum emniyet sayısı 2.05 olarak bulunmuştur. Yapılan analizler sonucunda, dalgakıranın stabil olduğu ve kendi ağırlığından dolayı oluşan oturmaın ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu görülmüştür.

Deprem yükünün yapı üzerindeki etkisi ise dinamik sonlu farklar analizleri ile belirlenmiştir. Bunun için Flac yazılımı kullanılmıştır. İlk olarak analizler, boşluk suyu oluşumu ihmal edilerek gerçekleştirilmiştir. Sabit %2'lik sönüm, çevrimsel sönümü modellemek için seçilmiştir. Deprem sebebiyle oluşacak ek boşluk suyu basıncı oluşumu göz önüne alınmaksızın yapılan analizde dalgakıranın stabil kaldığı görülmüştür. Potansiyel kayan kütle içinde hesaplanan ortalama maksimum ivme 0.13g olarak tespit edilmiştir. Bu yatay ivme değeri kullanılarak, Janbu Yöntemine göre psödostatik limit denge şev stabilitesi analizleri yapılmıştır. Bu analize göre, deprem yüklemesi durumunda dalgakıranın stabil olma yada stabilitesini kaybetme sınırında bulunduğu anlaşılmıştır. Bu durumdaki emniyet sayıları 0.93-1.01 arasında değer almaktadır.

Çalışmada incelenen bir başka durum ise zemin sıvılaşmasının potansiyel etkilerinin şev performansı üzerindeki etkisidir. Bu amaçla, basitleştirilmiş yöntemeye dayanan metodoloji ile Çetin (2000) ile Seed vd. (2003) tarafından önerilen sıvılaşma tetiklenme korelasyonu birlikte uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, siltli kum tabakasının belirgin sıvılaşma riski olduğu belirlenmiştir. Kalıcı içsel sürtünme açısı kullanılarak yapılan Plaxis 7.2 analizleri belirgin deformasyonlar ile sonuçlanmıştır. Bu sonuçlar gözönüne alındığında, taş dolguda

oluşan deformasyon nedeninin büyük olasılıkla siltli kum tabakasındaki sıvılaşıma olduğu düşünülmüştür.

### 3.2 Sismik Şev Stabilite Analizi

Şevlerin sismik stabilite analizinde deprem sarsıntısı ile oluşan dinamik gerilmeler ve bu gerilmelerin şev malzemesinin dayanımı ile gerilme-birim deformasyonu üzerinde etkisinin göz önüne alınması gerektiğinden oldukça karmaşıktır (Kayabalı, 2003).

Belirli bir şevde bu etkilerden hangisinin egemen olduğuna dayalı, sismik şev stabiliti analizleri iki sınıfa ayrılabilir: Ataletsel duraysızlıklarda (stabilitesizlik) zeminin kayma dayanımı nispeten sabit kalır, fakat şev deformasyonları dinamik deprem dalgalarının geçici olarak stabiliteyi aşmasıyla oluşmaktadır. Zayıflatan duraysızlıklar; deprem, zemini depremden kaynaklanan gerilmeler altında duraylı kalamayacak derecede zayıflattığı durumlardır. Sismik duraysızlığın iki sınıfı içinde hem limit denge hem de gerilme-deformasyon analizlerine dayalı çok sayıda analitik yöntem mevcuttur (Kayabalı, 2003).

#### 3.2.1 Ataletsel Duraysızlık (Stabilitesizlik) Analizi

Deprem hareketleri şevlerde önemli büyüklükte yatay ve düşey dinamik gerilmeler oluşturur. Bu gerilmeler bir şev içindeki potansiyel yenilme yüzeyleri üzerinde dinamik normal gerilmeler ve kayma gerilmeleri oluşturur. Dinamik gerilmeler mevcut olan statik kayma gerilmeleri ile birleştiğinde zeminde kayma dayanımını ve şevde ataletsel duraysızlık oluşturur. Ataletsel duraysızlığın analizi konusunda çok sayıda yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler arasındaki başlıca fark, deprem hareketini ve şevin dinamik davranışını temsil etmedeki doğruluk derecesidir. Sismik şevin psödo-statik analiz ile bulunan emniyet katsayısı, statik şev yenilmesine karşı limit denge analizinde bulunan emniyet katsayısı ile bir çok yönden benzerlik gösterir. Diğer yöntemlerin tümü ise, deprem sarsıntısı ile oluşan kalıcı şev yerdeğiştirmelerini değerlendirmektedir (Kayabalı, 2003).

##### 3.2.1.1 Psödo-statik Analiz

Psödo-statik analizlerde deprem sarsıntısının etkileri, genellikle atalet kuvvetleri üreten psödo-statik ivmeler ile temsil edilmektedir.  $F_h$  ve  $F_v$  şeklindeki bu atalet kuvvetleri, yenilen kütlelerin ağırlık merkezinden geçmektedir. Şekil 3.8'de yenilme yüzeyine etkiyen kuvvetler gösterilmektedir. Psödo-statik kuvvetlerin büyüklüğü şu şekildedir:

$$F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W \quad (3.2)$$

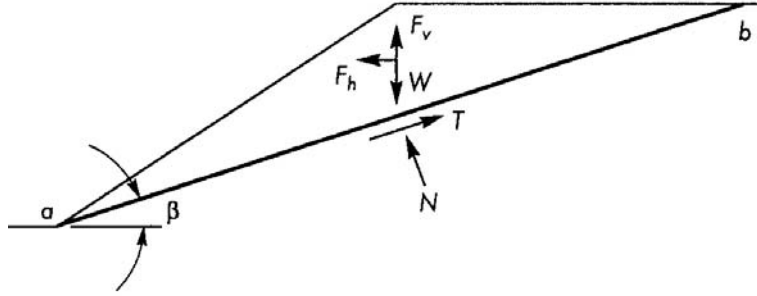
$$F_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W \quad (3.3)$$

Burada,

$a_h$  ve  $a_v$ : sırası ile yatay ve düşey psödo-statik ivmeler,

$k_h$  ve  $k_v$ : sırası ile boyutsuz yatay ve düşey psödo-statik katsayılar

$W$ : yenilen kütle'nin ağırlığıdır.



Şekil 3.8 Psödo-statik şev stabilite analizinde düzlemsel yenilme yüzeyinin üzerinde üçgen zemin kaması üzerine etkiyen kuvvetler

Potansiyel yenilme kütlesi üzerine etkiyen kuvvetleri yenilme yüzeyine paralel yönde bileşenlerine ayırarak,

$$FS = \frac{\text{Göçmeye karşı koyan kuvvetler}}{\text{Göçmeye zorlayan kuvvetler}} = \frac{cl_{ab} + [(W - F_v)\cos\beta - F_h\sin\beta]\tan\phi}{(W - F_v)\sin\beta + F_h\cos\beta} \quad (3.4)$$

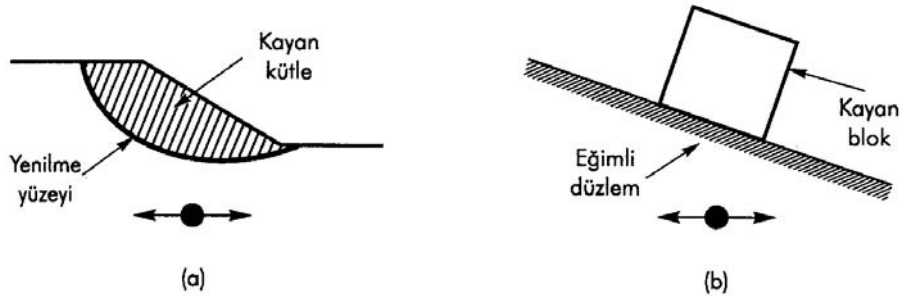
elde edilir.

$c$  ve  $\phi$ : yenilme düzleminin kayma dayanımını tanımlayan Mohr-Coulomb dayanım parametreleri  $l_{ab}$ : yenilme düzleminin uzunluğudur.

Yatay psödo-statik kuvvet emniyet katsayısını azaltmaktadır. Göçmeye karşı koyan kuvvetleri azaltmakta ve göçmeye zorlayan kuvveti arttırmaktadır. Hem göçmeye zorlayan kuvveti hem de göçmeye karşı koyan kuvveti azalttığından dolayı düşey psödo-statik kuvvetin emniyet katsayısı üzerindeki etkisi azdır (Kayabalı, 2003).

### 3.2.1.2 Newmark Kayan Blok Analizi

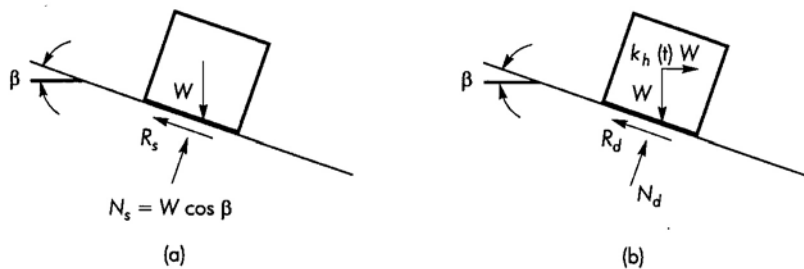
Depremin oluşturduğu ivmeler zaman içinde değiştiğinden, psödo-statik emniyet katsayısı da sürekli değişecektir. Potansiyel yenilme kütlesi üzerine etkiyen toplam göçmeye zorlayan kuvvetler (statik+dinamik), mevcut göçmeye karşı koyan kuvvetleri aşacak kadar büyük olması halinde, emniyet katsayısı 1.0'in altına düşecektir. Newmark (1965) bu şartlar altındaki bir şevin davranışını incelemiştir. Emniyet katsayısı 1.0'den küçük olduğunda, potansiyel yenilme kütlesi artık denge durumunda değildir. Sonuçta dengesiz bir kuvvetle ivmelendirilecektir. Bu durum Şekil 3.9'da gösterilen eğimli bir düzlem üzerinde duran blok ile benzerdir. Newmark bu benzerliği kullanarak, herhangi bir yer hareketine maruz kalan bir şevdeki kalıcı yerdeğiştirmeyi kestirmeye yönelik bir yöntem geliştirmiştir (Kayabalı, 2003).



Şekil 3.9 a) Potansiyel heyelan ve b) eğimli düzlem üzerinde sükunetteki blok arasındaki benzerlik (Kayabalı, 2003)

Şekil 3.9b'deki eğimli düzlem üzerinde statik denge halindeki duraylı bir bloğu göz önüne alırsak, statik şartlarda bloğun dengesi mevcut statik göçmeye karşı koyan  $R_s$ 'nin statik göçmeye zorlayan kuvvet  $D_s$ 'den büyük olmasını gerektirir. Şekil 3.10'da eğimli düzlem üzerinde duran bloğa etkiyen kuvvetler gösterilmektedir. Bloğun kaymaya karşı direncinin tamamıyla sürtünmeden kaynaklandığını kabul ederek,

$$FS = \frac{\text{Göçmeye karşı koyan kuvvetler}}{\text{Göçmeye zorlayan kuvvetler}} = \frac{R_s}{D_s} = \frac{W \cos \beta \tan \varphi}{W \sin \beta} = \frac{\tan \varphi}{\tan \beta} \quad (3.5)$$



Şekil 3.10 Eğimli düzlem üzerinde duran bloğa etkiyen kuvvetler a) statik şartlar, b) dinamik şartlar



Burada,  $\phi$  : blok ve düzlem arasındaki içsel sürtünme açısıdır.

Şimdi de eğimli düzlemin  $a_h(t)=k_h(t)g$  ivmesi ile yatay yönde titreşmesiyle bloğa aktarılan atalet kuvvetlerini göz önüne alırsak, belirli bir anda bloğun yatay ivmesi, yatay atalet kuvveti  $k_h(W)$ 'yi oluşturacaktır. Atalet kuvvetinin eğim aşağı yönde etki ettiği durumda kuvvetlerin eğimli düzleme paralel ve dik yönde bileşenlere ayrılmasıyla,

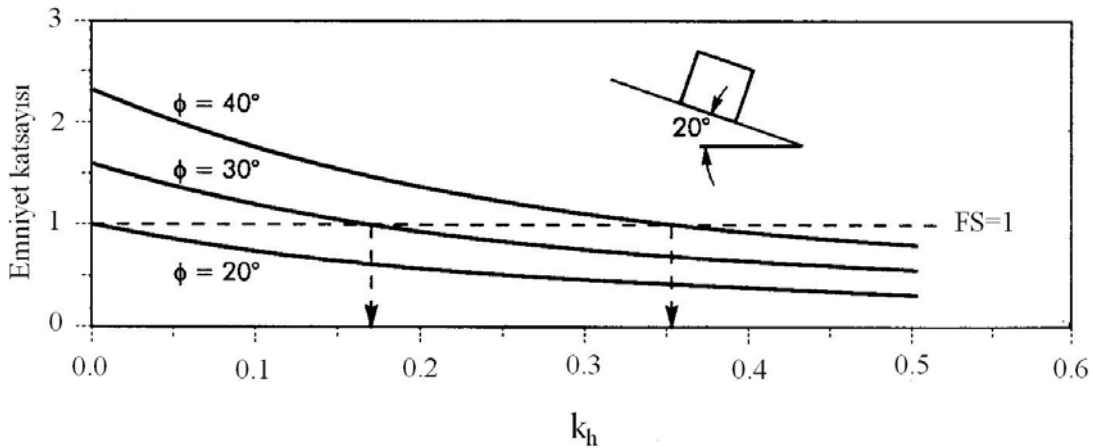
$$FS_d(t) = \frac{\text{Göçmeye karşı koyan kuvvetler}}{\text{Göçmeye zorlayan kuvvetler}}$$

$$= \frac{R_d(t)}{D_d(t)} = \frac{[\cos\beta - k_h(t)\sin\beta]\tan\phi}{\sin\beta + k_h(t)\cos\beta} \quad (3.6)$$

olmaktadır. Buradan görüleceği gibi,  $k_h$  artarken dinamik emniyet katsayısı azalır ve  $k_h$ 'nın emniyet katsayısını 1.0 olarak veren bir pozitif değeri vardır. Şekil 3.11'de görülen yenilme katsayısı  $k_y$ , yenilme ivmesi  $a_y=k_yg$ 'ye karşılık gelir. Yenilme ivmesi, blokta stabilitesizliğe neden olmak için gerekli minimum psödo-statik ivmedir. Aşağı yönde kayma için,

$$k_y = \tan(\phi - \beta) \quad (3.7)$$

olmaktadır (Kayabalı, 2003).



Şekil 3.11  $20^\circ$  eğimli düzlem üzerindeki blok için psödo-statik emniyet katsayısının yatay psödo-statik katsayı ile değişimi (Kayabalı, 2003)

Eğim yukarı yönde kayma için ise ( $\beta$  ve  $\phi$  küçük),

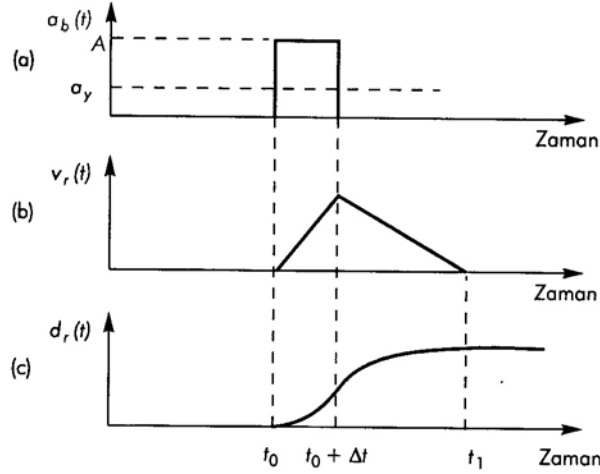
$$k_y = \frac{\tan\phi + \tan\beta}{1 + \tan\phi \tan\beta} \quad (3.8)$$

Eğimli bir düzlem üzerindeki bir blok, yenilme ivmesinden daha büyük bir ivme palsına maruz kalırsa, düzleme göre blok rölatif olarak hareket edecektir. Sonuçta gelişen kalıcı

yerdeğiştirmelerin hesaplandığı yöntemi açıklamak için, ivme genliği  $A$  ve süresi  $\Delta t$  olan basit dikdörtgen ivme palsına maruz kalan eğimli düzlem dikkate alınmaktadır. Yenilme ivmesi  $a_y$ 'nin  $A$ 'dan küçük olması durumunda (Şekil 3.12)  $t_0$  ile  $t_0+\Delta t$  zaman aralığında düzleme göre bloğun rölatif ivmesi,

$$a_{\text{röl}}(t) = a_b(t) - a_y = A - a_y \quad t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t \quad (3.9)$$

$a_b(t)$ : eğimli düzlem üzerindeki ivme



Şekil 3.12 Kayan blok ile düzlem arasında  $t=t_0$  ile  $t=t_0+\Delta t$  arasında yenilme ivmesini aşan dörtgen etkiden ileri gelen rölatif hız ve rölatif yerdeğiştirmenin değişimi (Kayabalı, 2003)

Bu zaman aralığında bloğun rölatif hareketi, rölatif ivmenin iki kere integralini alarak elde edilmektedir:

$$v_{\text{röl}}(t) = \int_{t_0}^t a_{\text{röl}}(t) dt = [A_r - a_y](t - t_0) \quad t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t \quad (3.10)$$

$$d_{\text{röl}}(t) = \int_{t_0}^t v_{\text{röl}}(t) dt = 0.5[A_r - a_y](t - t_0)^2 \quad t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t \quad (3.11)$$

$t = t_0 + \Delta t$ 'de rölatif hız maksimum değerine ulaşır. Zamanın bu değerinde,

$$v_{\text{röl}}(t_0 + \Delta t) = [A_r - a_y] \Delta t \quad (3.12)$$

$$d_{\text{röl}}(t_0 + \Delta t) = 0.5[A_r - a_y] \Delta t^2 \quad (3.13)$$

olmaktadır. Taban ivmesi sıfıra düştükten sonra ( $t = t_0 + \Delta t$ ), tabandaki sürtünme kuvveti kayan bloğun ivmesini azaltır. Blok, düzlem üzerinde kaymaya devam eder, fakat kayma hızı azalarak sonuçta sıfıra düşer. Bu zaman aralığında ivme şu şekilde ifade edilir;

$$a_{\text{röl}}(t) = a_b(t) - a_y = 0 - a_y = -a_y \quad t_0 + \Delta t \leq t \leq t_1 \quad (3.14)$$

$t_1$ : rölatif hızın sıfır olduğu zamandır (bu zaman aralığında blok negatif ivmeye maruz kalır veya ivmesi azalır). Rölatif hız  $t_0+\Delta t$  ile  $t_1$  arasında aşağıdaki bağıntıya göre azalmaktadır (Kayabalı, 2003):

$$v_{\text{röl}}(t) = v_{\text{röl}}(t_0 + \Delta t) + \int_{t_0+\Delta t}^t a_{\text{röl}} dt = A_r \Delta t - a_y (t - t_0) \quad t_0 + \Delta t \leq t \leq t_1 \quad (3.15)$$

$t=t_1$ 'de rölatif hız sıfıra eşitlendiğinde,

$$t_1 = t_0 + \frac{A_r}{a_y} \Delta t \quad (3.16)$$

$$d_{\text{röl}}(t) = \int_{t_0+\Delta t}^t v_{\text{röl}}(t) dt = A_r \Delta t (t - t_0 - \Delta t) - 0.5 [t^2 - (t_0 + \Delta t)^2] \quad t_0 + \Delta t \leq t \leq t_1 \quad (3.17)$$

$t_1$  zamanından sonra blok ve eğimli düzlem birlikte hareket eder.  $t=t_0$  ile  $t=t_1$  arasındaki toplam zaman sırasında bloğun rölatif hareketi Şekil 3.12c'de gösterilmiştir.  $t_0$  ile  $t_0+\Delta t$  arasında rölatif hız doğrusal olarak artar ve rölatif yerdeğiştirmedeki artış da kareseldir.  $t_0+\Delta t$ 'de rölatif hız maksimum değerine ulaşır ve o noktadan sonra doğrusal olarak azalır. Rölatif yerdeğiştirme  $t=t_1$  olana kadar artmaya devam eder.

$$d_{\text{röl}}(t_1) = 0.5 (A_r - a_y) \Delta t^2 \frac{A_r}{a_y} \quad (3.18)$$

Yukarıdaki ifadeden görüldüğü gibi toplam rölatif yerdeğiştirme yenilme ivmesinin aşılması sırasındaki ivmenin büyüklüğüne ve zamana bağlıdır. Bir deprem hareketi, yenilme ivmesini çok kez aşabilir ve bu şekilde çok sayıda yerdeğiştirme artışına neden olabilir. Şekil 3.13'de bu durum görülmektedir. Bu nedenle toplam yerdeğiştirme kuvvetli yer hareketinin genliği ve frekans içeriği yanında süresinde etkilenmektedir.

Açık bir şekilde görüleceği gibi depremden kaynaklanan ivmelerin Şekil 3.14a'da olduğu gibi yenilme ivmesini hiçbir zaman aşmaması halinde ( $a_y/a_{\text{max}} \geq 1.0$ ) kayan blok modeli ile tahmin edilen kalıcı şev yerdeğiştirmesi sıfır olacaktır. Newmark (1965) dörtgen pals çözümünü kullanarak, tek etkili şev yerdeğiştirmesi ile pik taban hızı arasında aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

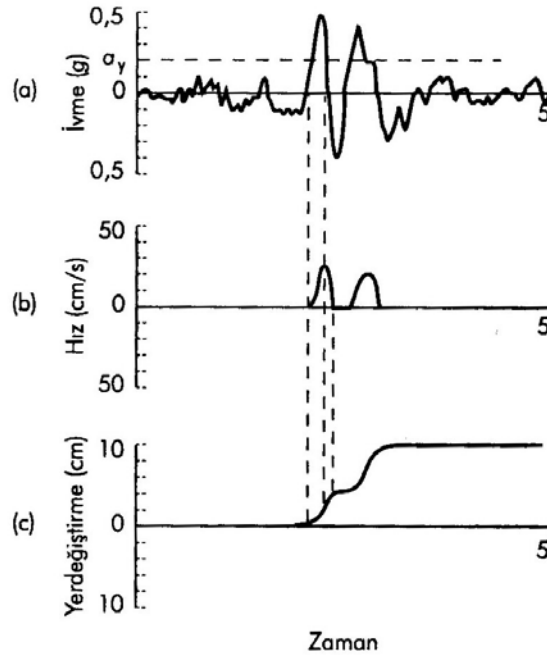
$$d_{\text{röl}} = \frac{v_{\text{max}}^2}{2a_y} \left( \frac{1 - a_y}{A_r} \right) \quad (3.19)$$

0.5g'lik pik ivmeye ve 76 cm/s pik hızla normalize edilen birkaç deprem hareketinin analizinden çıkan sonuca göre, bir deprem hareketinin efektif etki sayısı  $A_r/a_y$  ile yaklaşık

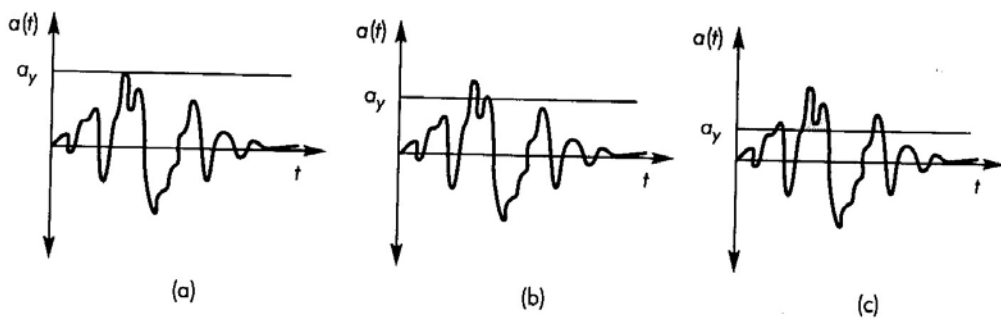
olarak hesaplanabilir. Newmark bu deprem hareketlerinin oluşturduğu kalıcı yerdeğiştirmenin makul üst sınırının aşağıdaki gibi ifade edileceğini bulmuştur (Kayabalı, 2003):

$$d_{rol} = \frac{v_{max}^2}{2a_y} \frac{a_{max}}{a_y} \quad (3.20)$$

Burada,  $a_y/a_{max} \geq 0.17$  'dir.



Şekil 3.13 Gerçek deprem yer hareketinde kalıcı şev yerdeğiştirmelerinin gelişmesi (Wilson ve Keefer, 1985)



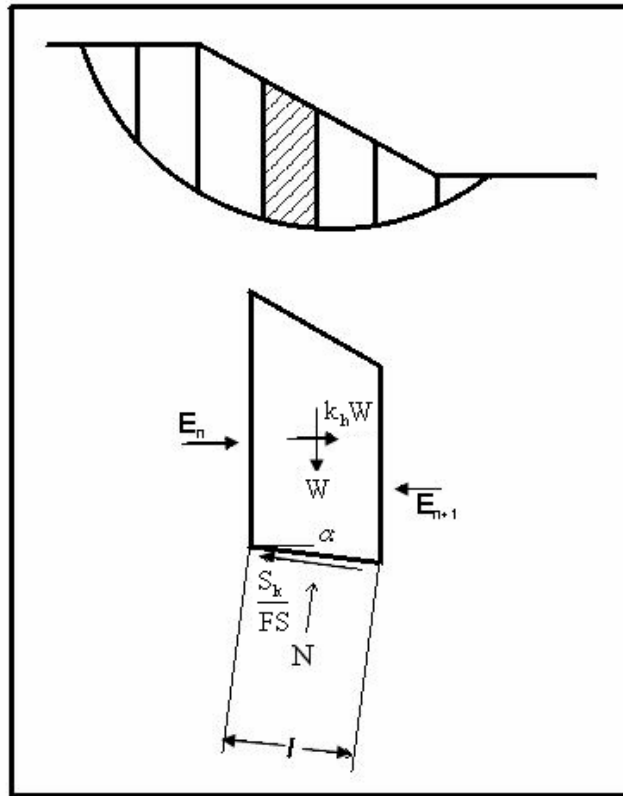
Şekil 3.14 Kalıcı şev yerdeğiştirmeleri yenilme ivmesi ile maksimum ivme arasındaki ilişkiye bağlıdır. a) Bir şevin yenilme ivmesinin belirli bir yer hareketinin maksimum ivmesinden büyük olması durumunda yerdeğiştirme meydana gelmez b) ve c)'de olduğu gibi yenilme ivmeleri azalırken şev yerdeğiştirmeleri artar (Kayabalı, 2003)

### 3.2.2 Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi (1955)

Bu yöntem, dilim yöntemini kullanarak zemin kütlelerinin emniyet katsayılarını statik yada psedö-statik yüklemeler altında belirlemek amacıyla Bishop (1955) tarafından geliştirilmiştir. İncelenen zemin kütlesi için düşey kuvvet dengesi ve moment dengesi gözönüne alınmaktadır. Bu yöntemde şev düşey dilimlere ayrılmaktadır. Her bir dilime etkili olan kuvvetler belirlenmekte ve kayma dairesinin merkezine göre moment alınarak, şevin emniyet katsayısı belirlenmektedir. Bu yöntemin geliştirilmesinde yapılan bazı kabuller şu şekilde sıralanabilir;

1. Dilimlerin yan yüzeylerindeki kuvvetler yatay olarak kabul edilmiş ve böylece dilimler arasında kayma gerilmelerinin oluşmayacağı varsayılmıştır (Bishop, 1955).
2. Her dilim üzerinde etkili olan toplam normal kuvvetin, dilim tabanın merkezinde etkidiği ve düşey doğrultudaki kuvvetlerin toplamı olduğu kabul edilmiştir (Bishop, 1955).

Şekil 3.15'te Bishop Yöntemi'nde her bir dilim üzerine etkiyen kuvvetler gösterilmektedir. Emniyet katsayısını veren ifade ise kayma dairesi merkezine göre moment alınarak Denklem 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.15 Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi'nde kullanılan dilim ve etkili kuvvetler (Tagasoft Web sayfası, 2009)

Şekil 3.15'te gösterilen  $N$ , toplam normal kuvveti,  $E_n$  ve  $E_{n+1}$ , dilim yan yüzeylerine etkiyen yatay kuvvetleri,  $S_k/FS$  ise mobilize olmuş kayma kuvvetini göstermektedir.

$$FS = \frac{r \sum \left[ \frac{c' l \cos \alpha + (W - u_p l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi') / FS} \right]}{\sum W r \sin \alpha + k_h \sum W y_k} \quad (3.21)$$

burada,

$c'$ : efektif kohezyon,  $l$ : dilim genişliği,  $\phi'$ : efektif içsel sürtünme açısı,  $W$ : ağırlık,  $u_p$ : boşluk suyu basıncı  $\alpha$ : dilimin eğim açısı,  $k_h$ : yatay psödo-statik katsayı,  $y_k$ : moment kolu,  $r$ : kayma dairesinin yarıçapı,  $FS$ : emniyet katsayısıdır.

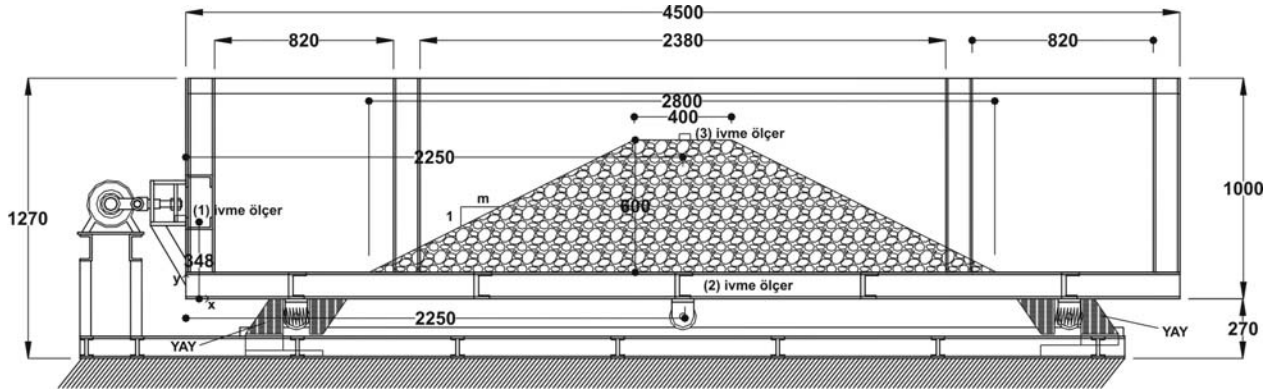
Denklem 3.21'in her iki tarafında  $FS$  katsayısı bulunmaktadır. Bu yüzden, çözüme iterasyon yapılarak ulaşılmaktadır.

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

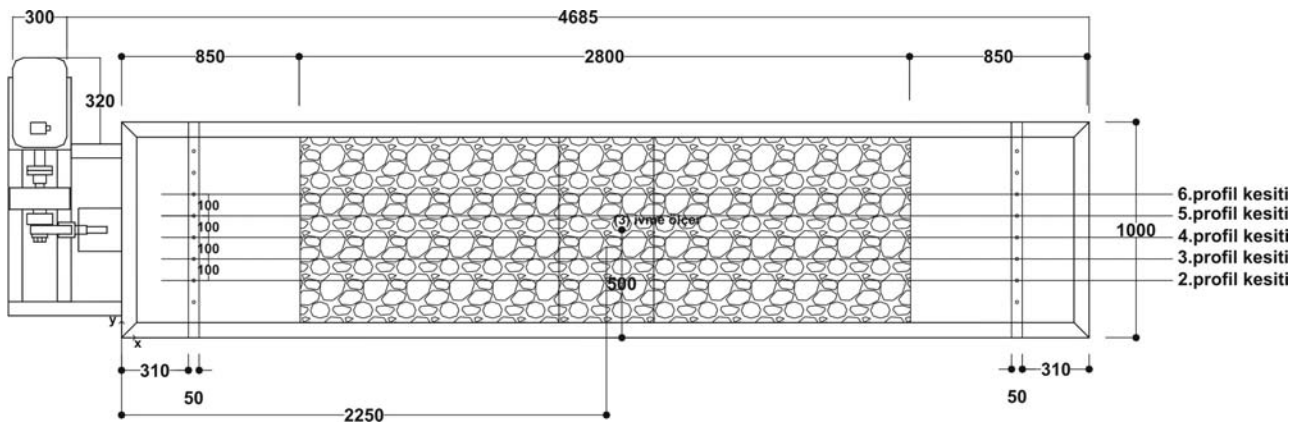
### 4.1 Deney Sisteminin Tasarımı

#### 4.1.1 Sarsma Tankı

Deneysel çalışma için planlanan sarsma tankı Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı-Liman Mühendisliği Laboratuvarında kurulmuştur. Sarsma tankına ait özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Kurulan sarsma tankının kesit ve planı Şekil 4.1’de görülmektedir. Sarsma tankı ile yapılacak model deneyleri için ivme ölçerler ile bilgisayar destekli bir veri toplama sistemi kurulmuştur. Veri toplama otomasyonu için bir yazılım geliştirilmiştir.



(a) İvme ölçer konumları ve tankın içindeki model kesiti ile sarsma tankı boy kesiti (birimler mm'dir)



(b) Profil ölçüm kesitlerini gösteren model planı (birimler mm'dir)

Şekil 4.1 Sarsma tankı

Çizelge 4.1 Sarsma tankına ait özellikler

Genlik Aralığı (mm)	Frekans (Hz)	Motor Özellikleri	Tank Ağırlığı (kg)	Sarsma deneylerinde dikkate alınan maksimum ağırlık (kg)
1-20	0-50	1500 RPM 380 Volt 7.5 kW	1000	7000

#### 4.1.2 Yağmurlama Sistemi

Tabakalı dalgakıran modeli için özellikle daha ince malzemedeki çekirdekte her deneyde aynı sıklığın yaratılması amacıyla bir adet otomatik yağmurlama sistemi planlanmıştır. Planlanan bu sistem Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Yağmurlama sisteminin özellikleri aşağıdaki gibidir;

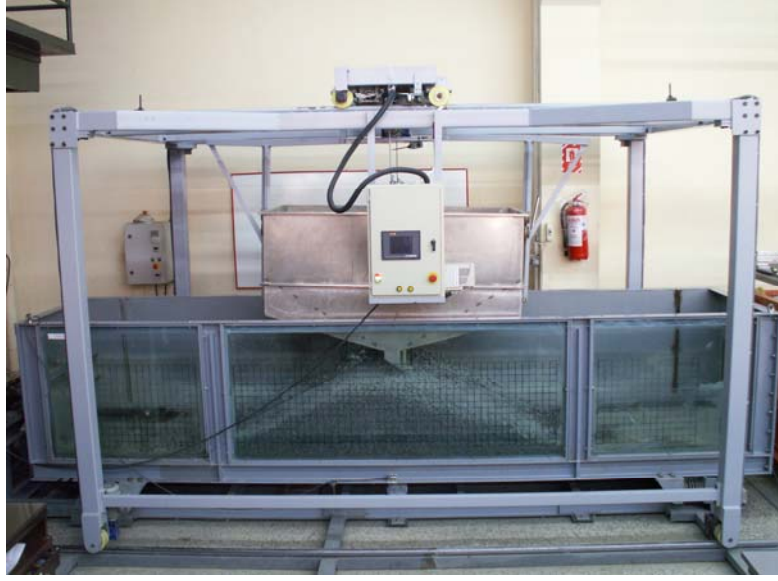
Hareket halindeki bunkerlerin sarsılmasını önlemek için dört adet yataklı kolon ile bunker tespit edilerek iki baştan çelik halatlar ile aşağı ve yukarı hareket sağlanmaktadır. Her iki başta da birer asenkron motor-redüktör ve makara grubu mevcuttur. Dengeli aşağı-yukarı hareket için aynı anda ve devirde çalışma senkronizasyonu ile başlamaktadır. Bunker kolonlar ile bir köprüye tesbit edilmiştir, köprü başlarındaki tekerlekler ile karşılıklı olarak hareket edebilmektedir.

Yataydaki köprü sağ-sol hareketleri için kasıntı ve sarsıntıyı önleyebilmek için köprünün her iki başına birer tane asenkron motor-redüktör ve dişli grubu konulmuştur. Dişliler ray üzerinde bulunan düzlem dişliye oturarak köprünün senkronize hareket edebilmesini sağlamaktadır. Yağmurlama sisteminde kullanılan mekanik imalatlar ile otomasyon donanımı Çizelge 4.2’de özetlenmiştir.

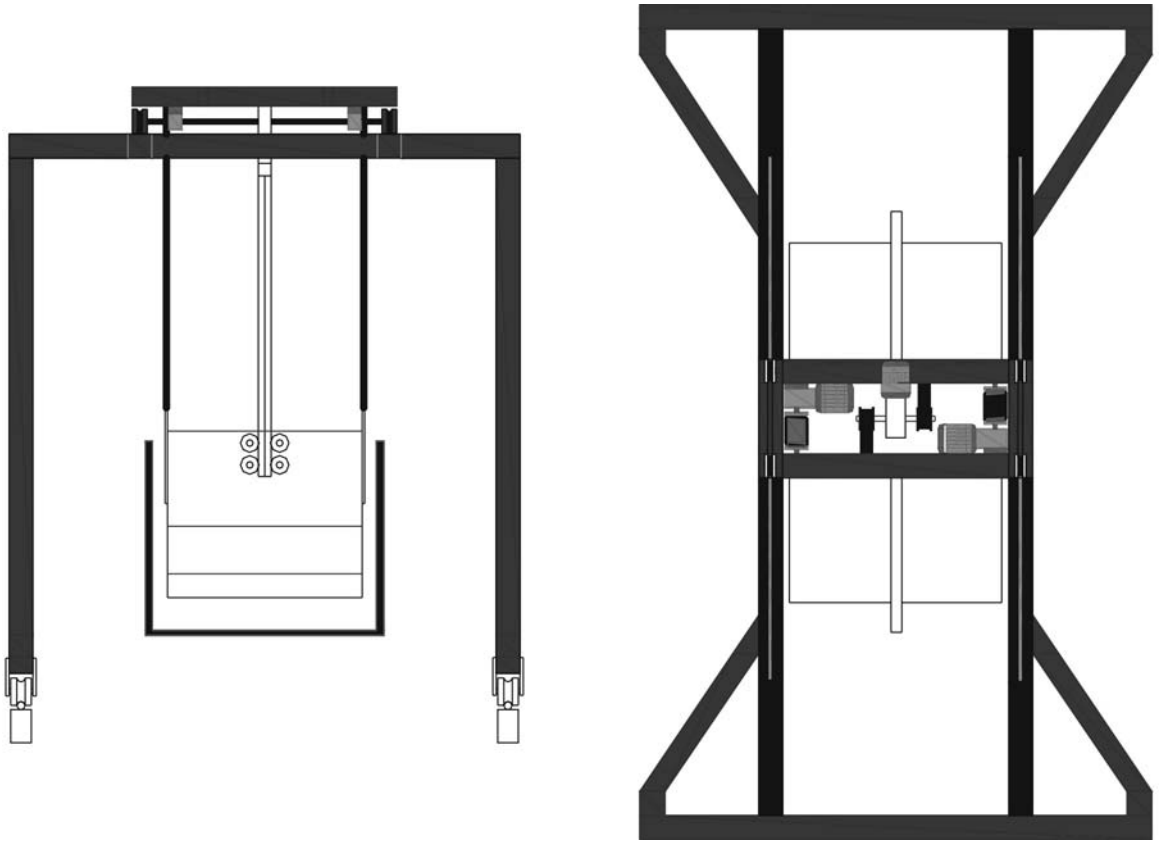
Çizelge 4.2 Yağmurlama sisteminin mekanik ve otomasyon donanımı

Mekanik imalatlar	Adet	Otomasyon donanımı	Adet
Köprü konstrüksiyon mekaniği	1	Touch screen operatör panel	1
Gezer köprü mekaniği	1	PLC CPU	1
Kolonlu bunker mekaniği	1	PLC Analog modül	2
		Frekans İnv. Motor sürücü	2
		Encoder (mesafe ölçümü)	2
		Asenkron motor trifaze 1.5 kw	4
		Redüktör 1/26	4
		Otomasyon panosu	1



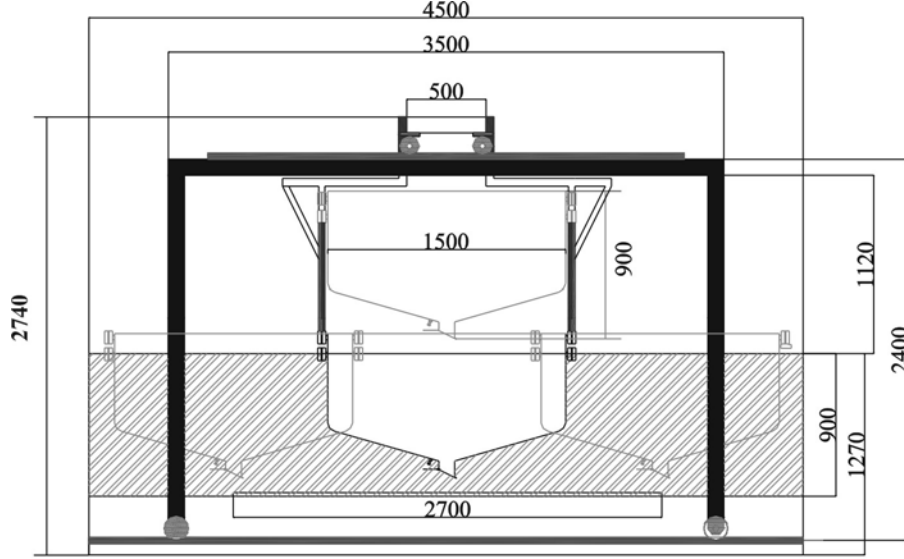


(a) Genel görünüm



(b) Önden görünüş ve plan

Şekil 4.2 Yağmurlama sistemi (uzunluklar mm cinsinden verilmiştir)



(c) Çalışma sistemi

Şekil 4.2 Devam

#### 4.1.3 Ölçüm Sistemleri

Sarsma deneyleri sırasında IMI 626A13 ICP model ivme ölçerler kullanılmıştır. Bu ivme ölçerler 1000mV/g hassasiyete,  $\pm 5g$  ölçüm aralığına, 0.2-6000 Hz frekans aralığına,  $\pm \%1$  genlik linearitesine sahiptir. Ölçülen verilerin değerlendirilmesi için gerekli olan yazılım gerçekleştirilmiştir bunun için Labview yazılımından faydalanılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Bilgisayar destekli ivme ölçer verilerinin değerlendirilmesi

Deneylerde kullanılan ivme ölçerlerin aldığı sinyaller Labview'da hazırlanan program yardımıyla bilgisayara Volt değerleri olarak kaydedilmektedir. Eldeki bu Volt değerleri ivme

ölçerler için Çizelge 4.3’de verilen kalibrasyon katsayılarına bölünerek ivme boyutuna dönüştürülmektedir.

Çizelge 4.3 İvme ölçerlere ait kalibrasyon değerleri

İvme ölçer	a(g)	a(m/s <sup>2</sup> )
Model 626B13	0.998	0.102
Model 626B13	1.003	0.102
Model 626B13	0.995	0.101
Model 626B13	1.018	0.104

HR Wallingford Touch Sensitive tipi profil kaydedici kum, çakıl, taş gibi malzemelerden oluşmuş tabanlarda su altında ve üstünde herhangi bir süreksizlik oluşturmadan çalışabilmektedir. Profil kaydedici 4 m uzunluğunda bir kiriş üzerinde yatayda hareket etmekte olan, 0.104x0.2x0.15 m ebadında ve 4.3 kg ağırlığında bir taşıyıcı ile düşeyde aşağı-yukarı hareket eden 1.5 m uzunluğunda ve 0.4 kg ağırlığında bir probdan oluşmaktadır. Prob 10 mm çapında ve kenarında dişli olan paslanmaz çelik çubuktan meydana gelmektedir (Şekil 4.4 ve 4.5). Bu dişli sistem taşıyıcının içinde bulunan ve düşey hareketi sağlayan DC Servo motora bağlıdır. Probun alt ucundaki hafif ağırlık dokunmatik algılayıcıdan oluşan bir algılayıcı 20 mm çapındaki bir silindir içinde rahatça aşağı-yukarı hareket edebilmektedir.



Şekil 4.4 Profil kaydedicinin çalışma esnasındaki bir görüntü

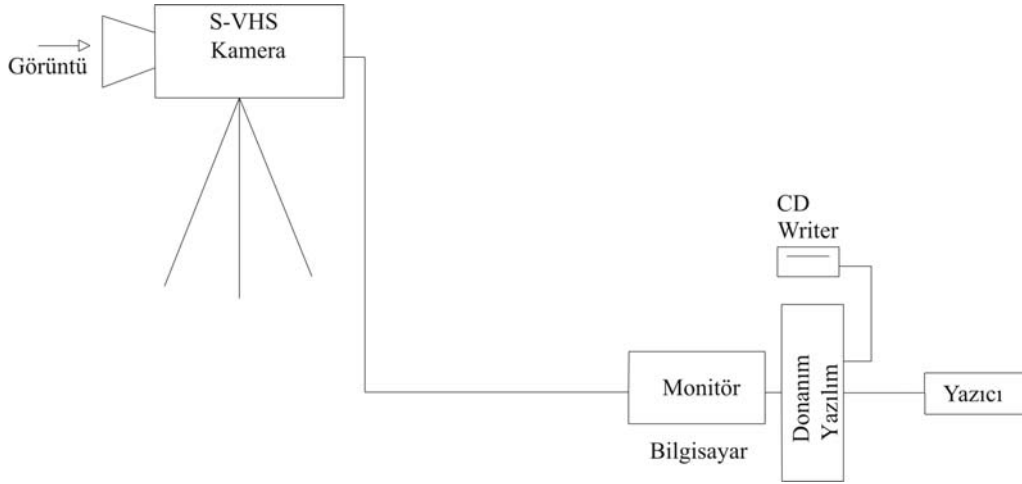


Şekil 4.5 Profil kaydedicinin çalışma esnasındaki bir görüntüsü

Profil kaydedici yatayda  $\pm 1$  mm ve düşeyde  $\pm 0.5$  mm hassaslıkta ölçüm yapabilmektedir. Algılayıcının probun tabana göre durumu optik olarak ölçülebilmektedir. Sistemden üretilen kızıl ötesi ışık kaynağı probun üstüne monte edilmiş olup ışık fiber optik yardımıyla aşağıya iletilmektedir. Diğer bir fiber optik ise dedektörün üzerinden geriye yansıtılan ışığı prob ile taban arasındaki mesafe ile orantılı bir sinyal üreten kızıl ötesi algılamalı foto dioduna iletmektedir. Servo kontrol elektronikleri probu aşağıya doğru harekete geçirerek algılayıcı yavaşça tabana dokunarak durmakta ve böylelikle her bir ölçümde prob ile taban arasındaki mesafe aynı kalmaktadır. Algılayıcı oldukça hafif olduğundan tabanda önemli bir deformasyona sebep olmamaktadır. Bu profil kaydedici, içinde iki adet AD dönüştürücü yerleştirilmiş bir PC yardımı ile kontrol edilmekte ve bütün kontrolünü mouse ile yapıldığı özel olarak yazılmış bir yazılım yardımıyla çalışmaktadır.

Görüntü işleme, iki ayrı sistemden oluşmuştur. Birinci sistem bir S\_VHS kamera kullanımıyla gerçekleşen görüntü kaydetmedir. Bu kamera Panasonic marka S\_VHS kaset formatına kayıt yapma özelliğine sahiptir. S\_VHS sayesinde görüntü kalitesi yükseltilmekte ve işleme sırasında bozuk resim elde edilmemektedir. Bir sehpa üzerine yerleştirilen kameradan alınacak görüntünün netliği için bir seri netlik ayarı yapılmıştır. Bu ayarlardan biri de beyaz ayarıdır. Bu ayar yardımıyla görüntüde istenen renkler oluşturulmaktadır. Arzu edilen net görüntü için deney sistemindeki renkler ve ışık kaynakları ayrı ayrı test edilerek belirlenen en uygun renkler ve ışık kaynakları kullanılmıştır. Kamera ölçüm kesitine dik yerleştirilerek üçüncü boyut etkisi minimuma indirilmiştir. Bunun için odak ayarları hassas biçimde hesaplanmıştır. İkinci sistem ise görüntü işlemedir. Bu amaçla bir PC'ye yüklenen yazılım yardımıyla görüntüler saniyenin yirmibeşte biri aralıkta incelenebilmektedir. Görüntü

işleme sisteminin genel akış şeması Şekil 4.6’da görülmektedir. Sistemin genel bir görünümü yine Şekil 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.6 Görüntü işleme sisteminin şematik görünümü

Profil kaydedici yardımıyla modelin profili sarsma deneyinden önce ve sonra olmak üzere ölçülmektedir. Böylece meydana gelen deformasyon ve hasar miktarı belirlenebilmektedir. Görüntü işleme tekniği yardımıyla sarsma deneyi süresince yapının davranışı izlenebilmektedir. Bu görüntülerden sismik etki sırasındaki yapıdaki deformasyon miktarlarının sismik etki süresince hangi safhada ne miktarda meydana geldiğini belirlemek mümkün olmaktadır.



Şekil 4.7 Görüntü kaydetme işleme anı



Şekil 4.8 Görüntü işleme sisteminin genel görünümü

Deneyle sırasında bir adet ivme ölçer model tabanında tankın tam ortasına tankın ivme değerlerini algılayacak şekilde yerleştirilmiştir. Diğer ivme ölçer (3 no'lu konum) ise model dalgakıranın kretine birinci sıra taşın altında kalacak biçimde 60 cm uzunluğunda bir L profile yapıştırılmıştır (Şekil 4.1). L profilin altına 5 cm uzunluğunda demir çubuklar 10 cm aralıklarla yerleştirilmiştir. Böylece ivme ölçer kesitin kretinde oluşacak ivme değerini algılayabilmektedir. Ancak bu durumda profil taşların bireysel davranışlarını etkilediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle tek bir taş boyutlarında 300 gr ağırlığında olacak şekilde Profil kısaltılarak üzerine ivme ölçer yapıştırılmış ve demir çubuklarla yapay kenetlenmesi artırılarak krette birinci tabakanın altına tam eksene yerleştirilmiştir.

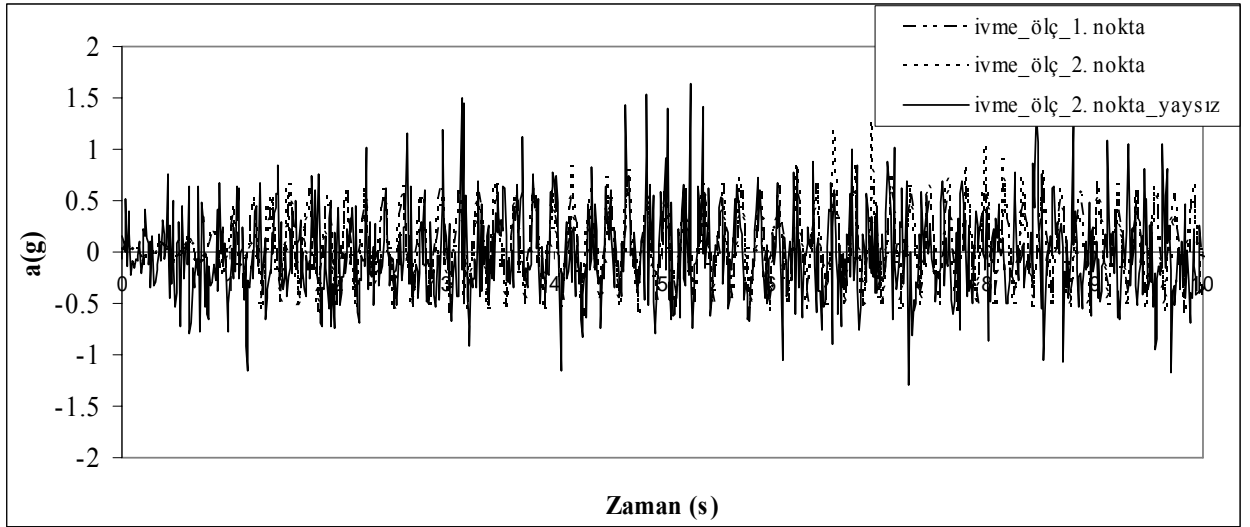
#### 4.2 Deneyle Sisteminin Kalibrasyonu

Öncelikle boş sarsma tankının ürettiği çevrimsel hareketin özellikleri (farklı genlik ve frekanslarda ürettiği ivmeler) incelenmiştir. Böylece tankın verilen frekansta eksantrikten aldığı tahriki istenilen düzeyde bir davranışla yansıtıp yansıtmadığı belirlenmiştir. Bu amaçla tankın çeşitli bölgelerine yerleştirilen bir adet ivme ölçer yardımıyla tankın sahip olduğu ivme değerlerinin değişimi belirlenmiştir (bu çalışmalar sırasında ivme ölçerden alınan değerler bir bilgisayar yazılımı olan LABVIEW yardımıyla amaca uygun olarak hazırlanan yeni bir yazılım yardımıyla aynı anda dört farklı kanaldan veri alınması sağlanmıştır).

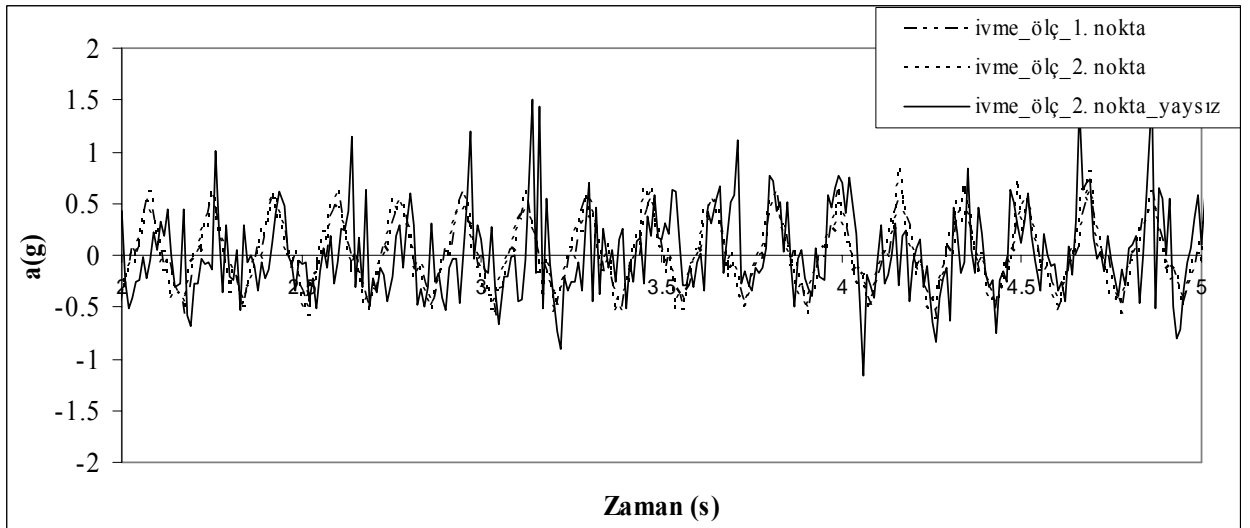
Boş tankta farklı konumlara yerleştirilen ivme ölçerler ile (Şekil 4.1) ölçüm sırasında olumsuz sinyallerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bu noktalar belli genlik ile frekansta tahriki sağlayan bir kaynak olan motor sisteminin yakınındaki bir konum (1 nolu) ile model kesitin yerleştirileceği konuma yakın bir nokta (2 nolu) olmuştur. İvme ölçerlerin yerleştirildiği

noktalar; Tankın motor tarafındaki uç noktası referans noktası olarak kabul edilirse, 1. noktanın koordinatları (0, 35) cm ve 2. noktanın koordinatları ise (225, 0) cm'dir. Şekil 4.9'da boş durumdaki sarsma tankında ivme ölçerlerin 1 ve 2 nolu noktalara yerleştirilmesi durumunda elde edilen ivme değişimleri tek bir deney için gösterilmiştir. Ek 1'de ise diğer deney sonuçları verilmiştir. Alınan kayıtlar incelendiğinde, tankın camlı çerçeve sistemi üzerinde gürültü oluştuğu ve gürültüden en az etkilenen noktanın tankın ortasında modelin yerleştirileceği konumdaki nokta olduğu belirlenmiştir. Yine kayıtlar incelendiğinde tankın maksimum genlik değerlerine ulaştığı gidiş ve gelişlerde sahip olduğu atalet nedeniyle yeteri anlık tepkiyi veremediği ve aldığı frekansları aynı davranışla yansıtamadığı görülmüştür. Bu durumun model deneylerinde verilen tahrikin deney sırasında değişken ve farklı davranışlara neden olacağı düşünülerek tankın mesnetlendiği uçlarda Şekil 4.1'de görüldüğü gibi yayların yerleştirilmesi planlanmıştır. Böylece sarsma tankına planlanan dört adet yay yerleştirilmiş ve yukarıda anlatılan işlemler yinelenerek yeniden boş haldeki davranışı incelenmiştir. Tankın bu yeni tasarımı ile istenmeyen ve ataletinden kaynaklanan davranışları en aza indirilmiştir. Yaylı sistem istenmeyen titreşimleri söndürülendirerek, tankta düzgün bir harmonik (sinüzoidal) hareket elde edilmiştir. Veriler 0-10s ve 2-5 s zaman aralığında alınarak incelenmiştir. Şekil 4.10'da ivme ölçerlerin 1 ve 2 nolu noktalara yerleştirilmesi durumunda elde edilen ivme değerleri ile bu ivme değerlerinin Butterworth-Lowpass filtreleme yöntemi kullanılarak filtrelenmesi durumundaki ivme değişimleri gösterilmiştir. Ayrıca yerleştirilen yayların rijitlikleri  $k=2.80$  (kg/mm) olarak hesaplanmıştır.

Boş tankın kalibrasyonu çalışmalarının bir amacı da tankın doğal frekansının ( $f_n$ ) belirlenmesidir. Bu amaçla yapılan çalışma sonucunda tankın doğal frekansı  $f_n=1.7$  Hz olarak bulunmuştur. Boş tankın doğal frekansı teorik ve deneysel olarak belirlenmiştir. Doğal frekans Şekil 4.11'de görülen Bruel&Kjaer Vibration Analyser 2515 ile ölçülmüştür.



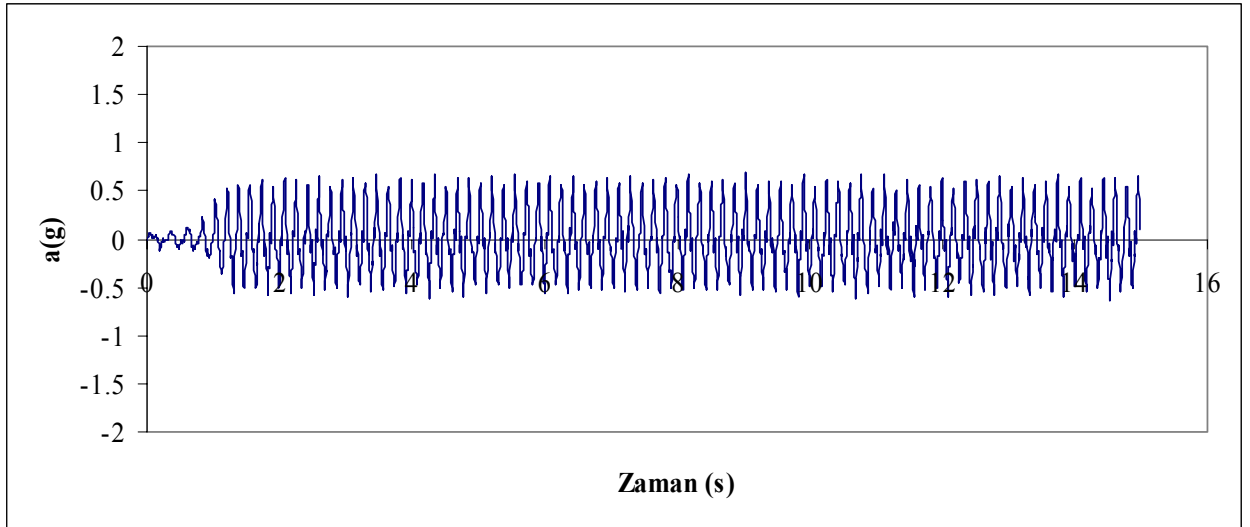
(a) 1 mm genlik, 6 Hz frekans ve 10 s zaman aralığı için alınan veriler



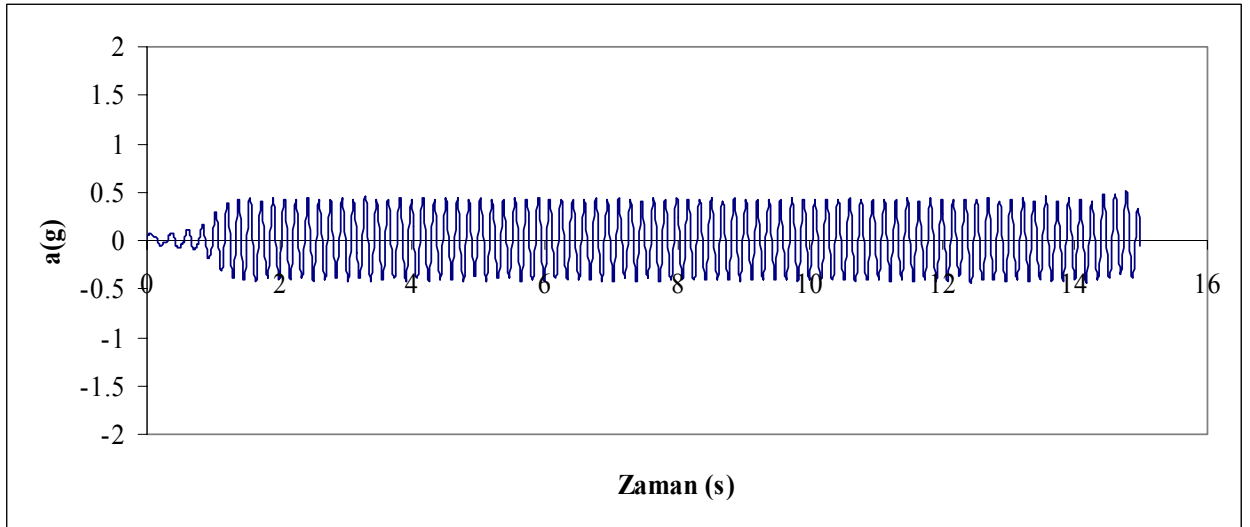
(b) 1 mm genlik, 6 Hz frekans ve 2-5 s zaman aralığı için alınan veriler

Şekil 4.9 Boş durumdaki sarsma tankından elde edilen ivme kayıtları



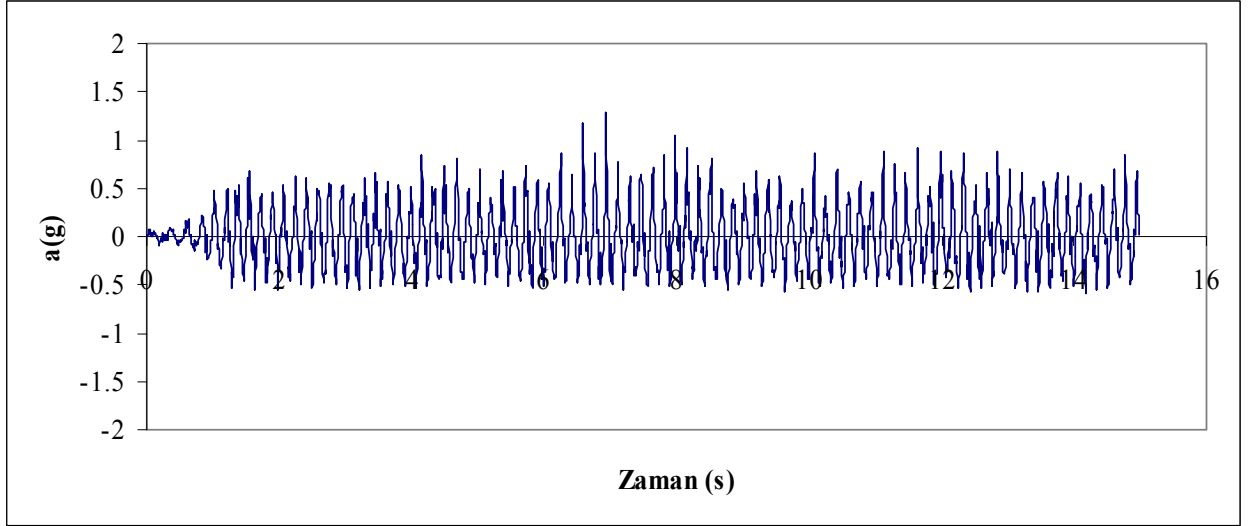


(a) 1 mm genlik ve 6 Hz frekans altında sistemin yay takılmış hali için 2. noktaya yerleştirilen ivme ölçerden alınan veriler

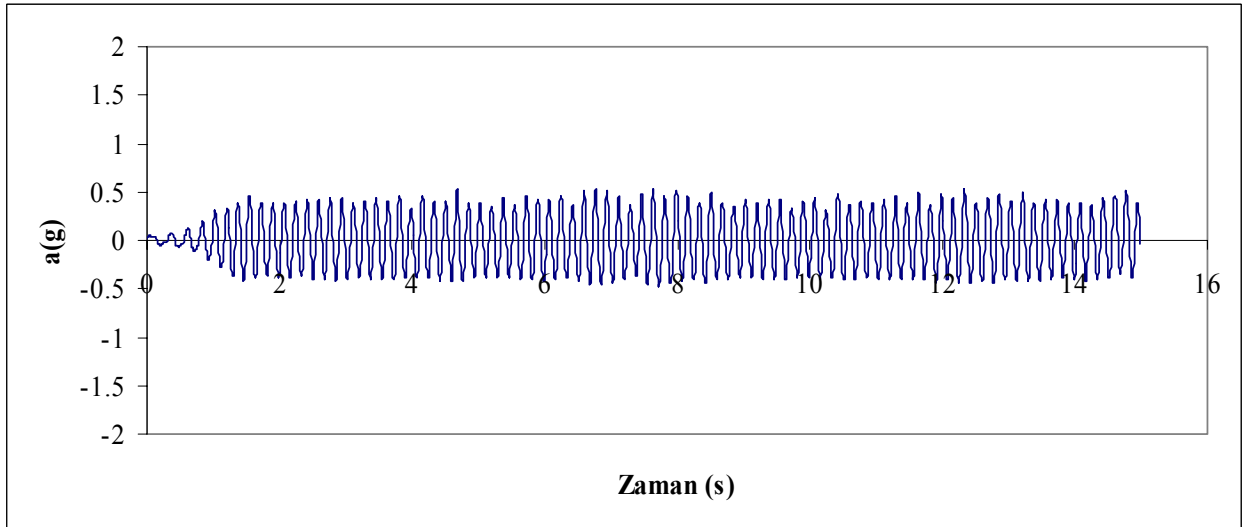


(b) 1 mm genlik ve 6 Hz frekans altında sistemin yay takılmış hali için 2. noktaya yerleştirilen ivme ölçerden alınan verilerin filtrelenmesi ile elde edilen ivme değerlerinin değişimi

Şekil 4.10 Her uç kısmına toplam dört yayın yerleştirilmesi durumunda sarsma tankından alınan ivme kayıtları

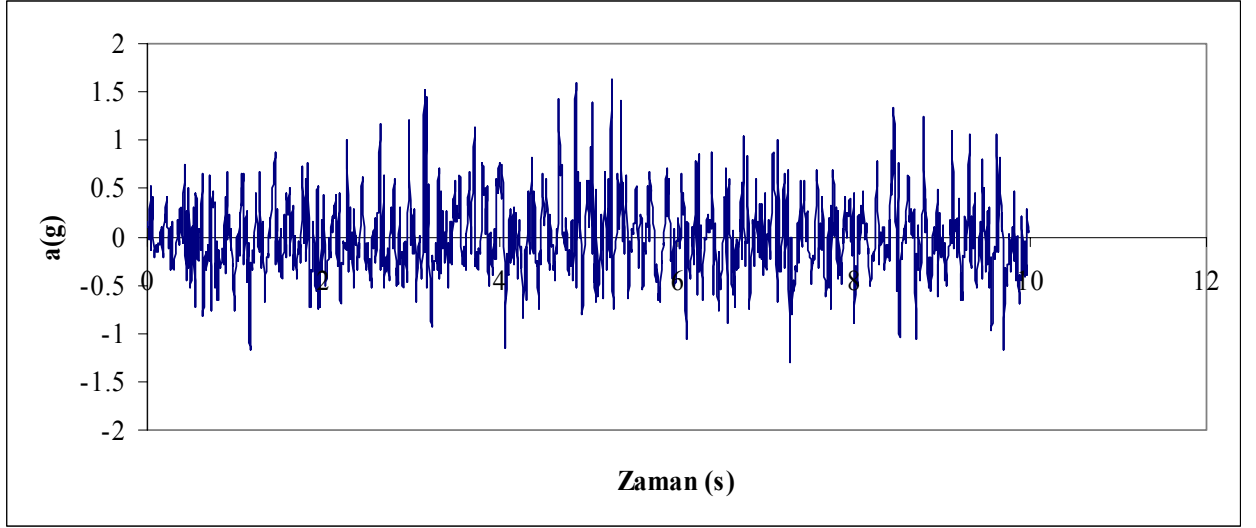


(c) 1 mm genlik ve 6 Hz frekans altında sistemin yay takılmış hali için 1. noktaya yerleştirilen ivme ölçerden alınan veriler

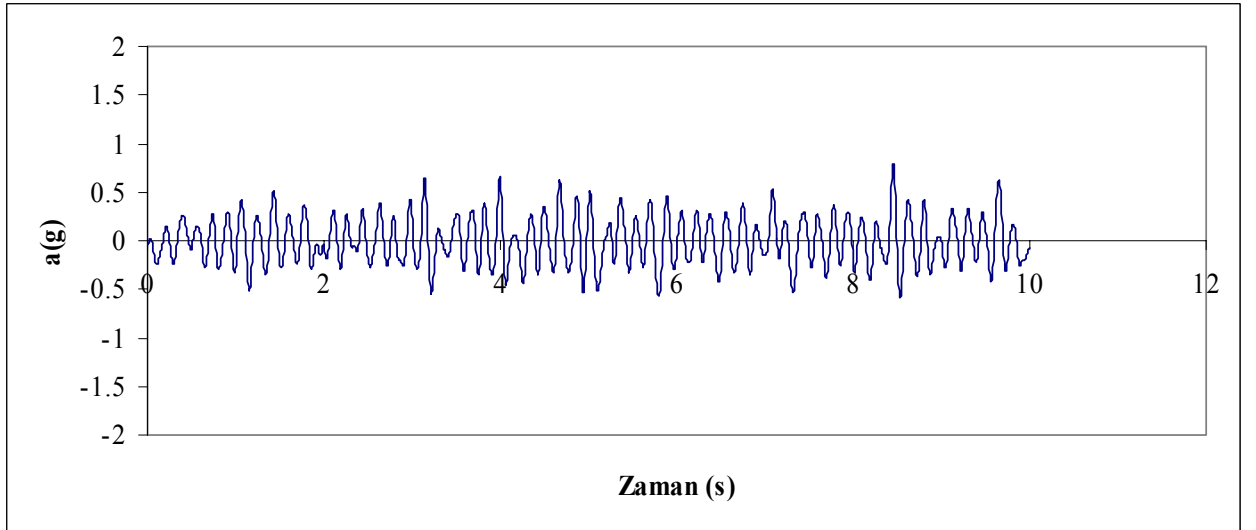


(d) 1 mm genlik ve 6 Hz frekans altında sistemin yay takılmış hali için 1. noktaya yerleştirilen ivme ölçerden alınan verilerin filtrelenmesi ile elde edilen ivme değışımi.

Şekil 4.10 Devam



(e) 1 mm genlik ve 6 Hz frekans altında sistemin yaysız hali için 1. noktaya yerleştirilen ivme ölçerden alınan veriler



(f) 1 mm genlik ve 6 Hz frekans altında sistemin yaysız hali için 1. noktaya yerleştirilen ivme ölçerden alınan verilerin filtrelenmesi ile elde edilen ivme değişimi



Şekil 4.11 Bruel&Kjaer Vibration Analyser 2515

Doğal frekansın teorik olarak belirlenmesi için sarsma tankına, iki yönden paralel olarak bağlanmış 4 adet yay sistemi dikkate alınmıştır, yayların hepsi aynıdır ve yay sabitleri de (k) birbirine eşittir.

$$k = 2.8 \text{ kg/mm} = 28000 \text{ N/m}$$

$$k_{eş} = 4k$$

$$k_{eş} = 4 \times 28000 = 112000 \text{ N/m}$$

$$m = 1000 \text{ kg (tankın kütlesi)}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{eş}}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{112000}{1000}} = 1.68 \text{ Hz}$$

Teorik ve deneysel olarak elde edilen tankın doğal frekansları birbirlerine oldukça yakın bulunmuştur.

### 4.3 Deney Programı

Dalgakıranların sismik davranışını incelemeye yönelik olan deneysel çalışmanın çeşitli aşamalarda gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu aşamalar şu şekildedir;

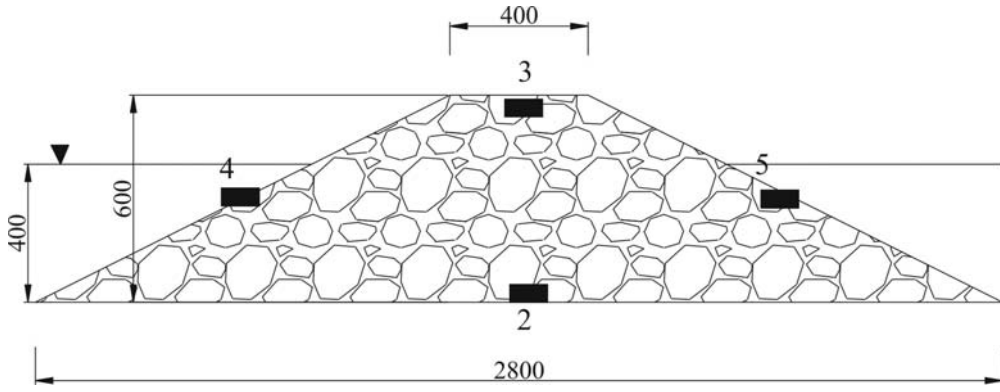
- Homojen kesitli (anroşman) bir taş dolgu dalgakıranın kuru hal ve su içindeki sismik davranışının incelenmesi
- Çekirdek malzemesinin (çakıl) sismik davranışının incelenmesi
- Koruma tabakası olarak iki sıra anroşmanın (taş) kullanıldığı tabakalı geleneksel modelin sismik davranışının iki farklı durum için incelenmesi
  - Topuksuz model
  - Topuk oluşturulmuş model

- Koruma tabakasında iki sıra küp bloğun kullanıldığı tabakalı modelin sismik davranışının iki durum için incelenmesi
  - Topuksuz model
  - Topuk oluşturulmuş model
- Koruma tabakasında iki sıra tetrapod bloğun kullanıldığı tabakalı modelin sismik davranışının iki farklı yerleştirme durumuna göre incelenmesi
  - Bir bacak birinci sıra tetrapodların arasına aşağı bakacak şekilde yerleştirilir (I.Durum)
  - Üç bacak yere oturur, bir bacak yukarı bakacak şekilde yerleştirilir (II.Durum)
- Koruma tabakasında tek sıra accropode bloğun kullanıldığı tabakalı modelin sismik davranışının incelenmesi
- Koruma tabakasında tek sıra coreloc bloğun kullanıldığı tabakalı modelin sismik davranışının incelenmesi

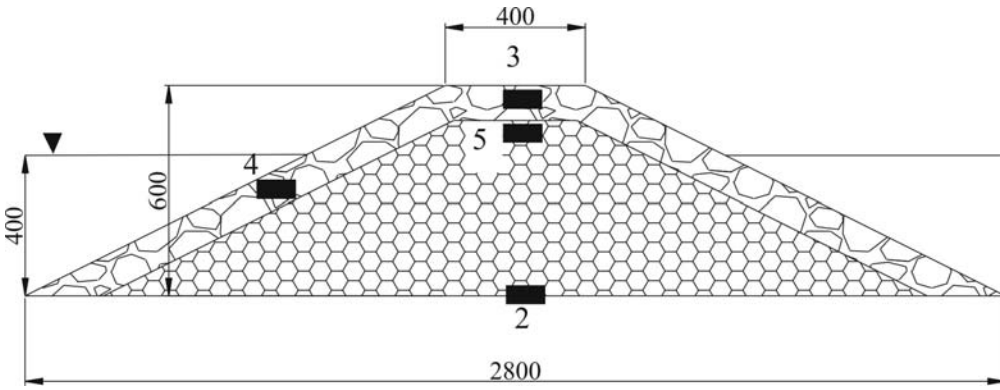
Böylece bu çalışmada toplam 133 adet farklı dalgakıran modelinin sismik davranışı incelenmiştir.

#### 4.4 Dalgakıran Modelleri

Boş tankın kalibrasyon deneylerinden sonra modelin yerleştirilmesi halindeki model deneylerinde tankın davranışı sırasında sahip olacağı ivmenin devamlı takip edilmesi gerektiği anlaşılmış ve toplam dört ivme ölçerin sisteme yerleştirilmesine karar verilmiştir. Bunlar üniform kesitli (anroşman) ve çekirdek (çakıl) modelde tank tabanında (2), kesit kretinde (3), şevler üzerine (4, 5) ve tabakalı (geleneksel) kesitli modellerde tank tabanında (2), kesit kretinde (3), şev üzerine (4), çekirdekte (5) yerleştirilmiştir. Şekil 4.12’de ivme ölçerlerin konumları modeller için ayrı ayrı gösterilmiştir. Yapılan tüm deneylerde bir adet ivme ölçer tankın tam ortasında tabana sürekli montajı yapılarak bırakılmıştır, böylece yer ivmesi benzeştirilmiştir.



a) Üniform kesitli (anroşman) ve çekirdek modeli



b) Tabakalı geleneksel model

Şekil 4.12 İvme ölçerlerin modellere göre konumları (burada uzunluklar mm cinsinden verilmiştir, ■ ivme ölçerlerin konumunu göstermektedir )

Boş tank kalibrasyon çalışmalarının tamamlanması sonrasında deney programında öngörüldüğü gibi öncelikle kuru hal ve su içinde olmak üzere homojen bir taş dolgu sonra tabakalı yapının sarsma tankı içindeki davranışının incelenmesi aşamasına geçilmiştir. Bütün dalgakıran modelleri 60 cm yüksekliğinde,  $\frac{1}{2}$  şev eğimine sahiptir ve modeller sarsma tankının ortasına yerleştirilmiştir. Homojen kesitli (anroşman) yapı Şekil 4.15'de görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.16'de tabakalı modeller için kullanılan yapay bloklar (küp, tetrapod, accropode, coreloc) gösterilmektedir. Sadece homojen anroşman modelin kuru durumdaki ve su içindeki diğer tüm modellerin su içindeki sismik davranışı incelenmiştir.

Kıyı hidrolüğü ve kıyı yapıları gibi problemlerde viskozite ve yüzey gerilimi etkin rol oynamadığından modeller için atalet ve ağırlık kuvvetleri dikkate alınmaktadır. Bu koşullarda model benzeşimi için en uygun olan yöntem Froude benzeşimidir. Froude benzeşiminde modeldeki ağırlık kuvvetlerinin atalet kuvvetlerine oranı prototipteki bu kuvvetlerin oranına eşit olmalıdır. Dalgakıran modelleri için seçilen ölçekler 1/20 ile 1/50 arasında değişmektedir. Bu çalışmada seçilen ölçek 1/50'dir. Yapılan çalışmada oluşturulan model üzerine dinamik

bir etki söz konusu olduğu için modele uygulanan hareketin ivmesinin ölçeklendirilmesi de önemlidir. Bu ölçeklendirme iki farklı yöntem için farklı şekillerde yapılmaktadır. Bunlardan ilki 1g yöntemi ve diğeri ise santrifüj yöntemidir. Bu çalışmada uygulanan yöntem 1g yöntemidir ve model ile prototipe uygulanan ivme ölçeğinin 1 olmasını gerektirmektedir. Santrifüj deneylerinde ise bu ivme ölçeği farklı değerler almaktadır. Literatürde her iki yöntem ile yapılan çalışmalar mevcuttur. Memos vd. (2002)'de taş dolgu dalgakıranlar üzerine yaptıkları çalışmada ivme ölçeğini 1 olarak belirlemişlerdir. Aynı şekilde Hagiwara vd. (2004) ve Sugano vd. (2004) keson tipi kıyı duvarları için yaptıkları çalışmada ivme ölçeği olarak 1 değerini kullanmışlardır.

Memos (2000), taş dolgu dalgakıranların sismik davranışını incelemek için kurmuş olduğu modelde gerek geometrik, gerekse dinamik benzeşimi dikkate almış ve bu amaçla Froude modelini kullanmıştır. Froude modelinde zamanla değişen atalet kuvvetinin etkisini tanımlayacak Froude sayısını aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

$$U/[L(1 + C\Delta)a]^{1/2} \quad (4.1)$$

burada, U sarsma tablasının karakteristik hızını, L modelin karakteristik uzunluğunu, C ek kütle katsayısını,  $\Delta$  rölatif özgül kütle, a sismik etkinin karakteristik ivmesini göstermektedir. Model ve prototipte Froude benzeşiminin sağlanması amacıyla, model ve prototipin Froude sayıları birbirine eşit alınmıştır. Aynı araştırmacı modellerini 1g koşullarında gerçekleştirmesi nedeniyle sismik ivmeyi model ve prototipte aynı kabul etmiştir. Memos (2000), bu tip problemlerde sürtünme ve elastik kuvvetlerin etkisini de incelemiştir. Sürtünme kuvvetinin, katı-akışkan ve katı-katı etkileşimden kaynaklanabileceğini bildirmiştir. Katı ve akışkan sürtünme etkisinin Reynolds sayısı ile

$\left(\frac{UL}{v}\right)$  sağlanacağından ve Froude modeliyle aynı anda gerçekleştirilemeyeceğinden bu etki

gözönüne alınmamıştır. Ancak, katı-katı sürtünmesi durumu için sürtünme kuvvetleri gerek modelde, gerekse prototipte elemanların sürtünme ve kilitlemeleri açısından önem arz etmektedir. Bu durumun üstesinden gelmek için model ve prototipteki elemanların aynı cinsten seçilebileceği Memos (2000) tarafından ifade edilmiştir. Böylece model ve prototipteki sürtünme katsayıları aynı kalacaktır. Yine Memos (2000), elastik kuvvetlerin, doğru ölçeklendiremediğini ancak bunun modellemede ciddi bir problem yaratmadığını söylemiştir. Çünkü Chopra (1967), elastik kuvvetlerin etkisini belirleyebilmek amacıyla yatay

sismik hareketin açısal frekansının tanımladığı  $\omega_1 = \frac{\pi c_v}{2h}$  açısal frekans ile göreceli

değerine bağlamıştır. Burada,  $c_v$  sudaki ses dalgalarının yayılma hızını ve  $h$  su derinliğini ifade etmektedir. Chopra (1967), eğer  $\frac{\omega}{\omega_1} < 0.1$  ise elastik kuvvetlerin etkisinin ihmal edilebileceğini ve bu tip yapıların hemen hemen rijit bir cisim gibi davranacağını (Memos, 2000) belirlemiştir.

Bu çalışmada Memos (2000), Chopra (1967), Iai (1989) araştırmaları esas alınarak:

- 1- Daha önce belirtildiği gibi model ve prototipte sismik ivmelerin aynı olduğu (1g modeli) kabul edilmiştir.
- 2- Modellemede Froude modeli esas alınmış ve Reynolds modeli sağlanmamıştır.
- 3- Sürtünme kuvvetlerinin etkisinden kaçınabilmek için model ve prototipteki çekirdek, anroşman ve beton blok elemanları aynı malzemeden seçilmiştir. Böylece sürtünme katsayılarının aynı kaldığı varsayılmıştır.

- 4- Yapılan hesaplamalar sonucunda modelleme koşullarında  $\frac{\omega}{\omega_1} < 0.1$  koşullarının

oluşması nedeniyle elastik kuvvetlerin etkisinin ihmal edilebileceği varsayılmıştır. Böylece oluşabilecek boşluk suyu basıncı etkisi gözönüne alınmamıştır. Bu varsayım yeterince doğru kabul edilebilir. Çünkü dalgakıranlar ve oluşturulan dalgakıran modelleri mümkün olduğunca aynı boşluk oranlarına sahiptir ve oldukça poroz olan bu yapılarda boşluk suyu basıncının ihmal edilmesi büyük hatalara neden olmamaktadır. Ancak bazı çalışmalarda (Memos (2000), Yüksel vd. (2004)) özellikle yumuşak zemine oturan modellemelerde boşluk suyu basıncı dikkate alınmıştır ve yapının sismik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her ne kadar bu çalışmalarda boşluk suyu basıncının etkisinin varolduğu gözlemlense de bu çalışmada ölçülmemiş olmasından dolayı modellerin sismik davranışı üzerindeki etkisi gözlenememiş ve deneysel çalışmanın diğer hidrolik modellerde olduğu bir ölçek etkisine sebebiyet vereceğide bir gerçektir. Memos (2000) boşluk suyu basıncının dalgakıran gövdesinde çok etkin olmadığını ancak dalgakıranın yumuşak zemine oturması durumunda zeminde bu etkinin önemli olduğunu bulmuştur. Bu çalışmada ise dikkate alınan tüm modeller sert zemin üzerine oturmaktadır.

- 5- Iai (1989), çalışmasında 1g modellerinin nasıl kurulacağını anlatmış ve 1g modellerine ait tüm ölçek oranlarını Japon Deprem Mühendisliği Standartlarında verildiği gibi kullanılmasını önermiştir. Bu standarta göre model ve prototipteki ivme değerlerinin



aynı alınacağı ancak zaman ölçeğinin model ölçeğinin 0.75. üssüyle modellenmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışmada ise zaman, yapılan deneylerde modelin deformasyonunu tamamlaması yani denge koşullarına ulaşması durumu düşünülerek dikkate alınmıştır. Bu nedenle prototipteki deformasyon değerlerine istenirse prototipteki zamana karşılık gelen model deformasyonlarından geçilebilecektir. Bu amaçla sayısal modellerin burada elde edilen deneysel veriler yardımıyla kalibrasyonu yapılması suretiyle prototip deformasyonlarının elde edilebileceği düşünülmüştür.

Deneysel olarak kullanılan malzemelerin özellikleri Çizelge 4.4’de özetlenmiştir. Her model için deneyler farklı frekans ve genliklerde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.5’te model testlerinde uygulanan genlik ve frekans değerleri özetlenmiştir. Her deneyden sonra model bozularak yeniden yapılmıştır. Bundaki amaç her deney için aynı sıklığa sahip modelin yaratılmasıdır. Tabakalı model deneylerinde çekirdek malzemesinin yerleştirilmesi için tasarlanan yağmurlama sistemi kullanılmıştır. Kesitteki deformasyonların belirlenmesi amacıyla; (i) HR Wallingford Dokunma Duyarlı İki Boyutlu profil kaydedici ve (ii) SVHS kamera ile görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Deney için modellerin hazırlanması aşaması şu şekilde gerçekleştirilmiştir;

Anroşman (taş) malzemeden oluşturulan üniform dalgakıran modeli için;

- i) Anroşman (taş) malzeme ile hazırlanan üniform dalgakıran modelinde, malzemenin yerleştirilmesi el ile gerçekleştirilmiştir. Her model için porozite ve sıklık denklem 4.2 ve 4.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\rho = \rho_s(1 - n) \quad (4.2)$$

burada,

$\rho$ : malzemenin doğal durumundaki özgül kütlesi

$\rho_s$ : malzemenin özgül kütlesi

n: porozite

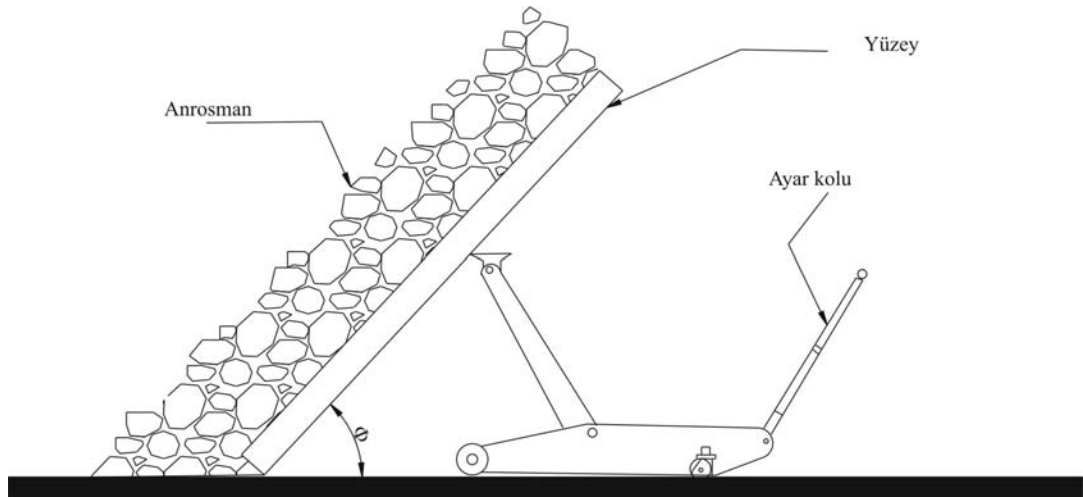
$$\text{Rölatif sıklık} = D_r = \frac{\frac{1}{\rho_{\min}} - \frac{1}{\rho}}{\frac{1}{\rho_{\min}} - \frac{1}{\rho_{\max}}} \quad (4.3)$$

$\rho$ : malzemenin doğal durumundaki özgül kütlesi

$\rho_{\min}$ : malzemin en gevşek yerleşimindeki özgül kütlesi

$\rho_{\max}$ : malzemenin en sıkı yerleşimindeki özgül kütlesi

$\rho_{\min}$  ve  $\rho_{\max}$  zemin laboratuvarında yapılan deneyler ile sırasıyla 1.26 ile 1.47  $\text{g}/\text{cm}^3$  olarak bulunmuştur. Anroşman (taş) malzemenin porozitesi ve sıklığı sırasıyla %48 ve 0.68 olarak elde edilmiştir. Ayrıca anroşman malzemesinin içsel sürtünme açısı laboratuvarında yapılan deneyler ile  $47^\circ$  bulunmuştur. Bu deney Şekil 4.13'de gösterilen düzenek yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan bir levha üzerine anroşman malzemesi yerleştirilmiş ve ucunda bulunan ayar kolu yardımı ile kaldırılmaya başlanmıştır. Anroşman malzemesinin stabilitesini kaybedip biribiri üzerinde kaymaya başladığı anda kaldırma işlemi durdurulmuştur. Levhanın açısı anroşman malzemesinin stabilitesini koruyabileceği maksimum şev açısını vermektedir. Bu değer üzerine çıkılması durumunda artık anroşman malzemesinin direnç yeteneği ortadan kalkacak ve bu kenetlenmeden doğan direnç yok olacaktır. Bunun sonucunda anroşman malzemesinin stabilitesi bozulacaktır. Literatürde bu açı değeri içsel sürtünme açısı olarak bilinmektedir.



Şekil 4.13 Anroşman malzemesinin içsel sürtünme açısının tespiti için kullanılan deney düzeneği

- ii) Model oluşturulduktan sonra Şekil 4.14'de görülen 2 no'lu köprülü kren sistemi model üzerine getirilerek, profil kaydedici ile belirlenen beş noktadan (2,3,4,5,6) modelin profili elde edilmiştir.
- iii) Sarsma tankı ile model üzerine belirlenen genlik ve frekansta sismik etki 30 s süre ile uygulanmıştır. Zaman için yapılan deneylerle modelde deformasyonun tamamlanması dikkate alınmış ve 30 s deney süresi olarak belirlenmiştir. Bu deneyler ileriki bölümlerde açıklanacaktır.

- iv) Sismik etki sonrasında modelde oluşan deformasyonların belirlenebilmesi için 2 no'lu köprülü kren tekrar model üzerine getirilerek aynı noktalardan (2,3,4,5,6) profiller elde edilmiştir.

Tabakalı geleneksel taş dolgu dalgakıran modelleri için;

- i) Şekil 4.14'de görülen 1 no'lu köprülü kren sarsma tankı üzerine getirilerek bunkerin içi çekirdek malzemesi (çakıl) ile doldurulmaktadır. Deneme-yanılma yöntemi ile belirlenen yatay ve düşey yöndeki motor hızlarına göre çekirdek malzemesi (çakıl) otomatik olarak serilmektedir. Böylelikle her deney için aynı sıklığın ve porozitenin elde edilmesine çalışılmaktadır. Çekirdek malzemesinin porozitesi ve sıklığı denklem 4.2 ve 4.3 kullanılarak sırasıyla %46 ve 0.40 olarak bulunmuştur. Çekirdek malzemesinin içsel sürtünme açısı ise  $41^{\circ}$  olarak belirlenmiştir.
- ii) Çekirdek malzemesi üzerine koruma tabakasını oluşturan elemanlar (taş, küp, tetrapod, accropode, core-loc) el ile yerleştirilmektedir.
- iii) 2 no'lu kren sarsma tankı üzerine getirilerek belirlenen noktalardan (2,3,4,5,6) profiller elde edilmektedir.
- iv) Sarsma tankı 40 cm yüksekliğe kadar su ile doldurulmaktadır ve belirlenen genlik ve frekanslarda sismik etki 30 s süre ile uygulanmaktadır.
- v) Modelde oluşan deformasyonları belirlemek amacıyla 2 no'lu kren tekrar sarsma tankı üzerine getirilerek aynı noktalardan profiller elde edilmektedir.



Şekil 4.14 Deneylerde kullanılan köprülü kren sistemleri

Çizelge 4.4 Deneylerde kullanılan malzemelere ait özellikler

Malzeme	$D_{n50}$ (cm)	$D_n$ (cm)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	W(N)
anroşman	4.64	-	2710	2.16
çekirdek	2.2	-	2650	-
küp	-	5	2480	3.04
tetrapod	-	4.55	2220	1.99
accropode	-	4.97	1960	2.10
coreloc	-	5.04	1940	1.81

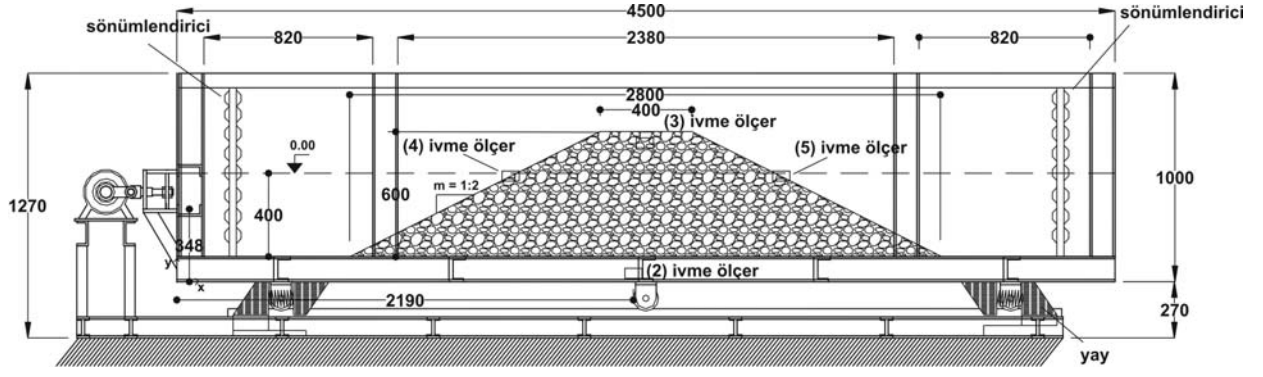


Şekil 4.15 Kategorilenmiş taş dolgu

Deneylerde tankın su dolu çalıştırılması durumunda suda meydana gelebilecek çalkalanma ve yüzey dalgalarından kaçınmak amacıyla tankın her iki ucuna Şekil 4.17’de görüldüğü gibi sönümlendiriciler yerleştirilmiştir. Bu durumda çalıştırılan tankta bahsedilen olumsuz koşulların ortadan kalktığı ve su dalgalarının sönümlendiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.16 Tabakalı dalgakıran modellerinde kullanılan yapay bloklar

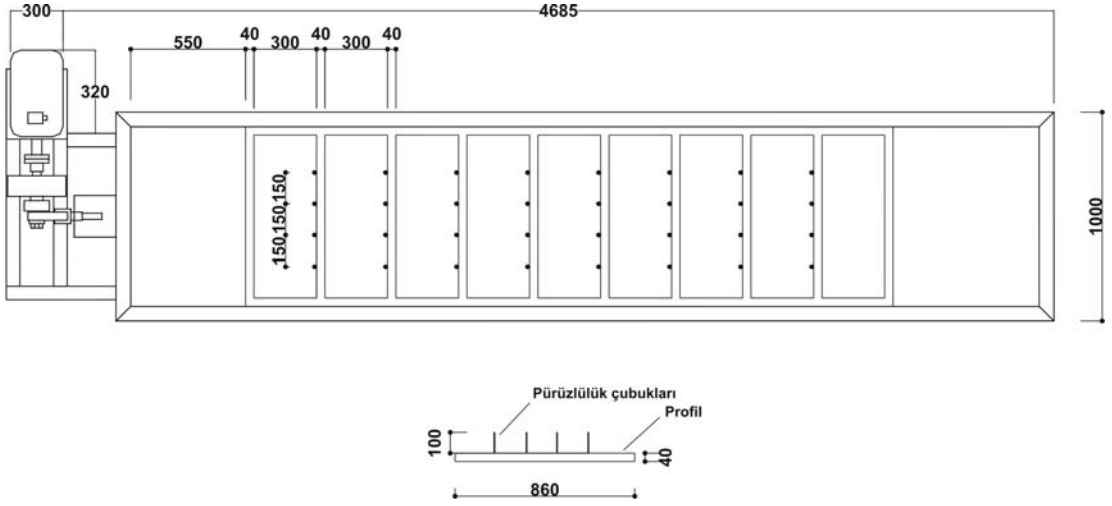


Şekil 4.17 Tankın su dolu olması halinde sönümlendirici yerleştirilmiş tank (birimler mm'dir)

Çizelge 4.5 Model deneylerinde uygulanan genlik ve frekanslar

Genlik (mm)	1mm					2mm					3mm				
Frekans (Hz)	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7
Anroşman (Kuru Hal)	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	
Anroşman (Su içinde)	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	
Çekirdek							X	X	X	X	X	X	X	X	
Tabakalı geleneksel (Topuksuz)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Tabakalı geleneksel (Topuklu)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Küp bloklı (Topuksuz)	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	
Küp bloklı (Topuklu)	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	
Tetrapod bloklı (I.Durum)	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	
Tetrapod Bloklı (II. Durum)	X	X	X			X	X	X	X		X	X	X	X	
Accropode bloklı	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	
Coreloc bloklı	X	X	X			X	X	X	X		X	X	X	X	

Model, tank içinde 15 cm aralıklarla 10 cm uzunluğunda demir çubuklardan oluşturulmuş yapay pürüzlü bir tabana yerleştirilmiştir. Böylece dalgakıran ile tank arasında yapay sürtünme oluşturularak doğa ile benzeşimi sağlanmıştır (Şekil 4.18). Bu benzeşim dalgakıran modelinin kaya zemin üzerine oturduğu varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu amaçla yapılan deneysel çalışma ile modelin yapay pürüzlendirilmiş taban ile sürtünme katsayısı anroşman malzeme için 1.0 ve çekirdek malzemesi için 0.77 olarak bulunmuştur. Anroşman malzemesinin sürtünme katsayısı OCDI (1991)'de 0.8 olarak ve çekirdek malzemesinin sürtünme katsayısı ise 0.6 olarak verilmiştir. Böylece modelin kaya zemin üzerindeki davranışı benzeştirilerek tüm deneyler sağlam zemin koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada amaç dalgakıran model kesitlerinin sismik davranışının belirlenmesidir.



(a) Şematik olarak yapay pürüzlülük (birimler mm'dir)



b) Yapay olarak pürüzlendirilmiş tabandan görünüm

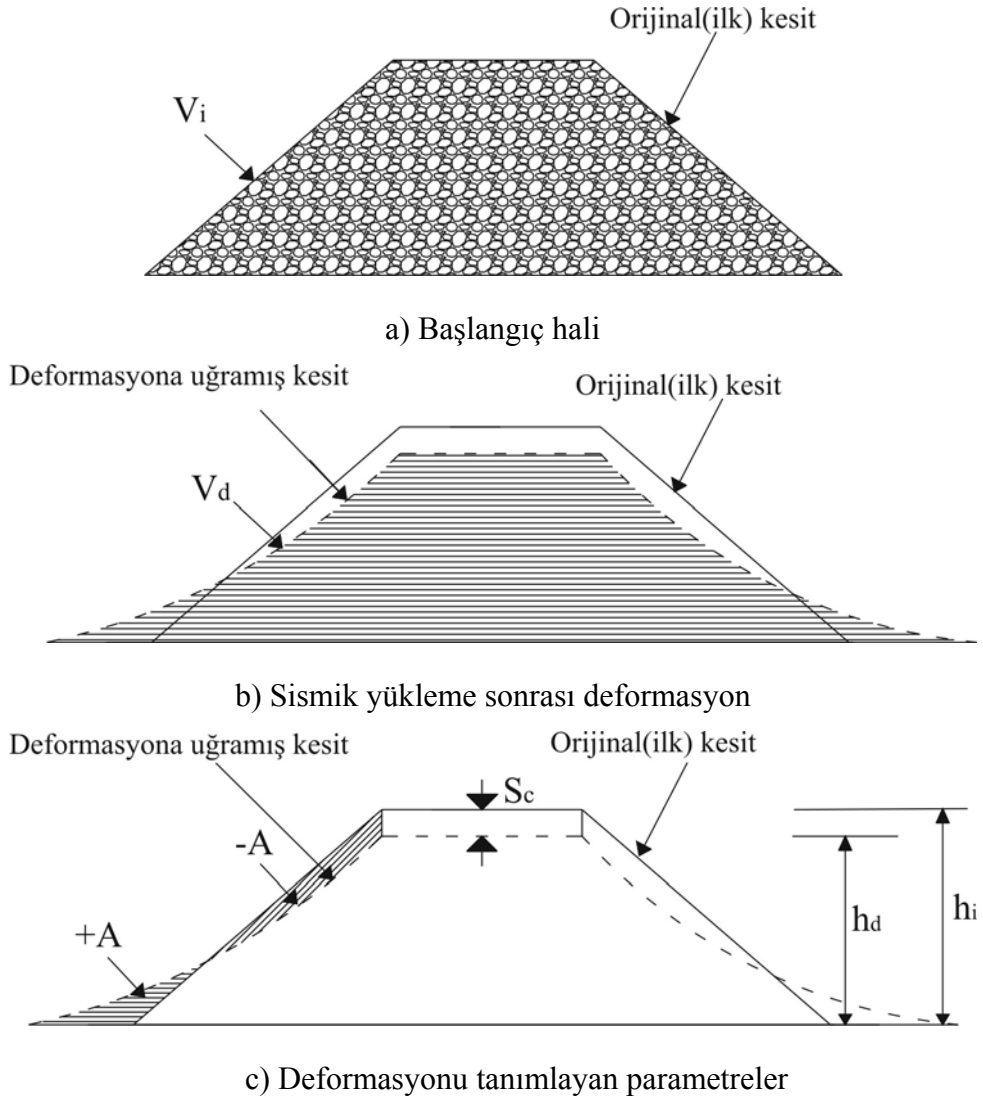
Şekil 4.18 Model tabanı yapay pürüzlülük

#### 4.5 Deney Ölçüm Parametrelerinin Tanımı

Deneilerde dalgakıran modellerinin sismik davranışını (deformasyonlarını) tanımlayacak profiller modelin üzerinde 10 cm aralıklarla 5 farklı kesit dikkate alınarak ölçülmüştür (Şekil 4.1). Bu ölçümlerin değerlendirilmesinde modelin sismik etkide kalması sonrası gördüğü hasarın değerlendirilmesi için (Şekil 4.19);

- (i) Kretteki maksimum düşey deplasman ( $S_c$ ) profil kayıtlarından elde edilmiştir. Bu değer, boyutsuz hale getirilmek amacıyla orijinal kesit yüksekliğine ( $h_i$ ) bölünmüştür. Birim oturma  $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$  miktarı her bir deney sonrası, beş farklı kesitteki maksimum oturma değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir.
- (ii) Kesitin deformasyonu sonucunda sıkılaşması ya da yayılmasının belirlenmesi amacıyla orijinal kesite göre kesit değişimleri, bu değişimler; kesitin hacim değişimi  $\Delta V$  (=orijinal hacimi- deformasyona uğramış kesitin son hacimi), toplam şev kesit alanı değişimi  $|A|$  (=deformasyona uğrayan şev alanı+şev kayması ile yayılma sonucu oluşan alan değişimi), +V yayılma nedeniyle hacim değişimi -V deformasyon nedeniyle şevde meydana gelen hacim azalması ve -A, +A sırasıyla şevde deformasyona uğrayan ortalama kesit alanı, yayılma nedeniyle kesit alanındaki değişimdir. Alan değişimleri, Cross yöntemi kullanılarak tankın yan cidarlarından yeterince uzaktaki eksen etrafında ölçüm yapılan beş (2,3,4,5,6) kesit dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu değerler, boyutsuz hale getirilmek amacıyla orijinal kesit değerlerine ( $V_i$ ) bölünmüştür. Böylece rölatif kesit değişimleri bulunmuştur.
- (iii) Ayrıca Van der Meer (1988a)'in taş dolgu dalgakıranlar için vermiş olduğu hasar tanımı (S) kullanılarak hasar miktarı hesaplanmıştır. Bunun için deformasyon nedeniyle kesit alanındaki değişim (-A) nominal taş çapının karesine bölünmesiyle elde edilmiştir ( $S=(-A)/D_{n50}^2$ ).
- (iv) Görüntü işleme tekniği ile kret ve şevlerde meydana gelen toplam anlık hasar miktarlarının deformasyonun tamamlanması sonucunda ortaya çıkan toplam hasara oranı alınarak, sismik yükleme süresince her ana ait hasar yüzdeleri  $S_a(\%)$  belirlenmiştir.

- (v) Bu parametrelerin değişimleri sismik etkinin frekansı ve genliği dikkate alınarak belirlenecektir. Deneylerde dikkate alınan sarsma testlerine ait genlik ve frekanslar Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi sarsma tankı deneylerinde zemin ivmesi 0.08g ile 1.02g arasında değişmektedir. Bu ivme aralığı literatürde verilen sarsma tablası deneylerinde dikkate alınan değerler arasında kalmaktadır. Memos vd. (2000) taş dolgu dalgakıranların sismik davranışı konusunda yaptıkları çalışmada 0.063g ile 1.553g arasında maksimum girdi ivmelerini kullanmışlardır. Kesonlarla ilgili yapılan çalışmalar genel olarak 0.1g ile 0.6g arasındaki girdi ivmeleri ile yapılmıştır. Hagiwara vd. (2004), keson kıyı duvarları ile ilgili yaptıkları çalışmada 0.15g ile 0.57g arasında değişen girdi ivmelerini, Mohajeri vd. (2002) ise keson dalgakıranların sismik etki altındaki davranışını inceledikleri çalışmalarında 0.1g ile 0.6g arasında değişen girdi ivmelerini kullanmışlardır.



Şekil 4.19 Modelin sismik davranışı ve ölçüm parametreleri



Çizelge 4.6 Sarsma tankı deney koşulları

Genlik (mm)	Frekans (Hz) (Zeminde ölçülen)	a(g) zemin ivmesi (Kuru hal)	a(g) zemin ivmesi (Su içinde)
1	3	0.08	0.09
	4	0.29	0.19
	5	0.51	0.37
	6	0.83	0.40
2	3	0.13	0.12
	4	0.33	0.27
	5	0.57	0.47
	6	0.91	0.62
3	3	0.19	0.15
	4	0.44	0.33
	5	0.65	0.53
	6	1.02	0.74

#### 4.6 Deneyler Sırasında Tank İçerisinde Oluşan Dalga Frekanslarının Belirlenmesi

##### 4.6.1 Ölçüm Sistemi

Sismik hareket sırasında tank içerisindeki suyun içerdiği ivmeden dolayı oluşan ve dalgakıran üzerinde dinamik yüklemeye neden olan su dalgalarının ölçümünde ikiz çubuk elektrodlu bir sistem kullanılmıştır. Deney aşamasında oluşan dalgaların oluşturduğu su yüzeyi değişimleri CLE3 C30 tipi bir dalga monitörü ve buna bağlı rezistans tipi bir dalga elektrodu ile kaydedilmiştir. Şekil 4.20’de ölçümlerde kullanılan dalga monitörü görülmektedir. Bu sistemin çalışması elektrodlar arasındaki suyun devreyi tamamlaması ve su seviyesinin alçalıp yükselmesi sırasında direncin değişmesi prensibine dayanmaktadır. Dirençteki bu değişimler Lab View’da hazırlanan bir program ile bilgisayara volt değerleri olarak kaydedilmektedir.



Şekil 4.20 Dalga mönitörü

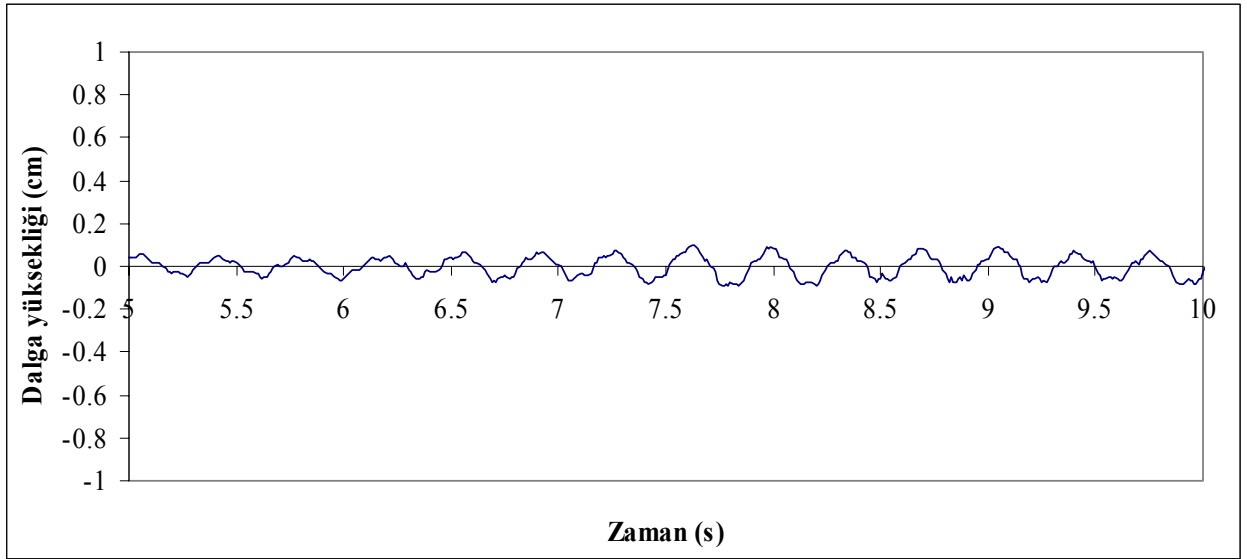
İkiz elektrod tipindeki problemler her deney öncesinde sakin su seviyesine göre bilinen derinliklere batırılarak kalibre edilmektedirler. Elde edilen kalibrasyon değerleri ile deneylerde kaydedilmiş volt değerleri uzunluk birimine çevrilerek dalga profilleri elde edilebilmektedir.

Şekil 4.21-35’de deneyler sırasında sisteme uygulanan genlik ve frekans değerlerine göre tank içinde oluşan dalgaların profilleri gösterilmiştir. Çizelge 4.7’de ise elde edilen dalga profillerinin değerlendirilmesi sonucunda her deney için oluşan dalgaların periyotlarının, frekanslarının ve dalga yüksekliklerinin ortalama değerleri belirtilmiştir.

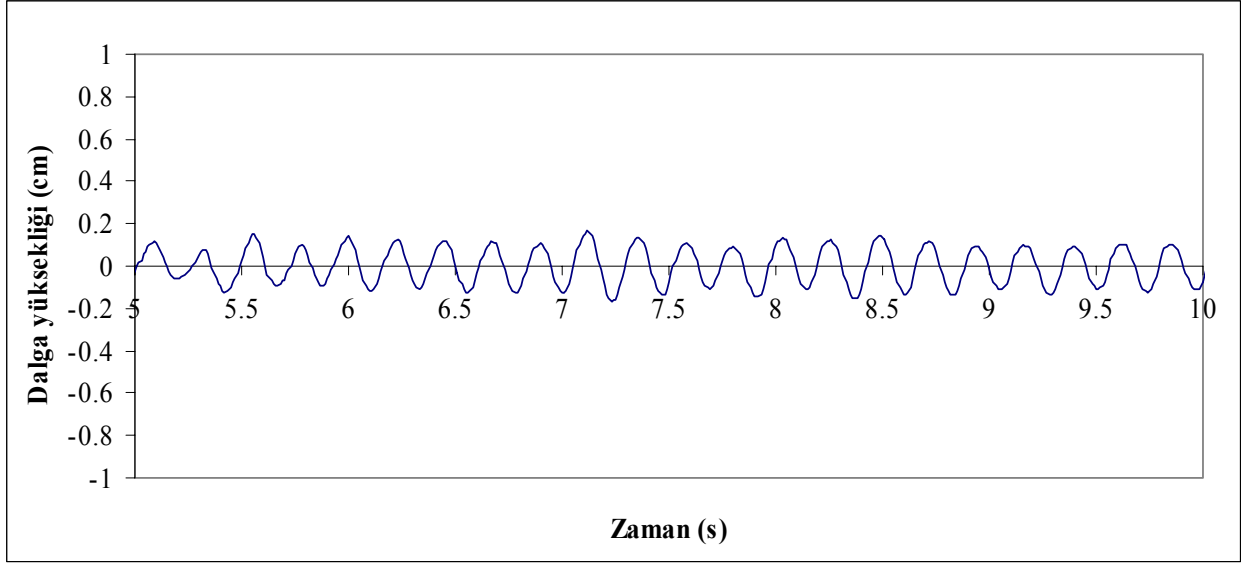
Elde edilen veriler incelendiğinde tankın doğal frekansı ( $f_n=1.7$  Hz) ile oluşan dalgaların en küçük frekans değerlerinin dahi birbirlerinden farklı oldukları belirlenmiştir. Bu nedenle tank içindeki çalkalanmanın tank ile rezonans hali söz konusu değildir. Bu durum alınan dalga kayıtlarındaki düzenli görünüm ile de anlaşılmaktadır. Dalga kayıtlarından elde edilen dalga genlik değerleri de dalgakıran stabilitesi üzerinde etkin olmayacak büyüklüklerde olduğu gibi bu dalgalar duran dalga görünümünde davranmaktadır.

Çizelge 4.7 Deneyler sırasında tank içinde oluşan dalgaların frekans, periyot ve dalga yükseklikleri

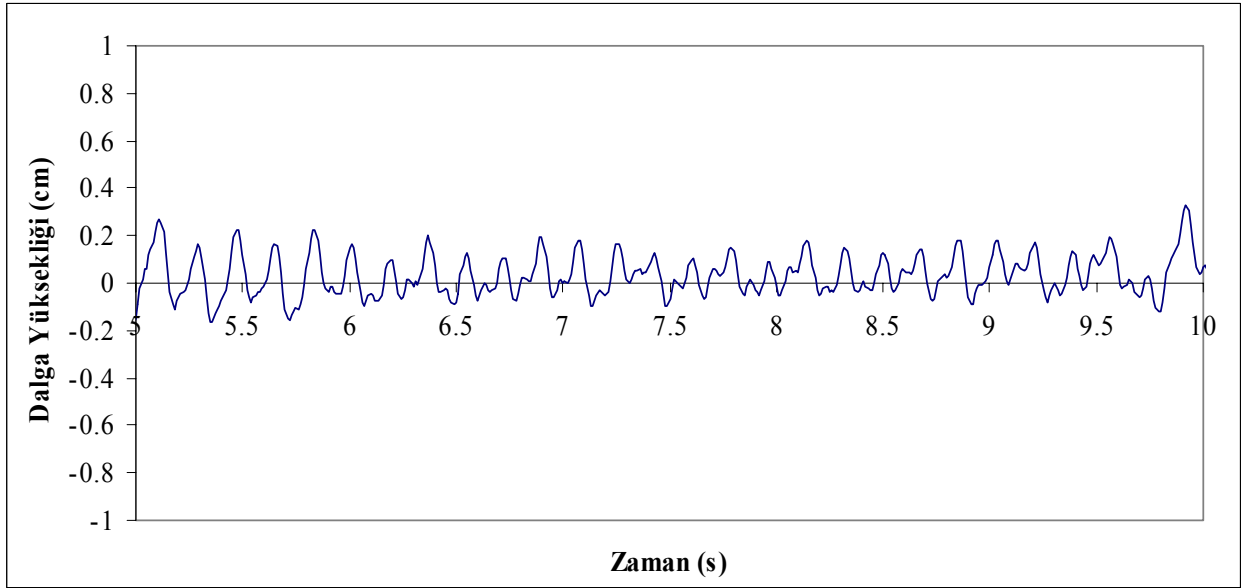
D.N	Sismik Hareketin Frekansı (Hz)	Sismik Hareketin Periyodu (s)	Dalga Frekansı (Hz)	Dalga Periyodu (s)	Dalga yüksekliği (cm)
103	3	0.33	2.6	0.38	0.13
104	4	0.25	4.4	0.23	0.23
105	5	0.20	5.5	0.18	0.23
106	6	0.17	6.0	0.17	0.28
107	7	0.14	4.7	0.21	0.33
203	3	0.33	2.6	0.38	0.15
204	4	0.25	4.0	0.25	0.25
205	5	0.20	5.4	0.19	0.33
206	6	0.17	4.8	0.21	0.43
207	7	0.14	3.8	0.26	0.64
303	3	0.33	2.6	0.38	0.29
304	4	0.25	3.6	0.28	0.31
305	5	0.20	4.7	0.21	0.44
306	6	0.17	4.5	0.22	0.49
307	7	0.14	3.3	0.30	1.64



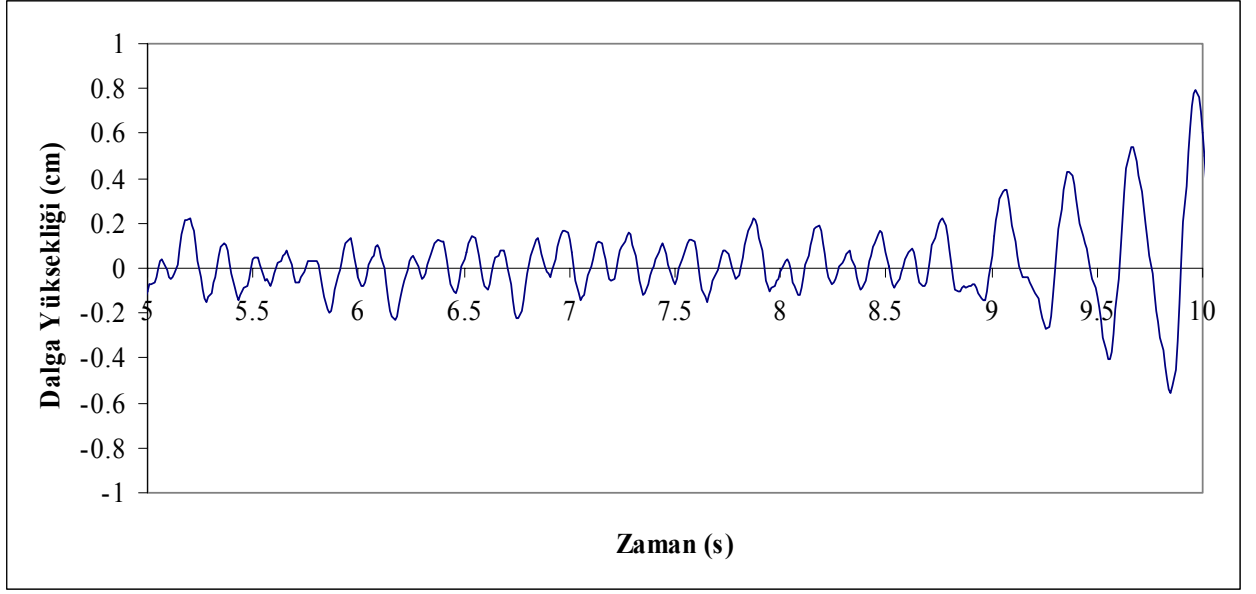
Şekil 4.21 1 mm genlik, 3 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



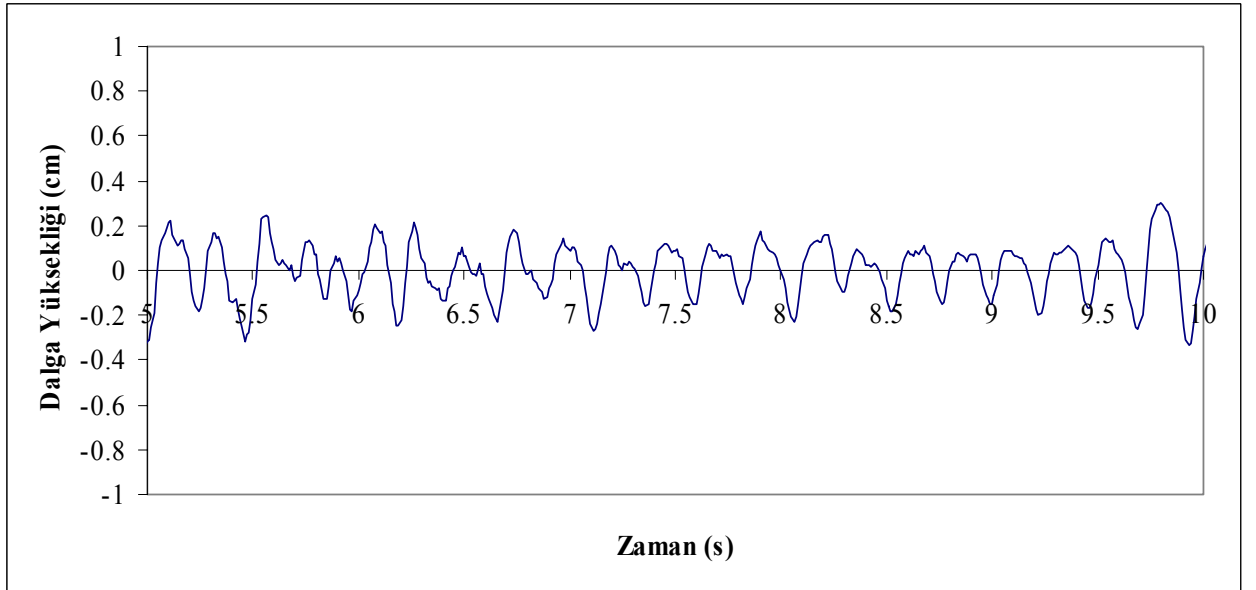
Şekil 4.22 1 mm genlik, 4 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



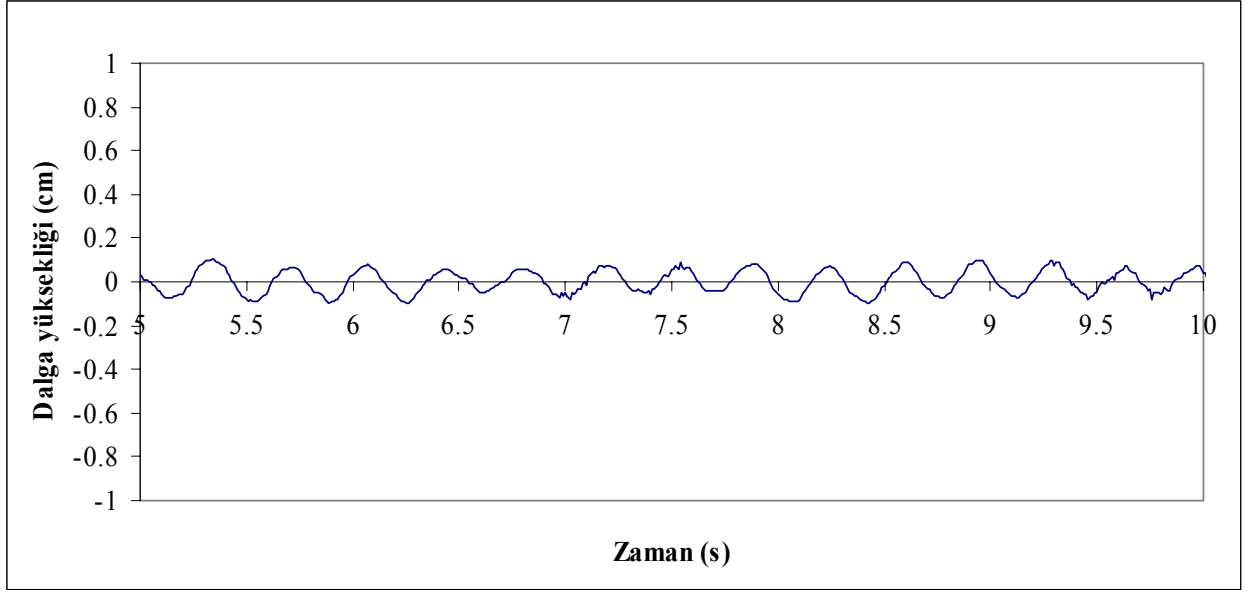
Şekil 4.23 1 mm genlik, 5 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



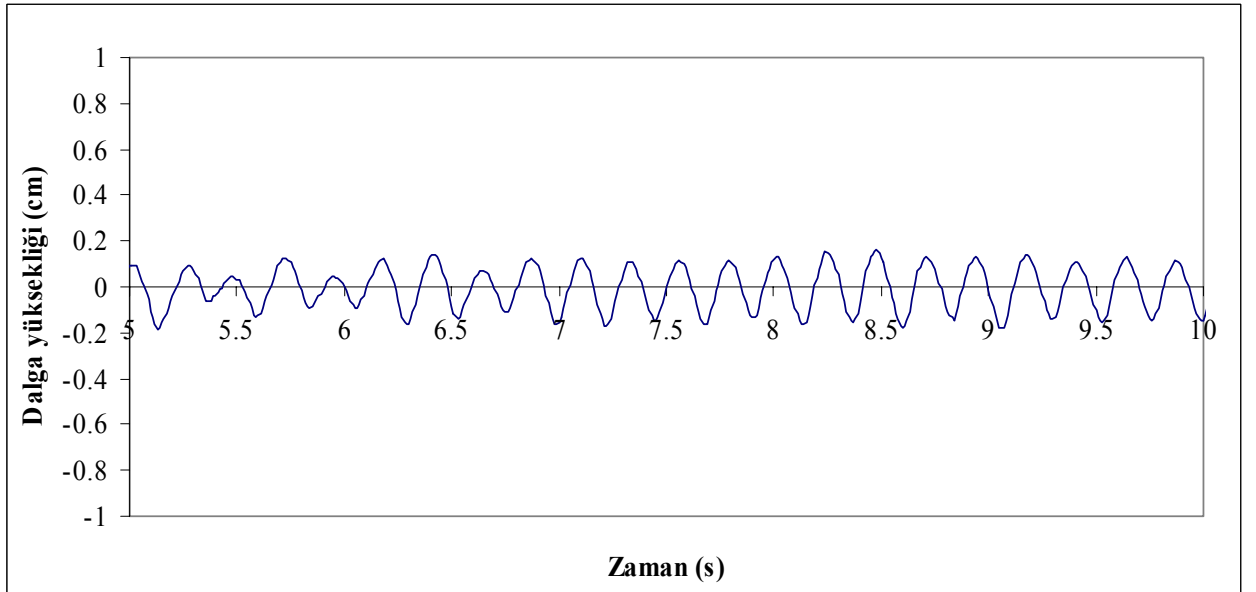
Şekil 4.24 1 mm genlik, 6 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



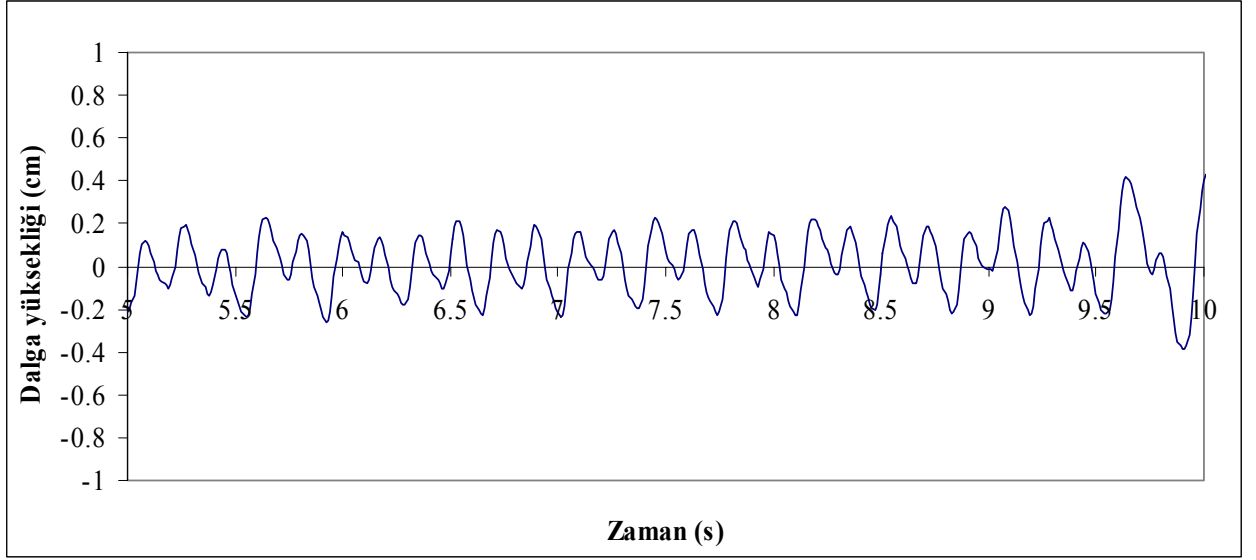
Şekil 4.25 1 mm genlik, 7 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



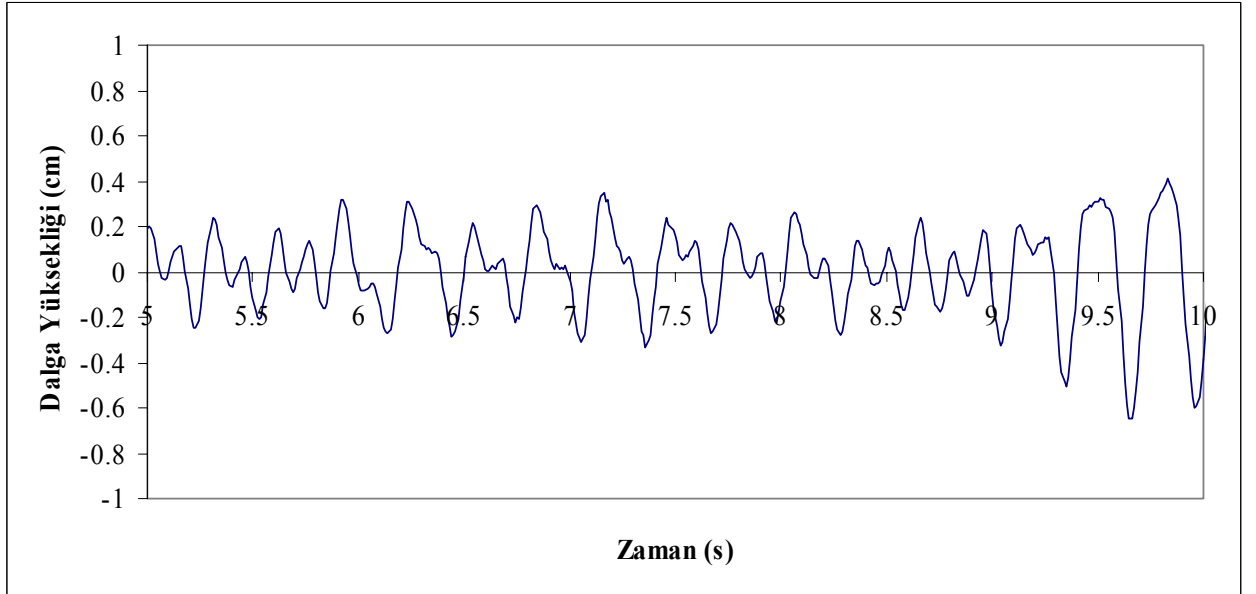
Şekil 4.26 2 mm genlik, 3 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



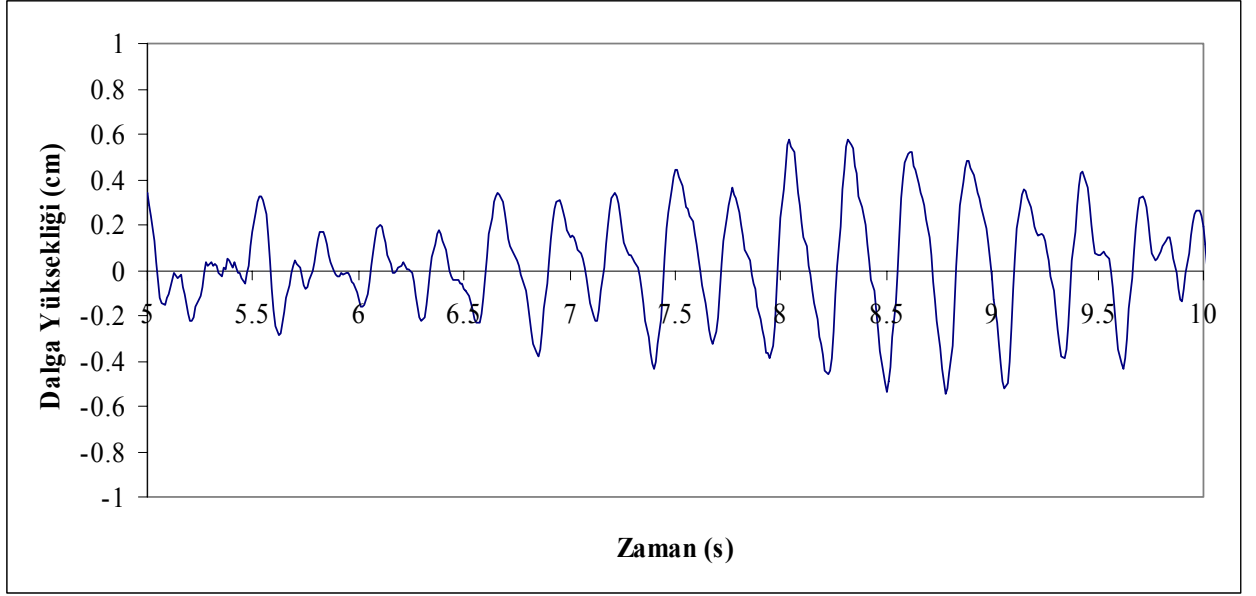
Şekil 4.27 2 mm genlik, 4 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



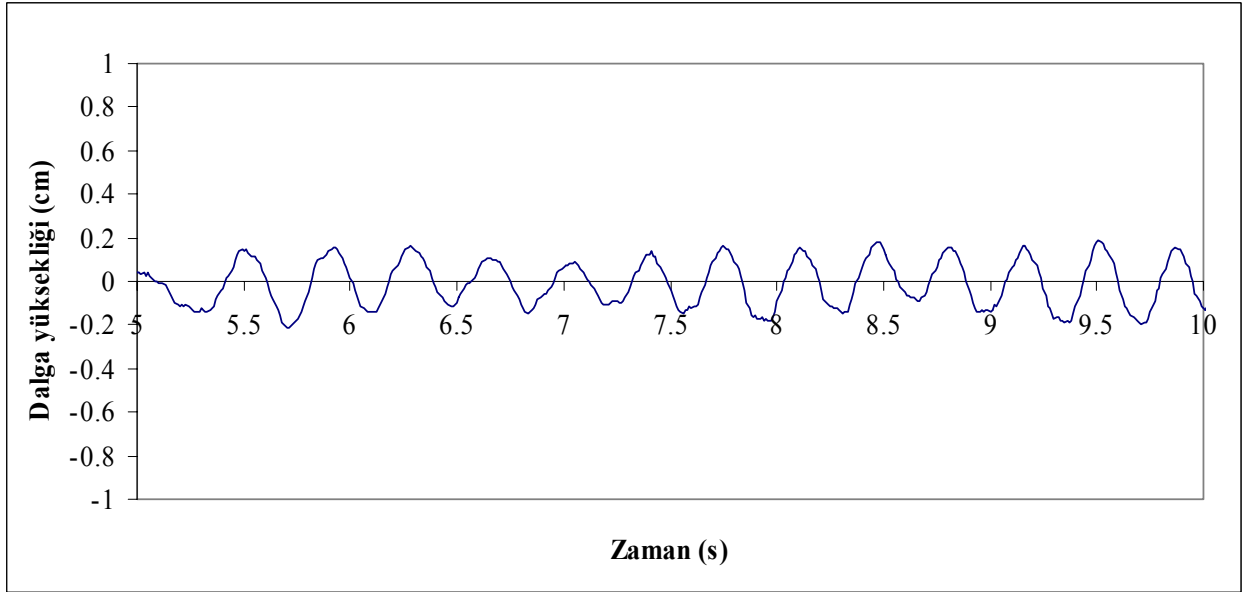
Şekil 4.28 2 mm genlik, 5 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



Şekil 4.29 2 mm genlik, 6 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri

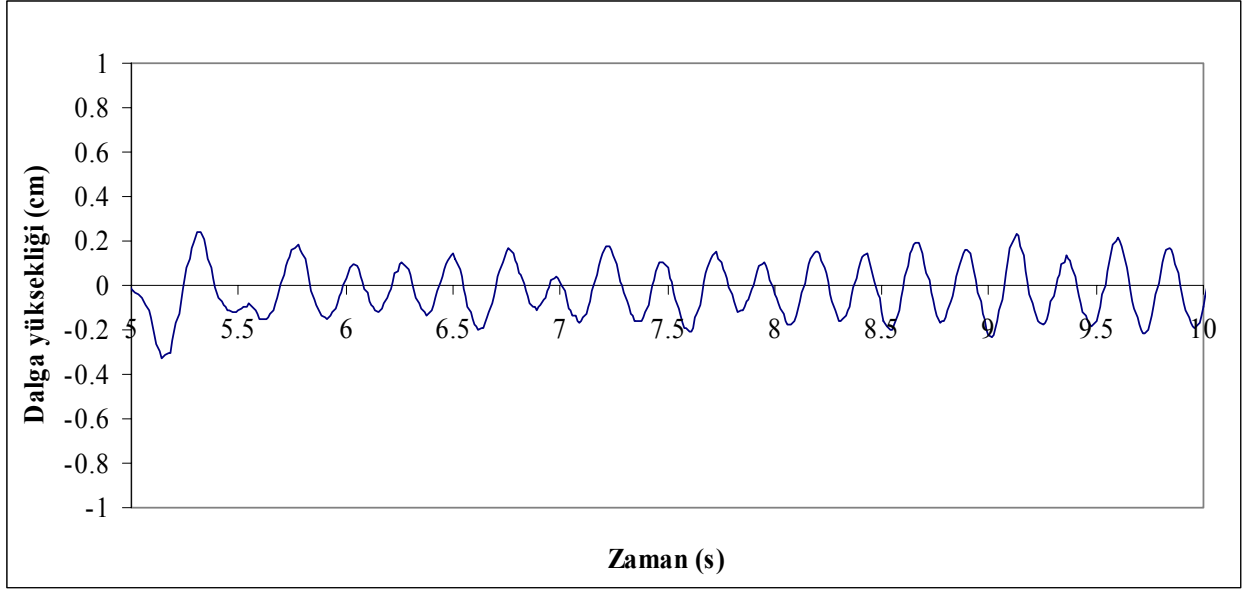


Şekil 4.30 2 mm genlik, 7 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri

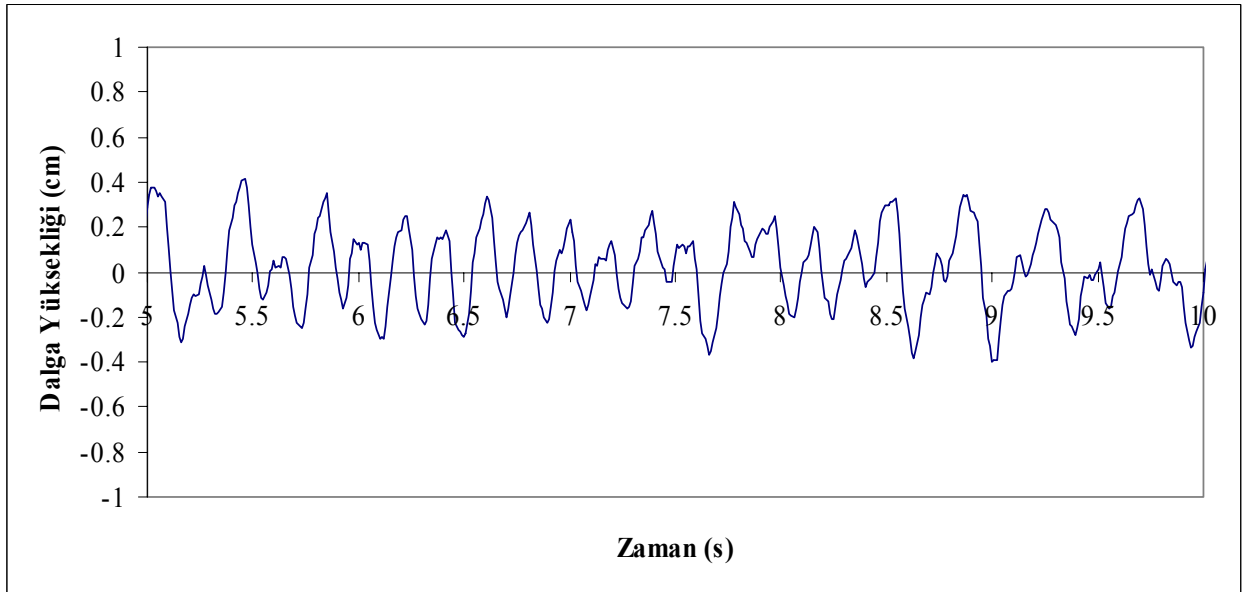


Şekil 4.31 3 mm genlik, 3 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri

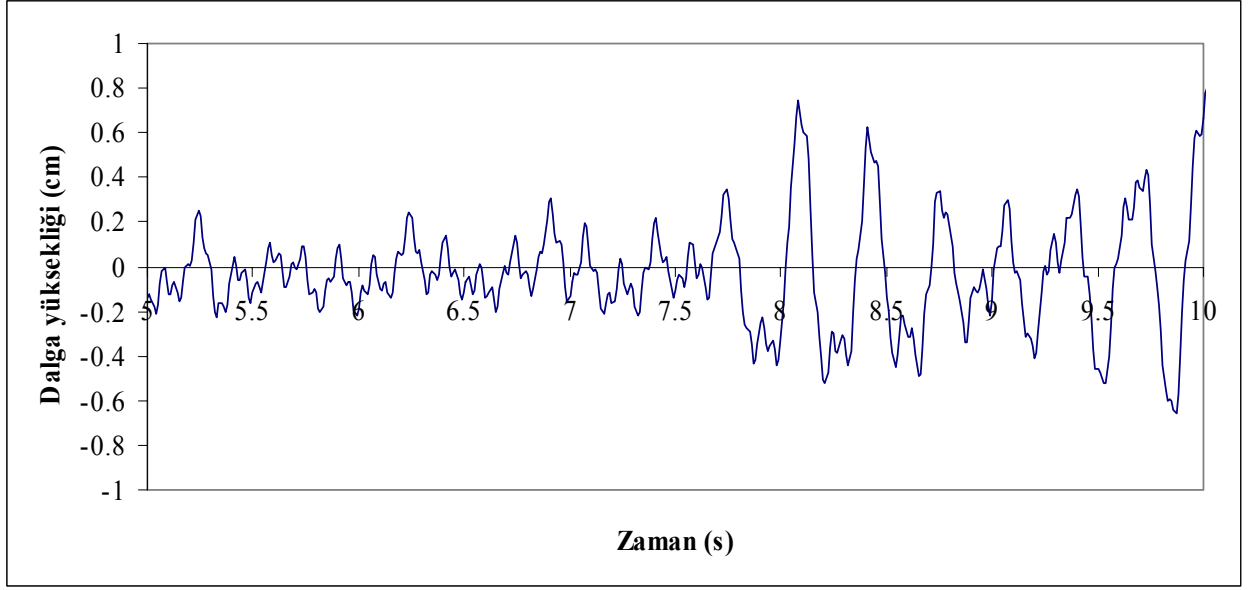




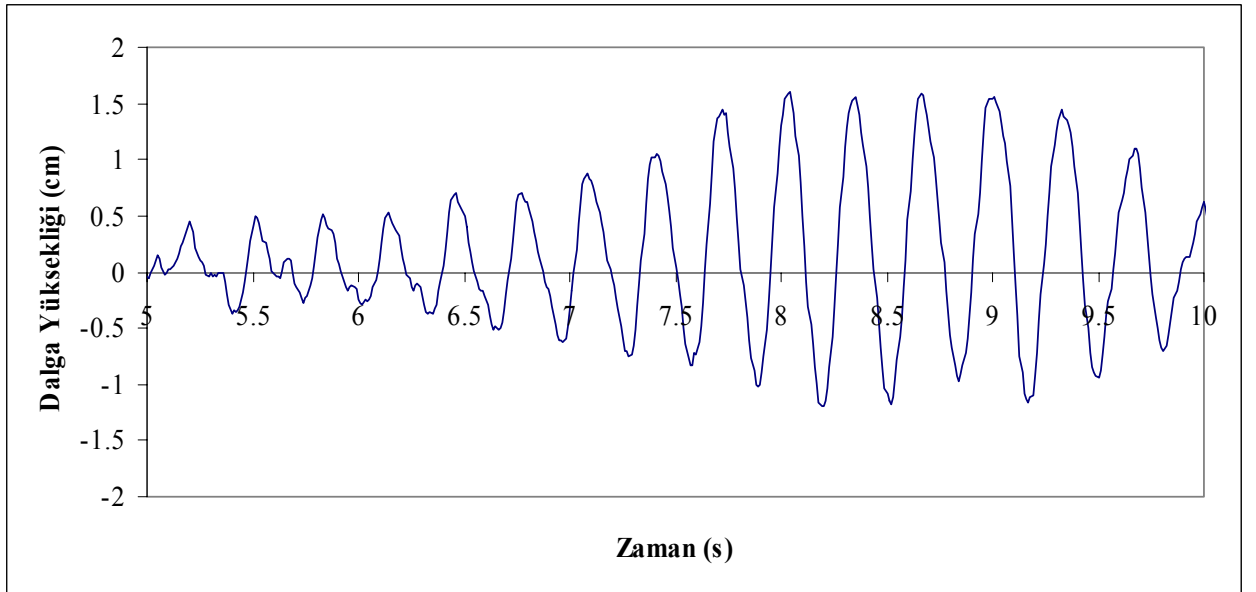
Şekil 4.32 3 mm genlik, 4 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



Şekil 4.33 3 mm genlik, 5 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



Şekil 4.34 3 mm genlik, 6 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri



Şekil 4.35 3 mm genlik, 7 Hz frekans koşulları altında tank içerisinde oluşan dalga profilleri

## 5. ÜNİFORM KESİTLİ TAŞ DOLGU DALGAKIRANIN SİSMİK DAVRANIŞI

### 5.1 Anroşman Malzemesinin Sismik Davranışı

Homojen dalgakıran modeli kesiti nominal çapı,  $D_n$ , 4.64 cm olan taşları sabit bir yükseklikten bırakılmasıyla oluşturulmuştur. Kesit rijit taban üzerindedir. Kesit oluşturulduktan sonra,  $\pm 1$ mm hassasiyetle ölçüm yapan Bed Profile ile 10 cm aralıklarla 5 farklı kesitte profil çıkarılmıştır. Deneyler  $\frac{1}{2}$  eğimli ve 60 cm kret yüksekliğine sahip homojen kesit için kuru ve su içinde olmak üzere farklı ortamlarda ve farklı genlik ile frekanslar için yapılmıştır. Çizelge 5.1’de deneylerin gerçekleştirildiği genlikler ve frekanslar gösterilmiştir. Deneylerden sonra aynı kesitlerde tekrar profiller ölçülmüştür.

Çizelge 5.1 Genlik ve frekans değerleri

Genlik (mm)	Frekans (Hz)			
1	3	4	5	6
2	3	4	5	6
3	3	4	5	6

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi her bir genlik için 3, 4, 5, 6 Hz’lik frekanslar uygulanmış ve üç genlik için toplamda 12 adet deney yapılmıştır.

Değerlendirmeler sırasında tankın yan yüzeyleri ile taş bloklar arasında oluşan sürtünme etkisini ihmal etmek için 2, 3, 4, 5, 6 kesitlerinden alınan profil kayıtları kullanılmıştır (Şekil 4.1). Ayrıca yapılan deneyler SVHS kamera ile kaydedilmiş ve elde edilen görüntüler bilgisayar ortamına alınarak hasar görüntü işleme tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir.

#### 5.1.1 Kuru Ortamda Üniorm Kesitin Sismik Davranışı

Çizelge 5.2’de sismik tankta yapılan deneyler sonrası belirlenen parametreler özetlenmiştir. Bu parametreler tankın sahip olduğu frekans ve genlikler dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

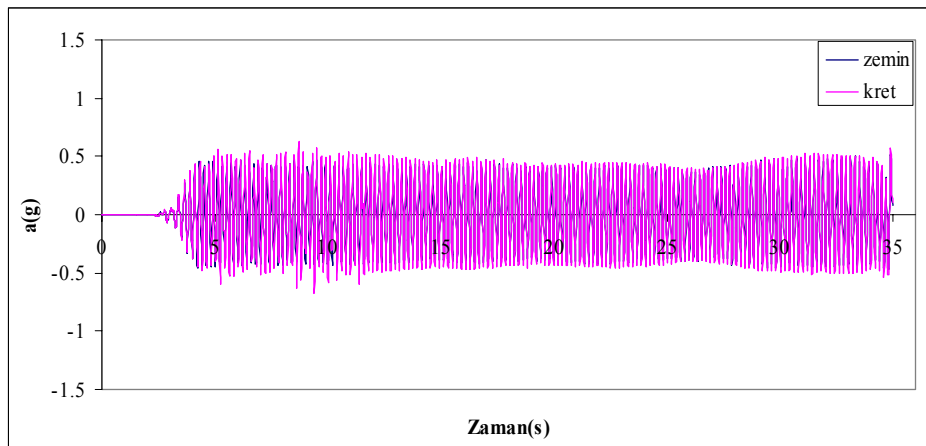
Çizelge 5.2 Kuru halde kesit geometresine ait ölçüm sonuçları

Test	Maksimum Düşey Deplasman (mm)	Toplam Hacim Değişimi (mm <sup>3</sup> )	sağ şev hacim değişimi (mm <sup>3</sup> )		sol şev hacim değişimi (mm <sup>3</sup> )		sağ şev kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )		sol şev kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )		sağ şev toplam kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )	sol şev toplam kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )	sağ şev	sol şev
	(S <sub>c</sub> )		(ΔV) × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	Hasar (S)
0103UTK	4.26	2.53	10.16	13.70	14.47	9.82	1.05	1.41	1.49	1.01	0.37	0.48	0.49	0.69
0104UTK	9.22	12.29	17.54	21.40	31.34	11.87	1.81	2.21	3.23	1.22	0.40	2.01	0.84	1.50
0105UTK	51.00	25.60	85.72	166.86	90.09	63.15	8.84	17.20	9.29	6.51	8.37	2.78	4.10	4.31
0106UTK	72.70	229.54	129.33	138.88	129.33	138.88	13.33	14.32	12.91	9.36	0.98	3.54	6.19	5.99
0203UTK	4.84	7.84	28.14	18.02	23.27	40.28	2.90	1.86	2.40	4.15	1.04	1.75	1.35	1.11
0204UTK	9.36	17.81	34.26	27.91	30.72	24.76	3.53	2.88	3.17	2.55	0.65	0.61	1.64	1.47
0205UTK	55.90	201.61	101.99	48.77	104.64	42.29	10.51	5.03	10.79	4.36	5.49	6.43	4.88	5.01
0206UTK	82.70	309.47	183.51	200.35	176.90	128.84	18.92	20.65	18.24	13.28	1.74	4.95	8.79	8.47
0303UTK	6.32	8.23	12.99	22.48	27.40	10.77	1.34	2.32	2.82	1.11	0.98	1.71	0.62	1.31
0304UTK	21.96	24.13	36.13	33.76	36.44	39.69	3.73	3.48	3.76	4.09	0.24	0.34	1.74	1.73
0305UTK	69.06	260.19	117.04	60.65	109.38	84.98	12.07	6.25	11.28	8.76	5.81	2.52	5.60	5.24
0306UTK	91.90	406.83	196.59	88.49	208.80	167.27	20.27	9.12	21.53	17.24	11.14	4.28	9.41	10.00

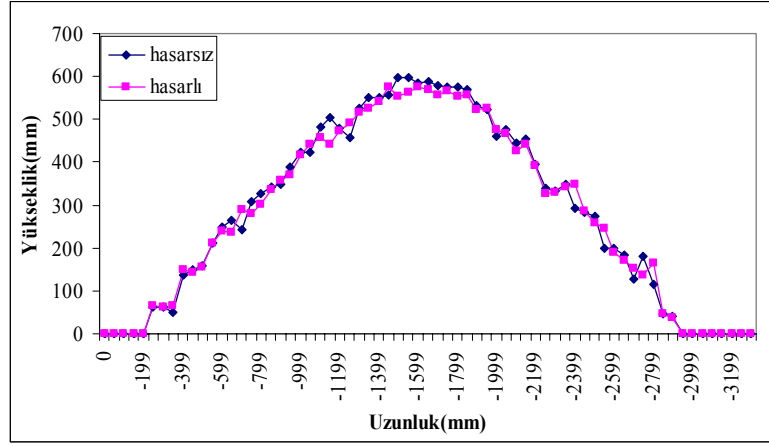
Şekil 5.1'den 5.6'ya kadar 1 mm genlik 5 Hz frekansa sahip deneyler için ivme değişimi ile dikkate alınan kesitlerdeki deney öncesi ve sonrası profiller çizilerek gösterilmiştir. Benzeri değişimler sırasıyla 1mm genlik 6 Hz, 2mm genlik 5 Hz – 6 Hz frekansları , 3mm genlik 5 Hz – 6 Hz frekansları için Şekil 5.7'den 5.36'ya kadar çizilerek gösterilmiştir. Her üç genlik için 3 Hz ve 4 Hz frekanslarında çok belirgin deformasyonlara rastlanmadığından bunlara ait değişimler Ek2'de verilmiştir.

Şekil 5.1'den 5.36'ya kadar tüm şekiller incelendiğinde rijit tabana oturan modellerin tabanda uygulanan girdi hareketi özelliklerine (frekans, ivme ve deplasman genliği) bağlı olarak krette değişim gösterdikleri anlaşılmaktadır. Bazı ivme tarihçesi şekillerinde sıçramalar görülse de bunlar modeli oluşturan taş elemanların bireysel hareketlerinden kaynaklanmaktadır.

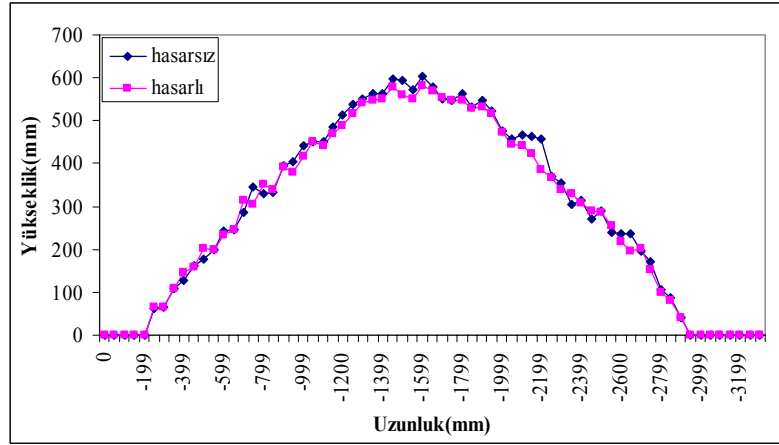
Dikkate alınan kesitlerdeki sarsma deneyleri sonrası değişen profiller incelendiğinde modelde deformasyonlar meydana gelmektedir (oturma ve şevlerde yayılmalar) ve bunun sonucunda kesitte sıkışma meydana geldiği anlaşılmaktadır. Özellikle frekans değerlerinin artması ile oturma ve yayılmanın arttığı gözlemlenmiştir. Görüntü işleme tekniği kullanılarak model kesitindeki deformasyonun zamanla değişimi incelenmiştir. Şekil 5.37 ve 5.38'de belirgin anlardaki değişimler görülmektedir. Uygulanan çevrimsel yük altında model kesitte oluşan deformasyonun zamansal gelişiminin belirlenmesi amacıyla deneylerin zamanla değişimi izlenmiştir, Şekil 5.39'den 5.43'e kadar verilen örneklerden görüldüğü gibi genellikle kesitteki deformasyonun % 60'nın ilk 10 s'de %80'lik kısmının ise ilk 20 s'de oluştuğu anlaşılmaktadır. Yaklaşık olarak 30 s'de kesitteki deformasyon tamamlanmaktadır.



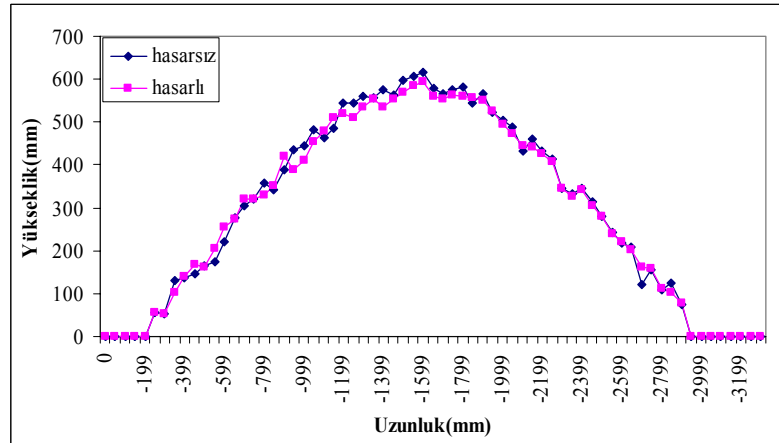
Şekil 5.1 1mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



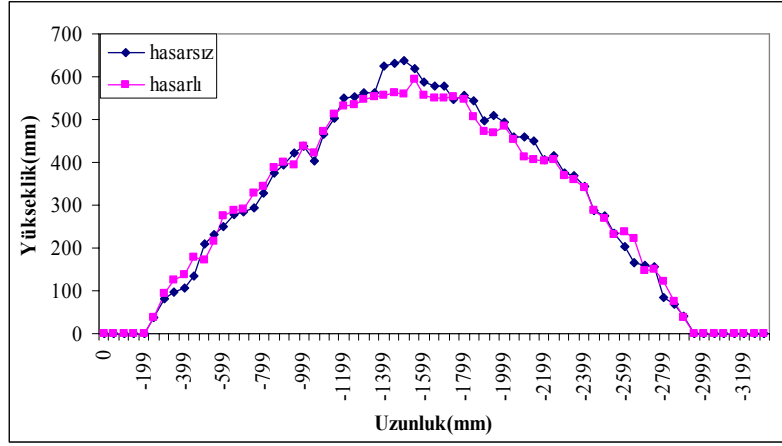
Şekil 5.2 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



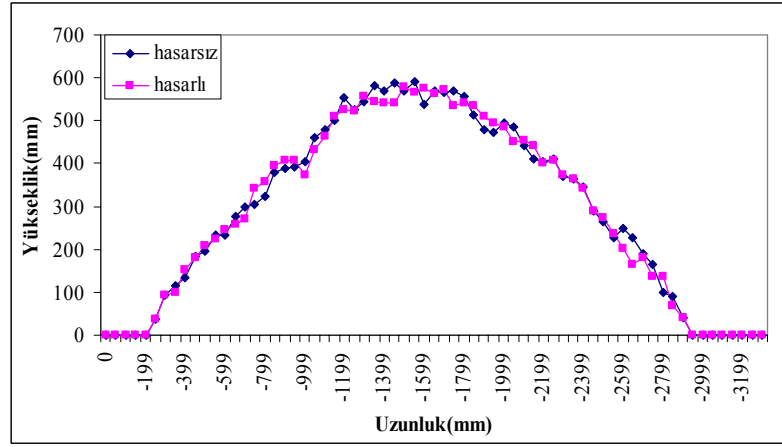
Şekil 5.3 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



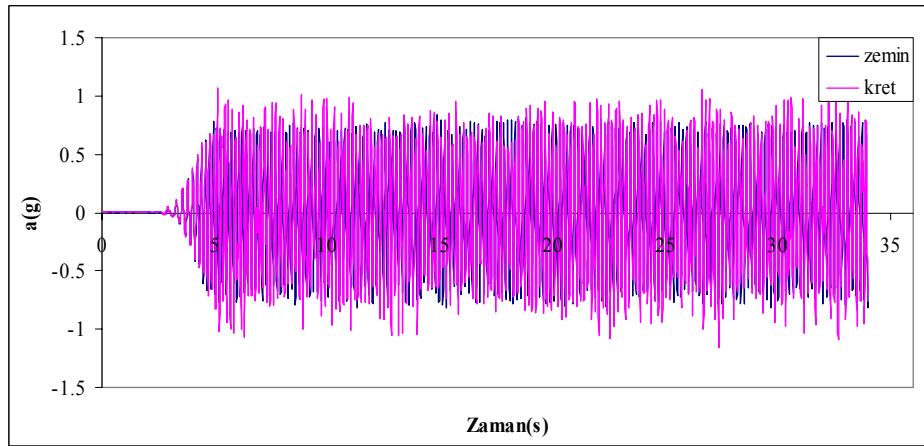
Şekil 5.4 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



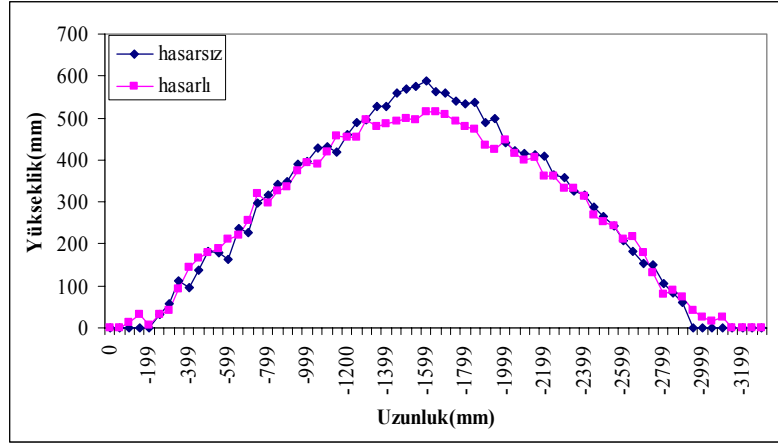
Şekil 5.5 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



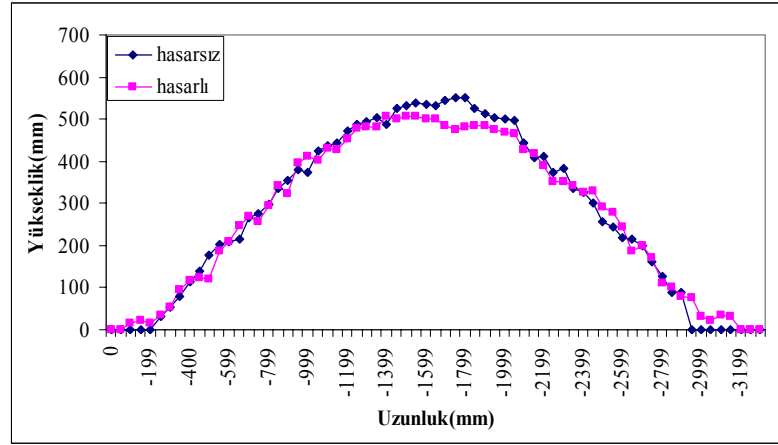
Şekil 5.6 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



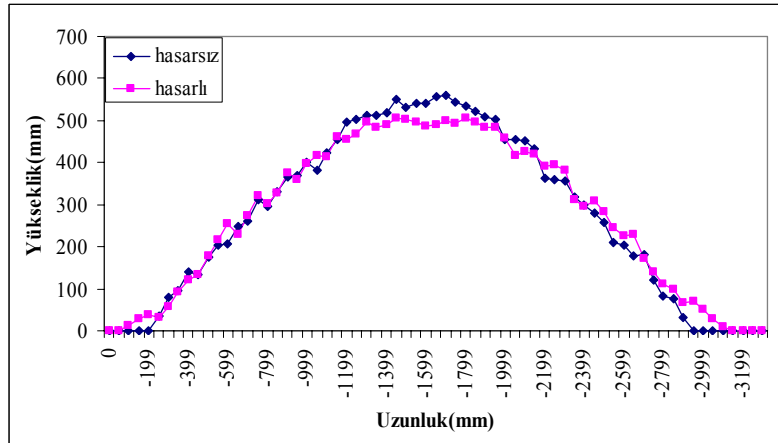
Şekil 5.7 1 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



Şekil 5.8 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)

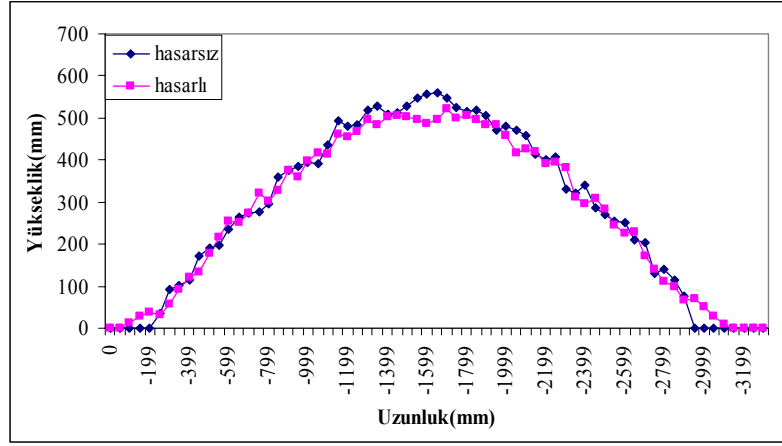


Şekil 5.9 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)

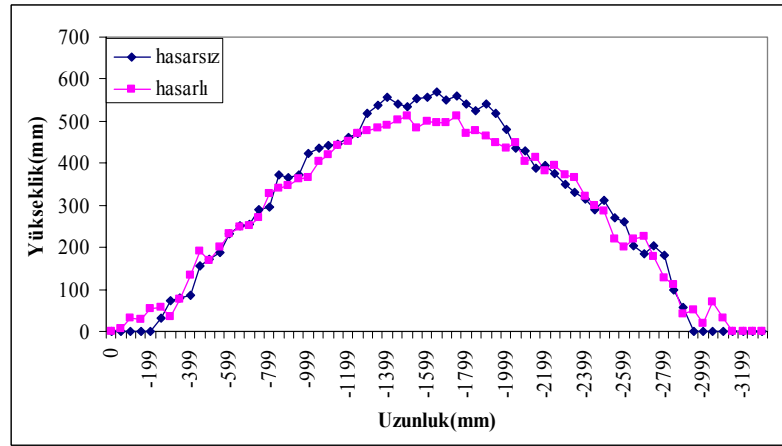


Şekil 5.10 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)

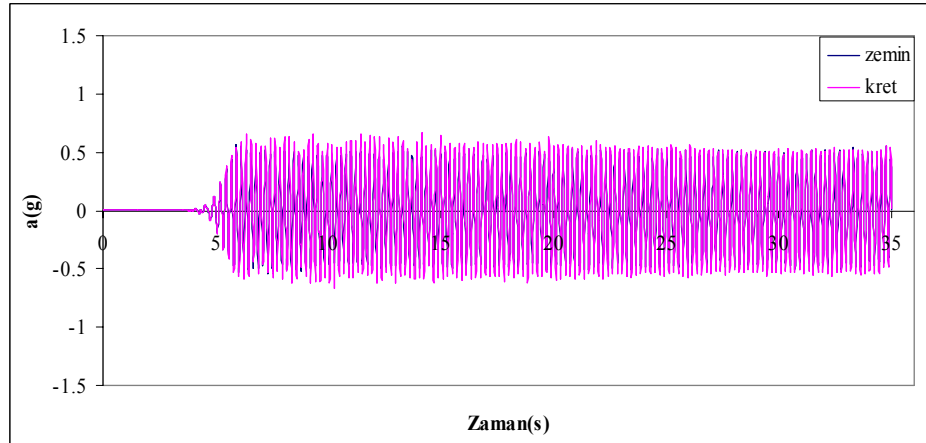




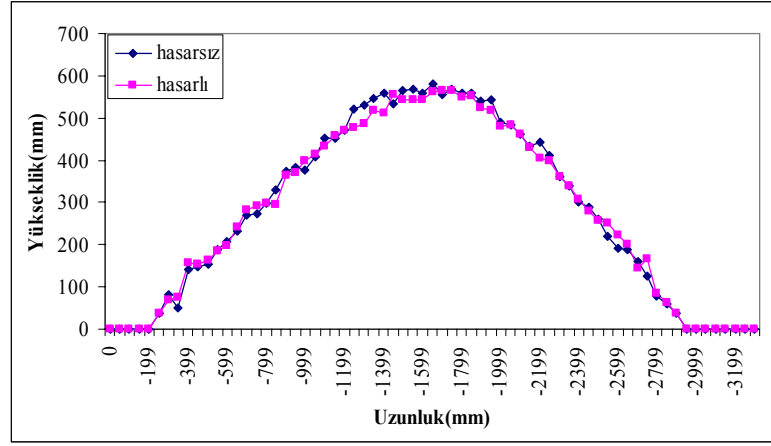
Şekil 5.11 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



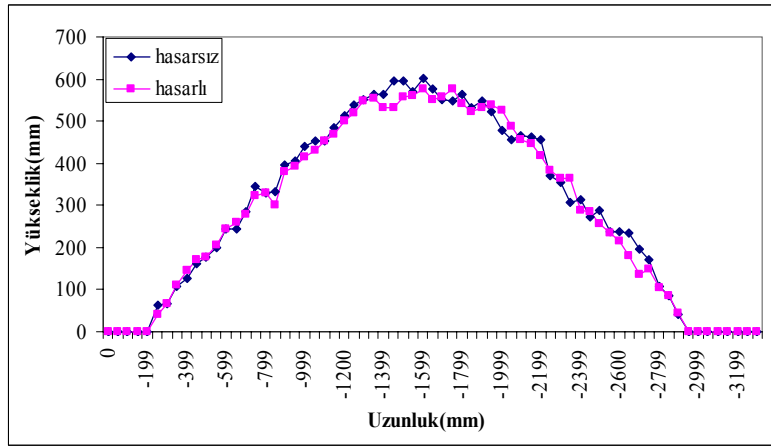
Şekil 5.12 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



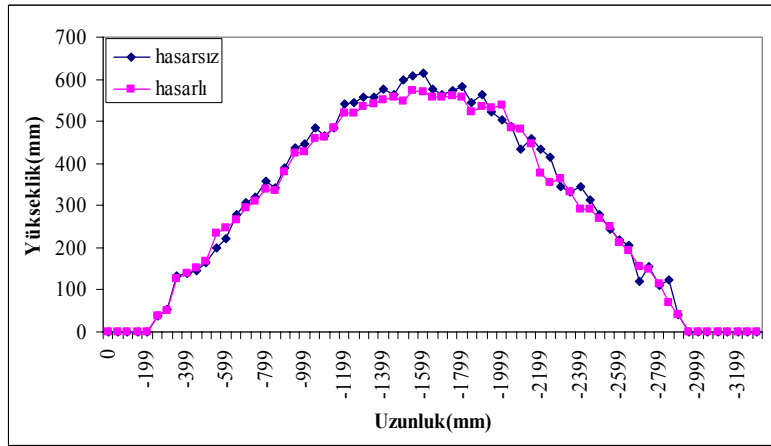
Şekil 5.13 2mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



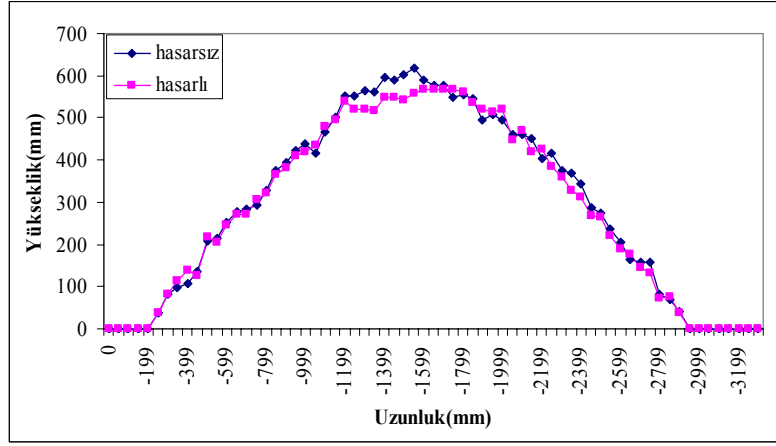
Şekil 5.14 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



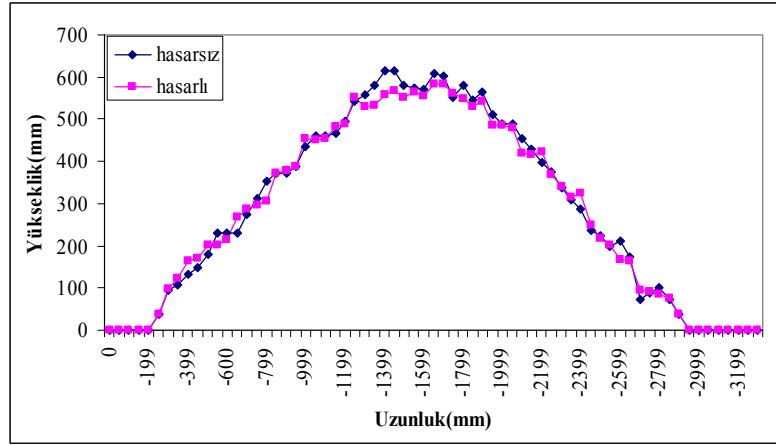
Şekil 5.15 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



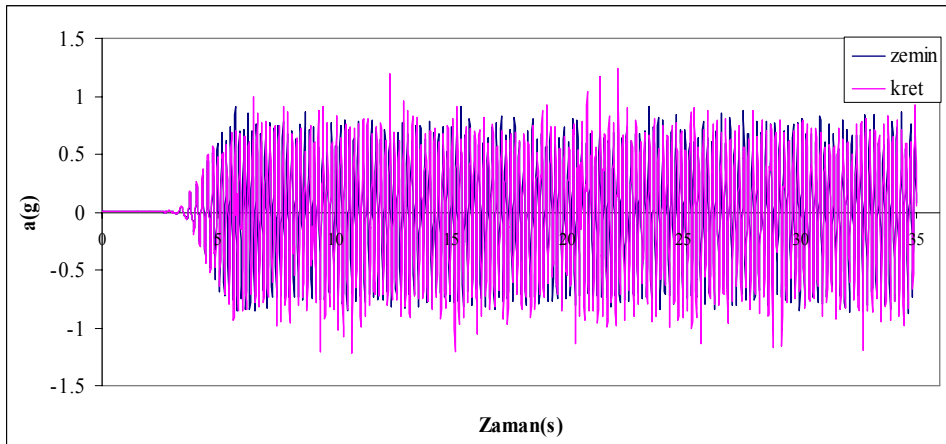
Şekil 5.16 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



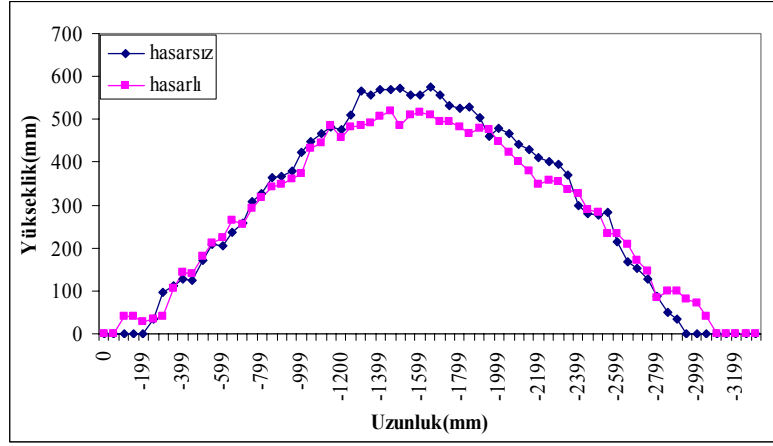
Şekil 5.17 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



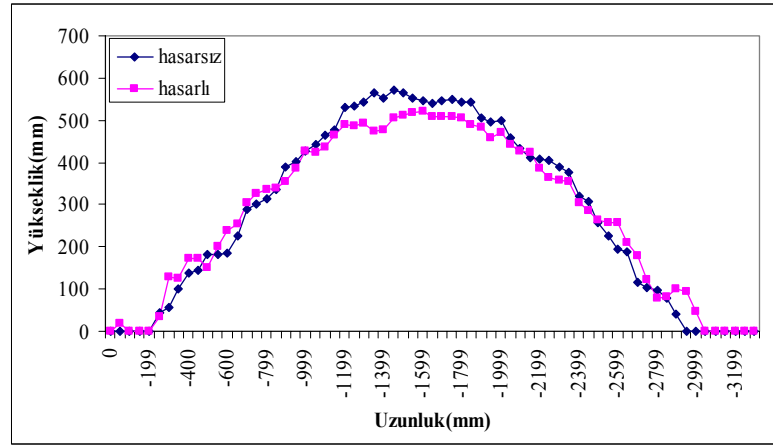
Şekil 5.18 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



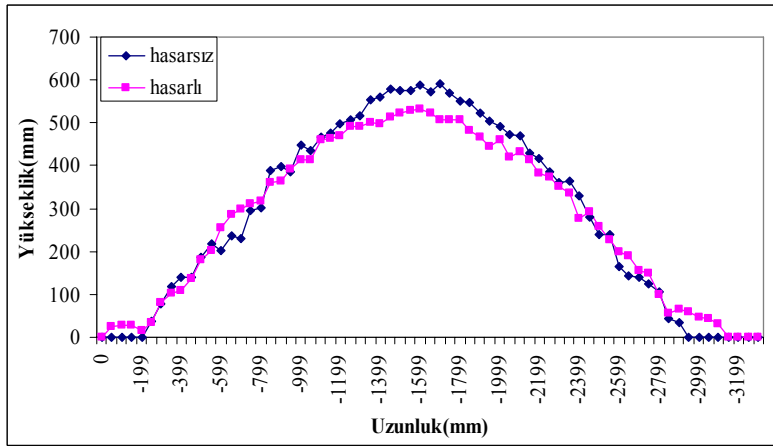
Şekil 5.19 2mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



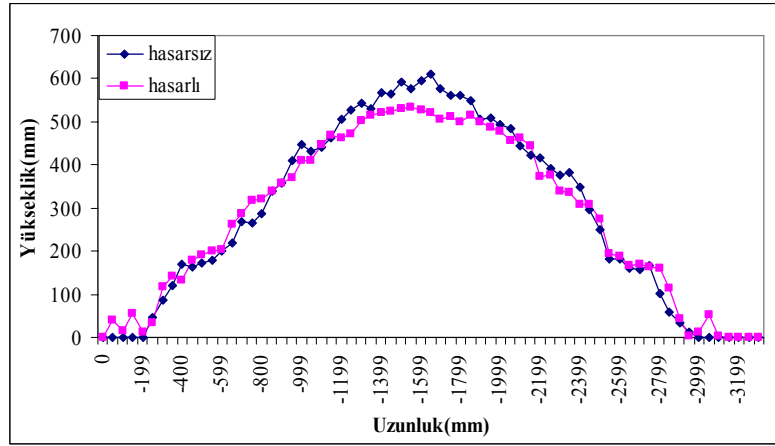
Şekil 5.20 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



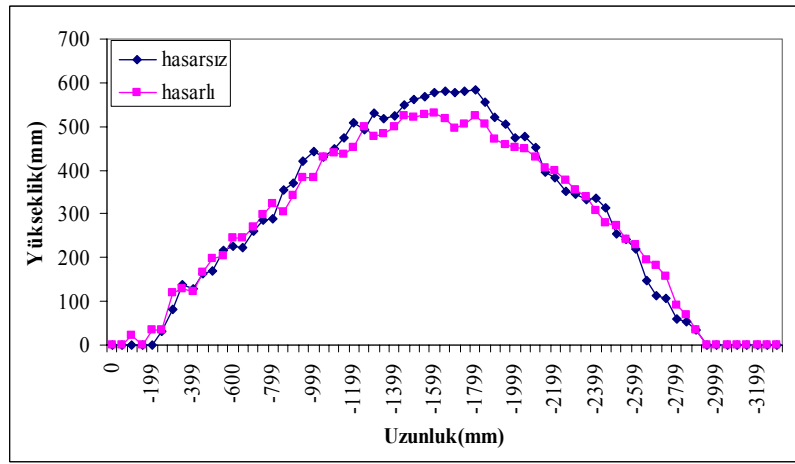
Şekil 5.21 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



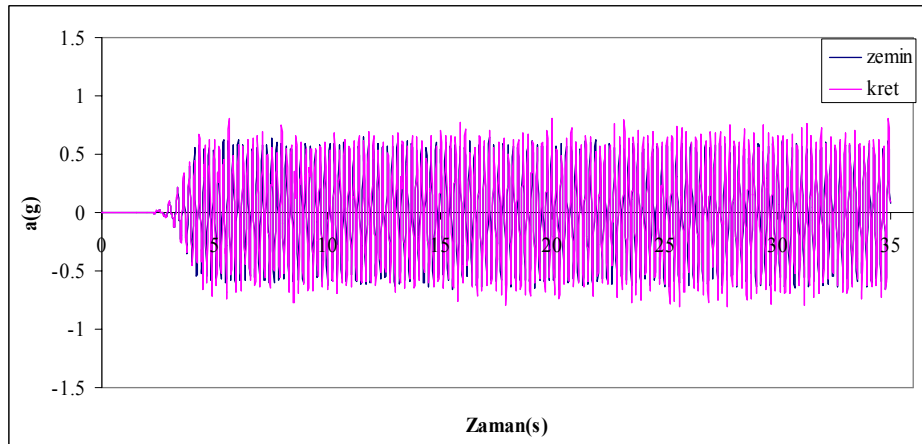
Şekil 5.22 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



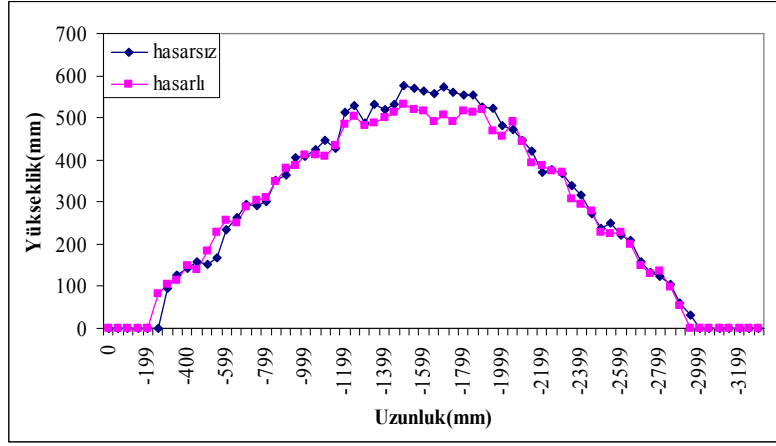
Şekil 5.23 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



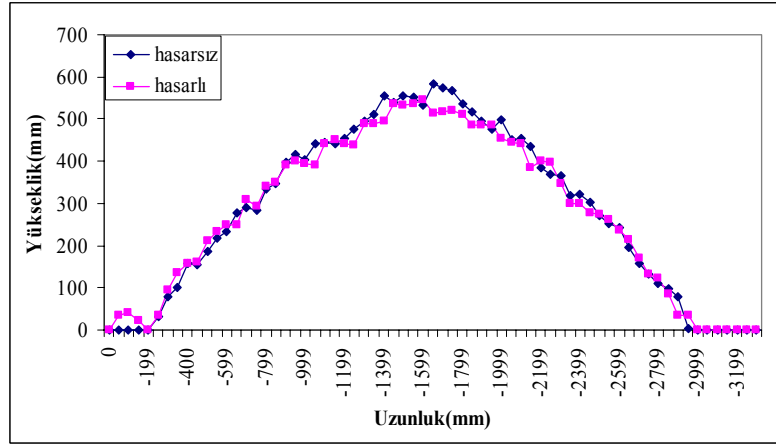
Şekil 5.24 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



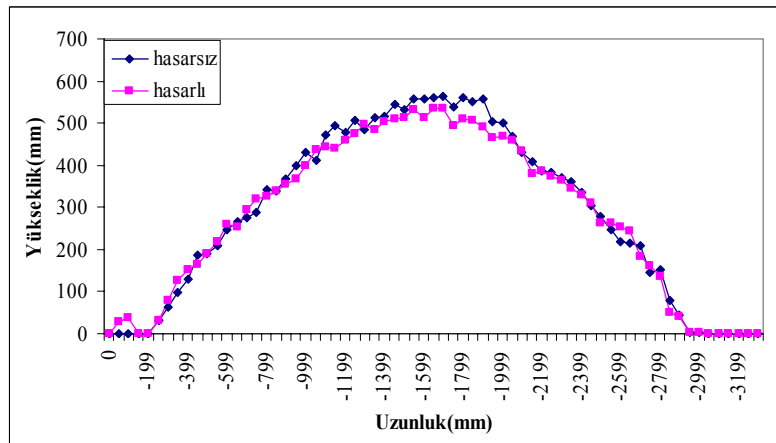
Şekil 5.25 3mm genlik 5 Hz frekans için ivme-zaman grafiği



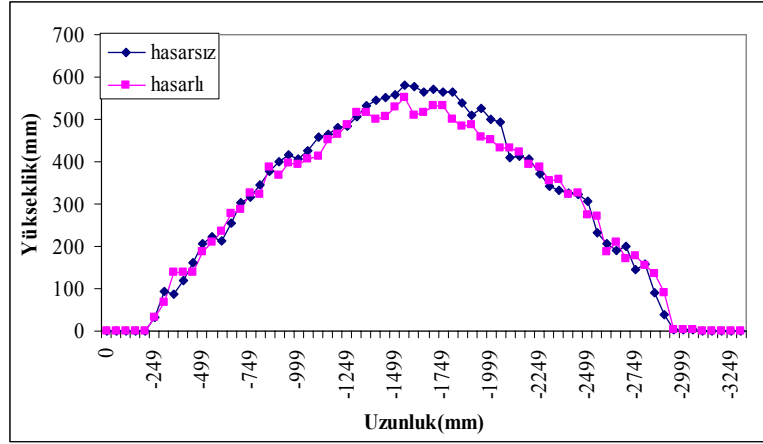
Şekil 5.26 3mm genlik 5 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



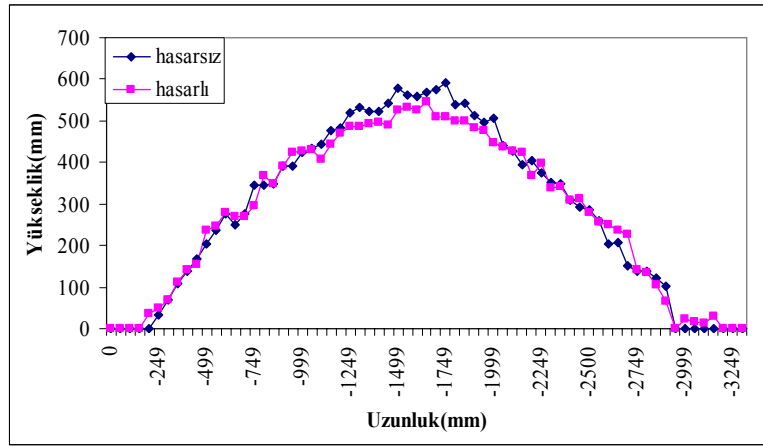
Şekil 5.27 3mm genlik 5 Hz frekans için 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



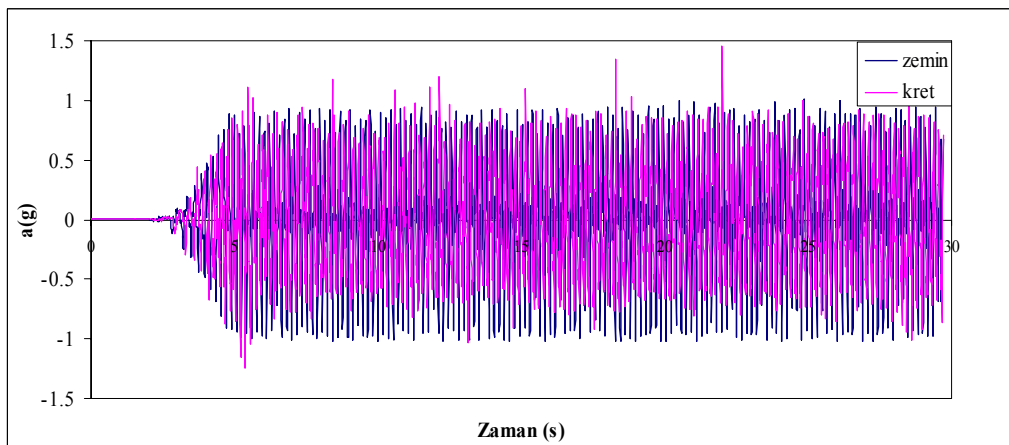
Şekil 5.28 3mm genlik 5 Hz frekans için 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



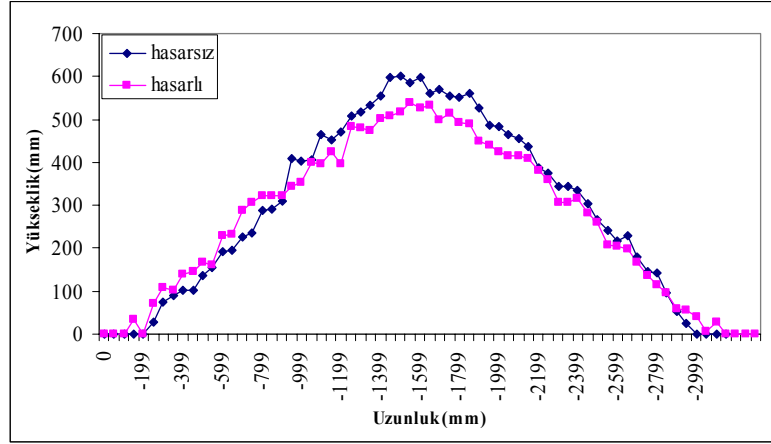
Şekil 5.29 3 mm genlik 5 Hz frekans için 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



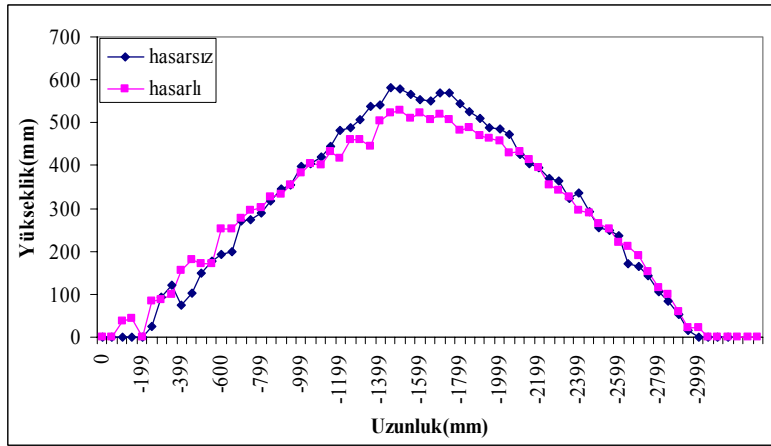
Şekil 5.30 3 mm genlik 5 Hz frekans için 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



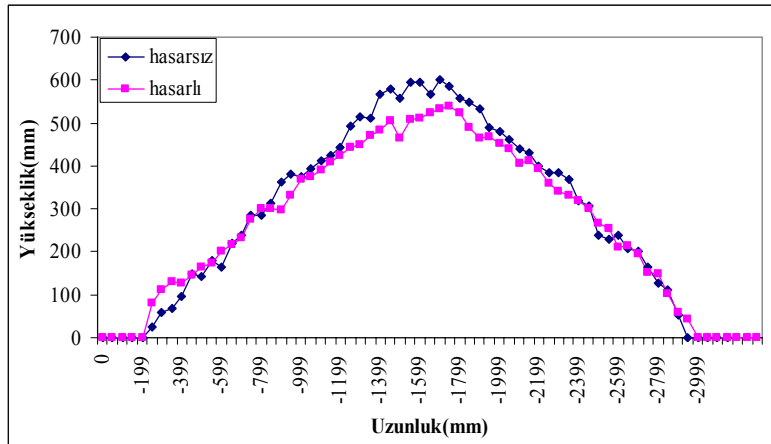
Şekil 5.31 3 mm genlik 6 Hz frekans için ivme-zaman grafiği



Şekil 5.32 3mm genlik 6 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)

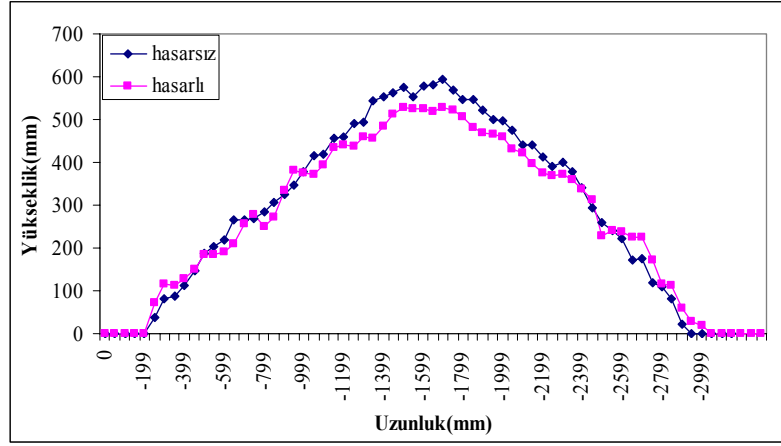


Şekil 5.33 3mm genlik 6 Hz frekans için 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)

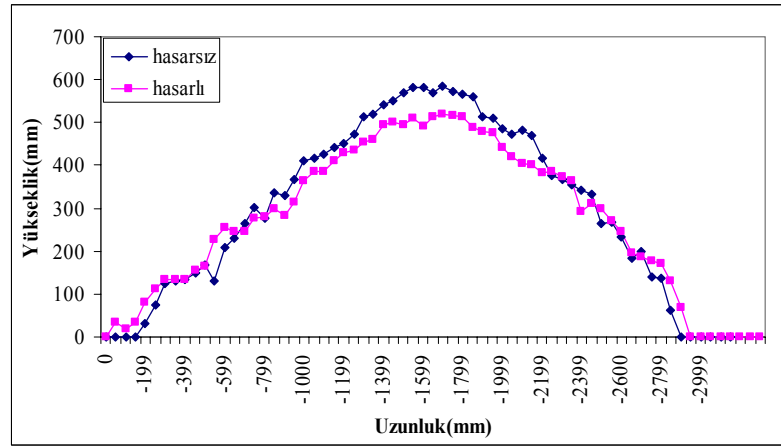


Şekil 5.34 3mm genlik 6 Hz frekans için 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)





Şekil 5.35 3mm genlik 6 Hz frekans için 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



Şekil 5.36 3mm genlik 6 Hz frekans için 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



(a) 1. saniye

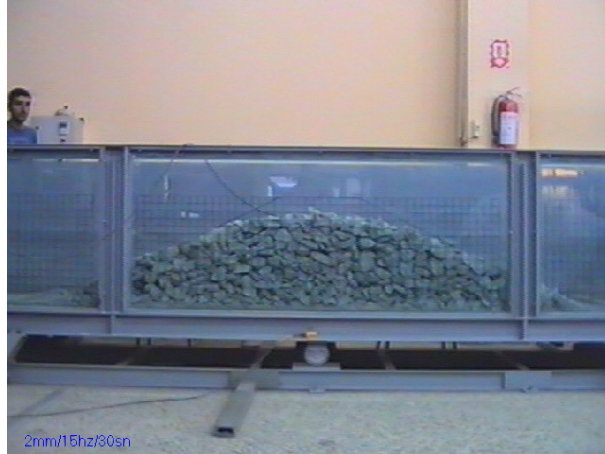
Şekil 5.37 2mm genlik, 6 Hz frekans



(b) 11. saniye



(c) 20. saniye



(d) 30. saniye

Şekil 5.37 Devam



(a) 1. saniye



(b) 12. saniye



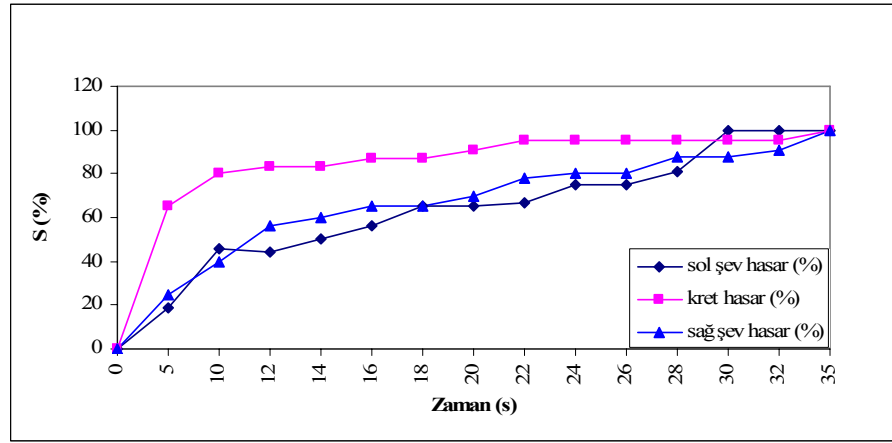
(c) 22. saniye

Şekil 5.38 3 mm genlik, 5 Hz frekans

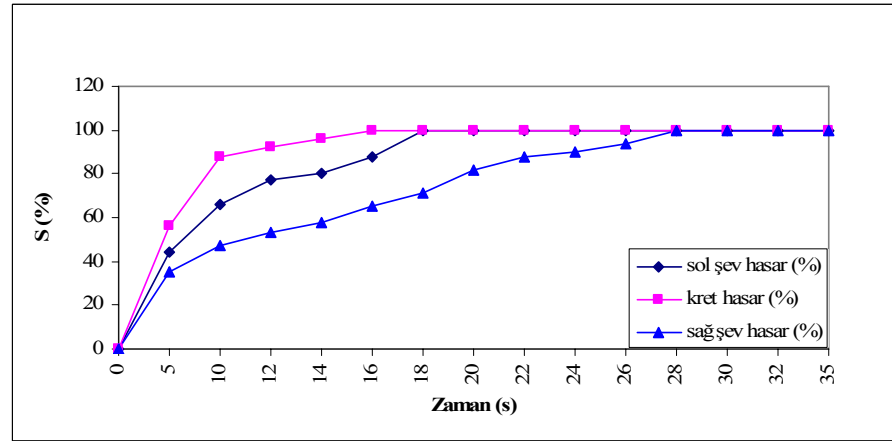


(d) 30. saniye

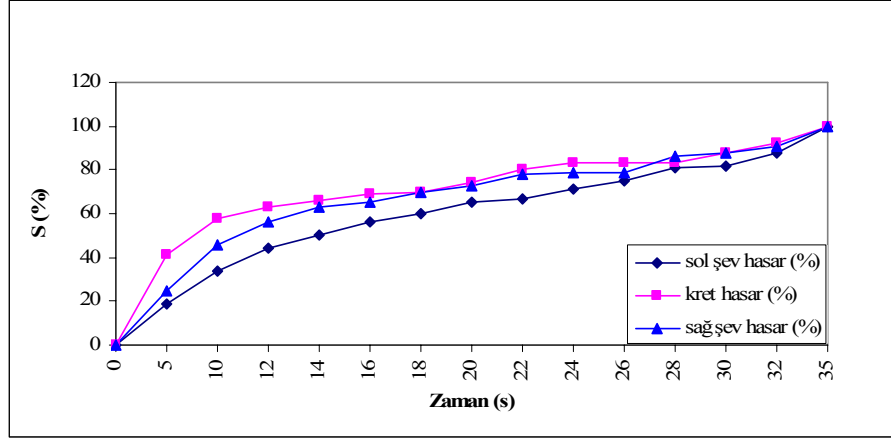
Şekil 5.38 Devam



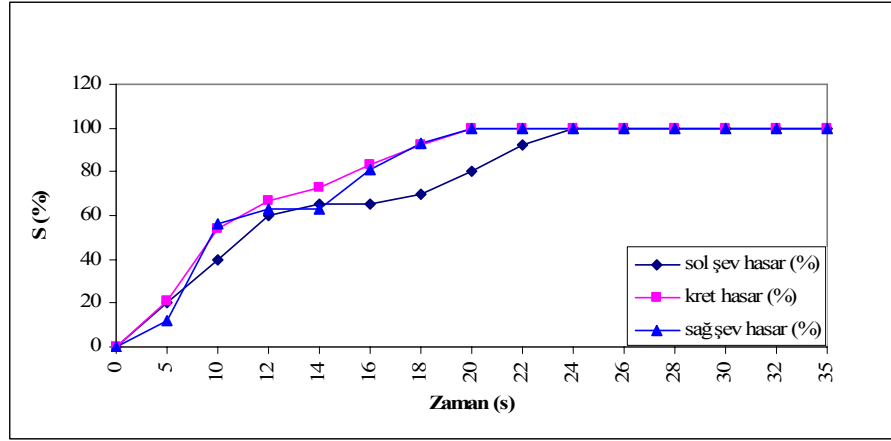
Şekil 5.39 1mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



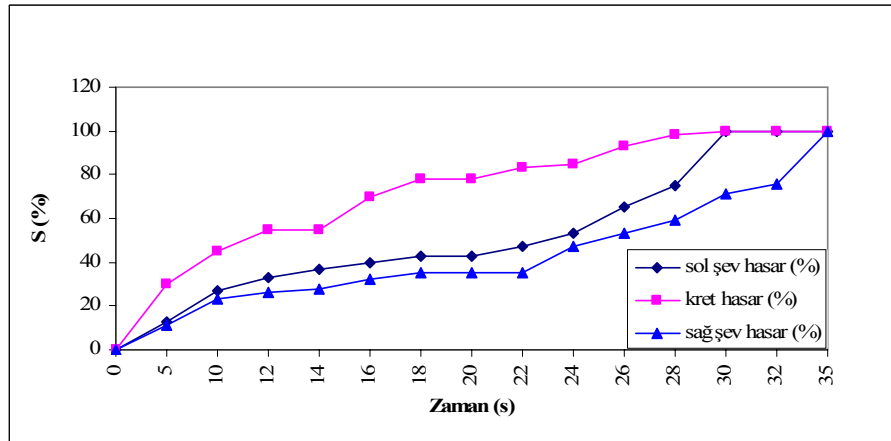
Şekil 5.40 2mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



Şekil 5.41 2mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



Şekil 5.42 3mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği

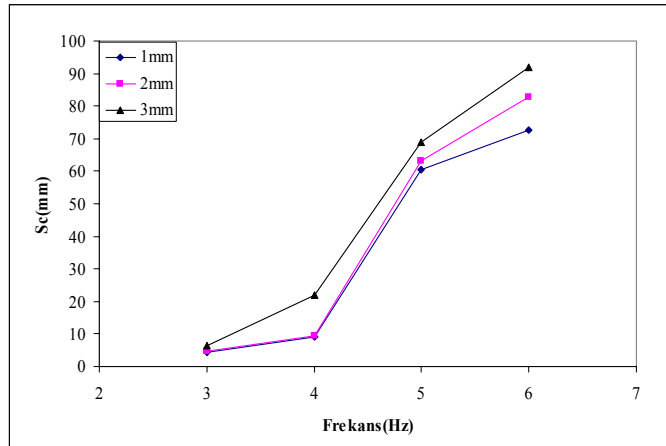


Şekil 5.43 3mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği

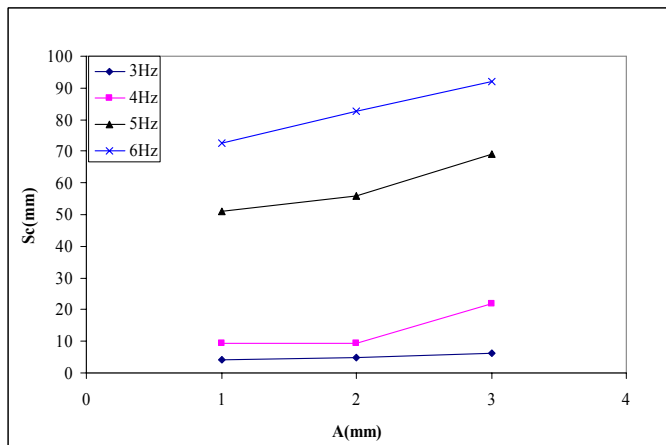
Şekil 5.44'de homojen kesite sahip taş dolgu dalgakırının kretinde oluşan oturmalara (S<sub>c</sub>) sismik tankın sahip olduğu frekans ile farklı genlikler için değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi her genlik değerinde frekansın artmasıyla oturma miktarı artmaktadır, oturma

miktarı genliğin artmasıyla aynı frekans içinde büyümektedir. Ancak kesitteki oturma 4 Hz'den sonra daha büyük bir artış eğilimine sahiptir. Bu durum Şekil 5.45'de daha belirgin olarak görülmektedir. 3 ve 4 Hz değerlerinde oturma miktarları oldukça küçük ve birbirine yakındır ancak 4 Hz'den sonra oturma miktarında hızlı artış meydana gelmiştir. Kesitteki oturma taş dolgu yapının tamamında meydana gelen sıkışma ve yayılmadan kaynaklanmıştır.

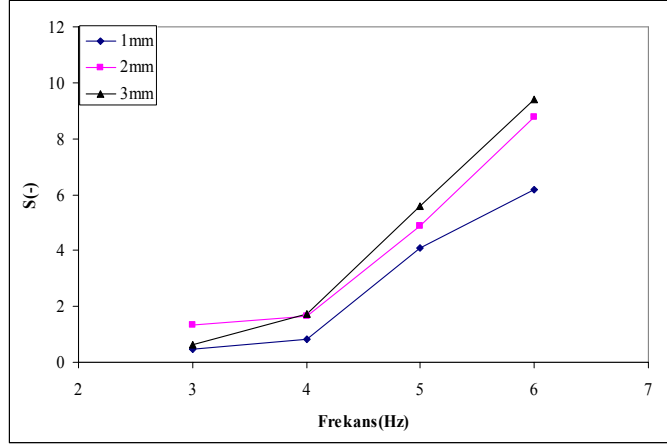
Şekil 5.46 ve 47'de hasarın (S) kesitin sağ şevinde aldığı değerlerin frekans ve genlikle değişimi görülmektedir. Hasar, Van der Meer'in taş dolgu dalgakıranlar için vermiş olduğu tarife göre hesaplanmıştır. Hasarın özellikle deprem frekansından çok etkilendiği görülmektedir ve 5 Hz'den sonra yapıda tam hasar tanımına uyan hasara ulaşıldığı belirlenmiştir. Benzeri durum Şekil 5.48 ve 49'da sol şev için verilmiştir. Hasar hesabında dikkate alınan kesitlerdeki hasarların ortalaması dikkate alınmıştır.



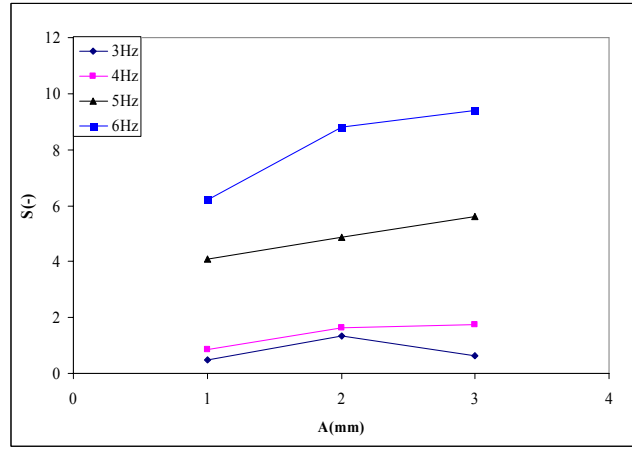
Şekil 5.44 Kretteki oturma miktarının frekans ile değişimi



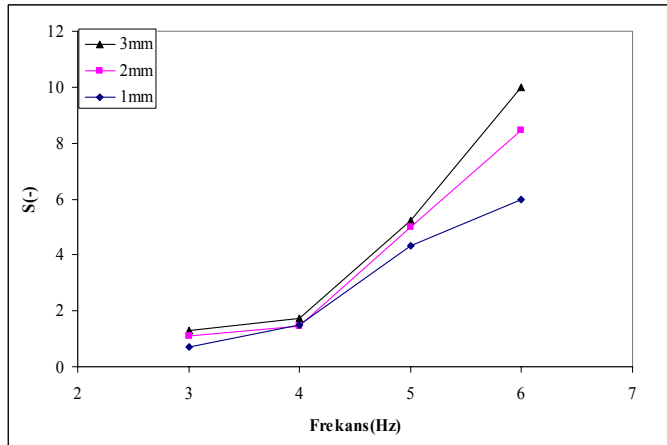
Şekil 5.45 Kretteki oturma miktarının genlikle değişimi



Şekil 5.46 Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri

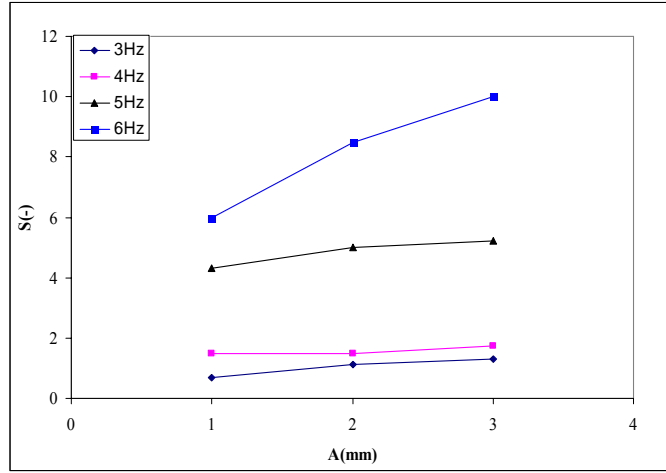


Şekil 5.47 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri



Şekil 5.48 Frekans bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sol şevde oluşan hasar yüzdeleri





Şekil 5.49 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hasar yüzdeleri

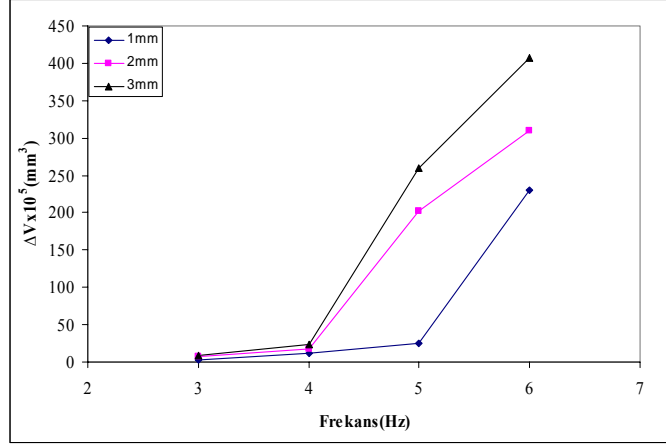
Şekil 5.50’de taş dolgu dalgakıran kesitinde frekansa bağlı olarak meydana gelen hacim değişimi gösterilmiştir. Dalgakıran hacminde meydana gelen değişim 4 Hz’den sonra oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Hacimdeki azalma eğilimi genlik ile olan değişimde de görülmektedir (Şekil 5.51). Dalgakıran modeli rijit temel üzerinde yer aldığından hacim değişimi tamamen kesitin sıkışmasından kaynaklanmıştır. Şevlerde meydana gelen değişimlerin anlaşılması amacıyla sadece şevlerde meydana gelen deformasyonları dikkate alacak şekilde hacimsel değişimler de incelenmiştir. Bu amaçla şevlerdeki hacimsel değişim miktarlarının modelin her iki şevi için ayrı ayrı Şekil 5.52, 5.53, 5.56 ve 5.57’de görüldüğü gibi belirlenmiştir. Sağ ve sol şevlerde belirlenen hacimsel değişimler hemen hemen simetriktir. Toplam sıkışmada görülen benzeri eğilim şevler içinde oluşmuş ve frekansa daha fazla bağlı olarak, özellikle 4 Hz’den sonra şev deformasyonları artmıştır.

Ayrıca şev kaymalarını daha iyi anlaşılması amacıyla kesitin topuğunda oluşan yığılma miktarları belirlenmiş ve her iki şev için Şekil 5.54, 5.55, 5.58 ve 5.59’da gösterilmiştir. Sıkışmadan dolayı oluşan deformasyonlardaki sistematik artış gerek frekans gerekse genlikle değişime bağlı olarak gözlenmemiştir. Bunun nedeni frekansın artması ile aniden artan sıkışma sonucunda, yani hacimsel şekil değiştirmede ( $\epsilon_v$ ) değişim yavaşlayıp çok azaldığı halde kayma şekil değiştirmede ( $\gamma$ ) devam etmektedir.

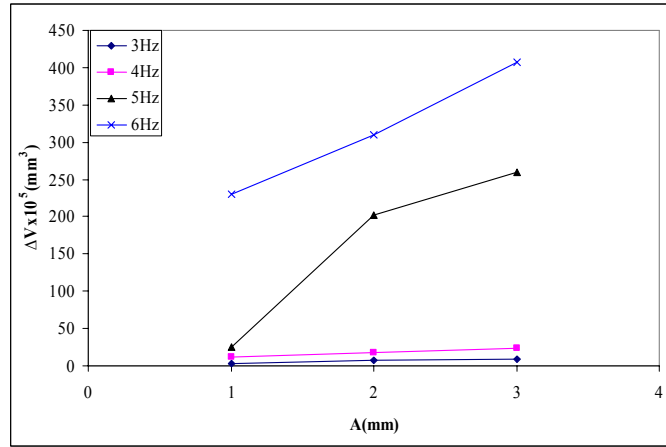
Şevlerde oluşan hacimsel değişimlere benzer biçimde, ölçümlerde dikkate alınan kesit alanlardaki değişimlerde ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla Şekil 5.60, 5.61, 5.64 ve 5.65’de sırasıyla sağ ve sol şevler için frekansa ve genliğe bağlı olarak kesitsel ortalama alanlarındaki değişimler çizilmiştir. Şekillerden oturma alanlarındaki değişimlerin her iki şev için yaklaşık olarak simetrik olduğu görülmektedir. Gerek frekans gerekse genliğin



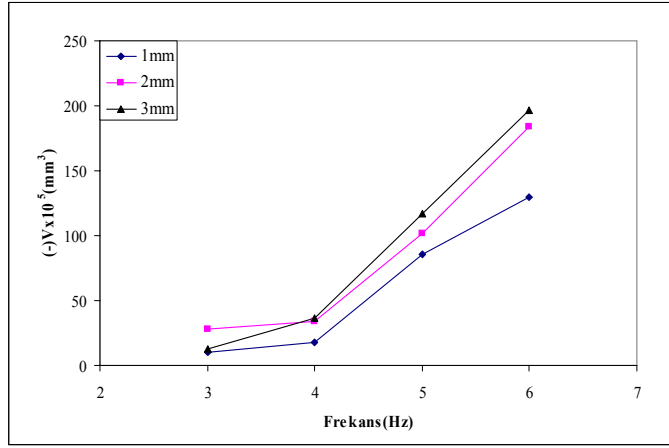
hacimsel şekil değiştirme alanlarındaki etkisi hacimdeki değişimlere benzerdir. Şekil 5.62, 5.63, 5.66 ve 5.67’de ise yığılmadaki kesitsel alanlardaki değişimler gösterilmiştir. Bu değişimlerin frekansa ve genliğe göre sistematik olmayan görünümleri hacimsel yığılma miktarlarında olduğu gibi şev kayma ve oturmalarının farklı frekanslarda aynı davranışa sahip olmamasından kaynaklanmaktadır.



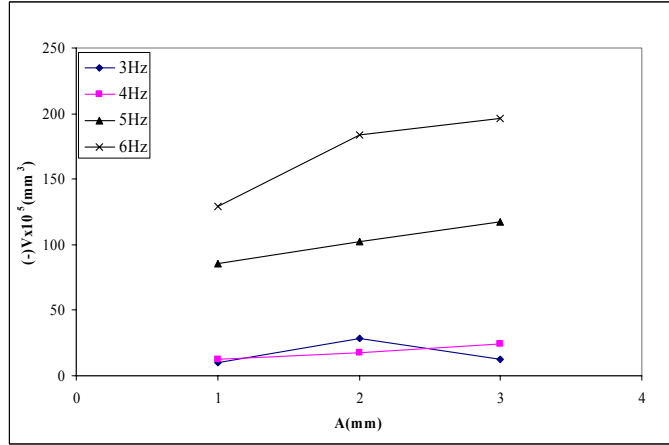
Şekil 5.50 Frekansa bağlı olarak farklı genlik durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi



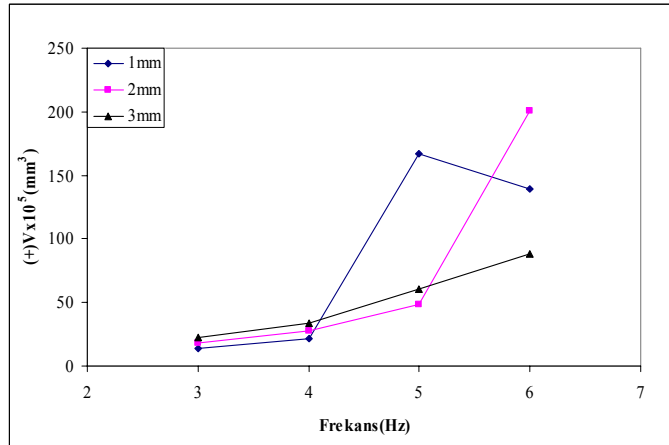
Şekil 5.51 Genliğe bağlı olarak farklı frekans durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi



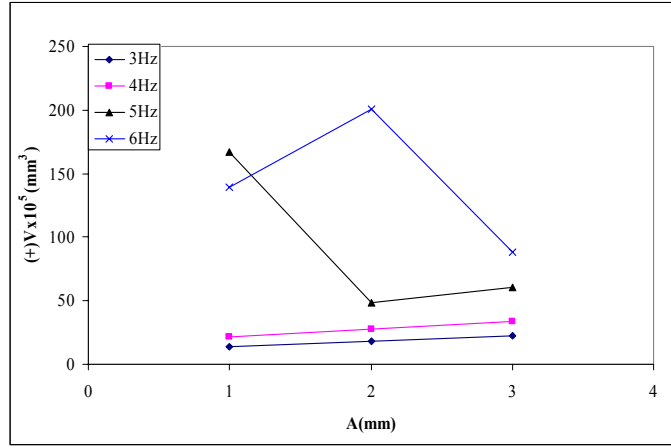
Şekil 5.52 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan hacimsel değişim



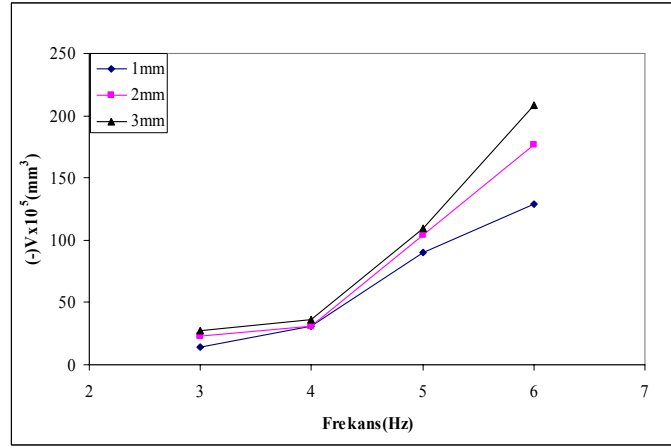
Şekil 5.53 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.



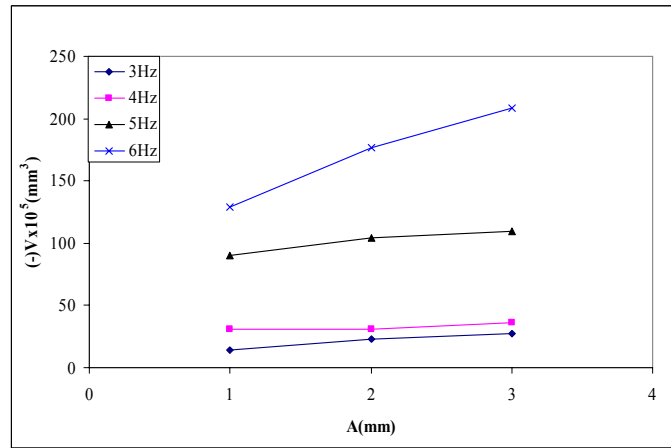
Şekil 5.54 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan yığılmalar



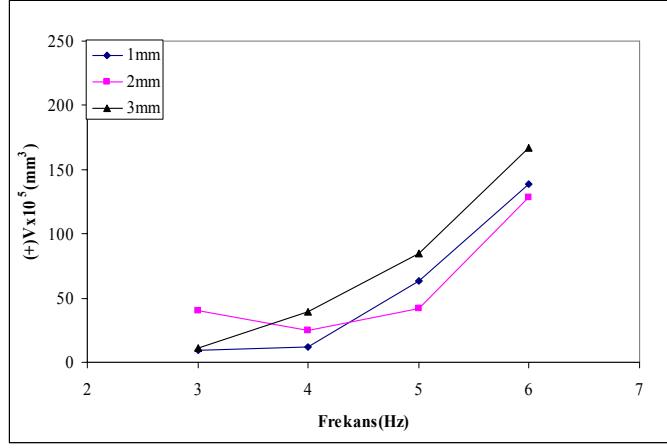
Şekil 5.55 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan yığılmalar



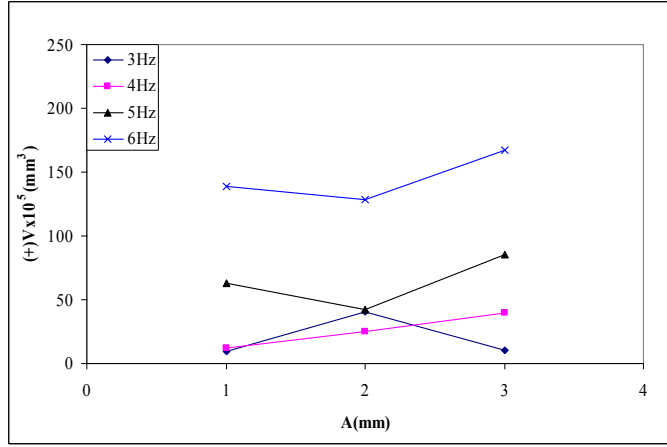
Şekil 5.56 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan hacim değişimi



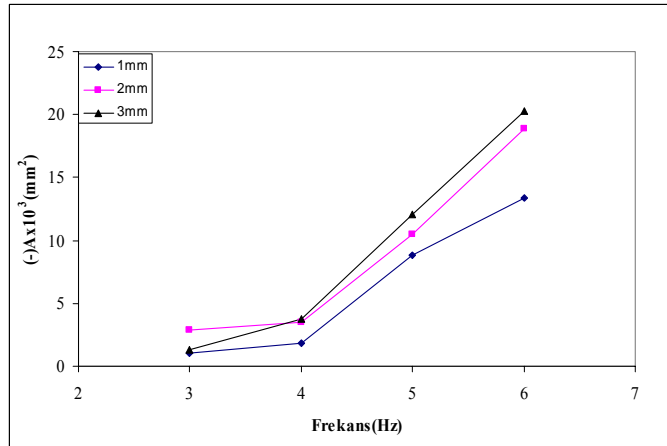
Şekil 5.57 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hacim değişimi



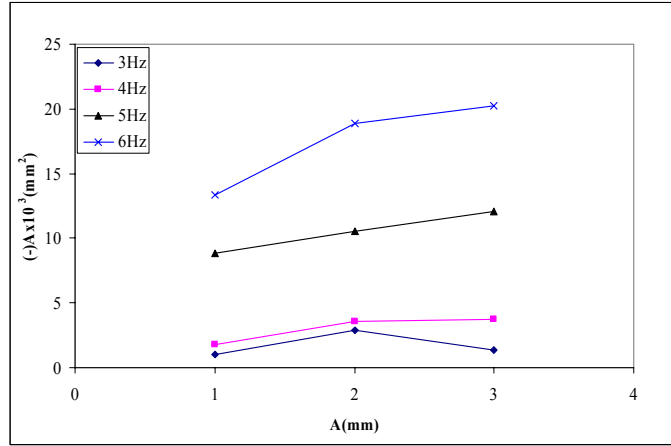
Şekil 5.58 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan yığılmalar



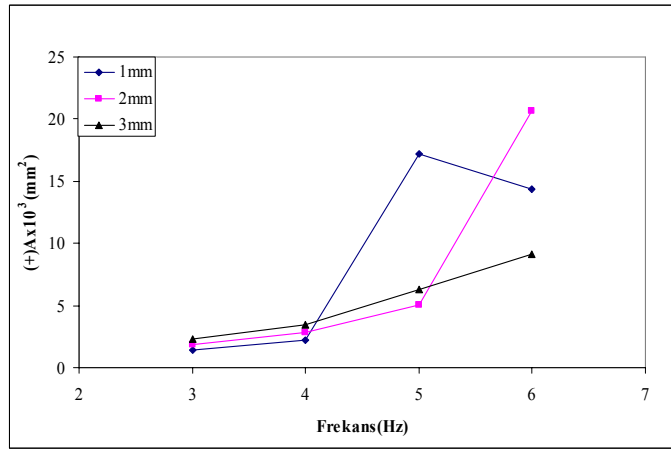
Şekil 5.59 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan yığılmalar



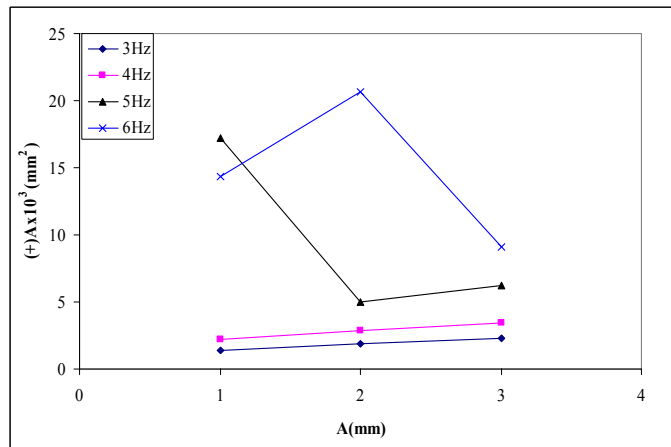
Şekil 5.60 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



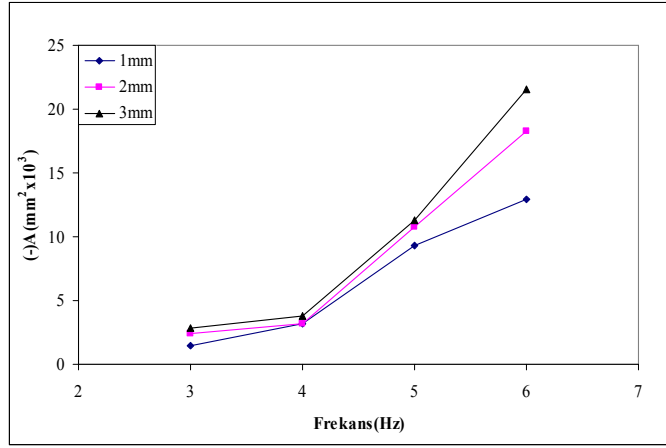
Şekil 5.61 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



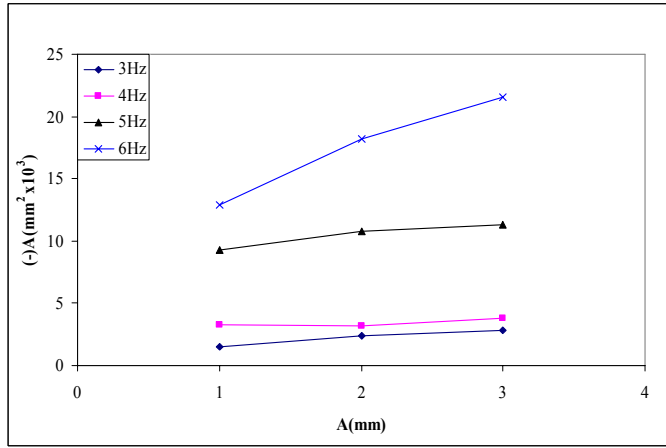
Şekil 5.62 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı



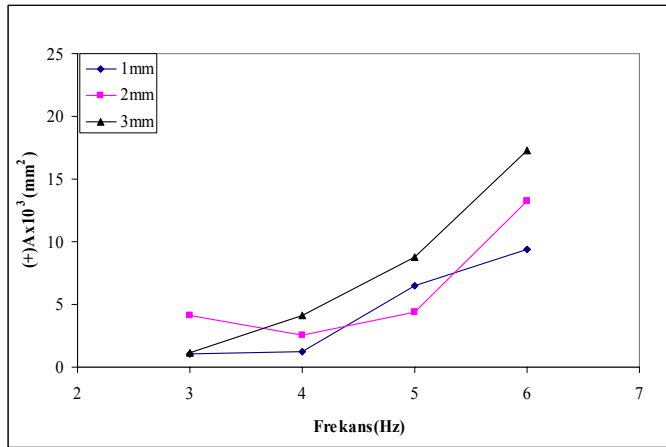
Şekil 5.63 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı



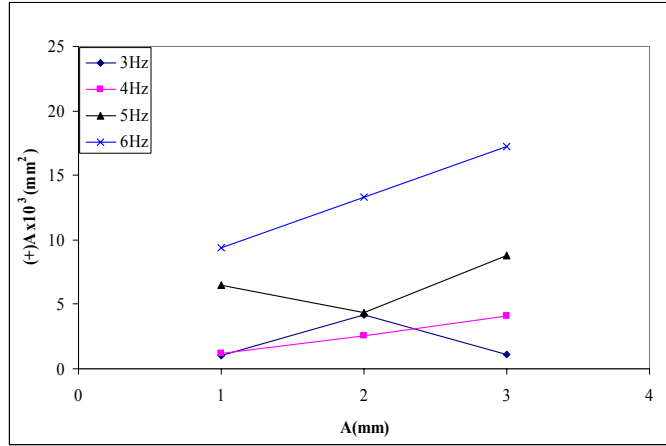
Şekil 5.64 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



Şekil 5.65 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı

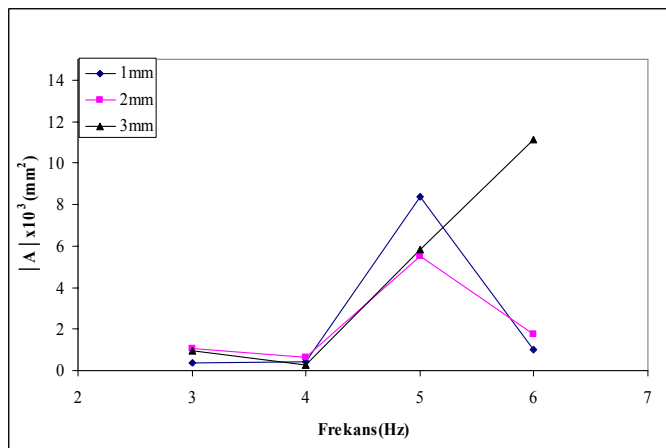


Şekil 5.66 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı

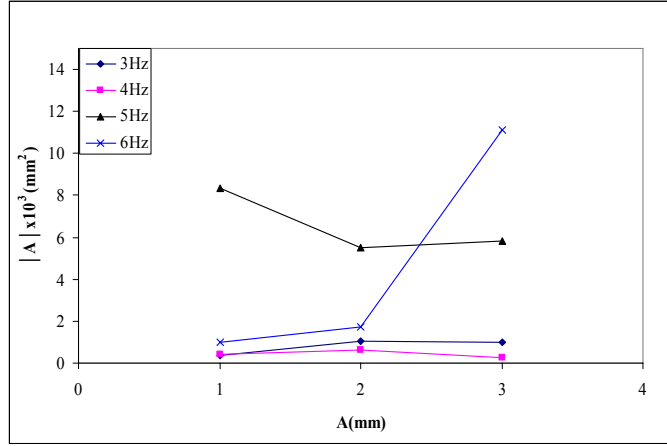


Şekil 5.67 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı

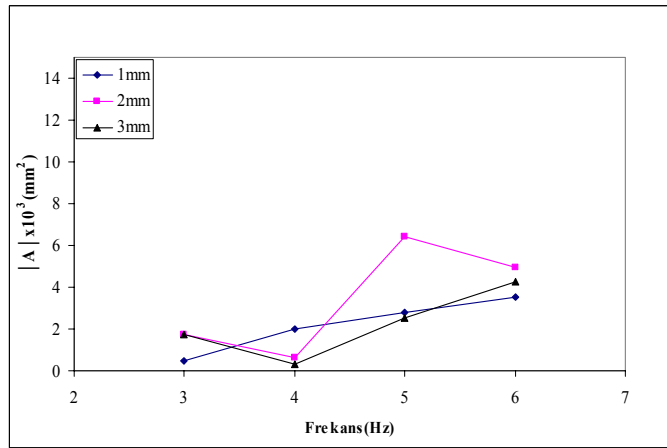
Şekil 5.68 ve 5.69’da oturma ve şev kayması nedeniyle ortalama toplam mutlak kesit alandaki değişimin frekans ve genlikle değişimleri verilmiştir. Bu şekillerden frekans arttıkça kesitin sıkışma miktarı artmakta ancak frekansın büyük değerlerinde şev kaymasındaki artışın daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra kayma ve sıkışma miktarları arasında bir denge durumundan bahsetmek mümkün değildir. Bu durum modelin sismik etki altındaki davranışında birincil derecede gösterdiği davranışın sıkışma olmasından kaynaklanmaktadır. Sıkışma sırasında elemanlar birbirlerine daha büyük itme kuvveti uygulayacaklar ve yanal yönde elemanların konumlarını değiştirmelerine sebep olacaklardır. Şevdeki malzemenin sismik etki sonucunda hareket ederek (yuvarlanma, kayma, dönme) şev tabanına doğru yığılması ikincil derecede önem göstermektedir. Ayrıca yapının oldukça rijit olması sebebiyle şev üzerindeki elemanların hareketi büyük oranda elemanların kayması şeklinde gerçekleşmektedir. Dalgakıran modelinde sismik etki altında elemanların yığılmasına sebep olan bu iki olayın frekans ve genlikle ilişkisinde herhangi bir sistematiklik ya da denge durumu gözlenememiştir. Benzeri durum sol şevde de olmaktadır (Şekil 5.70 ve 5.71).



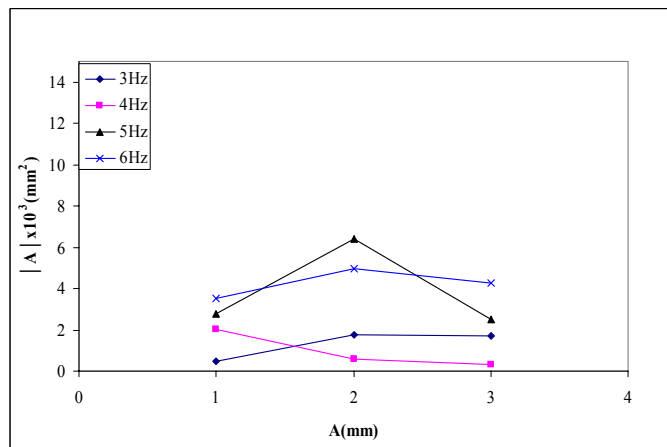
Şekil 5.68 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 5.69 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 5.70 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 5.71 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan



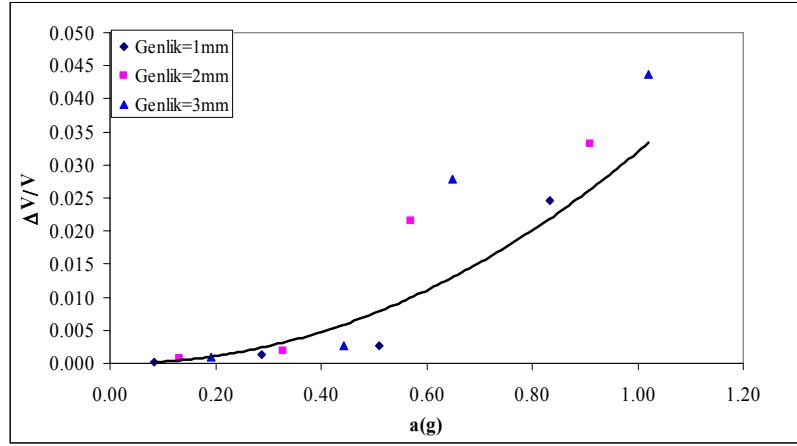
Çizelge 5.3’de deneylerden elde edilen verilerin ivme, ivme büyütmesi değerlerine bağlı olarak boyutsuz formda aldıkları değerler özetlenmiştir. Deneylerde sarsma tankının ivmesinin 0.084g ile 1.021g arasında değiştiği görülmektedir. Bu verilere göre sismik yükleme sonrası hacimsel birim deformasyon  $\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)$  hesaplanmıştır, burada  $\Delta V = V_i - V_d$ ,  $V_i$  kesitin orjinal (ilk) hacmi,  $V_d$  sismik yükleme sonundaki deformasyona uğramış (sıkışmış) hacimdir. Şekil 5.72a’da hacimsel birim deformasyonun sismik ivmeye karşılık değişimi çizilmiştir. Burada dikkate alınan ivme “g” değeri cinsinden tank yani zemin ivmesini karakterize etmektedir. Bu şekil incelendiğinde farklı frekans ve genlikleri içeren ivme ile değişimin hacimsel birim deformasyonla oldukça iyi bir korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Burada korelasyon katsayısı  $R=0.935$  olarak bulunmuştur. Değişim aşağıdaki fonksiyonla verilebilmektedir;

$$\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)=0.031a_g^{2.08} \quad (5.1)$$

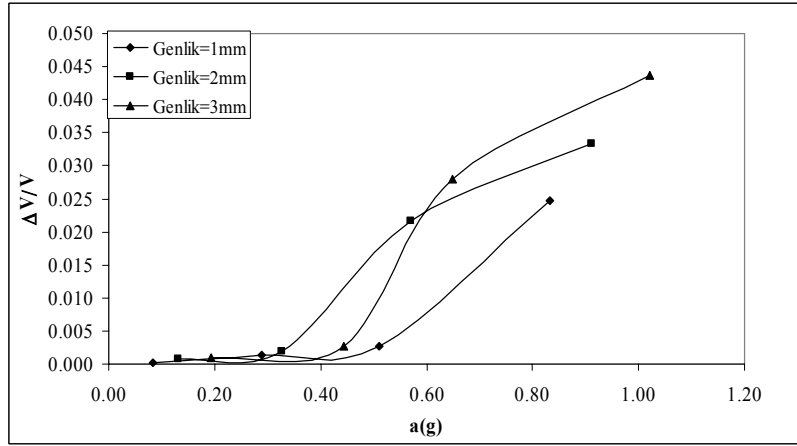
Bu şekilden artan yer ivmesi ile hacimsel birim deformasyonun arttığı görülmektedir. Şekil 5.72b’de ise hacimsel birim deformasyonların herbir genlik için ivmelere göre değişimi çizilmiştir. Bu grafikten görüleceği gibi artış doğrusal değildir. Ayrıca belli bir eşik değerinden sonra artış ani olmakta ve ivmedeki artışın devam etmesiyle artış miktarı azalma eğilimi göstermektedir.

Çizelge 5.3 Homojen taş dolgu dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri

Deney No	Hacimsel Birim Deformasyon $\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)$	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S)		İvme büyümesi ( $A_m$ )	Sismik ivme a(g)	f (Hz)	A (mm)
			Sağ şev	Sol şev				
0103UTK	0.0003	0.007	0.49	0.69	1.002	0.084	3	1
0104UTK	0.0013	0.016	0.84	1.50	1.095	0.288	4	1
0105UTK	0.0028	0.080	4.10	4.31	1.224	0.511	5	1
0106UTK	0.0247	0.130	6.19	5.99	1.275	0.833	6	1
0203UTK	0.0008	0.009	1.35	1.11	1.041	0.131	3	2
0204UTK	0.0019	0.017	1.64	1.47	1.099	0.328	4	2
0205UTK	0.0217	0.092	4.88	5.01	1.180	0.570	5	2
0206UTK	0.0332	0.141	8.79	8.47	1.365	0.911	6	2
0303UTK	0.0009	0.011	0.62	1.31	1.022	0.193	3	3
0304UTK	0.0026	0.037	1.74	1.73	1.110	0.444	4	3
0305UTK	0.0280	0.119	5.60	5.24	1.251	0.648	5	3
0306UTK	0.0399	0.155	9.41	10.00	1.430	1.021	6	3



(a)



(b)

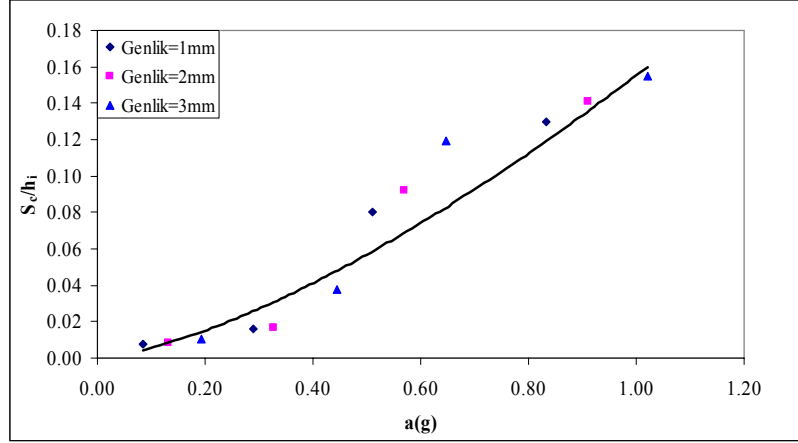
Şekil 5.72 Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.

Benzeri çalışma kesitteki birim oturma miktarı  $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$  için yapılmıştır. Bu amaçla  $S_c$  oturma miktarı  $h_i$  kesitin başlangıç yüksekliğine bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Elde edilen boyutsuz büyüklük birim oturma miktarını temsil etmektedir. Bu miktarın zemin ivmesine göre değişimi Şekil 5.73a'da verilmiştir. Değişimin iyi korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Korelasyon sayısı  $R=0.955$  olarak hesaplanmıştır. Değişim aşağıdaki ifade ile temsil edilebilmektedir;

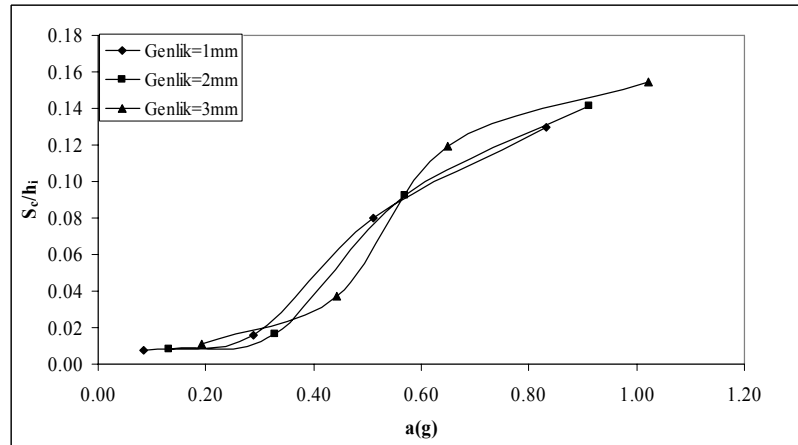
$$\left(\frac{S_c}{h_i}\right) = 0.16 a_g^{1.45} \quad (5.2)$$

Şekil 5.73b'de birim oturmalar herbir genlik için ivmelere göre çizilmiştir. Birim oturmaların hacimsel birim deformasyonlara benzer bir değişim gösterdiği bu grafikten görülmektedir.

Artış doğrusal değildir ve bir eşik değeri aşıldıktan sonra birim deformasyonda ani bir artış gözlemlenmektedir. Ancak bu ivme artışıyla birlikte, artış miktarı azalma eğilimi göstermektedir.



(a)



(b)

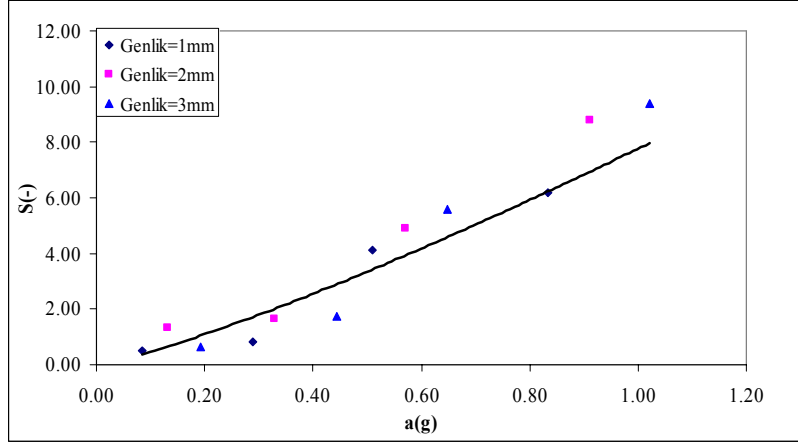
Şekil 5.73 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi

Diğer boyutsuz parametre ise şevlerdeki hasar seviyeleridir (S), bu parametrenin zemin ivmesi ile değişimi her iki (sağ ve sol) şev için ayrı ayrı ifade edilmiştir. Sağ ve sol şevler için değişimlere ait korelasyon sayıları sırasıyla  $R=0.919$  ve  $R=0.943$  olarak hesaplanmıştır. Buradan değişimdeki uyumunun oldukça iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca her şev için değişimleri temsil eden bağıntılar aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

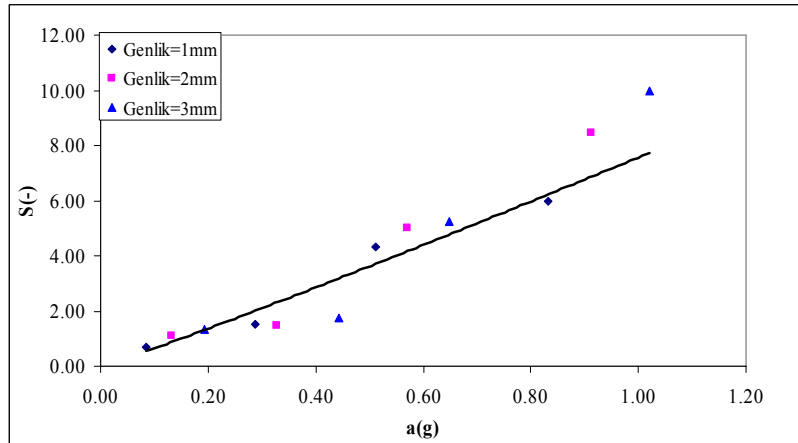
$$\text{Sağ şev için; } S=7.77 a_g^{1.22} \quad (5.3)$$

$$\text{Sol şev için; } S=7.57 a_g^{1.06} \quad (5.4)$$

Şekil 5.74-75'te her iki şevdeki hasar seviyesinin hemen hemen aynı olduğu ve simetrik davrandığı görülmektedir. Bu durum tek boyutlu sismik tanktaki ölçek etkilerinin küçük olduğunu göstermektedir. Yine hasar miktarının da zemin ivmesi ile arttığı görülmektedir. Yine şekillerden rijit temel üzerinde yer alması durumunda 0.8g değerinden sonra tam hasarın ( $S \geq 8$ ) oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.74 Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi



Şekil 5.75 Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi

Ayrıca sarsma tankının kesit altında sahip olduğu sismik ivmenin kesitin kretinde ne kadar büyüdüğünü belirlemek amacıyla ivme zaman grafikleri parazit kaynaklardan temizlenerek filitrelenmiş (Şekil 5.76) ve gerek zemin gerekse kret ivmelerinin maksimum değerleri kullanılarak maksimum ivme değerlerine göre büyüme ( $A_m$ ) miktarları hesaplanmıştır. İvme büyüme miktarı kret ivmesinin zemin ivmesine oranı ( $a_{gc}/a_{gb}$ ) şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca rölatif ivme büyümesi de  $A_{mr}=(a_{gc}-a_{gb})/a_{gb}$  ile temsil edilmiştir. İvme büyüme miktarı Şekil 5.77'de zemin ivmesine karşılık çizilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi ivme büyümesi zemin ivmesi arttıkça kesitte artmaktadır bu da kesitteki deformasyon miktarının büyümesine neden

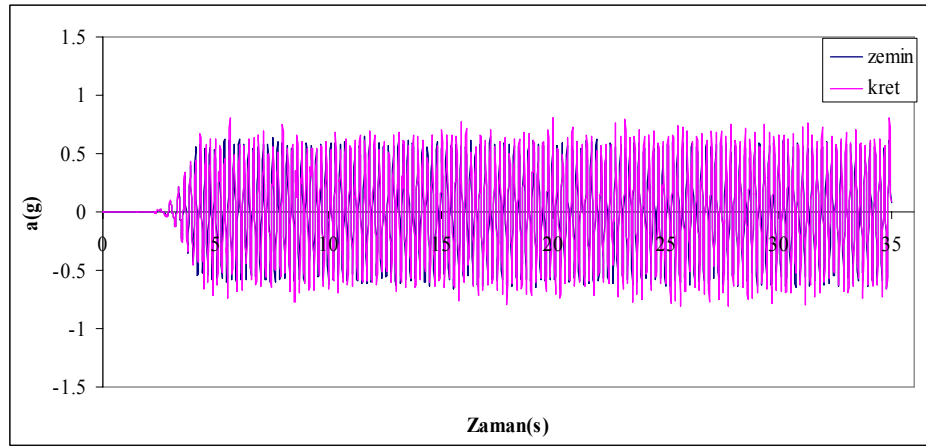
olmaktadır. Değişimin korelasyonu  $R=0.925$  olarak bulunmuştur. Değişim aşağıdaki bağıntıya sahiptir;

$$A_m=1.32a_g^{0.13} \quad (5.5)$$

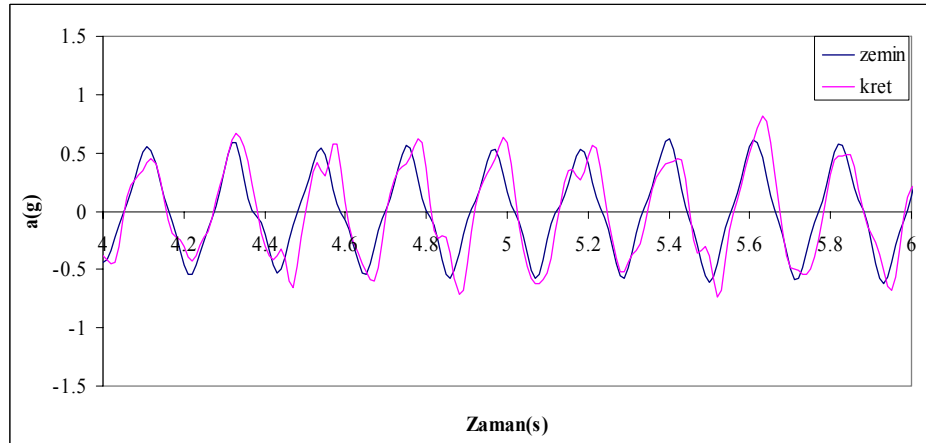
Benzeri değişim rölatif ivme büyümesi için Şekil 5.78'de verilmiştir, yine bu değişimin korelasyonu  $R=0.928$  olarak bulunmuştur. Değişim;

$$A_{mr}=0.53 a_g^{1.81} \quad (5.6)$$

ile temsil edilebilmektedir.

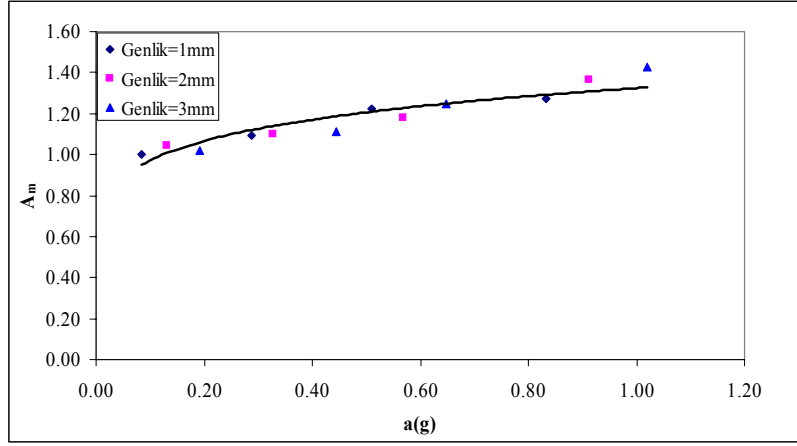


(a) filitrelenmiş 3mm 5 Hz ivme için ivme-zaman grafiği

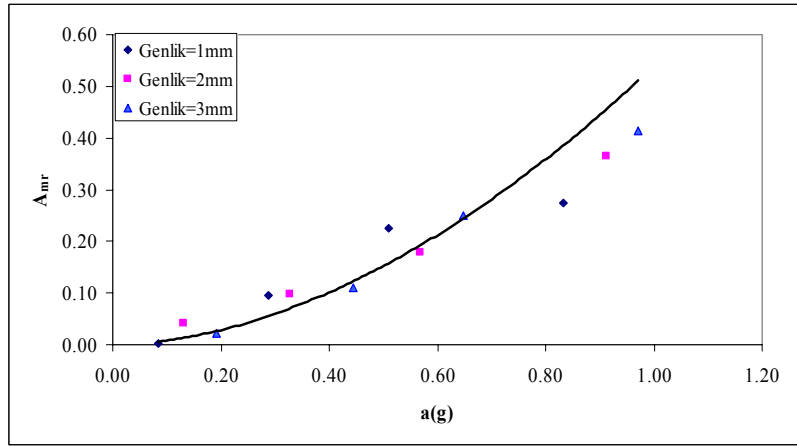


(b) filitrelenmiş 3mm 5 Hz 4-6. s'ler için ivme-zaman grafiği

Şekil 5.76



Şekil 5.77 İvme büyümesinin değişimi



Şekil 5.78 Rölatif ivme büyümesinin değişimi

### 5.1.2 Su İçinde Üniform Kesitin Sismik Davranışı

Deneysel çalışmanın bu aşmasında dalgakıran modelinin 40 cm derinliğindeki su içinde sismik davranışı test edilmiştir. Kuru haldeki benzer deney koşulları yaratılmıştır, böylece kuru ve su içindeki sismik davranışların karşılaştırması yapılabilmektedir. Çizelge 5.2’de sismik tankta yapılan su içindeki deneyler sonrası belirlenen parametreler özetlenmiştir. Bu parametreler tankın sahip olduğu frekans ve genlikler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Su içinde model kesitinde meydana gelen değişimler 1, 2, 3 mm genlik, 5-6 Hz frekans kombinasyonu için Şekil 5.79’den 5.114’e kadar sırayla verilmiştir. Her üç genlik değeri için 3-4 Hz frekans durumunda ortaya çıkan değişimler Ek3’te gösterilmiştir.

Su içinde meydana gelen kesit deformasyonları ile kuru durumdaki deformasyonlar karşılaştırıldığında, su içindeki model kesitinin deformasyonlarının daha fazla olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni su içinde dalgakıran kesitini oluşturan elemanların ağırlığının batıklık nedeniyle azalması ve sismik davranış sırasında kesit içindeki boşluk suyu basıncının

ortaya çıkmasıdır. Ayrıca Şekil 5.79 (b)'den görüldüğü gibi kaydedilen zemin, model kreti, model sağ şev ve sol şevlerine ait ivme değerleri karşılaştırıldığında, şevlerde ivmenin diğer konumlara göre daha büyük olduğu belirlenmiştir.

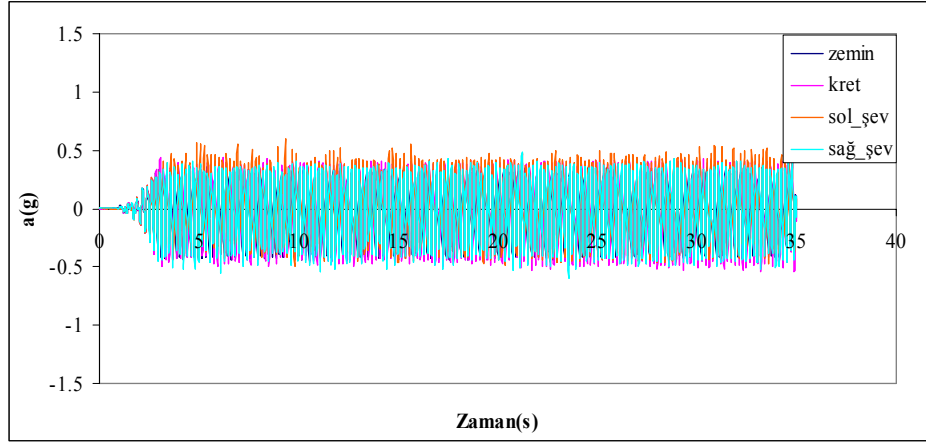
Kesit deformasyonu kuru ortamdakine benzer biçimde model kretinde düşme ve şevlerde göçme biçiminde meydana gelmesine rağmen su içindeki kesitin şev kaymaları daha belirginleşmiştir.

Kuru ortamdakine benzer olarak frekans değerlerinin artması ile oturma ve yayılmanın arttığı gözlemlenmiştir. Yine su içindeki hal için de görüntü işleme tekniği kullanılarak model kesitindeki deformasyonun zamanla değişimi incelenmiştir. Şekil 5.115 ve 5.116'da belirgin anlardaki değişimler görülmektedir. Uygulanan çevrimsel yük altında model kesitinde oluşan deformasyonun zamansal gelişiminin belirlenmesi amacıyla deneylerin zamanla değişimi izlenmiştir, Şekil 5.117'den 5.123'e kadar verilen örneklerden görüldüğü gibi genellikle kesitteki deformasyonun % 60'nın ilk 10 s'de %80'lik kısmının ise ilk 20 s'de oluştuğu anlaşılmaktadır. Yaklaşık olarak 30 s'de kesitteki deformasyon tamamlanmaktadır. Bu durum büyük frekanslarda daha erken meydana gelmektedir ve deformasyonun %80'i ilk 10 s'de oluşmaktadır, ayrıca genelde deformasyon öncelikle kret düşmesinde meydana gelmektedir.

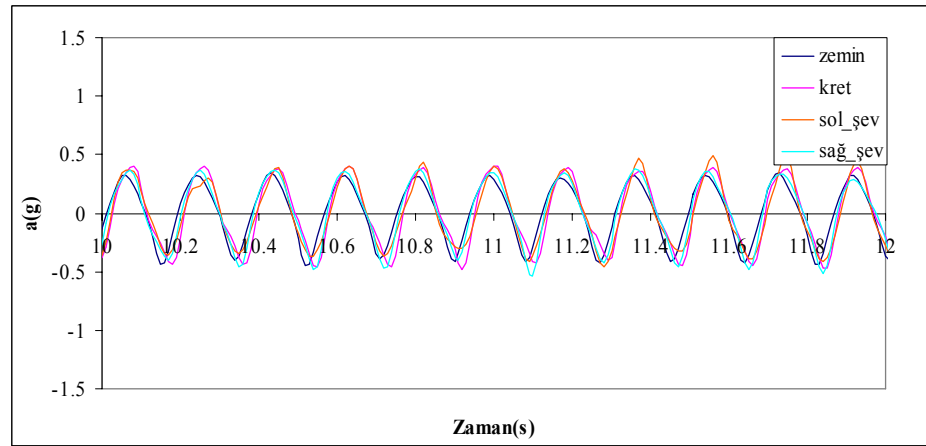
Çizelge 5.4 Su içinde kesit geometresine ait ölçüm sonuçları.

			Sağ şev (mm <sup>3</sup> )		Sol şev (mm <sup>3</sup> )		Sağ şev (mm <sup>2</sup> )		Sol şev (mm <sup>2</sup> )		Sağ şev (mm <sup>2</sup> )	Sol şev (mm <sup>2</sup> )	Sağ şev	Sol şev
D.N	Maksimum Düşey Deplasman (Sc) mm	Toplam Hacim (ΔV) × 10 <sup>5</sup> mm <sup>3</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	Hasar (S)	Hasar (S)
0103UTS	5.92	10.39	11.98	14.36	11.70	9.40	1.24	1.48	1.21	0.97	0.25	0.24	0.57	0.56
0104UTS	11.41	45.20	22.53	19.64	28.39	14.66	2.32	2.03	2.93	1.51	0.30	1.41	1.08	1.36
0105UTS	66.68	192.67	116.81	51.35	118.47	142.43	12.04	5.29	12.21	14.68	6.75	2.47	5.59	5.67
0106UTS	71.52	290.53	140.32	61.05	187.48	125.56	14.47	6.29	19.33	12.94	8.17	6.38	6.72	8.98
0203UTS	11.09	26.31	13.98	23.07	18.53	9.65	1.44	2.38	1.91	1.00	0.94	0.92	0.67	0.89
0204UTS	14.64	89.29	52.09	28.15	50.31	21.80	5.37	2.90	5.19	2.25	2.47	2.94	2.49	2.40
0205UTS	70.14	343.43	149.86	64.74	155.10	100.19	15.45	6.67	15.99	10.33	8.78	5.66	7.18	7.42
0206UTS	85.92	420.63	188.25	145.94	211.17	108.98	19.41	15.05	21.77	11.23	4.36	10.54	9.01	10.11
0303UTS	12.16	40.15	26.98	12.12	26.86	29.46	2.78	1.25	2.77	3.04	1.53	0.27	1.29	1.29
0304UTS	29.74	147.64	75.24	44.98	83.51	36.65	7.76	4.64	8.61	3.78	3.12	4.83	3.60	4.00
0305UTS	78.16	348.76	153.90	57.70	158.88	134.08	15.87	5.95	16.38	13.82	9.92	2.56	7.36	7.60
0306UTS	87.06	463.11	210.28	106.14	246.73	180.01	21.68	10.94	25.44	18.56	10.74	6.88	10.07	11.81



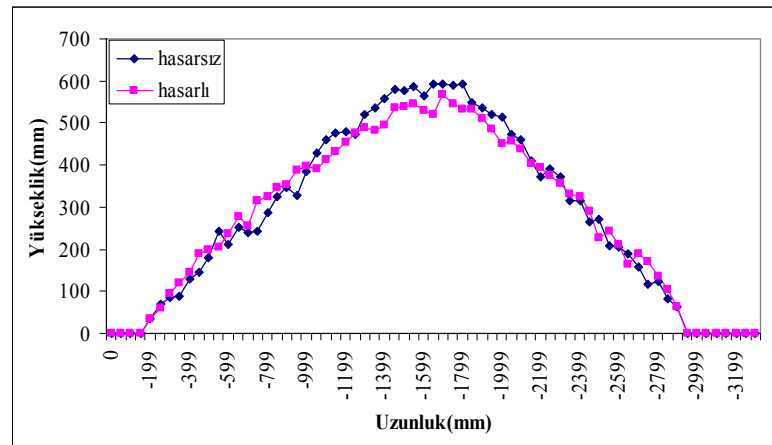


a) 1mm genlik 5 Hz için ivme değerleri

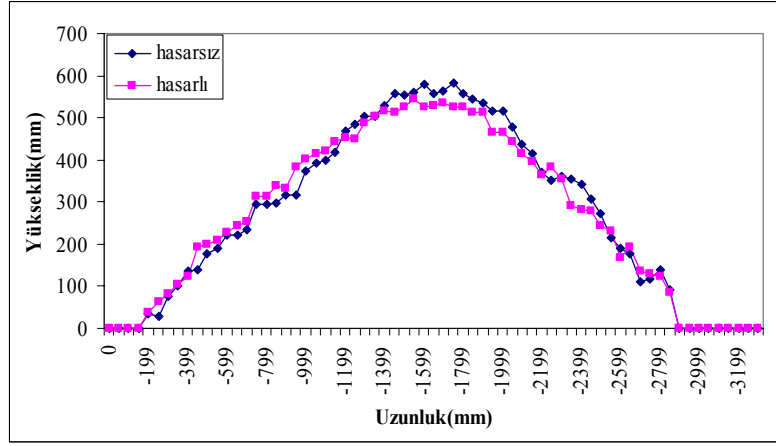


b) 1mm genlik 5 Hz için 10-12. s arasındaki ivme değerleri

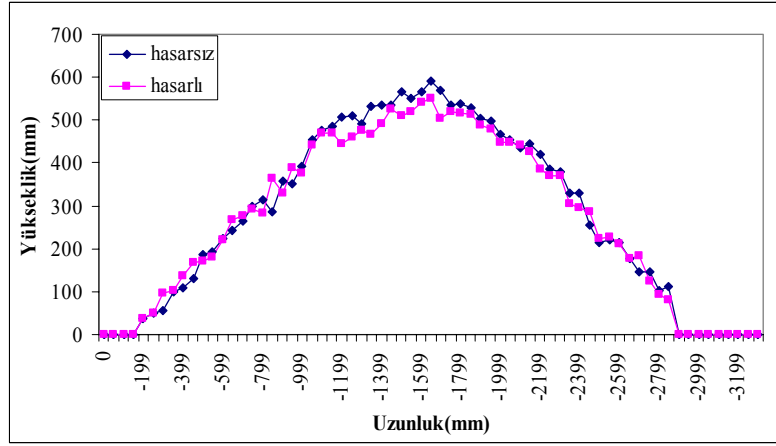
Şekil 5.79



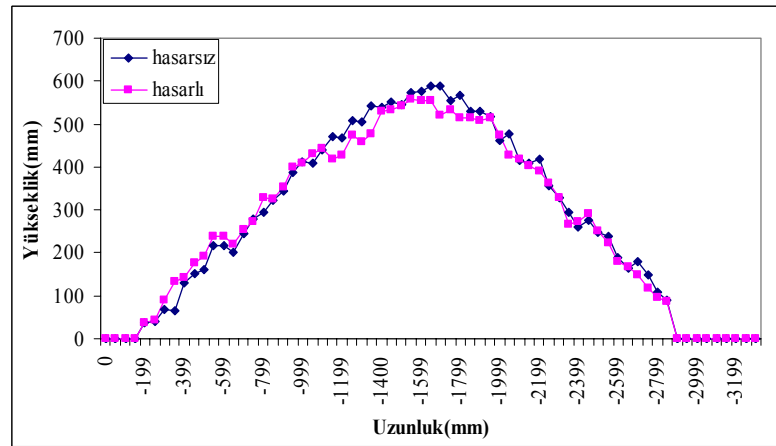
Şekil 5.80 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



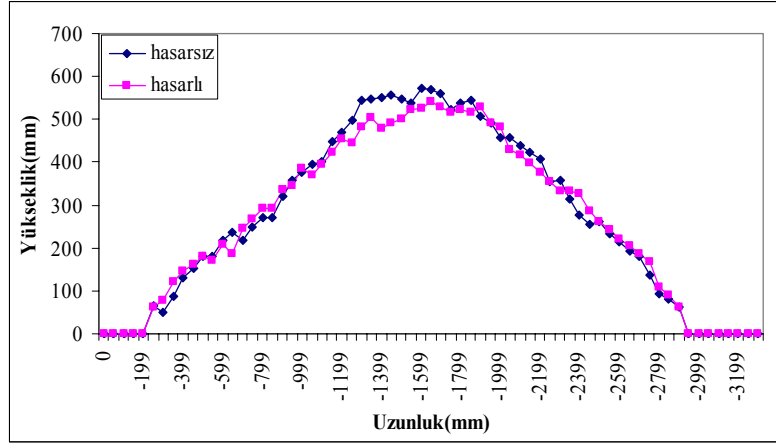
Şekil 5.81 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



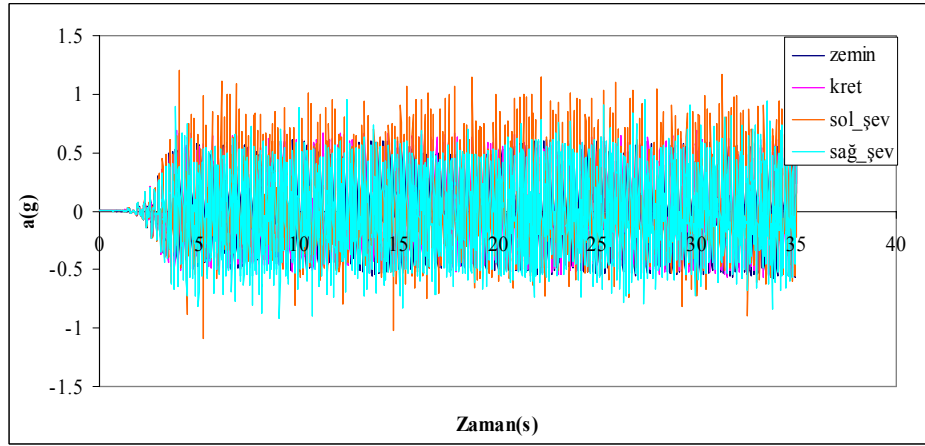
Şekil 5.82 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



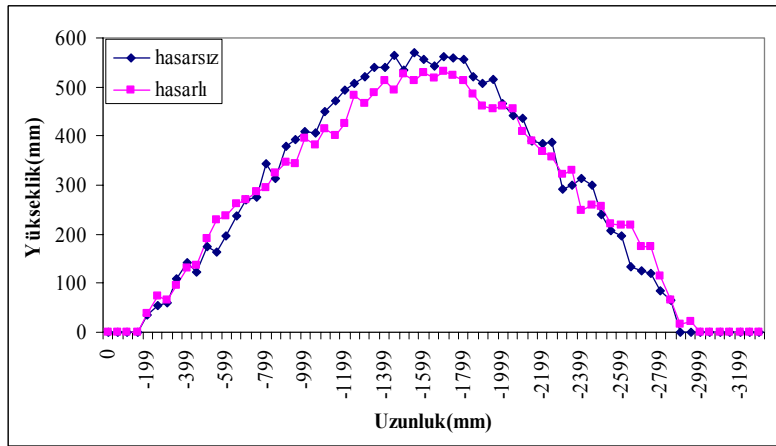
Şekil 5.83 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



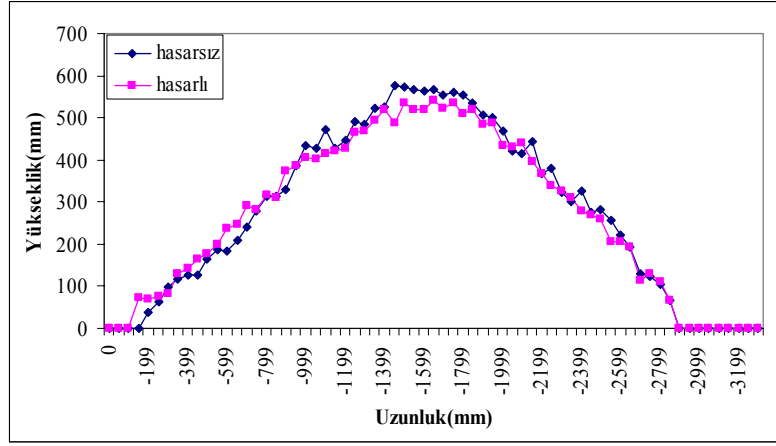
Şekil 5.84 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



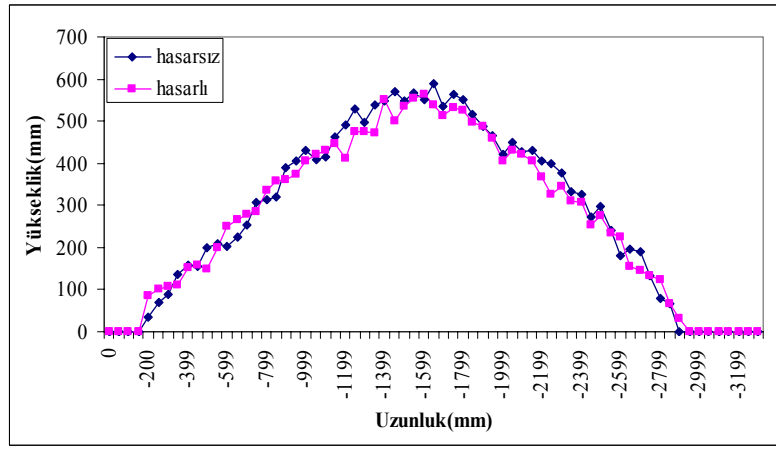
Şekil 5.85 1mm genlik 6 Hz için ivme değerleri



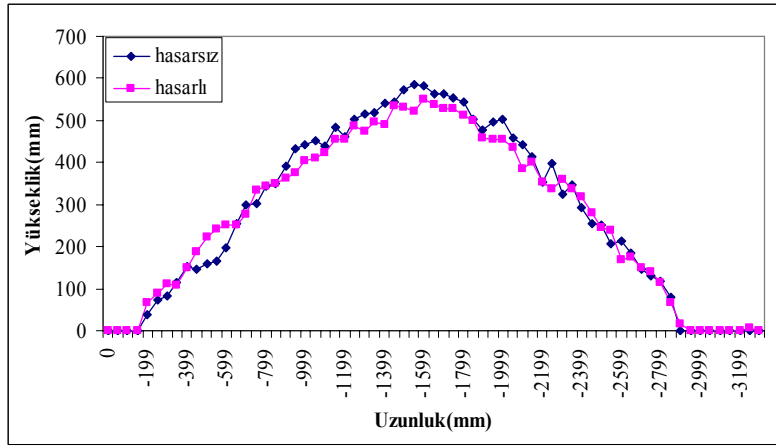
Şekil 5.86 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



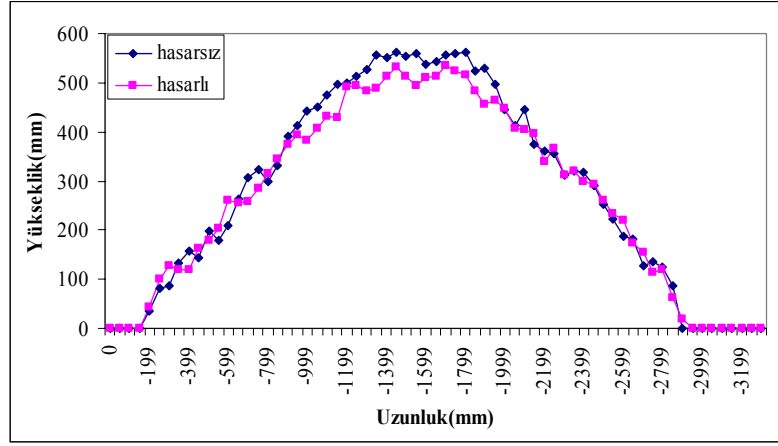
Şekil 5.87 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



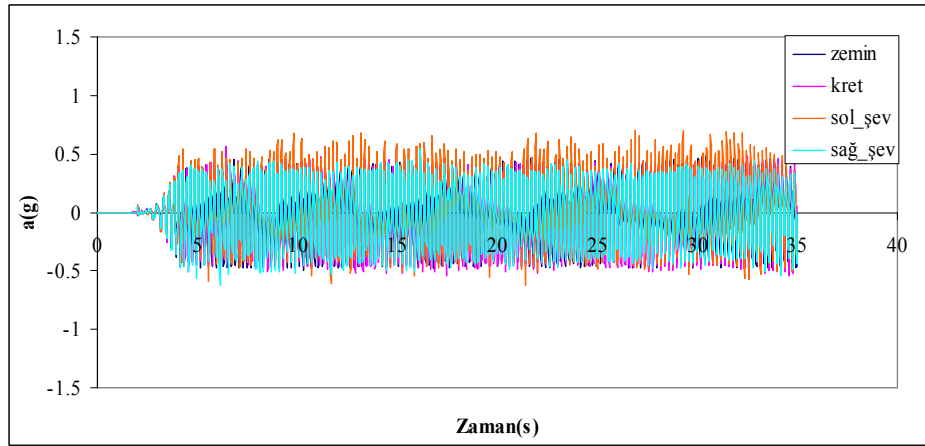
Şekil 5.88 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



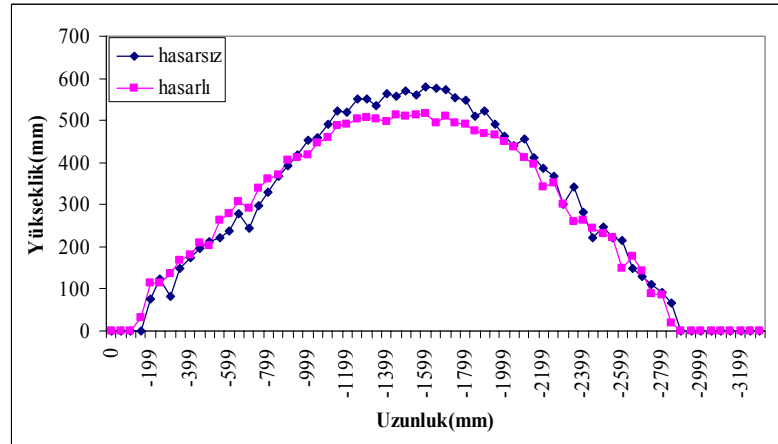
Şekil 5.89 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



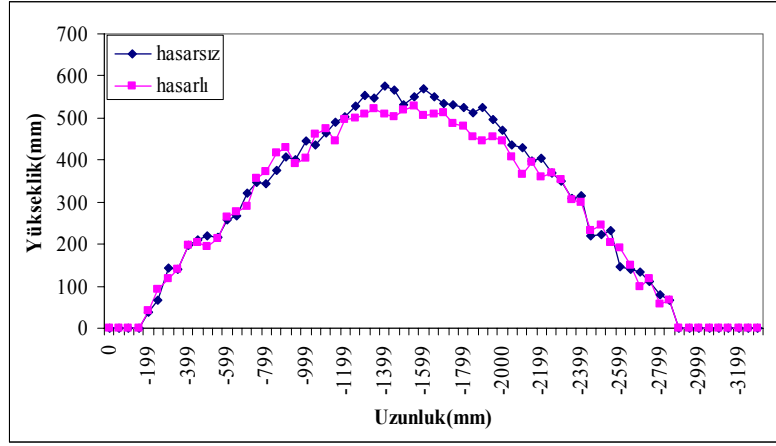
Şekil 5.90 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



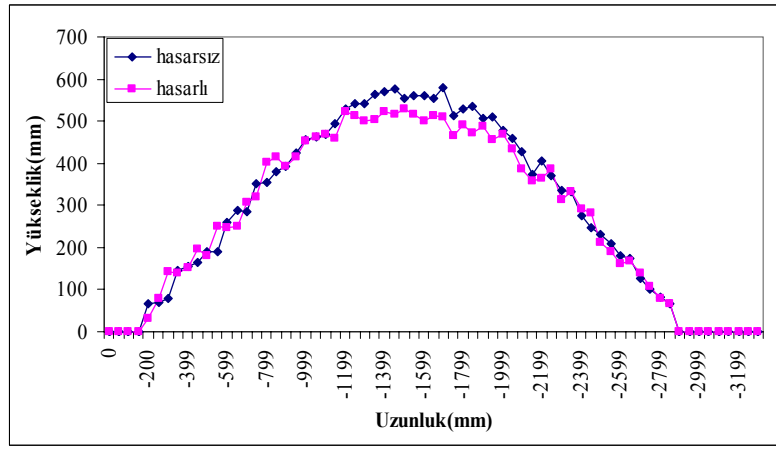
Şekil 5.91 2 mm genlik 5 Hz için ivme değerleri



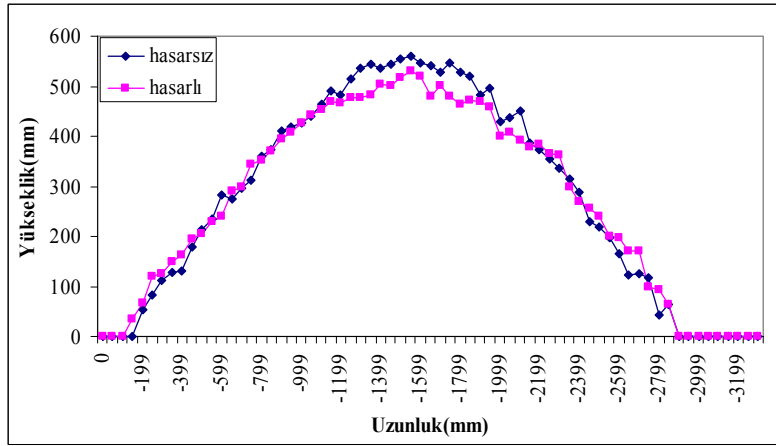
Şekil 5.92 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



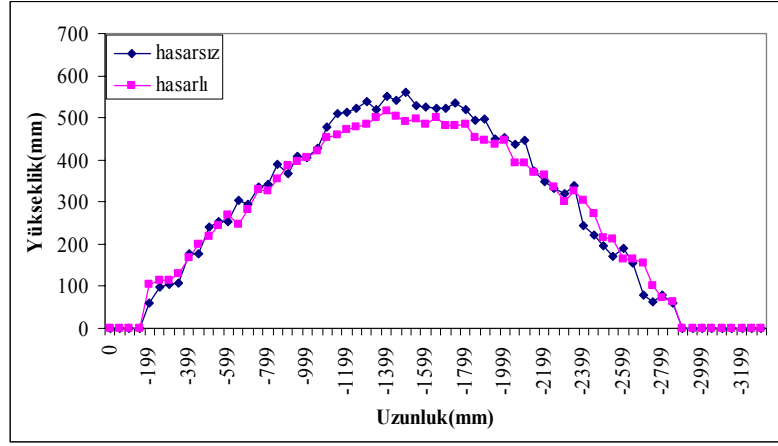
Şekil 5.93 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



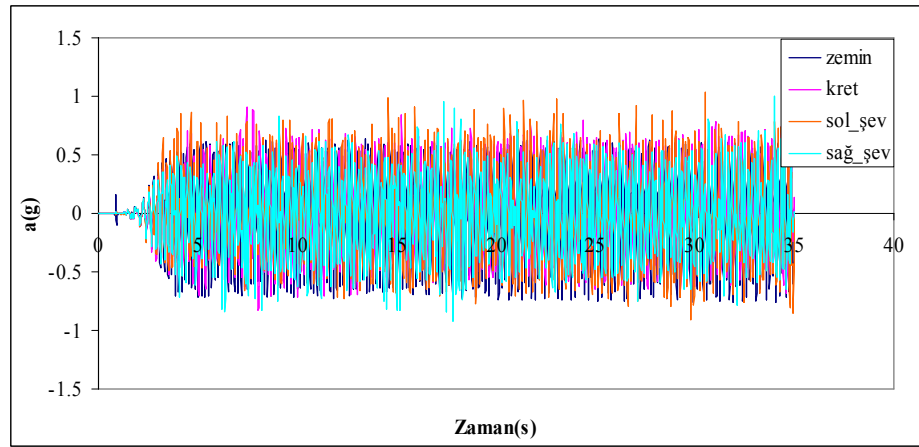
Şekil 5.94 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



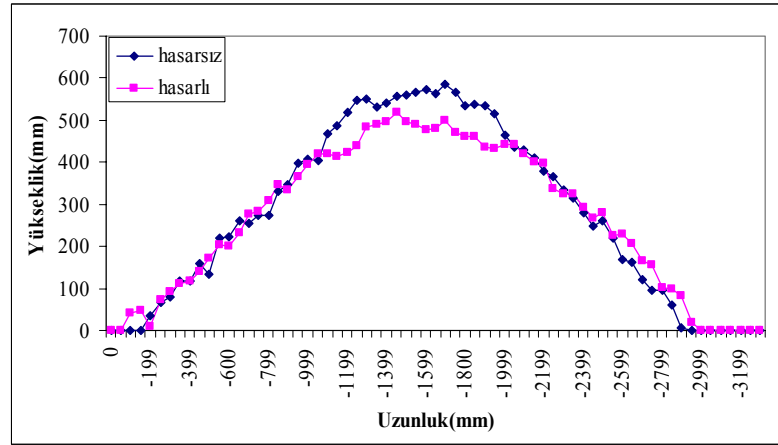
Şekil 5.95 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



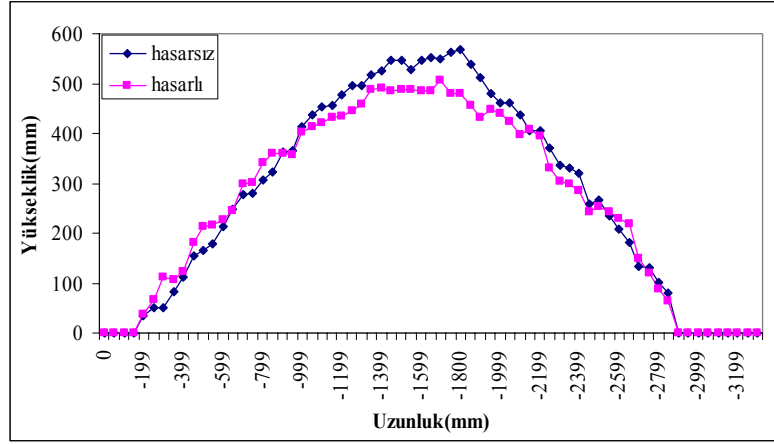
Şekil 5.96 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



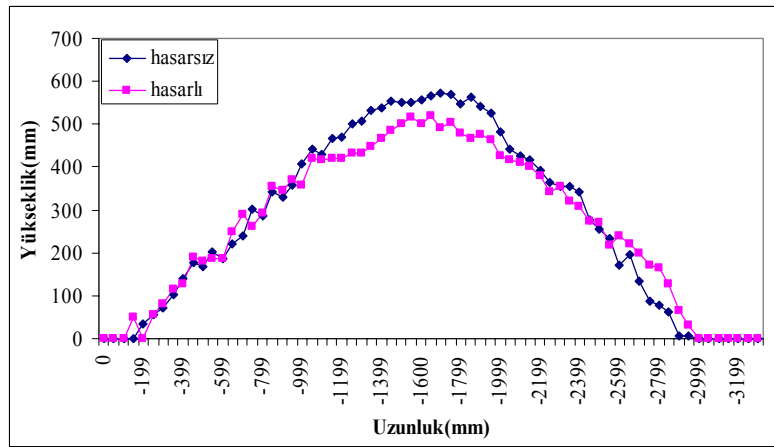
Şekil 5.97 2 mm genlik 6 Hz için ivme değerleri



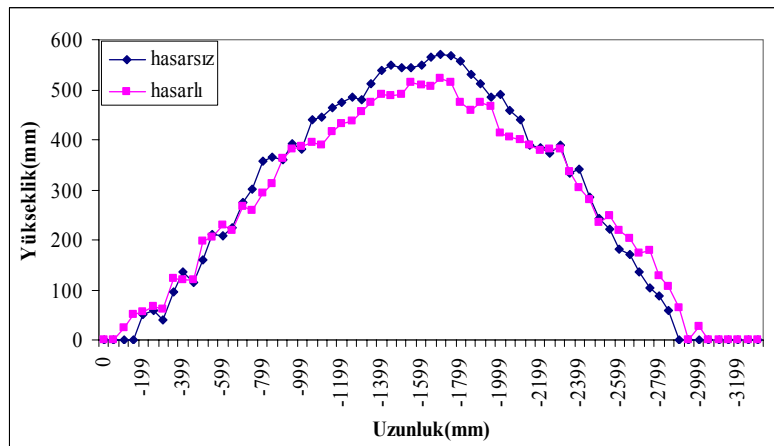
Şekil 5.98 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



Şekil 5.99 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)

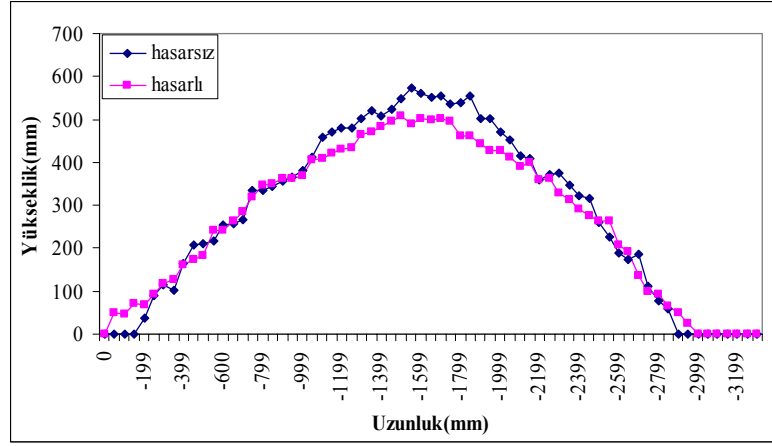


Şekil 5.100 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)

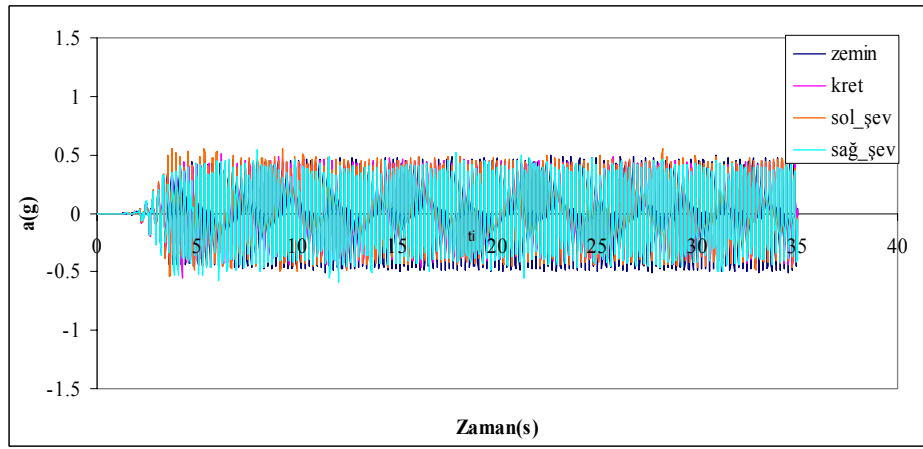


Şekil 5.101 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)

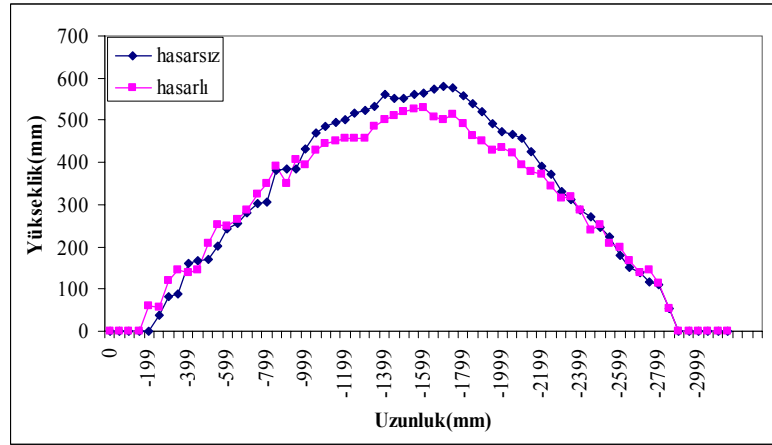




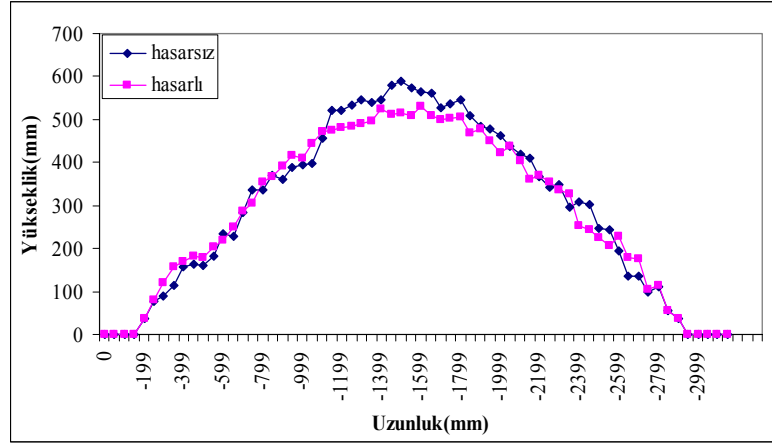
Şekil 5.102 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



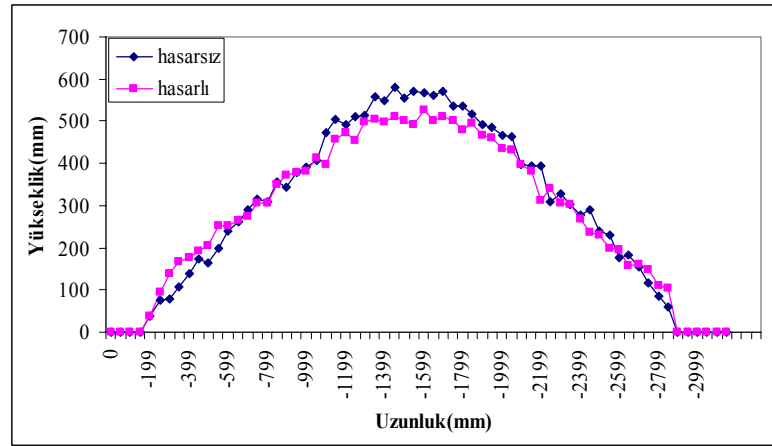
Şekil 5.103 3 mm genlik 5 Hz için ivme değerleri



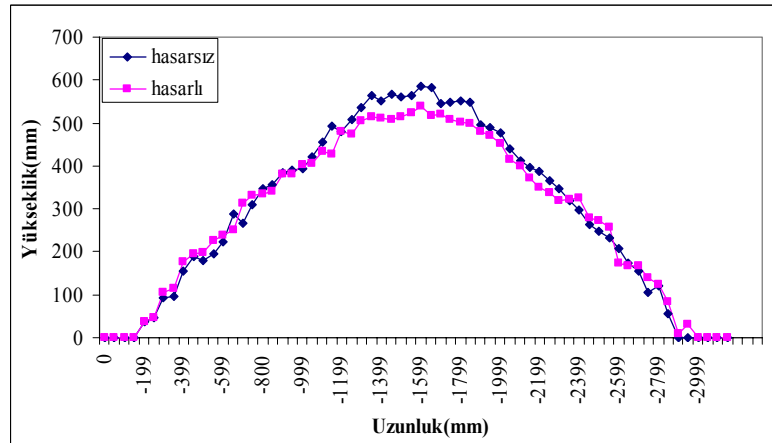
Şekil 5.104 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



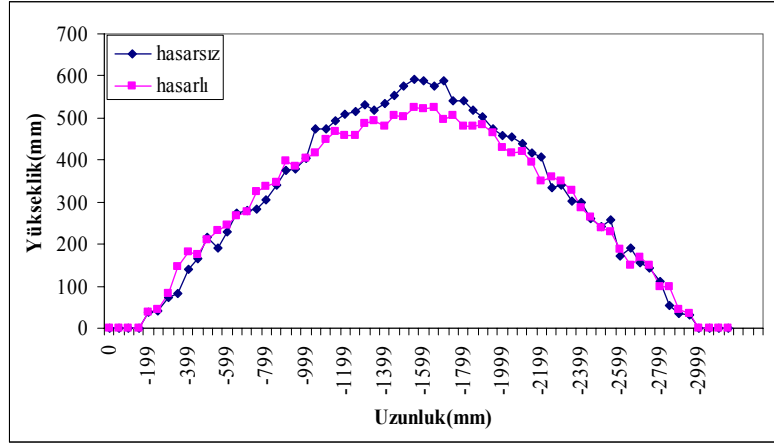
Şekil 5.105 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



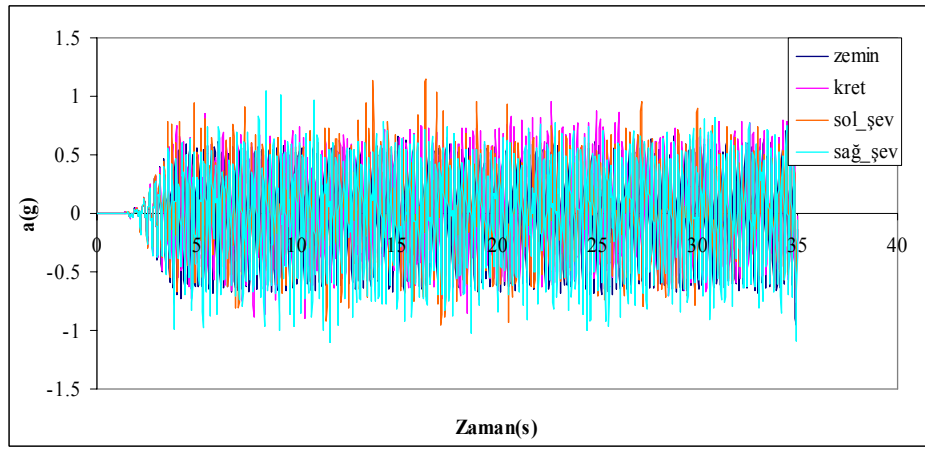
Şekil 5.106 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



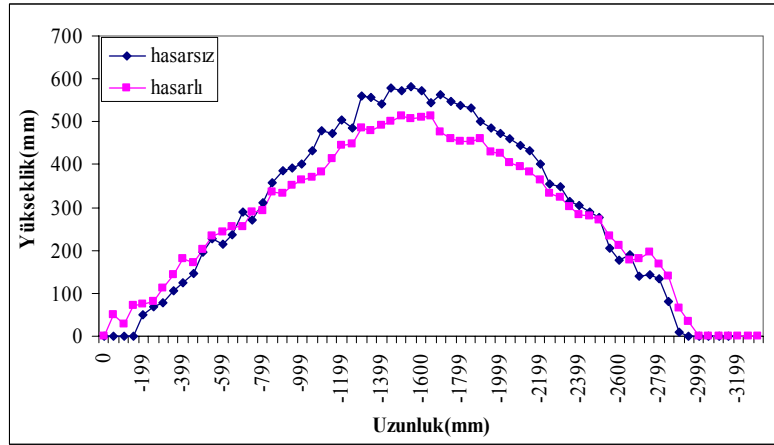
Şekil 5.107 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



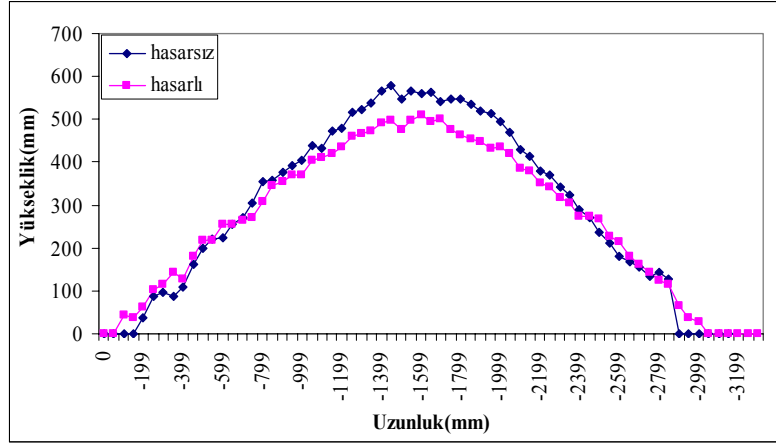
Şekil 5.108 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



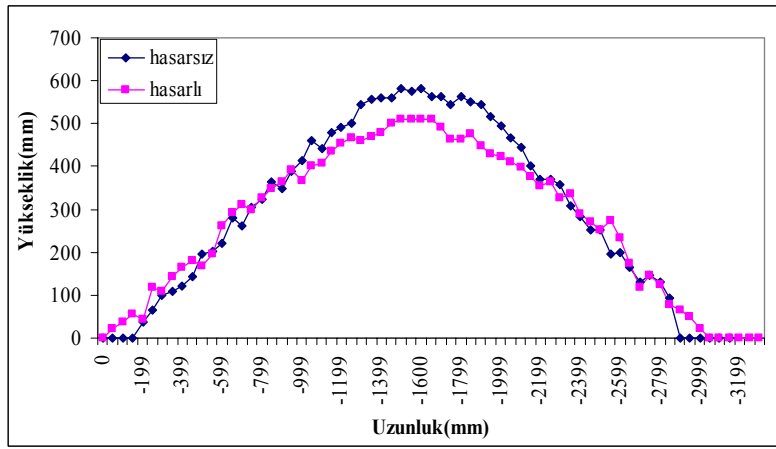
Şekil 5.109 3 mm genlik 6 Hz için ivme değerleri



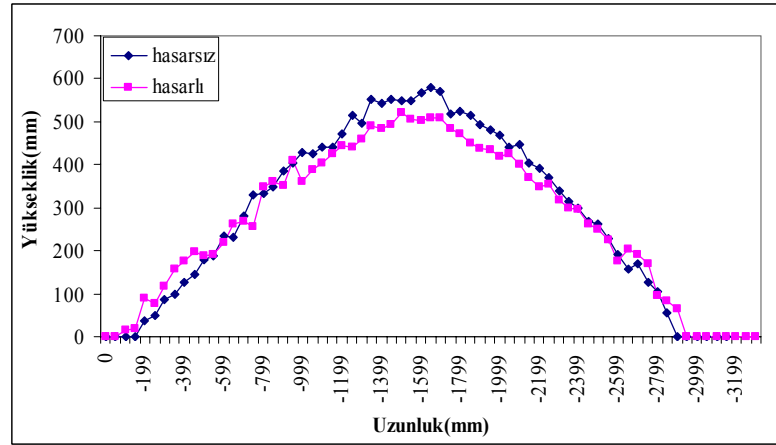
Şekil 5.110 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3mm, 6 Hz)



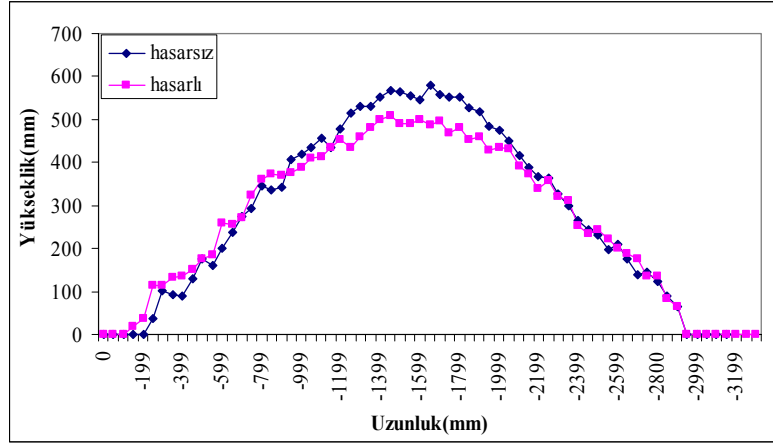
Şekil 5.111 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



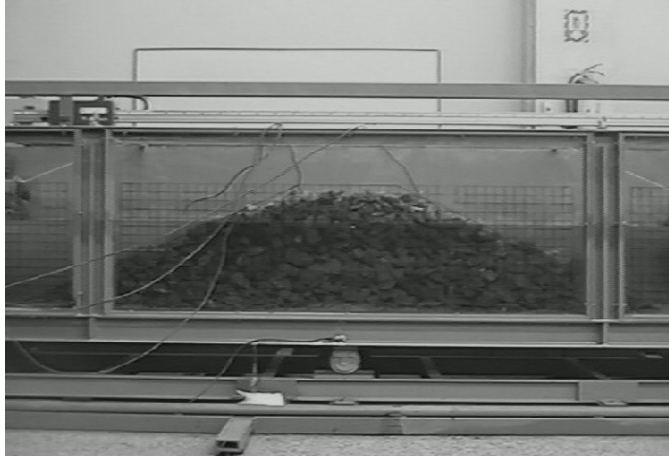
Şekil 5.112 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



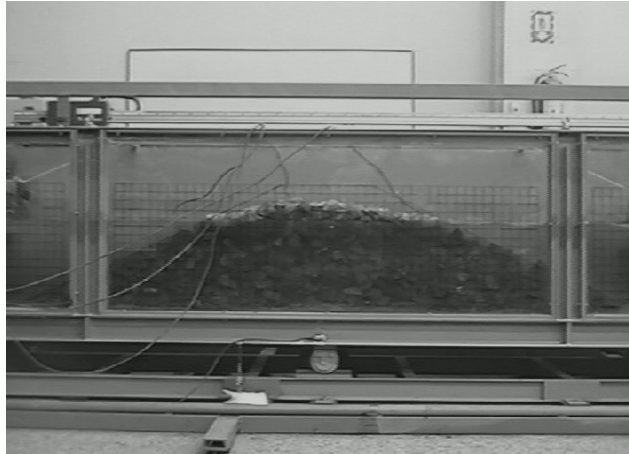
Şekil 5.113 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



Şekil 5.114 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)

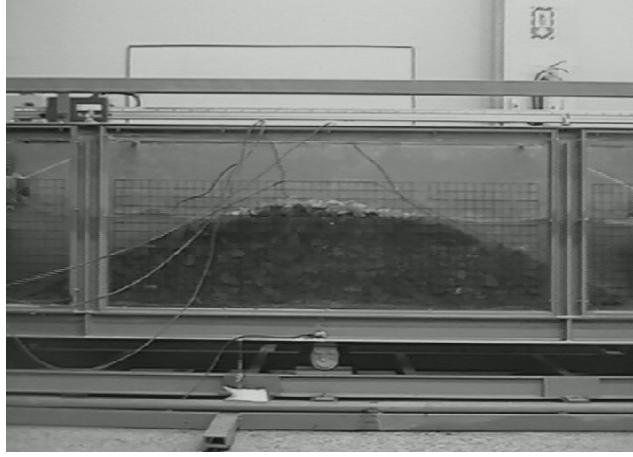


(a) 1. saniye

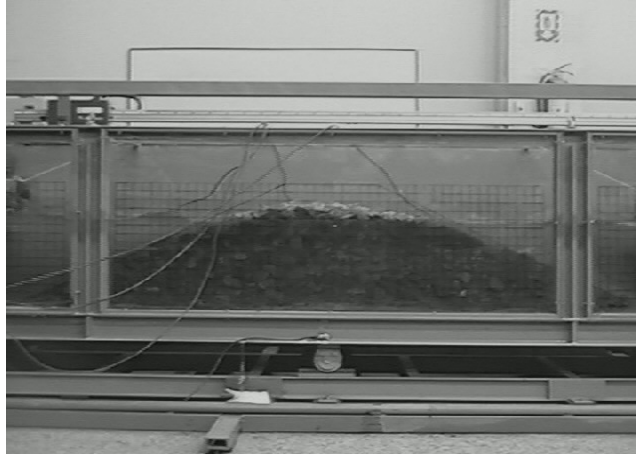


(b) 10. saniye

Şekil 5.115 2 mm genlik, 6 Hz frekans



(c) 26. saniye



(d) 30. saniye

Şekil 5.115 Devam

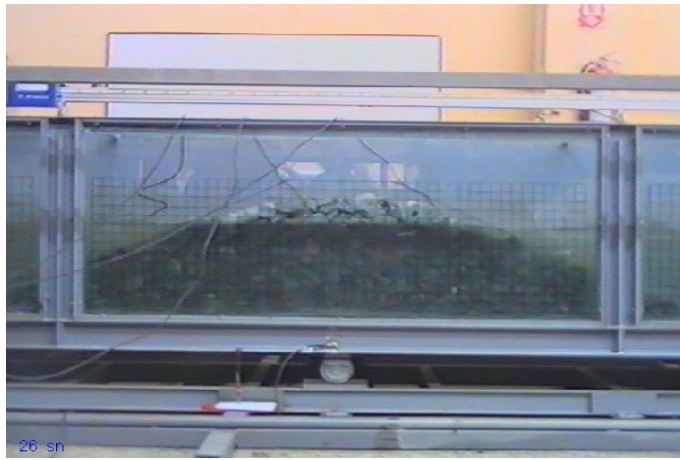


(a) 1. saniye

Şekil 5.116 3 mm genlik, 5 Hz frekans



(b) 12. saniye

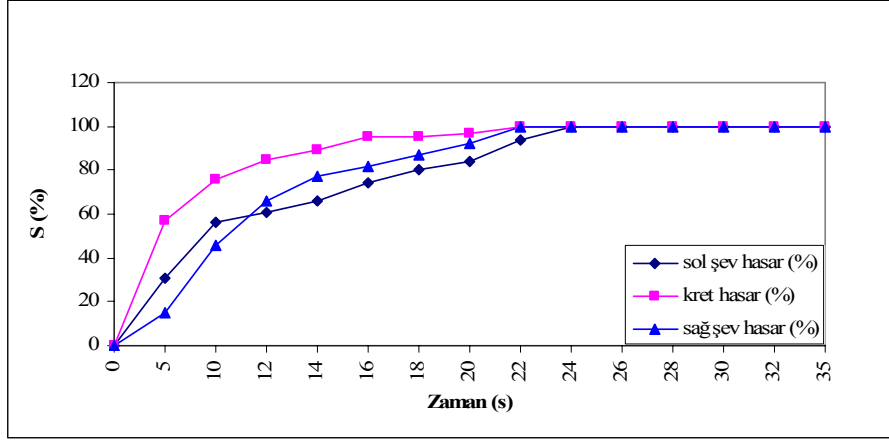


(c) 26. saniye

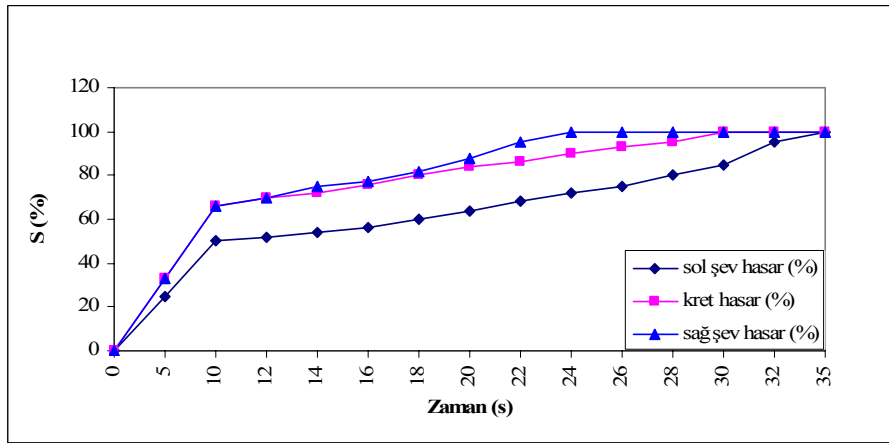


(d) 30. saniye

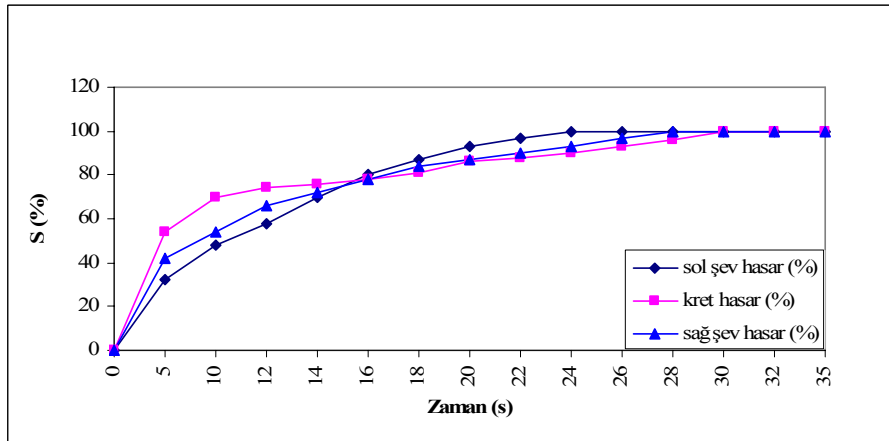
Şekil 5.116 Devam



Şekil 5.117 1mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi

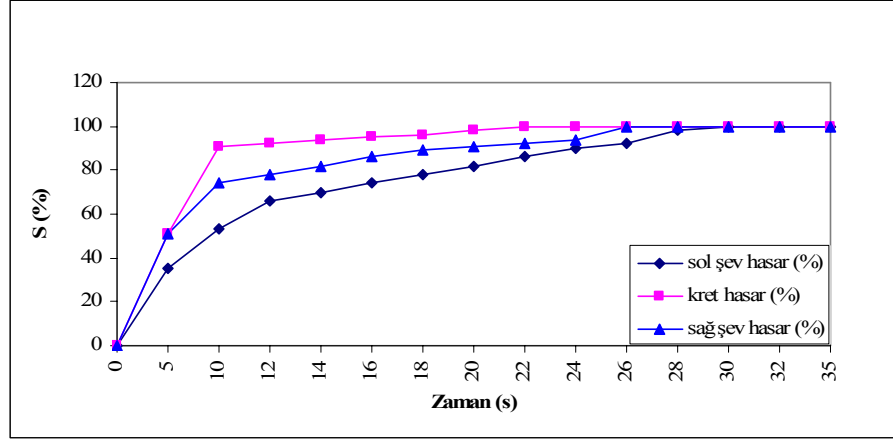


Şekil 5.118 1mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi

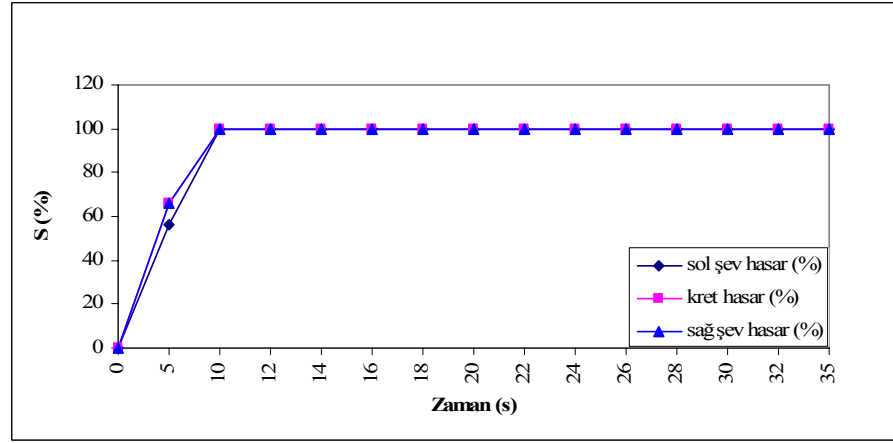


Şekil 5.119 2mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi

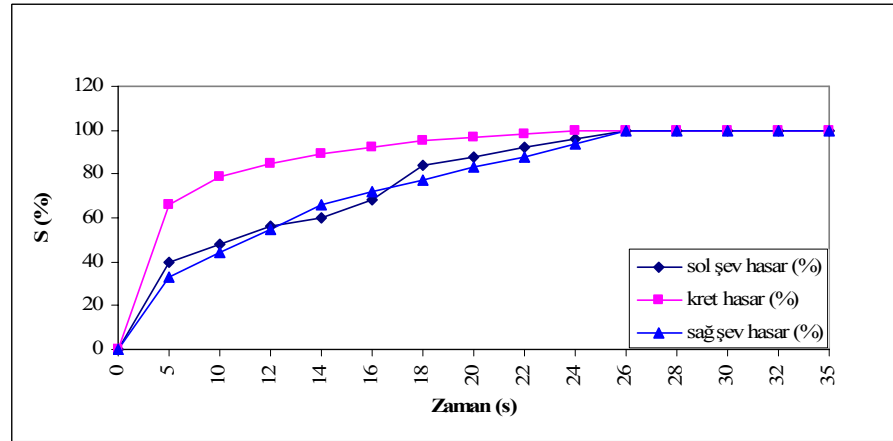




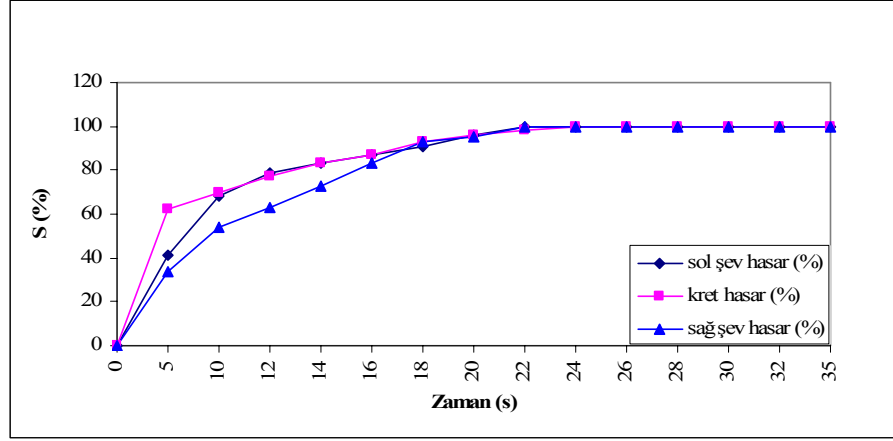
Şekil 5.120 2mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi



Şekil 5.121 3mm-4 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi

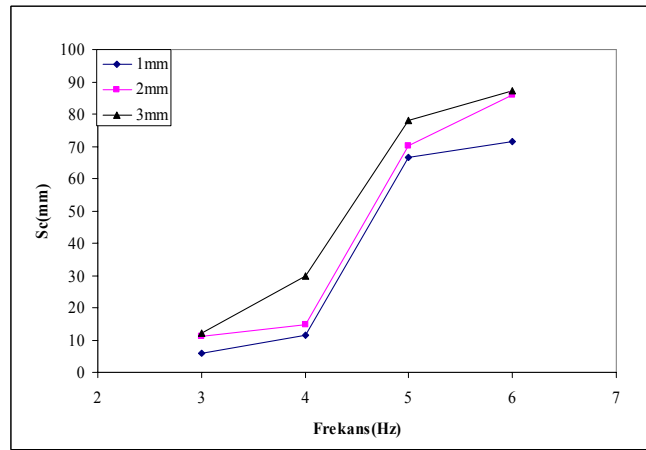


Şekil 5.122 3mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi

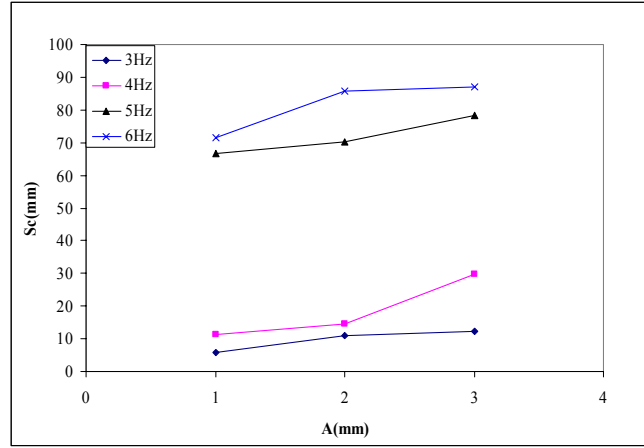


Şekil 5.123 3mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzdesi

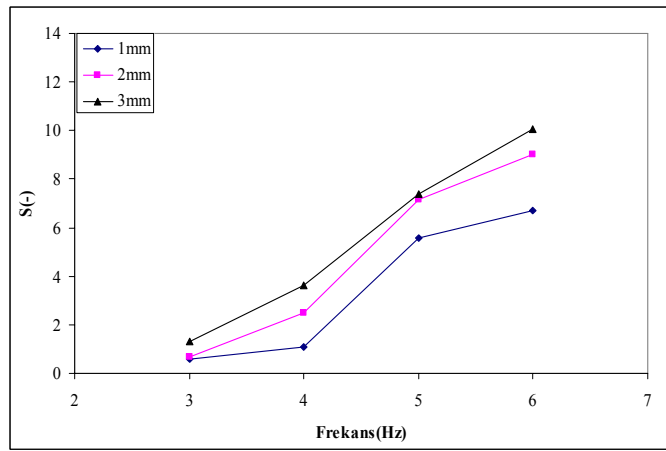
Şekil 5.124 ve 125’de homojen kesite sahip taş dolgu dalgakıranın kretinde oluşan oturmaların ( $S_c$ ) sismik tankın sahip olduğu frekans ile farklı genlikler için değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi her genlik değerinde frekansın artmasıyla oturma miktarı artmaktadır, oturma miktarı genliğin artmasıyla aynı frekans içinde büyümektedir. Ancak kesitteki oturma kuru durumda olduğu gibi 4 Hz’den sonra daha büyük bir artış eğilimine sahiptir. Su içindeki modelde meydana gelen kret düşmesi kuru hale göre daha fazla meydana gelmiştir. Şev kaymaları ise Şekil 5.126’den 5.129’a kadar gösterilmiştir.



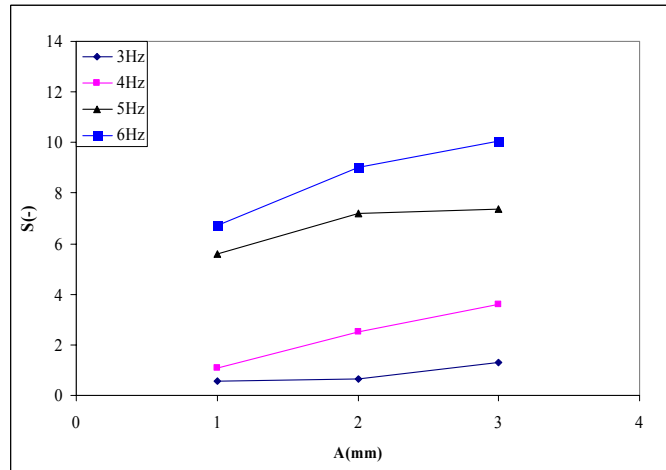
Şekil 5.124 Krettteki oturmanın tank frekansı ile değişimi



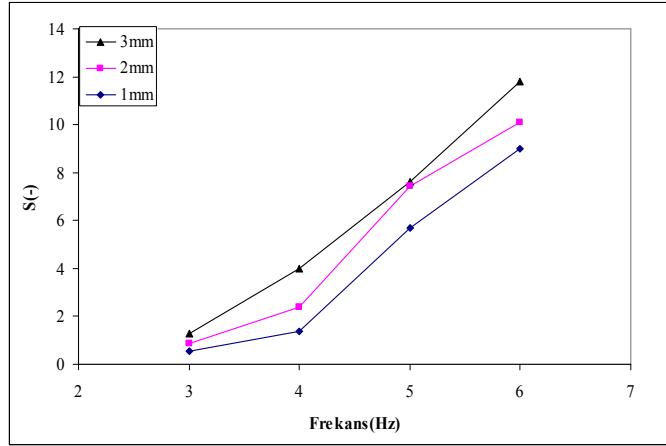
Şekil 5.125 Kretteki oturmanın genlikle değişimi



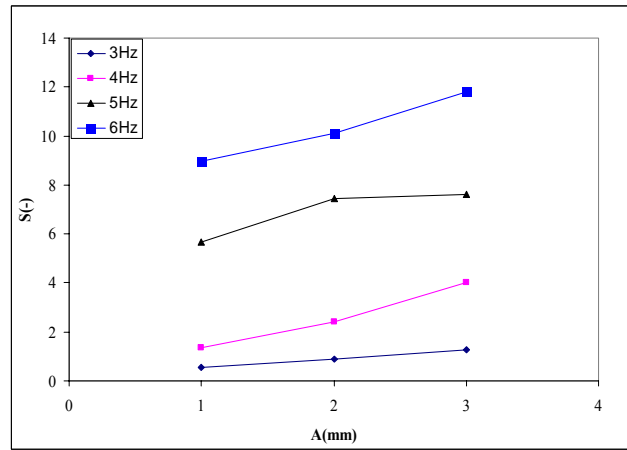
Şekil 5.126 Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri



Şekil 5.127 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri



Şekil 5.128 Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sol şevde oluşan hasar yüzdeleri

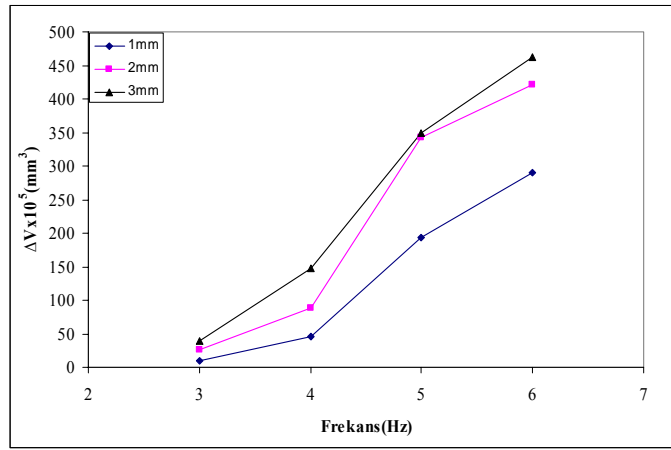


Şekil 5. 129 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hasar yüzdeleri

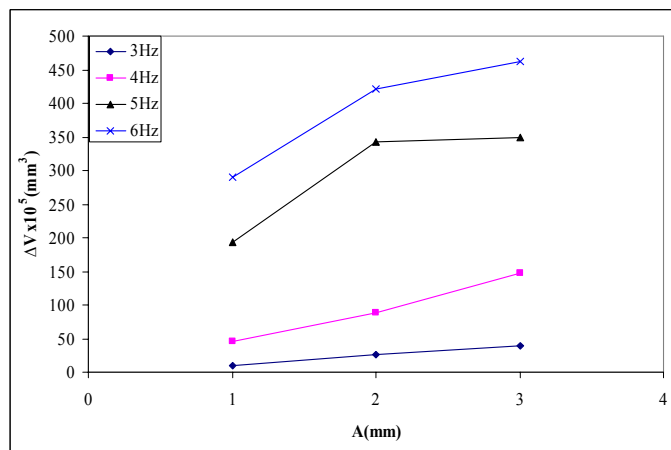
Şekil 5.130'da su içinde taş dolgu dalgakıran kesitinde frekansa bağlı olarak meydana gelen hacim değişimi gösterilmiştir. Dalgakıran hacminde meydana gelen değişimin kuru durumda olduğu gibi 4 Hz'den sonra oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 5.131'de ise dalgakıran hacminin genlikle değişimi verilmiştir, bu şekilden de genellikle hacim değişikliğinin artmasına karşın frekansın 4Hz'in üzerine çıkması durumunda hacimsel deformasyonda bariz artış göze çarpmaktadır. Şekil 5.132'den 5.139'a kadar şev deformasyonlarındaki hacimsel değişimler gösterilmiştir, su içindeki şev kayması kuru duruma göre incelendiğinde özellikle yığılmanın daha sistematik olduğu yani kesitteki sıkışma ile şev kayması daha eş zamanlı oluşmaktadır. Ancak yine de şev kayması davranışının genlik ve frekansa bağlı olarak belirgin şekilde sistematik bir değişim gösterdiği belirlenmemiştir. Kuru ortamdaki duruma benzer olarak rijit zemin üzerine yerleştirilmiş olan homojen malzemeden oluşan dalgakıran kesitinin sismik yüklemeye karşı gösterdiği davranışın belirgin olan yönü kesitte oluşan sıkışmadır. Şevlerde oluşan kayma davranışı ise

sıkışmaya nazaran daha az etkindir. Bunun nedenleri arasında dalgakıran modelini oluşturan malzemelerin birbirleri ile olan kenetlenmeleri ve zemin ile anroşman malzemesi arasındaki yüksek sürtünme katsayısı ( $\mu=1$ ) gösterilebilir. Bu durum şev kaymalarını engelleyici bir etki yaratmaktadır ve modelin gösterdiği davranışta sıkışmayı baskın kılmaktadır.

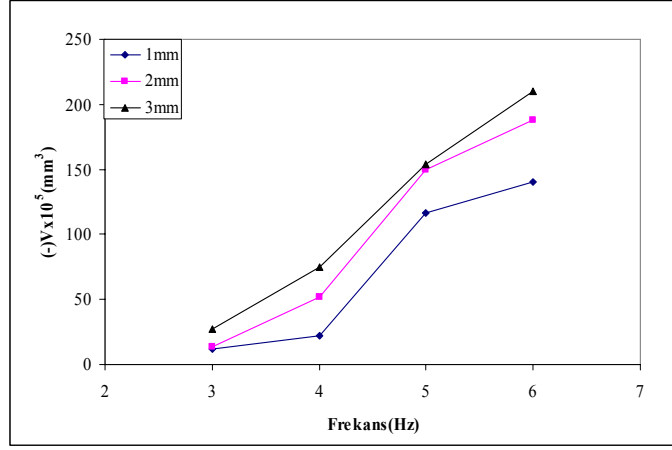
Şekil 5.140'dan 5.147'ye kadar şev deformasyonları için ortalama alanların değişimi gösterilmiştir. Ortalama alanların (yığılma ve oturma alanları) değişimi şevlerde oluşan hacimsel değişimler ile benzerdir. Şekil 5.148-151'de ise şevlerde oluşan ortalama mutlak alanların genlik ve frekanslara göre değişimi gösterilmiştir. Şev kaymalarının (yığılmanın) sistematik bir değişim göstermemesi sebebiyle ortalama mutlak alanların değişiminde de belirgin bir sistematiklik ya da denge durumu (oturma=yığılma) gözlenmemiştir.



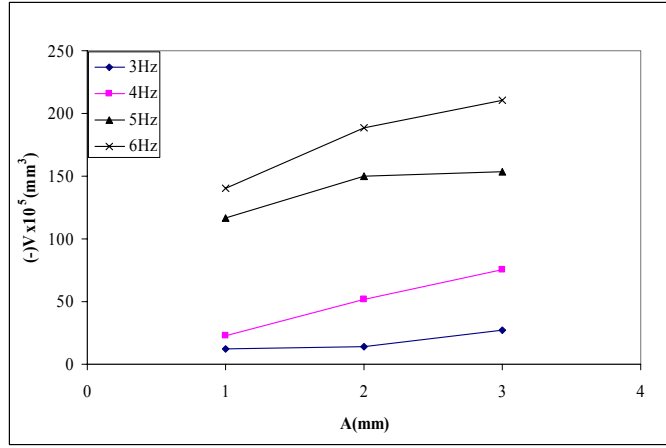
Şekil 5.130 Frekansa bağlı olarak farklı genlik durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi



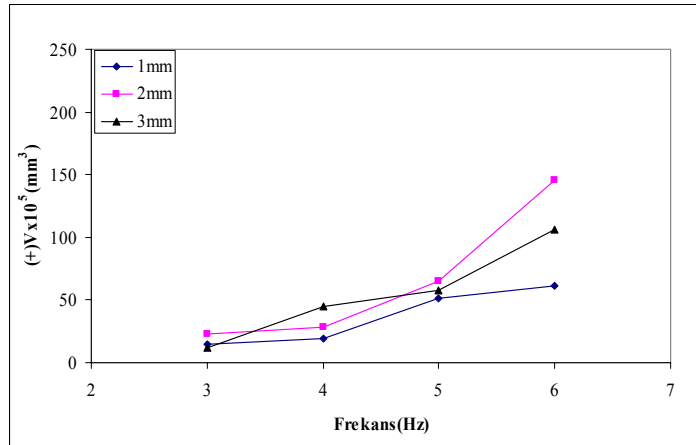
Şekil 5.131 Genliğe bağlı olarak farklı frekans durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi



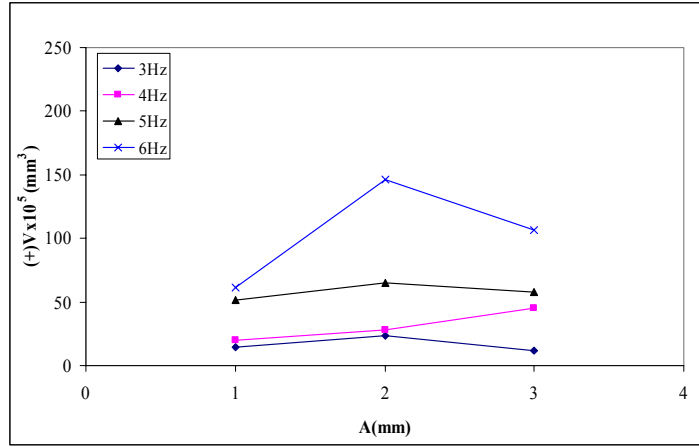
Şekil 5.132 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan hacimsel değişim



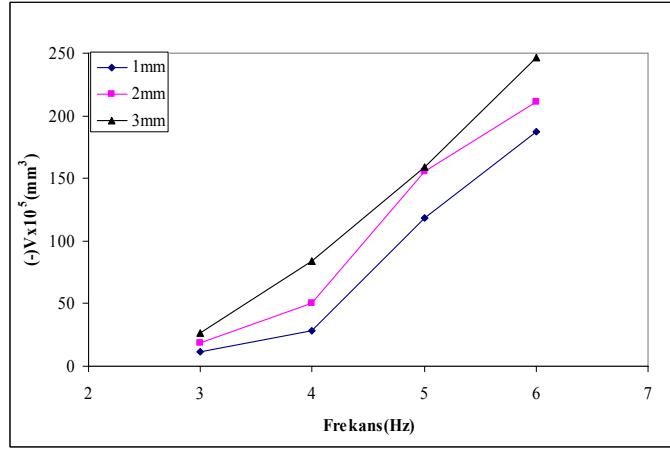
Şekil 5.133 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.



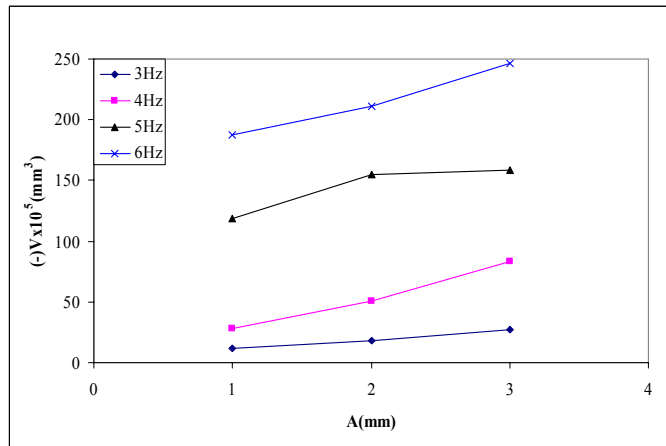
Şekil 5.134 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan yığılmalar



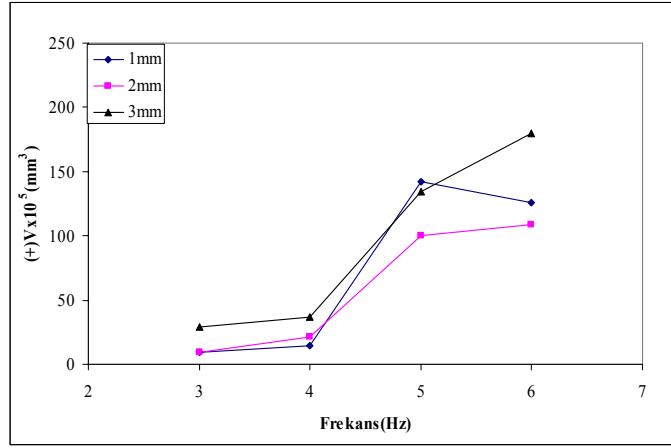
Şekil 5.135 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan yığılmalar



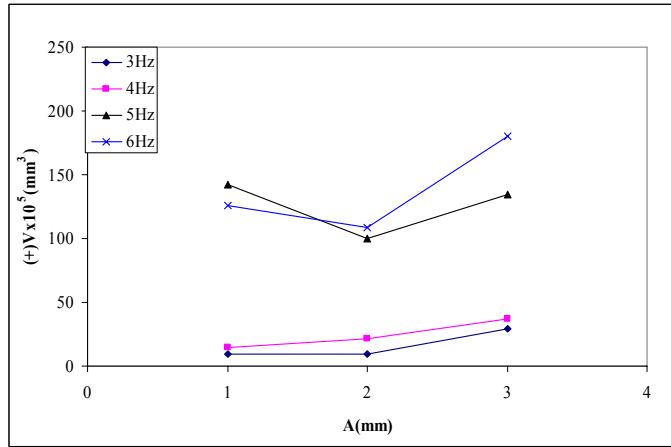
Şekil 5.136 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan hacim değişimi



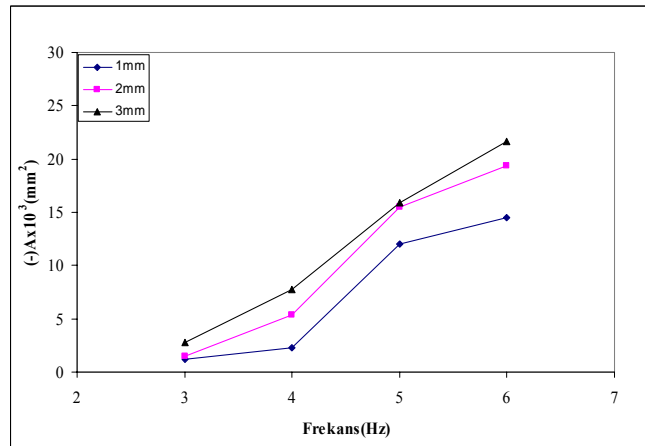
Şekil 5.137 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hacim değişimi



Şekil 5.138 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan yığılmalar

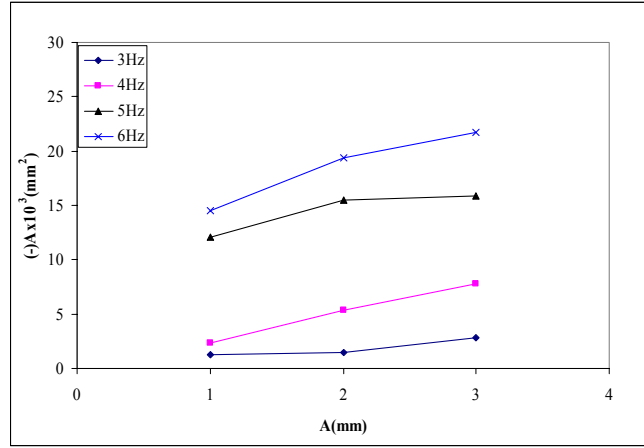


Şekil 5.139 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan yığılmalar

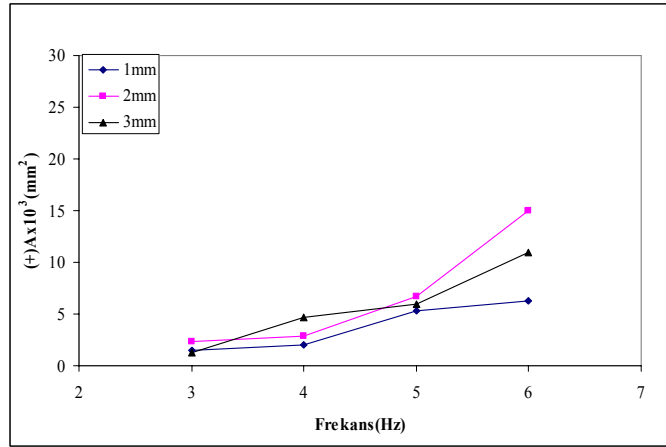


Şekil 5.140 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı

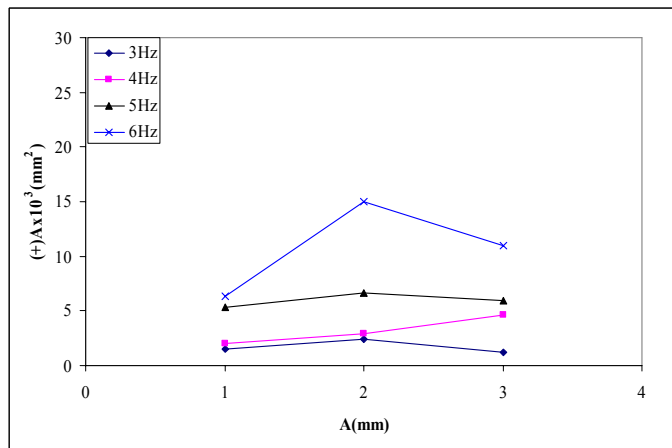




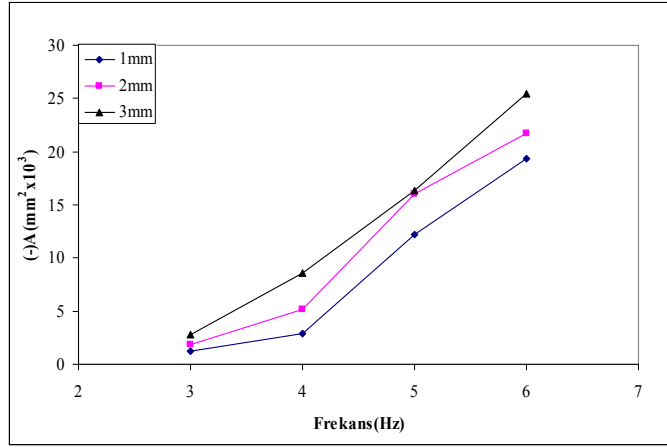
Şekil 5.141 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



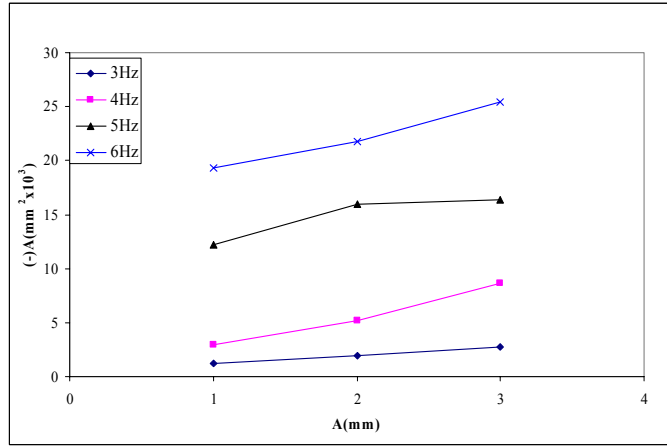
Şekil 5.142 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı



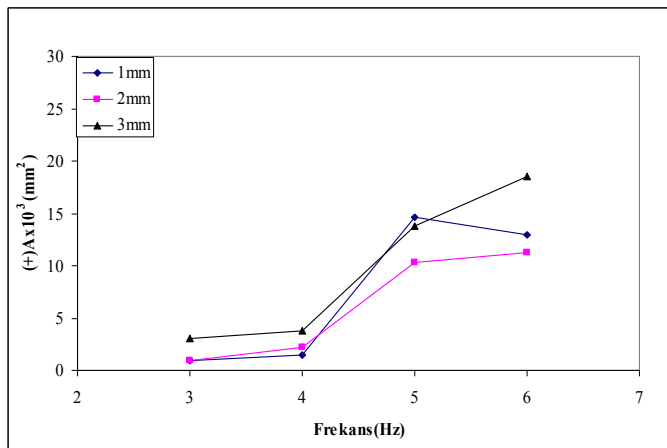
Şekil 5.143 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı



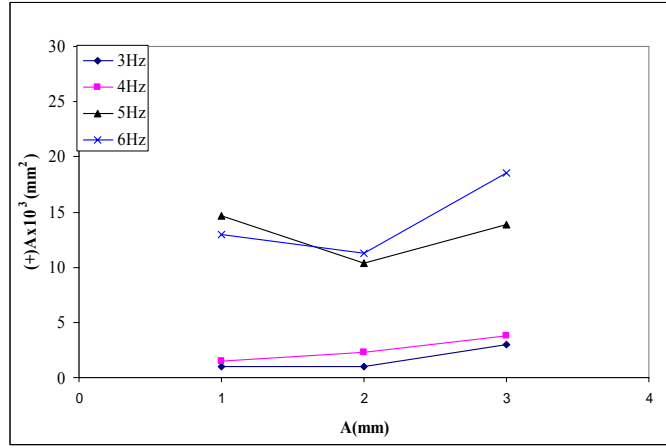
Şekil 5.144 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



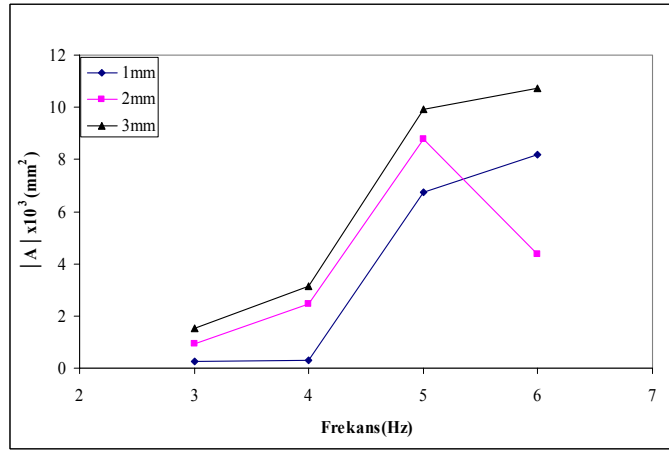
Şekil 5.145 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



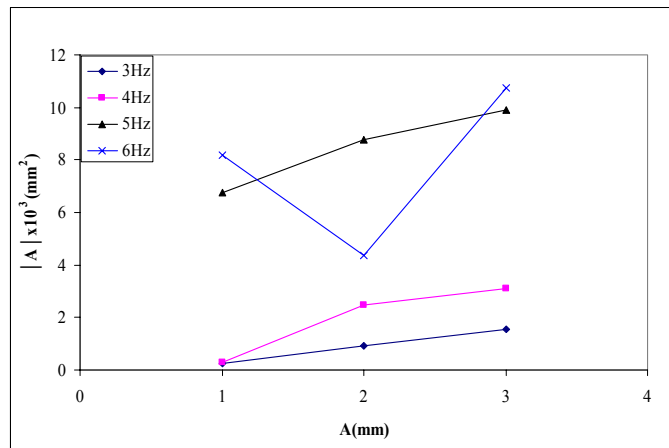
Şekil 5.146 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



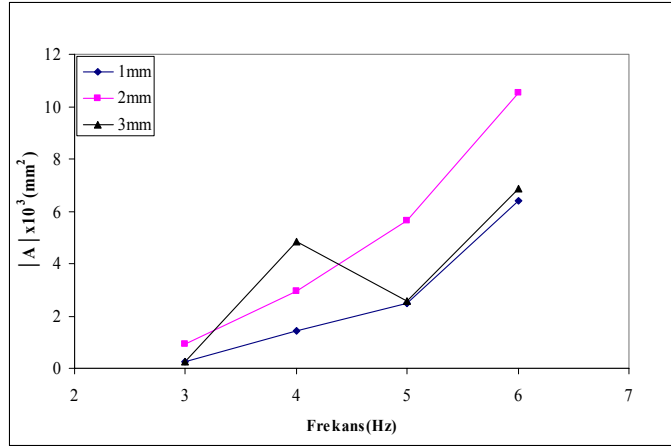
Şekil 5.147 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



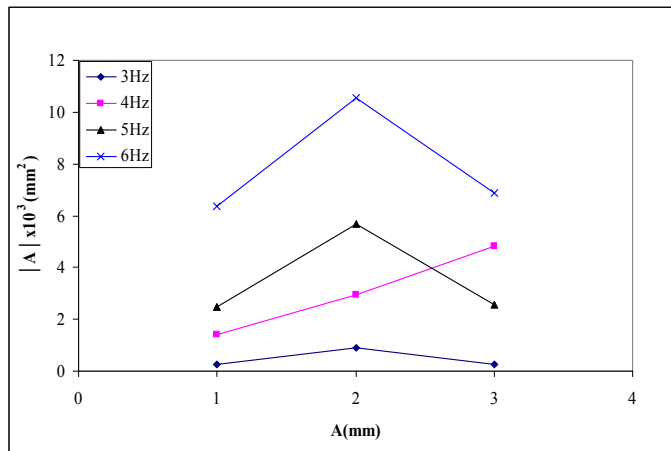
Şekil 5.148 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 5.149 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 5.150 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 5.151 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan

Çizelge 5.5’de su içinde yapılan deneylerden elde edilen verilerin ivme, ivme büyütmesi değerlerine bağlı olarak boyutsuz formda aldıkları değerler özetlenmiştir. Deneylerde sarsma tankının ivmesinin 0.080g ile 0.879 g arasında değiştiği görülmektedir. Bu verilere göre sismik yükleme sonrası hacimsel birim deformasyonun deprem ivmesiyle değişimi kuru halde olduğu gibi Şekil 5.148’de gösterilmiştir. Şekil 5.152a’da gösterilen değişim;

$$\frac{\Delta V}{V_i} = 0.081a_g^{1.57} \quad (R=0.97) \quad (5.7)$$

ile ifade edilmiştir. Şekil 5.152b’de ise hacimsel birim deformasyonların her genlik değerine karşılık gelen zemin ivmesine göre değişimi çizilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi kuru ortamda elde edilen verilerle benzer şekilde hacimsel birim deformasyon artışının doğrusal olmadığı ve 0.6g değerinden sonra artış miktarının azaldığı görülmektedir. Bu durum yapıya

etki eden ivmenin büyüklüğünün artmasıyla hacimsel birim deformasyonun sürekli olarak artmayacağını göstermektedir.

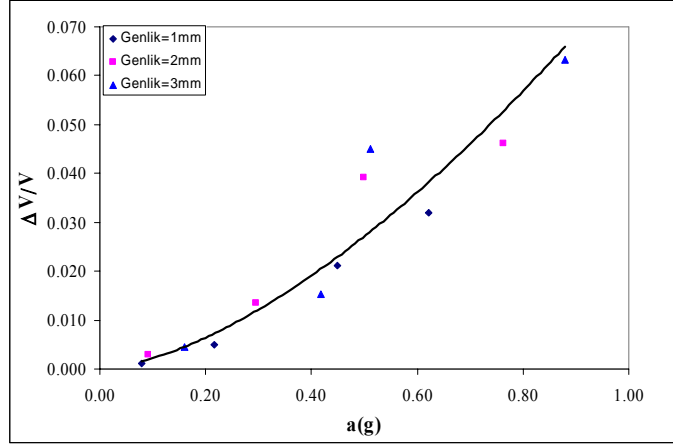
Su içerisinde yapılan deneylerden elde edilen bir başka boyutsuz parametre ise birim oturma miktarıdır. Bu miktarın zemin ivmesine göre değişimi Şekil 5.153'de verilmiştir. Şekil 5.153a'da gösterilen değişim;

$$\frac{S_c}{h_i} = 0.21 a_g^{1.20} \quad (R=0.94) \quad (5.8)$$

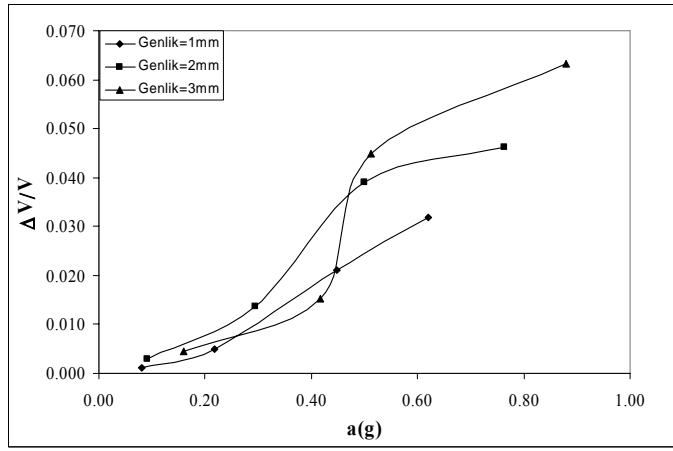
ile ifade edilmiştir. Şekil 5.153b'de ise birim oturma miktarının her genlik değerine karşılık gelen zemin ivmesine göre değişimi çizilmiştir. Hacimsel birim deformasyonlara benzer şekilde değişim doğrusal değildir. Yüksek ivme değerlerinde yapının sıkışması sonucunda yoğunluğunun artmasıyla nihai değerine ulaştığı görülmektedir.

Çizelge 5.5 Su içinde homojen taş dolgu dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri

D.N	Hacimsel Birim Deformasyon $\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)$	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S)		Sismik ivme a(g)	İvme büyümesi ( $A_m$ )		
			Sağ şev	Sol şev		Kesit	Sağ şev	Sol şev
0103UTS	0.0011	0.011	0.57	0.56	0.080	1.199	1.164	1.190
0104UTS	0.0050	0.020	1.08	1.36	0.217	1.062	1.037	1.143
0105UTS	0.0212	0.113	5.59	5.67	0.448	1.201	1.333	1.334
0106UTS	0.0319	0.130	6.72	8.98	0.621	1.122	1.538	1.930
0203UTS	0.0029	0.019	0.67	0.89	0.091	1.038	1.144	1.124
0204UTS	0.0136	0.025	2.49	2.40	0.295	1.205	1.143	1.200
0205UTS	0.0391	0.123	7.18	7.42	0.499	1.130	1.240	1.401
0206UTS	0.0462	0.150	9.01	10.11	0.764	1.196	1.303	1.349
0303UTS	0.0044	0.021	1.29	1.29	0.159	1.066	1.019	1.012
0304UTS	0.0152	0.052	3.60	4.00	0.418	1.328	1.345	1.539
0305UTS	0.0449	0.134	7.36	7.60	0.511	1.078	1.152	1.091
0306UTS	0.0632	0.165	10.07	11.81	0.879	1.428	1.526	1.683

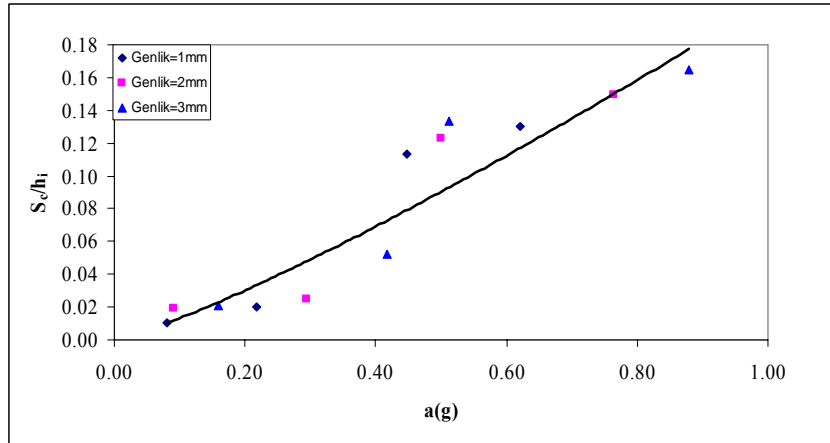


a)



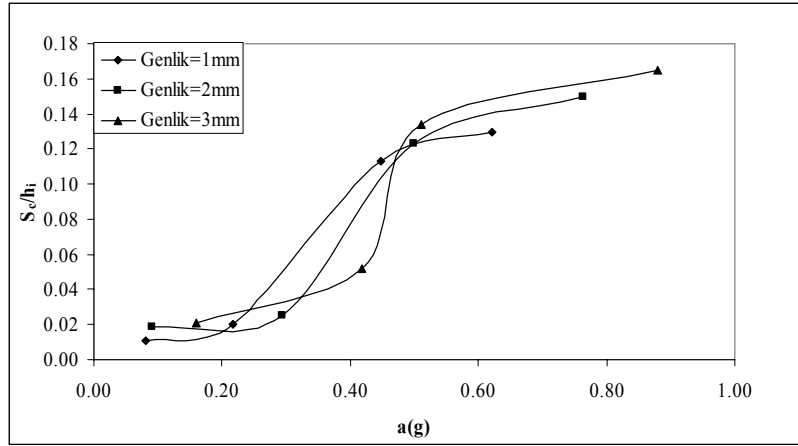
b)

Şekil 5.152 Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon



a)

Şekil 5.153 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi



b)

Şekil 5.153 Devam

Şevlerdeki hasar seviyeleri (S), zemin ivmesi ile değişimi her iki (sağ ve sol) şev için ayrı ayrı ifade edilmiştir. Bu değişimler Şekil 5.154 ve 5.155’de gösterilmiştir. Kuru halde 0.8g’de başlayan tam hasar su içinde daha erken (0.6g) başladığı belirlenmiştir. Bu şekillerden hasar seviyesinin zemin ivmesiyle değişimini veren ilişkiler aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

$$\text{Sağ şev için;} \quad S=13.18a_g^{1.29} \quad (R=0.98) \quad (5.9)$$

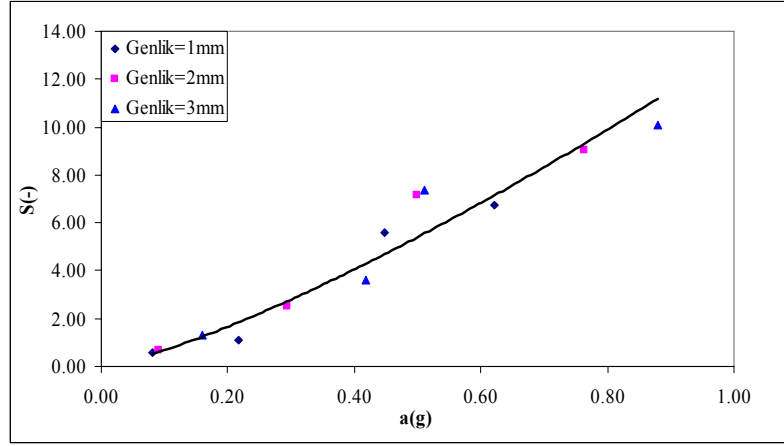
$$\text{Sol şev için;} \quad S=14.77a_g^{1.30} \quad (R=0.98) \quad (5.10)$$

Dalgakıranın sağ ve sol şevine yerleştirilen ivme ölçerler ile ölçülen ivme değerlerine karşılık, bu şevlerde oluşan hasar seviyeleri Şekil 5.156’da gösterilmektedir. Sağ ve sol şev için ivme-hasar değişiminin uyumunun oldukça iyi olduğu görülmektedir. Bu durum için değişim;

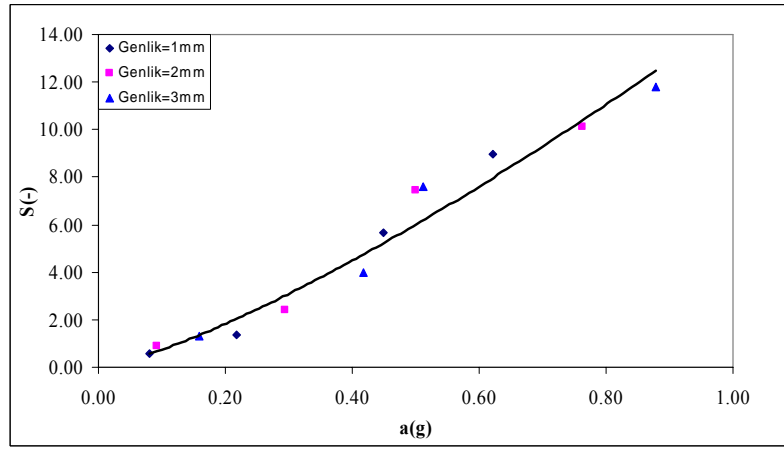
$$\text{Sağ şev için;} \quad S=9.32a_g^{1.14} \quad (R=0.97) \quad (5.11)$$

$$\text{Sol şev için;} \quad S=9.36a_g^{1.10} \quad (R=0.97) \quad (5.12)$$

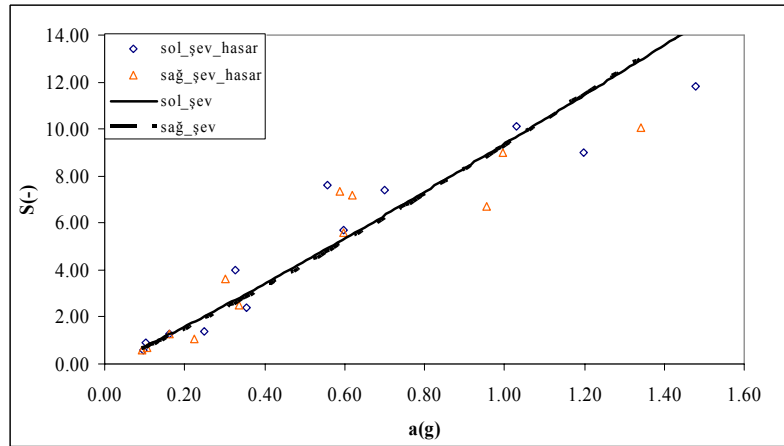
Gerek (5.11) ve (5.12) ifadelerinde dikkate alınan ivme değerleri kesitin şevlerinde ölçülen değerleridir. Bu ifadelerden her iki şevdeki sismik davranışın birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.154 Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi



Şekil 5.155 Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi



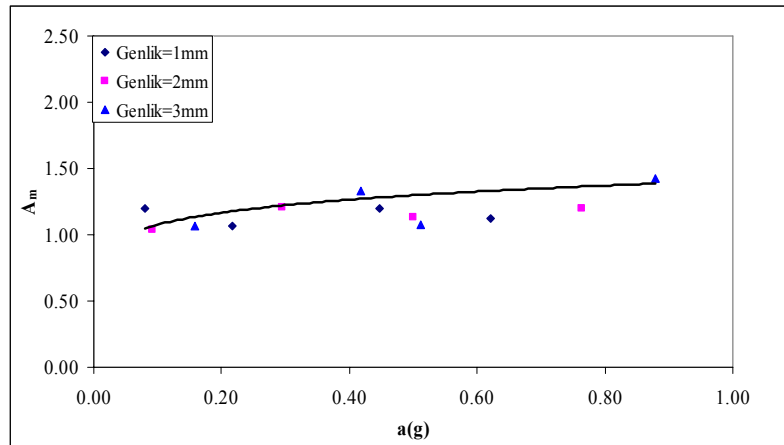
Şekil 5.156 Sağ ve sol şevde ölçülen ivmeler ile hasarın değişimi

Sarsma tankının su içindeki model kesitine uyguladığı sismik ivmenin kesitin kretinde ne kadar büyüdüğünü belirlemek amacıyla ivme zaman grafikleri filitrenilmiş ve kret ivmelerinin maksimum değerlerinin zemin ivme değerlerine olan oranın tanımladığı büyüme

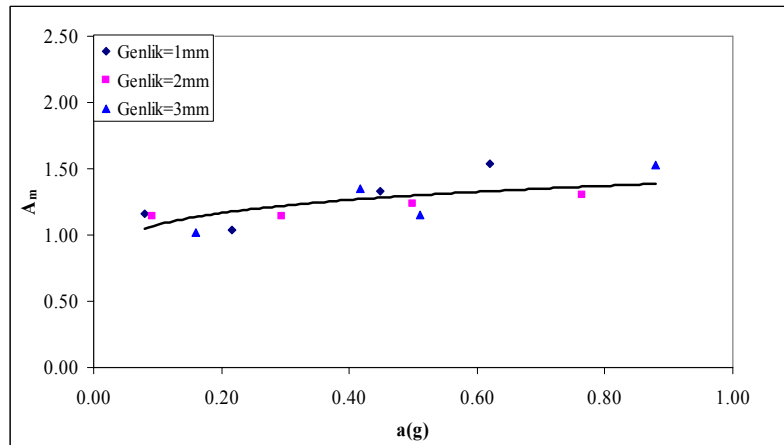


( $A_m$ ) miktarları hesaplanmıştır. İvme büyümesi miktarı kret ivmesinin zemin ivmesine oranı ( $a_{gc}/a_{gb}$ ) şeklinde ifade edilmiştir. Benzeri işlemler gerek sağ ve gerekse sol şevler için yapılmıştır. Her iki şevde ölçülen ivme değerleri kullanılarak Şekil 5.157, 5.158 ve 5.159 çizilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde şevlerde meydana gelen ivme büyümelerinin krete göre daha fazla olduğu görülmektedir.

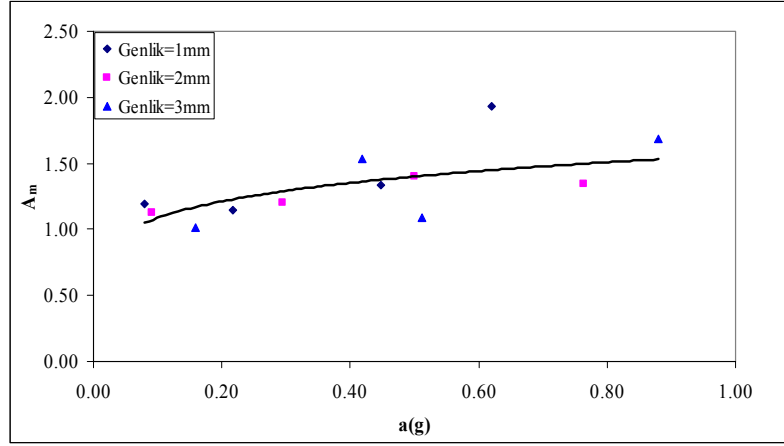
Ayrıca rölatif ivme büyümesi de  $(a_{gc}-a_{gb})/a_{gb}$  ile temsil edilmiştir. İvme büyüme miktarı Şekil 5.160, 5.161 ve 5.162’de zemin ivmesine karşılık çizilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi ivme büyümesi zemin ivmesi arttıkça kesitte artmaktadır bu da kesitteki deformasyon miktarının büyümesine neden olmaktadır. Şekil 5.163’de rölatif ivme büyümesi kret ve şevler için aynı grafik üzerinde gösterilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi şevlerdeki ivme büyümesi krete göre daha fazladır. Şevlerdeki elemanların sismik etki altında hareketlerinin daha fazla olması bu durumun oluşmasına sebep olmaktadır. Şevlerdeki rölatif ivme büyümelerine ait değişimin hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir. Bu da şevlerdeki simetrinin sonucudur.



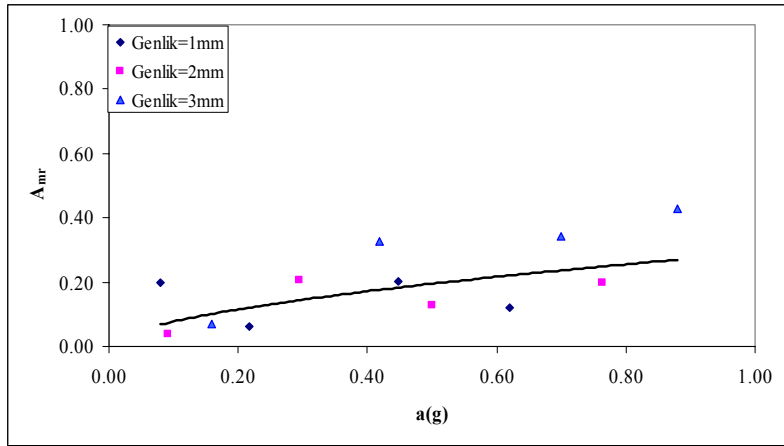
Şekil 5.157 Model kretinde ivme büyümesinin değişimi.



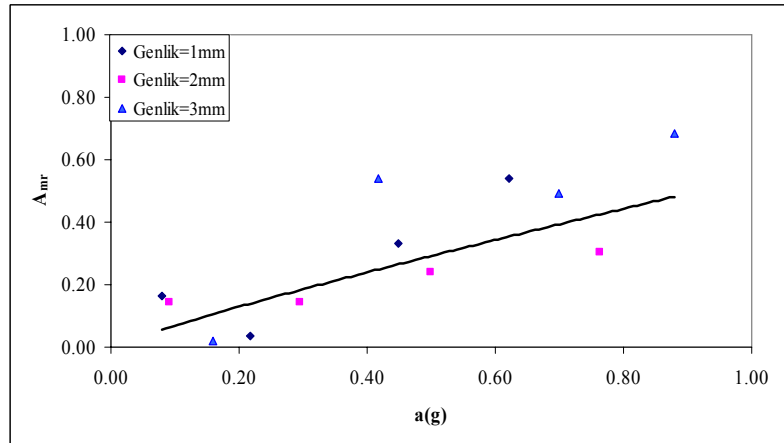
Şekil 5.158 Sağ şevde ivme büyümesi



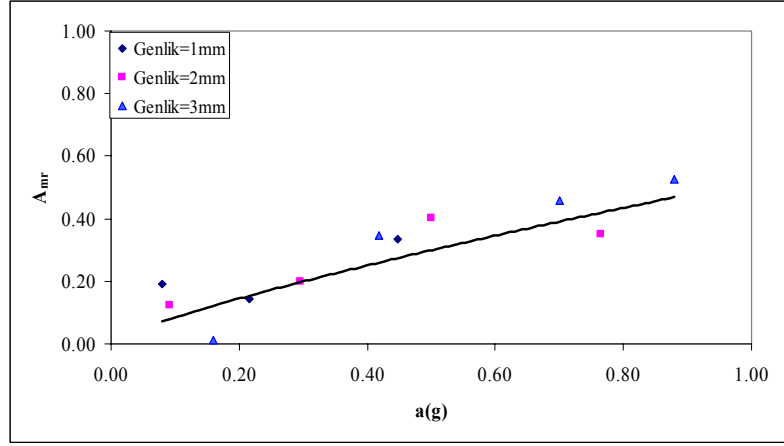
Şekil 5.159 Sol şevde ivme büyümesi.



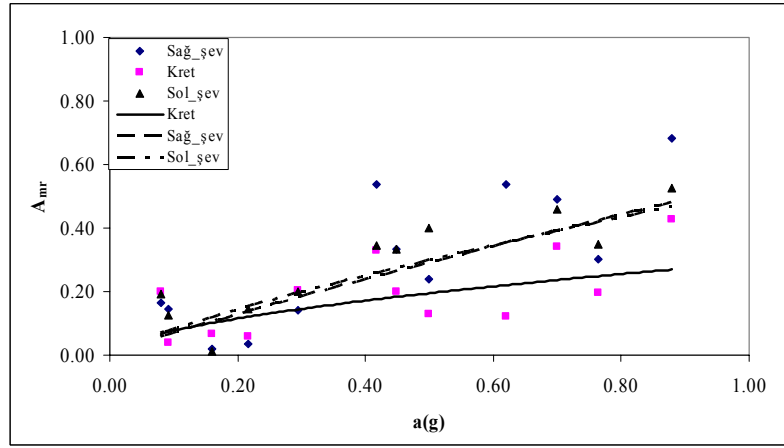
Şekil 5.160 Model kretinde rölative ivme büyümesinin değişimi



Şekil 5.161 Sağ şevde rölative ivme büyümesi



Şekil 5.162 Sol şevde rölatif ivme büyümesi



Şekil 5.163 Su içine yerleştirilmiş üniform model kesitinde kret ve şevlerdeki rölatif ivme büyümeleri.

### 5.1.3 Değerlendirme

Üniform malzemeden oluşturulan dalgakıran modelinin gerek kuru gerekse su içindeki ortamlarda sismik davranışı incelenmiştir. Bu iki ortamın modelin davranışı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla modelin birim oturma, hacimsel birim deformasyon ve şevlerdeki hasar seviyelerinin zemin ivmesiyle değişimleri Şekil 5.164, 5.165, 5.166 ve 5.167’de birlikte çizilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi modelde meydana gelen deformasyonlar su içinde artmaktadır. Bu artışın en önemli nedeni modeli meydana getiren taş elemanların batıklık etkisinde bulunmasıdır. Ayrıca modelin sismik davranışı sırasında dinamik kuvvetlerin neden olduğu hidrodinamik basınçlar da etkili olmaktadır. Ancak bu çalışmada hidrodinamik basınç değişimlerinin etkisinin atalet etkisine oranla küçük olduğu düşünülerek ölçülmemiştir. Çünkü Memos (2000) yaptığı çalışmada dalgakıran yüzeyinde oluşan hidrodinamik basınçların, yatay yöndeki titreşim hareketinin sebep olduğu

atalet etkisinden düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, bu basınçların ek kütle etkisi ya da dolgu salınıminin ana periyodunu değiştirme eğiliminde olduğu belirtilmiştir. Su içinde model elemanlarının stabilite kuvveti olan ağırlık kuvvetleri azalmış, ayrıca her bir eleman sismik davranış sırasında ek kütle kuvvetlerinin etkisinde kalmıştır. Böylece modelde meydana gelen hasar düzeyi artmıştır. Bu artışın sismik ivmenin artmasıyla büyüdüğü de çizilen şekillerden anlaşılmaktadır. Hasar seviyeleri incelendiğinde Van der Meer (1988a) tarafından tanımlanan tam hasarın ( $S \geq 8$ ) kuru ortamda 0.8g'den sonra buna karşın su içinde 0.6g'de olduğu görülmektedir. Bu durumda şevlerde S oluşumu belirginleşmektedir ve modellerin deformasyonlarını gösteren Şekil 5.164(b), Şekil 5.165(b) incelendiğinde sismik etki altında davranışa ait eşik değerinin su içinde daha erken olduğu ve yine daha erken nihai değere ulaştığı görülmüştür.

Van der Meer tarafından taş dolgu dalgakıranların şevlerinde oluşan hasarın bir tanımı olan "Hasar seviyesi" gerek sağ gerekse sol şevler birlikte düşünülerek kuru ve su içindeki ortamlar ayrı ayrı dikkate alınarak Şekil 5.168'de bir arada çizilmiştir. Bu şekilden modelin kuru ve su içindeki sismik davranışlarını tanımlayacak hasar seviyelerini veren ifadeler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

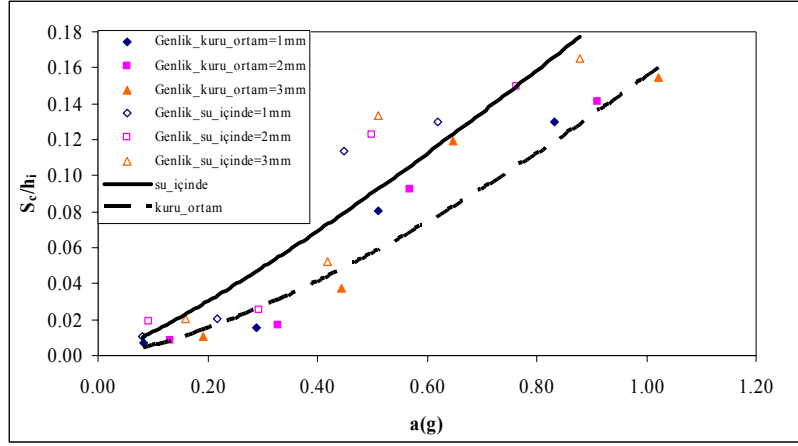
Su içinde:

$$S=13.95a_g^{1.30} \quad (R=0.98) \quad (5.13)$$

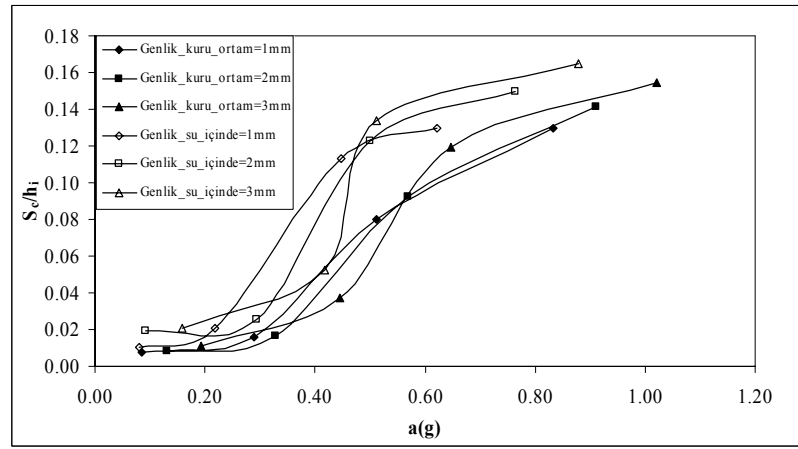
Kuru ortam:

$$S=7.65a_g^{1.14} \quad (R=0.93) \quad (5.14)$$

Şekil 5.169'da kuru ortam ve su içinde yapılan deneylerde krette oluşan rölatif ivme büyütmelerinin değişimi birlikte gösterilmiştir. Kuru ortamda dalgakıran modelinin kretin oluşan ivme büyümeleri genel olarak zemin ivmesinin artmasıyla artma eğilimi gösterirken, su içinde yapılan deneylerde oluşan ivme büyümeleri saçılım göstermektedir. Bu durumun hidrodinamik basınçların yapının salınım periyodunu değiştirmesinden ya da yapıyı oluşturan malzemelerin doğrusal olmayan davranış göstermesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

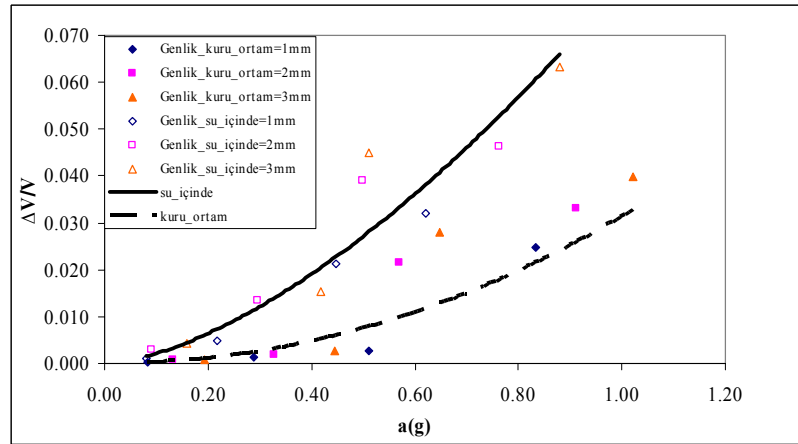


a)



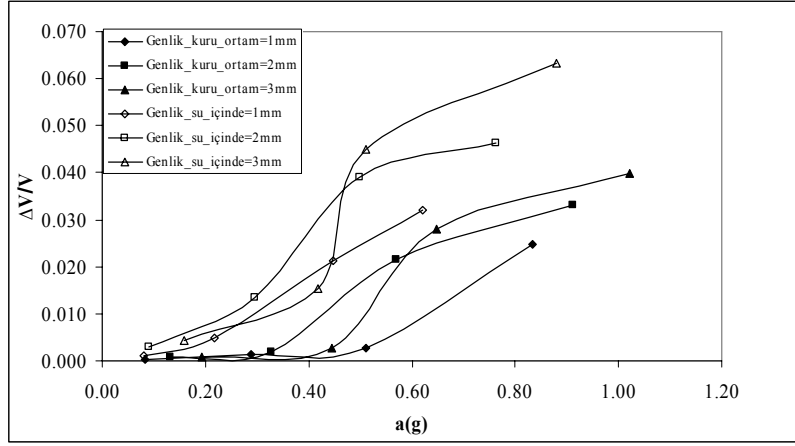
b)

Şekil 5.164 Kuru hal ve su içinde birim oturma- ivme değişimleri



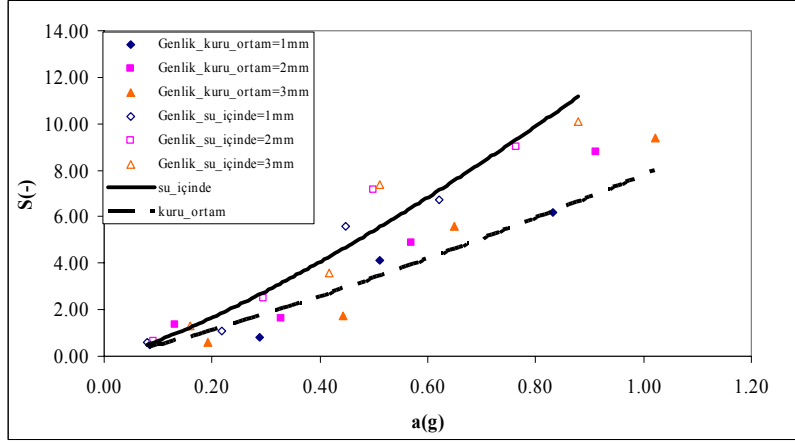
a)

Şekil 5.165 Kuru hal ve su içinde hacimsel birim deformasyon- ivme değişimleri

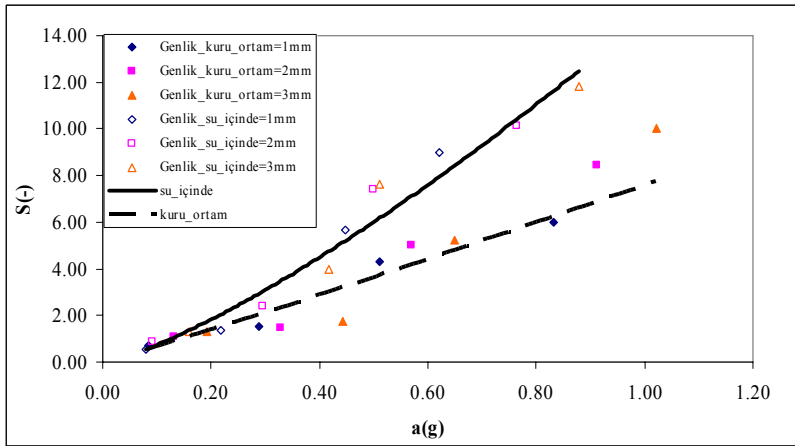


b)

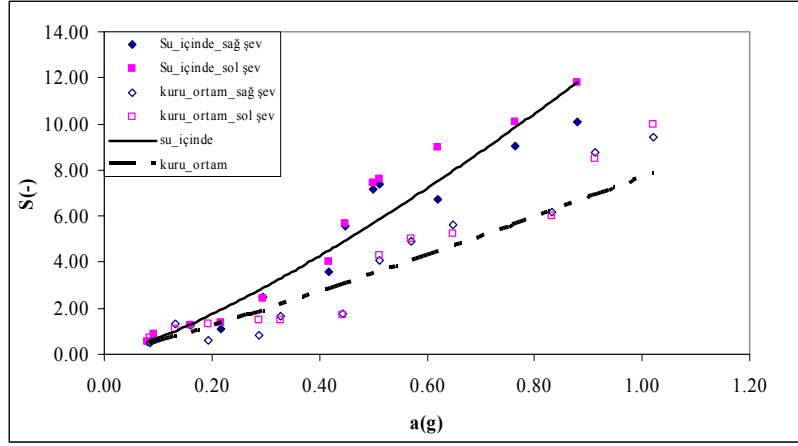
Şekil 5.165 Devam



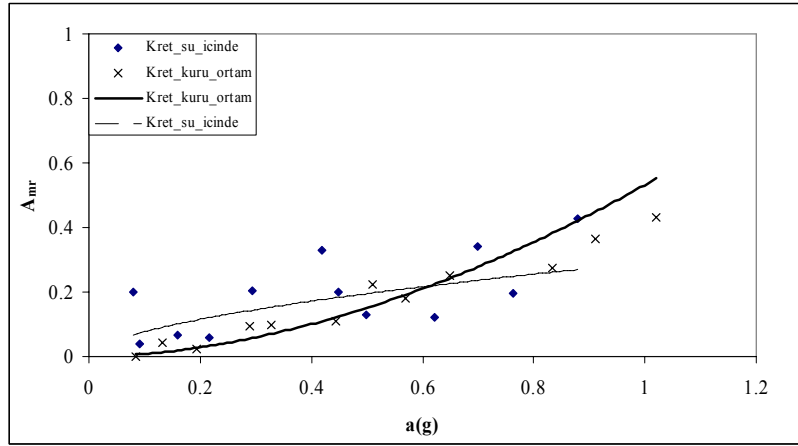
Şekil 5.166 Kuru hal ve su içinde sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri- ivme değişimleri



Şekil 5.167 Kuru hal ve su içinde sol şevde oluşan hasar yüzdeleri- ivme değişimleri



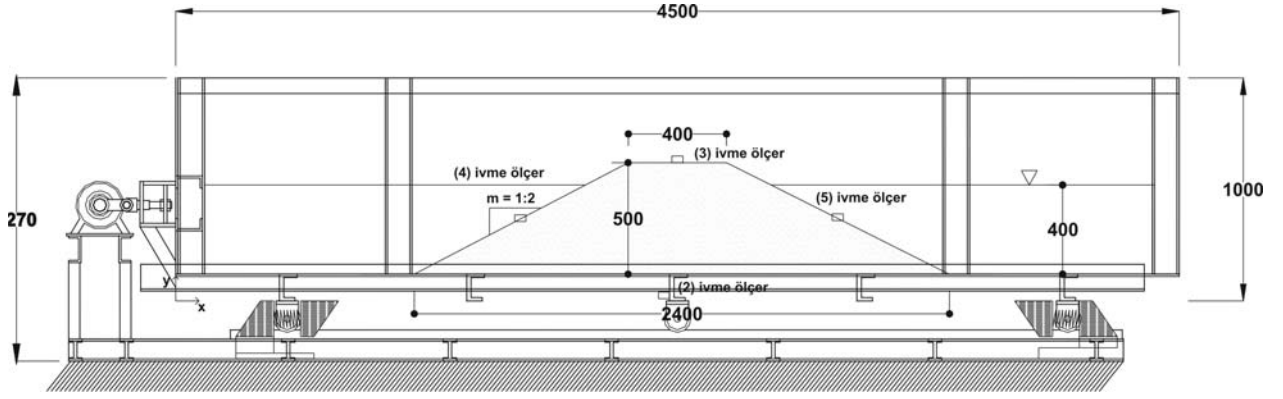
Şekil 5.168 Kuru hal ve su içinde hasar yüzdesi- ivme değişimi



Şekil 5.169 Kuru ortam ve su içinde yapılan deneylerde krette oluşan rölatif ivme büyümeleri

## 5.2 Çekirdek Malzemesinin Sismik Davranışı

Dalgakıran modelinin çekirdeğini oluşturacak malzemenin sismik davranışının belirlenmesi amacıyla küçük kırma taşlardan oluşan  $D_{n50}$ 'si 22 mm olan malzeme kullanılmıştır. Malzeme 1:2 eğimle Bölüm 4'de tanımlanan bir yağmurlama sistemi yardımıyla her deney için aynı sıklığı sağlayarak serilmiştir. Model su içinde test edilmiştir (Şekil 5.170). Su derinliği 40 cm'dir.



Şekil 5.170 Test edilen çekirdek malzemesi (birimler mm'dir)

Farklı ivme değerlerinde test edilen çekirdek malzemesinde meydana gelen deformasyonlar anroşman malzemesinde kullanılan aynı yöntemler kullanılarak ölçülmüş ve aynı parametreler değerlendirilmiştir. Deney koşulları ve ölçülen parametreler Çizelge 5.6 ve 5.7'de verilmiştir. Şekil 5.171'de birim oturmanın zemin ivmesiyle değişimi anroşman malzemesi ile birlikte çizilerek gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi oturma miktarı anroşman malzemesine göre daha fazladır. Çekirdek malzemesindeki oturmanın değişimi;

$$\frac{S_c}{h_i} = 0.35a_g^{1.17} \quad (R = 0.92) \quad (5.15)$$

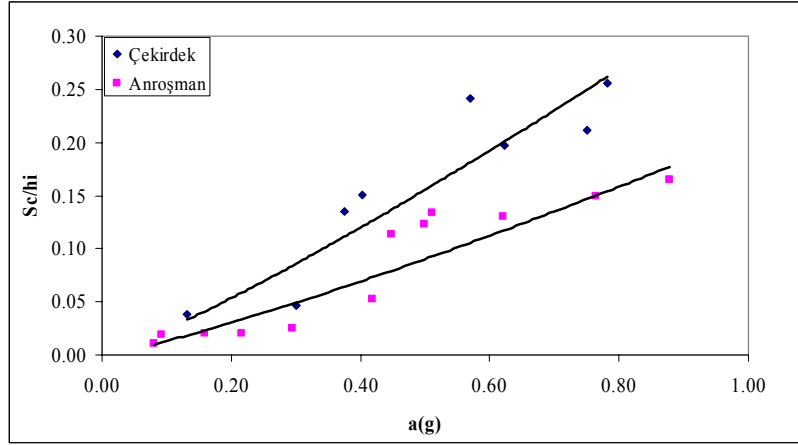
dir. Benzeri değişim hacimsel birim deformasyon için Şekil 5.172'de verilmiştir. Bu değişim incelendiğinde hacimsel değişimin çekirdek malzemesi için daha fazla olduğu görülmektedir. Değişim aşağıdaki ifade ile temsil edilmiştir.

$$\frac{\Delta V}{V_i} = 0.19a_g^{2.24} \quad (R = 0.94) \quad (5.16)$$

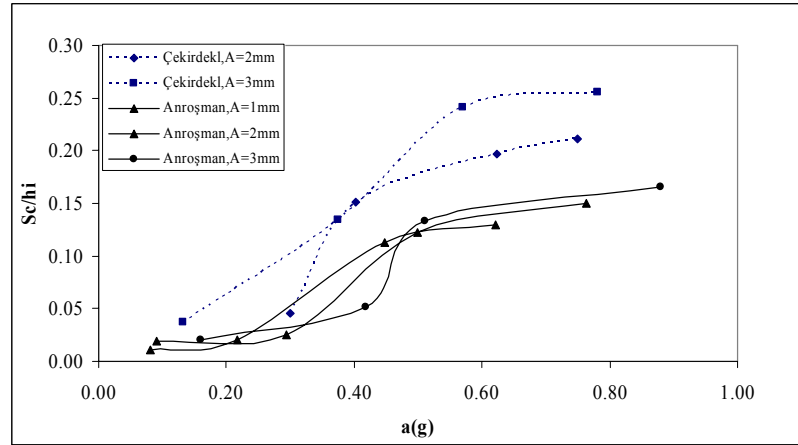
Şekil 5.173'den 5.178'e kadar verilen örneklerden görüldüğü gibi anroşman malzemesinde olduğu gibi genellikle kesitteki deformasyonun % 60'ı ilk 10 s'de %80'lik kısmı ise ilk 20 s'de oluştuğu anlaşılmaktadır. Yaklaşık olarak 30 s'de kesitteki deformasyon tamamlanmaktadır. Genelde deformasyon öncelikle kret düşmesinde tamamlanmaktadır ve daha büyük olmaktadır. Şekil 5.179 (a) ve (b)'de çekirdek kesitindeki deformasyonun 1. ve 21s'deki fazları görülmektedir. Şekil 5.180'de tipik bir ivme kaydı gösterilmiştir. Çekirdek kesitindeki deformasyon anroşman kesitindeki deformasyon ile karşılaştırıldığında şev kaymalarının daha düzenli olduğu ve daha üniform göçmenin oluştuğu belirlenmiştir. Her iki şevdeki deformasyon hemen hemen simetrik bir görünüme sahiptir (Şekil 5.181).



Şekil 5.182’de krette ve Şekil 5.183 ile 184’de ise sağ ve sol şevlerdeki ivme büyümelerinin değişimi çizilerek gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi kretteki büyümenin artmasına karşın şevlerde azalmaktadır.

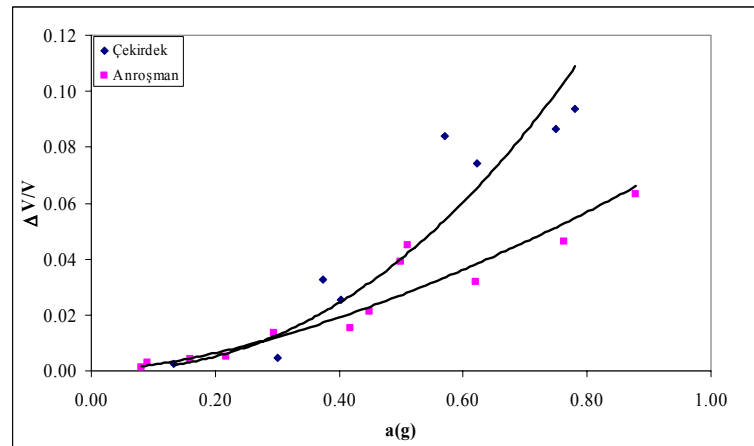


a)



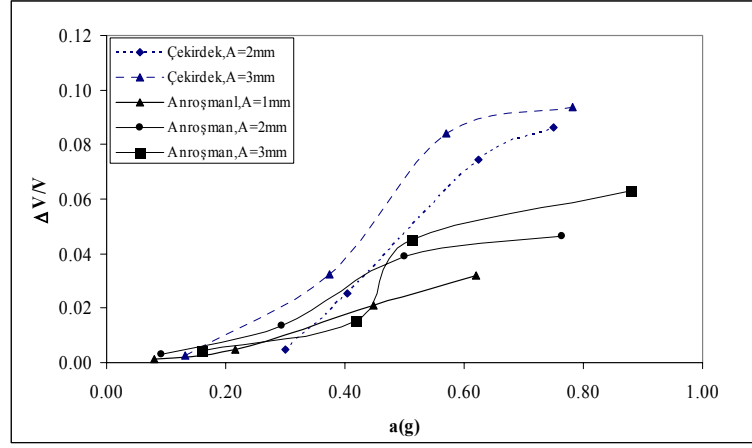
b)

Şekil 5.171 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi



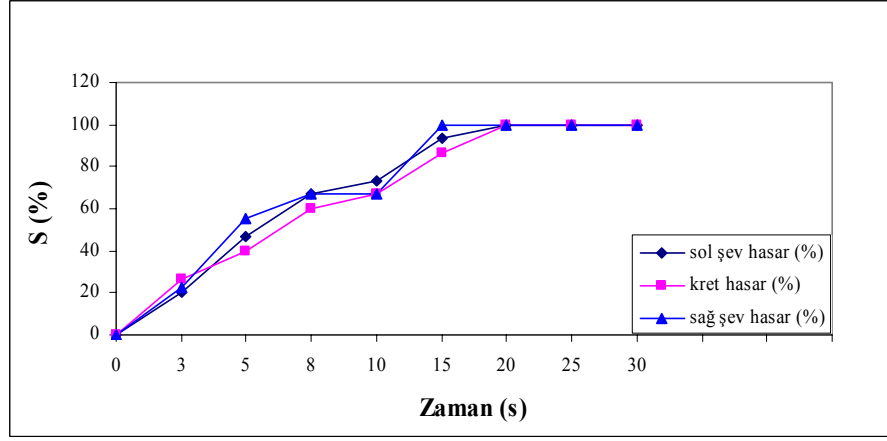
a)

Şekil 5.172 Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.

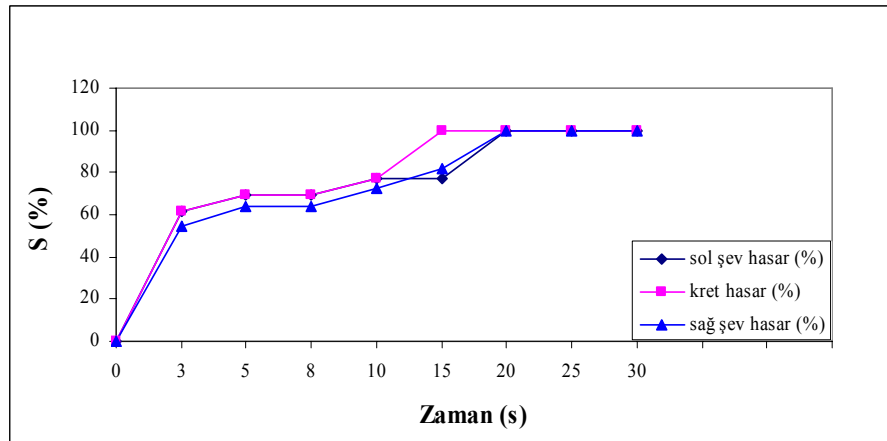


b)

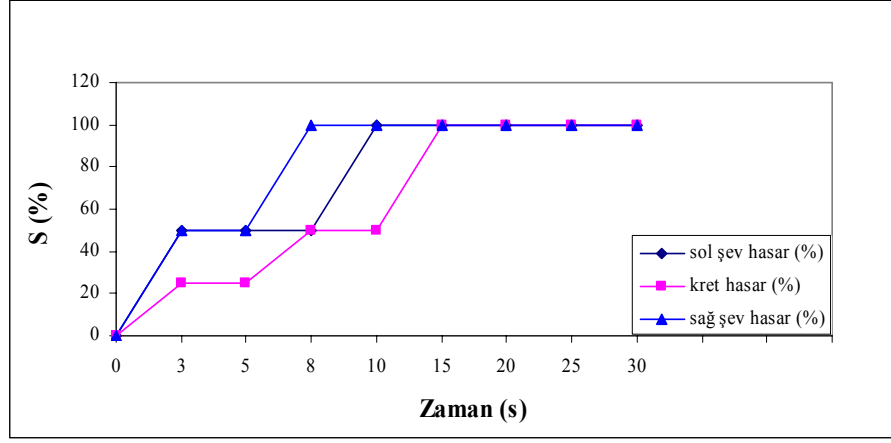
Şekil 5.172 Devam



Şekil 5.173 Çekirdek kesit için 2mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.174 Çekirdek kesit için 2mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



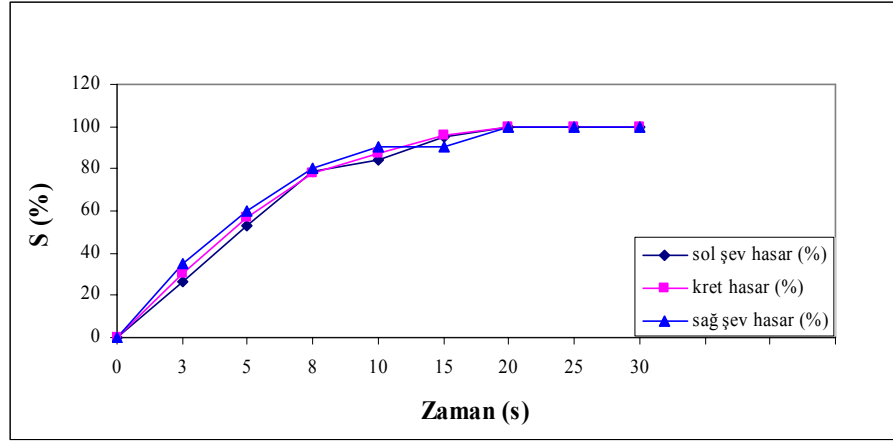
Şekil 5.175 Çekirdek kesit için 3 mm genlik, 3 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

Çizelge 5.6 Su içinde çekirdek malzemesinin boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik prametrelerle bağlı değişimleri

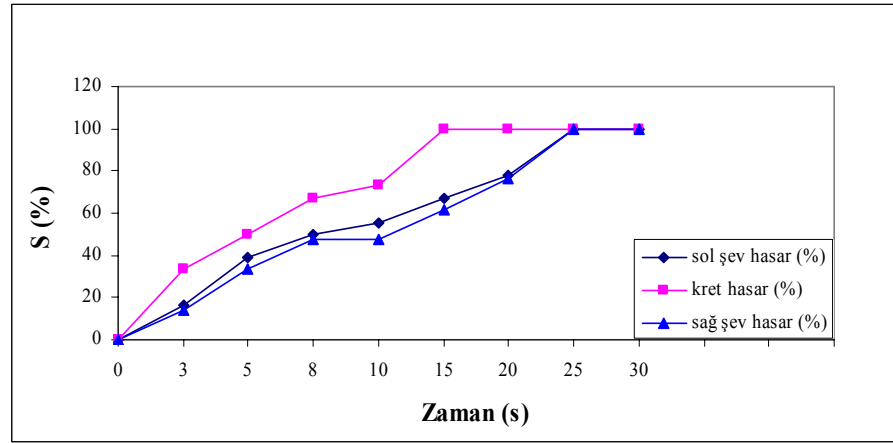
D.N	Maksimum Düşey Deplasman (Sc) mm	Toplam Hacim ( $\Delta V$ ) $\times 10^5$ mm <sup>3</sup>	Hacimsel Birim Deformasyon $\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)$	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Sismik Deprem İvmesi (g)	Kesit sismik büyütme	Sağ şev sismik büyütme	Sol şev sismik büyütme
0204UTF	22.6	30.30	0.0047	0.046	0.300	1.230	1.440	1.440
0205UTF	80.22	171.50	0.0255	0.151	0.403	1.111	0.992	1.349
0206UTF	103.78	477.94	0.0744	0.197	0.623	1.130	0.880	1.340
0207UTF	110.98	566.40	0.0863	0.212	0.750	0.960	0.620	0.570
0303UTF	19.40	17.90	0.0027	0.038	0.133	1.173	1.031	1.009
0304UTF	70.36	219.60	0.0326	0.135	0.375	0.893	0.931	1.105
0305UTF	126.72	565.53	0.0839	0.242	0.570	1.454	1.299	1.308
0306UTF	129.44	630.74	0.0936	0.256	0.781	1.380	0.627	0.772

Çizelge 5.7 Su içinde kesit geometresine ait ölçüm sonuçları

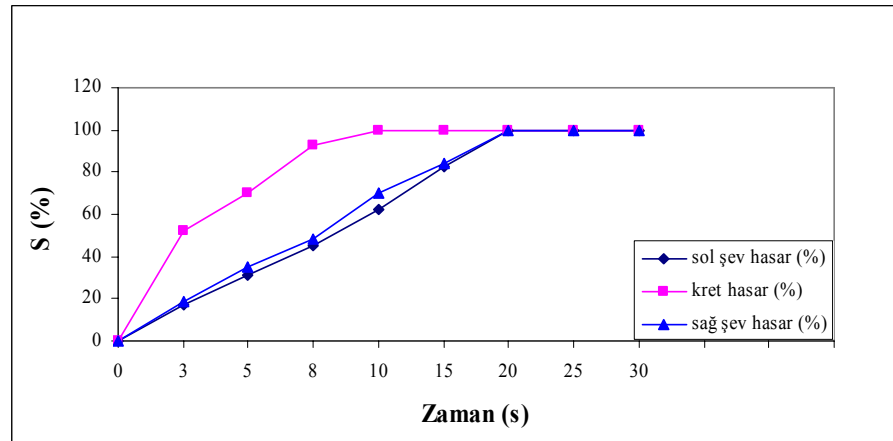
D.N	Maksimum Düşey Deplasman (Sc) mm	Toplam Hacim ( $\Delta V$ ) $\times 10^5$ mm <sup>3</sup>	Sağ şev (mm <sup>3</sup> )		Sol şev (mm <sup>3</sup> )		Sağ şev (mm <sup>2</sup> )		Sol şev (mm <sup>2</sup> )		Sağ şev (mm <sup>2</sup> )	Sol şev (mm <sup>2</sup> )
			(-)V $\times 10^5$	(+)V $\times 10^5$	(-)V $\times 10^5$	(+)V $\times 10^5$	(-)A $\times 10^3$	(+)A $\times 10^3$	(-)A $\times 10^3$	(+)A $\times 10^3$	A  $\times 10^3$	A  $\times 10^3$
0204UTF	22.6	30.30	47.18	5.75	14.22	68.96	4.86	0.59	1.47	7.11	4.27	5.64
0205UTF	80.22	171.50	36.35	111.91	136.11	150.75	3.75	11.54	14.03	15.54	7.79	1.51
0206UTF	103.78	477.94	243.59	154.19	100.48	175.81	25.11	15.90	10.36	18.13	9.22	7.77
0207UTF	110.98	566.40	75.34	74.32	228.68	96.09	7.77	7.66	23.57	9.91	0.10	13.67
0303UTF	19.40	17.90	37.50	47.76	46.85	50.55	3.87	4.92	4.83	5.21	1.06	0.38
0304UTF	70.36	219.60	74.97	135.67	87.34	102.80	7.73	13.99	9.00	10.60	6.26	1.59
0305UTF	126.72	565.53	132.05	225.26	336.58	184.50	13.61	23.22	34.70	19.02	9.61	15.68
0306UTF	129.44	630.74	122.17	173.33	210.32	88.15	12.60	17.87	21.68	9.09	5.27	12.59



Şekil 5.176 Çekirdek kesit için 3 mm genlik, 4 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



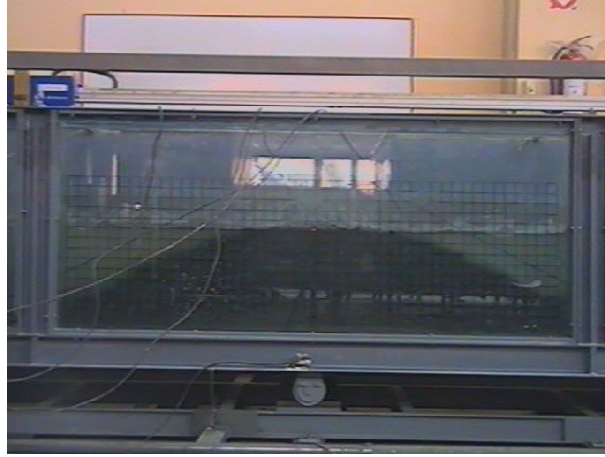
Şekil 5.177 Çekirdek kesit için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



Şekil 5.178 Çekirdek kesit için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

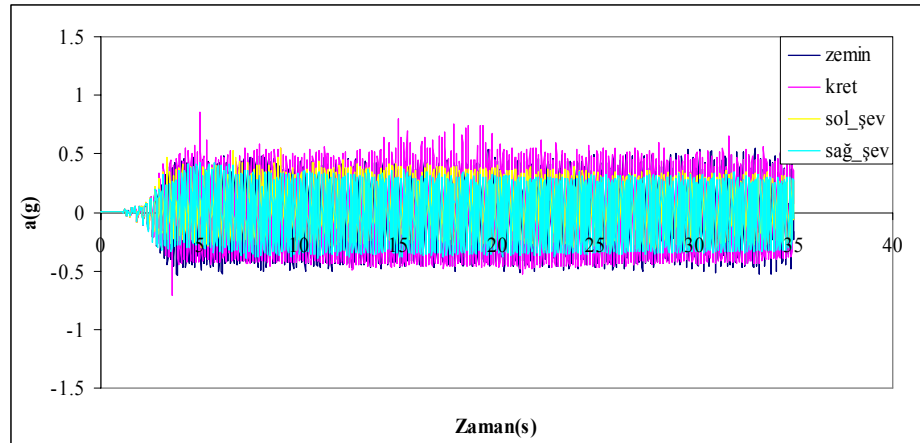


(a) 2mm 6 Hz 1.s'de çekirdek kesiti

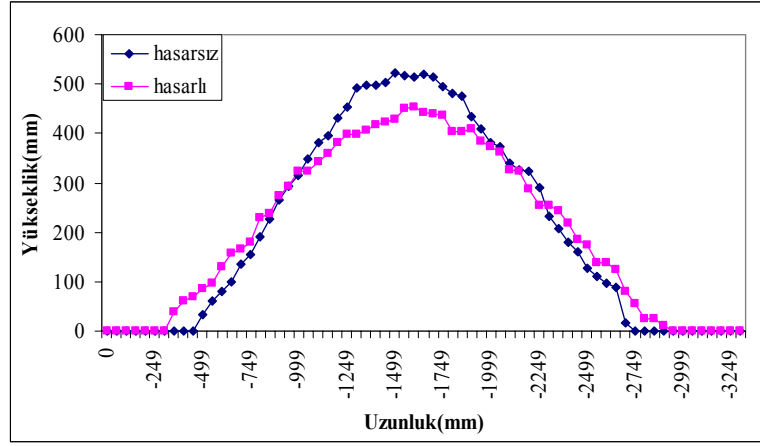


(b) 2mm 6 Hz 21.s'de çekirdek kesiti

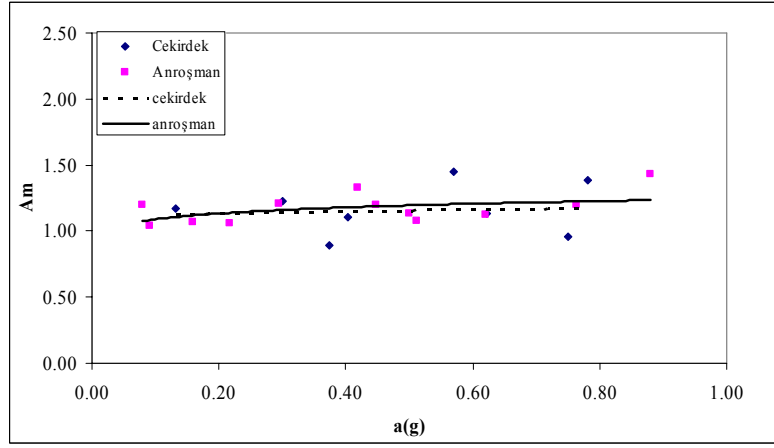
Şekil 5.179 2 mm genlik 6Hz frekans durumunda çekirdek kesitinin değişik anlardaki deformasyonu



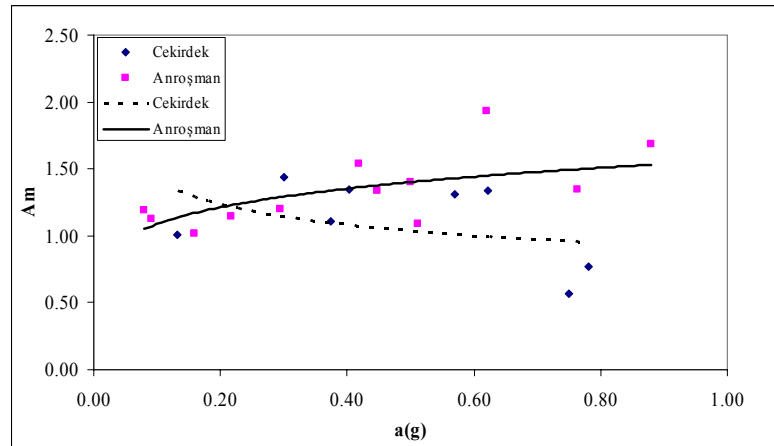
Şekil 5.180 2 mm genlik 6 Hz frekans için ivme-zaman grafiği



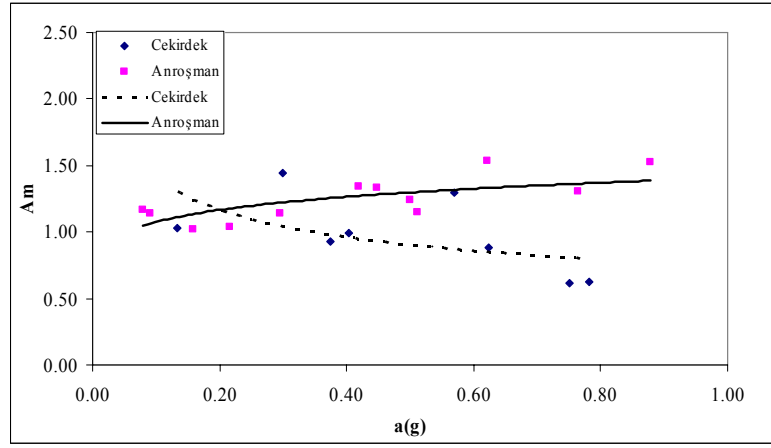
Şekil 5.181 Çekirdek kesitindeki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



Şekil 5.182 Krette oluşan ivme büyümesi



Şekil 5.183 Sol şevde oluşan ivme büyümesi



Şekil 5.184 Sağ şevde oluşan ivme büyümesi



## 6. SAYISAL ANALİZLER

Dalgakıranların deprem etkisi altındaki davranışını incelemek için bu tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların yanında sayısal model çalışmaları da yürütülmüştür. Sayısal çalışmalarda iki farklı yöntem izlenmiştir, bunlar;

1. Newmark Yöntemi ve Bishop Analizi
2. Dinamik Davranış Analizi

Bu bölümde gerçekleştirilen sayısal çalışmalara ait değerlendirmeler aşağıda sunulacaktır.

### 6.1 Üiform Dalgakıran Modelinin Analizi

#### *Newmark Yöntemi*

Bu analizde Newmark Kayan Blok Yöntemi ile kuru ortamdaki dalgakıran şevini kaydıran kritik ivme değeri hesaplanmıştır. Analizlerde aşağıdaki Newmark tarafından verilen eşitlik yardımı ile,

$$FS_d(t) = \frac{\text{Göçmeye karşı koyan kuvvetler}}{\text{Göçmeye zorlayan kuvvetler}}$$

$$= \frac{R_d(t)}{D_d(t)} = \frac{[\cos\beta - a_g(t)\sin\beta]\tan\varphi}{\sin\beta + a_g(t)\cos\beta} \quad (6.1)$$

hesaplanmıştır. Burada  $FS_d(t)$ : şev için emniyet katsayısı,  $\beta$ :şev açısı,  $\varphi$ : blok ve düzlem arasındaki içsel sürtünme açısı,  $a_g$ :deprem ivme katsayısı

Newmark yönteminin uygulanabilmesi için, deneyler sırasında sisteme uygulanan yatay yöndeki salınımlardan maksimum taban ivme değerleri tespit edilmiştir.

$$a_h(t) = a_{(g)}(t)g \quad (6.2)$$

(6.2) ifadesi ile her ivme değeri için boyutsuz yatay psödo-statik katsayılar  $a_{(g)}$  elde edilmiştir. Bulunan  $a_{(g)}$  değerleri ile dalgakıran geometrisine ve malzeme özelliklerine bağlı parametrelerin (şev açısı  $\beta=26^\circ$  ve içsel sürtünme açısı  $\varphi=47^\circ$ ) Denklem 6.1’de kullanılmaları ile her bir ivmeye karşılık gelen emniyet katsayıları hesaplanmıştır. Emniyet katsayısının 1 olduğu değere karşılık gelen sadece bir adet pozitif  $a_{(g)}$  değeri mevcuttur bu ivme “yenilme ivmesi”ni ( $a_y$ ) vermektedir. Literatürde tanımlanan yenilme katsayısı ( $k_y$ ) olarak adlandırılan bu katsayı ile yenilme ivmesi arasında ise

$$a_y = k_y g \quad (6.3)$$

biçiminde bir ilişki mevcuttur.

Bu değerin aşılması durumunda şevde hareket başlayacaktır. Yapıda sismik etki altında emniyet katsayısının '1' in altına inmesi durumunda, potansiyel yenilme kütlesi üzerine etkiyen atalet kuvvetleri (toplam göçmeye zorlayan) mevcut göçmeye karşı koyan kuvvetleri aşacak değere ulaşacaktır. Bu durumda denge hali ortadan kalkmaktadır.

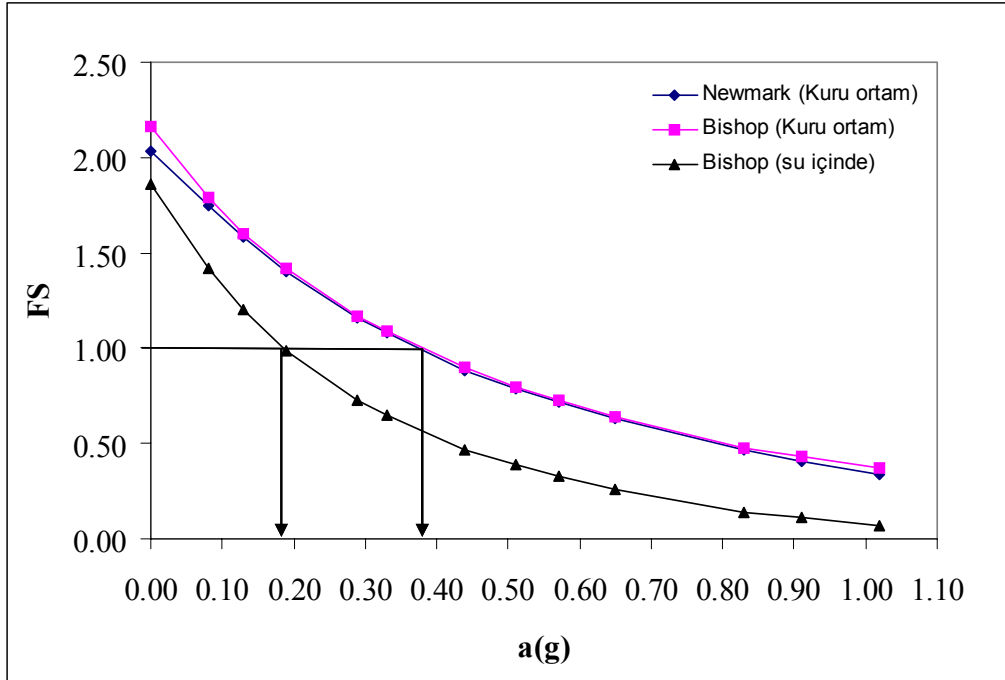
Çizelge 6.1'de farklı ivme değerlerine göre Newmark yöntemine göre kuru ortamdaki model için hesaplanan emniyet sayıları görülmektedir. Hesaplanan emniyet katsayılarının ivmelere göre değişimi aşağıdaki Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Emniyet katsayısını 1 yapan yenilme ivmesi 0.37g olarak bulunmuştur.

#### *Bishop Analizi*

Ayrıca hem kuru ortamdaki hem de su içindeki üniform dalgakıran modelleri için Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi analizi WINSTABL yazılımı ile yapılarak emniyet katsayıları belirlenmiş ve Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Bu analiz sonucunda kuru ortamdaki dalgakıran modeli için emniyet katsayısını 1 yapan yenilme ivmesi Newmark yöntemi ile benzer şekilde 0.38g ve su içindeki model içinse 0.19g olarak bulunmuştur (Şekil 6.1). Kuru ortamda üniform dalgakıran modeli için yapılan deney sonuçları incelendiğinde yaklaşık 0.3g taban ivmesi değerinden sonra deformasyonların ve şevdeki hasar seviyelerinin arttığı görülmektedir (Şekil 5.70-73). Aynı şekilde su içindeki model içinse 0.2g'den sonra deformasyonların ve şevdeki hasar seviyelerinin arttığı deney sonuçları ile belirlenmiştir (Şekil 5.152-155). Bu durum dalgakıran modellerinde bu ivme değerlerinden sonra şev kaymalarının başladığını göstermektedir. Bu sonuçlar, hesaplar ile çalışmada tanımlanan deney sonuçlarının uyumlu olduklarını göstermektedir.

Çizelge 6.1 Farklı taban ivme değerlerine göre hesaplanan emniyet sayıları

Yatay İvme a(g)	Emniyet Sayısı (FS) Newmark (kuru ortam)	Emniyet Sayısı (FS) Bishop (Kuru ortam)	Emniyet Sayısı (FS) Bishop (Su içinde)
0.08	1.75	2.16	1.42
0.13	1.58	1.79	1.20
0.19	1.40	1.60	1.00
0.29	1.16	1.42	0.73
0.33	1.08	1.17	0.65
0.44	0.88	1.09	0.47
0.51	0.79	0.90	0.39
0.57	0.72	0.80	0.33
0.65	0.63	0.73	0.26
0.83	0.47	0.64	0.14
0.91	0.41	0.48	0.11
1.02	0.34	0.43	0.07



Şekil 6.1 Emniyet katsayısının yatay taban ivme değerleri ile değişimi

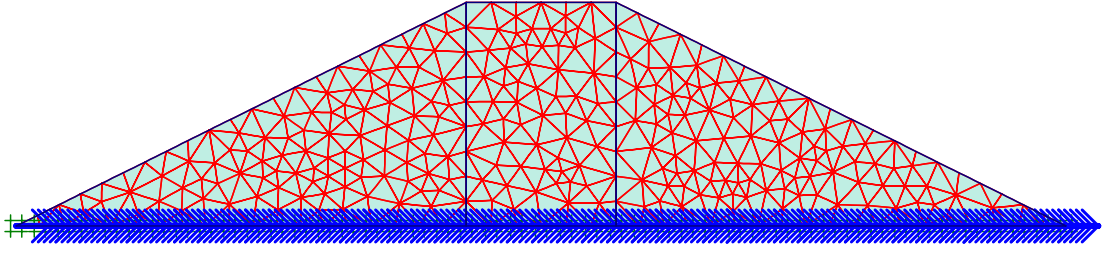
## 6.2 Dinamik Davranış Analizi

Yapılan Fiziksel Dalgakıran Modelleri'nin FEM ile sayısal analizleri yapılmıştır. Seçilen bir titreşim frekansı için kuru ve su altındaki dalgakıran model deneylerinin PLAXIS V9.1 yazılımı yardımı ile sonlu elemanlar yaklaşımı (FEM) kullanılarak statik ve dinamik analizleri yapılmıştır.

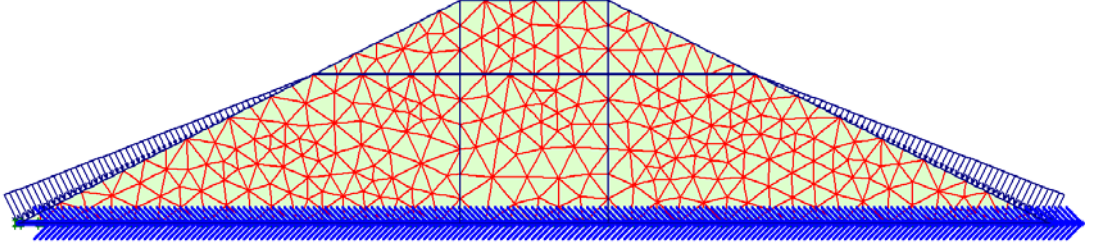
Sayısal analizde 2 mm deplasman genliği ve 5 Hz frekansda anroşman malzeme ile yapılan model deneyleri (su altında ve kuru) gözönüne alınmıştır. Sayısal modelde deney sırasında model dalgakıran tabanında ölçülen 10 s'lik ivme kaydı girdi hareketi (input motion) olarak tanımlanmıştır. Analizlerde doğrusal olmayan elasto-plastik malzeme davranışı için Hardening Small Strain Model (HSS) tercih edilmiştir (Benz, 2006). Bu malzeme modeli malzemenin dinamik bünye davranışını, küçük şekil değiştirme koşullarını da dikkate alarak, elasto-plastik olarak modelleyebilmektedir.

### Sonlu Elemanlar Modeli (FEM)

Model deneylerin analizi için oluşturulan sonlu elemanlar modeline ait ağ yapıları kuru hal için Şekil 6.2a'da su altındaki model için ise Şekil 6.2b'de gösterilmiştir.

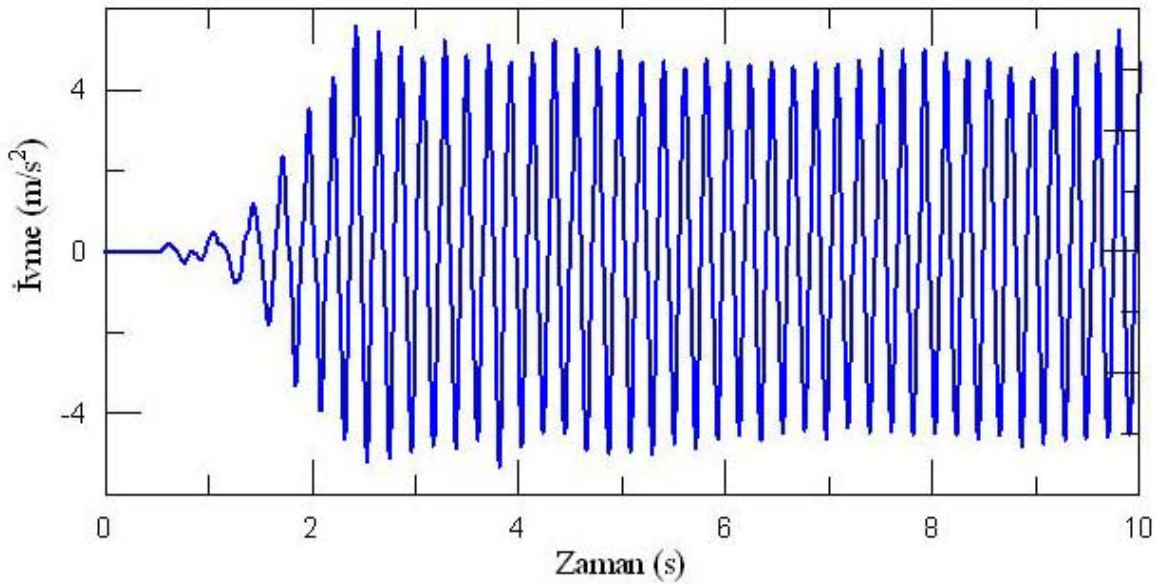


Şekil 6.2a. Kuru model deneyin model ağı

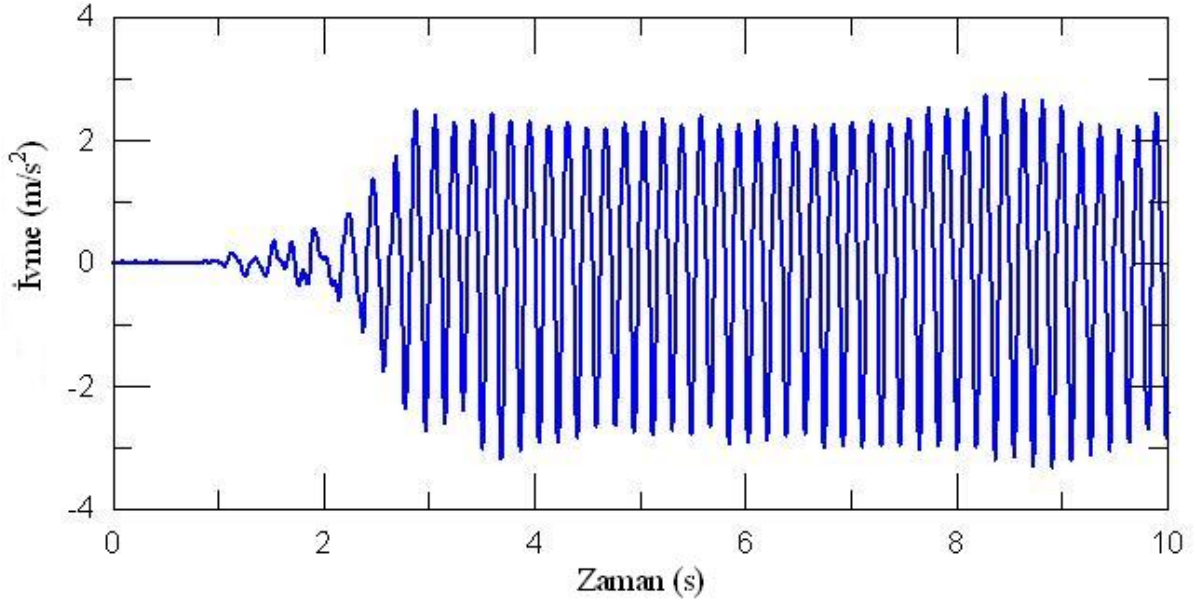


Şekil 6.2b. Su altındaki model deneyin model ağı

FEM model ağında kuru hal için 15 düğüm noktalı 574 adet üçgen eleman kullanılmıştır. Modelde toplam düğüm noktası sayısı 4777 adettir. Su altındaki model ağında ise 15 düğüm noktalı 542 adet üçgen eleman kullanılmıştır. Bu modeldeki toplam düğüm sayısı ise 4521 adettir. Şekil 6.2a ve 2b'den görüldüğü gibi girdi hareketi (input motion) tabandan uygulanmıştır. Bu şekillerdeki mavi oklar girdi hareketi'nin uygulandığı sınırı göstermektedir. Uygulanan girdi hareketi deneyler sırasında tank tabanında ölçülen ivme kayıtlarıdır. Kuru deney için Şekil 6.3a'da, su içindeki deney için ise Şekil 6.3b'de girdi hareketinin zamansal tarihçesi verilmiştir.



Şekil 6.3a Kuru hal için ölçülen ivme kaydı



Şekil 6.3b Su içindeki hal için ölçülen ivme kaydı

Su içindeki FEM modelinde Şekil 6.2b'de görüldüğü gibi kretten 20 cm aşağıda bir su seviyesi tanımlanmıştır. Deneysel sarsmadan dolayı oluşan hidrodinamik etkinin ihmal edilecek düzeyde küçük olmasından dolayı analizlerde bu etki ihmal edilmiştir (bkz Bölüm 4.4). Analizlerde dalgakıran modeline ait malzemenin davranışı için Benz (2006) tarafından geliştirilen Hardening Soil Small Strain malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model dinamik yükler altındaki zemin malzemesinin davranışı için geliştirilmiştir. Bu bünye modeli için analizlerde kullanılan malzeme parametreleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Sayısal analizlerde kullanılan malzeme parametreleri

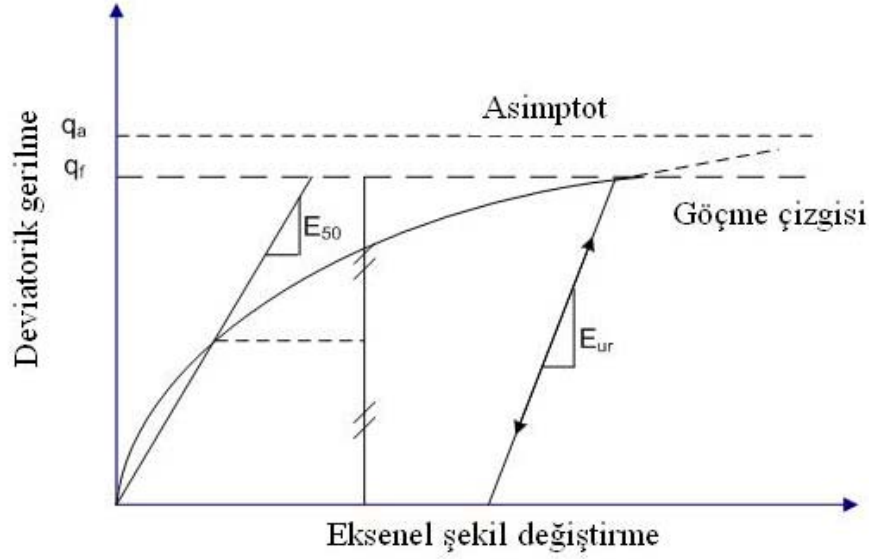
Sembol	Adı	Birim	Kuru hal	Su içinde
$\gamma_{\text{unsat}}$	Suya doymun olmayan birim ağırlık	kN/m <sup>3</sup>	16	16
$\gamma_{\text{sat}}$	Suya doymun birim ağırlık	kN/m <sup>3</sup>	17	17
$E_{50}^{\text{ref}}$	Referans secant Young modülü	kN/m <sup>2</sup>	33000	66000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	Ödometre modülü	kN/m <sup>2</sup>	30000	66000
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	Referans boşaltma- tekrar yükleme modülü	kN/m <sup>2</sup>	99000	198000
c	Kohezyon	kN/m <sup>2</sup>	0.01	0.01
$\phi$	Kayma mukavemeti açısı	derece	46	46
$\psi$	Dilatasyon açısı	derece	6	6
$\nu_{\text{ur}}$	Poisson oranı	-	0.2	0.2
$p_{\text{ref}}$	Referans gerilmesi	kN/m <sup>2</sup>	100	100
$m_0$	Malzeme sabiti	-	0.5	0.5
$K_{\text{0nc}}$	Sukünetteki toprak basıncı katsayısı	-	0.296	0.296
$\gamma_{0.7}$	Kritik kayma şekil değiştirme	kN/m <sup>2</sup>	$1.34 \times 10^{-4}$	$1.34 \times 10^{-4}$
$G_0$	Başlangıç kayma modülü	kN/m <sup>2</sup>	$7.4 \times 10^4$	$7.4 \times 10^4$
$R_f$	Göçme oranı	-	0.9	0.9

Bünye Modeli ve Malzeme Parametreleri

Hardening Soil Model, Duncan ve Chang (1970) tarafından geliştirilen hiperbolik modelin ileri bir versiyonudur. İlk geliştirilen versiyonlarından (Kondner, 1963 ve Duncan ve Chang, 1970) farklı olarak plastiste teorisinden yararlanılmakta ve malzemenin plastik davranışını modellemek için gerekli olan akma yüzeyi, pekleşme, akma kuralı, dilatansi ve başlık gibi kavramları gözönüne almaktadır. HS Modelin daha önceki modellerden diğer bir üstünlüğü de pekleşme durumunda deviator gerilmeden oluşan kayma pekleşmesi ile normal gerilmelerden oluşan hacimsel pekleşmeyi ayrı ayrı hesaplayabilme özelliğine sahip olmasıdır. Bu özellikleri ile HS modeli zemin davranışını yükleme ve boşaltma durumlarının ayırına vararak gerçeğe yakın bir şekilde elasto-plastik olarak modelleyebilmektedir. HS Modeli için gerekli rijitlik parametreleri sekant modülü  $E_{50}^{ref}$ , ödometre modülü  $E_{oed}^{ref}$  ve boşaltma (yük kaldırma)-tekrar yükleme modülü  $E_{ur}^{ref}$  dir. Bu modüller sınır koşulu olarak başlangıçta tanımlanır ve daha sonra Denklem 6.4 yardımı ile her biri ortamdaki gerilmelerin aldıkları değerlere göre yeniden belirlenmektedir.

$$E_i = E_i^{ref} \left( \frac{c \cos \varphi - \sigma'_3 \sin \varphi}{c \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^{m_0} \quad (6.4)$$

Burada  $E_i$  belirli bir gerilme seviyesine göre yukarıda tanımlanan modüllerden birini,  $E_i^{ref}$  ise buna karşılık referans modülü ( $E_{50}^{ref}, E_{oed}^{ref}, E_u^{ref}$ ) göstermektedir. Eşitlikte  $c$  kohezyonu,  $\varphi$  kayma mukavemeti açısını,  $p^{ref}$  referans modüllerin belirlendiği referans gerilmeyi,  $m$  ise malzeme sabiti olarak tanımlamaktadır. Bu rijitlik parametreleri üç eksenli deneylerden Şekil 6.4'den görüldüğü gibi elde edilmektedir. Modelde mukavemet parametreleri olarak kayma mukavemeti açısı, kohezyon ve dilatansi açısı tanımlanmaktadır. Bu rijitlik ve mukavemet parametreleri yanında model için, Poisson oranı, referans gerilme  $p^{ref}$ , üstel parametre  $m_0$ , göçme oranı  $R_f$  ( $= q_f/q_a$ , Şekil 6.4), sükunetteki toprak basıncı katsayısı  $K_o$ 'da tanımlanmaktadır.

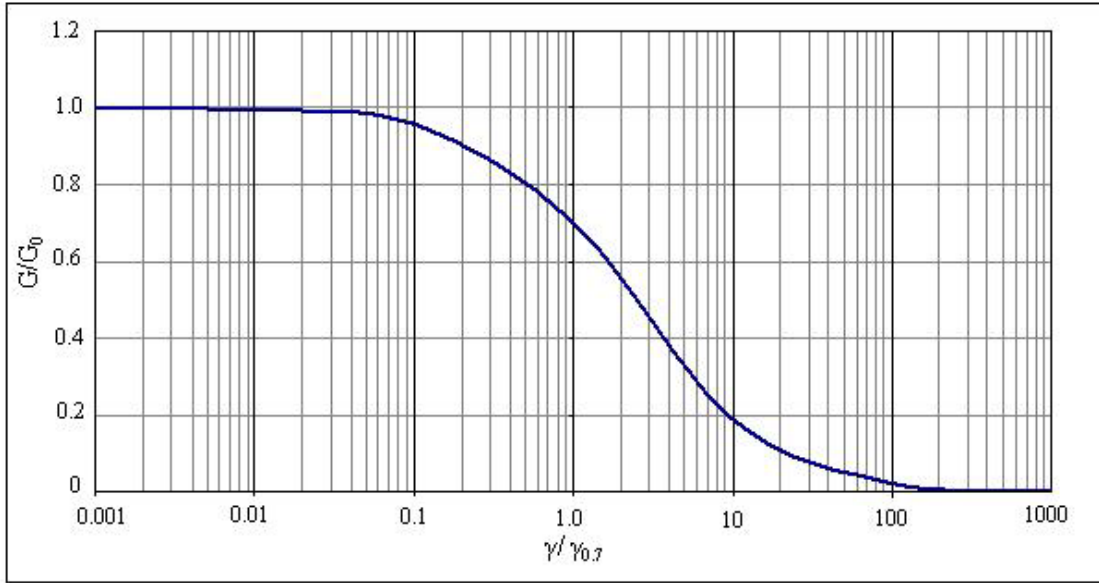


Şekil 6.4 Üç eksenli basınç deneyinden HS model için rijitlik parametreleri

Hardening Soil Small Strain Model (HSS), malzeme davranışının farklılık gösterdiği çok küçük şekil değiştirme ( $\gamma < 10^{-4}$ ) seviyelerini modelleyebilmek için geliştirilmiştir. Düşük şekil değiştirme seviyelerinde genellikle zemin malzemeleri mühendislik şekil değiştirme seviyelerinden daha yüksek rijitlik (stiffness) göstermektedir. Bu rijitlik ile şekil değiştirme arasında doğrusal olmayan bir ilişki bulunmaktadır. Bu davranış HSS modelinde, HS modelinde kullanılan parametrelere ek iki malzeme parametresi kullanılarak tanımlanmıştır. Bu parametreler, başlangıç kayma modülü ( $G_0$ ) ve küçük şekil değiştirmeler için eşik kayma şekil değiştirme ( $\gamma_{0.7}$ ) parametreleridir. Başlangıç kayma modülü ( $G_0$ ) çok küçük kayma şekil değiştirme seviyeleri ( $\gamma < 10^{-6}$ ) için arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilmektedir. Kritik kayma şekil değiştirme ( $\gamma_{0.7}$ ) değeri ise başlangıç kayma modülü ( $G_0$ )'nın %70'ine karşı gelen kayma şekil değiştirmesi değeridir (Plaxis V9 Manual, 2009).

Zemin dinamiğinde küçük şekil değiştirme rijitliği iyi bilinen bir kavram olmasına rağmen, statik analizde, dinamik analiz sonuçlarının uygulanamayacağı düşünülmektedir. Statik ve dinamik zemin rijitliği arasında görülen bu farkın uygulanan şekil değiştirme büyüklüğünden ziyade, yüklemenin doğasından kaynaklandığı (atalet kuvveti, şekil değiştirme oranı gibi) düşünülmektedir. Atalet kuvvetlerinin ve şekil değiştirme oranının başlangıç zemin rijitliği üzerinde oldukça küçük etkisi olduğu düşünüldüğünden, dinamik zemin rijitliği ile küçük şekil değiştirme rijitliğinin aynı olduğu kabul edilmektedir. HSS modeli dinamik zemin davranışını modellemek için geliştirilen Hardin-Drnevich modeli (1972) gibi gerilme şekil değiştirme ilişkisinde Şekil 6.5'de verildiği gibi bir degradasyon eğrisi oluşturulmaktadır (Plaxis V9 Manual, 2009). Bu model dinamik (çevrimsel) yükleme için gerekli kuralları

(Masing, 1926) gözönüne alarak çevrimsel ilmiğe göre malzeme davranışını modelleyebilmektedir (Plaxis V9 Manual, 2009).



Şekil 6.5 Modifiye edilmiş Hardin-Drnevich kayma modülü-kayma şekil değıştirme degradasyon eğrisi (Plaxis V9 Manual, 2009)

Bu çalışmada  $\gamma_{0.7}$  değeri aşağıdaki eşitlik yardımı ile belirlenmiştir.

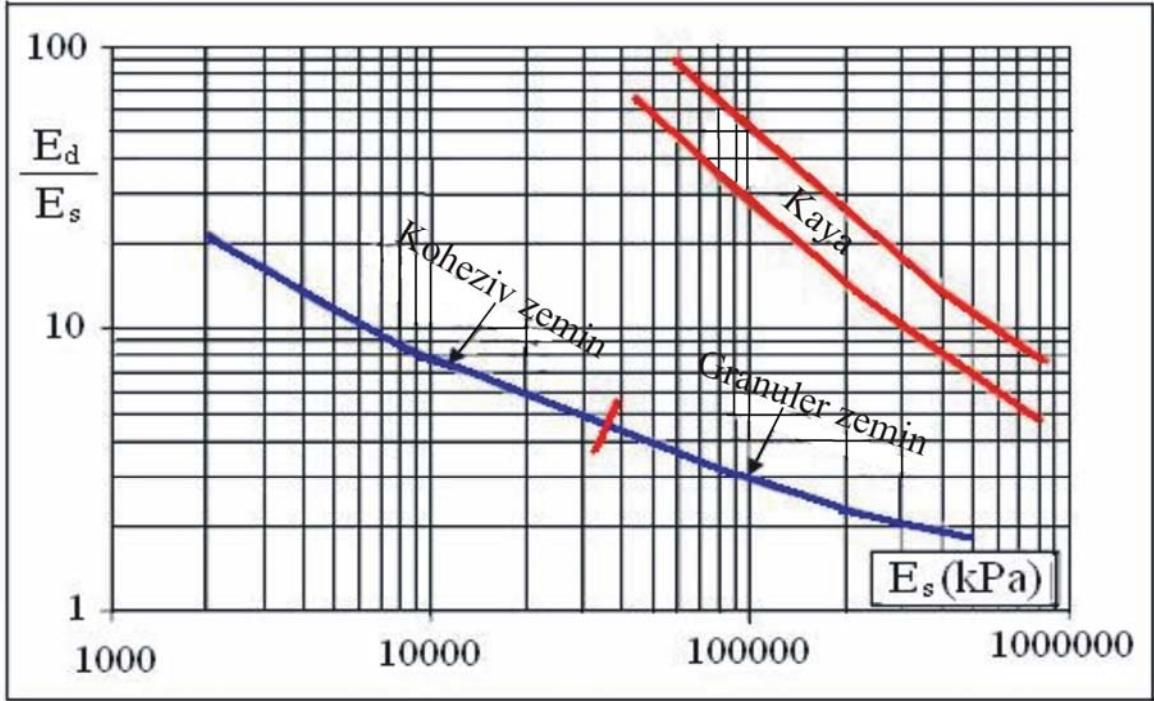
$$\gamma_{0.7} \approx \frac{1}{9G_0} \left[ 2c'(1 + \cos(2\varphi')) - \sigma'_1(1 + K_0)\sin(2\varphi') \right] \quad (6.5)$$

Burada  $c'$  kohezyon,  $\varphi'$  kayma mukavemeti açısı,  $K_0$  sükunetteki toprak basıncı katsayısıdır.

$G_0$  değerin belirlenmesi için başlangıç elastisite modülü  $E_0$  değerinden yararlanılmıştır. Başlangıç elastisite modülü değeri AnhDan vd (2006) tarafından yapılan deneysel çalışmalara göre belirlenmiştir. Kritik şekil değıştirme değerinden daha büyük şekil değıştirmeler ve statik analizler için gerekli olan rijitlik parametreleri ( $E_{50}^{ref}$ ,  $E_{oed}^{ref}$ ,  $E_u^{ref}$ ) ise Alpan (1970) tarafından önerilen ve Şekil 6.6'de gösterilen statik–dinamik elastisite modülü ilişkisinden yararlanılarak bulunmuştur.

HSS Modeli ile analiz edilen sayısal modellerde ortamdaki gerilme dağılımına bağlı olarak rijitlik parametrelerini her gerilme noktasında (Gauss point) belirlendiğinden boyut etkisi otomatik olarak gözönüne alınmaktadır.



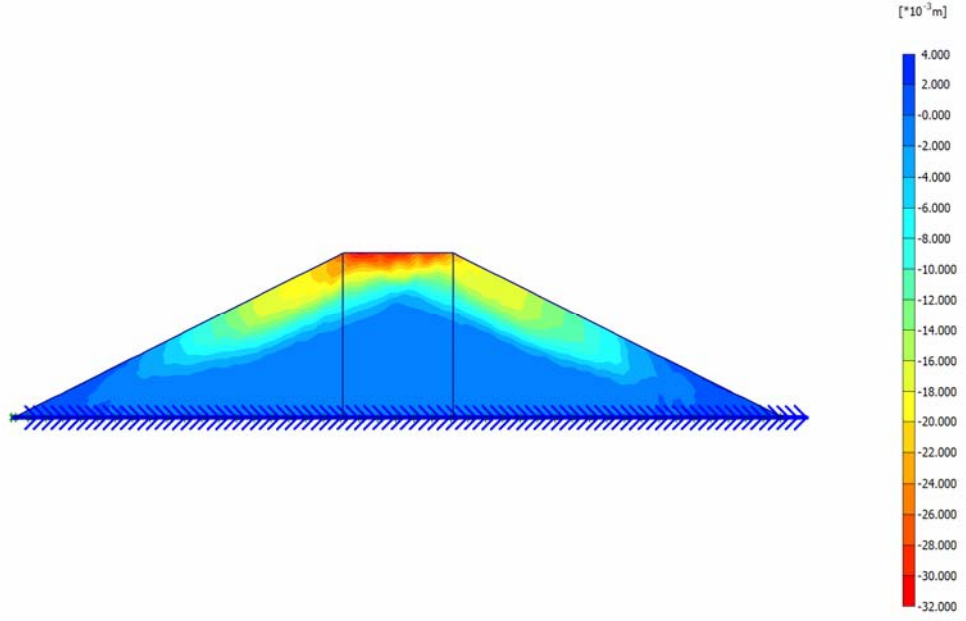


Şekil 6.6 Statik elastisite modülü ve Dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki (Alpan,1970)

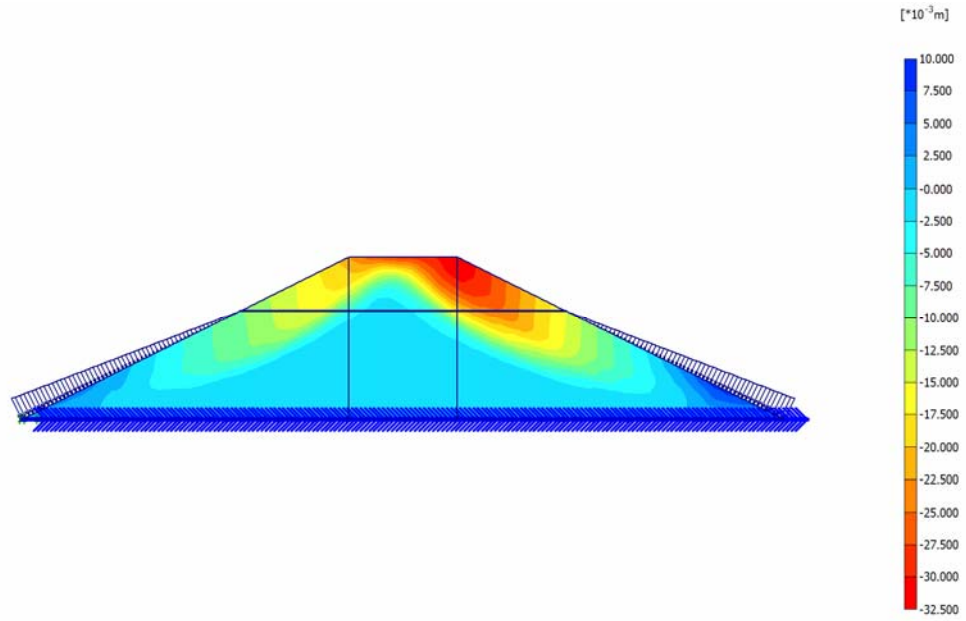
Analizlerde model ortamının sürekli olduğu kabul edilmiş ve drenajlı malzeme davranışı gözönüne alınmıştır. Su içindeki modelde su altında kalan kısmın rijitlik parametreleri kuru duruma yakın olması için artırılmıştır.

#### Sayısal Analiz Sonuçları

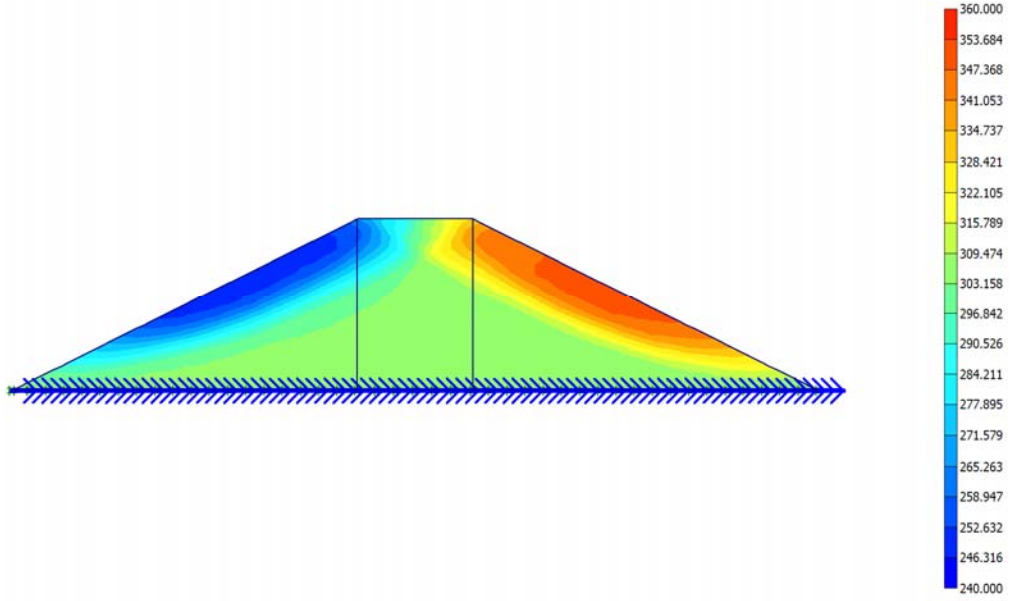
Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara ait grafikler ve bu sonuçlardan bazılarının ölçümler ile karşılaştırılması aşağıda sunulmuştur. Analizlerde 10 s sonunda hesaplanan düşey yer değiştirmeler kuru durum için Şekil 6.7a'da su içindeki hal için Şekil 6.7b'de verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü en büyük düşey yer değiştirmelerin krette ve daha sonra düşey yer değiştirmenin şevlere doğru geliştiği görülmektedir. Analizlerden elde edilen toplam (bileşke) yer değiştirme sonuçlarına göre deneylere benzer şekilde en çok hareket şevlerde oluşmaktadır. Bu durum toplam yer değiştirmelerin gösterildiği Şekil 6.8a ve 8b'deki grafiklerden açıkça görülebilir.



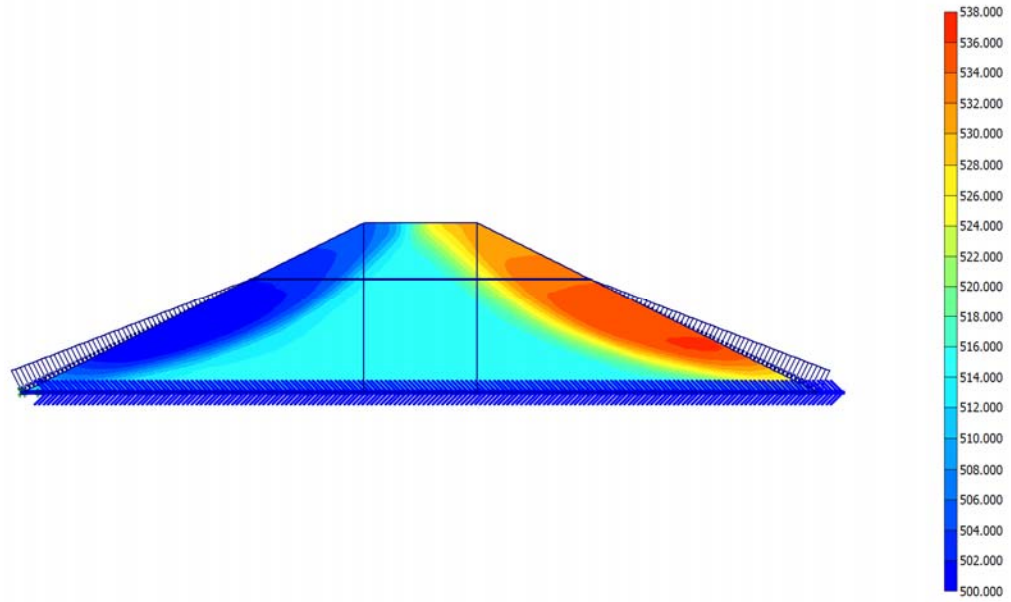
Şekil 6.7a. Kuru hal için 10 s sonunda oluşan düşey yer değiştirme dağılımı



Şekil 6.7b. Su içindeki hal için 10 s sonunda oluşan düşey yer değiştirme dağılımı



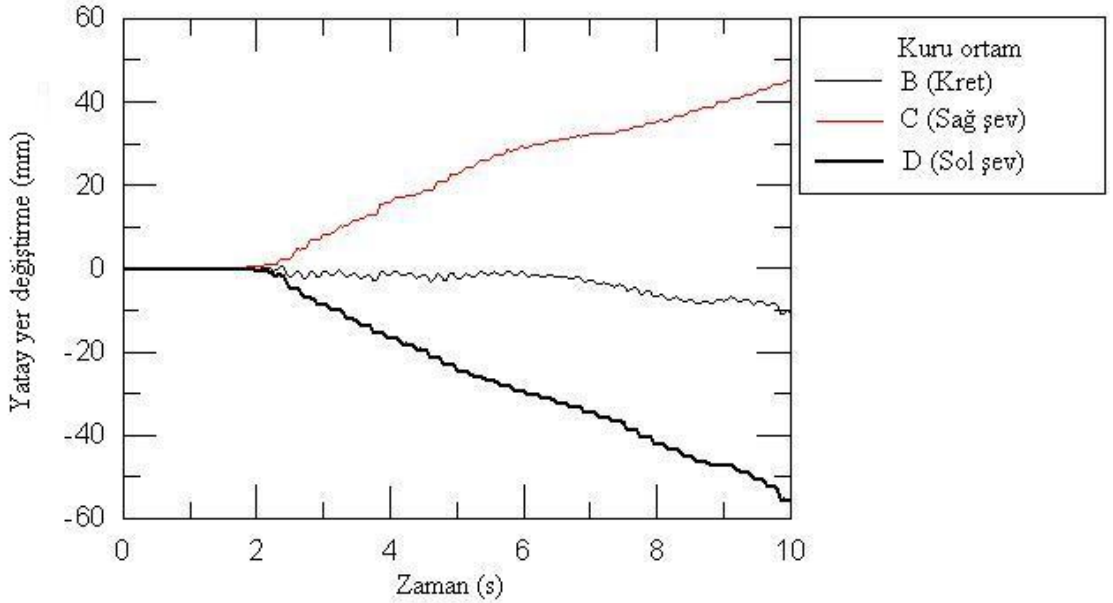
Şekil 6.8a. Kuru hal için toplam yer değiştirme dağılımı



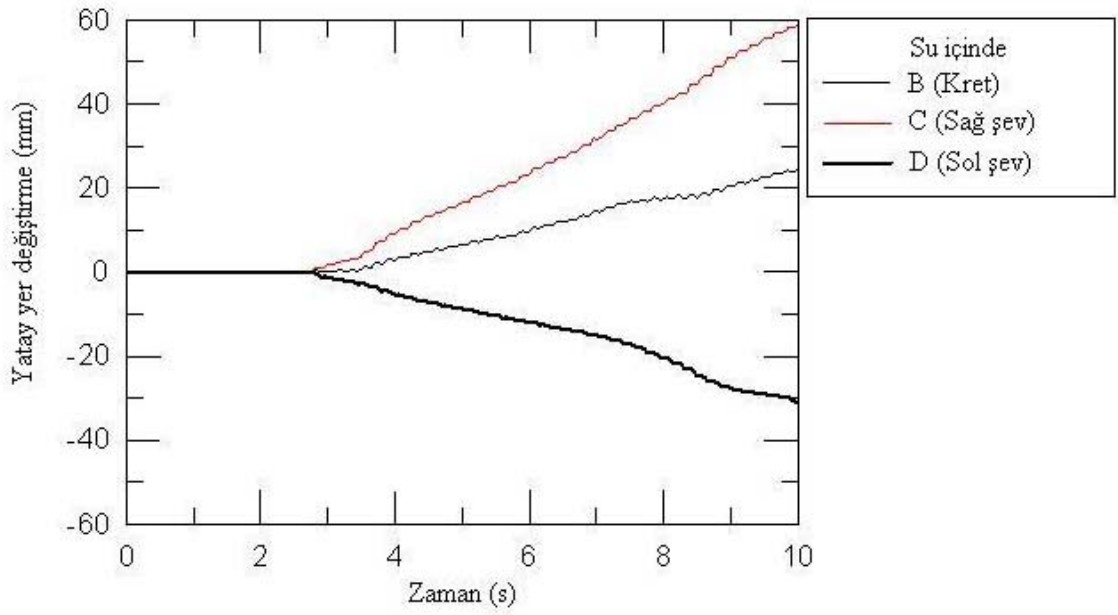
Şekil 6.8b. Su içindeki hal için toplam yer değiştirme dağılımı

Dalgakıranın tabanından uygulanan sinüzoidal yük karşısında gösterdiği davranışı incelemek için kret ve şevlerin ortasında oluşan yanal yer değiştirmelerin zamanla değişimini gösteren veriler değerlendirilmiştir. Kret ve şevlerin ortasında yanal yer değiştirmelerin zamanla değişimini gösteren grafikler kuru hal için Şekil 6.9a'da su içindeki hal için ise Şekil 6.9b'de verilmiştir. Dalgakıranın kanal eksenine doğrultusundaki düşey kesiti için derinlik boyunca

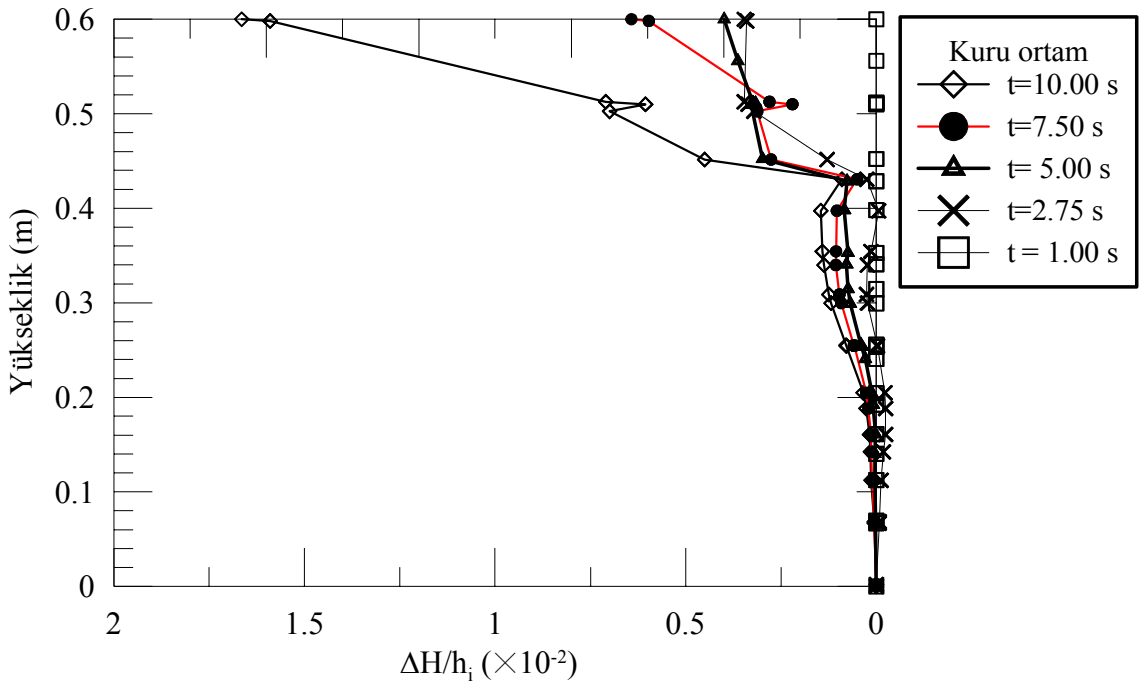
oluşan yer değiştirmeleri ise kuru ve su içindeki haller için sırasıyla Şekil 6.10a ve 6.10b’de verilmiştir. Şekil 6.9a ve 6.9b’deki grafiklerden görüldüğü gibi her iki durumda sağ şev sağa sol şev sola doğru hareket etmektedir. Kuru haldeki dalgakıranın kanal eksenindeki kesitinde (kretin orta noktası) rölatif yanal deplasmanların zamanla ve derinlikle değişiminin üç bölgeye ayrılabilceği Şekil 6.10a’da görülmektedir. Kret seviyesinin 0.1 m altına kadar yanal hareket 2.5 s’den sonra önemli bir artış göstermektedir. 10 s sonundaki oluşan yanal hareketin maksimum değeri dalgakıran yüksekliğinin %1.7 katına ulaşmıştır. Kret seviyesinden 0.2 m altında yanal hareket azalmakta, kretten 0.3 m daha derinde ise tekrar artma eğilimi göstermektedir. Bu derinlikten sonra yanal hareket değeri derinlik boyunca azalmaktadır. Şekil 6.10b’de ise su içindeki halde dalgakıran kesitinin rölatif yanal deplasmanının zamanla ve derinlikle değişimi gösterilmektedir. Su içindeki durumda kuru duruma göre daha fazla yanal yer değiştirmenin olduğu görülmektedir. 2.5 s’den sonra kretten itibaren 0.2 m altında yanal yer değiştirmenin belirgin olduğu, bu derinlikten sonra yanal yer değiştirmelerin doğrusala yakın bir şekilde derinlik boyunca azaldığı görülmektedir. Bu halde 10 s sonunda oluşan maksimum yer değiştirmenin dalgakıran yüksekliğine oranı %4.2 olmuştur.



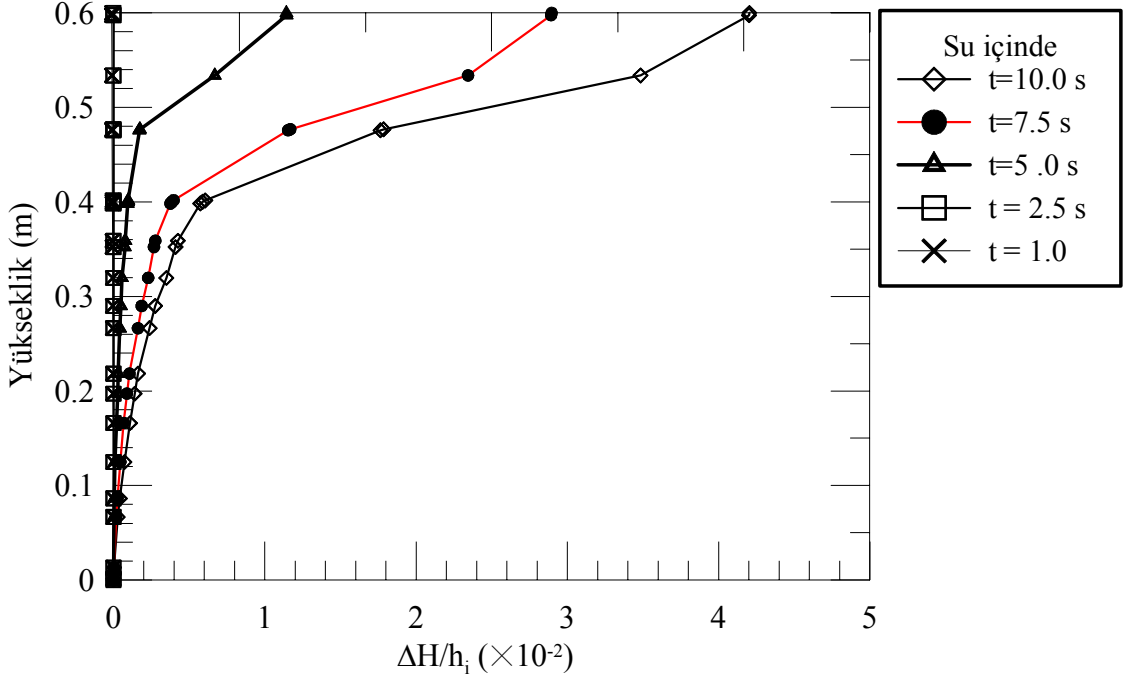
Şekil 6.9a. Kuru hal için şevlerde ( $y=0.30$  m) ve krette ( $x=1.40$  m) oluşan yanal yer değiştirmelerin zamanla değişimi



Şekil 6.9b. Su içindeki hal için Şevlerde ( $y=0.30$  m) ve krette ( $x=1.40$  m) oluşan yanıl yer değiştirmelerin zamanla değişimi



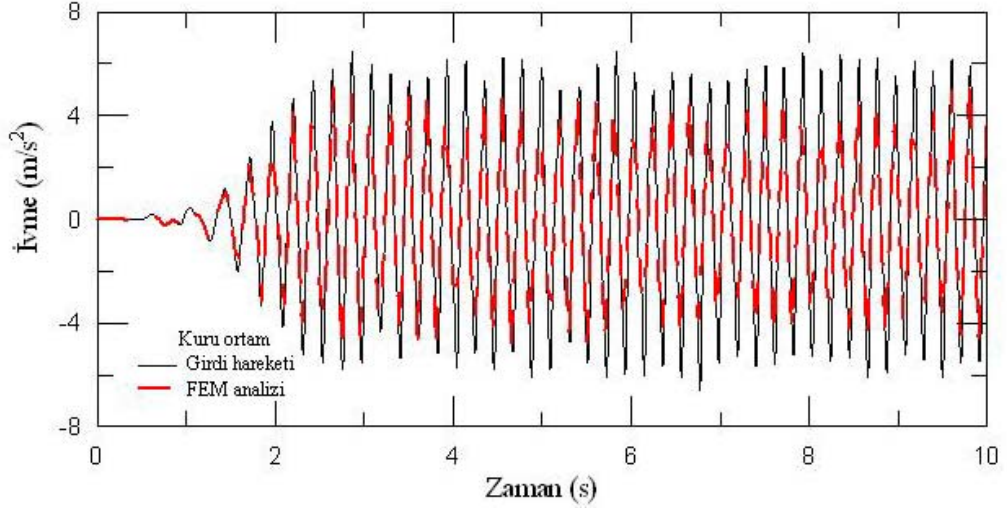
Şekil 6.10a Kuru haldeki dalgakıranın kanal eksenindeki kesitinde rölatif yanıl deplasmanların zamanla ve derinlikle değişimi



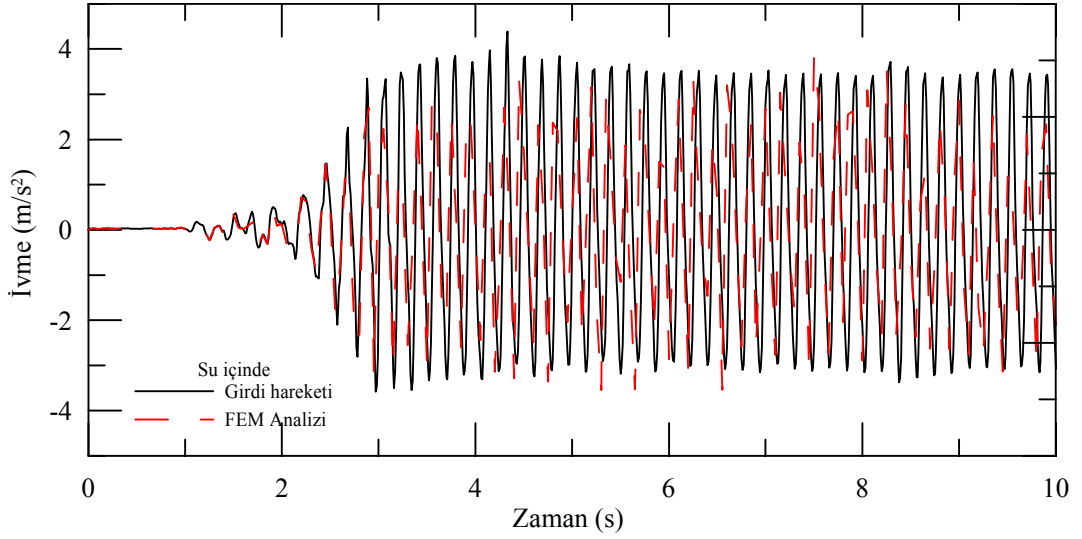
Şekil 6.10b Su içindeki dalgakıranın kanal eksenindeki kesitinde rölatif yanıl deplasmanların zamanla ve derinlikle değişimi

#### Analiz sonuçlarının deneysel bulgular ile karşılaştırılması

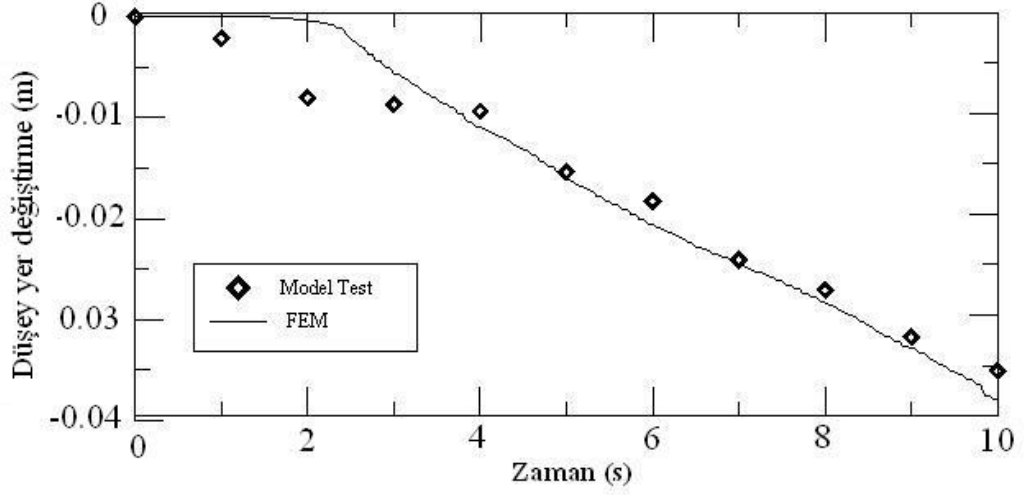
Analizlerin doğruluğunu kanıtlamak ve dalgakıranların sismik davranışını gerçeğe yakın modellenebileceğini kanıtlamak amacıyla analizlerden elde edilen sonuçların bazıları deneylerden elde edilen bulgular ile karşılaştırılmıştır. Buna göre dalgakıran modelinin kretinde ölçülen yanıl ivmelerin sayısal analizlerden elde edilen veriler ile karşılaştırılması kuru hal için Şekil 6.11a'da, su içindeki hal için Şekil 6.11b'de verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi analizlerden elde edilen kretteki ivme tarihçesi deneylerden elde edilen ölçümler ile uyumludur. Model deneylerde ölçülen kretteki oturmaların zamanla değişiminin sayısal analizlerde elde edilenler ile karşılaştırılması, kuru ve su içindeki haller için Şekil 6.12a ve 6.12b'de verilmiştir. Kuru durum için Şekil 6.10a'da ve su içindeki için Şekil 6.10b'de verilen grafiklere benzer şekilde dalgakıranda çeşitli noktalarda nihai durum için toplam yer değiştirmelerin derinlikle değişimi çizilecek olursa kayma yüzeyleri ortaya çıkmaktadır (Şekil 6.13 ve 6.14). Şekil 6.13 ve 6.14'te nihai durum için (t=10 s) dalgakıran boyunca farklı kesitlerde sayısal modelden elde edilen toplam yer değiştirmeler ve bunlara göre çizilen kayma yüzeyleri ile deneylerden ölçülen deforme olmuş dalgakıran kesiti karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların yeterince uyumlu oldukları görülmüştür.



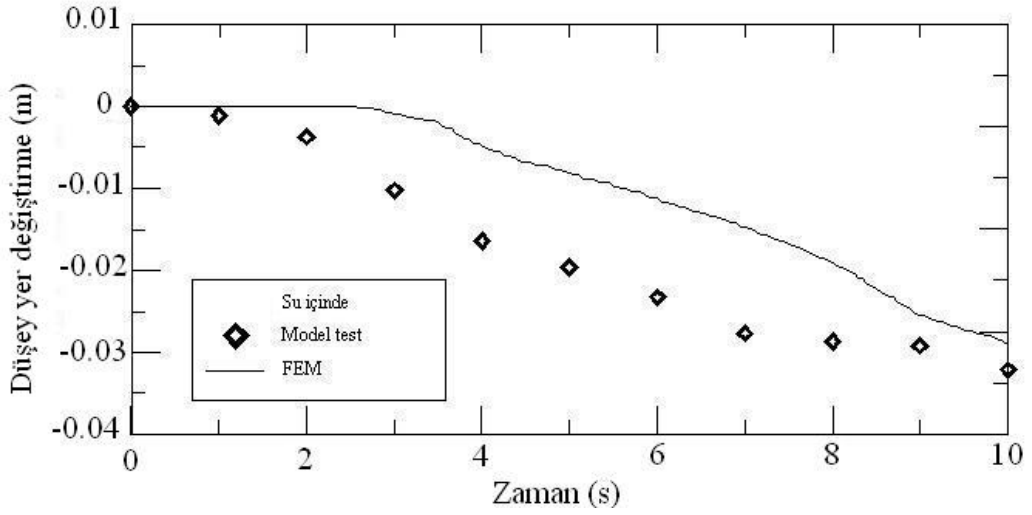
Şekil 6.11a. Kuru hal için krette ölçülen ve hesaplanan ivme tarihçesi



Şekil 6.11b. Su içindeki hal için krette ölçülen ve hesaplanan ivme tarihçesi

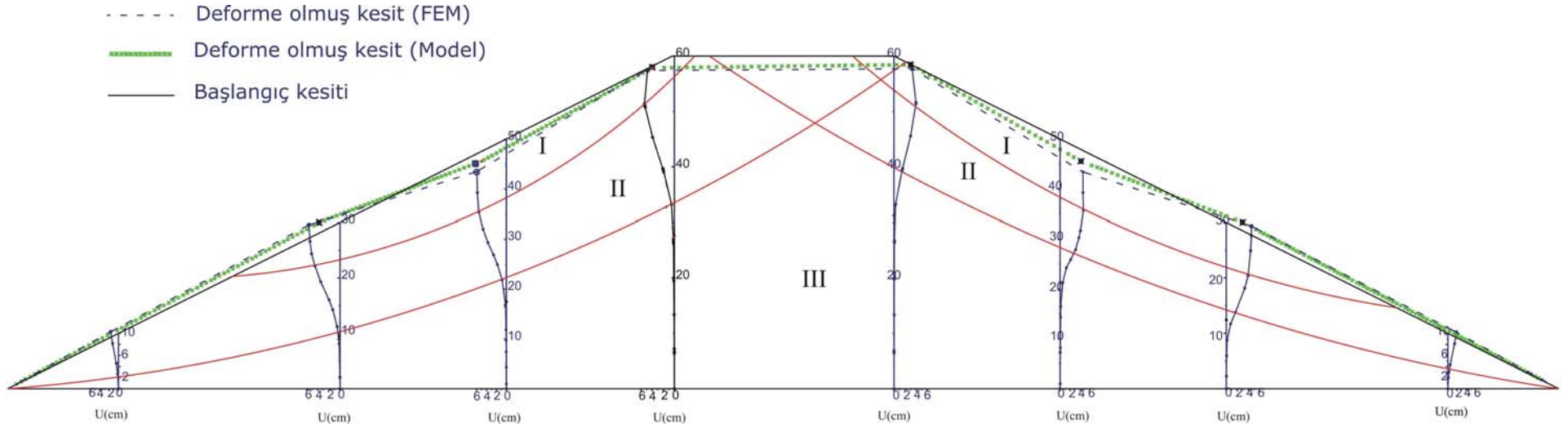


Şekil 6.12a. Kuru hal için krette ölçülen ve hesaplanan oturmaların zamanla değişimi

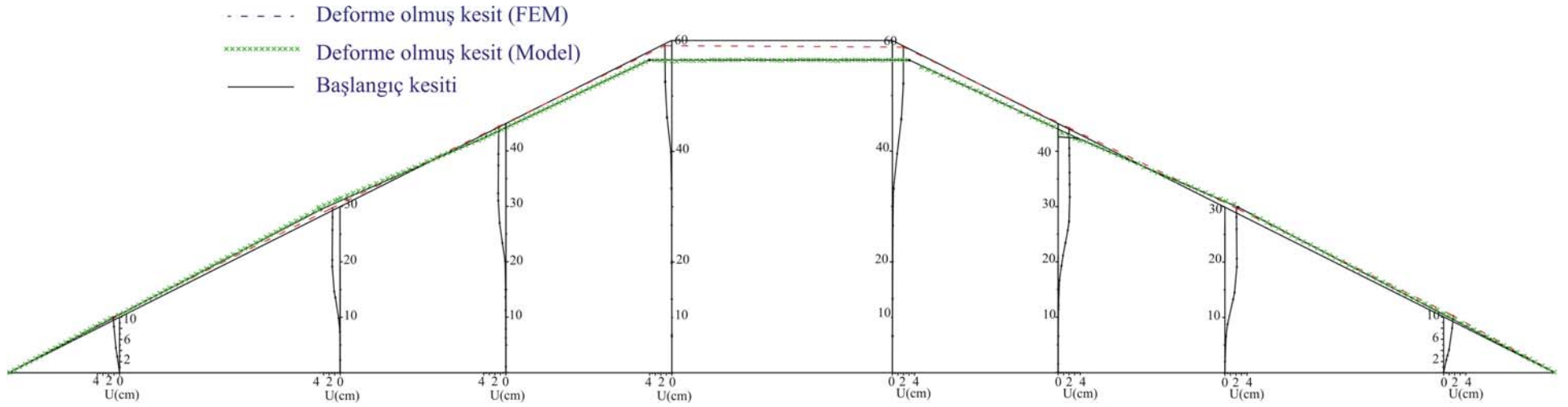


Şekil 6.12b. Su içindeki hal için krette ölçülen ve hesaplanan oturmaların zamanla değişimi





Şekil 6.13 Model dalgakırında nihai durumda oluşan kayma yüzeyleri ve deforme olmuş şekil (kuru ortamda)



Şekil 6.14 Model dalgakıranda nihai durumda oluşan deformasyon (su içinde)



## 7. TABAKALI KESİTLİ GELENEKSEL TAŞ DOLGU DALGAKIRANIN SİSMİK DAVRANIŞI

### 7.1 Giriş

Tabakalı taş dolgu kesitin sismik davranışı iki aşamada incelenmiştir. Bunlar;

1-Topuksuz geleneksel taş dolgu dalgakıran

2-Topuklu geleneksel taş dolgu dalgakıran

Taş dolgu dalgakıran kesitleri Bölüm 5’de sismik davranışları incelenen anroşman ve çekirdek malzemelerinden oluşturulmuştur. Çekirdek malzemesinin üzerine iki sıra taş koruma malzemesi teşkil edilmiştir.

### 7.2 Topuksuz Taş Dolgu Dalgakıranın Sismik Davranışı

Tabakalı dalgakıran model kesiti nominal çapı,  $D_{n50}$  , 4.64 cm olan taşların sabit bir yükseklikten bırakılarak oluşturulmuş iki tabaka koruma tabakası ile her deney için bilgisayar kontrollü otomatik serme mekanizması tarafından oluşturulan  $D_{n50}$ ’si 22 mm olan çekirdekten meydana gelmektedir (Şekil 7.1). Model rijit taban üzerindedir. Model oluşturulduktan sonra,  $\pm 1$ mm hassasiyetle ölçüm yapan Bed Profile ile 10 cm aralıklarla 5 farklı kesitte profil çıkarılmıştır. Deneyler  $\frac{1}{2}$  eğimli ve 60 cm kret yüksekliğine sahip kesit için 40 cm derinlikteki su içinde farklı genlik ile frekanslar için yapılmıştır. Çizelge 7.1’de deneylerin gerçekleştirildiği genlikler ve frekanslar gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 Genlik ve frekans değerleri

Genlik (mm)	Frekans (Hz)				
1	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7
3	3	4	5	6	-

Çizelge 7.1’de görüldüğü gibi herbir genlik için 3, 4, 5, 6, 7 Hz’lik frekanslar uygulanmış ve üç genlik için toplamda 14 adet deney yapılmıştır. Şekil 7.2’de sarsma tankına yerleştirilen model kesitinde ivme ölçerlerin konumu gösterilmiştir. 2 nolu ivme ölçer model tabanında sarsma tankına, 3 nolu krete, 4 nolu sol şev koruma tabakasına, 5 nolu ise çekirdeğe yerleştirilmiştir. Çizelge 7.2’de sismik tankta yapılan deneyler sonrası belirlenen parametreler

özetlenmiştir. Bu parametreler tankın sahip olduğu frekans ve genlikler dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Şekil 7.3'den 7.8'e kadar 1 mm genlik 5 Hz frekansa sahip deneyler için ivme değişimi ile dikkate alınan kesitlerdeki deney öncesi ve sonrası profiller çizilerek gösterilmiştir. Benzeri değişimler sırasıyla 1mm genlik 6 Hz, 2mm genlik 5 Hz – 6 Hz frekansları , 3mm genlik 5 Hz – 6 Hz frekansları için Şekil 7.9'den 7.38'e kadar çizilerek gösterilmiştir. Her üç genlik için 3 Hz ve 4 Hz frekanslarında çok belirgin deformasyonlara rastlanmadığından bunlara ait değişimler Ek4'te verilmiştir.

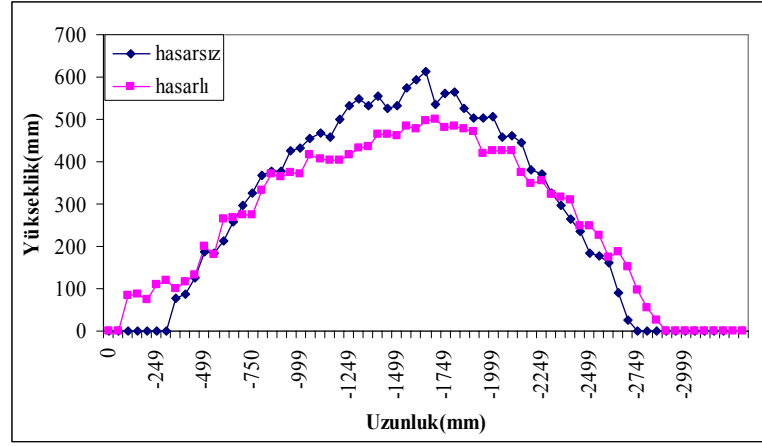
Şekil 7.3'den 7.38'e kadar tüm şekiller incelendiğinde rijit tabana oturan modellerin tabanda uygulanan girdi hareketi özelliklerine (frekans, ivme ve deplasman genliği) bağlı olarak krette değişim gösterdikleri anlaşılmaktadır. Bazı ivme tarihçesi şekillerinde sıçramalar görülse de bunlar modeli oluşturan taş elemanların bireysel hareketlerinden kaynaklanmaktadır.

Dikkate alınan kesitlerdeki sarsma deneyleri sonrası değişen profiller incelendiğinde modelde sıkışma olmakta (oturma ve şevlerde yayılmalar) ve bunun sonucunda kesitte deformasyon meydana geldiği anlaşılmaktadır. Özellikle frekans değerlerinin artması ile oturma ve yayılmanın arttığı gözlemlenmiştir. Yayılma sırasında koruma tabakasının çekirdek malzemesine göre daha farklı davranış özelliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Koruma tabakası belli bir frekans değerinde (5 Hz) daha fazla yayılarak çekirdek görünür hale geçmiştir. Görüntü işleme tekniği kullanılarak model kesitindeki deformasyonun zamanla değişimi incelenmiştir. Şekil 7.39 ve 7.40'ta belirgin anlardaki değişimler görülmektedir. Uygulanan çevrimsel yük altında model kesitte oluşan deformasyonun zamansal gelişiminin belirlenmesi amacıyla deneylerin zamanla değişimi izlenmiştir, Şekil 7.41'den 7.45'e kadar verilen örneklerden görüldüğü gibi genellikle kesitteki deformasyonun % 80'ı ilk 10 s'de deformasyonun geri kalan kısmı ise ilk 20 s'de tamamlanmaktadır.

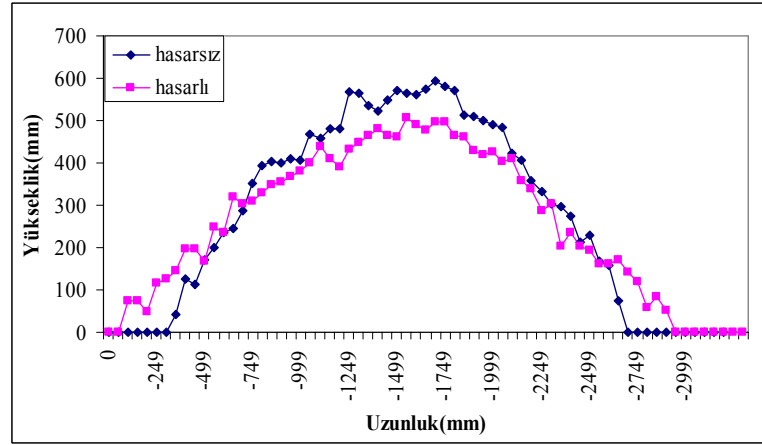
Çizelge 7.2 Tabakalı geleneksel taşdolgu dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları (Topuksuz).

D.N	Maksimum Düşey Deplasman (mm)	Toplam Hacim Değişimi (mm <sup>3</sup> )	sağ şev hacim değişimi (mm <sup>3</sup> )		sol şev hacim değişimi (mm <sup>3</sup> )		sağ şev kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )		sol şev kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )		sağ şev toplam kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )	sol şev toplam kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )	sağ şev	sol şev
	(S <sub>c</sub> )	(ΔV) × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	Hasar (S)	Hasar (S)
0103TTK	6.26	1.20	9.69	10.44	11.63	11.03	1.00	1.08	1.20	1.14	0.08	0.06	0.46	0.56
0104TTK	34.64	30.16	24.64	73.44	31.30	73.96	2.54	7.57	3.23	7.62	5.03	4.40	1.18	1.50
0105TTK	115.06	310.64	254.33	363.15	322.16	336.94	26.22	37.44	33.21	34.74	11.22	1.52	12.18	15.43
0106TTK	157.04	494.88	373.22	549.50	320.47	340.40	38.48	56.65	33.04	35.09	18.17	2.05	17.87	15.35
0107TTK	160.9	500.36	381.94	463.81	337.86	381.72	39.38	47.82	34.83	39.35	8.44	4.52	18.29	16.18
0203TTK	15.58	15.89	14.84	24.97	14.75	30.66	1.53	2.57	1.52	3.16	1.04	1.64	0.71	0.71
0204TTK	45.44	33.91	36.18	73.81	41.81	119.65	3.73	7.61	4.31	12.34	3.88	8.02	1.73	2.00
0205TTK	121.02	350.91	318.12	298.13	326.71	416.35	32.80	30.74	33.68	42.92	2.06	9.24	15.23	15.64
0206TTK	170.72	511.10	473.13	565.64	370.58	502.37	48.78	58.31	38.20	51.79	9.54	13.59	22.66	17.75
0207TTK	176.18	597.92	468.38	293.74	476.88	594.06	48.29	30.28	49.16	61.24	18.00	12.08	22.43	22.83
0303TTK	20.34	18.93	25.69	32.77	37.04	22.25	2.65	3.38	3.82	2.29	0.73	1.52	1.23	1.77
0304TTK	63.48	51.28	78.25	182.03	62.19	195.25	8.07	18.77	6.41	20.13	10.70	13.72	3.75	2.98
0305TTK	159.08	375.98	346.01	423.22	333.63	518.39	35.67	43.63	34.39	53.44	7.96	19.05	16.57	15.98
0306TTK	179.5	567.99	489.71	763.31	396.23	329.73	50.49	78.69	40.85	33.99	28.21	6.86	23.45	18.97

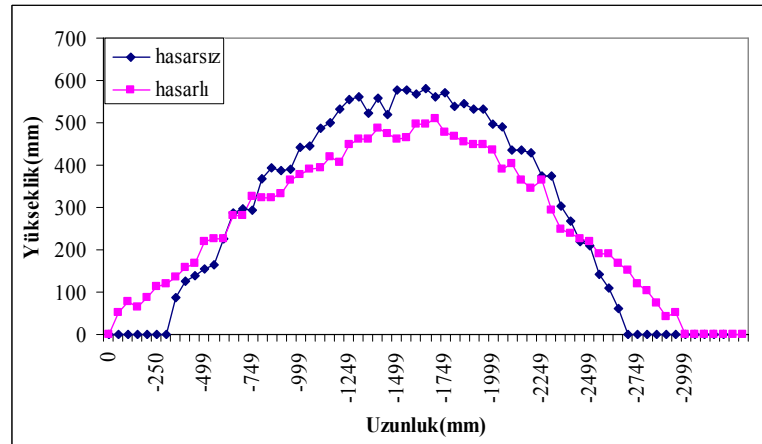




Şekil 7.4 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)

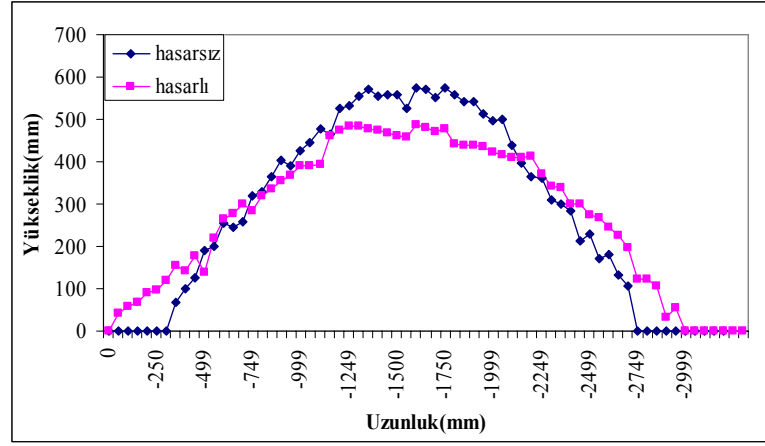


Şekil 7.5 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)

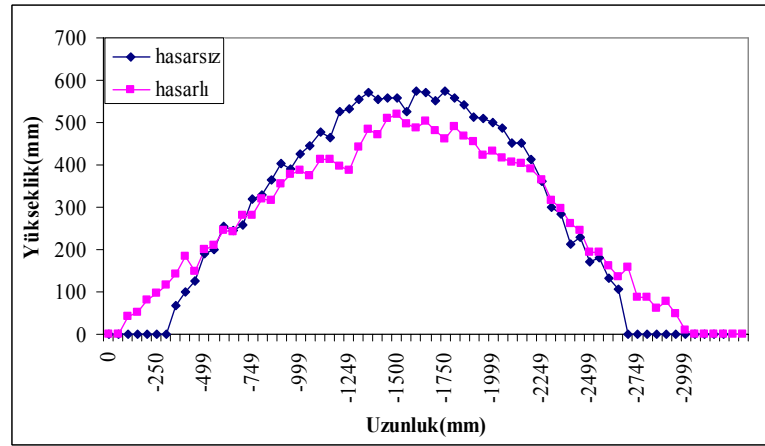


Şekil 7.6 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)

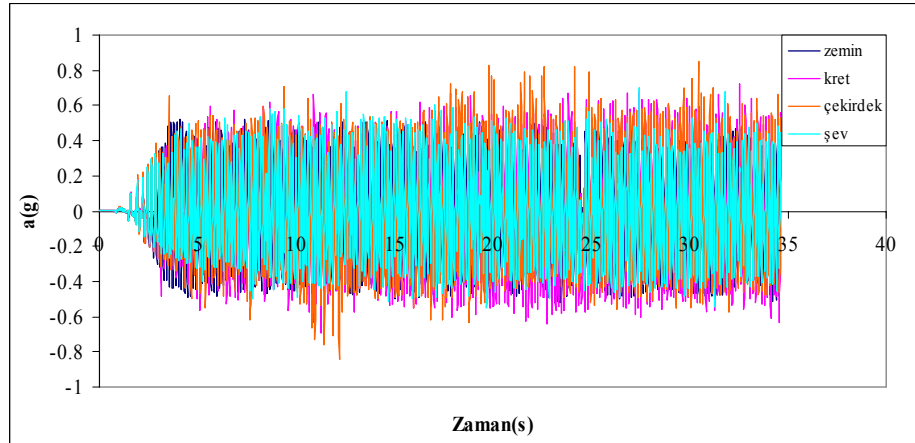




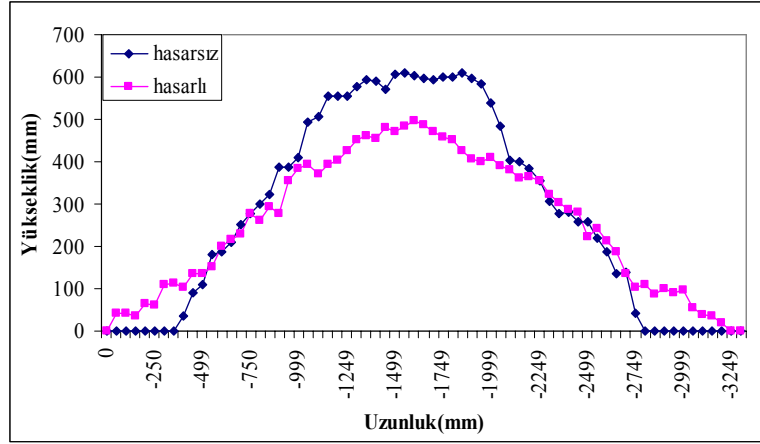
Şekil 7.7 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



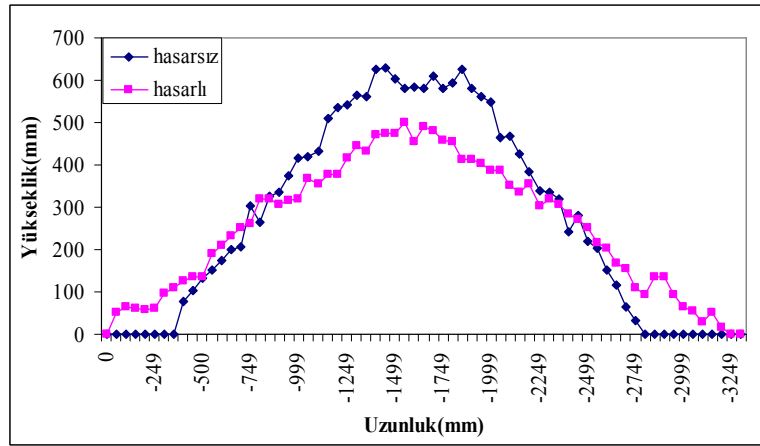
Şekil 7.8 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



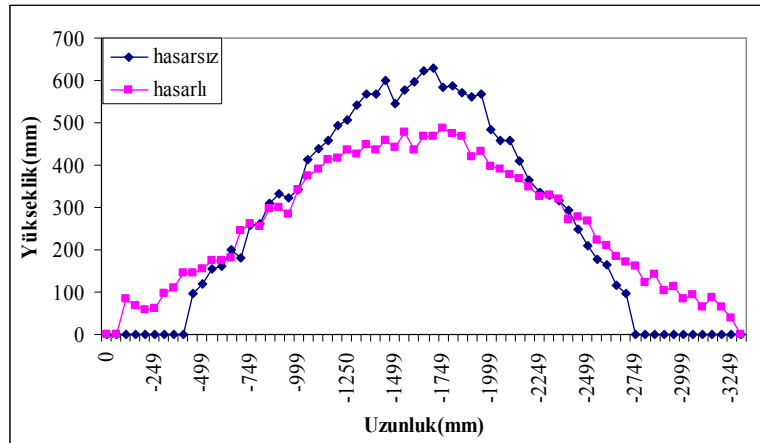
Şekil 7.9 1 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



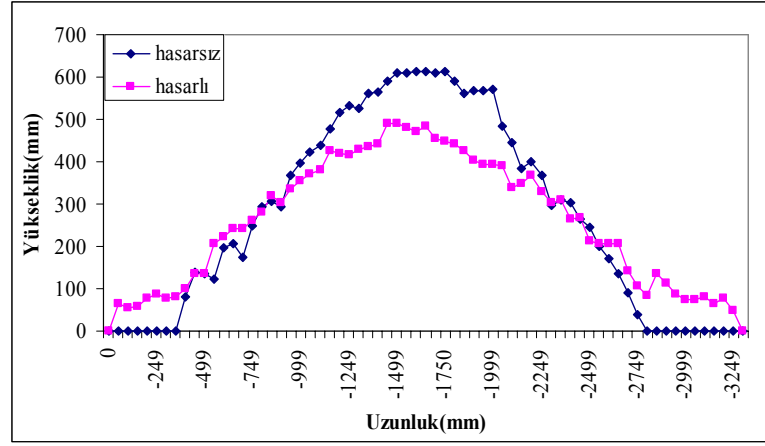
Şekil 7.10 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



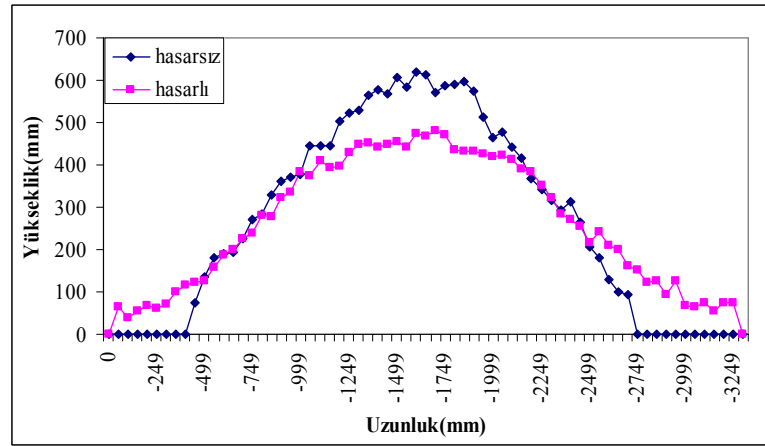
Şekil 7.11 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



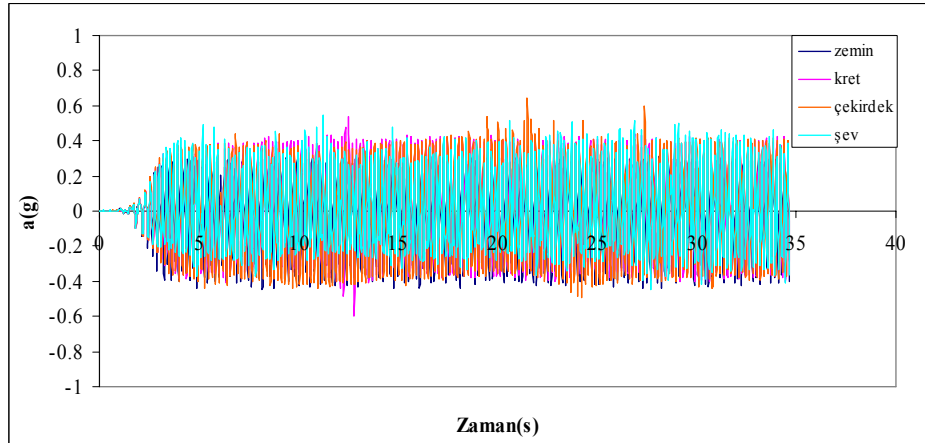
Şekil 7.12 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



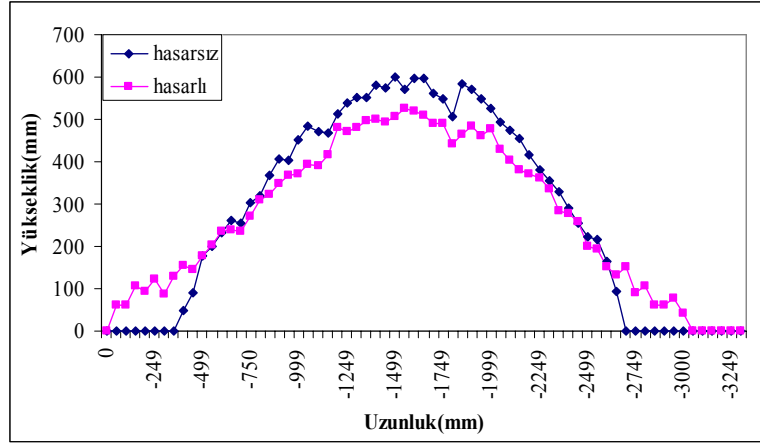
Şekil 7.13 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



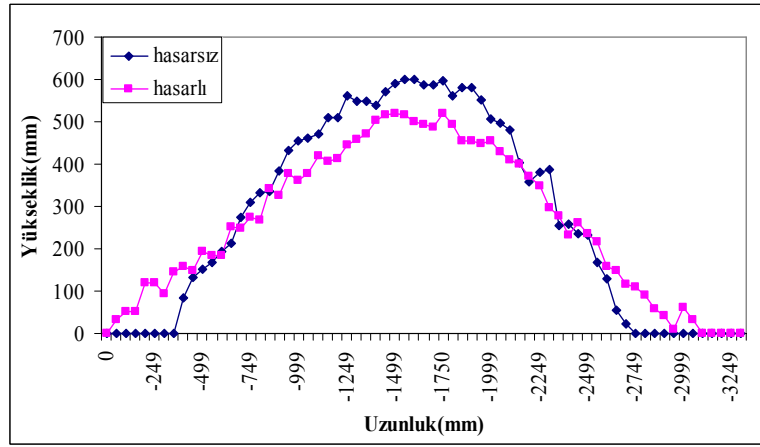
Şekil 7.14 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)



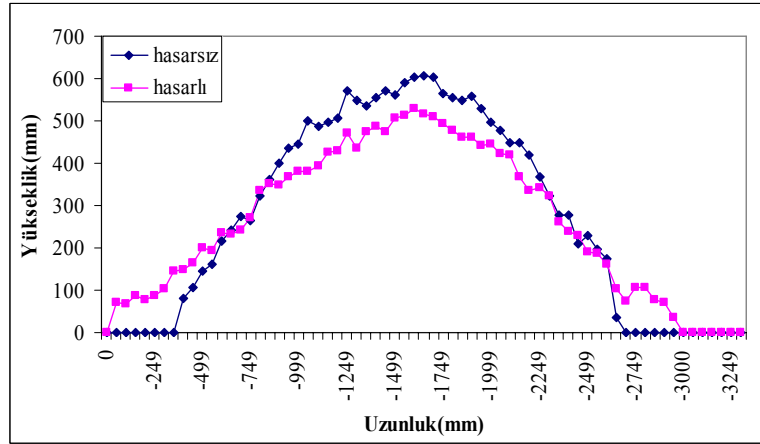
Şekil 7.15 2 mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



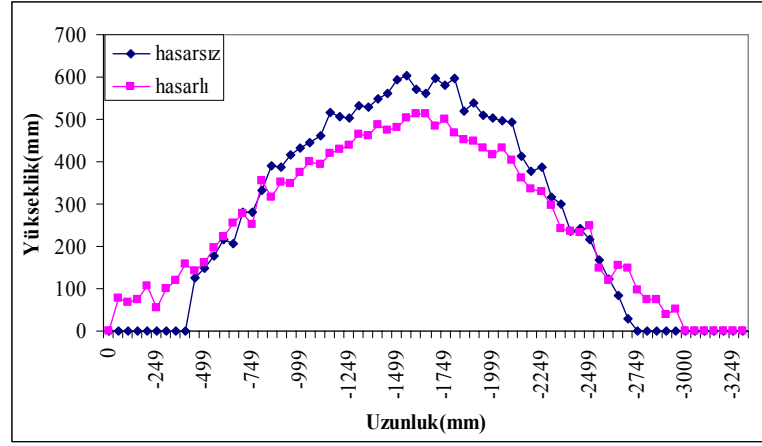
Şekil 7.16 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



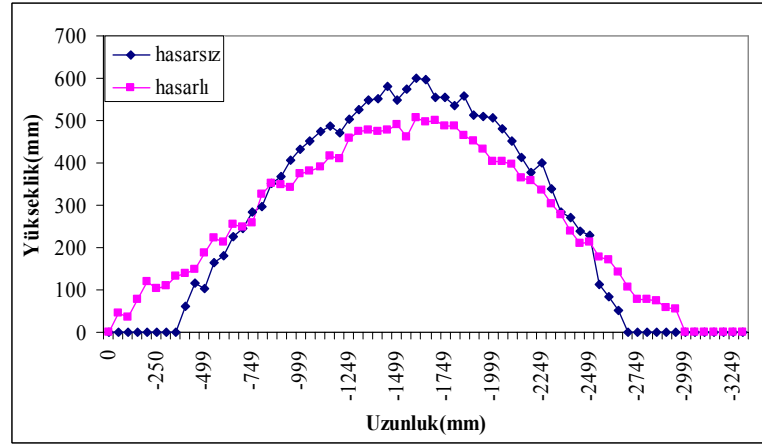
Şekil 7.17 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



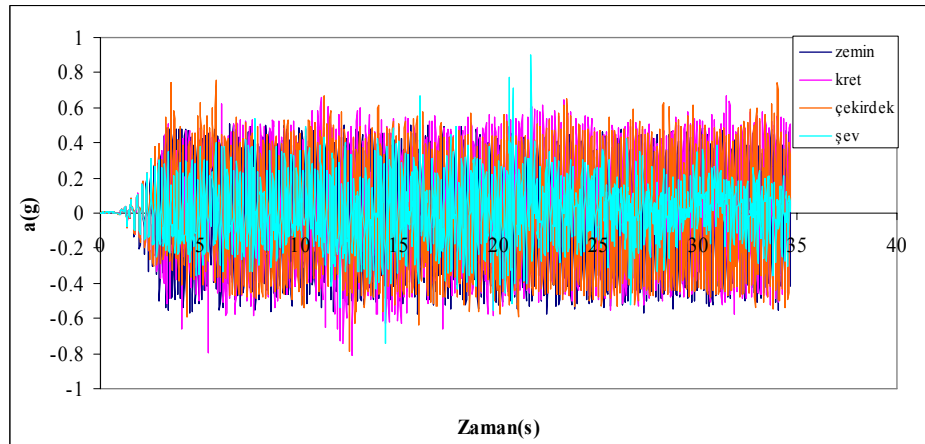
Şekil 7.18 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



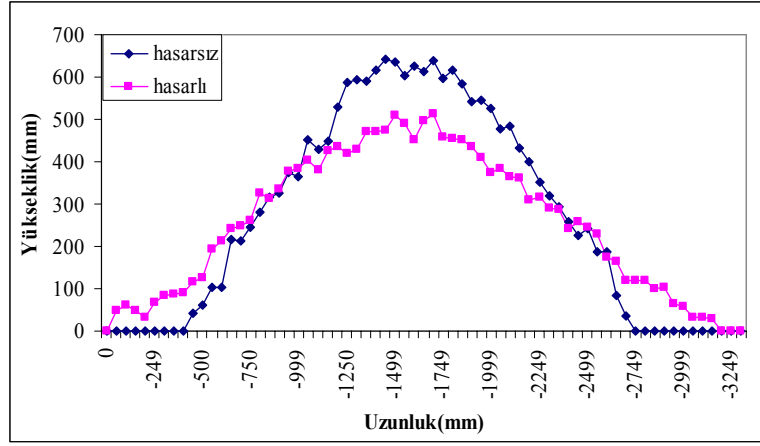
Şekil 7.19 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



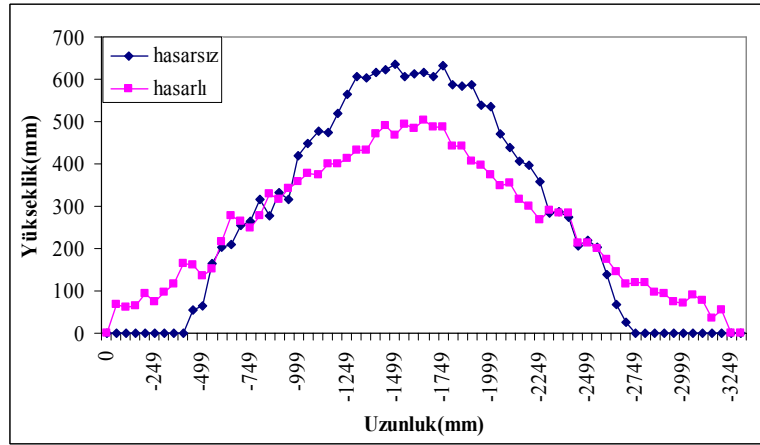
Şekil 7.20 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



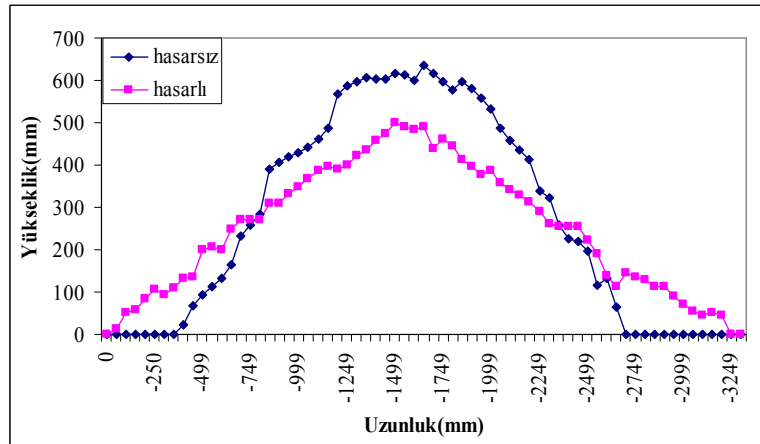
Şekil 7.21 2mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



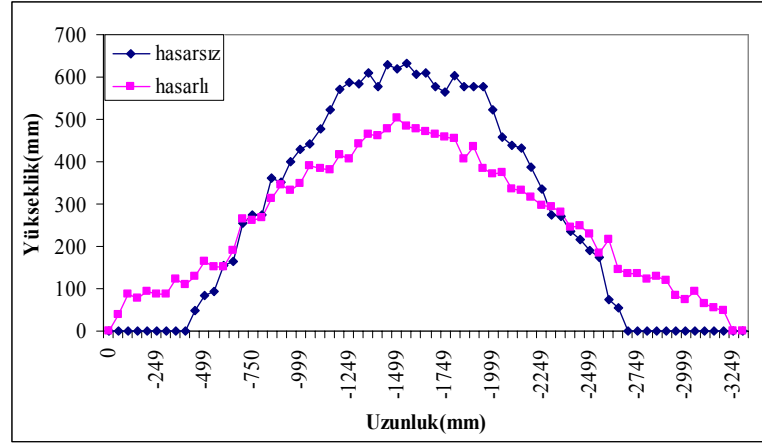
Şekil 7.22 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



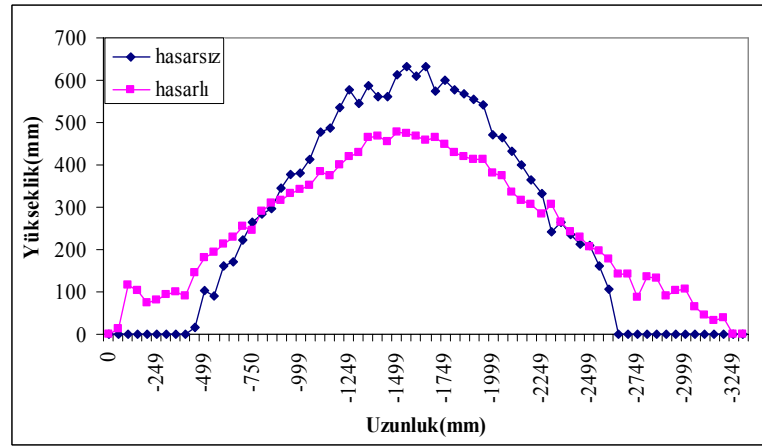
Şekil 7.23 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



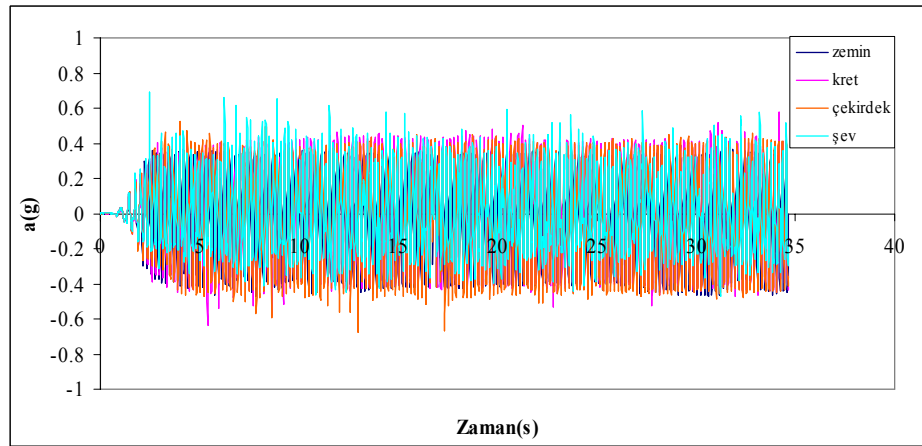
Şekil 7.24 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



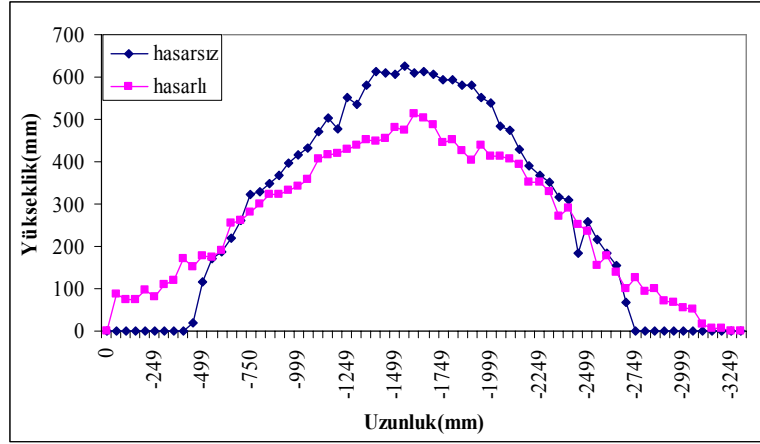
Şekil 7.25 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



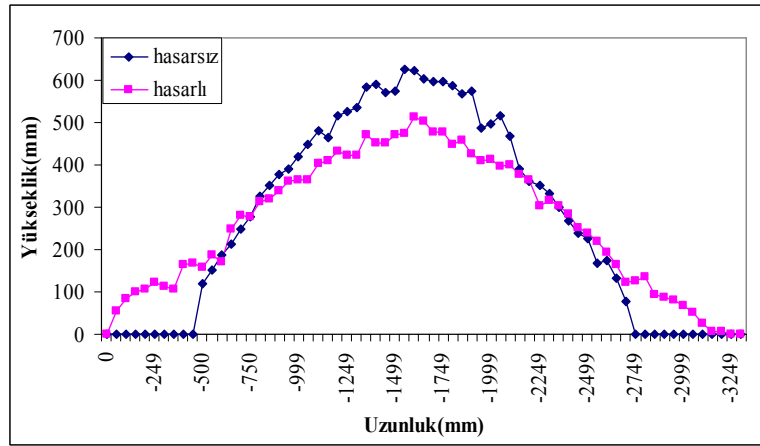
Şekil 7.26 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



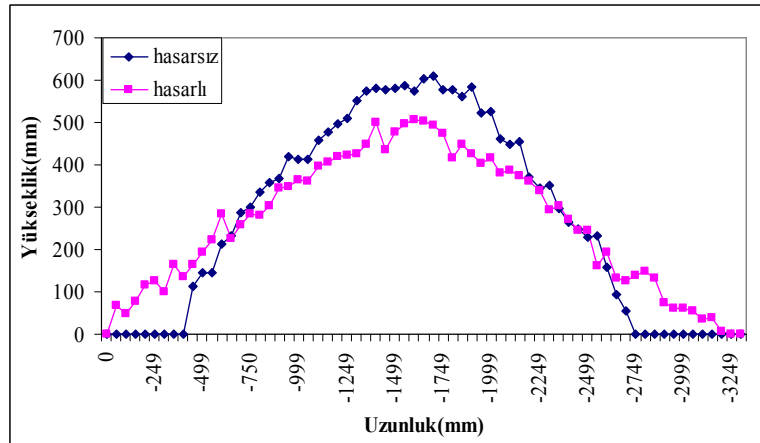
Şekil 7.27 3mm genlik 5 Hz frekans için ivme-zaman grafiği



Şekil 7.28 3mm genlik 5 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)

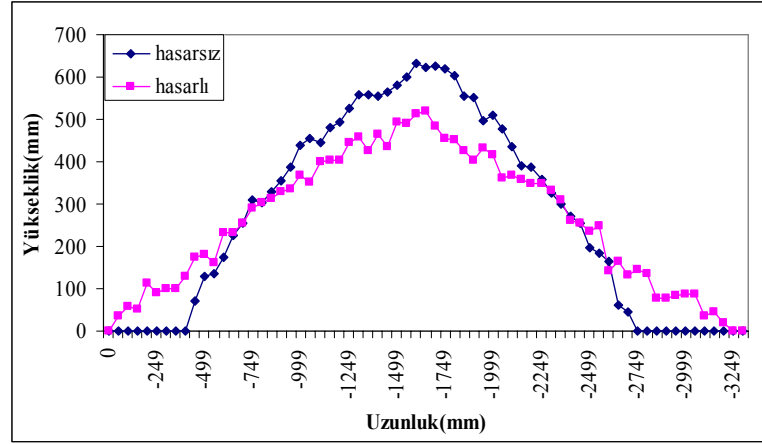


Şekil 7.29 3mm genlik 5 Hz frekans için 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)

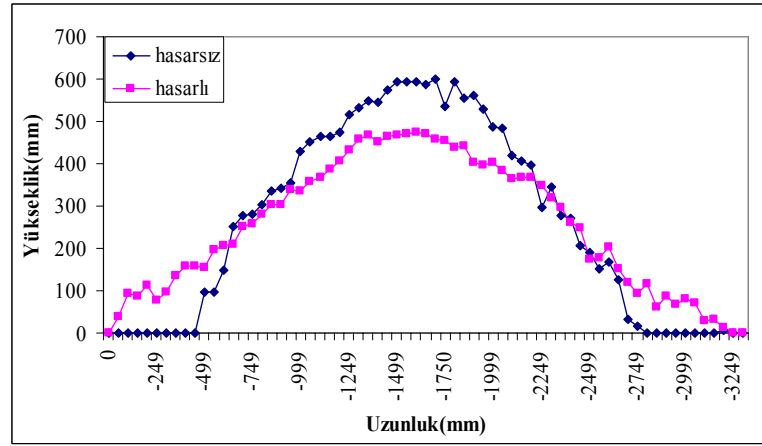


Şekil 7.30 3mm genlik 5 Hz frekans için 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)

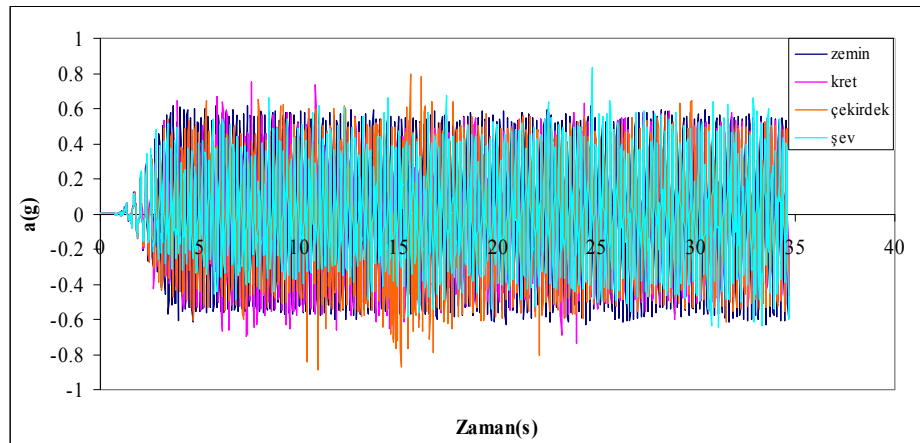




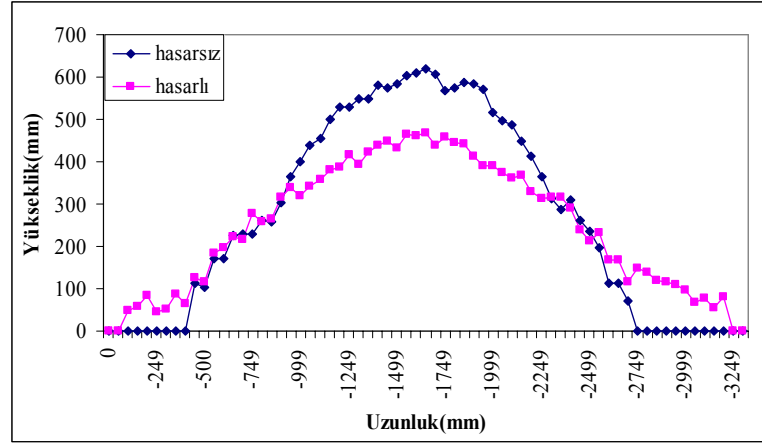
Şekil 7.31 3mm genlik 5 Hz frekans için 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



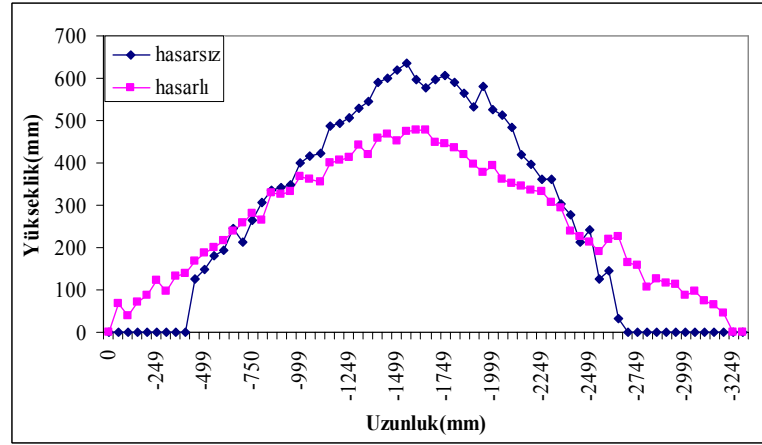
Şekil 7.32 3mm genlik 5 Hz frekans için 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



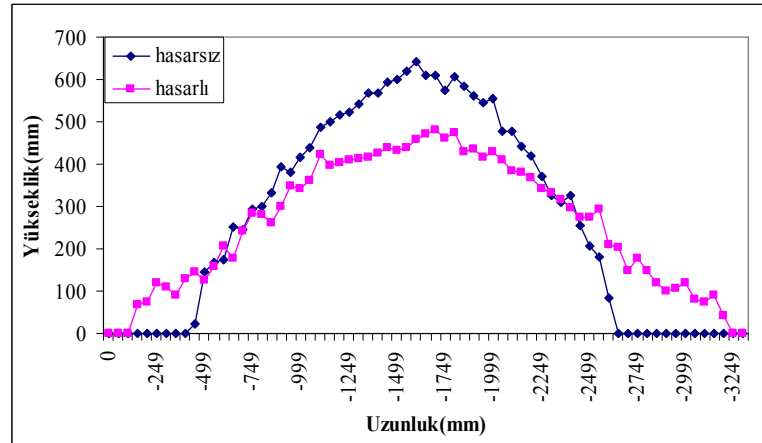
Şekil 7.33 3 mm genlik 6 Hz frekans için ivme-zaman grafiği



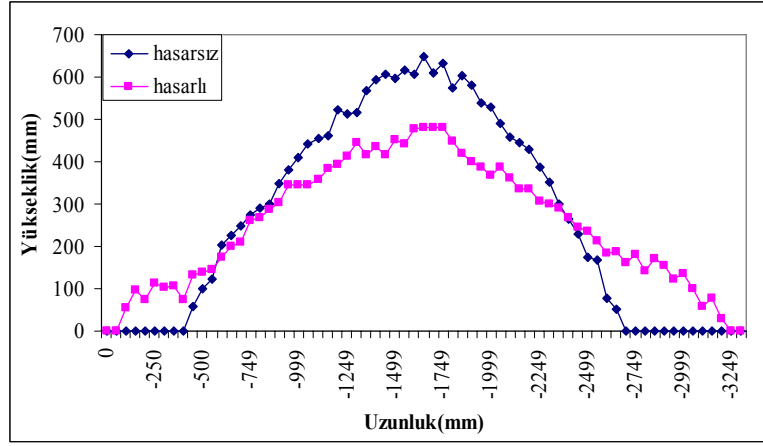
Şekil 7.34 3mm genlik 6 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



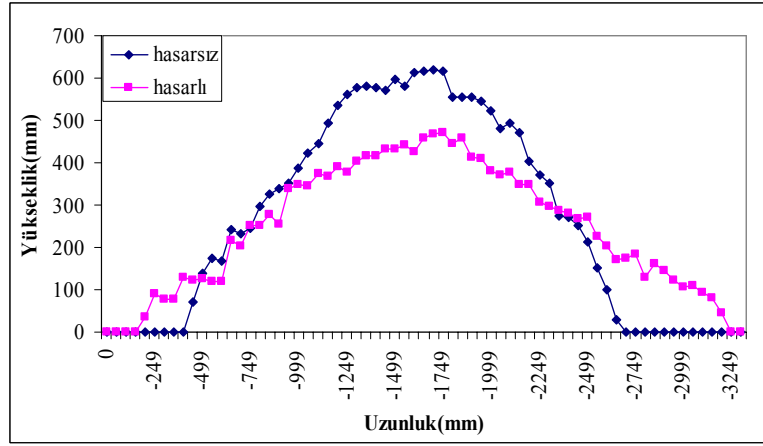
Şekil 7.35 3mm genlik 6 Hz frekans için 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



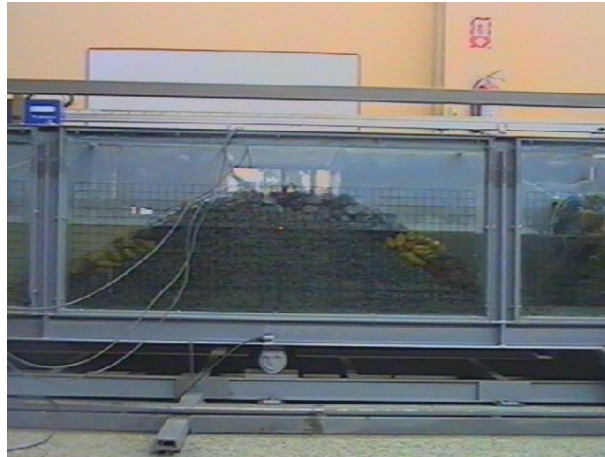
Şekil 7.36 3mm genlik 6 Hz frekans için 4. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



Şekil 7.37 3mm genlik 6 Hz frekans için 5. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



Şekil 7.38 3mm genlik 6 Hz frekans için 6. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



(a) 1. saniye

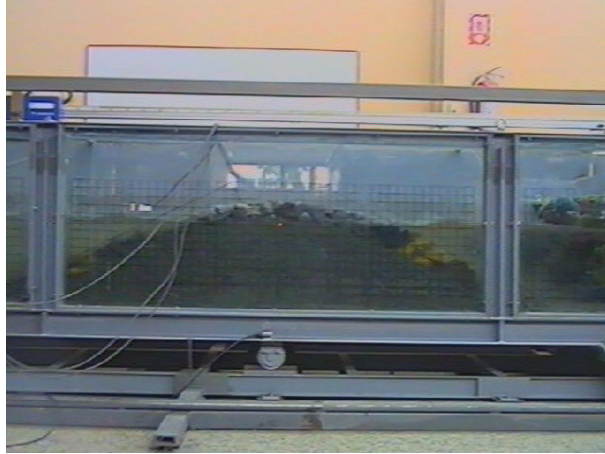
Şekil 7.39 2mm genlik, 5 Hz frekans



(b) 11. saniye

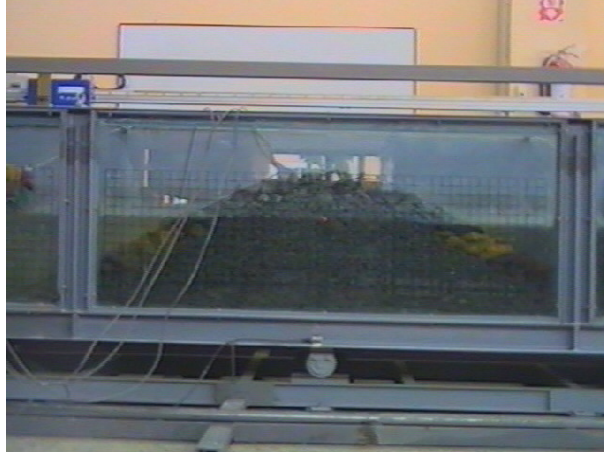


(c) 20. saniye

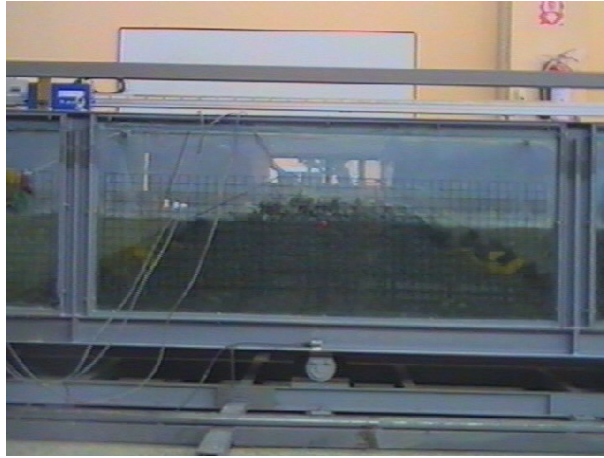


(d) 30. saniye

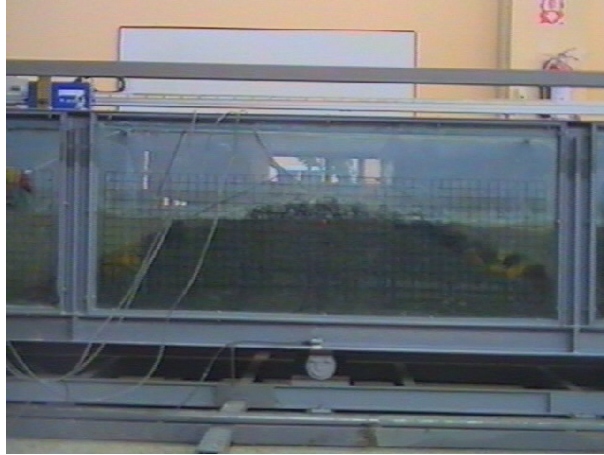
Şekil 7.39 Devam



(a) 1. saniye



(b) 12. saniye



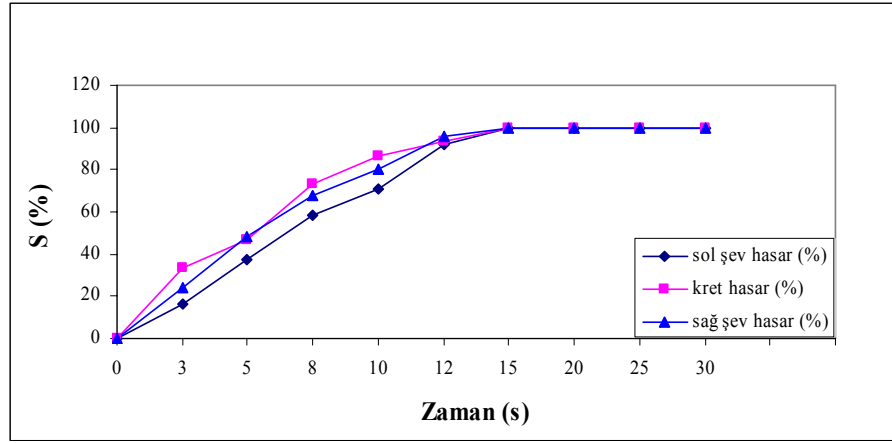
(c) 20. saniye

Şekil 7.40 3 mm genlik, 5 Hz frekans

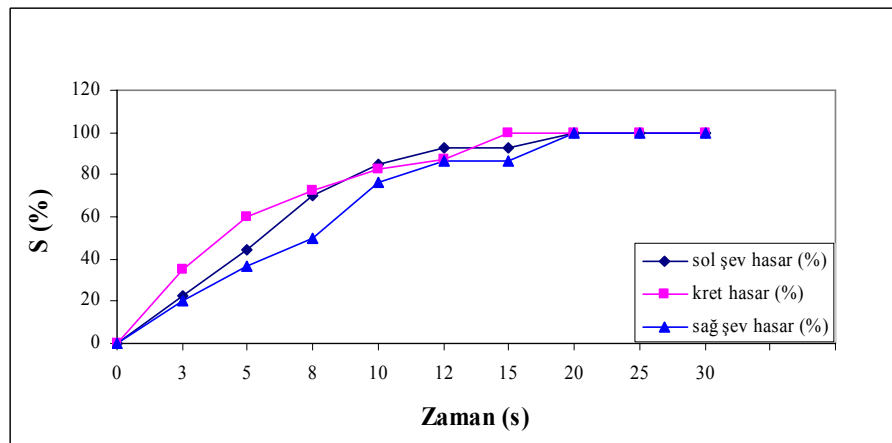


(d) 30. saniye

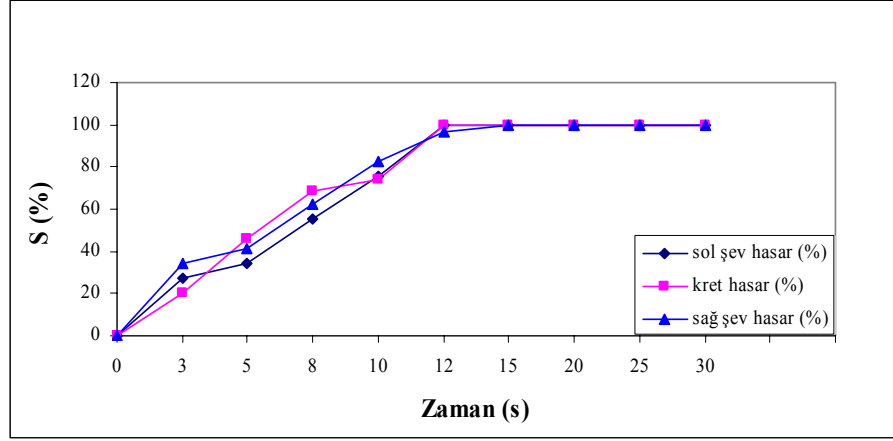
Şekil 7.40 Devam



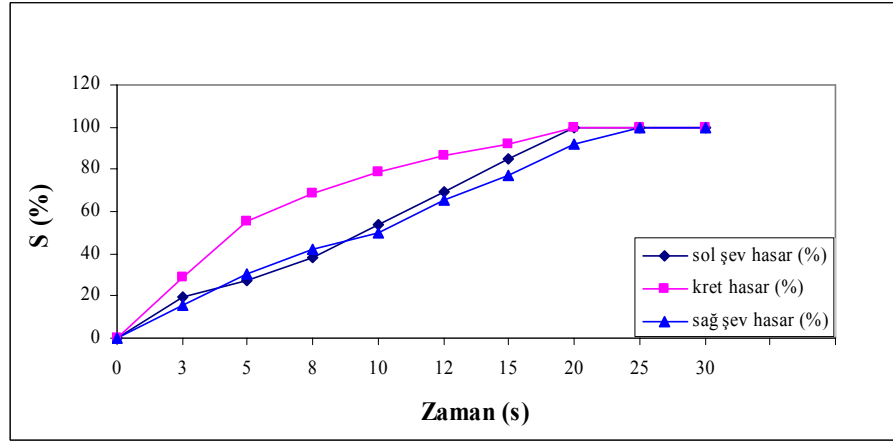
Şekil 7.41 1mm-7 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



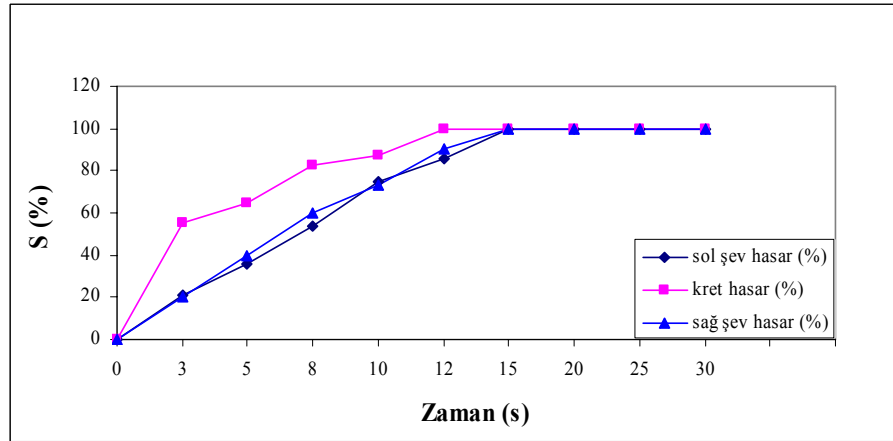
Şekil 7.42 2mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



Şekil 7.43 2mm-7 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



Şekil 7.44 3mm-7 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



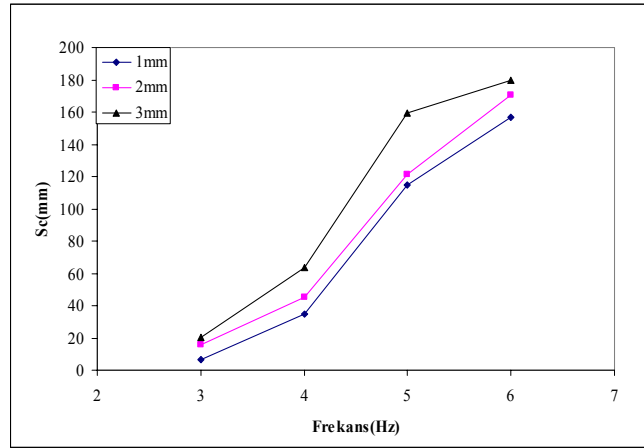
Şekil 7.45 3mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği

Şekil 7.46'da tabakalı kesite sahip taş dolgu dalgakıranının kretinde oluşan oturmaların ( $S_c$ ) sismik tankın sahip olduğu frekans ile farklı genlikler için değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi her genlik değerinde frekansın artmasıyla oturma miktarı artmaktadır, oturma

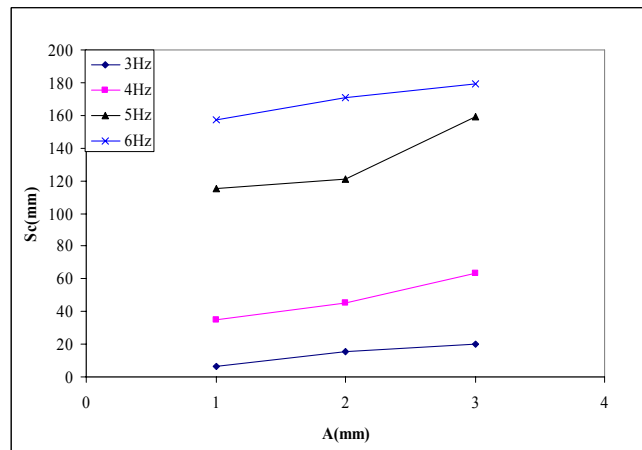


miktarı genliğin artmasıyla aynı frekans içinde büyümektedir. Ancak kesitteki oturma 4 Hz'den sonra homojen kesitlerde olduğu gibi daha büyük bir artış eğilimine sahiptir. Bu durum Şekil 7.47'de daha belirgin olarak görülmektedir. 3 ve 4 Hz değerlerinde oturma miktarları oldukça küçük ve birbirine yakındır ancak 4 Hz'den sonra oturma miktarında hızlı artış meydana gelmiştir. Kesitteki oturma taş dolgu yapının homojen modellerde olduğu gibi tamamında meydana gelen sıkışma ve şev kaymalarından kaynaklanmıştır. Şekillerden görüldüğü gibi sismik davranış genliktense daha fazla frekansa göre değişim göstermektedir.

Şekil 7.48 ve 49'da hasarın (S) kesitin sağ şevinde aldığı değerlerin frekans ve genlikle değişimi görülmektedir. Hasar, Van der Meer (1988)'in taş dolgu dalgakıranlar için vermiş olduğu tarife göre hesaplanmıştır. Hasarın özellikle deprem frekansından çok etkilendiği görülmektedir. Hasarın 4 Hz'den itibaren artmaya başladığı ve 5 Hz'den sonra yapıda tam hasar tanımına uyan hasara ulaşıldığı belirlenmiştir. Benzeri durum Şekil 7.50 ve 51'de sol şev için verilmiştir. Hasar hesabında dikkate alınan kesitlerdeki oluşan hasarların ortalaması dikkate alınmıştır.

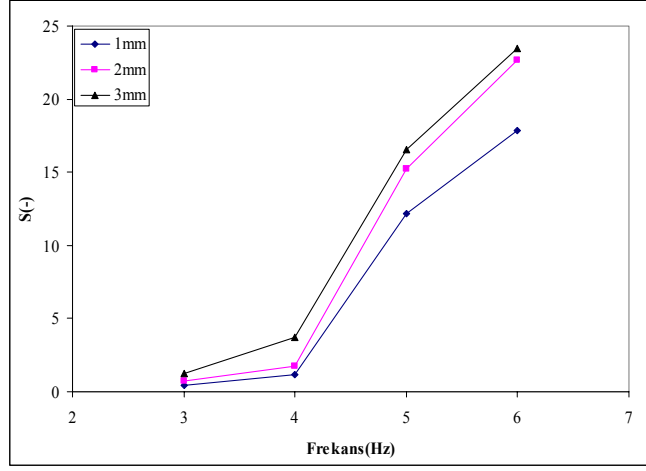


Şekil 7.46 Kretteki oturma miktarının frekans ile değişimi

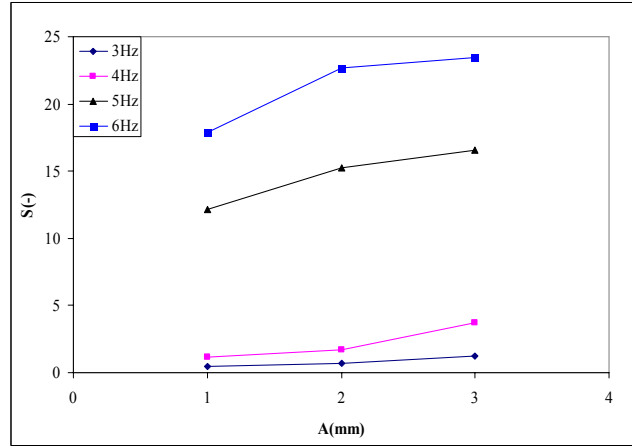


Şekil 7.47 Kretteki oturma miktarının genlikle değişimi

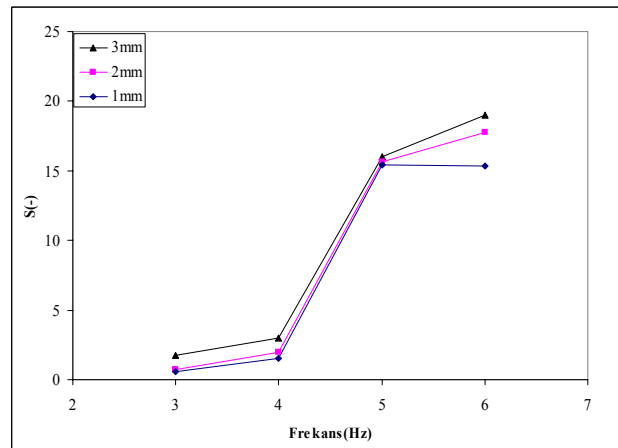




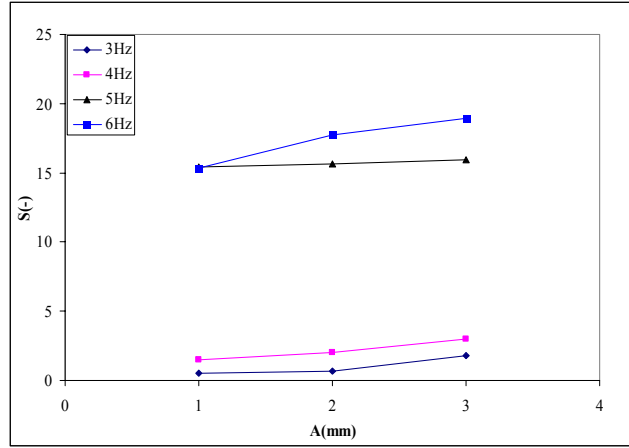
Şekil 7.48 Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri



Şekil 7.49 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri



Şekil 7.50 Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sol şevde oluşan hasar yüzdeleri



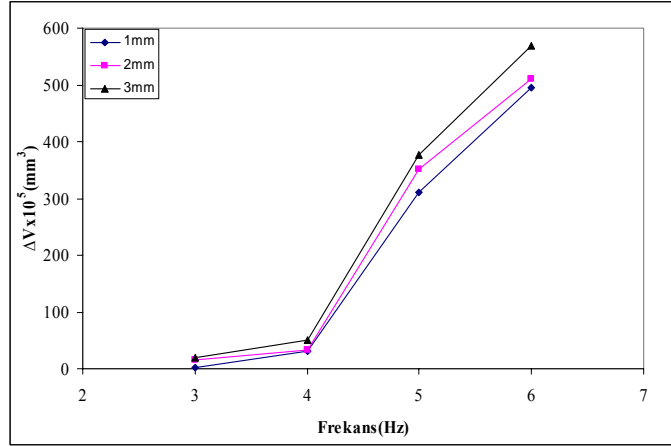
Şekil 7.51 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hasar yüzdeleri

Şekil 7.52’de taş dolgu dalgakıran kesitinde frekansa bağlı olarak meydana gelen hacim değişimi gösterilmiştir. Dalgakıran hacminde meydana gelen değişiminin yine 4 Hz’den sonra oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Hacimdeki azalma eğilimi genlik ile olan değişimde de görülmektedir (Şekil 7.53). Dalgakıran modeli rijit temel üzerinde yer aldığından hacim değişimi tamamen kesitin sıkışmasından kaynaklanmıştır. Şevlerde meydana gelen değişimlerin anlaşılması amacıyla sadece şevlerde meydana gelen deformasyonları dikkate alacak şekilde hacimsel değişimler de incelenmiştir. Bu amaçla şevlerdeki hacimsel değişim miktarlarının modelin her iki şevi için ayrı ayrı Şekil 7.54, 7.55, 7.58 ve 7.59’da görüldüğü gibi belirlenmiştir. Sağ ve sol şevlerde belirlenen hacimsel değişimler hemen hemen simetriktir. Toplam sıkışmada görülen benzeri eğilim şevler içinde oluşmuş ve frekansa daha fazla bağlı olarak, özellikle 4 Hz’den sonra şev deformasyonları artmıştır.

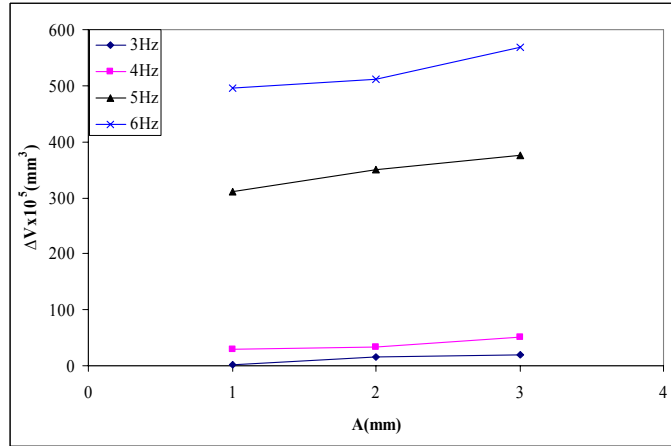
Ayrıca şev kaymalarının daha iyi anlaşılması amacıyla kesitin topuğunda oluşan koruma tabakasının yığılma miktarları belirlenmiş ve her iki şev için Şekil 7.56, 7.57, 7.60 ve 7.61’de gösterilmiştir. Sıkışmadan dolayı oluşan deformasyonlardaki sistematik artış gerek frekans gerekse genlikle değişime bağlı olarak gözlenmemiştir. Bunun nedeni frekansın artması ile aniden artan sıkışma sonucunda, yani hacimsel şekil değiştirmede ( $\epsilon_v$ ) değişim yavaşlayıp çok azaldığı halde kayma şekil değiştirmede ( $\gamma$ ) devam etmektedir. Bu durum tabakalı kesitte koruma tabakasının çekirdek üzerinde kayması nedeniyle daha belirgin olmuştur.

Şevlerde oluşan hacimsel değişimlere benzer biçimde, ölçümlerde dikkate alınan kesit alanlardaki değişimlerde ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla Şekil 7.62, 7.63, 7.66 ve 7.67’de sırasıyla sağ ve sol şevler için frekansa ve genliğe bağlı olarak kesitsel ortalama alanlarındaki değişimler çizilmiştir. Şekillerden oturma alanlarındaki değişimlerin her iki şev için yaklaşık olarak simetrik olduğu görülmektedir. Gerek frekans gerekse genliğin

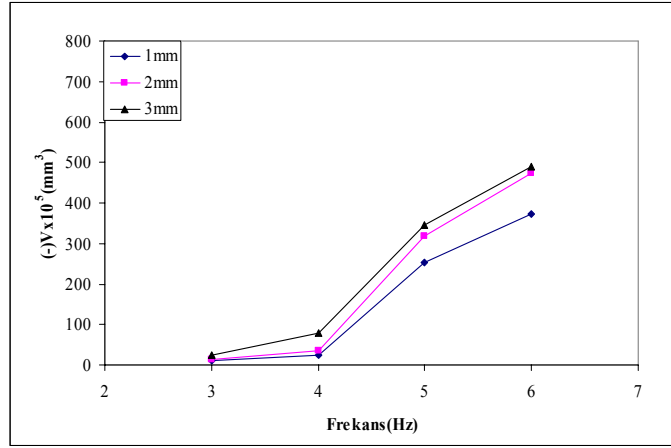
hacimsel şekil değiştirme alanlarındaki etkisi hacimdeki değişimlere benzerdir. Şekil 7.64, 7.65, 7.68 ve 7.69’da ise yığılmadaki kesitsel alanlardaki değişimler gösterilmiştir. Bu değişimlerin frekansa ve genliğe göre sistematik olmayan görünümleri hacimsel yığılma miktarlarında olduğu gibi şev kayma ve oturmalarının farklı frekanslarda aynı davranışa sahip olmaması yanı sıra koruma ile çekirdek malzemelerinin farklı davranış karakterine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



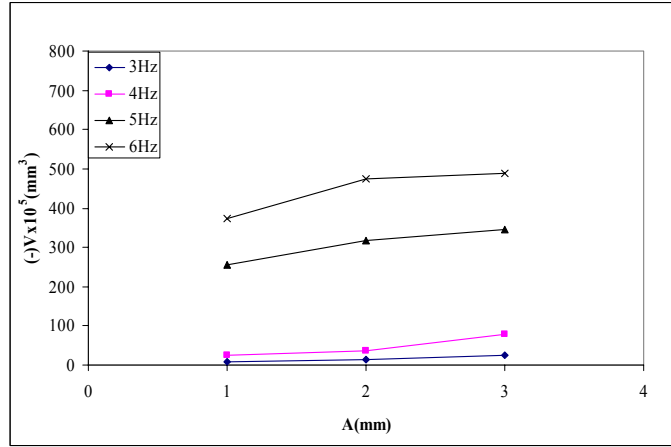
Şekil 7.52 Frekansa bağlı olarak farklı genlik durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi



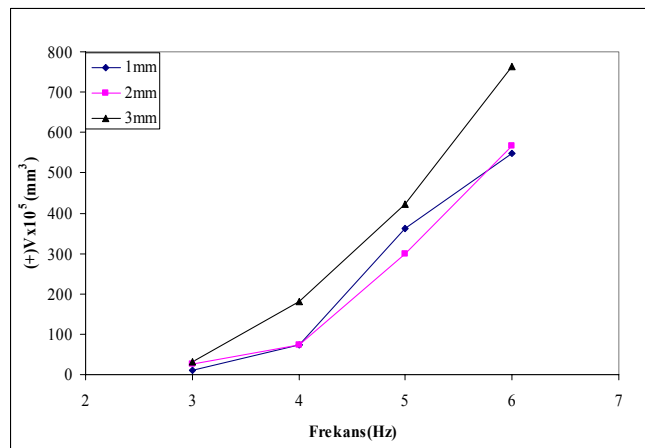
Şekil 7.53 Genliğe bağlı olarak farklı frekans durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi



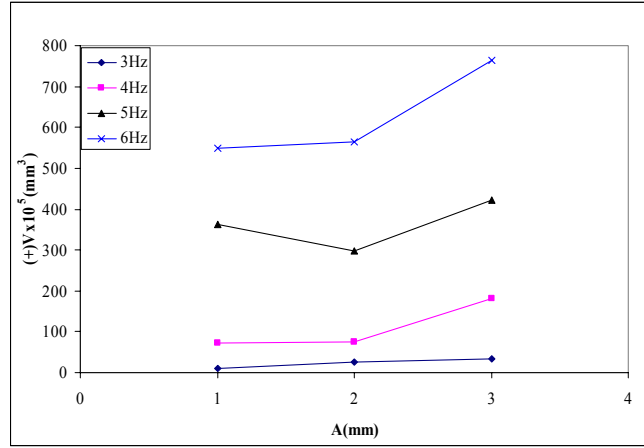
Şekil 7.54 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan hacimsel değişim



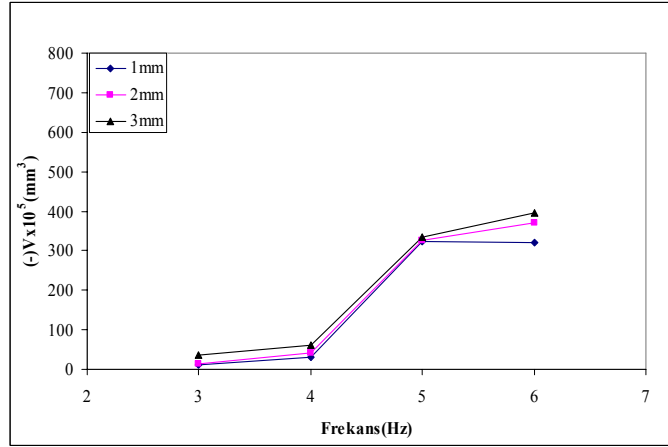
Şekil 7.55 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.



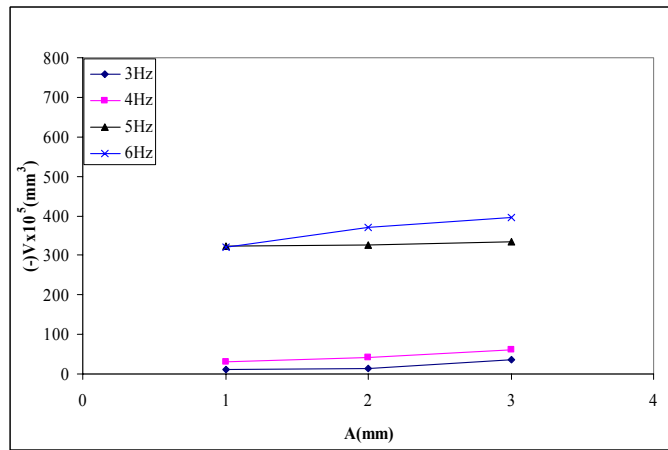
Şekil 7.56 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan yığılmalar



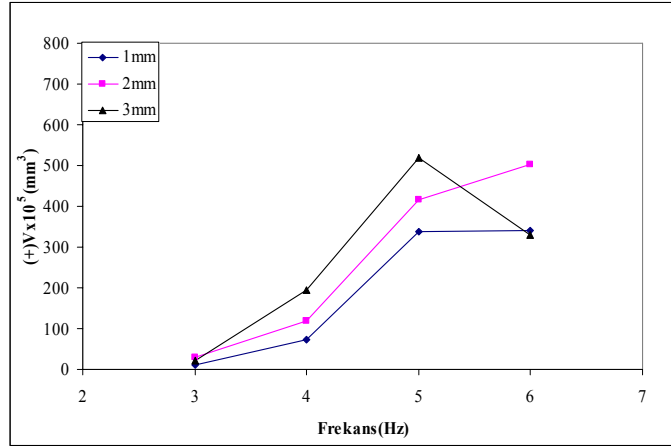
Şekil 7.57 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan yığılmalar



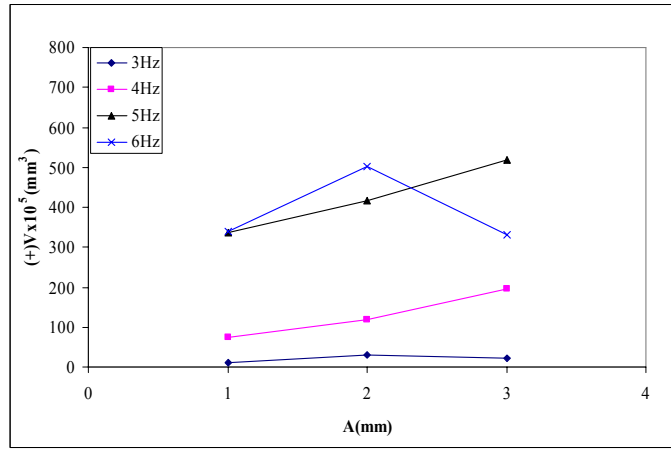
Şekil 7.58 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan hacim değişimi



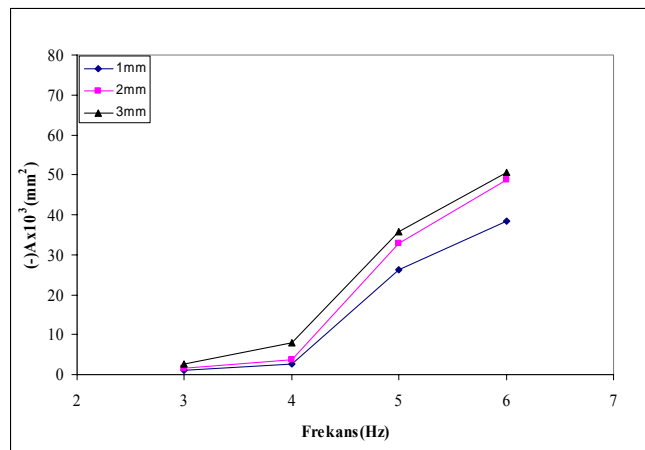
Şekil 7.59 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hacim değişimi



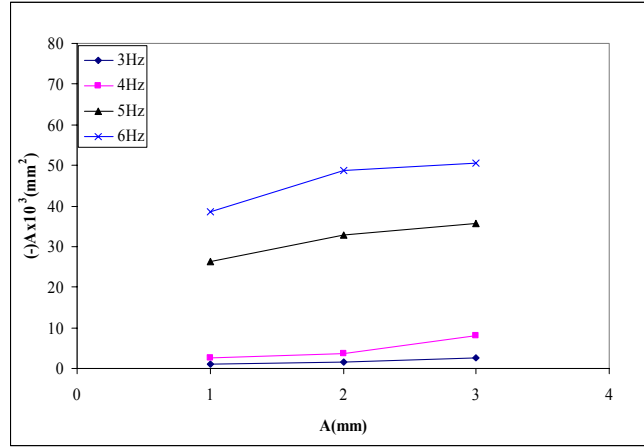
Şekil 7.60 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan yığılmalar



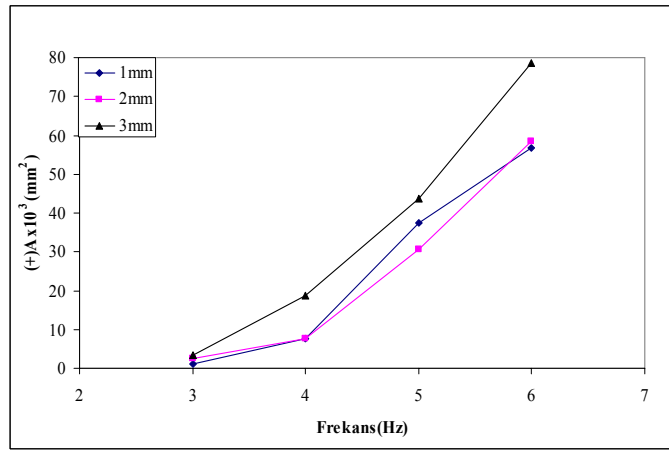
Şekil 7.61 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan yığılmalar



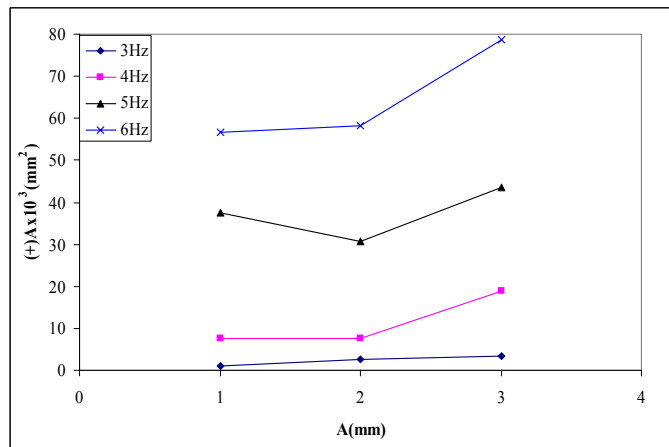
Şekil 7.62 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



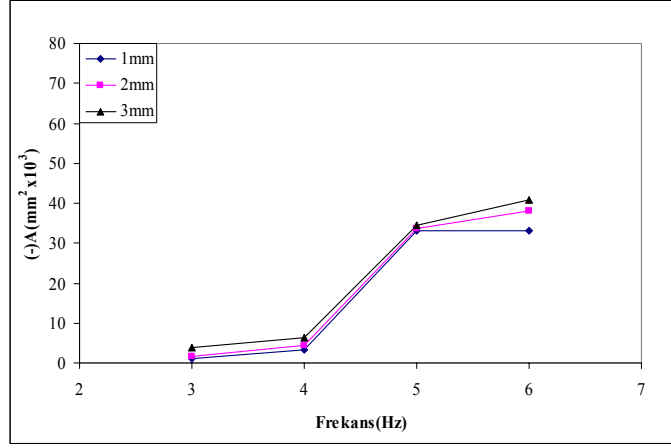
Şekil 7.63 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



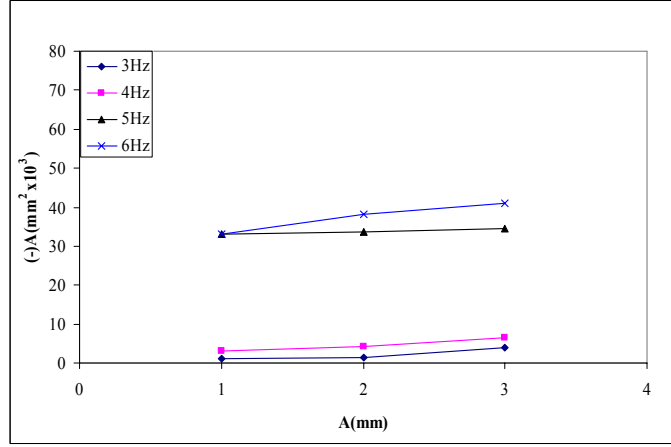
Şekil 7.64 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı



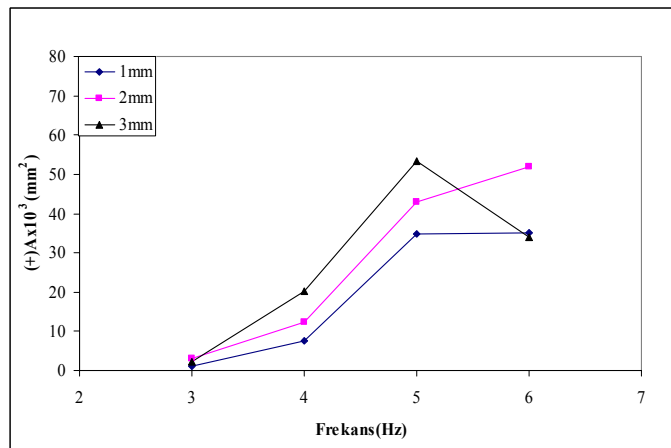
Şekil 7.65 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı



Şekil 7.66 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı

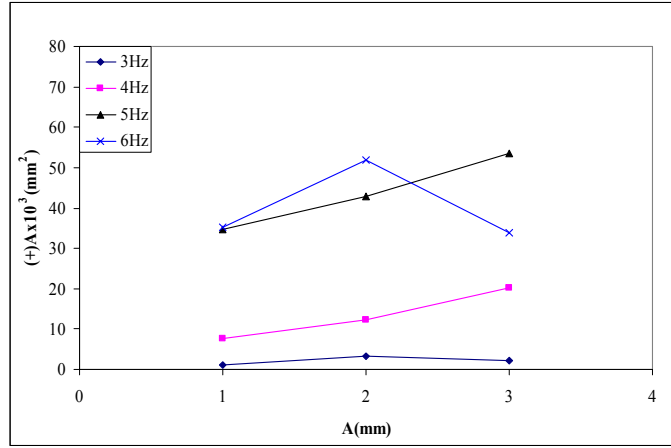


Şekil 7.67 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



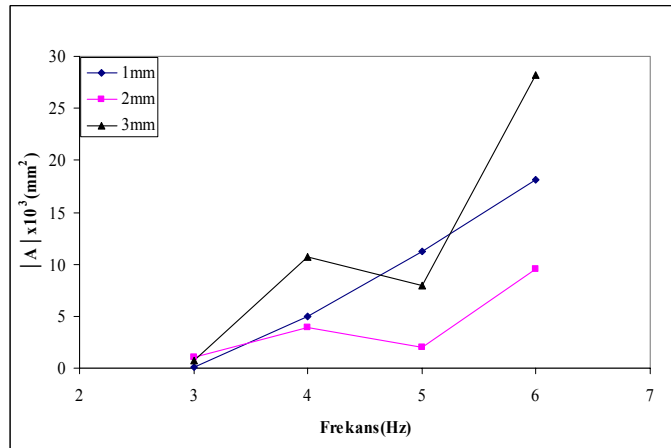
Şekil 7.68 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı



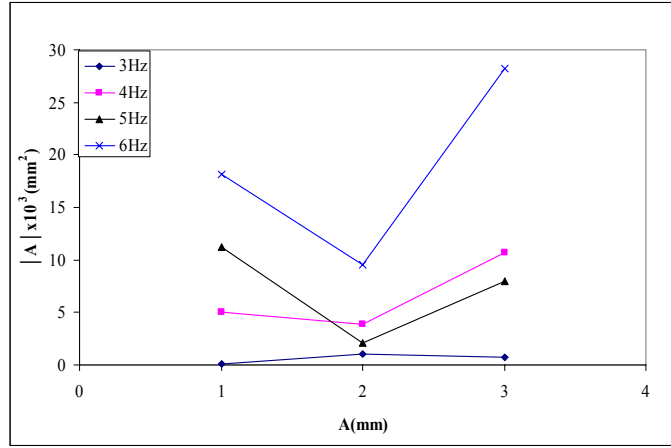


Şekil 7.69 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı

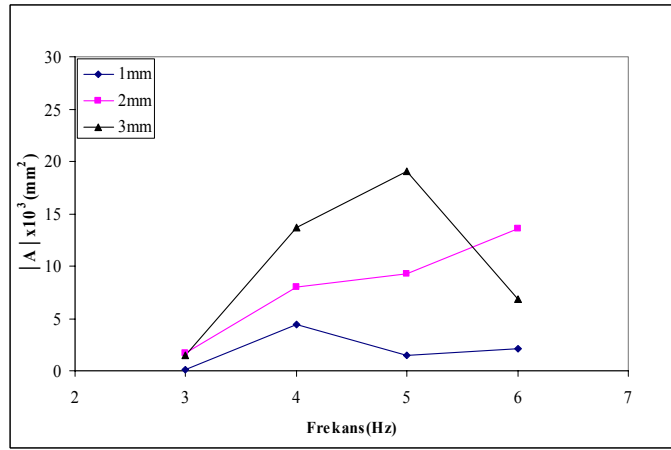
Şekil 7.70 ve 7.71'de oturma ve şev kayması nedeniyle toplam ortalama kesit alandaki değişimin frekans ve genlikle değişimleri verilmiştir. Bu şekillerden frekans arttıkça kesitin sıkışma miktarı artmakta ancak frekansın büyük değerlerinde şev kaymasındaki artışın uniform kesitlerde olduğu gibi daha büyük olduğu anlaşılmaktadır ancak tabakalı kesitte şev kayması daha da büyük olmaktadır. Yani sıkışma belli değere ulaştıktan sonra frekans ne kadar artarsa artsın artık daha fazla artmamaktadır. Bu nedenle toplam kesitsel alan değişimi gerek frekans gerekse genlikle sistematik değişim göstermemektedir. Uniform modele benzer olarak oturma ve yığılma alanları arasında bir denge durumu oluşmamaktadır. Benzeri durum sol şevdede olmaktadır (Şekil 7.72 ve 7.73).



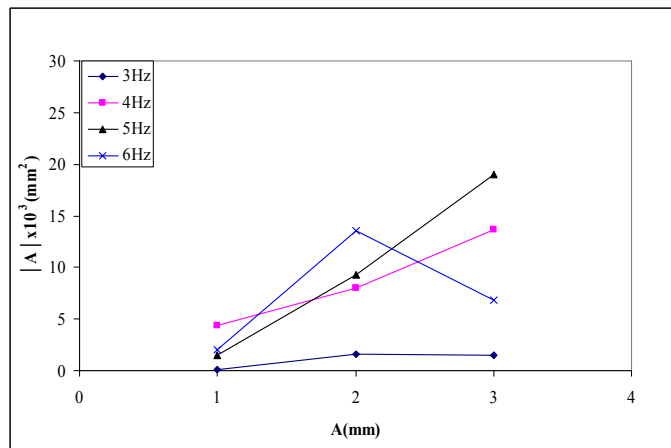
Şekil 7.70 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 7.71 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 7.72 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 7.73 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan

Çizelge 7.3’de deneylerden elde edilen verilerin ivme, ivme büyütmesi değerlerine bağlı olarak boyutsuz formda aldıkları değerler özetlenmiştir. Deneylerde sarsma tankının ivmesinin 0.090g ile 0.748g arasında değiştiği görülmektedir. Bu verilere göre sismik

yükleme sonrası hacimsel birim deformasyon  $\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)$  hesaplanmıştır, burada  $\Delta V = V_i - V_d$ ,

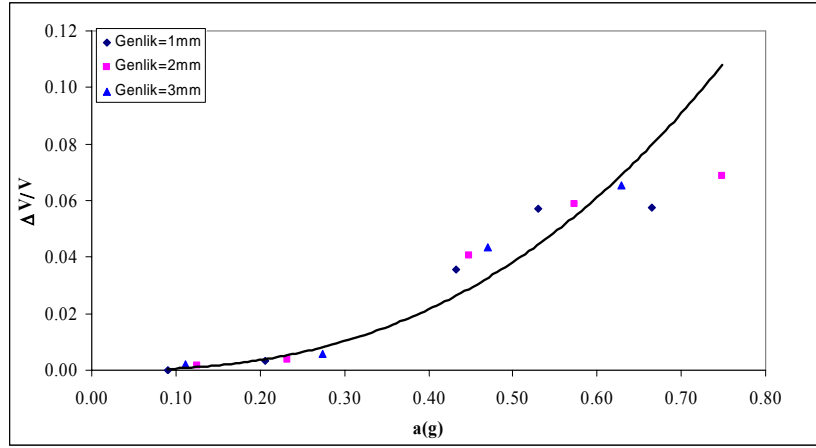
$V_i$  kesitin orjinal (ilk) hacmi,  $V_d$  sismik yükleme sonundaki deformasyona uğramış (sıkışmış) hacim dir. Şekil 7.74’de hacimsel birim deformasyonun sismik ivmeye karşılık değişimi çizilmiştir. Burada dikkate alınan ivme “g” değeri cinsinden tank yani zemin ivmesini (girdi ivmesi) karakterize etmektedir. Bu şekil incelendiğinde farklı frekans ve genlikleri içeren ivme ile değişimin hacimsel birim deformasyonla oldukça iyi bir korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Burada korelasyon katsayısı R=0.961 olarak bulunmuştur. Değişim aşağıdaki fonksiyonla verilebilmektedir;

$$\frac{\Delta V}{V_i} = 0.23a_g^{2.57} \quad (7.1)$$

Bu şekilden artan yer ivmesi ile hacimsel birim deformasyonun arttığı görülmektedir.

Çizelge 7.3 Taş dolgu dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri (Topuksuz)

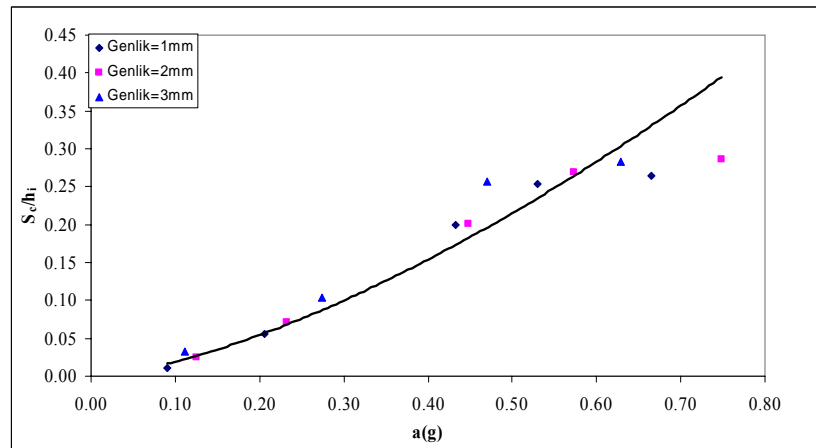
Deney No	Hacimsel Birim Deformasyon $\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)$	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S)		Sismik ivme a(g)	Çekirdek İvme büyümesi ( $A_m$ )	Koruma tabakası İvme büyümesi ( $A_m$ )	Sol şev İvme büyümesi ( $A_m$ )
			Sağ şev	Sol şev				
0103TTK	0.0001	0.010	0.46	0.56	0.090	0.971	0.787	0.901
0104TTK	0.0035	0.055	1.18	1.50	0.207	1.204	1.021	1.255
0105TTK	0.0358	0.200	12.18	15.43	0.433	1.165	1.326	1.110
0106TTK	0.0570	0.254	17.87	15.35	0.530	1.360	1.322	1.601
0107TTK	0.0576	0.265	18.29	16.18	0.665	0.875	0.795	1.334
0203TTK	0.0018	0.024	0.71	0.71	0.125	0.983	0.993	1.076
0204TTK	0.0039	0.071	1.73	2.00	0.233	1.281	1.013	1.082
0205TTK	0.0404	0.201	15.23	15.64	0.448	1.338	1.218	1.444
0206TTK	0.0589	0.269	22.66	17.75	0.573	1.418	1.576	1.371
0207TTK	0.0689	0.286	22.43	22.83	0.748	1.160	0.937	0.877
0303TTK	0.0022	0.033	1.23	1.77	0.111	1.022	1.040	1.077
0304TTK	0.0059	0.103	3.75	2.98	0.274	1.281	1.232	1.342
0305TTK	0.0433	0.257	16.57	15.98	0.470	1.357	1.466	1.433
0306TTK	0.0654	0.284	23.45	18.97	0.629	1.196	1.328	1.409



Şekil 7.74 Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon

Benzeri çalışma kesitteki birim oturma miktarı  $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$  için yapılmıştır. Bu amaçla  $S_c$  oturma miktarı  $h_i$  kesitin başlangıç yüksekliğine bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Elde edilen boyutsuz büyüklük birim oturma miktarını temsil etmektedir. Bu miktarın zemin ivmesine göre değişimi Şekil 7.75’de verilmiştir. Değişimin iyi bir korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Korelasyon sayısı  $R=0.98$  olarak hesaplanmıştır. Değişimi aşağıdaki ifade ile temsil edilebilmektedir;

$$\frac{S_c}{h_i} = 0.61a_g^{1.50} \quad (7.2)$$



Şekil 7.75 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi

Diğer boyutsuz parametre ise şevlerdeki hasar seviyeleridir (S), bu parametrenin zemin ivmesi ile değişimi her iki (sağ ve sol) şev için ayrı ayrı ifade edilmiştir. Sağ ve sol şevler için değişimlere ait korelasyon sayıları sırasıyla  $R=0.97$  ve  $R=0.959$  olarak hesaplanmıştır. Buradan değişimin uyumunun oldukça iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca her şev için değişimleri temsil eden bağıntılar aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

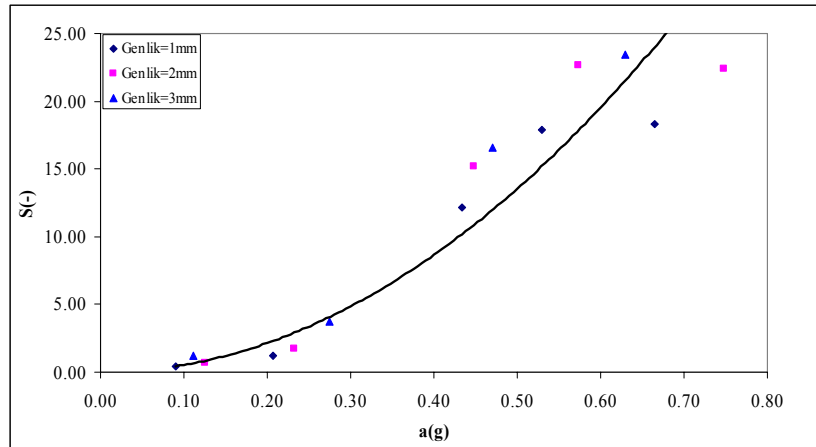
$$\text{Sağ şev için; } S=54.48 a_g^2 \quad (7.3)$$

$$\text{Sol şev için; } S=45.82 a_g^{1.84} \quad (7.4)$$

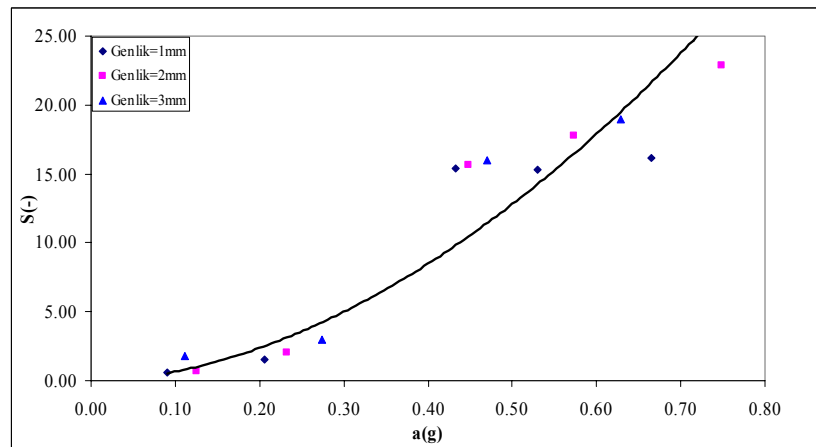
Şekil 7.76 ve 7.77'den her iki şevdeki hasar seviyesinin hemen hemen aynı olduğu ve simetrik davrandığı görülmektedir. Bu durum tek boyutlu sismik tanktaki ölçek etkilerinin küçük olduğunu göstermektedir. Yine hasar miktarının da zemin ivmesi ile arttığı görülmektedir. Yine şekillerden rijit temel üzerinde yer alması durumunda 0.5-0.6g değerinden sonra tam hasara ( $S \geq 8$ ) ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Her iki şevin hasar seviyesinin zemin ivmesine göre değişimi birlikte Şekil 7.78'de gösterilmiştir.

Her iki şevdeki hasar seviyesi birlikte düşünüldüğünde, hasar seviyesi değişiminin topuksuz geleneksel taş dolgu dalgakıran için aşağıdaki ifade ile tanımlandığı belirlenmiştir.

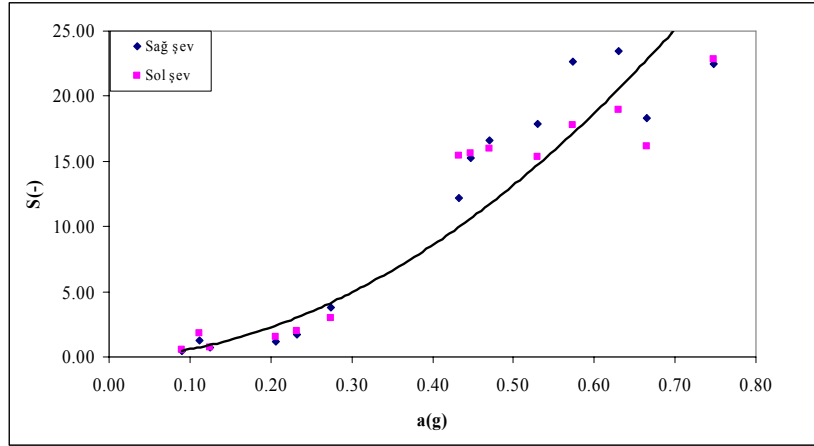
$$S=49.96 a_g^2 \quad (7.5)$$



Şekil 7.76 Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi

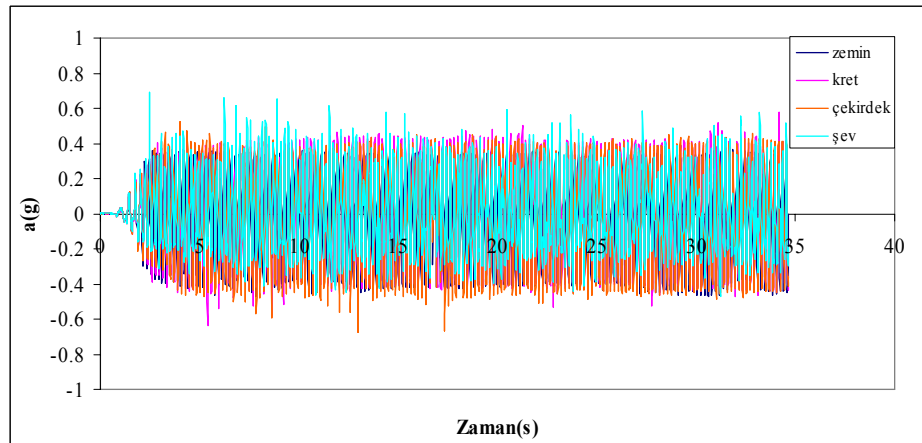


Şekil 7.77 Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi

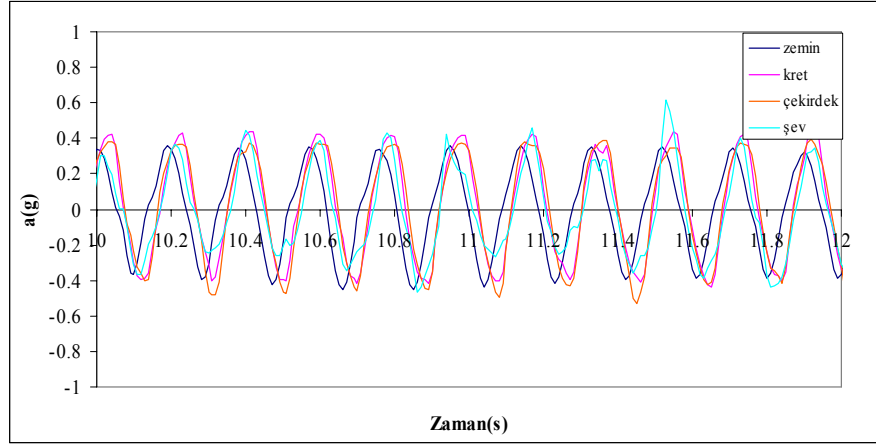


Şekil 7.78 Topuksuz tabakalı taş dolgu dalgakıranda hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi

Ayrıca sarsma tankının kesit altında sahip olduğu sismik ivmenin kesitin kretinde ne kadar büyüdüğünü belirlemek amacıyla ivme zaman grafikleri filitrelenmiş (Şekil 7.79) ve gerek zemin gerekse kret ivmelerinin maksimum değerleri kullanılarak max. ivme değerlerine göre büyüme ( $A_m$ ) miktarları hesaplanmıştır. İvme büyümesi miktarı kret, şev ve çekirdek ivmesinin zemin ivmesine oranı ( $a_{gx}/a_{gb}$ ) şeklinde ifade edilmiştir. İvme büyütmesinin zemin ivmesi ile değişimleri kret, şev ve çekirdek için ayrı ayrı Şekil 7.80'de çizilmiştir. Ayrıca Şekil 7.81'de her üç değişim birlikte gösterilmiştir, böylece ivme büyümesi en fazla şev üzerindeki koruma tabakasında sonra çekirdekte ve krette meydana geldiği anlaşılmaktadır. 0.5g'den büyük zemin ivmelerinin etkimesi durumunda çekirdek ve kretteki ivme büyümeleri değişimi birbirine yaklaşmaktadır. Bunun nedeni çekirdek malzemesi üzerinde meydana gelen kaymanın ivmenin büyümesine neden olması ve çekirdek malzemesini oluşturan daha ince granüler malzemede ivmelerin büyük olmasıdır.

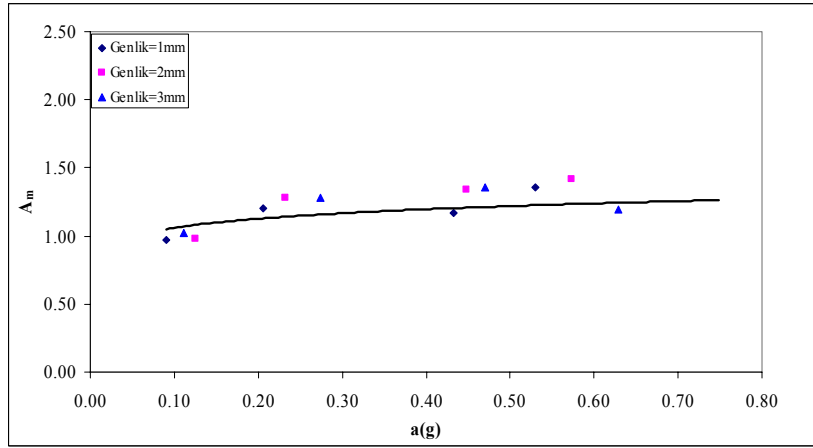


(a) filitrelenmiş 3mm 5 Hz ivme için ivme-zaman grafiği  
Şekil 7.79

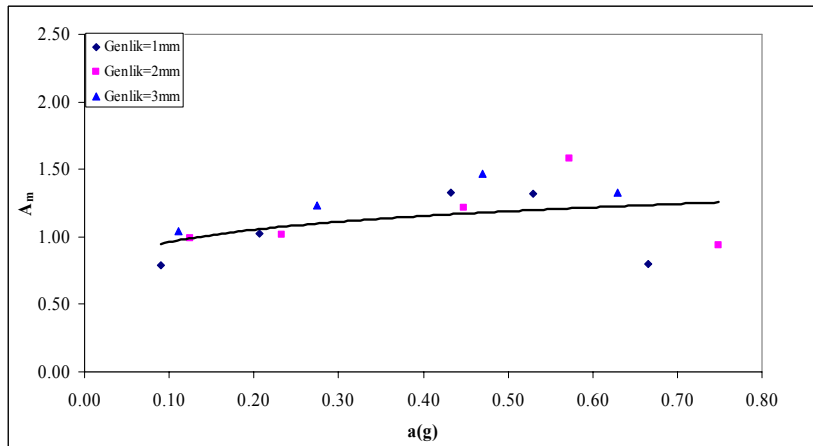


(b) Filtrelenmiş 3mm 5 Hz 4-6. sn'ler için ivme-zaman grafiği

Şekil 7.79 Devam

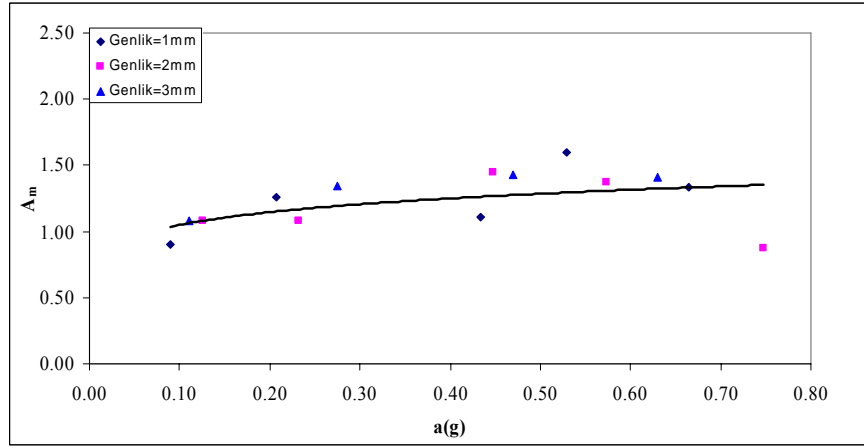


(a) Çekirdek



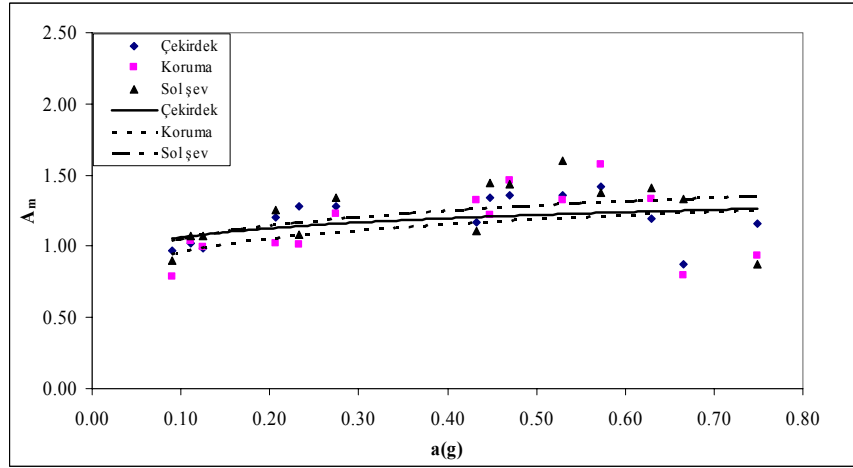
(b) Kret

Şekil 7.80 İvme büyümesinin değişimi



(c) Sol şev koruma tabakası

Şekil 7.80 Devam



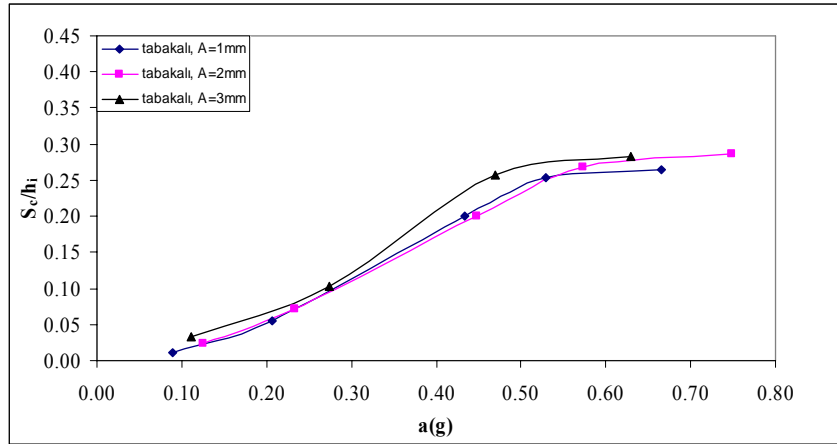
Şekil 7.81 İvme büyütme değerlerinin değişimi

Şekil 7.82’de birim oturmanın zemin ivmesi değişimi değerlendirilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi kesitteki oturma 0.2g civarında belirgin olmakta ve 0.5-0.6g değerlerinde nihai değerine ulaşarak tam hasar durumunu oluşturmaktadır. Şekil 7.83 ve 7.84’de tabakalı kesitin homojen anroşman ve çekirdek malzemeleri ile birlikte değişimleri gösterilmiştir. Şekillerden tabakalı geleneksel taş dolgu modelinde oluşan birim oturmanın üniform anroşmandan ve çekirdek malzemesinden oluşturulan modellerden daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni çekirdek malzemesindeki büyük deformasyonların ve onun üzerinden farklı davranışa sahip anroşman tabakasının bu malzemedan farklı davranış içinde akması ve şev kaymasının daha büyük olmasıdır. Birim oturmaların belirlenmesi işlemi bed profilleri ile modelin belirli noktalardan deney öncesi ve sonrası profilinin çıkarılması ve iki profil sonuçlarının karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Anroşman malzemesinin çekirdek malzemesi ile kilitleme yeteneği düşüktür ve sismik etki sırasında şev kaymaları büyük olmaktadır. Bu durumda çekirdek malzemesinin çıkışması oturma miktarı için birincil derecede önemli iken,



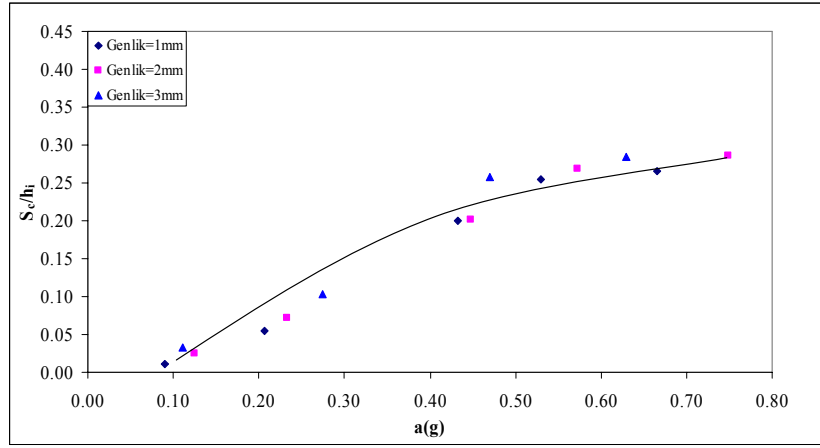
kret üzerindeki anroşman malzemesinin dağılması ve yer yer tek tabakaya düşmesi ölçümlerde oturma olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 7.85’de ise hacimsel birim deformasyonun değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden hasar başlangıcı olan 0.2g ve tam hasara ulaşılan 0.5-0.6g değerleri daha belirgin görülmektedir. Bu değerler su içindeki uniform anroşmandan oluşturulan model, çekirdek malzemesinden oluşturulan model ve tabakalı geleneksel model için benzerlik göstermektedir. Ancak Şekil 7.86 ve 7.87’den en fazla hacimsel deformasyonun çekirdek malzemesinden oluşturulan modelde, sonra tabakalı geleneksel modelde ve üniform anroşman malzemesin de olduğu görülmektedir. Bu durumda esas olarak taş dolgu dalgakıranların sismik yükleme halinde davranışlarında çekirdek malzemesinin etkin olduğu ve hasarın büyümesine yol açtığı anlaşılmaktadır. Ayrıca çekirdek malzemesi ile kilitlenemeyen koruma tabakasında şev kaymaları oldukça büyük olmaktadır. Tabakalı geleneksel modelde yüksek ivme değerlerinde anroşman malzemesindeki büyük kayma miktarı dalgakıran topuğunda yığılmaya sebep olmaktadır. Bu durum çekirdek malzesinin yayılmasını engelleyeci bir etki yaratmakta ve tabakalı geleneksel modelin hacimsel değişiminin çekirdekten oluşan modelden daha düşük olmasına sebep olmaktadır.



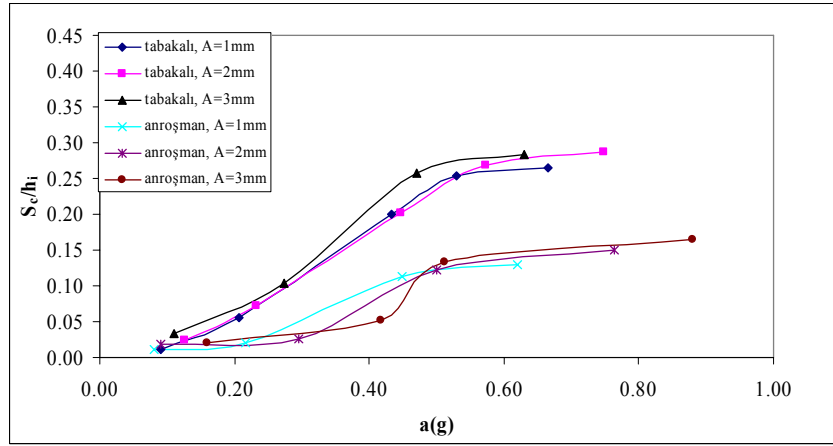
(a)

Şekil 7.82 Topuksuz tabakalı kesit için birim oturma

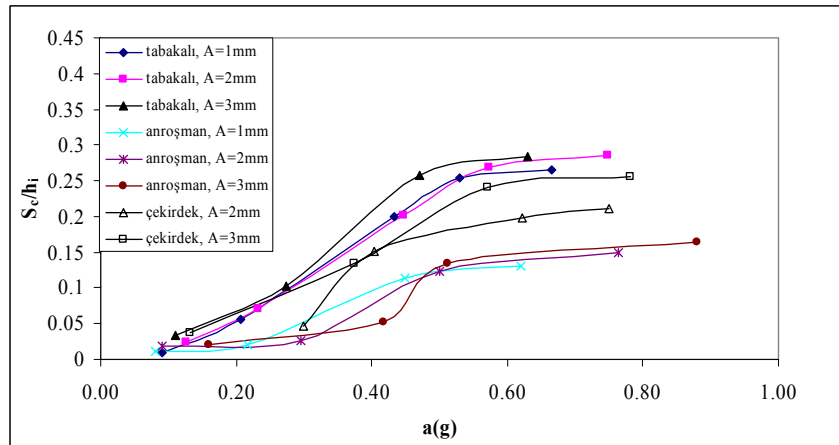


(b)

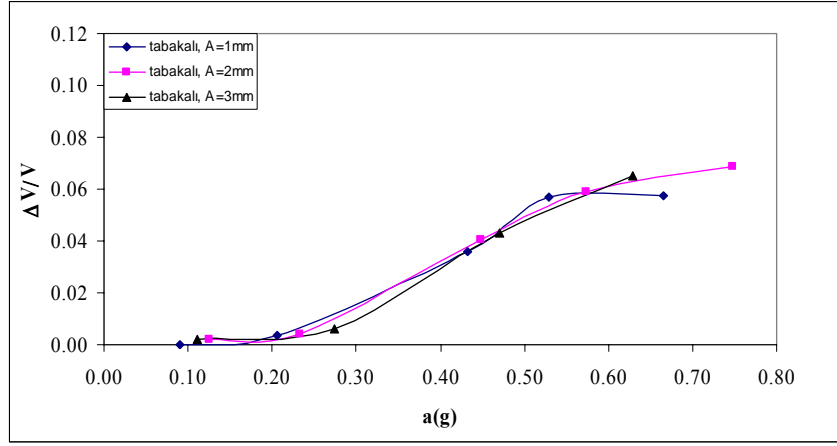
Şekil 7.82 Devam



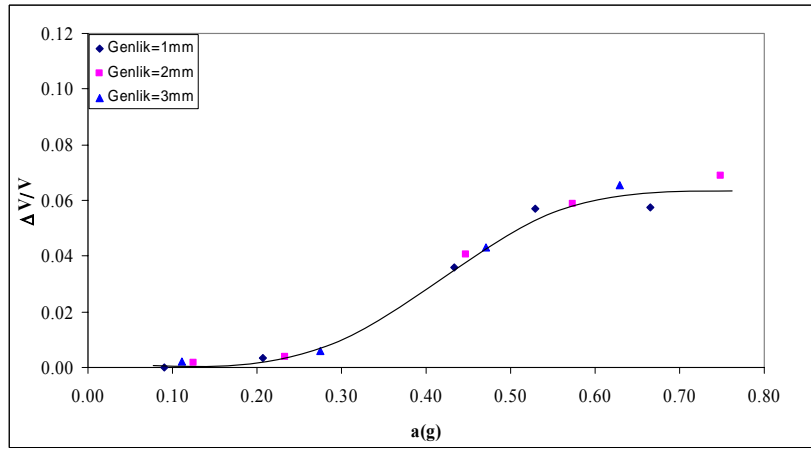
Şekil 7.83 Topuksuz tabakalı kesit ve anroşman için birim oturmalar



Şekil 7.84 Topuksuz tabakalı kesit, anroşman ve çekirdek için birim oturmalar

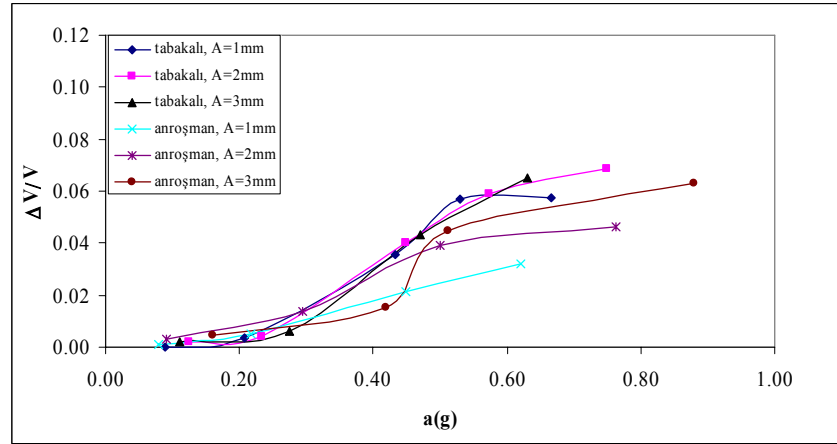


(a)

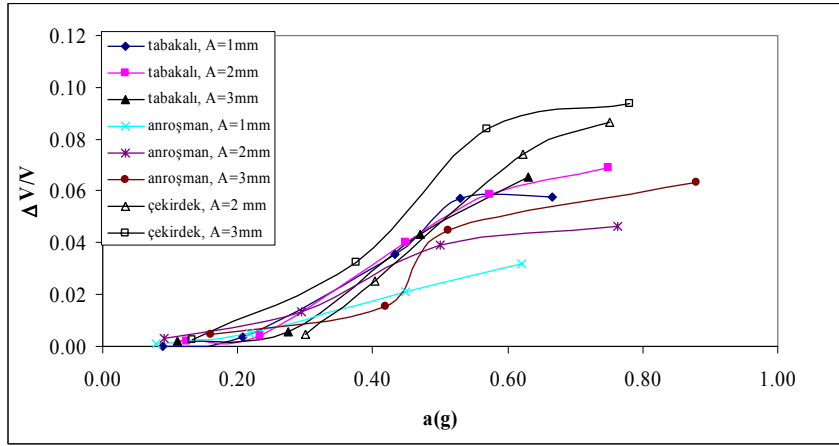


(b)

Şekil 7.85 Topuksuz tabakalı kesit için hacimsel birim deformasyon



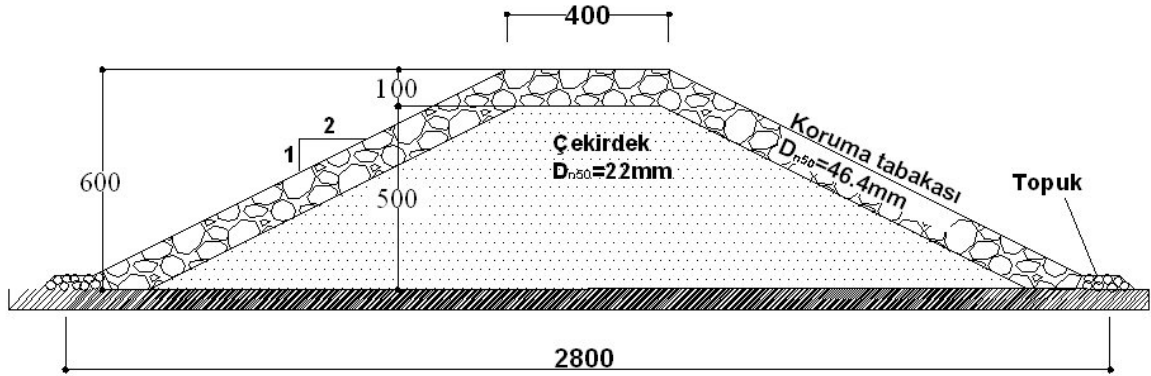
Şekil 7.86 Topuksuz tabakalı kesit ve anroşman için hacimsel birim deformasyonlardaki değişimler



Şekil 7.87 Topuksuz tabakalı kesit, anroşman ve çekirdek için hacimsel birim deformasyonlardaki değişimler

### 7.3 Topuklu Geleneksel Taş Dolgu Dalgakıranın Sismik Davranışı

Taş dolgu dalgakıranların topuklu olarak tasarlanması durumunda sismik davranışını anlamak amacıyla deneyler model topuklu oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Bu hale ait deney sonuçları Çizelge 7.4'de özetlenmiştir. Şekil 7.88'de topuklu olarak tasarlanan model şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.88 Topuklu taş dolgu dalgakıran modeli (birimler mm'dir)

Şekil 7.89 ve 7.90'da 1 mm genlik 5 Hz frekansa sahip deneyler için ivme değişimi ile dikkate alınan kesitlerdeki deney öncesi ve sonrası profiller çizilerek gösterilmiştir. Benzeri değişimler sırasıyla 1mm genlik 6 Hz, 2mm genlik 5 Hz – 6 Hz frekansları , 3mm genlik 5 Hz – 6 Hz frekansları için Şekil 7.91'den 7.106'ya kadar çizilerek gösterilmiştir. Her üç genlik için 3 Hz ve 4 Hz frekanslarında çok belirgin deformasyonlara rastlanmadığından bunlara ait değişimler Eklerde verilmiştir.

Şekil 7.89'den 7.106'e kadar üç farklı genlik de sadece 5, 6 ve 7 Hz frekansa sahip deney koşullarında bir kesit için deney öncesi ve sonrası profiller çizilerek gösterilmiştir. 3 ve 4

Hz'e ait sonuçlar bu hallerde meydana gelen deformasyonların küçük olmasından dolayı burada gösterilmemiştir (Ek5). Şekiller incelendiğinde kesitin topuksuz haline göre şev kaymalarının topuktan dolayı oldukça azaldığı belirlenmiştir. Bu nedenle topuklu model deneyleri 7 Hz frekans için de denenmiştir. Deneyler kretteki oturma ile birlikte hacimsel deformasyonun artan frekans değerleri ile arttığı ancak şev kaymalarındaki artışın çok az arttığı gözlemlenmiştir.

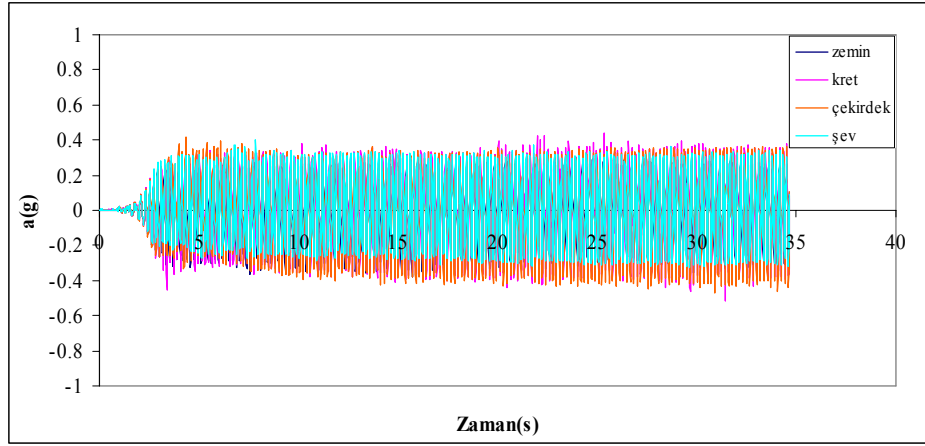
Şekil 7.89'den 7.106'ya kadar tüm şekiller incelendiğinde rijit tabana oturan modellerin tabanda uygulanan girdi hareketi özelliklerine (frekans, ivme ve deplasman genliği) bağlı olarak topuksuz model kesitinde olduğu gibi krette değişim gösterdikleri anlaşılmaktadır. Bazı ivme tarihçesi şekillerinde sıçramalar görülsede yine bunların modeli oluşturan taş elemanların bireysel hareketlerinden kaynaklanmaktadır.

Dikkate alınan kesitlerdeki sarsma deneyleri sonrası değişen profiller incelendiğinde modelde sıkışma olmakta (oturma ve şevlerde yayılmalar) ve bunun sonucunda kesitte deformasyon meydana geldiği anlaşılmaktadır. Özellikle frekans değerlerinin artması ile oturma ve yayılmanın topuksuz haldeki gibi arttığı gözlemlenmiştir. Koruma tabaksında yayılmanın meydana gelmemesi nedeniyle çekirdek hiç bir hal için görünür olmamıştır.

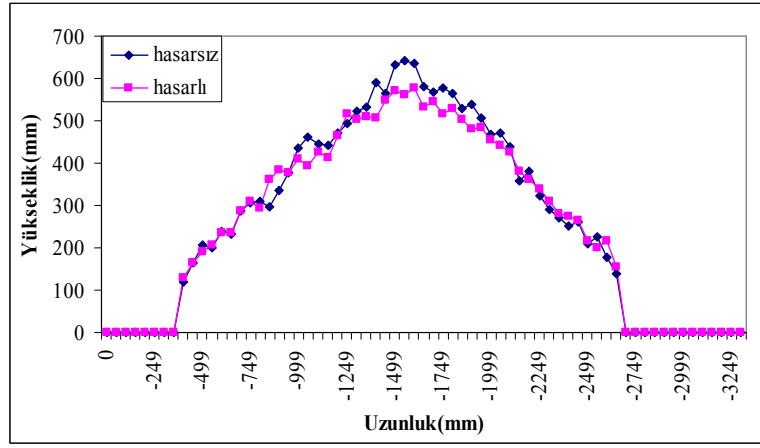
Görüntü işleme tekniği kullanılarak model kesitindeki deformasyonun zamanla değişimi incelenmiştir. Şekil 7.107 ve 7.108'de belirgin anlardaki değişimler görülmektedir. Uygulanan çevrimsel yük altında model kesitte oluşan deformasyonun zamansal gelişiminin belirlenmesi amacıyla deneylerin zamanla değişimi izlenmiştir, Şekil 7.109'dan 7.112'ye kadar verilen örneklerden görüldüğü gibi genellikle kesitteki deformasyonun % 80'i ilk 10s'de, deformasyonun geri kalan kısmı ise ilk 20 s'de tamamlanmaktadır.

Çizelge 7.4 Tabakalı geleneksel taşdolgu dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları (Topuk hali)

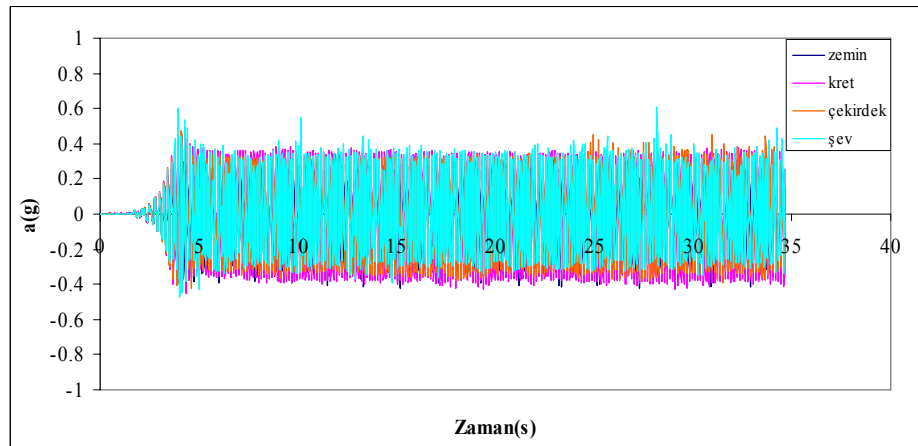
D.N	Maksimum Düşey Deplasman (mm)	Toplam Hacim Değişimi (mm <sup>3</sup> )	sağ şev hacim değişimi (mm <sup>3</sup> )		sol şev hacim değişimi (mm <sup>3</sup> )		sağ şev kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )		sol şev kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )		sağ şev toplam kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )	sol şev toplam kesit değişimi (mm <sup>2</sup> )	sağ şev	sol şev
	(S <sub>c</sub> )	(ΔV) × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	Hasar (S)	Hasar (S)
0103TTK	17	4.83	11.48	38.49	15.78	15.76	1.18	3.97	1.63	1.62	2.78	0.00	0.55	0.76
0104TTK	19.04	27.21	33.02	13.32	22.98	16.70	3.40	1.37	2.37	1.72	2.03	0.65	1.58	1.10
0105TTK	74.14	221.18	75.84	45.18	52.33	94.84	7.82	4.66	5.39	9.78	3.16	4.38	3.63	2.51
0106TTK	92.58	248.95	76.75	68.04	68.98	162.23	7.91	7.01	7.11	16.72	0.90	9.61	3.68	3.30
0107TTK	95.94	311.62	81.82	45.15	84.98	63.45	8.43	4.65	8.76	6.54	3.78	2.22	3.92	4.07
0203TTK	22.74	12.79	16.49	31.01	31.58	24.75	1.70	3.20	3.26	2.55	1.50	0.70	0.79	1.51
0204TTK	30.16	58.70	33.52	21.70	35.60	60.98	3.46	2.24	3.67	6.29	1.22	2.62	1.60	1.70
0205TTK	86.04	372.54	131.46	68.53	104.86	90.34	13.55	7.06	10.81	9.31	6.49	1.50	6.29	5.02
0206TTK	109.54	451.89	161.49	78.28	122.70	122.60	16.65	8.07	12.65	12.64	8.58	0.01	7.73	5.88
0207TTk	116.66	520.33	162.46	113.81	147.39	133.72	16.75	11.73	15.19	13.79	5.02	1.41	7.78	7.05
0303TTK	25.36	38.59	30.04	31.79	38.26	23.27	3.10	3.28	3.94	2.40	0.18	1.55	1.44	1.83
0304TTK	55.9	53.94	47.16	52.14	38.90	93.53	4.86	5.38	4.01	9.64	0.51	5.63	2.26	1.86
0305TTK	100.88	393.49	145.58	108.65	134.26	163.87	15.01	11.20	13.84	16.89	3.81	3.05	6.97	6.43
0306TTK	119.26	478.28	168.89	145.28	133.06	115.72	17.41	14.98	13.72	11.93	2.43	1.79	8.09	6.37
0307TTK	133.92	519.59	175.08	174.65	148.22	213.15	18.05	18.00	15.28	21.97	0.05	6.69	8.38	7.10



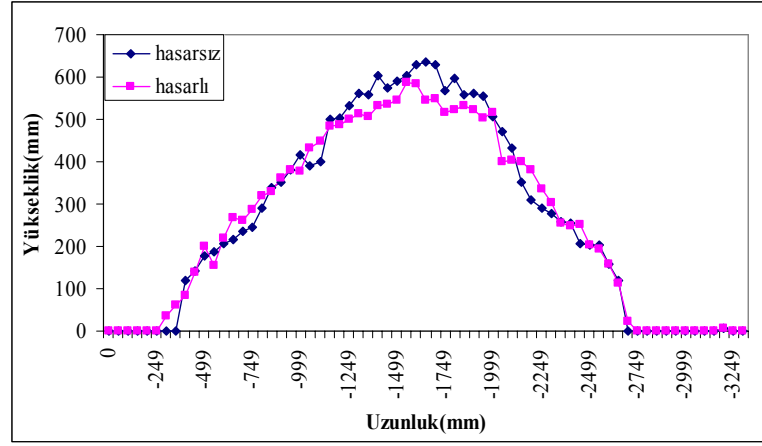
Şekil 7.89 1mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



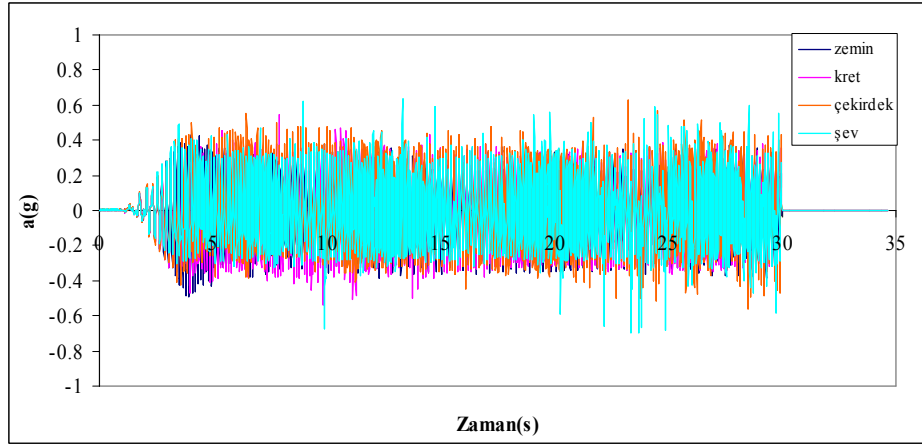
Şekil 7.90 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 5 Hz)



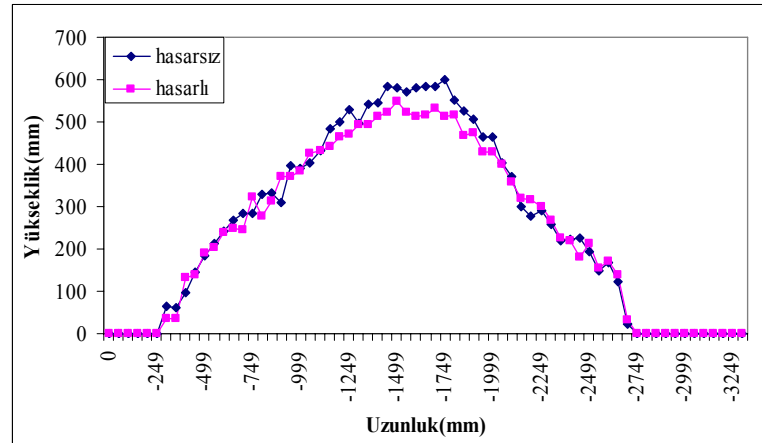
Şekil 7.91 1 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



Şekil 7.92 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 6 Hz)

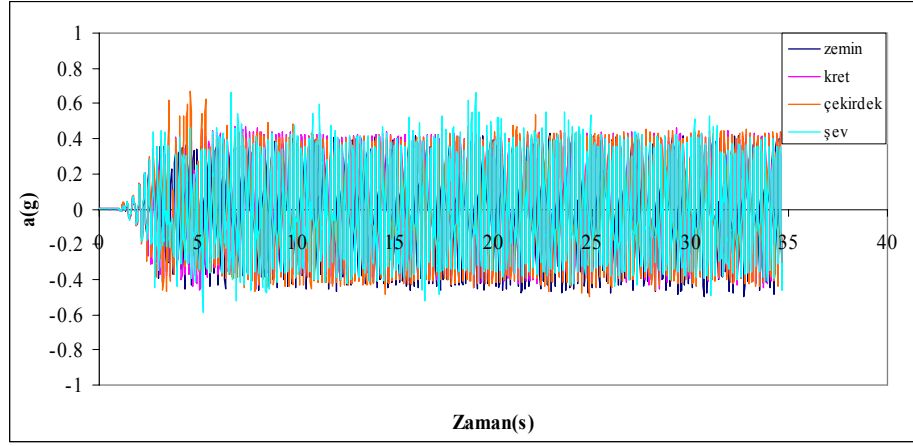


Şekil 7.93 1 mm genlik, 7 Hz frekans için ivme değerleri

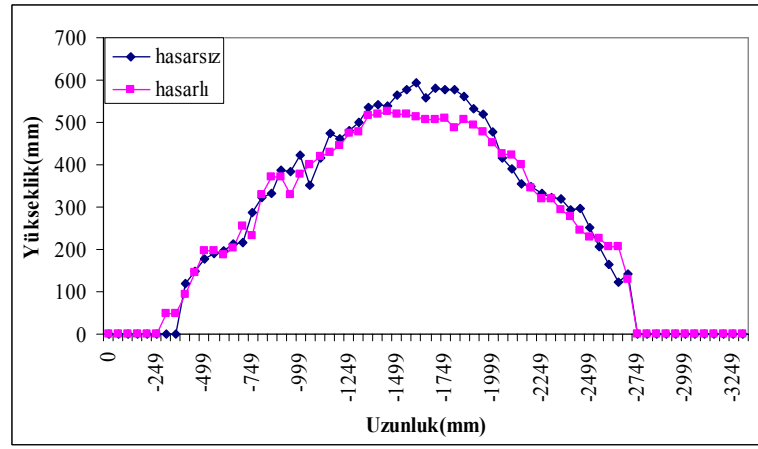


Şekil 7.94 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (1mm, 7 Hz)

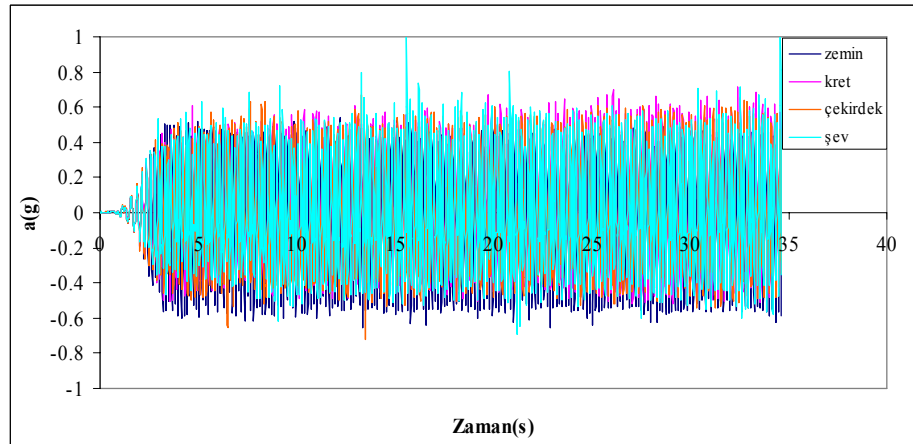




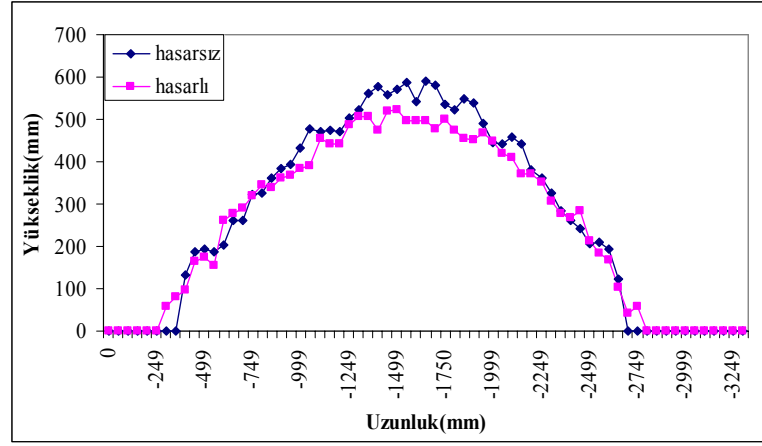
Şekil 7.95 2mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



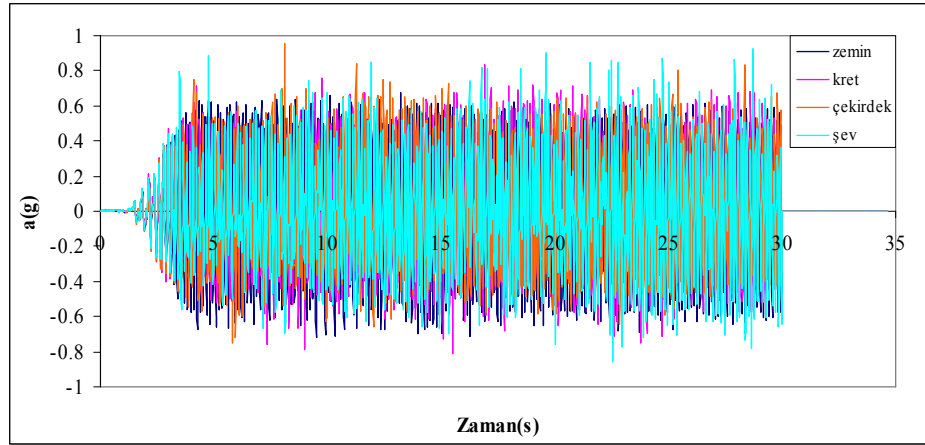
Şekil 7.96 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 5 Hz)



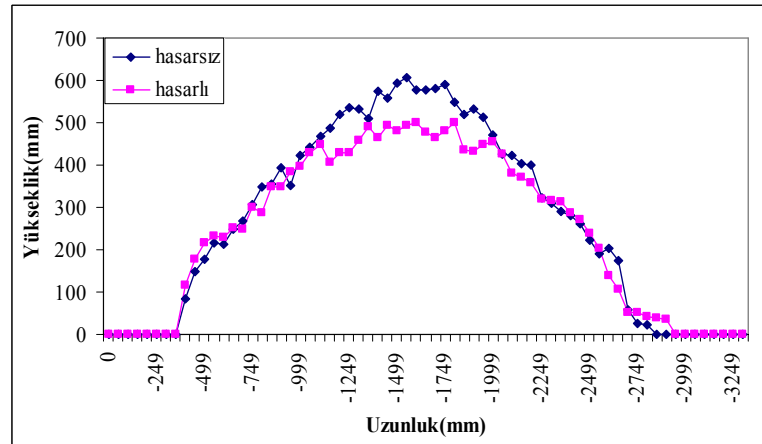
Şekil 7.97 2mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



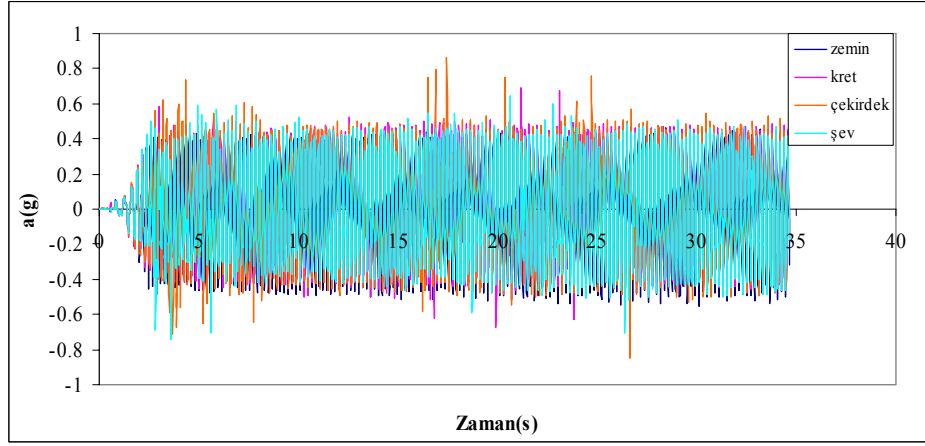
Şekil 7.98 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 6 Hz)



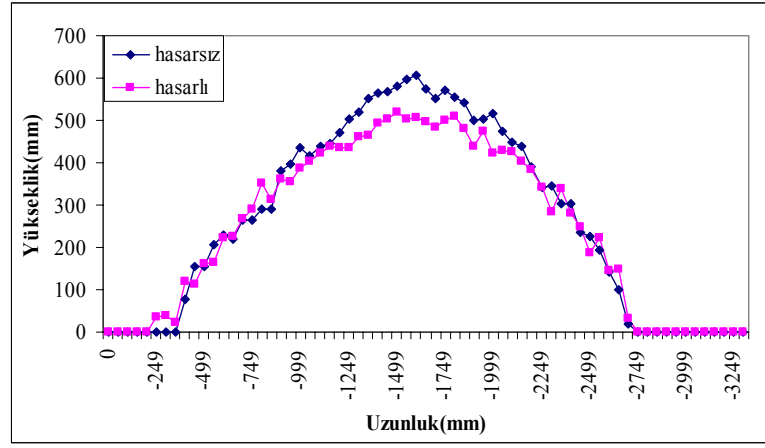
Şekil 7.99 2mm genlik, 7 Hz frekans için ivme değerleri



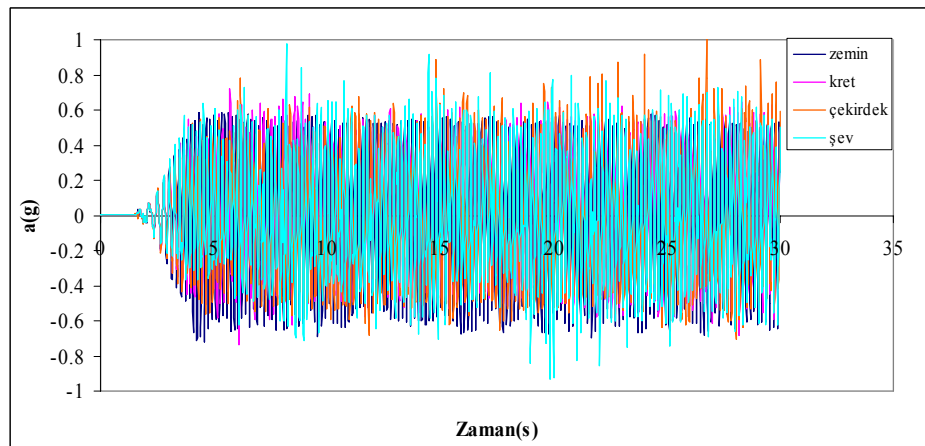
Şekil 7.100 3. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (2 mm, 7 Hz)



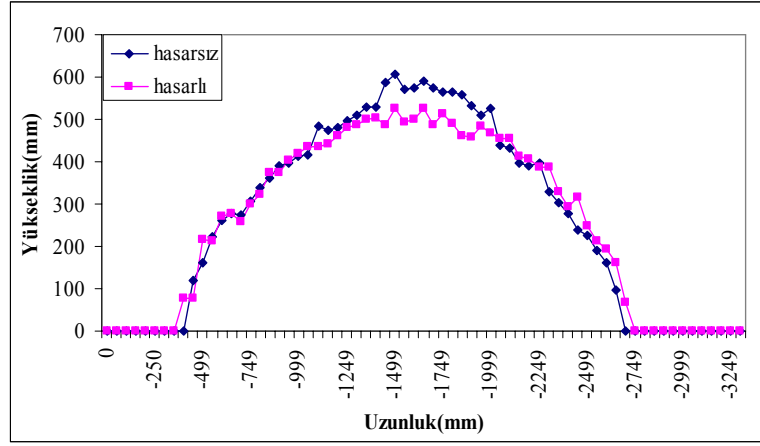
Şekil 7.101 3mm genlik 5 Hz frekans için ivme-zaman grafiği



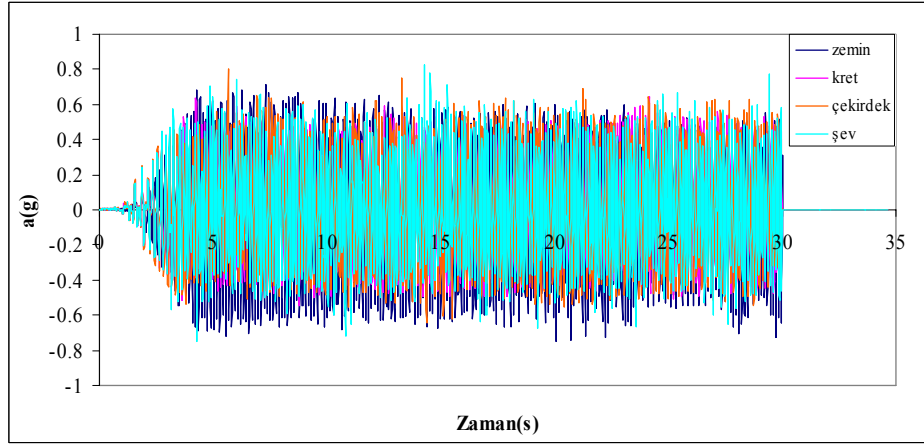
Şekil 7.102 3mm genlik 5 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 5 Hz)



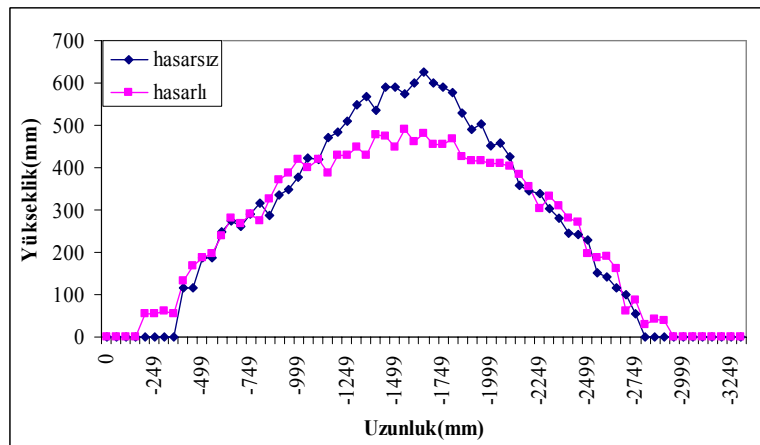
Şekil 7.103 3 mm genlik 6 Hz frekans için ivme-zaman grafiği



Şekil 7.104 3mm genlik 6 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 6 Hz)



Şekil 7.105 3 mm genlik 7 Hz frekans için ivme-zaman grafiği



Şekil 7.106 3mm genlik 7 Hz frekans için 2. kesitteki hasarlı ve hasarsız profiller (3 mm, 7 Hz)



(a) 1. saniye



(b) 11. saniye



(c) 20. saniye

Şekil 7.107 2mm genlik, 5 Hz frekans



(d) 30. saniye

Şekil 7.107 Devam



(a) 1. saniye



(b) 12. saniye

Şekil 7.108 3 mm genlik, 5Hz frekans



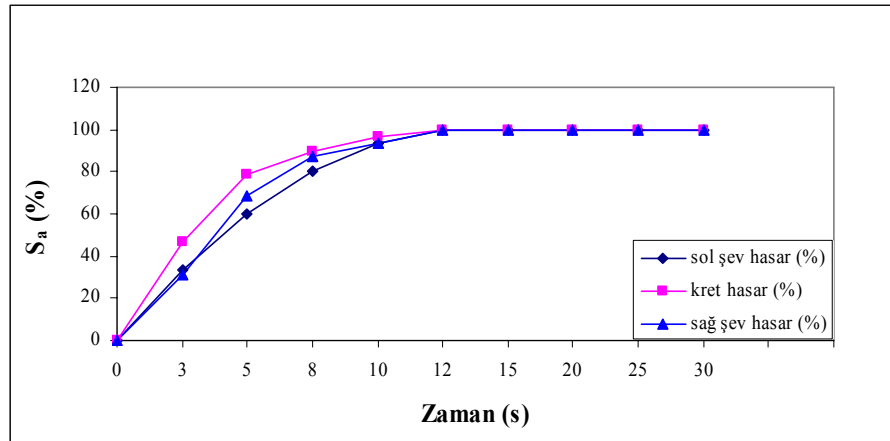


(c) 20. saniye

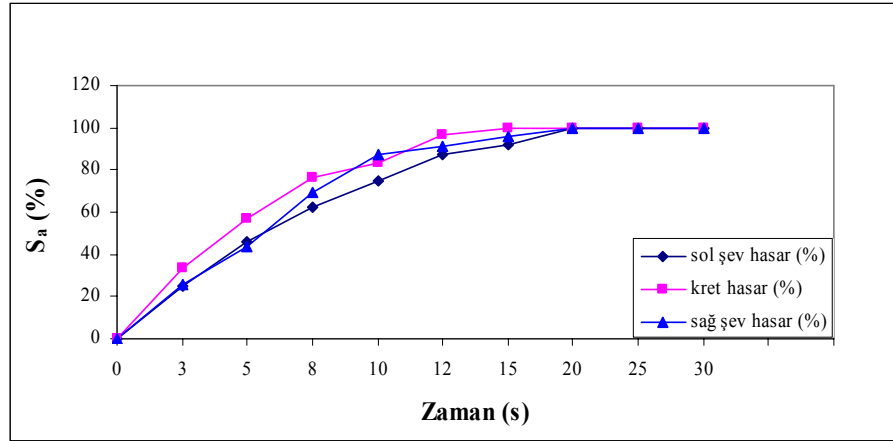


(d) 30. saniye

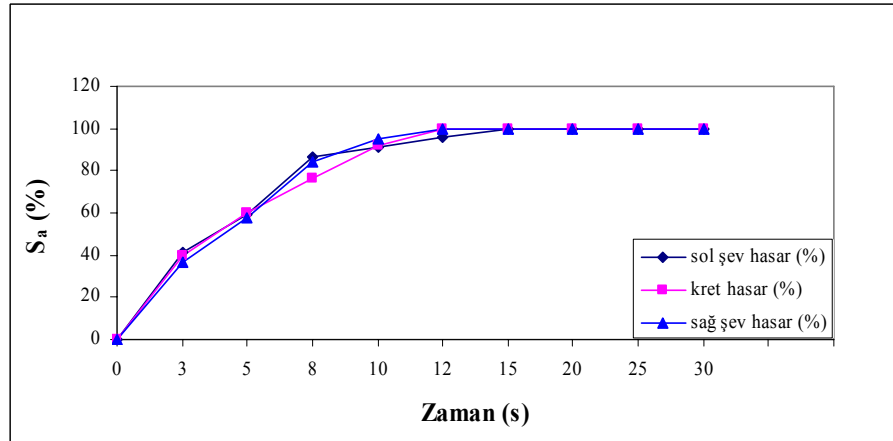
Şekil 7.108 Devam



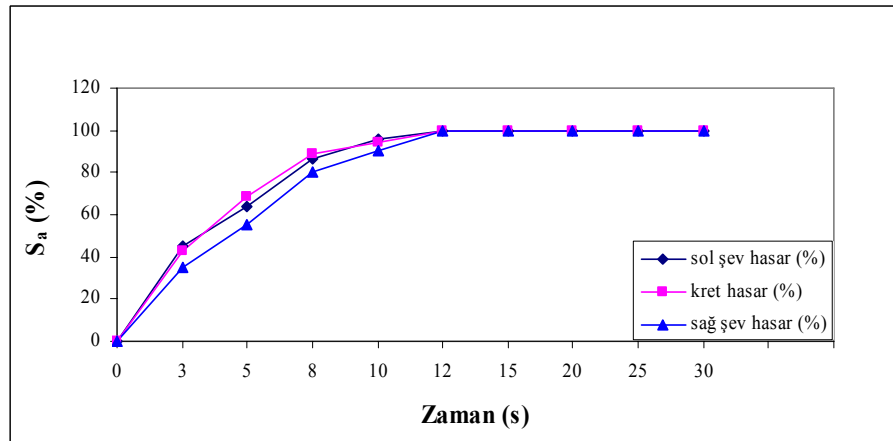
Şekil 7.109 1mm-7 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



Şekil 7.110 2mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



Şekil 7.111 3mm-5 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği



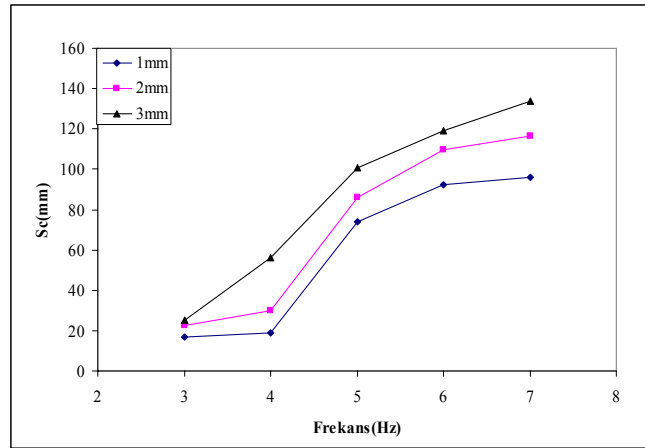
Şekil 7.112 3mm-6 Hz zamana bağlı hasar yüzde grafiği

Şekil 7.113'de tabakalı kesite sahip topuklu geleneksel taş dolgu dalgakıranının kretinde oluşan oturumların ( $S_c$ ) sismik tankın sahip olduğu frekans ile farklı genlikler için değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi topuksuz hale benzer olarak her genlik değerinde frekansın artmasıyla oturma miktarı artmaktadır, oturma miktarı genliğin artmasıyla aynı

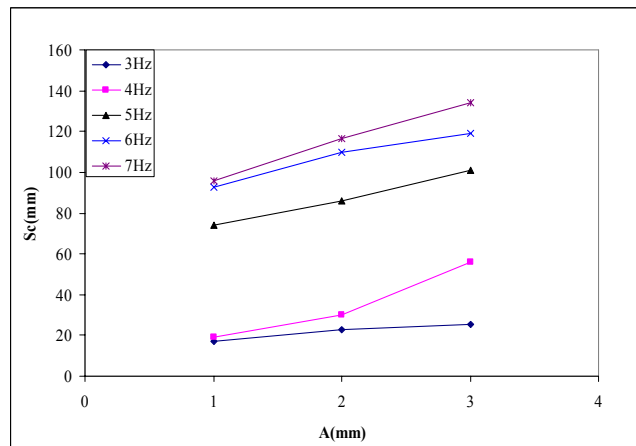


frekans içinde büyümektedir. Ancak kesitteki oturma 4 Hz'den sonra homojen kesitlerde olduğu gibi daha büyük bir artış eğilimine sahiptir. Bu durum Şekil 7.114'te daha belirgin olarak görülmektedir. 3 ve 4 Hz değerlerinde oturma miktarları oldukça küçük ve birbirine yakındır ancak 4 Hz'den sonra oturma miktarında hızlı artış meydana gelmiştir. Kesitteki oturma taş dolgu yapının diğer modellerde olduğu gibi tamamında meydana gelen sıkışmadan kaynaklanmıştır. Şekillerden görüldüğü gibi sismik davranış genliktense daha fazla frekansa göre değişim göstermektedir.

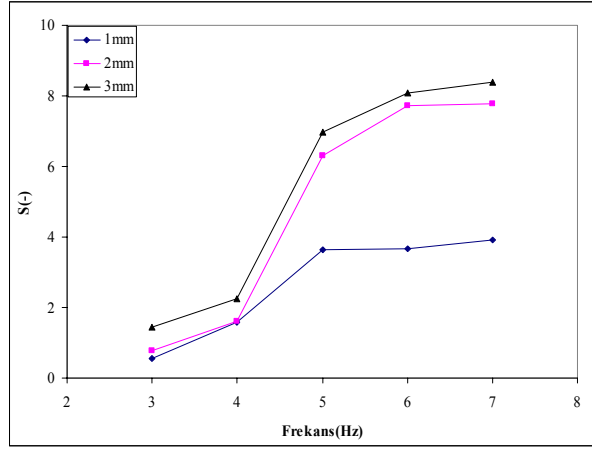
Şekil 7.115 ve 116'da hasarın (S) kesitin sağ şevinde aldığı değerlerin frekans ve genlikle değişimi görülmektedir. Hasar, Van der Meer (1988)'in taş dolgu dalgakıranlar için vermiş olduğu tarife göre hesaplanmıştır. Hasarın özellikle deprem frekansından çok etkilendiği görülmektedir. Hasar 4 Hz'den itibaren artmaya başlamaktadır ancak topuklu dalgakıran kesitinde hasardaki artışa rağmen mevcut deney koşullarında hiç bir zaman çekirdek görünür olmamıştır. Benzeri durum Şekil 7.117 ve 118'de sol şev için verilmiştir.



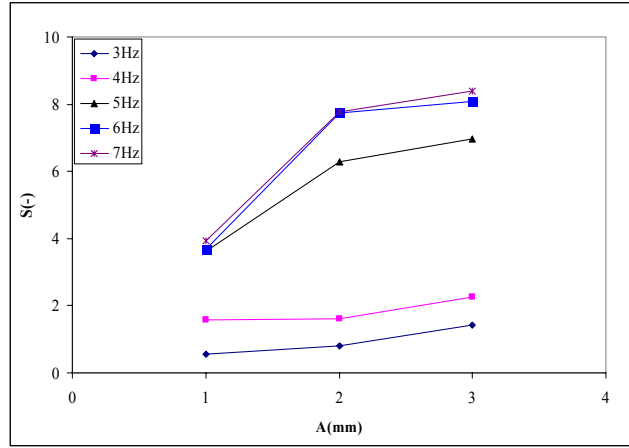
Şekil 7.113 Kretteki oturma miktarının frekans ile değişimi



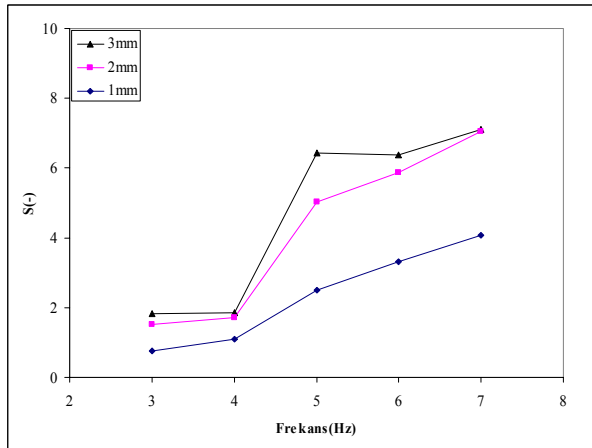
Şekil 7.114 Kretteki oturma miktarının genlikle değişimi



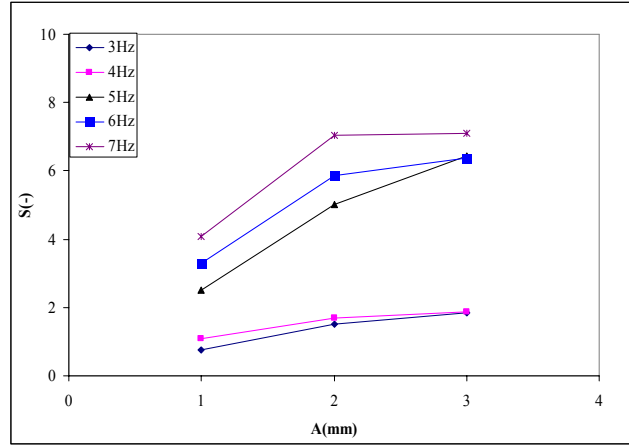
Şekil 7.115 Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri



Şekil 7.116 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hasar yüzdeleri



Şekil 7.117 Frekansa bağlı olarak 1, 2, 3 mm genlik durumunda sol şevde oluşan hasar yüzdeleri



Şekil 7.118 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hasar yüzdeleri

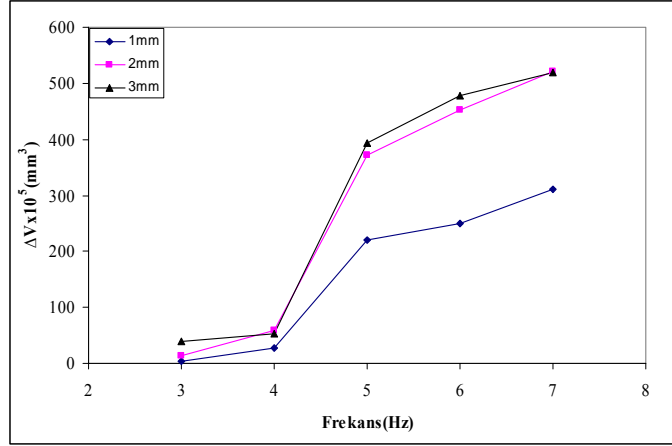
Şekil 7.119'da taş dolgu dalgakıran kesitinde frekansa bağlı olarak meydana gelen hacim değişimi gösterilmiştir. Dalgakıran hacminde meydana gelen değişimin yine 4 Hz'den sonra oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Hacimdeki azalma eğilimi genlik ile olan değişimde de görülmektedir (Şekil 7.120). Dalgakıran modeli rijit temel üzerinde yer aldığından hacim değişimi tamamen kesitin sıkışmasından kaynaklanmıştır. Şevlerde meydana gelen değişimlerin anlaşılması amacıyla sadece şevlerde meydana gelen deformasyonları dikkate alacak şekilde hacimsel değişimler de incelenmiştir. Bu amaçla şevlerdeki hacimsel değişim miktarlarının modelin her iki şevi için ayrı ayrı Şekil 7.121, 7.122, 7.123 ve 7.124'te görüldüğü gibi belirlenmiştir. Sağ ve sol şevlerde belirlenen hacimsel değişimler hemen hemen simetriktr.

Ayrıca şev kaymalarının daha iyi anlaşılması amacıyla kesitin topuğunda oluşan koruma tabakasının yığılma miktarları belirlenmiş ve her iki şev için Şekil 7.125, 7.126, 7.127 ve 7.128'de gösterilmiştir.

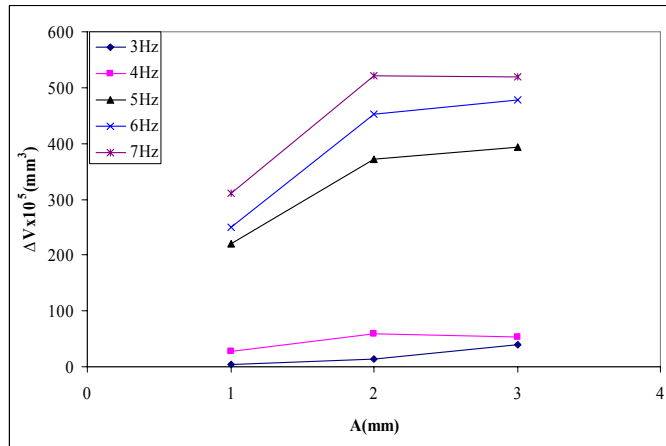
Şevlerde oluşan hacimsel değişimlere benzer biçimde, ölçümlerde dikkate alınan kesit alanlardaki değişimlerde ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla Şekil 7.129, 7.130, 7.133 ve 7.134'te sırasıyla sağ ve sol şevler için frekansa ve genliğe bağlı olarak kesitsel ortalama alanlarındaki değişimler çizilmiştir. Şekillerden oturma alanlarındaki değişimlerin her iki şev için yaklaşık olarak simetrik olduğu görülmektedir. Gerek frekans gerekse genliğin hacimsel şekil değiştirme alanlarındaki etkisi hacimdeki değişimlere benzerdir. Şekil 7.131, 7.132, 7.135 ve 7.136'da ise yığılmadaki kesitsel alanlardaki değişimler gösterilmiştir.

Şekil 7.137 ve 7.138'de oturma ve şev kayması nedeniyle toplam ortalama kesit alanındaki değişimin frekans ve genlikle değişimleri verilmiştir. Bu şekillerden frekans arttıkça kesitin

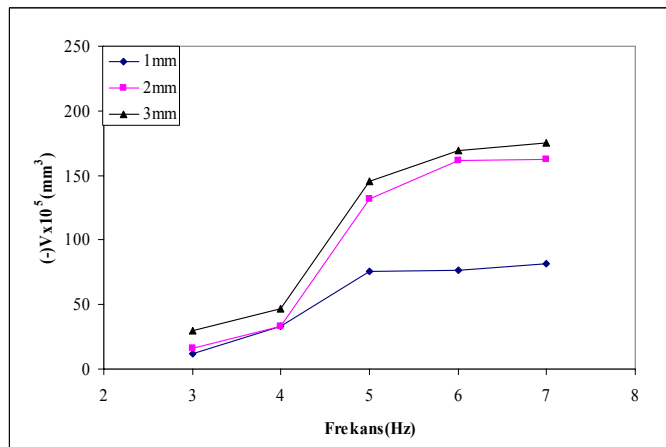
sıkışma miktarı artmaktadır. Şekillerden şev kaymasının topuksuz kesite göre daha küçük olduğu belirlenmektedir. Benzeri durum sol şevde de olmaktadır (Şekil 7.139 ve 7.140).



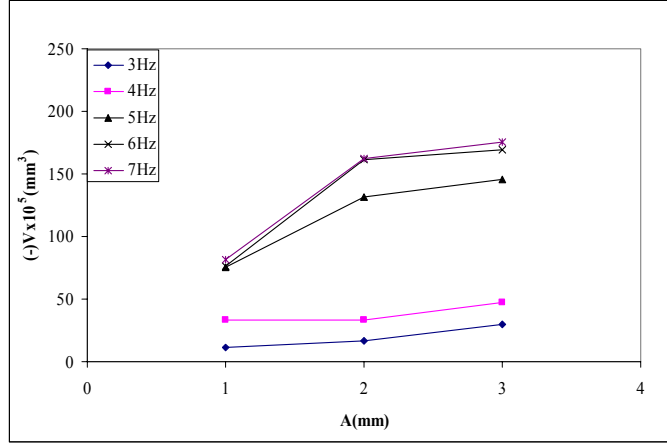
Şekil 7.119 Frekansa bağlı olarak farklı genlik durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi



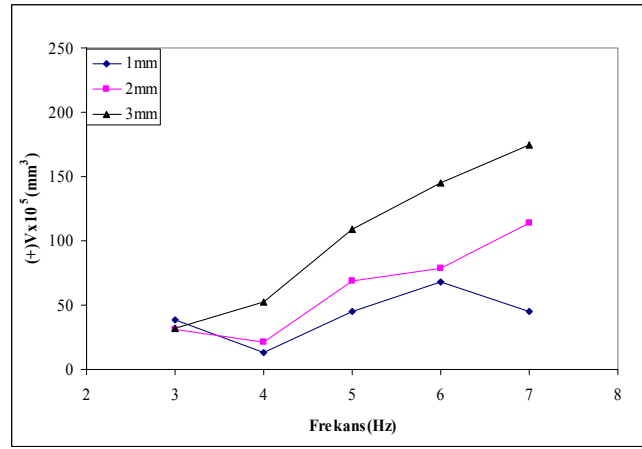
Şekil 7.120 Genliğe bağlı olarak farklı frekans durumlarına göre kesitte oluşan hacim değişimi



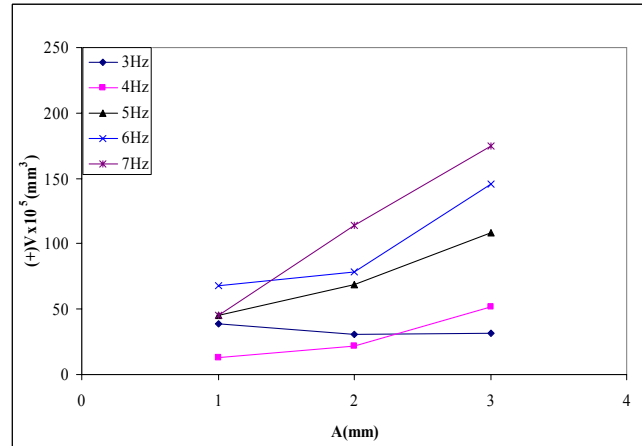
Şekil 7.121 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan hacimsel değişim



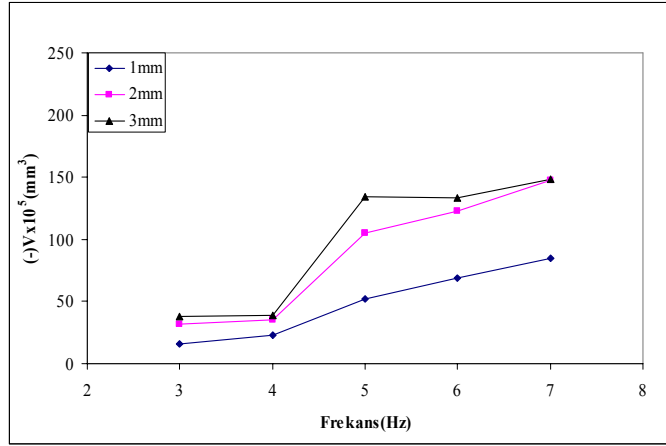
Şekil 7.122 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan hacimsel değişim.



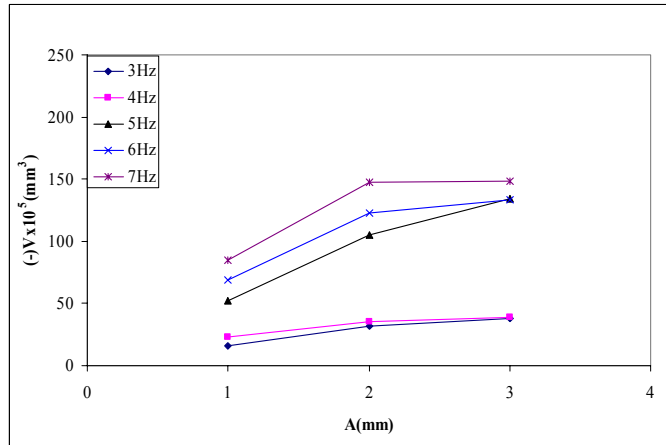
Şekil 7.123 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan yığılmalar



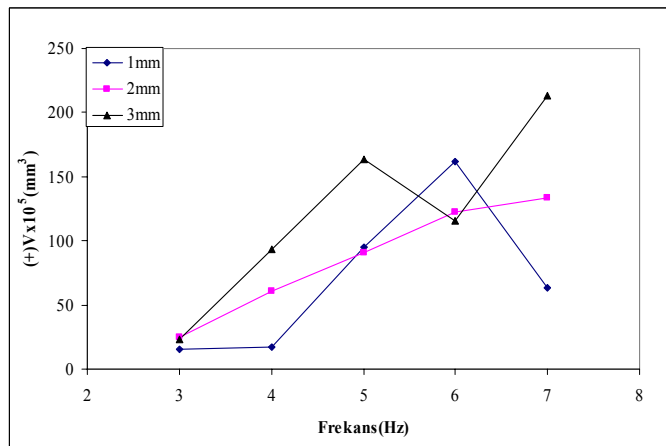
Şekil 7.124 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan yığılmalar



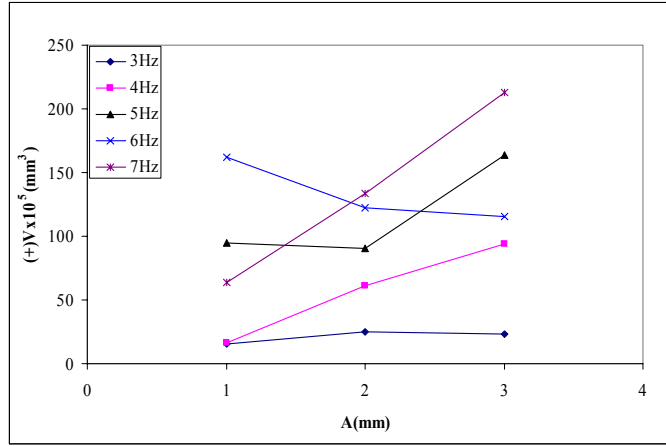
Şekil 7.125 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan hacim değişimi



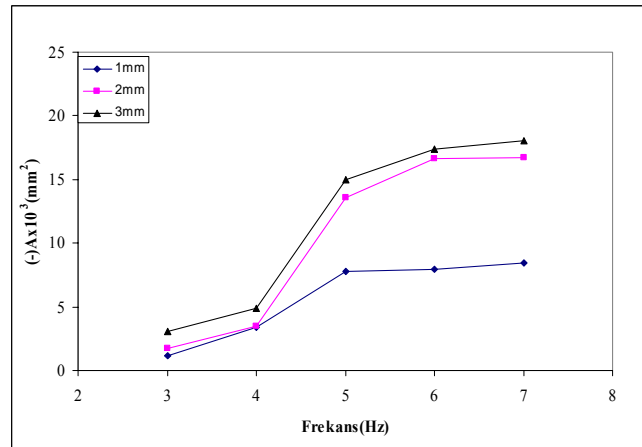
Şekil 7.126 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan hacim değişimi



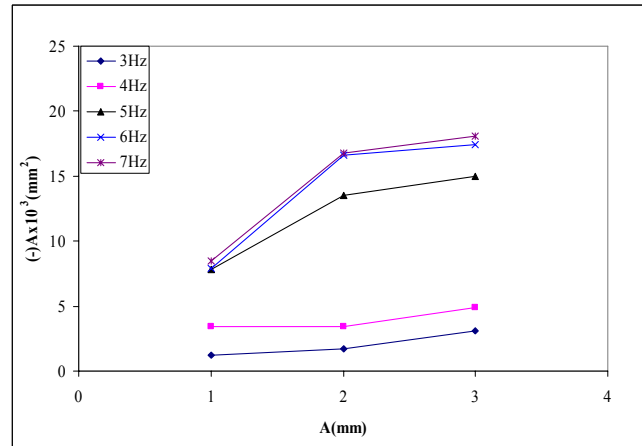
Şekil 7.127 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan yığılmalar



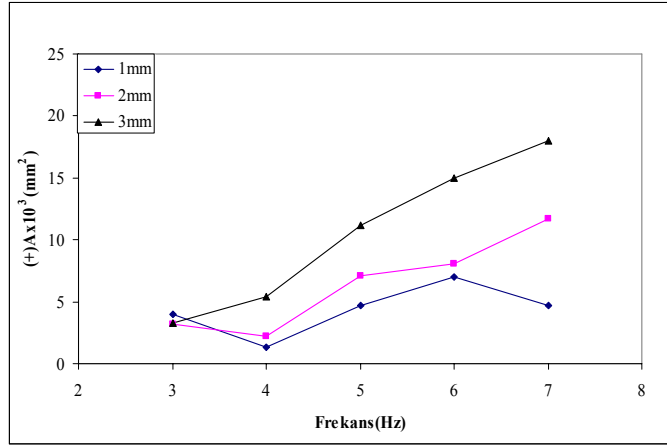
Şekil 7.128 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan yığılmalar



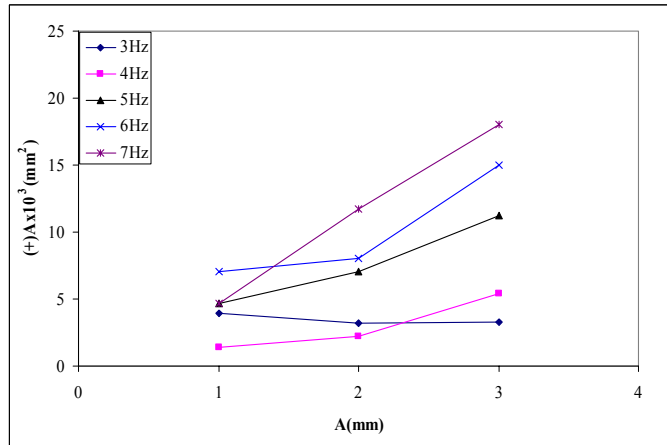
Şekil 7.129 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



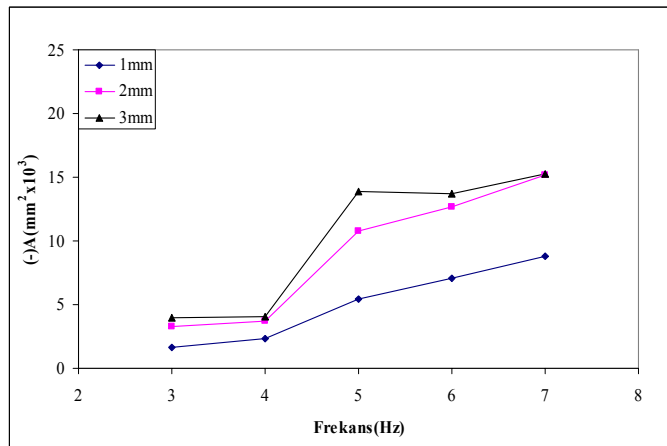
Şekil 7.130 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



Şekil 7.131 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı

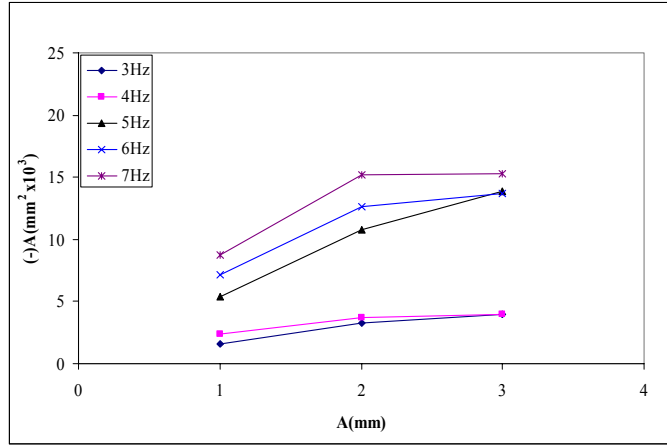


Şekil 7.132 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan kesitsel ortalama yığılma alanı

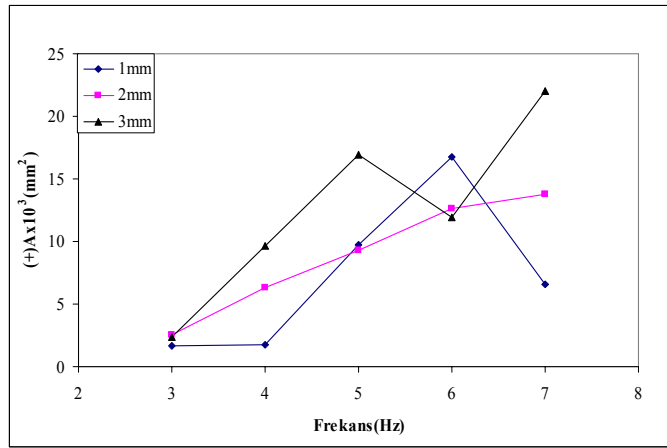


Şekil 7.133 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı

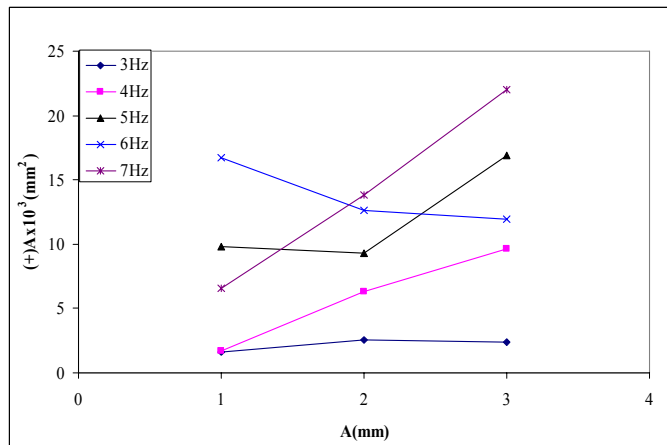




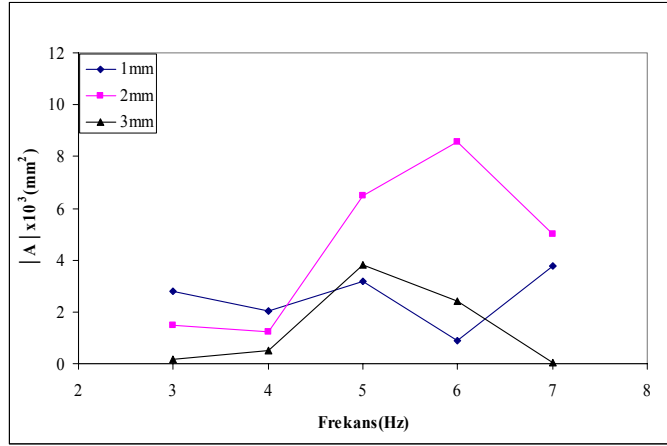
Şekil 7.134 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



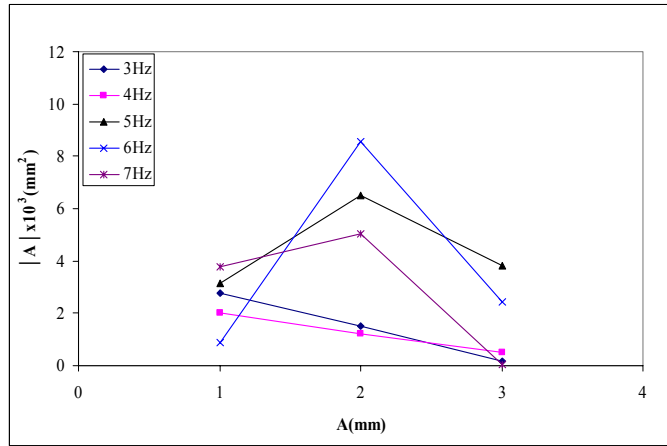
Şekil 7.135 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



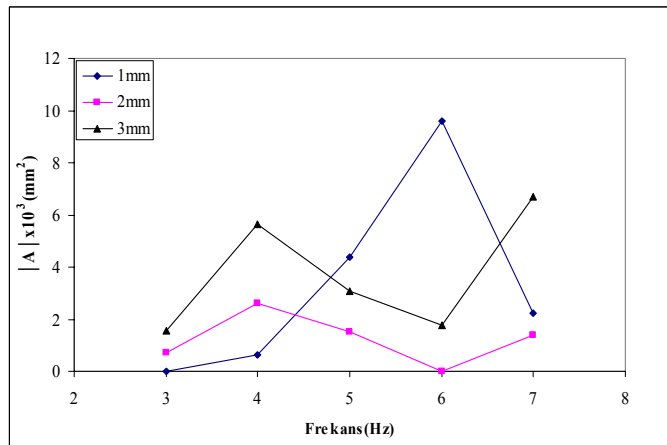
Şekil 7.136 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan kesitsel ortalama oturma alanı



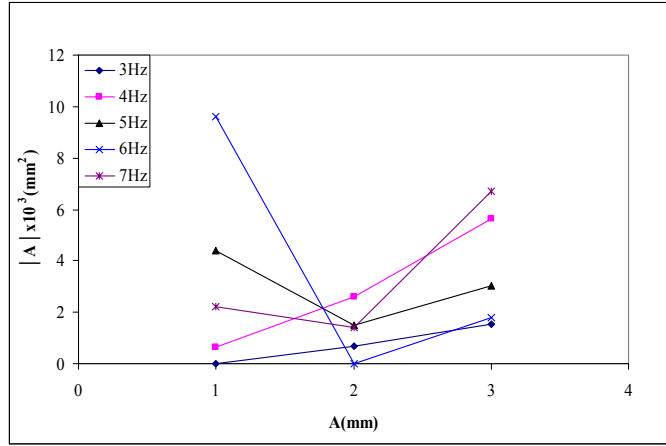
Şekil 7.137 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 7.138 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sağ şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 7.139 Frekansa bağlı olarak farklı genlikler için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan



Şekil 7.140 Genliğe bağlı olarak farklı frekanslar için sol şevde oluşan ortalama mutlak alan

Çizelge 7.5’de deneylerden elde edilen verilerin ivme, ivme büyütmesi değerlerine bağlı olarak boyutsuz formda aldıkları değerler özetlenmiştir. Deneylerde sarsma tankının ivmesinin 0.071g ile 0.748g arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 7.5 Topuklu taş dolgu dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri

Deney No	Hacimsel Birim Deformasyon $\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)$	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S)		Sismik ivme a(g)	Çekirdek İvme büyütmesi ( $A_m$ )	Koruma tabakası İvme büyütmesi ( $A_m$ )	Sol şev İvme büyütmesi ( $A_m$ )
			Sağ şev	Sol şev				
0103TTK	0.001	0.028	0.55	0.76	0.071	1.011	0.877	1.009
0104TTK	0.003	0.032	1.58	1.10	0.141	1.066	0.953	0.982
0105TTK	0.026	0.122	3.63	2.51	0.381	1.345	1.045	1.232
0106TTK	0.029	0.149	3.68	3.30	0.443	1.117	1.374	1.073
0107TTK	0.036	0.160	3.92	4.07	0.493	1.105	1.274	1.408
0203TTK	0.001	0.037	0.79	1.51	0.097	1.110	0.992	1.063
0204TTK	0.007	0.049	1.60	1.70	0.249	1.160	1.098	1.212
0205TTK	0.043	0.142	6.29	5.02	0.497	0.949	1.342	1.349
0206TTK	0.053	0.182	7.73	5.88	0.654	1.091	1.704	1.107
0207TTK	0.061	0.197	7.78	7.05	0.717	1.159	1.330	1.294
0303TTK	0.004	0.043	1.44	1.83	0.142	1.076	0.982	1.010
0304TTK	0.006	0.094	2.26	1.86	0.329	1.208	1.117	1.163
0305TTK	0.046	0.172	6.97	6.43	0.550	1.247	1.347	1.575
0306TTK	0.056	0.199	8.09	6.37	0.717	1.025	1.365	1.440
0307TTK	0.060	0.220	8.38	7.05	0.748	0.864	1.078	1.102

Şekil 7.141’de hacimsel birim deformasyonun sismik ivmeye karşılık değişimi çizilmiştir. Burada dikkate alınan ivme “g” değeri cinsinden tank yani zemin ivmesini (girdi ivmesi) karakterize etmektedir. Bu şekil incelendiğinde farklı frekans ve genlikleri içeren ivme ile

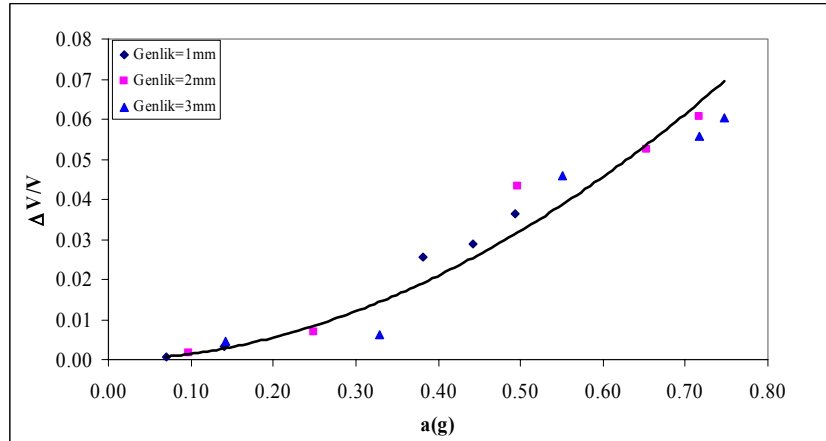
değişimin hacimsel birim deformasyonla oldukça iyi bir korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Burada korelasyon katsayısı  $R=0.98$  olarak bulunmuştur. Değişim aşağıdaki fonksiyonla verilebilmektedir;

$$\frac{\Delta V}{V} = 0.12a_g^{1.92} \quad (7.6)$$

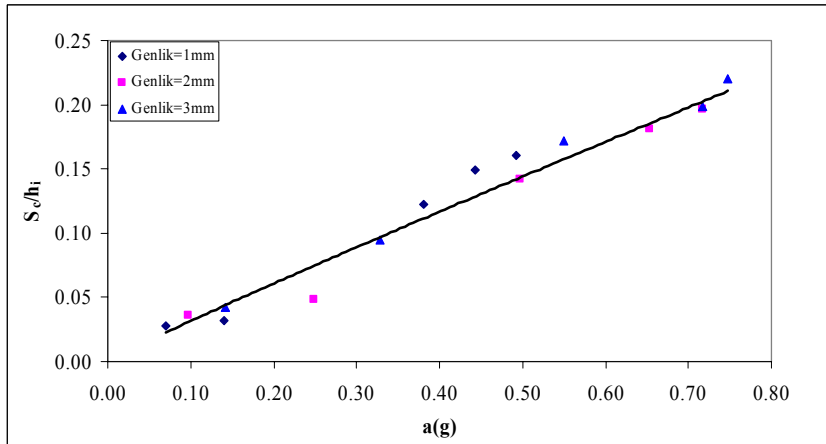
Bu şekilden artan yer ivmesi ile hacimsel birim deformasyonun arttığı görülmektedir.

Kesitteki birim oturma miktarının  $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$  zemin ivmesine göre değişimi Şekil 7.142'de verilmiştir. Değişimin iyi korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Korelasyon sayısı  $R=0.97$  olarak hesaplanmıştır. Değişimi aşağıdaki ifade ile temsil edilebilmektedir;

$$\frac{S_c}{h_i} = 0.28a_g^{0.94} \quad (7.7)$$



Şekil 7.141 Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.



Şekil 7.142 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi

Diğer boyutsuz parametre ise şevlerdeki hasar seviyeleridir (S), bu parametrenin zemin ivmesi ile değişimi her iki (sağ ve sol) şev için ayrı ayrı ifade edilmiştir. Sağ ve sol şevler için değişimlere ait korelasyon sayıları sırasıyla  $R=0.974$  ve  $R=0.938$  olarak hesaplanmıştır. Buradan değişimin uyumunun oldukça iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca her şev için değişimleri temsil eden bağıntılar aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\text{Sağ şev için; } S = 11.03a_g^{1.13} \quad (7.8)$$

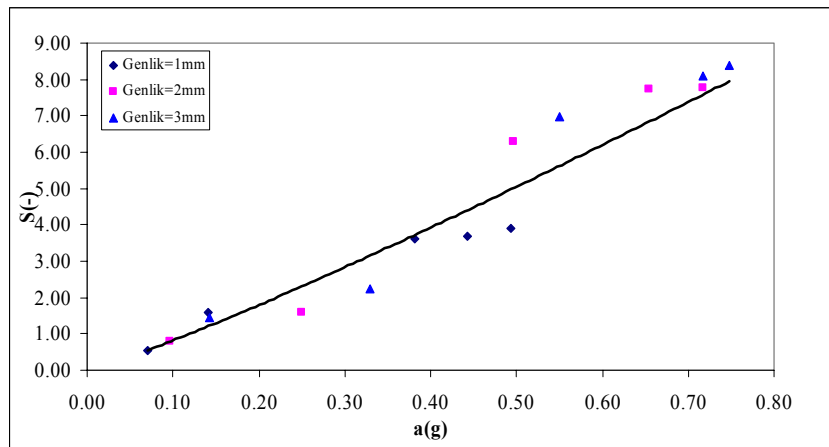
$$\text{Sol şev için; } S = 8.05a_g^{0.89} \quad (7.9)$$

Şekil 7.143 ve 7.144'den her iki şevdeki hasar seviyesinin hemen aynı olduğu ve simetrik davrandığı görülmektedir. Ancak topuklu dalgakıran kesitinde şevlerde meydana gelen hasar miktarının topuksuz hallere göre çok küçüldüğü belirlenmiştir ve tam hasara ulaşılmamaktadır. Çünkü  $S > 8$  hasar seviyesine ulaşılmamaktadır. Her iki şevin birlikte hasar seviyesi değişimi ise Şekil 7.145'de gösterilmiştir.

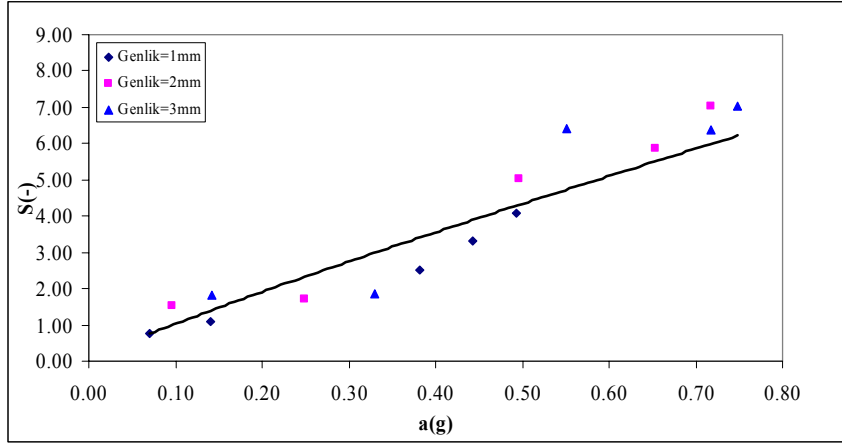
Hasar seviyesi değişimi her iki şev birlikte değerlendirilerek (Şekil 7.145) topuklu taş dolgu dalgakıran için aşağıdaki ifade ile tanımlandığı belirlenmiştir.

$$S = 9.43 a_g^{1.01} \quad (7.10)$$

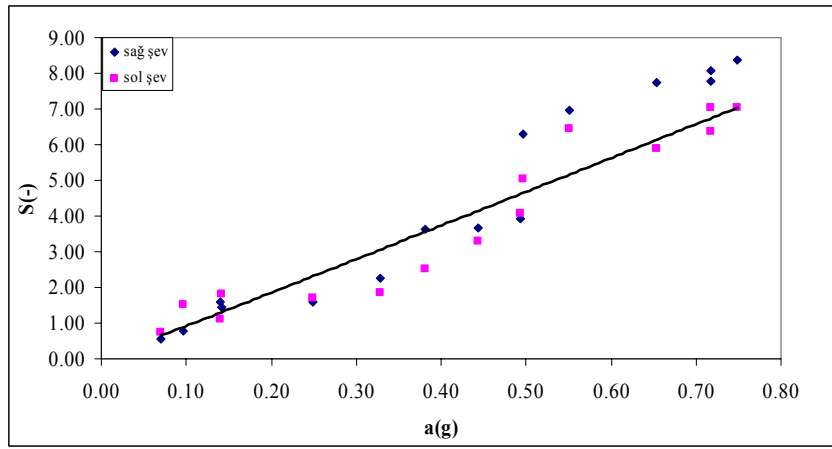
Ayrıca sarsma tankının kesit altında sahip olduğu sismik ivmenin kesitin kretinde ne kadar büyüdüğünü belirlemek amacıyla ivme zaman grafikleri filitrelenmiş (Şekil 7.146) ve gerek zemin gerekse kret ivmelerinin maksimum değerleri kullanılarak max. ivme değerlerine göre büyüme ( $A_m$ ) miktarları hesaplanmıştır.



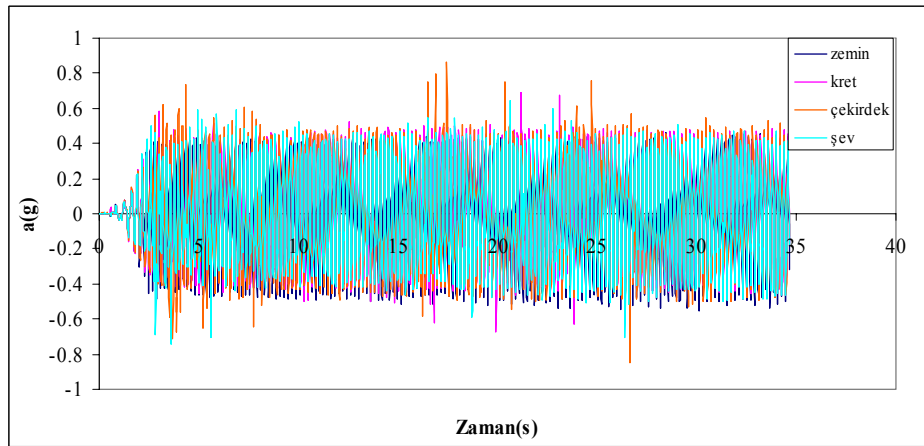
Şekil 7.143 Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi



Şekil 7.144 Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi

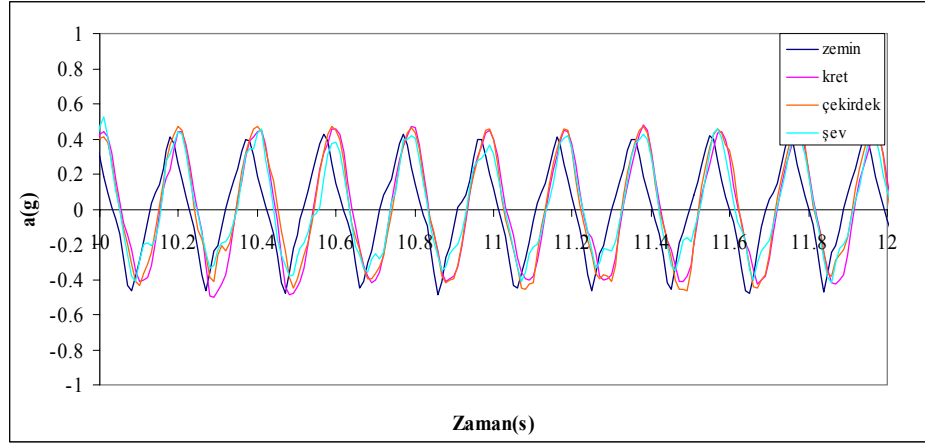


Şekil 7.145 Topuklu tabakalı taş dolgu dalgakıranda hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi



(a) filitrenmiş 3mm 5 Hz ivme için ivme-zaman grafiği

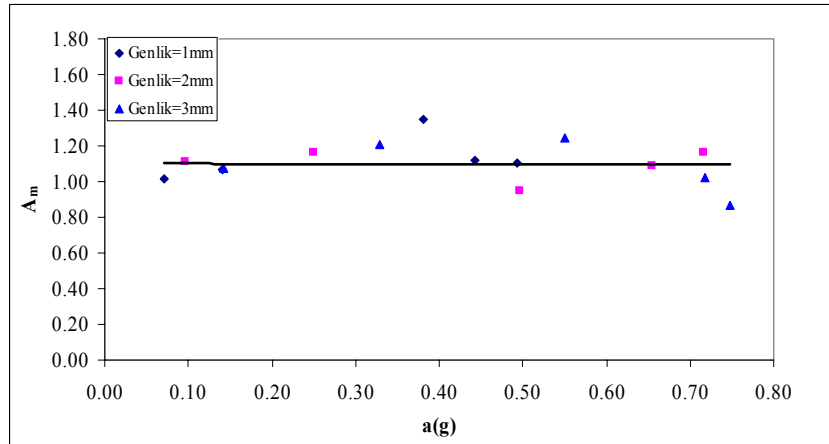
Şekil 7.146



(b) filitrelenmiş 3mm 5 Hz 10-12. s'ler için ivme-zaman grafiği

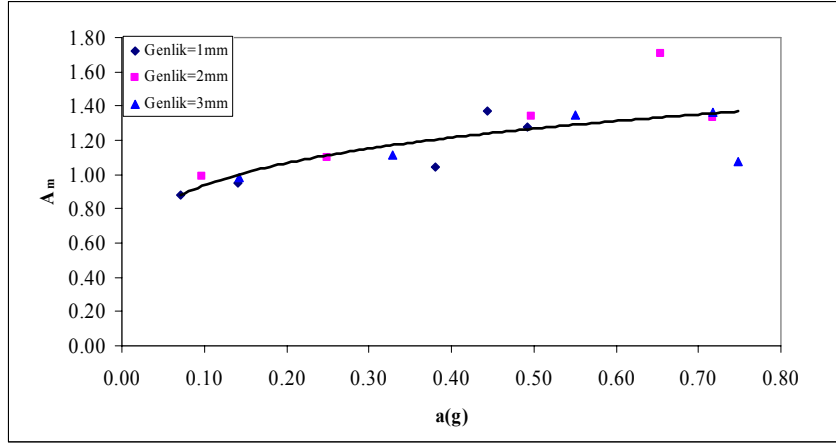
Şekil 7.146 Devam

İvme büyütmesinin zemin ivmesi ile değişimleri kret, şev ve çekirdek için ayrı ayrı Şekil 7.147'de çizilmiştir. Ayrıca Şekil 7.148'de her üç değişim birlikte gösterilmiştir, ivme büyümesinin 0.1-0.3g aralığında şev üzerindeki koruma tabakasında sonra krette ve çekirdekte meydana geldiği, 0.3-0.5g aralığında şev üzerindeki koruma tabakası ile krette hemen hemen aynı, 0.5g'den büyük değerlerde ise kretteki ivme büyümesinin en büyük olduğu belirlenmiştir.

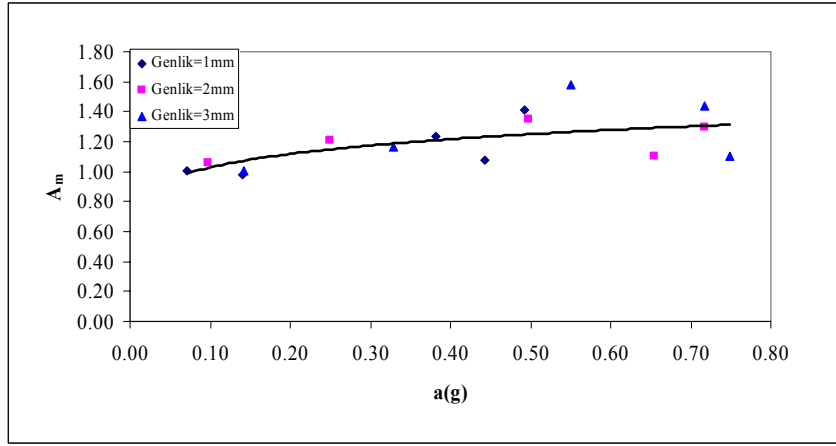


(a) Çekirdek

Şekil 7.147 İvme büyümesinin değişimi

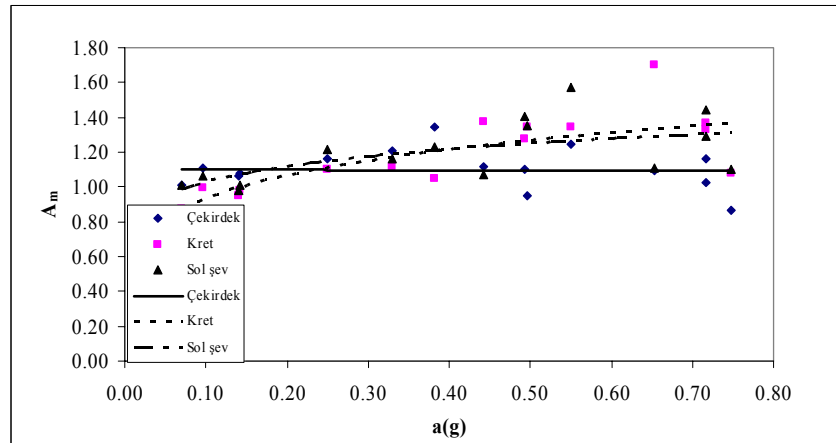


(b) Kret



(c) Sol şev koruma tabakası

Şekil 7.147 Devam

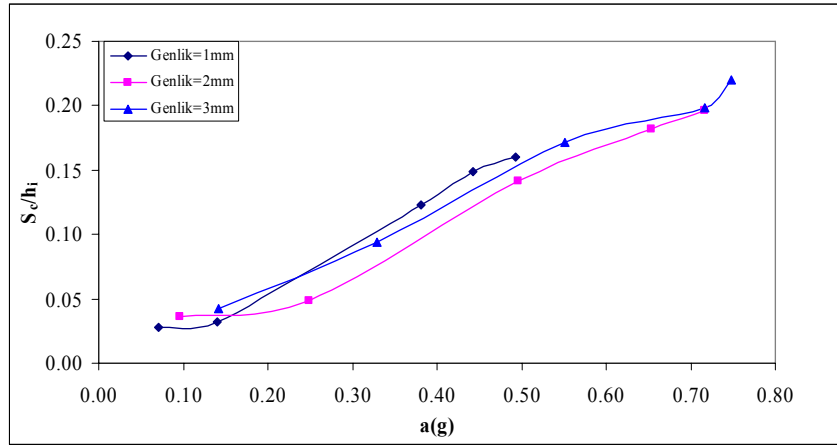


Şekil 7.148 İvme büyüme değerlerinin değişimi

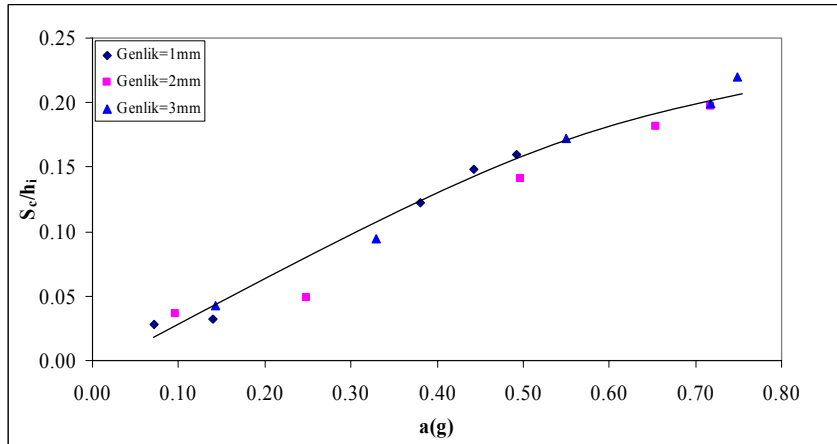
Şekil 7.149'da birim oturmanın zemin ivmesi değişimi incelenmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi kesitteki oturma zemin ivmesiyle topuksuz hale göre daha doğrusal bir değişim göstermektedir ve nihai oturmaya daha geç ulaşılmaktadır. Dalgakıran modeline topuk inşa edilmesi yapının sismik etkiye karşı olan direncini önemli ölçüde arttırmıştır.



Topuksuz modelde olduğu gibi birim oturmanın değişimi 0.5-0.6g değerinden sonra azalmaktadır ancak nihai oturmaya ulaştığı tam olarak görülememektedir. Mevcut koşullar içinde malzemenin sıkışmadan ve kaymadan kaynaklı deformasyonları önemli ölçüde azalmakta ancak nihai değerine büyük ivme değerlerinde ulaşacağı anlaşılmaktadır. Şekil 7.150'de tabakalı modelin topuklu ve topuksuz hallerin birlikte değişimleri gösterilmiştir. Şekil'den topuklu kesitteki hasarın topuksuz hale göre önemli miktarda azaldığı görülmektedir.



(a)

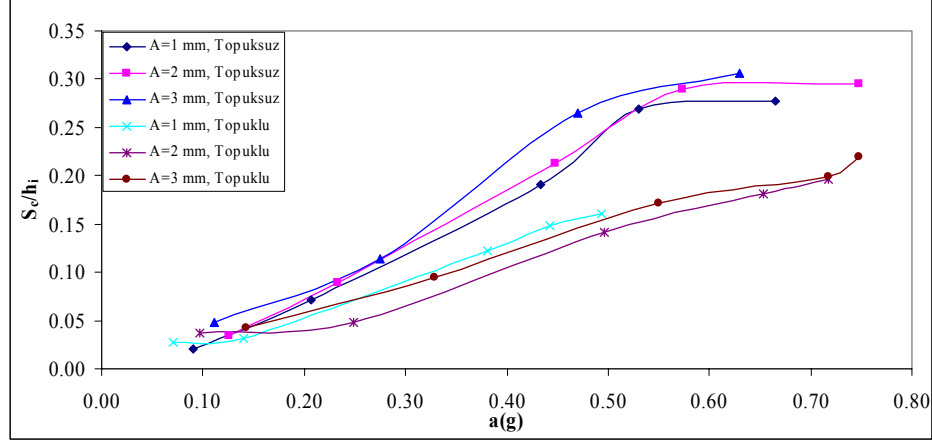


(b)

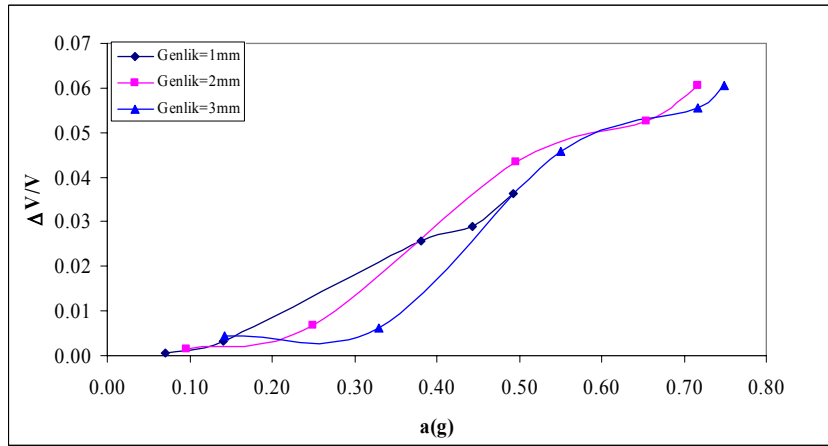
Şekil 7.149 Topuklu tabakalı kesit için birim oturma

Şekil 7.151'de ise hacimsel birim deformasyonun değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden hasar yine 0.2-0.3g ivme aralığında başlamaktadır. Topuksuz modelde olduğu gibi birim oturmanın değişimi 0.5-0.6g değerinden sonra azalmaktadır ve Şekil 7.151b'de görüldüğü gibi nihai hacimsel değişime 0.7g'den sonra ulaştığı görülmektedir. Şekil 7.151a incelendiğinde ise her genlik içindeki değişimlerde artışın devam edeceği görülmektedir. Bu frekansın deformasyon üzerindeki etkisini göstermektedir. Ancak 2 mm ve 3 mm genlikteki ve 7 Hz frekansa sahip şartlar altında oluşan hacimsel deformasyonun eş miktarda olması, hacimsel değişiminin nihai değerine ulaşıldığını göstermektedir.

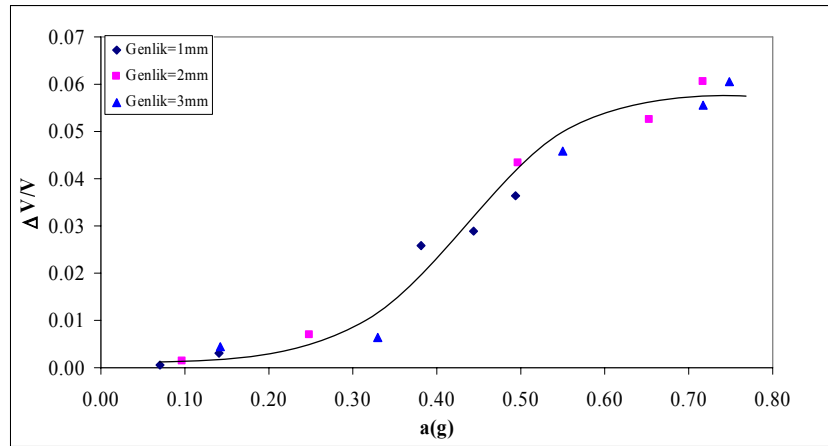
Şekil 7.152’de topuklu, topuksuz ve üniform anroşman kesitler birlikte değerlendirilmiştir. Bu şekilden en fazla şev hasarının topuksuz tabakalı kesitte meydana geldiği daha sonra üniform anroşmanda olduğu en az şev hasarının topuklu tabakalı kesitte olduğu görülmektedir.



Şekil 7.150 Topuklu ve topuksuz tabakalı kesitler için birim oturmalar

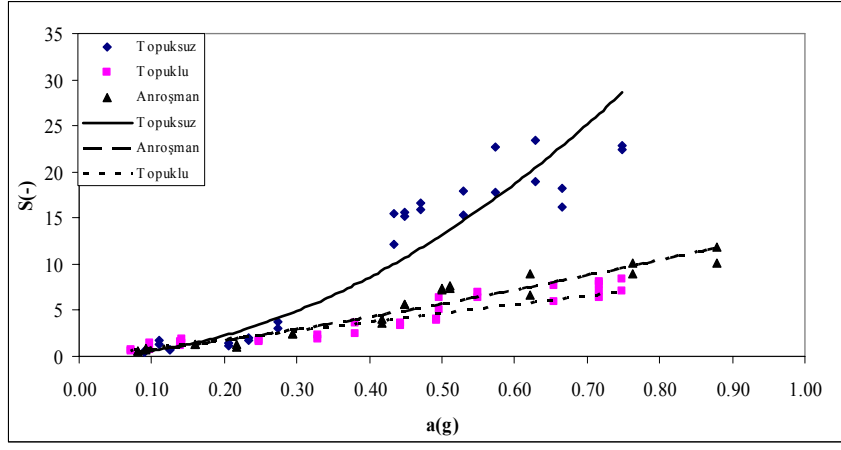


(a)



(b)

Şekil 7.151 Topuklu tabakalı kesit için hacimsel birim deformasyon



Şekil 7.152 Topuklu, topuksuz ve üniform anroşman kesitlerde şev hasarları

## 8. YAPAY BLOKLU DALGAKIRANIN SİSMİK DAVRANIŞI

### 8.1 Giriş

Yapay bloklu dalgakıranların sismik davranışının incelenmesi amacıyla dört farklı yapay blok tipi seçilmiştir. Seçilen yapay blok tipleri küp, tetrapod, accropode ve core-loc'tur.

Küp beton bloklu dolgu dalgakıranların sismik davranışı; Topuksuz ve topuklu olarak dikkate alınarak incelenmiştir.

Tetrapod bloklu dalgakıranların sismik davranışı ise uygulamada yer alan iki farklı yerleştirme yöntemine göre incelenmiştir. Bu yerleştirme yöntemleri tetrapod bloklu dalgakıranların sismik davranışı Bölüm 8.3'te açıklanmıştır.

Accropode ve core-loc bloklu dalgakıranların sismik davranışı ise tek tabaka koruma tabakası oluşturularak incelenmiştir.

Yapay blokların sismik etki altındaki davranışı karşılaştırılmıştır.

### 8.2 Topuksuz Küp Dalgakıranın Sismik Davranışı

Küp bloklu dalgakıran kesitleri Bölüm 5'de sismik davranışı incelenen çekirdek malzemeden oluşturulmuştur. Çekirdek malzemesinin üzerine iki sıra küp koruma malzemesi teşkil edilmiştir (Şekil 8.1).



Şekil 8.1 Küp bloklu dalgakıran modelinin şev görünümü

Tabakalı dalgakıran model kesiti nominal çapı,  $D_n$ , 5.00 cm olan küplerin sabit bir yükseklikten bırakılarak oluşturulmuş iki tabaka koruma tabakası ile her deney için bilgisayar kontrollü otomatik serme mekanizması tarafından oluşturulan  $D_{n50}$ 'si 22 mm olan çekirdekten

meydana gelmektedir (Şekil 8.2). Kesit rijit taban üzerindedir. Kesit oluşturulduktan sonra,  $\pm 1$  mm hassasiyetle ölçüm yapan Bed Profile ile 10 cm aralıklarla 5 farklı kesitte profil çıkarılmıştır. Deneyler  $\frac{1}{2}$  eğimli ve 60 cm kret yüksekliğine sahip kesit için 40 cm derinlikteki su içinde farklı genlik ile frekanslar için yapılmıştır. Çizelge 8.1’de deneylerin gerçekleştirildiği genlikler ve frekanslar gösterilmiştir.

Çizelge 8.1 Genlik ve frekans değerleri

Genlik (mm)	Frekans (Hz)			
1	3	4	5	6
2	3	4	5	6
3	3	4	5	6

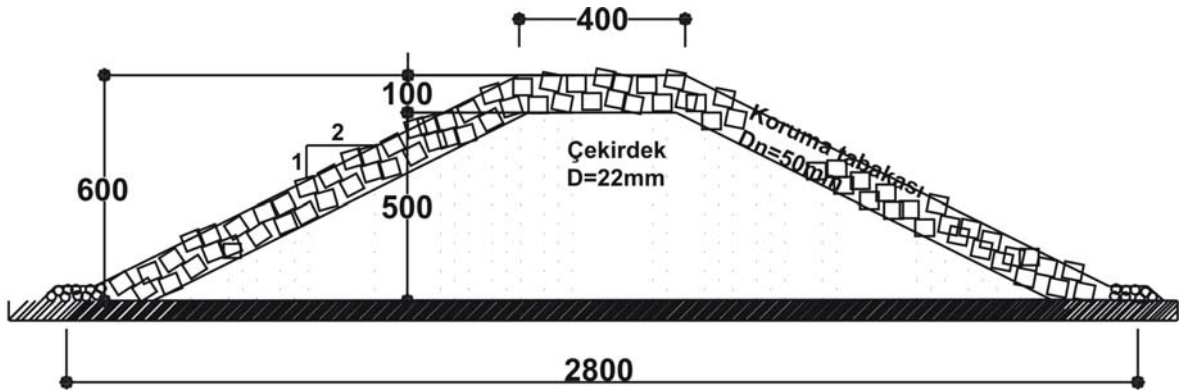
Çizelge 8.1’de görüldüğü gibi herbir genlik için 3, 4, 5, 6 Hz’lik frekanslar uygulanmış ve üç genlik için toplamda 12 farklı koşul incelenmiştir. İvme ölçerlerin konumu ve diğer koşullar taş dolgu dalgakıran model deneylerin de olduğu gibidir. Deney koşulları Çizelge 8.2’de verildiği gibidir. Boyutsuzlaştırılan sismik parametreler Çizelge 8.3’de verilmiştir. Deneylerde model üzerine uygulanan ivme aralığı 0.125-0.683g’dir. Topuksuz küp dalgakıran modeli için elde edilen profiller ve ivme kayıtları Ek6’da verilmiştir.

Çizelge 8.2 Topuksuz küp dolgu dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları.

D.N	Maksimum Düşey Deplasman (mm)	Toplam Hacim Değişimi (mm <sup>3</sup> )	Toplam Hacim Değişimi (mm <sup>3</sup> )		sol şev (mm <sup>3</sup> )		sağ şev (mm <sup>2</sup> )		sol şev (mm <sup>2</sup> )		sağ şev (mm <sup>2</sup> )	sol şev (mm <sup>2</sup> )	sağ şev	sol şev
	(S <sub>c</sub> )	(ΔV) × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	Hasar (S)	Hasar (S)
0103KÜP	14.26	3.43	29.45	52.65	22.61	23.07	3.04	5.43	2.33	2.38	2.39	0.05	1.21	0.93
0104KÜP	68.22	19.87	82.16	248.14	142.61	108.45	8.47	25.58	14.70	11.18	17.11	3.52	3.39	5.88
0105KÜP	134.18	266.11	215.43	346.74	253.30	290.04	22.21	35.75	26.11	29.90	13.54	3.79	8.88	10.45
0106KÜP	161.36	349.24	358.22	618.20	362.63	352.52	36.93	63.73	37.38	36.34	26.80	1.04	14.77	14.95
0203KÜP	14.42	3.60	38.49	34.63	19.49	38.82	3.97	3.57	2.01	4.00	0.40	1.99	1.84	0.93
0204KÜP	68.32	8.05	95.91	141.84	145.76	205.69	9.89	14.62	15.03	21.20	4.73	6.18	3.96	6.01
0205KÜP	145.8	403.14	224.45	313.55	313.15	312.13	23.14	32.32	32.28	32.18	11.67	0.10	9.26	12.91
0206KÜP	176.4	730.04	360.27	521.92	405.47	240.98	37.14	53.81	41.80	24.84	16.67	16.96	14.86	16.83
0303KÜP	40.5	10.23	110.02	89.61	44.20	107.14	11.34	9.24	4.56	11.05	2.10	6.49	4.54	1.82
0304KÜP	106.46	113.78	174.14	267.91	199.45	303.25	17.95	27.62	20.56	31.26	9.67	10.70	7.18	8.22
0305KÜP	181.04	468.88	445.84	742.44	478.28	385.46	45.96	76.54	49.31	39.74	30.58	9.57	18.39	19.72
0306KÜP	186.96	779.63	487.77	584.60	541.97	378.50	50.29	60.27	55.87	39.02	9.98	16.85	20.11	22.35

Çizelge 8.3 Topuksuz küp bloklı dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağılı değişimleri

Deney No	Hacimsel Birim Deformasyon $\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)$	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S)		Sismik ivme a(g)	Çekirdek İvme büyümesi ( $A_m$ )	Koruma tabakası İvme büyümesi ( $A_m$ )	Sol şev İvme büyümesi ( $A_m$ )
			Sağ şev	Sol şev				
0103KÜP	0.0004	0.021	1.21	0.93	0.125	1.247	1.435	1.282
0104KÜP	0.0023	0.104	3.39	5.88	0.173	1.227	1.171	1.327
0105KÜP	0.0302	0.207	8.88	10.45	0.309	1.692	1.748	1.435
0106KÜP	0.0396	0.262	14.77	14.95	0.461	1.800	1.443	1.723
0203KÜP	0.0004	0.022	1.84	0.93	0.149	1.228	1.177	1.276
0204KÜP	0.0009	0.109	3.96	6.01	0.281	1.297	1.371	1.270
0205KÜP	0.0457	0.235	9.26	12.91	0.486	1.655	1.543	1.135
0206KÜP	0.0828	0.277	14.86	16.83	0.666	1.544	1.514	1.364
0303KÜP	0.0012	0.066	4.54	1.82	0.179	1.069	1.050	1.101
0304KÜP	0.0129	0.175	7.18	8.22	0.345	1.362	1.351	1.258
0305KÜP	0.0532	0.280	18.39	19.72	0.526	1.000	1.231	1.088
0306KÜP	0.0884	0.290	20.11	22.35	0.683	1.395	0.927	1.182

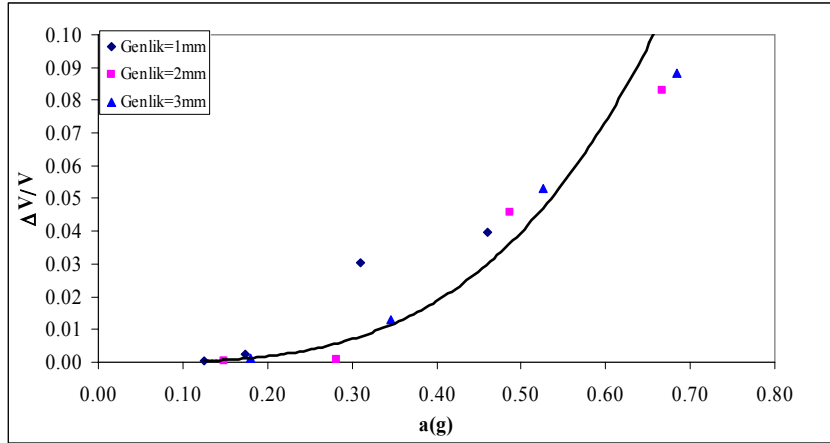


Şekil 8.2 Küp dolgu dalgakıran kesiti

Şekil 8.3'de hacimsel birim deformasyonun zemin ivmesine (g) karşılık değişimi çizilmiştir. Bu şekil incelendiğinde farklı frekans ve genlikleri içeren ivme ile değişimin hacimsel birim deformasyonla oldukça iyi bir korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Burada korelasyon katsayısı R=0.94 olarak bulunmuştur. Değişim aşağıdaki fonksiyonla verilebilmektedir;

$$\frac{\Delta V}{V} = 0.41a_g^{3.38} \quad (8.1)$$

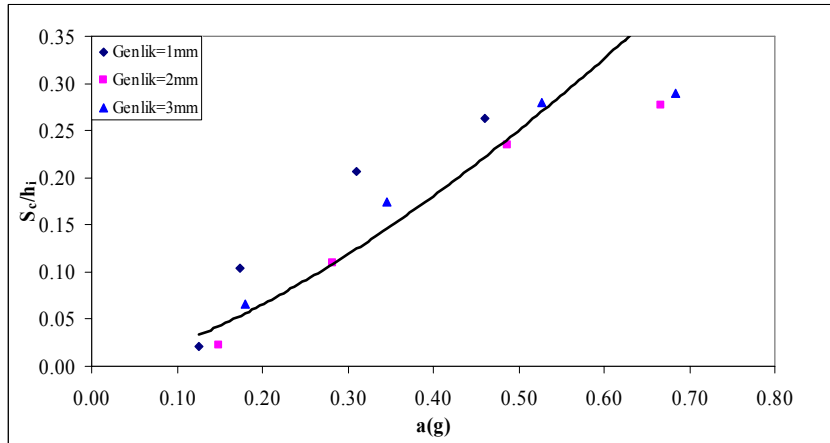
Bu şekilden artan yer ivmesi ile hacimsel birim deformasyonu arttığı görülmektedir.



Şekil 8.3 Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.

Benzeri çalışma kesitteki birim oturma miktarı  $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$  için yapılmıştır. Elde edilen boyutsuz büyüklük birim oturma miktarını temsil etmektedir. Bu miktarın zemin ivmesine göre değişimi Şekil 8.4'de verilmiştir. Değişimin iyi korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Korelasyon sayısı  $R=0.91$  olarak hesaplanmıştır. Değişim aşağıdaki ifade ile temsil edilebilmektedir;

$$\frac{S_c}{h_i} = 0.69a_g^{1.46} \quad (8.2)$$



Şekil 8.4 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi

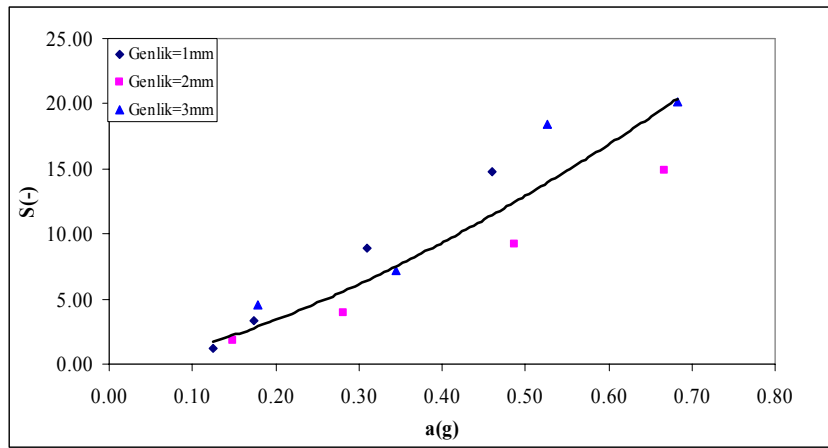


Diğer boyutsuz parametre ise şevlerdeki hasar seviyeleridir (S), bu parametrenin zemin ivmesi ile değişimi her iki (sağ ve sol) şev için ayrı ayrı ifade edilmiştir. Sol ve sağ şevler için değişimlere ait korelasyon sayıları sırasıyla  $R=0.93$  ve  $R=0.95$  olarak hesaplanmıştır. Buradan değişimin uyumunun oldukça iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca her şev için değişimleri temsil eden bağıntılar aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

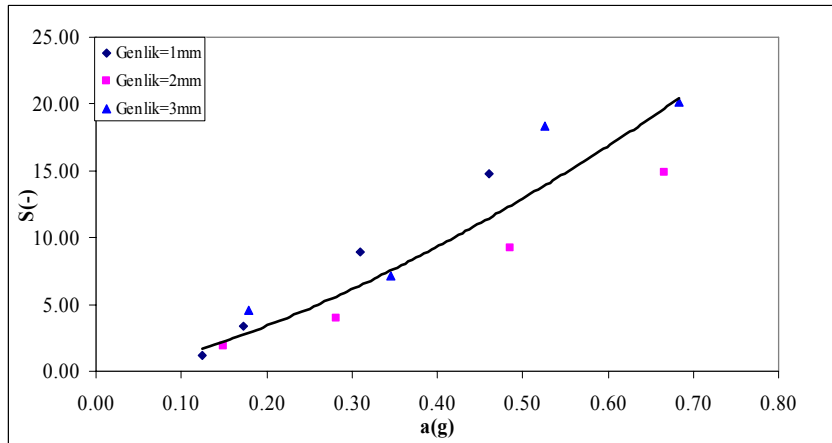
$$\text{Sol şev için; } S = 52.06a_g^{1.78} \quad (8.3)$$

$$\text{Sağ şev için; } S = 35.52a_g^{1.46} \quad (8.4)$$

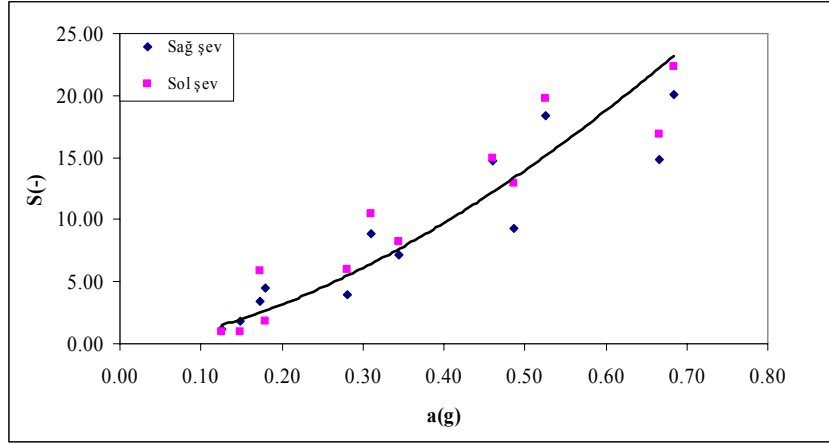
Şekil 8.5 ve 8.6'dan her iki şevdeki hasar seviyesinin birbirlerine yakın olduğu ve simetrik davrandığı görülmektedir. Yine hasar miktarında zemin ivmesi ile arttığı görülmektedir. Yine şekillerden rijit temel üzerinde yer alması durumunda 0.4-0.5g değerinden sonra tam hasara ( $S \geq 8$ ) ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Her iki şevin birlikte hasar seviyesi değişimi ise Şekil 8.7'de gösterilmiştir.



Şekil 8.5 Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi



Şekil 8.6 Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi

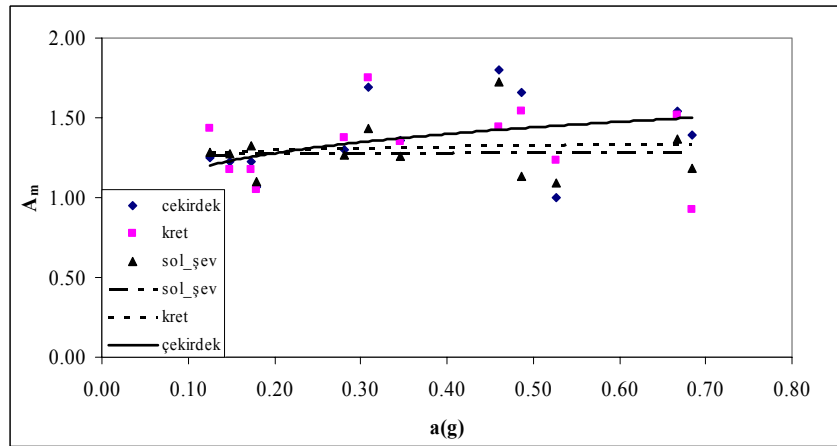


Şekil 8.7 Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi (sağ ve sol şev birlikte)

Hasar seviyesi değişimi topuksuz küp dalgakıran için aşağıdaki ifade ile tanımlanmıştır (R=0.93).

$$S = 43.00a_g^{1.62} \quad (8.5)$$

Küp dalgakıran modelinde krette, şevde ve çekirdekte meydana gelen ivme değişimleri belirlenerek Şekil 8.8’de her üç değişim birlikte gösterilmiştir, böylece ivme büyümesinin en fazla çekirdekte meydana geldiği anlaşılmaktadır.

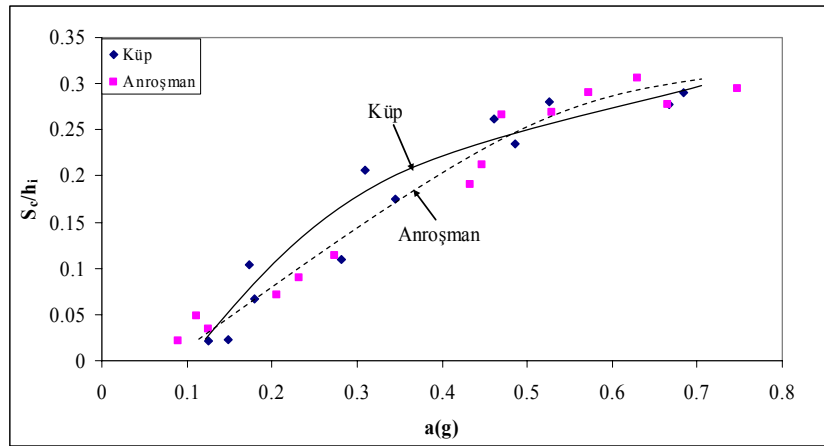


Şekil 8.8 İvme büyütme değerlerinin değişimi

Şekil 8.9’de küp ve geleneksel iki tabakalı dalgakıran modelleri için birim oturmanın zemin ivmesi değişimi birlikte gösterilmiştir. Şekil 8.10a’da birim oturma ile zemin ivmesi arasındaki değişim gösterilirken, Şekil 8.10b’de birim oturmanın zemin ivmesi ile arasındaki korelasyon gösterilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi modellerdeki oturma 0.2-0.3g civarında belirgin olmakta ve 0.5-0.6g değerlerinde nihai değerine ulaşarak tam hasar durumunu oluşturmaktadır. Düşük ivme değerlerinde küp bloklu dalgakıranda oluşan birim

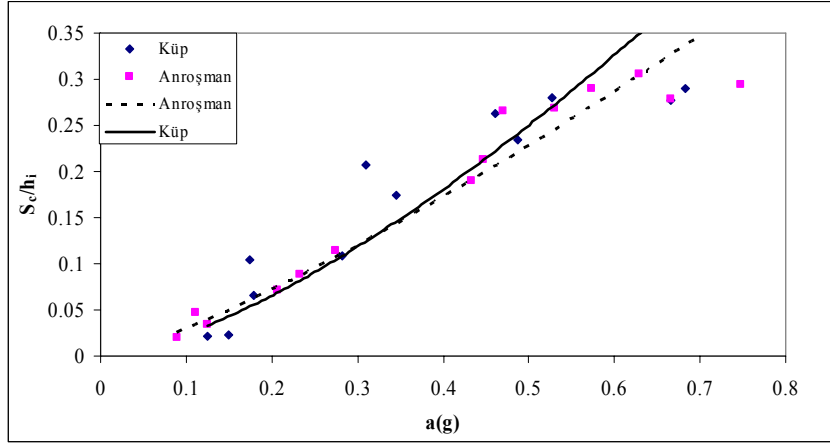
oturma değerleri daha büyük olmaktadır. Bu durum kp blokların anroşman malzemesine göre geometrik Şekil farklılığından kaynaklanmaktadır. Kp blokların birbirleri arasındaki sürtünme kuvvetinin anroşman elemanlar arasındakiine oranla daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca kp blokların ağırlık merkezinin anroşman malzemesinin ağırlık merkezine göre daha yüksekte olması yatay kuvvet etkisi altında kp blokların hareketini (zellikle dönme ve yuvarlanma) arttırmaktadır. Yüksek ivme değerlerinde artık iki modelde oluşan birim oturma miktarları hemen hemen aynı olmaktadır. Bunun en önemli nedeni her iki koruma tabakası için aynı özelliklerdeki (sıkılık, porozite gibi) ekirdek malzemesinin kullanılmasıdır.

Şekil 8.9'da küp ve geleneksel iki tabakalı dalgakıran modelleri için hacimsel birim deformasyonun değişimi gösterilmiştir. Şekil 8.9a'da hacimsel birim deformasyon ile zemin ivmesi arasındaki değişim gösterilirken, Şekil 8.9b'de hacimsel birim deformasyonun zemin ivmesi ile arasındaki korelasyon gösterilmektedir. Bu Şekilden hasar başlangıcı olan 0.3g ve tam hasara ulaşılan 0.5-0.6g değerleri daha belirgin görülmektedir. Bu değerler taş dolgu dalgakıranlar ile benzerlik göstermektedir. Hacimsel birim deformasyonda da elemanların Şev zerindeki hareketleri (topuk bölgesinde yığılmaları) nemli olmaktadır.



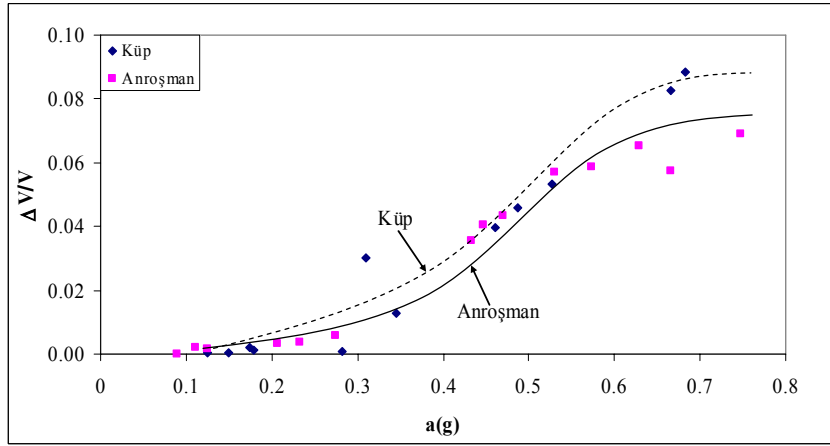
a)

Şekil 8.9 Topuksuz kp dalgakıran için birim oturma

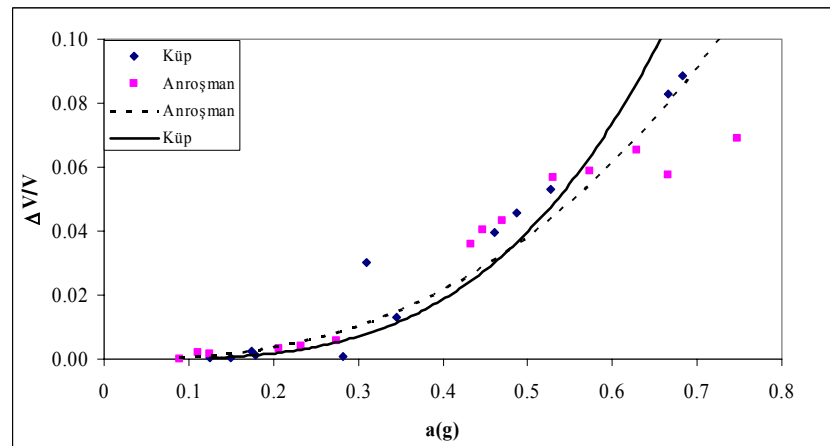


b)

Şekil 8.9 Devam



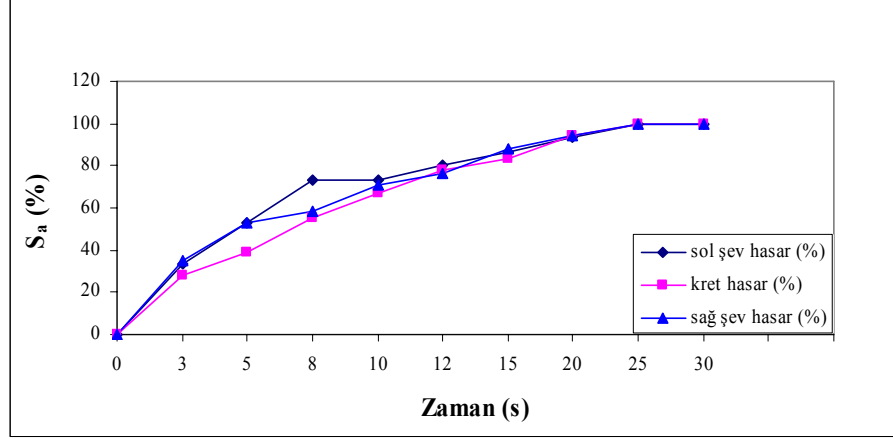
a)



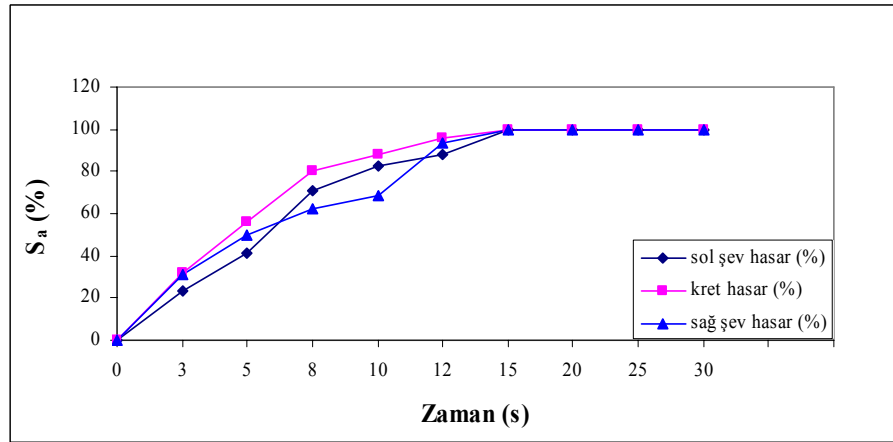
b)

Şekil 8.10 Topuksuz küp dalgakıran için hacimsel birim deformasyon

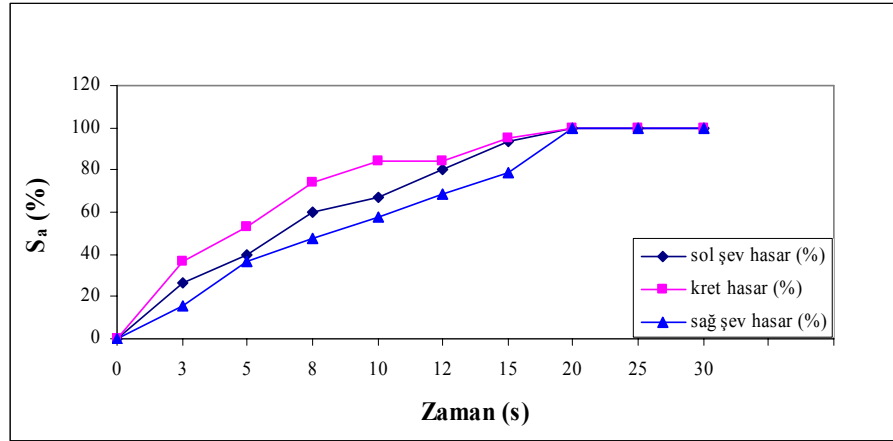
Küp bloklı dalgakıranların sismik davranışının zamanla değişimi taş dolgu dalgakıran modellerinde olduğu gibi goruntu işleme yonlemi ile incelenmiştir. Şekil 8.11-16’da 1 mm 5-6 Hz, 2 mm 5-6 Hz, 3 mm 5-6 Hz için hasarın kret, sağ ve sol Şevdeki değişimleri gosterilmiştir. Kup dalgakıran modellerinde de tum deformasyon 30s’de tamamlamaktadır. Bu nedenle deney sonuçları 30s’deki deformasyonlar dikkate alınarak değerlendirilmiştir.



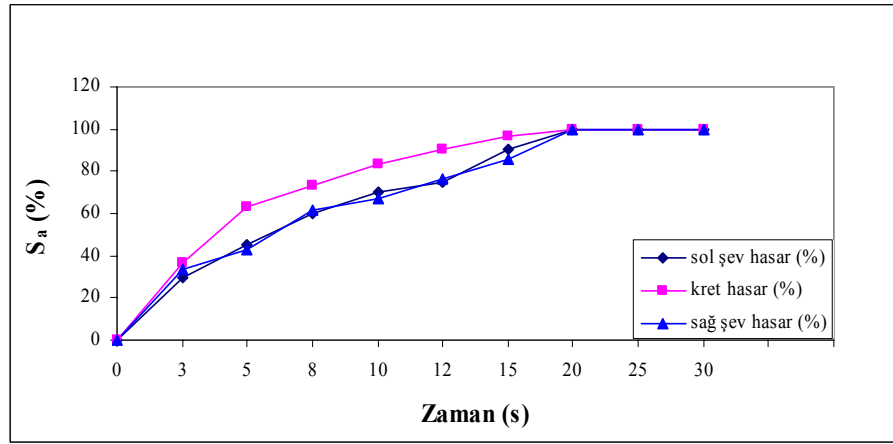
Şekil 8.11 Topuksuz kup kesit için 1 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



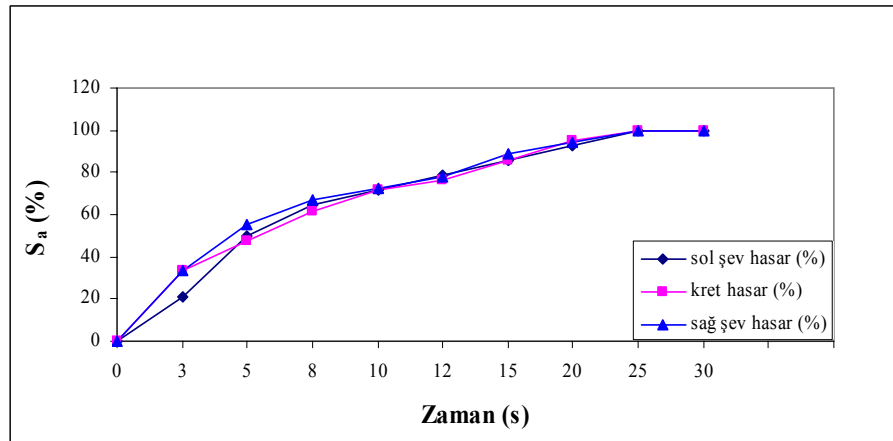
Şekil 8.12 Topuksuz kup kesit için 1 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



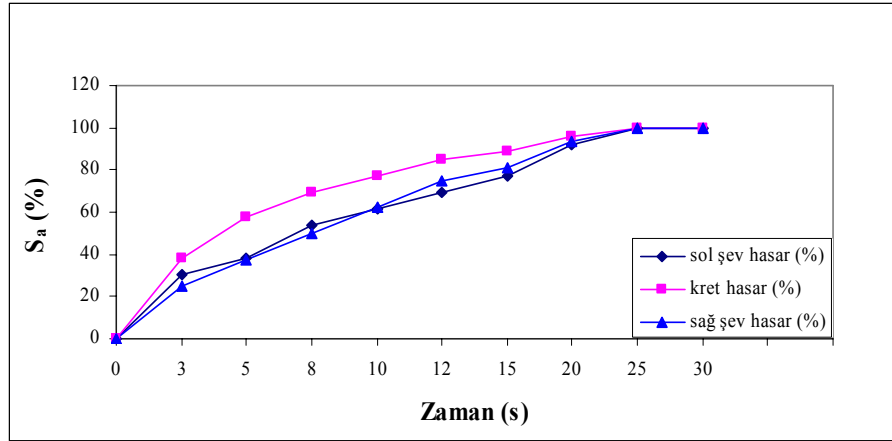
Şekil 8.13 Topuksuz küp kesit için 2 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



Şekil 8.14 Topuksuz küp kesit için 2 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



Şekil 8.15 Topuksuz küp kesit için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



Şekil 8.16 Topuksuz küp kesit için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

### 8.3 Topuklu Küp Dolgu Dalgakıranın Sismik Davranışı

Küp dalgakıranların topuklu olarak tasarlanması durumunda sismik davranışını anlamak amacıyla deneyler taş dolgu dalgakıran modellerinde olduğu gibi topuklu model ile gerçekleştirilmiştir. Bu hale ait deney verileri Çizelge 8.4'de özetlenmiştir. Çizelge 8.5'de topuklu küp dalgakıranların boyutsuz deformasyon parametreleri verilmiştir. Deneylerde sarsma tankının ivmesinin 0.060g ile 0.665g arasında değiştiği görülmektedir. Topuklu küp dalgakıran modeli için elde edilen profiller ve ivme kayıtları Ek7'de verilmiştir.

Çizelge 8.4 Topuklu küp dalgakıran geometresine ait ölçüm verileri.

D.N	Maksimum Düşey Deplasman mm	Toplam Hacim ( $\Delta V$ ) mm <sup>3</sup>	sağ şev (mm <sup>3</sup> )		sol şev (mm <sup>3</sup> )		sağ şev (mm <sup>2</sup> )		sol şev (mm <sup>2</sup> )		sağ şev (mm <sup>2</sup> )	sol şev (mm <sup>2</sup> )	sağ şev	sol şev
	(S <sub>c</sub> )	( $\Delta V$ ) × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	Hasar (S)	Hasar (S)
0103KÜPT	10.18	17.95	14.39	21.15	18.95	22.91	1.48	2.18	1.95	2.36	0.70	0.41	0.59	0.78
0104KÜPT	21.68	72.57	47.35	1.56	22.99	28.44	4.88	0.16	2.37	2.93	4.72	0.56	1.95	0.95
0105KÜPT	68.92	241.40	51.69	60.34	95.07	59.88	5.33	6.22	9.80	6.17	0.89	3.63	2.13	3.92
0106KÜPT	72.52	369.99	117.77	21.64	140.28	85.58	12.14	2.23	14.46	8.82	9.91	5.64	4.86	5.78
0203KÜPT	12.46	20.33	16.22	23.00	17.93	13.71	1.67	2.37	1.85	1.41	0.70	0.44	0.78	0.86
0204KÜPT	25.14	86.57	48.23	20.18	48.81	48.88	4.97	2.08	5.03	5.04	2.89	0.01	1.99	2.01
0205KÜPT	85.52	386.35	123.40	29.50	87.17	83.10	12.72	3.04	8.99	8.57	9.68	0.42	5.09	3.59
0206KÜPT	120.84	535.70	140.12	135.39	209.82	152.52	14.45	13.96	21.63	15.72	0.49	5.91	5.78	8.65
0303KÜPT	24.06	25.91	46.44	68.20	55.49	39.65	4.79	7.03	5.72	4.09	2.24	1.63	1.85	1.83
0304KÜPT	49.18	246.89	104.41	33.58	83.22	63.80	10.76	3.46	8.58	6.58	7.30	2.00	4.31	3.43
0305KÜPT	91.14	446.51	160.62	48.21	213.50	150.22	16.56	4.97	22.01	15.49	11.59	6.52	6.62	8.80
0306KÜPT	130.24	623.00	197.76	167.16	215.18	83.69	20.39	17.23	22.18	8.63	3.15	13.56	8.15	8.87



Çizelge 8.5 Topuklu küp dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri.

Deney No	Hacimsel Birim Deformasyon $\left(\frac{\Delta V}{V_i}\right)$	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S)		Sismik ivme a(g)	Çekirdek İvme büyümesi ( $A_m$ )	Koruma tabakası İvme büyümesi ( $A_m$ )	Sol şev İvme büyümesi ( $A_m$ )
			Sağ şev	Sol şev				
0103KÜPT	0.0020	0.016	0.59	0.78	0.060	0.876	0.804	1.000
0104KÜPT	0.0080	0.034	1.95	0.95	0.134	0.857	0.805	1.011
0105KÜPT	0.0265	0.108	2.13	3.92	0.277	1.363	1.118	1.431
0106KÜPT	0.0406	0.120	4.86	5.78	0.383	1.304	1.489	1.681
0203KÜPT	0.0022	0.020	0.78	0.86	0.142	1.175	1.128	1.134
0204KÜPT	0.0095	0.041	1.99	2.01	0.249	1.198	1.054	1.187
0205KÜPT	0.0424	0.136	5.09	3.59	0.441	1.371	1.220	1.631
0206KÜPT	0.0588	0.191	5.78	8.65	0.599	1.380	1.409	1.738
0303KÜPT	0.0028	0.039	1.85	1.83	0.170	1.249	1.214	1.165
0304KÜPT	0.0271	0.079	4.31	3.43	0.338	1.437	1.109	1.352
0305KÜPT	0.0490	0.147	6.62	8.80	0.525	1.437	0.974	1.287
0306KÜPT	0.0684	0.199	8.15	8.87	0.665	1.338	1.020	1.390

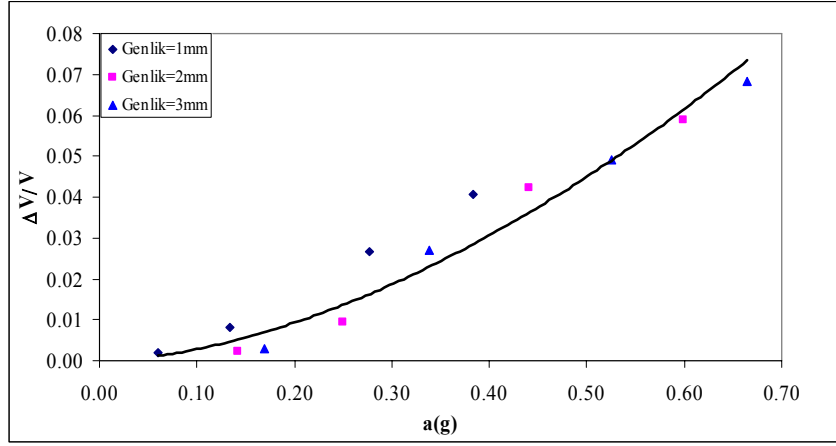
Şekil 8.17’de hacimsel birim deformasyonun sismik ivmeye karşılık değişimi çizilmiştir, korelasyon katsayısı  $R=0.93$  olarak bulunmuştur. Değişim aşağıdaki fonksiyonla verilebilmektedir;

$$\frac{\Delta V}{V} = 0.15a_g^{1.72} \quad (8.6)$$

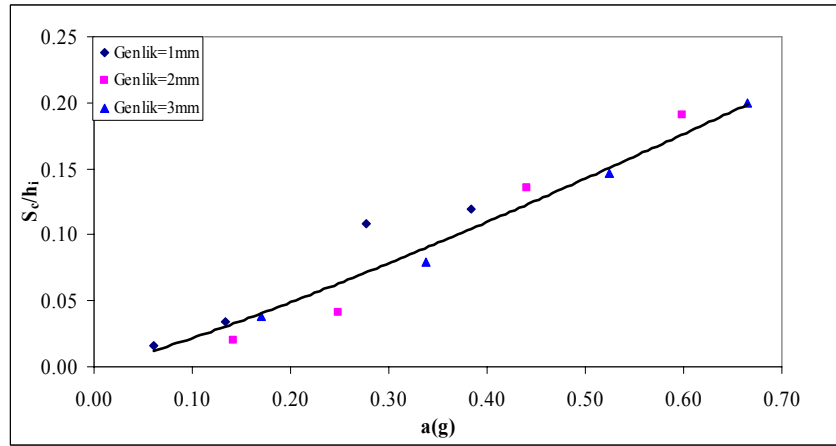
Bu şekilden artan yer ivmesi ile hacimsel birim deformasyonu arttığı görülmektedir.

Kesitteki birim oturma miktarının  $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$  zemin ivmesine göre değişimi Şekil 8.18’de verilmiştir. Değişimin korelasyon sayısı  $R=0.96$  olarak hesaplanmıştır ve bu değişim aşağıdaki ifade ile temsil edilebilmektedir;

$$\frac{S_c}{h_i} = 0.32a_g^{1.17} \quad (8.7)$$



Şekil 8.17 Zemin ivmesine karşılık hacimsel birim deformasyon.



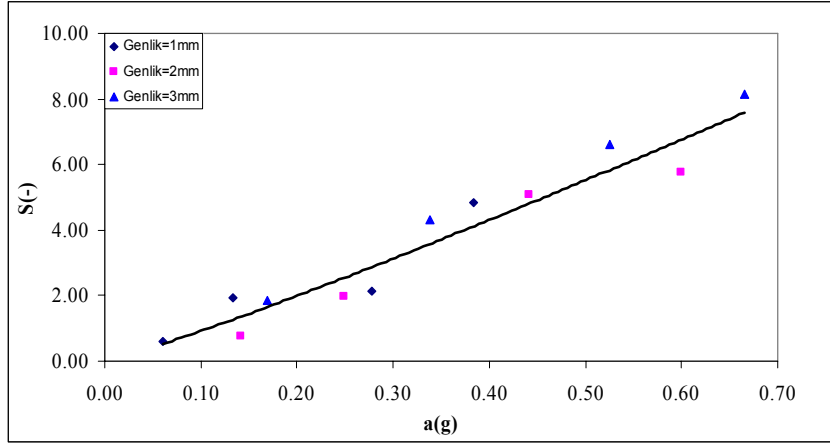
Şekil 8.18 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi

Diğer boyutsuz parametre ise şevlerdeki hasar seviyeleridir (S), bu parametrenin zemin ivmesi ile değişimi her iki (sağ ve sol) şev için ayrı ayrı ifade edilmiştir. Sağ ve sol şevler için değişimlere ait korelasyon sayıları sırasıyla  $R=0.95$  ve  $R=0.943$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca her şev için değişimleri temsil eden bağıntılar aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

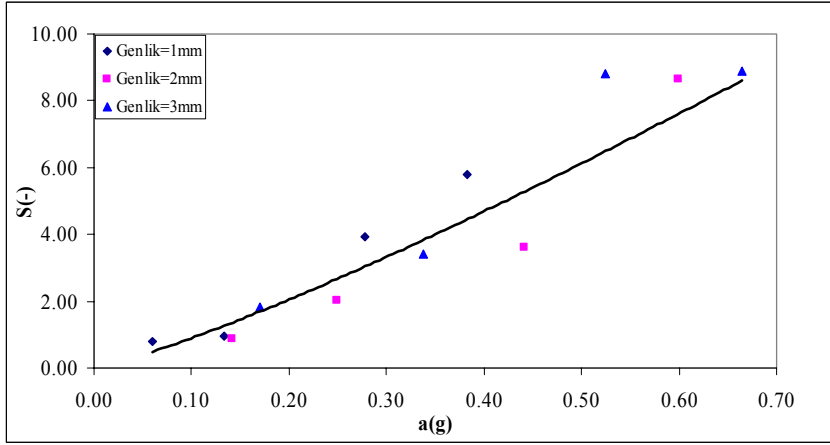
$$\text{Sağ şev için; } S = 11.93a_g^{1.11} \quad (8.8)$$

$$\text{Sol şev için; } S = 14.02a_g^{1.19} \quad (8.9)$$

Şekil 8.19 ve 8.20'den her iki şevdeki hasar seviyesinin hemen hemen aynı olduğu ve simetrik davrandığı görülmektedir. Her iki şevin birlikte hasar seviyesi değişimi ise Şekil 8.21'de gösterilmiştir.



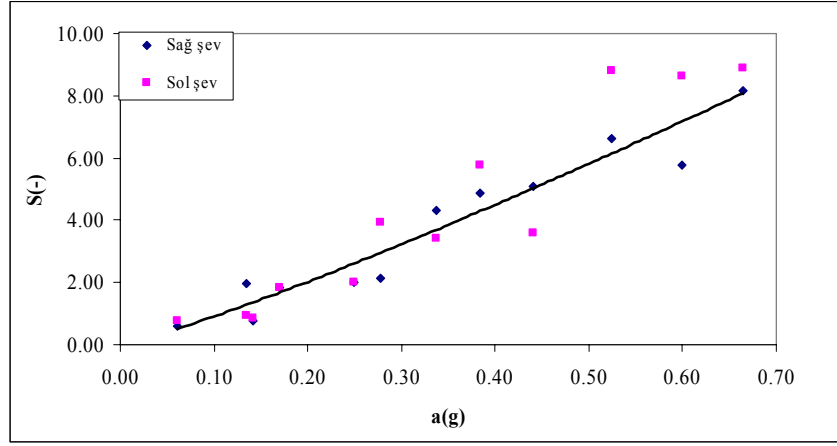
Şekil 8.19 Sağ şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi



Şekil 8.20 Sol şevde hasarın zemin ivmesi ile değişimi

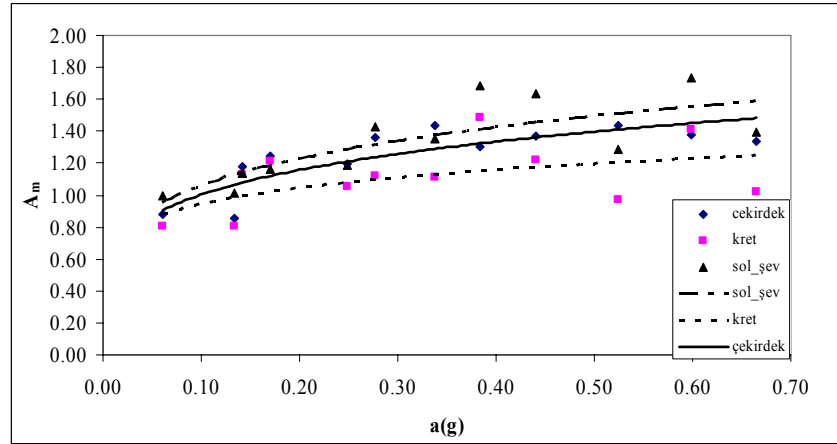
Hasar seviyesi değişimi toplu küp dalgakıran için aşağıdaki ifade ile tanımlanabileceği belirlenmiştir.

$$S = 12.94a_g^{1.15} \quad (R=0.943) \quad (8.10)$$



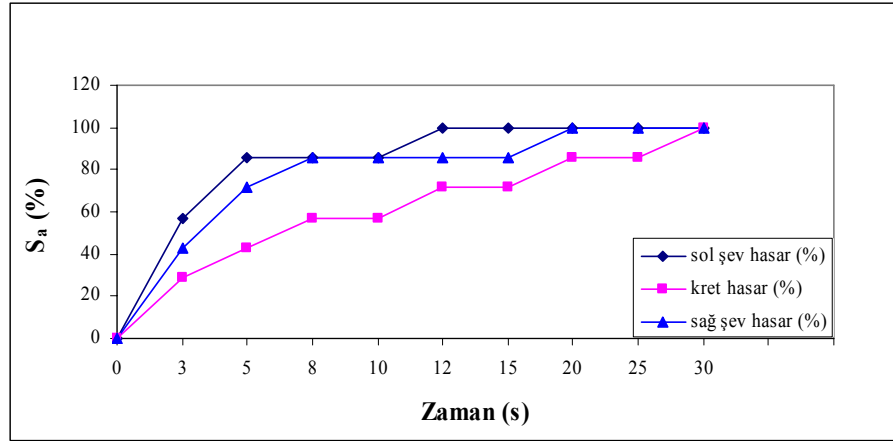
Şekil 8.21 Topuklu küp dalgakıranda hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi

İvme büyümesinin zemin ivmesi ile değişimleri kret, şev ve çekirdek için birlikte Şekil 8.22'de çizilmiştir. İvme büyümesinin en fazla şev üzerindeki koruma tabakasında sonra çekirdekte ve krette meydana geldiği anlaşılmaktadır.

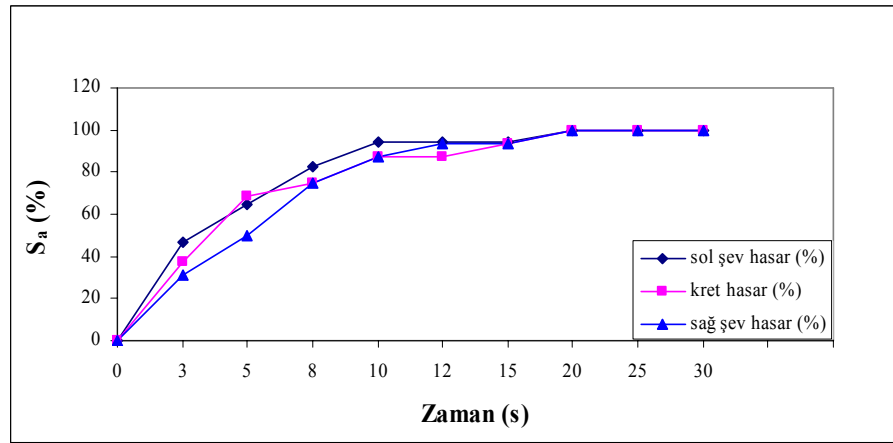


Şekil 8.22 İvme büyütme değerlerinin değişimi

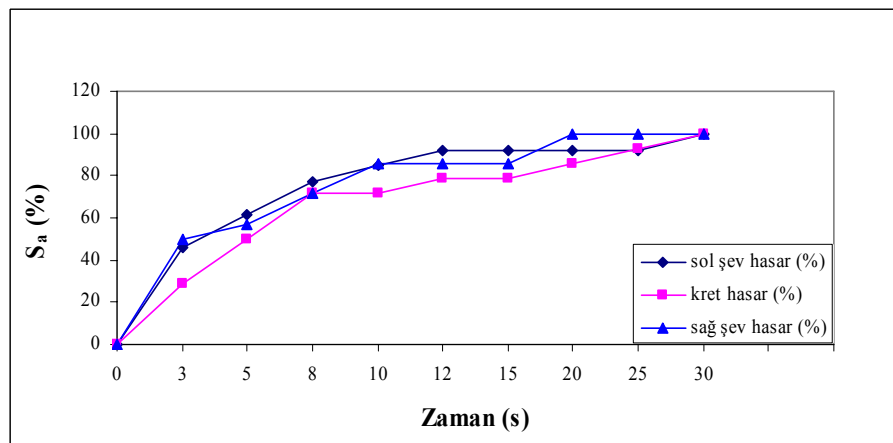
Hasar yüzdesinin zamanla değişiminden yine tüm deformasyon parametrelerinin bu hal içinde 30 s'de ki verilerin değerlendirilmesinden elde edilebileceğini göstermiştir. Şekil 8.23-28 arasında 1 mm 5-6 Hz, 2 mm 5-6 Hz, 3 mm 5-6 Hz için hasarın kret, sağ ve sol şevdeki değişimleri gösterilmiştir.



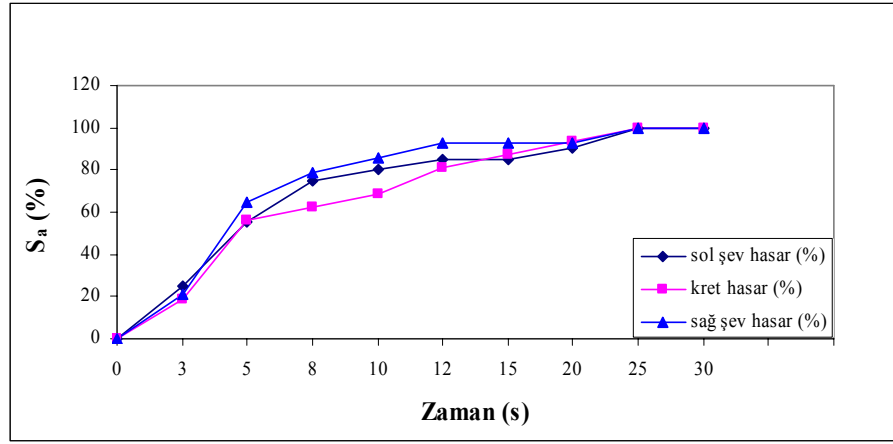
Şekil 8.23 Topuklu küp kesit için 1 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



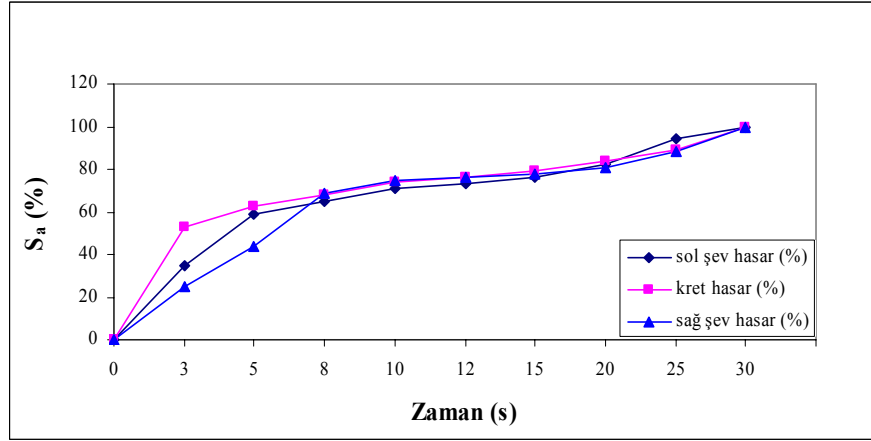
Şekil 8.24 Topuklu küp kesit için 1 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



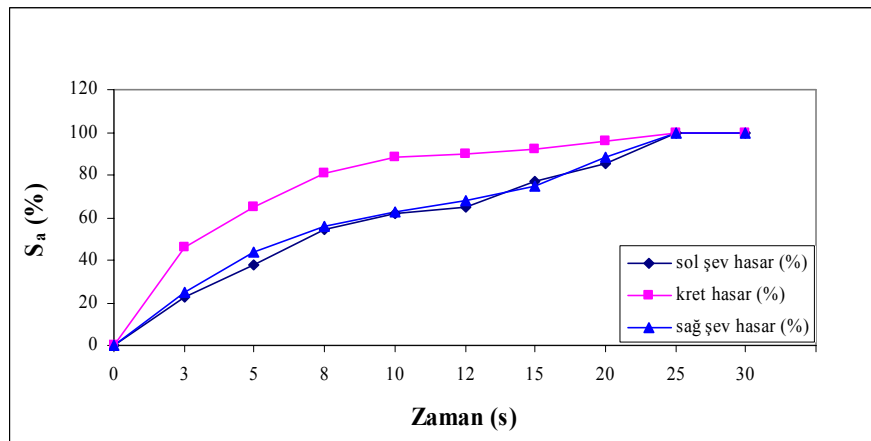
Şekil 8.25 Topuklu küp kesit için 2 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



Şekil 8.26 Topuklu küp kesit için 2 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

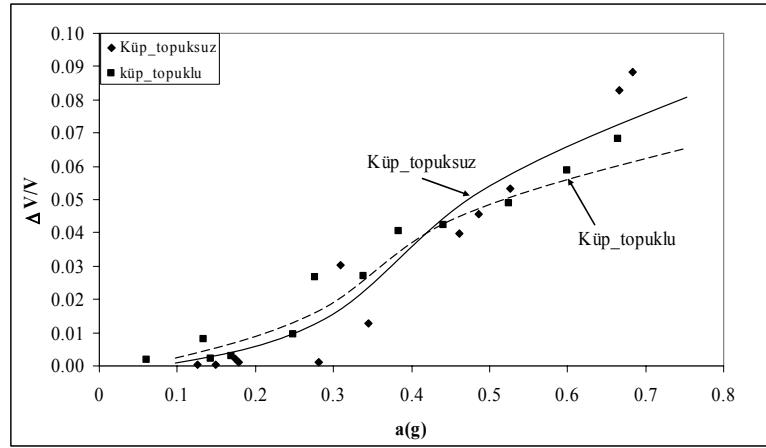


Şekil 8.27 Topuklu küp kesit için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

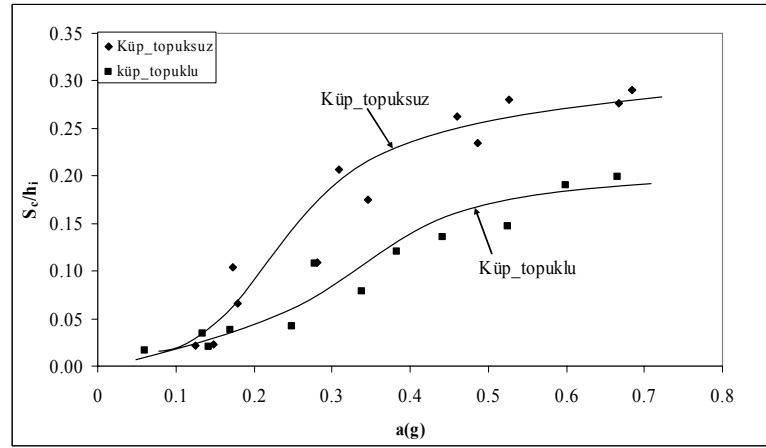


Şekil 8.28 Topuklu küp kesit için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

Şekil 8.29’da topuklu ve topuksuz küp dalgakıranların hacimsel birim deformasyonun değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden hasar 0.2g’de başlamaktadır ve 0.5-0.6g değerinden sonra hasar değişimi azalmaktadır. Ancak topuksuz kesitte büyük ivmelerde deformasyon daha büyük olarak gerçekleşmektedir. Şekil 8.30’da ise birim oturmanın değişimi verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi topuklu halde hasar önemli miktarda azalmaktadır.

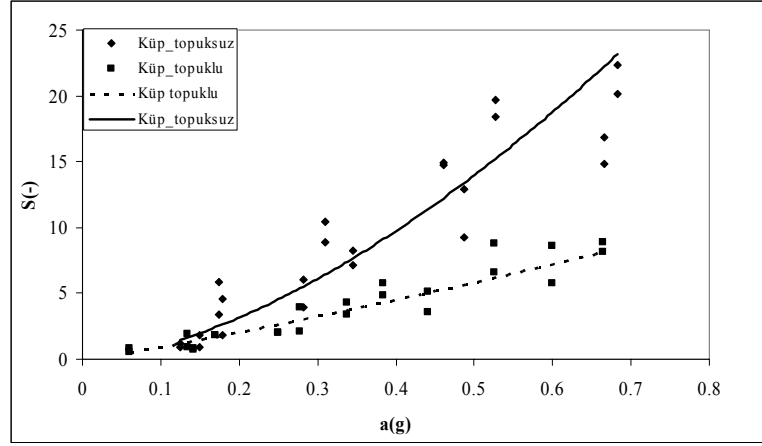


Şekil 8.29 Topuklu ve topuksuz küp kesit için hacimsel birim deformasyon



Şekil 8.30 Topuklu ve topuksuz tabakalı kesitler için birim oturmalar

Şekil 8.31’de topuklu ve topuksuz küp dalgakıran modellerinde şevlerde meydana gelen hasarların değişimi birlikte çizilerek gösterilmiştir. Topuksuz halde şevde meydana gelen hasarın topuklu hale göre çok büyük olduğu görülmektedir. Topuksuz durumda S=8 için 0.4g durumunda kesit tam hasara ulaşırken (Şekil 8.32) topuklu durumda tam hasara 0.6-0.7g gibi büyük ivme değerlerinde ulaşılmaktadır.



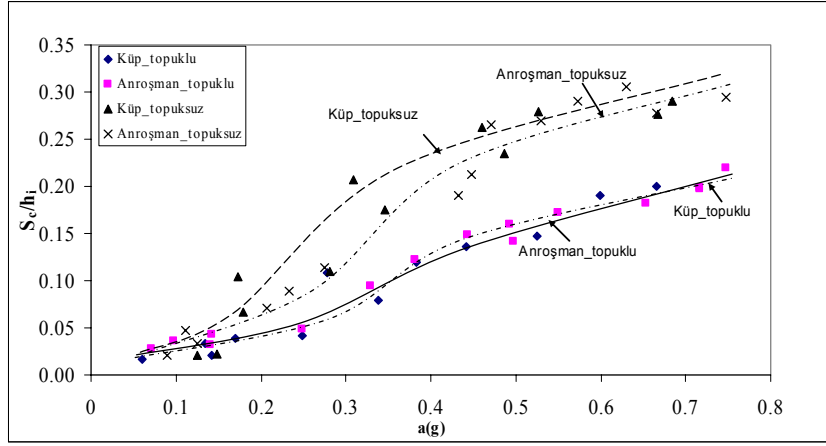
Şekil 8.31 Topuklu ve topuksuz durumda küp dalgakıranlar için hasar değişimi

Şekil 8.33'de taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranların topuklu ve topuksuz durumları birlikte birim oturmalarının taban ivmesine karşılık değişimleri gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi her iki tip dalgakıranda da topuksuz durumda deformasyonlar daha fazladır. Her iki tip dalgakıran birbiri ile karşılaştırıldığında ise küp dalgakıranın sismik yükler altında daha fazla deformasyona uğradığı anlaşılmaktadır. Bunun nedeni küplerin birbiri üzerinden daha kolay kaymalarıdır. Buna karşın taşlar daha düzensiz geometrileri ve sürtünme etkileri ile daha az kaymaktadır. Şekil 8.34'de ise hacimsel birim deformasyonların değişimi verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi topuksuz durumda sıkışma ile şev kayması etkinken, topuklu halde sıkışmanın hakim olduğu ve topuğun şev kaymalarını engellediği anlaşılmaktadır.

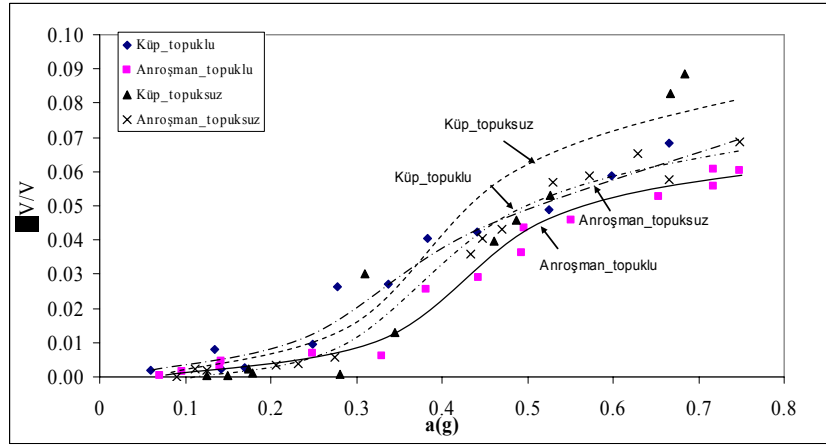


Şekil 8.32 Tam hasara ulaşmış topuklu küp dalgakıran (3 mm 5 Hz için hasarlı dalgakıran modeli)



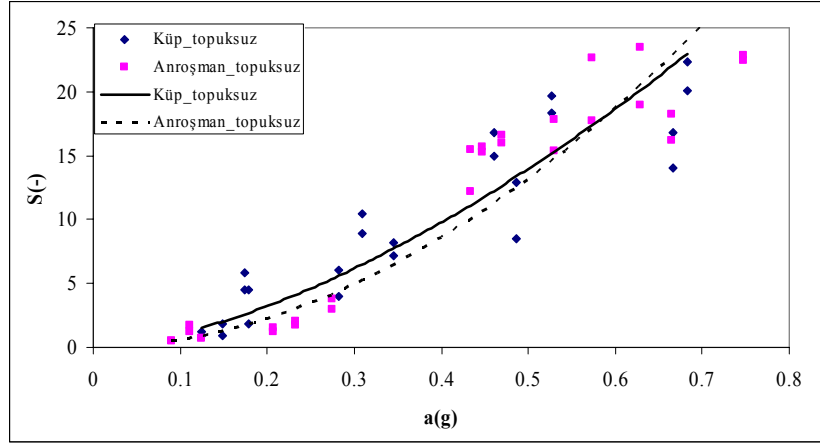


Şekil 8.33 Taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda birim oturmalar

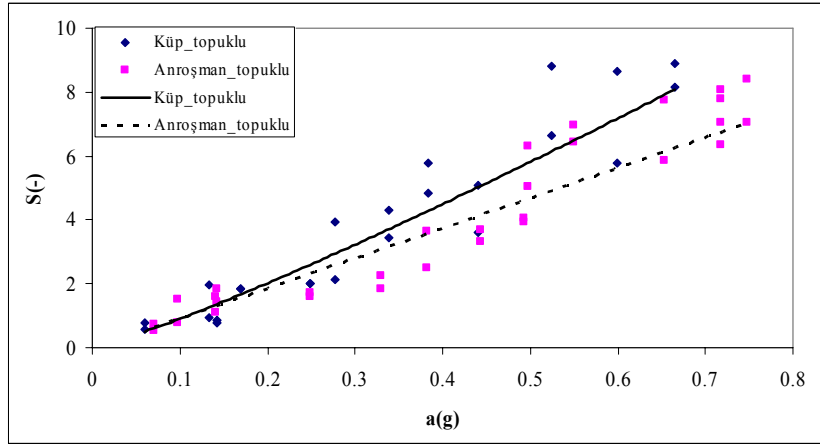


Şekil 8.34 Taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda hacimsel birim deformasyonlar

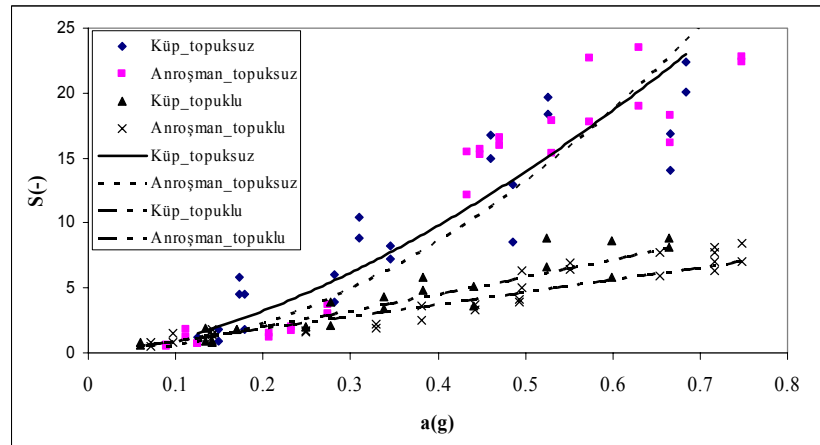
Şekil 8.35 ve 8.36'da sırasıyla topuksuz ve topuklu küp ile taş dolgu dalgakıranlarda şevlerinde meydana gelen hasarlar sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 8.37'de ise tüm durumlar birlikte zemin ivmesine karşılık verilmiştir. Topuksuz durumda taş ve küp dalgakıranlardaki hasarlar birbirine yakın olmalarına karşın topuklu durumda belirgin olarak küp dalgakıranlardaki hasar taş dolgu dalgakıranlara göre daha büyük meydana gelmektedir. Hasarın zemin ivmesi ile değişimi incelendiğinde topuklu durumda her iki dalgakıranda tam hasar mevcut deney koşullarında küp için 0.6-0.7g aralığında, geleneksel taş dolgu dalgakıran için 0.7g'den sonra ulaşılacağı görülmektedir. Topuksuz dalgakıranlarda ivme arttıkça sismik yükler altında hasardaki artış daha kuvvetli bir görünüme sahiptir. Topuklu dalgakıranlarda ise taban ivmesiyle hasar değişimi daha yavaş artan bir eğilime sahiptir. Bu da topuk teşkilinin sismik yükler altında hasarı azalttığını göstermektedir.



Şekil 8.35 Topuksuz taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda hasar



Şekil 8.36 Topuklu taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda hasar



Şekil 8.37 Topuklu ve topuksuz taş dolgu dalgakıranlar ile küp dalgakıranlarda hasar

## 8.4 Tetrapod Dalgakıranların Sismik Davranışı

### 8.4.1 Giriş

Tetrapod blokların deprem etkisindeki davranışı blokların iki farklı yerleştirilme şekline göre yapılmıştır. Tetrapodlar dalgakıran üzerine iki farklı şekilde yerleştirilmektedir. Alt tabakadaki tetrapodların üç bacağı şeve oturur ve bir bacağı yukarı bakar. Üst sıranın yerleştirilmesinde ise iki yöntem vardır (Sotramer, 1973; Gürer, 2000):

- 1) Bir bacak birinci sıra tetrapodların arasına aşağı bakacak şekilde yerleştirilir (Şekil 8.38a).
- 2) Üç bacak yere oturur, bir bacak yukarı bakar (Şekil 8.38b)



a) I. yerleştirme yöntemi



b) II. yerleştirme yöntemi

Şekil 8.38 Tetrapod blokların yerleştirme yöntemleri

### 8.4.2 Birinci Yerleştirme Yöntemi

Tetrapod beton bloklulu dalgakıran modeli nominal çapı,  $D_n$ , 4.55 cm olan blokların, kesit üzerine çift sıra dizilmesi ile oluşturulmuştur. Çekirdek malzemesinin serilmesinde bilgisayar kontrollü otomatik serme sistemi her deney için kullanılmıştır. Kesit rijit taban üzerindedir. Tetrapod blokların yerleştirilmesi sırasında kesite bir topuk yerleştirilmiştir. Her deney öncesi ve sonrası  $\pm 1$ mm hassasiyetle ölçüm yapan Bed Profile ile 10 cm aralıklarla 5 farklı kesitte model dalgakıranın profili çıkarılmıştır. Deneyler  $\frac{1}{2}$  eğimli ve 60 cm kret yüksekliğine sahip kesit için 40 cm derinlikteki su içinde farklı genlik ile frekanslar için yapılmıştır. Çizelge 8.6'da deneylerin gerçekleştirildiği genlikler ve frekanslar gösterilmiştir. deneylerde modele uygulanan zemin ivmesi aralığı 0.1-0.763g'dir.

Çizelge 8.6 Genlik ve frekans değerleri

Genlik (mm)	Frekans (Hz)			
1	3	4	5	6
2	3	4	5	6
3	3	4	5	6

Dalgakıran geometrisine ait ölçüm sonuçları Çizelge 8.7’de gösterilmektedir. Boyutsuzlaştırılan sismik parametreler Çizelge 8.8’de verilmiştir.

Çizelge 8.7 Tetrapod bloklı dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları

D.N	Zemin ivmesi (g)	Maksimum Düşey Deplasman (mm)	(mm <sup>3</sup> )		(mm <sup>2</sup> )		(mm <sup>2</sup> )	hasar(S)
		(Sc)	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	
0103	0.100	6.58	12.96	55.98	1.34	5.77	4.44	0.65
0104	0.224	14.06	17.23	44.20	1.78	4.56	2.78	0.86
0105	0.397	64.22	84.29	60.66	8.69	6.25	2.44	4.20
0106	0.531	93.08	156.97	113.15	16.18	11.67	4.52	7.82
0203	0.151	8.12	21.19	26.38	2.18	2.72	0.53	1.06
0204	0.320	26.4	30.42	39.22	3.14	4.04	0.91	1.51
0205	0.441	92.96	92.47	102.61	9.53	10.58	1.05	4.83
0206	0.552	131.44	210.29	183.80	21.68	18.95	2.73	10.47
0303	0.138	10.6	32.35	12.70	3.34	1.31	2.03	1.61
0304	0.357	46.22	52.36	160.46	5.40	16.54	11.14	2.61
0305	0.535	111.28	125.00	133.03	12.89	13.71	0.83	6.22
0306	0.763	140.76	226.88	184.55	23.39	19.03	4.36	11.30

Çizelge 8.8 Tetrapod bloklı dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri

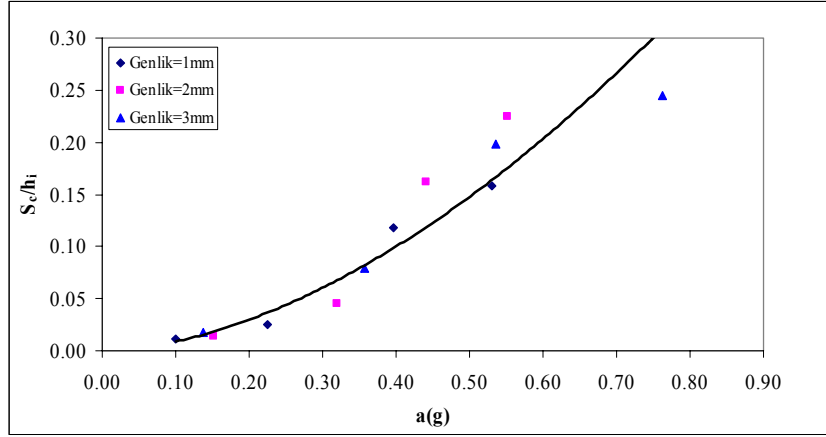
Deney No	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S)	Sismik ivme a(g)	Çekirdek İvme büyümesi ( $A_m$ )	Tetrapod İvme büyümesi ( $A_m$ )
0103	0.012	0.65	0.100	0.930	0.860
0104	0.025	0.86	0.224	0.906	0.833
0105	0.119	4.20	0.397	1.230	1.445
0106	0.158	7.82	0.531	1.720	1.544
0203	0.014	1.06	0.151	1.314	1.217
0204	0.045	1.51	0.320	1.261	0.833
0205	0.162	4.83	0.441	1.371	1.631
0206	0.225	10.47	0.552	1.614	1.274
0303	0.018	1.61	0.138	1.208	1.255
0304	0.079	2.61	0.357	1.438	1.185
0305	0.198	6.22	0.535	1.535	1.433
0306	0.245	11.30	0.763	1.184	1.371

Şekil 8.39'da tetrapod bloklar için birim oturmanın zemin ivmesine göre değişimleri görölmektedir. Şekil 8.39a'da birim oturmanın zemin ivmesi ile arasındaki korelasyon gösterilirken, Şekil 8.39b'de birim oturmanın zemin ivmesine göre değişimi gösterilmektedir. İvme ile birim oturma arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı  $R=0.97$  olarak bulunmuştur. Değişimi veren ifade ise;

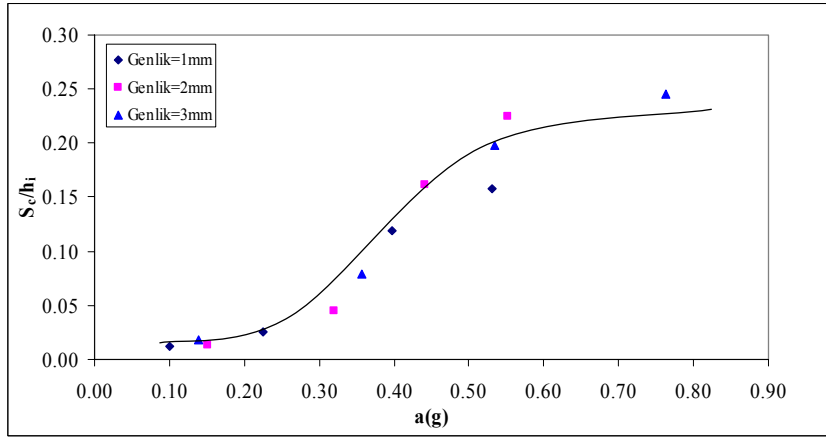
$$\frac{S_c}{h_i} = 0.50a_g^{1.75} \quad (8.11)$$

şeklindedir.

Bu şekillerden 0.1-0.3g aralığındaki ivme değerlerinde oluşan birim oturmaların büyük değişimler göstermediği, 0.3-0.5g ivme aralığında birim oturmalarda ani bir artış olduğu ve 0.5g'den büyük ivme değerlerinde ise bu artış miktarının azalarak nihai oturmaya ulaştığı görölmektedir.



a)



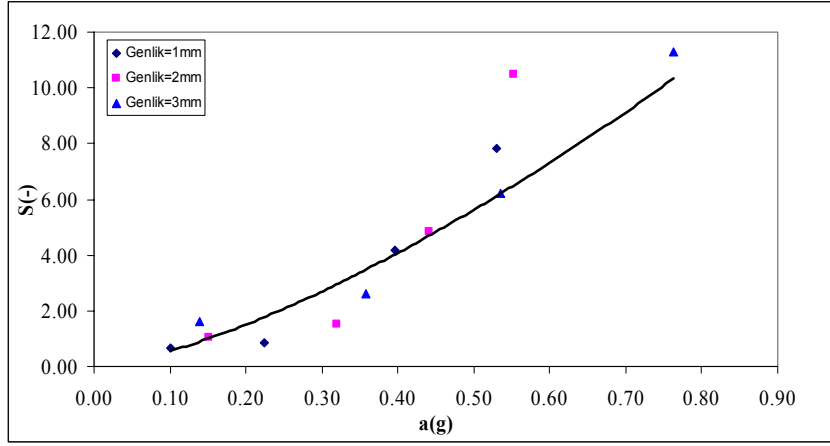
b)

Şekil 8.39 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi

Şekil 8.40'da hasar seviyesinin uygulanan zemin ivmesine göre değişimi gösterilmektedir. İki değişken arasındaki korelasyon sayısı  $R=0.92$  olarak bulunmuştur. Bu değer hasar seviyesi ile zemin ivmesi arasındaki korelasyonun oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Bu değişimi ifade eden bağıntı ise

$$S = 15.24a_g^{1.44} \quad (8.12)$$

olarak bulunmuştur.



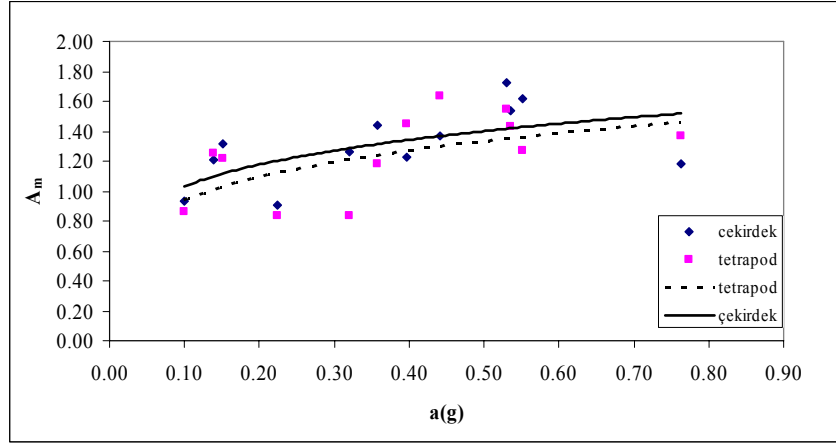
Şekil 8.40 Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi

Hasar seviyesi ile zemin ivmesi arasındaki ilişki incelendiğinde, değişimin doğrusal olmadığı ve saçılım gösterdiği belirlenmiştir. Tetrapod blokların çift sıra dizilmesi ve geometrilerinden dolayı sismik hareket altında blokların yer değiştirmesinin fazla olması bu saçılım üzerinde etkilidir. Tetrapod bloklu dalgakıran modeli (I. Model), yaklaşık olarak 0.6g ivme değerinde tam hasara ulaşmaktadır. Şekil 8.41'de deney sonrası dalgakıran kesitinde oluşan deformasyonlar görülmektedir.



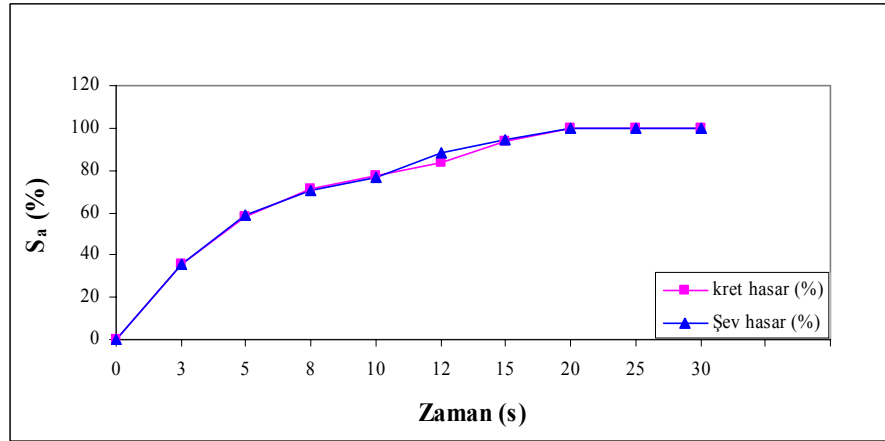
Şekil 8.41 Deney sonrası dalgakıran modeli

Tetrapod dalgakıran modelinde şevde ve çekirdekte meydana gelen ivme değişimleri belirlenerek Şekil 8.42'de her iki değişim birlikte gösterilmiştir, böylece ivme büyümesi en fazla çekirdekte meydana geldiği anlaşılmaktadır.

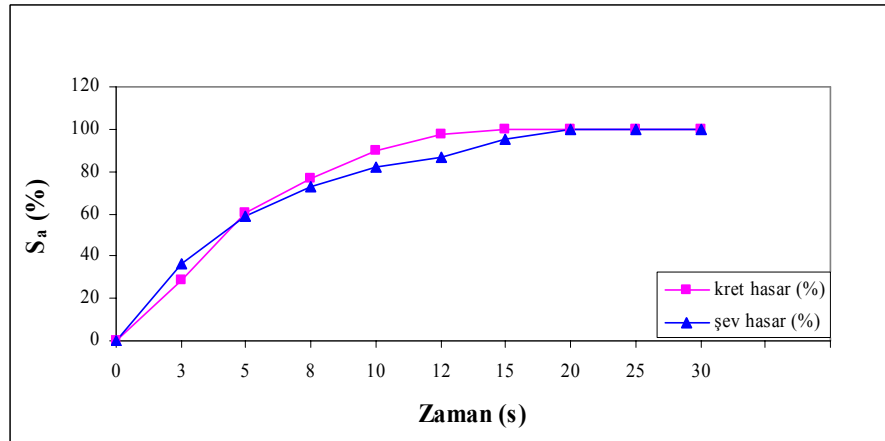


Şekil 8.42 İvme büyütme değerlerinin değişimi

Ayrıca deneyler SVHS kamera ile kaydedilmiş ve model dalgakıranın sismik davranışı görüntü işleme yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 8.43-44 3 mm genlik 5-6 Hz deney koşullarında oluşan hasarın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Hasarın yaklaşık %80'lik kısmı ilk 10 s içinde olurken, yaklaşık 30 s'lik süre sonunda hasar tamamlanmaktadır.



Şekil 8.43 Tetrapod bloklulu dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



Şekil 8.44 Tetrapod bloklulu dalgakıran için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



### 8.4.3 İkinci Yerleştirme Yöntemi

Tetrapod blokların ikinci yerleştirme yöntemine göre hazırlanan model için deney koşulları birinci yerleştirme yöntemi için olan koşullarla aynı olarak seçilmiştir. Çizelge 8.9 deneylerin gerçekleştirildiği genlikler ve frekanslar gösterilmiştir. Modele uygulanan zemin ivmesi aralığı 0.154-0.687g'dir.

Dalgakıran geometrisine ait ölçüm sonuçları Çizelge 8.10'da gösterilmektedir. Boyutsuzlaştırılan sismik parametreler Çizelge 8.11'de verilmiştir.

Çizelge 8.9 Genlik ve frekans değerleri

Genlik (mm)	Frekans (Hz)			
1	3	4	5	-
2	3	4	5	6
3	3	4	5	6

Çizelge 8.10 Tetrapod kesit geometresine ait ölçüm sonuçları (II.Model)

D.N	Zemin İvmesi (g)	Maksimum Düşey Deplasman (mm)	(mm <sup>3</sup> )		(mm <sup>2</sup> )		(mm <sup>2</sup> )	hasar(S)
		(Sc)	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	
103	0.154	6.64	11.90	38.62	1.23	3.98	2.76	0.59
104	0.210	14.5	38.81	37.76	4.00	3.89	0.11	1.93
105	0.345	41.1	49.43	82.18	5.10	8.47	3.38	2.46
203	0.106	8.54	18.64	25.37	1.92	2.62	0.69	0.93
204	0.241	16.58	40.68	29.06	4.19	3.00	1.20	2.03
205	0.466	87.1	88.86	89.96	9.16	9.27	0.11	4.43
206	0.552	138.18	104.56	103.87	10.78	10.71	0.07	5.21
303	0.159	9.62	28.65	31.53	2.95	3.25	0.30	1.43
304	0.307	29.4	50.19	15.74	5.17	1.62	3.55	2.50
305	0.535	103.2	105.53	43.97	10.88	4.53	6.35	5.26
306	0.687	141.3	118.18	47.14	12.18	4.86	7.32	5.89

Çizelge 8.11 Tetrapod bloklı dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri

Deney No	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S) Tetrapod	Sismik ivme a(g)	Çekirdek İvme büyümesi (A <sub>m</sub> )	Tetrapod İvme büyümesi (A <sub>m</sub> )
0103	0.011	0.59	0.154	1.166	1.004
0104	0.025	1.93	0.210	1.132	0.815
0105	0.073	2.46	0.345	1.347	1.098
0203	0.014	0.93	0.106	0.992	0.967
0204	0.028	2.03	0.241	1.354	1.251
0205	0.148	4.43	0.466	1.250	1.344
0206	0.235	5.21	0.552	1.614	1.274
0303	0.017	1.43	0.159	1.137	1.034
0304	0.051	2.50	0.307	1.059	1.228
0305	0.182	5.26	0.535	1.535	1.433
0306	0.246	5.89	0.687	1.007	0.970

Şekil 8.45’de tetrapod bloklar için birim oturmanın zemin ivmesine göre değişimleri görölmektedir. Şekil 8.45a’da birim oturmanın zemin ivmesi ile korelasyonu gösterilirken, Şekil 8.45b’de birim oturma ile zemin ivmesi arasındaki değişim gösterilmektedir. İvme ile birim oturma arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı R=0.97 olarak bulunmuştur. Değişimi veren ifade ise;

$$\frac{S_c}{h_i} = 0.52a_g^{1.82} \quad (8.13)$$

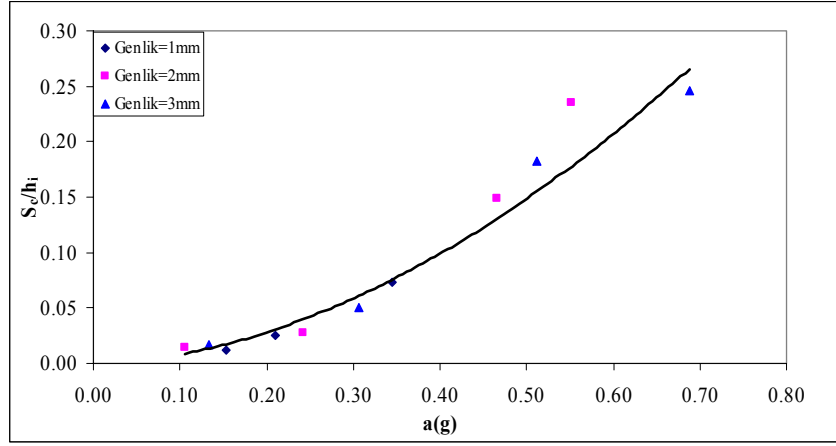
şeklindedir.

Bu şekiller incelendiğinde, I. yerleştirme yönteminde oluşturulan modele benzer olarak 0.1-0.3g aralığındaki ivme değerlerinde oluşan birim oturmaların büyük değişimler göstermediği, 0.3-0.5g ivme aralığında birim oturmalarda ani bir artış oluştuğu ve 0.5g’den büyük ivme değerlerinde ise bu artış miktarının azalarak nihai oturmaya ulaştığı görölmektedir.

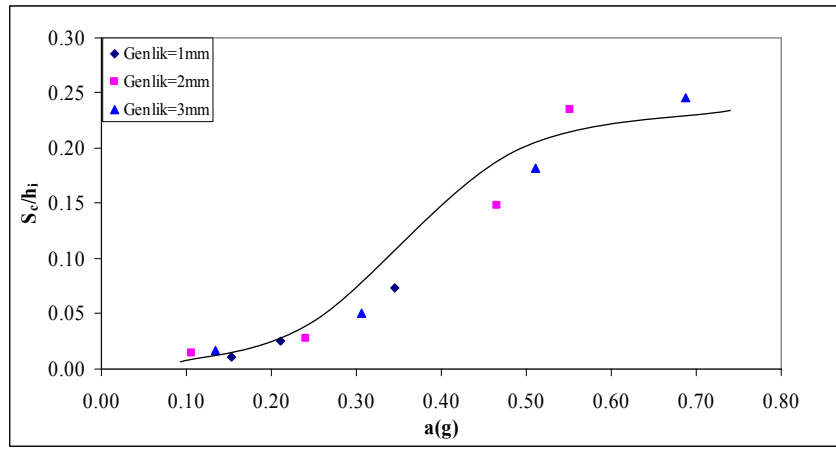
Şekil 8.46’da hasar seviyesinin uygulanan zemin ivmesine göre değişimi gösterilmektedir. İki değişken arasındaki korelasyon kasayısı R=0.93 olarak bulunmuştur. Bu değer hasar seviyesi ile zemin ivmesi arasındaki korelasyonun oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Bu değişimi ifade eden bağıntı ise

$$S = 9.65a_g^{1.12} \quad (8.14)$$

olarak bulunmuştur.

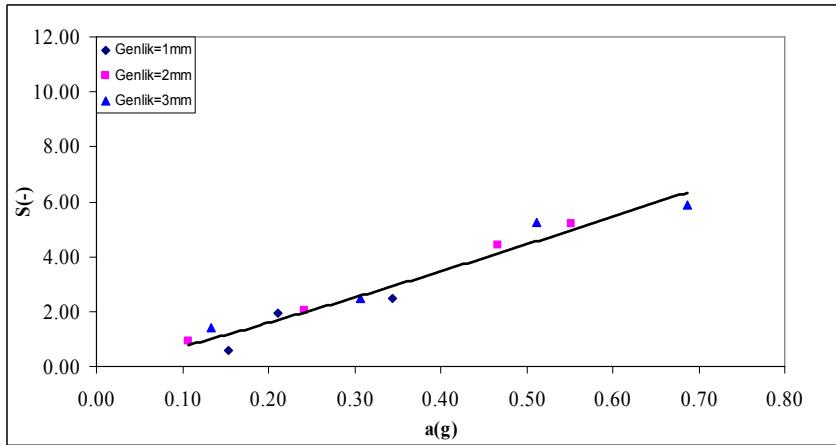


a)



b)

Şekil 8.45 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi

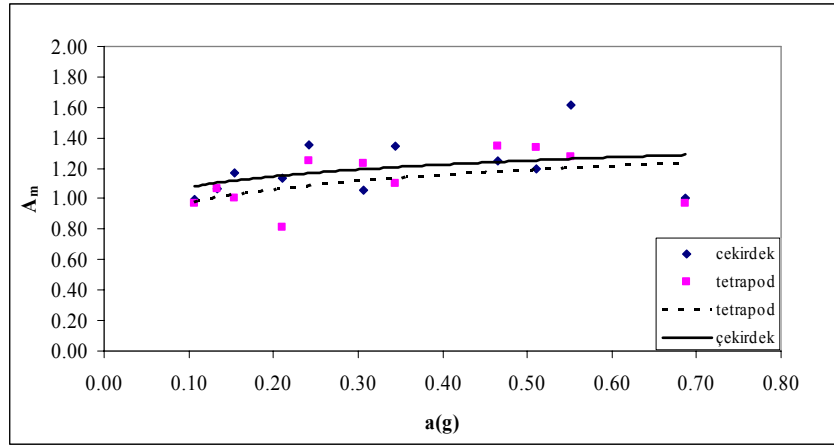


Şekil 8.46 Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi

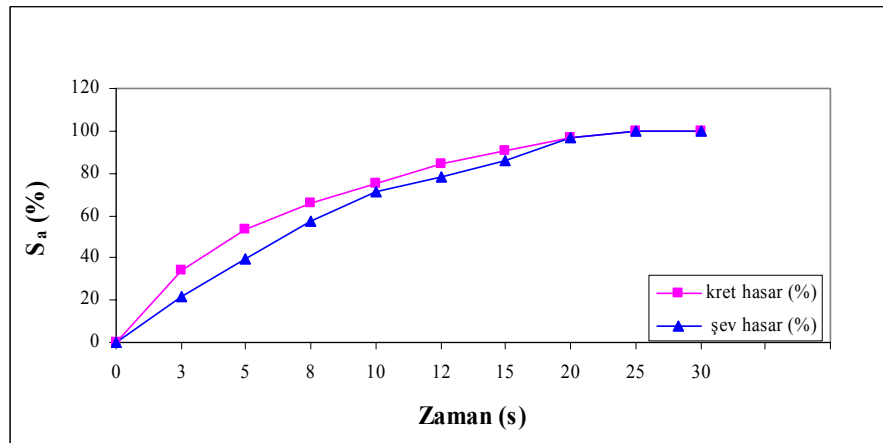
Hasar seviyesi ile zemin ivmesi arasındaki ilişki incelendiğinde, değişimin I. yerleştirme yöntemine göre oluşturulan dalgakıran modelinde oluşan değişimdeki kadar saçılım göstermediği belirlenmiştir. Değişim daha doğrusaldır. II. yerleştirme yöntemi ile oluşturulan tetrapod bloklü dalgakıran modelinde tam hasar durumu oluşmamıştır.

Şekil 8.47’de şevde ve çekirdekte oluşan ivme büyütme gösterilmiştir. Çekirdekdeki ivme büyütmesinin daha büyük olduğu görülmektedir.

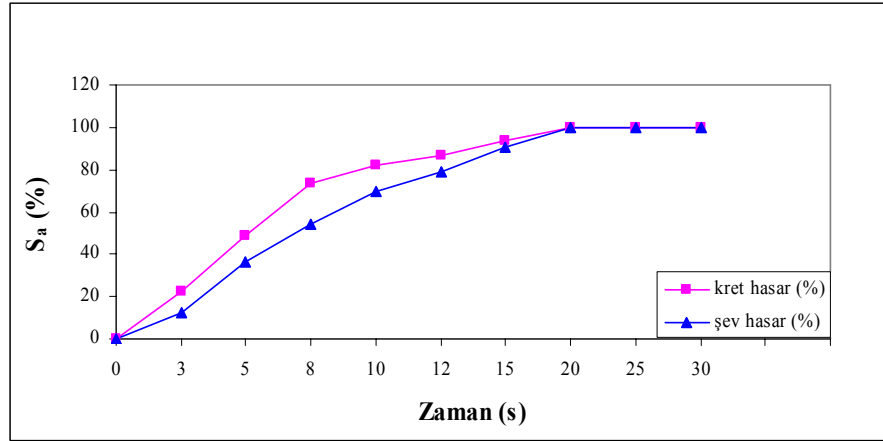
Model dalgakıranın sismik davranışı görüntü işleme yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 8.48-49 3 mm genlik 5-6 Hz deney koşullarında oluşan hasarın zamana göre değişimi gösterilmiştir. I. yerleştirme yöntemine göre oluşturulan dalgakıran modeline benzer olarak hasarın yaklaşık %80’lik kısmı ilk 10 s içinde olurken, yaklaşık 30 s’lik süre sonunda hasar tamamlanmaktadır.



Şekil 8.47 İvme büyütme değerlerinin değişimi

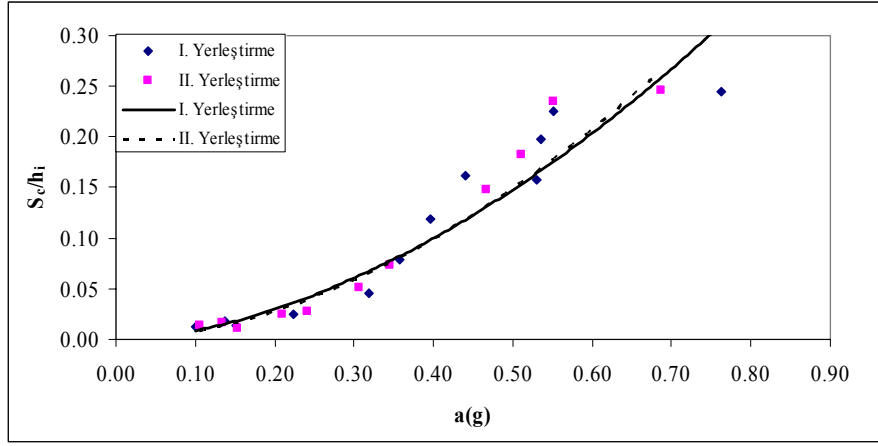


Şekil 8.48 Tetrapod bloklı dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

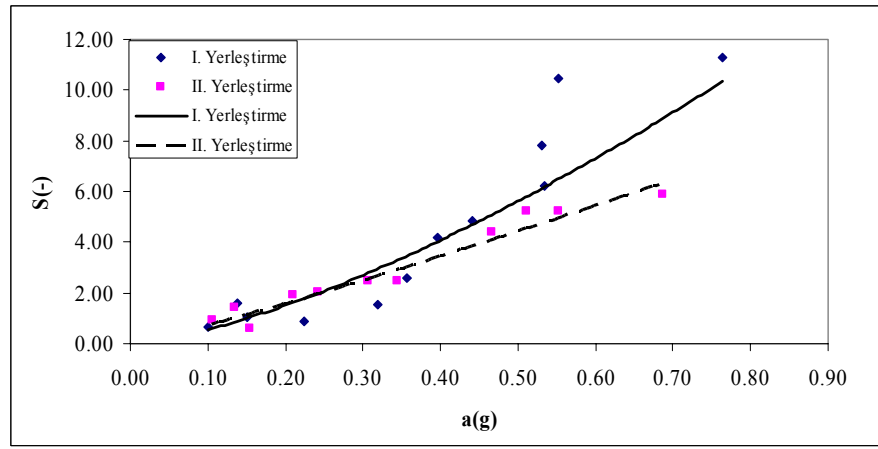


Şekil 8.49 Tetrapod bloklı dalgakıran için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

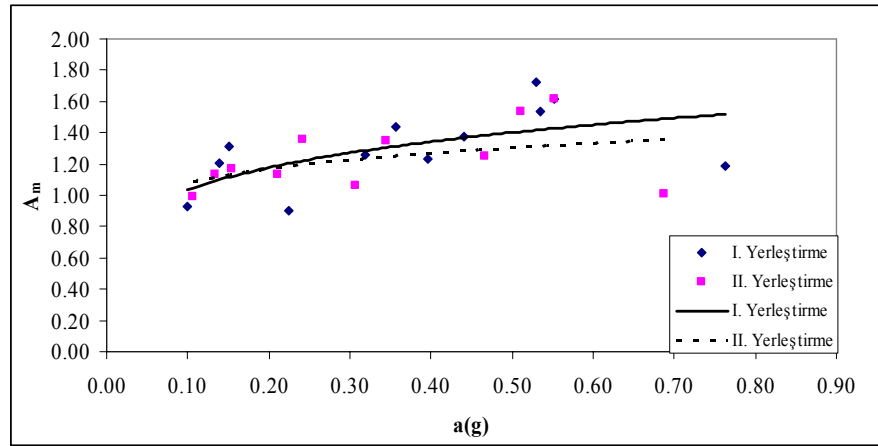
Her iki yerleştirme yöntemine göre oluşturulan dalgakıran model sonuçlarını birlikte değerlendirmek için birim oturma, şevde oluşan hasar seviyesi, çekirdek ve şevde oluşan ivme büyütme sırasıyla Şekil 8.50-53'de gösterilmiştir. Şekil 8.50'de görüldüğü gibi birim oturma değişimi her iki model içinde hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bu durum oturma miktarını kapsayan iki koşuldan biri olan çekirdek malzemesindeki oturma, blokların hareketinden oluşan ve oturma olarak değerlendirilen etkiye oranla baskın olmasından kaynaklanmaktadır ve her iki modelde topuklu yapılandırılmıştır. Şekil 8.51'de şevde oluşan hasar seviyelerinin değişimi iki model için birlikte gösterilmiştir. II. yerleştirme yönteminin deprem etkisindeki stabilitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. I. yerleştirme yönteminde üst tabakadaki tetrapod blokların ağrılık merkezi daha yukarıda olmakta ve yatay kuvvet etkisi altında hareket etmeye daha yatkın olduğu düşünölmektedir. I. yerleştirme yöntemine göre hazırlanan modelde özellikle yüksek ivme değerlerinde blokların şev üzerindeki hareketinden dolayı tam hasar durumuna ulaşılmıştır. II. model için tam hasar durumu gerçekteşmemiştir. Şekil 8.52-53'de çekirdek ve şevde oluşan ivme büyütme her iki yerleştirme yöntemi için birlikte gösterilmiştir. İvme büyütme değerleri hem çekirdek hem de şevde I. yerleştirme yöntemi için oluşturulan modelde daha büyük olmaktadır.



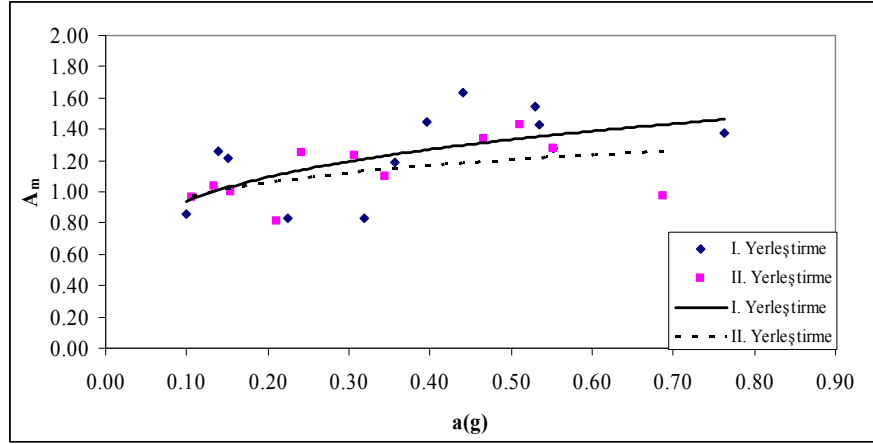
Şekil 8.50 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi



Şekil 8.51 Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi



Şekil 8.52 Her iki yerleştime yöntemine göre dalgakıran çekirdeğinde oluşan ivme büyütme değerlerinin değişimi



Şekil 8.53 Her iki yerleştirme yöntemine göre dalgakıran şevinde oluşan ivme büyütme değerlerinin değişimi

### 8.5 Accropode Dalgakıranların Sismik Davranışı

Accropode beton bloklı dalgakıran modeli nominal çapı,  $D_n$ , 4.97 cm olan blokların, kesit üzerine şaşırtmalı olarak ve tek sıra dizilmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 8.54). Çekirdek malzemesinin serilmesinde bilgisayar kontrollü otomatik serme sistemi her deney için kullanılmıştır. Kesit rijit taban üzerindedir. Accropode blokların yerleştirilmesi sırasında kesite bir topuk yerleştirilmiştir. Her deney öncesi ve sonrası  $\pm 1$ mm hassasiyetle ölçüm yapan Bed Profile ile 10 cm aralıklarla 5 farklı kesitte model dalgakıranın profili çıkarılmıştır. Deneyler  $\frac{1}{2}$  eğimli ve 60 cm kret yüksekliğine sahip kesit için su içinde farklı genlik ile frekanslar için yapılmıştır. Çizelge 8.12'de deneylerin gerçekleştirildiği genlikler ve frekanslar gösterilmiştir. Deneylerde modele uygulanan zemin ivmesi aralığı 0.1-0.763g'dir.



Şekil 8.54 Accropode bloklı dalgakıran modelinin şev görünümü

Çizelge 8.12 Genlik ve frekans değerleri

Genlik (mm)	Frekans (Hz)			
1	3	4	5	6
2	3	4	5	6
3	3	4	5	6

Görüldüğü gibi her bir genlik değeri için dört farklı frekans değerinde deneyler tekrarlanmış ve toplam 12 adet deney ile accropode bloklı dalgakıranların sismik davranışı incelenmiştir. Dalgakıran geometrisine ait ölçüm sonuçları Çizelge 8.13’de gösterilmektedir. Ayrıca deneyler SVHS kamera ile kaydedilmiş ve model dalgakıranın sismik davranışı görüntü işleme yöntemi ile incelenmiştir. Boyutsuzlaştırılan sismik parametreler Çizelge 8.14’te verilmiştir.

Çizelge 8.13 Accropode bloklı dalgakıran geometresine ait ölçüm sonuçları

D.N	Zemin ivmesi (g)	Maksimum Düşey Deplasman	(mm <sup>3</sup> )		(mm <sup>2</sup> )		(mm <sup>2</sup> )	hasar(S)
		(Sc) mm	(-)V	(+)V	(-)A	(+)A	A	
0103ACC	0.100	6.58	24.75	19.77	2.55	2.04	0.51	1.03
0104ACC	0.224	14.06	48.56	14.96	5.01	1.54	3.46	2.03
0105ACC	0.397	64.22	67.10	100.98	6.92	10.41	3.49	2.80
0106ACC	0.531	93.08	143.61	176.85	14.80	18.23	3.43	5.99
0203ACC	0.151	8.12	29.89	55.14	3.08	5.69	2.60	1.25
0204ACC	0.320	26.4	52.07	26.71	5.37	2.75	2.61	2.17
0205ACC	0.441	92.96	74.71	66.90	7.70	6.90	0.80	3.12
0206ACC	0.552	131.44	146.53	158.38	15.11	16.33	1.22	6.12
0303ACC	0.138	10.6	18.80	50.14	1.94	5.17	3.23	0.78
0304ACC	0.357	46.22	60.72	84.37	6.26	8.70	2.44	2.53
0305ACC	0.535	111.28	120.01	130.81	12.37	13.49	1.11	5.01
0306ACC	0.763	140.76	262.43	243.16	27.05	25.07	1.99	10.95



Çizelge 8.14 Accropode bloklı dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri

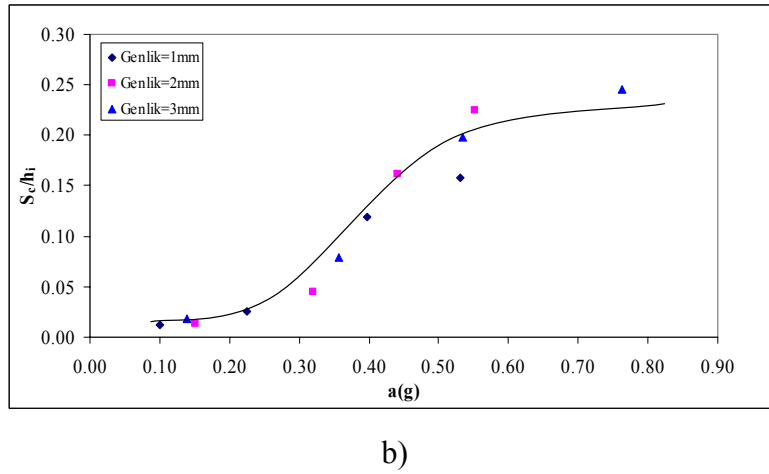
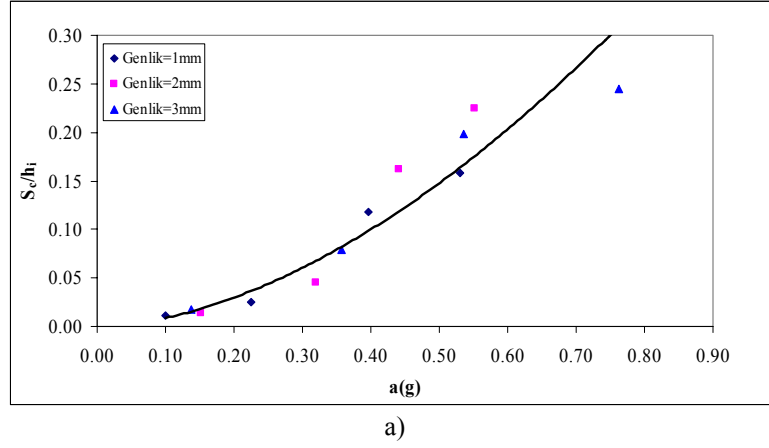
D.N	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S)	Sismik ivme a(g)	Çekirdek İvme büyümesi ( $A_m$ )	Accropode İvme büyümesi ( $A_m$ )
0103ACC	0.012	1.03	0.100	0.930	0.882
0104ACC	0.025	2.03	0.224	0.906	0.872
0105ACC	0.119	2.80	0.397	1.230	1.486
0106ACC	0.158	5.99	0.531	1.888	1.314
0203ACC	0.014	1.25	0.151	1.314	1.312
0204ACC	0.045	2.17	0.320	1.261	1.105
0205ACC	0.162	3.12	0.441	1.581	1.654
0206ACC	0.225	6.12	0.552	1.614	1.448
0303ACC	0.018	0.78	0.138	1.208	1.198
0304ACC	0.079	2.53	0.357	1.438	1.048
0305ACC	0.198	5.01	0.535	1.535	1.609
0306ACC	0.245	10.95	0.763	1.184	1.317

Şekil 8.55’de accropode bloklar için birim oturmanın zemin ivmesine göre değişimleri görölmektedir. Şekil 8.55a’da birim oturma ile zemin ivmesi arasındaki korelasyon, Şekil 8.55b’de zemin ivmesi ile birim oturma arasındaki değişim gösterilmektedir. İvme ile birim oturma arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı  $R=0.97$  olarak bulunmuştur. Değişimi veren ifade ise;

$$\frac{S_c}{h_i} = 0.50a_g^{1.75} \quad (8.15)$$

şeklindedir.

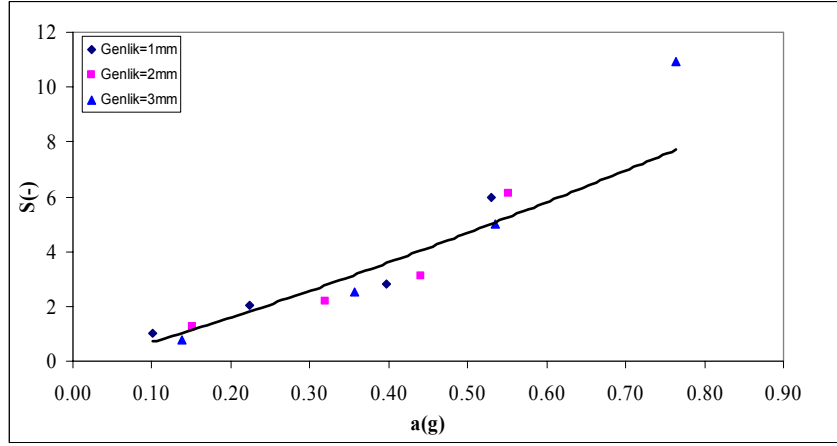
Bu şekillerden 0.1-0.3g aralığındaki ivme değerlerinde oluşan birim oturmaların büyük değişimler göstermediği, 0.3-0.5g ivme aralığında birim oturmalarda ani bir artış oluştugu ve 0.5g’den büyük ivme değerlerinde ise bu artış miktarının azalarak nihai oturmaya ulaştığı görölmektedir.



Şekil 8.55 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi

Şekil 8.56'da şevdeki hasar seviyesi (S) ile zemin ivmesi değerlerinin değişimi görülmektedir. Değişimin korelasyon katsayısı  $R=0.95$  olarak hesaplanmıştır ve iki değişken arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca hasar seviyeleri ile zemin ivmesi arasındaki değişimi ifade eden bağıntı aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

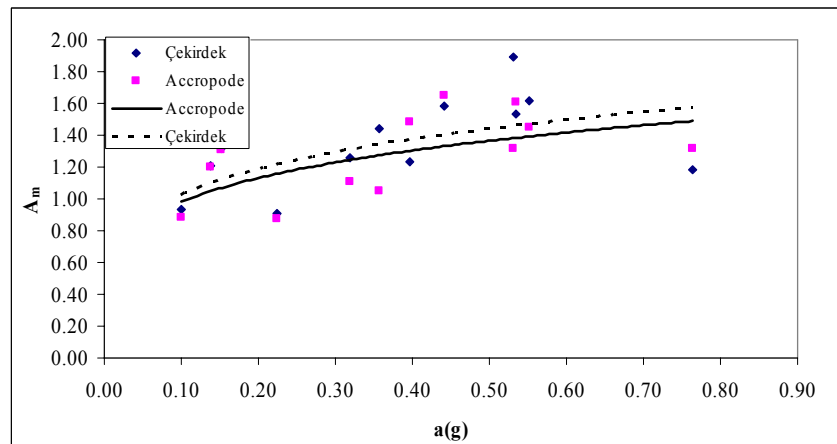
$$S = 10.59a_g^{1.18} \quad (8.16)$$



Şekil 8.56 Hasarın zemin ivmesi ile değişimi

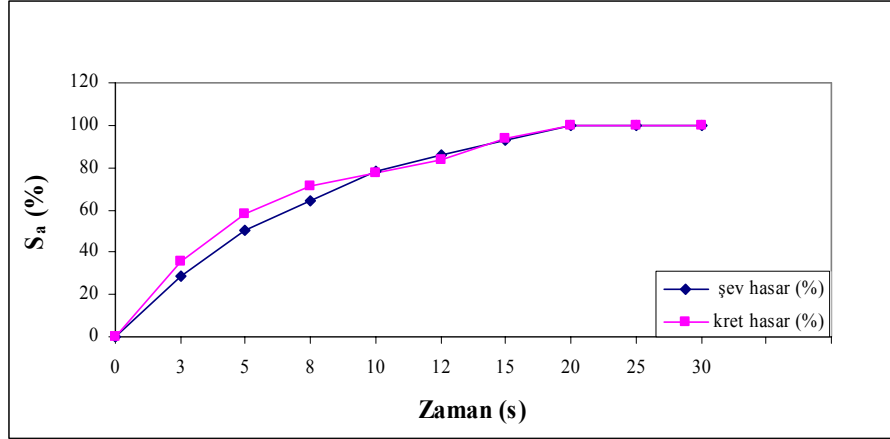
Şekil 8.56'dan görüldüğü gibi zemin ivmesindeki artış ile hasar seviyeleri artmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi hasar seviyesindeki artış 0.4-0.5g aralığına kadar doğrusala yakın bir davranış göstermekte, 0.5-0.6g aralığında ise bir sıçrama görülmektedir. Tam hasara ise 0.7g'den sonra ulaşılmaktadır. Kesitin rijit taban üzerinde olması ve accropode blokların yüksek kenetlenme yetenekleri sayesinde şev üzerinde kaymaların az olması ancak yüksek bir zemin ivmesinde tam hasara ulaşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca tek tabaka olarak kullanılmaları yüzünden deprem etkisi sonucunda oluşan yer değiştirmeler ve kaymalarda özellikle krete yakın bölgelerde yer yer çekirdek malzemesinin görünmesine neden olmaktadır. Bu durum dalga etkisine karşı bu noktalarda yıkanma sonucunda çekirdek malzemesinin kaybolması şeklinde gözlemlenmektedir.

Accropode dalgakıran modelinde şevde ve çekirdekte meydana gelen ivme değişimleri belirlenerek Şekil 8.57'de her iki değişim birlikte gösterilmiştir, böylece ivme büyümesi en fazla çekirdekte meydana geldiği anlaşılmaktadır.

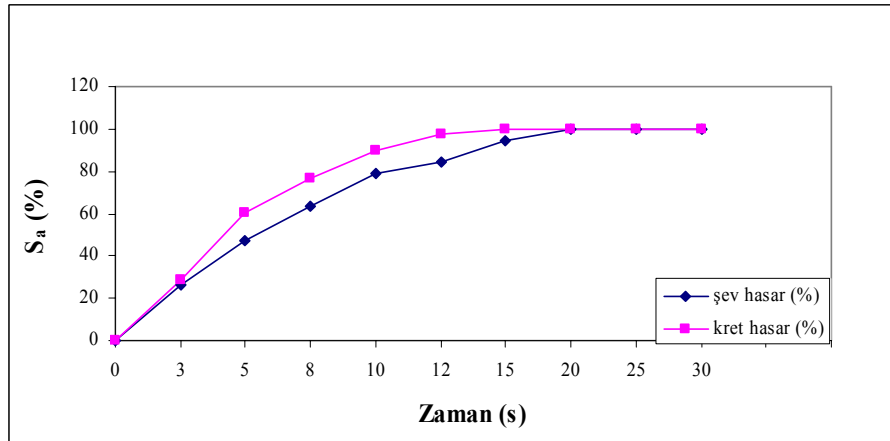


Şekil 8.57 İvme büyütme değerlerinin değişimi

Ayrıca deneyler SVHS kamera ile kaydedilmiş ve model dalgakıranın sismik davranışı görüntü işleme yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 8.58-59'da 3 mm genlik 5-6 Hz deney koşullarında oluşan hasarın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Hasarın yaklaşık %80'lik kısmı ilk 10 s içinde olurken, yaklaşık 30 s'lik süre sonunda hasar tamamlanmaktadır.



Şekil 8.58 Accropode bloklulu dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



Şekil 8.59 Accropode bloklulu dalgakıran için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

## 8.6 Core-loc Dalgakıranların Sismik Davranışı

Core-loc beton bloklulu dalgakıran modeli nominal çapı,  $D_n$ , 5.04 cm olan blokların, kesit üzerine şaşırtmalı olarak ve tek sıra dizilmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 8.60). Modelin hazırlanması ve uygulanan deney yöntemi diğer yapay bloklarda uygulanan yöntemle aynıdır. Modele uygulanan zemin ivmesi aralığı ise 0.154-0.687g'dir. deney koşulları Çizelge 8.15, 8.16 ve 8.17'de özetlenmiştir.



Şekil 8.60 Core-loc bloklü dalgakıran modelinin şev görünümü

Çizelge 8.15 Genlik ve frekans değerleri

Genlik (mm)	Frekans (Hz)			
	1	3	4	5
2	3	4	5	6
3	3	4	5	6

Çizelge 8.16 Core-loc kesit geometresine ait ölçüm sonuçları (II.Model)

D.N	Zemin ivmesi (g)	Maksimum Düşey Deplasman (mm)	şev (mm <sup>3</sup> )		şev (mm <sup>2</sup> )		şev (mm <sup>2</sup> )	şev
		(Sc)	(-)V × 10 <sup>5</sup>	(+)V × 10 <sup>5</sup>	(-)A × 10 <sup>3</sup>	(+)A × 10 <sup>3</sup>	A  × 10 <sup>3</sup>	hasar(S)
103COR	0.154	6.64	15.59	17.94	1.61	1.85	0.24	0.65
104COR	0.210	14.50	31.87	31.04	3.29	3.20	0.09	1.33
105COR	0.345	41.10	45.47	49.67	4.69	5.12	0.43	1.90
203COR	0.106	8.54	19.70	21.36	2.03	2.20	0.17	0.82
204COR	0.241	16.58	35.38	50.42	3.65	5.20	1.55	1.48
205COR	0.466	87.10	70.28	63.04	7.24	6.50	0.75	2.93
206COR	0.552	138.18	124.48	152.35	12.83	15.71	2.87	5.20
303COR	0.134	9.62	25.11	24.96	2.59	2.57	0.02	1.05
304COR	0.307	29.40	46.46	80.45	4.79	8.29	3.50	1.94
305COR	0.511	103.20	141.40	104.56	14.58	10.78	3.80	5.90
306COR	0.687	141.30	185.43	177.69	19.12	18.32	0.80	7.74

Çizelge 8.17 Core-loc bloklı dalgakıran kesitinde boyutsuz deformasyon miktarlarının sismik parametrelere bağlı değişimleri

Deney No	Birim oturma $\left(\frac{S_c}{h_i}\right)$	Hasar seviyesi (S) Tetrapod	Sismik ivme a(g)	Çekirdek İvme büyümesi (A <sub>m</sub> )	Tetrapod İvme büyümesi (A <sub>m</sub> )
0103COR	0.011	0.65	0.154	1.166	1.038
0104COR	0.025	1.33	0.210	1.132	1.102
0105COR	0.073	1.90	0.345	1.347	1.106
0203COR	0.014	0.82	0.106	0.992	0.941
0204COR	0.028	1.48	0.241	1.354	1.105
0205COR	0.148	2.93	0.466	1.250	1.287
0206COR	0.235	5.20	0.552	1.614	1.448
0303COR	0.017	1.05	0.134	1.137	1.076
0304COR	0.051	1.94	0.307	1.059	0.898
0305COR	0.182	5.90	0.511	1.535	1.609
0306COR	0.246	7.74	0.687	1.007	1.357

Şekil 8.61'de core-loc bloklar için birim oturma'nın zemin ivmesine göre değişimleri görölmektedir (Şekil 8.61a'da zemin ivmesi-birim oturma korelasyonu ve Şekil 8.61b'de zemin ivmesi-birim oturma değişimi). İvme ile birim oturma arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı R=0.97 olarak bulunmuştur. Değişimi veren ifade ise;

$$\frac{S_c}{h_i} = 0.52a_g^{1.82} \quad (8.17)$$

şeklindedir.

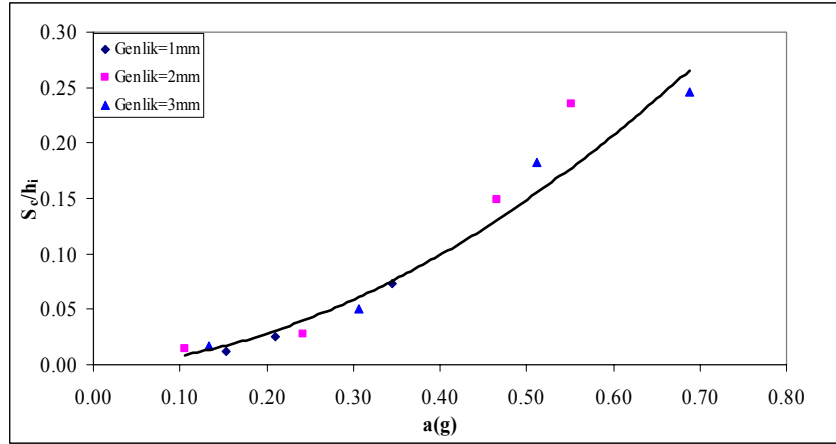
Şekil 8.61'de görüldüğü gibi 0.3-0.5g ivme aralığında birim oturmalarda ani bir artış oluşmakta ve 0.5g'den büyük ivme değerlerinde ise bu artış miktarı azalarak nihai oturmaya ulaşmaktadır.

Şekil 8.62'de hasar seviyesinin uygulanan zemin ivmesine göre değişimi gösterilmektedir. İki değişken arasındaki korelasyon katsayısı R=0.95 olarak bulunmuştur. Bu değer hasar seviyesi ile zemin ivmesi arasındaki korelasyonun oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Bu değişimi ifade eden bağıntı ise

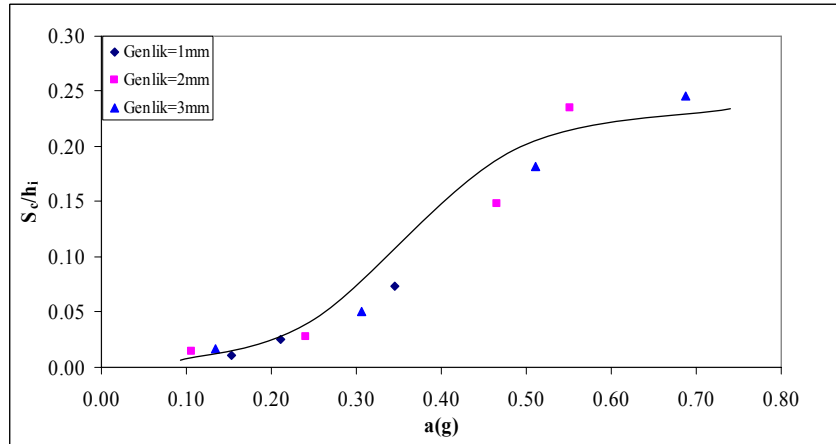
$$S = 9.86a_g^{1.25} \quad (8.18)$$

olarak bulunmuştur.

Şekil 8.62'den görüldüğü gibi zemin ivmesindeki artış ile hasar seviyeleri artmaktadır. Hasar seviyesindeki artış 0.4-0.5g aralığında artış göstermektedir. Core-loc bloklı dalgakıran modeli için mevcut deney şartlarında tam hasar durumu oluşmamıştır. Kesitin rijit taban üzerinde olması ve core-loc blokların accropode bloklara benzer şekilde yüksek kenetlenme yetenekleri sayesinde şev üzerinde kaymaların az olması yüksek zemin ivmelerine karşı direnç göstermesine sebep olmaktadır.

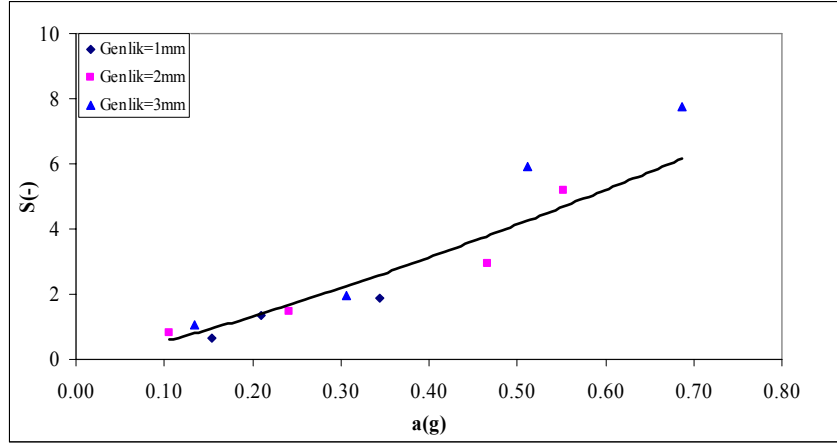


a)



b)

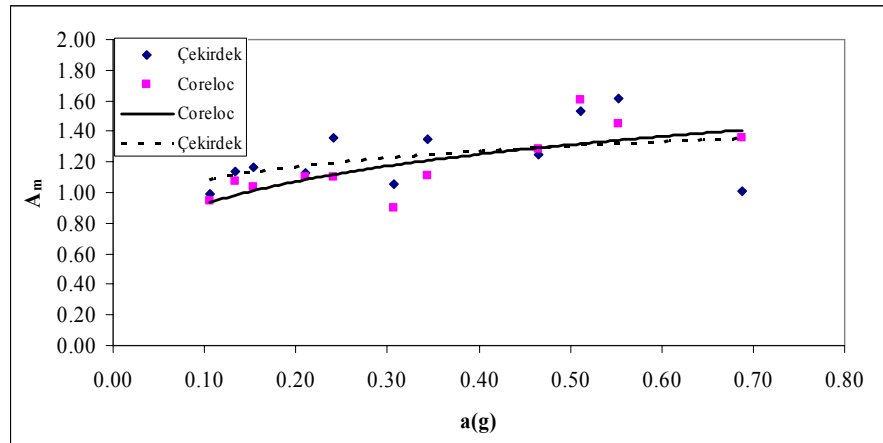
Şekil 8.61 Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimi



Şekil 8.62 Hasar seviyesinin zemin ivmesi ile değişimi

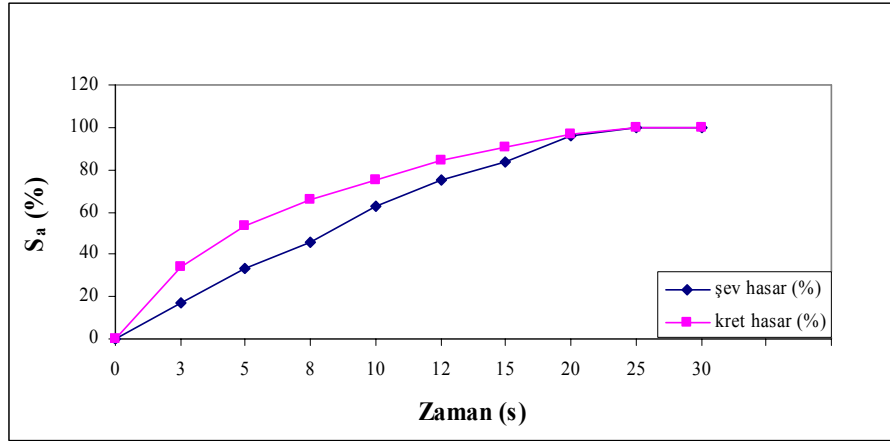
Şekil 8.63'de şevde ve çekirdekte oluşan ivme büyütme değerleri gösterilmiştir. Çekirdekdeki ivme büyütmesinin 0.4g'ye kadar daha büyük olduğu, bu zemin ivmesinden sonra şevdeki ivme büyütmesinin daha büyük olduğu görülmektedir.

Model dalgakıranın sismik davranışı görüntü işleme yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 8.64-65 3 mm genlik 5-6 Hz deney koşullarında oluşan hasarın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Hasarın yaklaşık %80'lik kısmı ilk 10 s içinde olurken, yaklaşık 30 s'lik süre sonunda hasar tamamlanmaktadır.

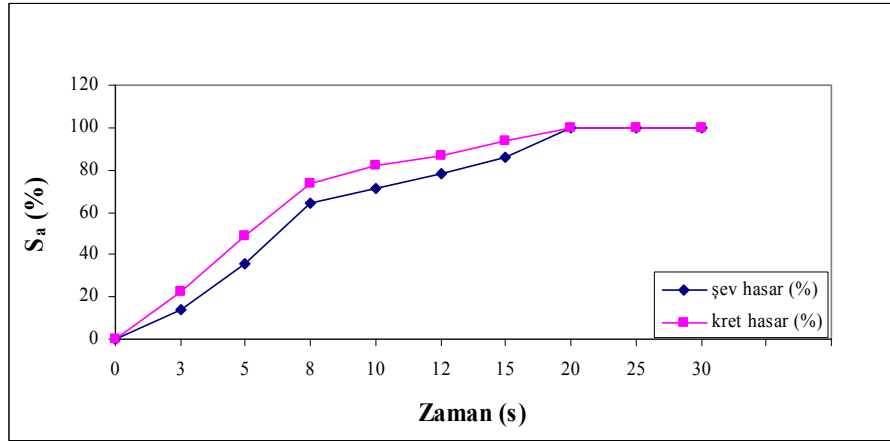


Şekil 8.63 İvme büyütme değerlerinin değişimi





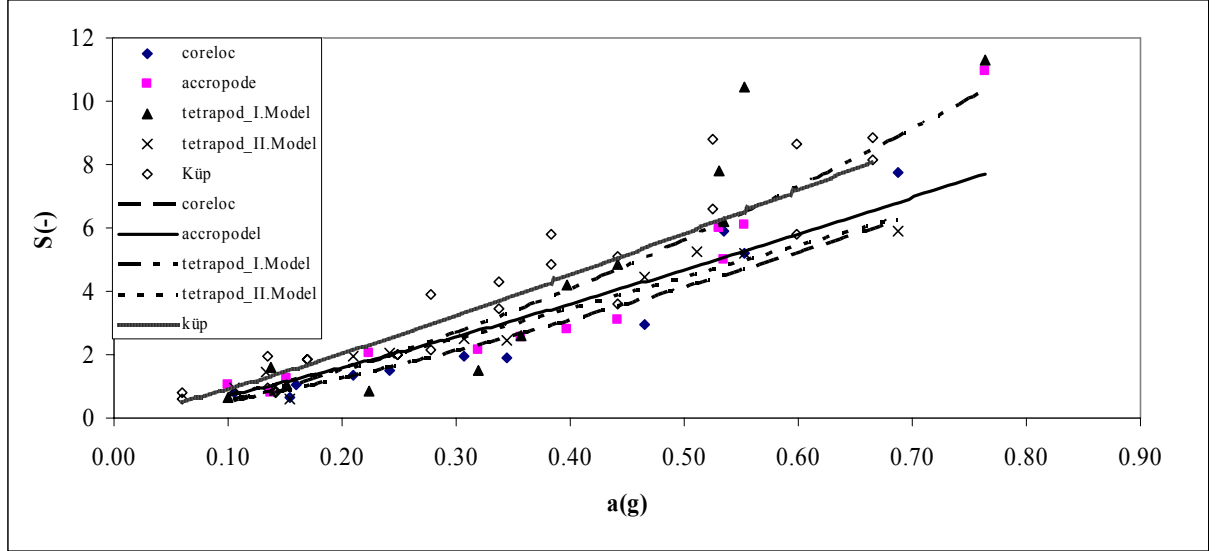
Şekil 8.64 Core-loc bloklü dalgakıran için 3 mm genlik, 5 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği



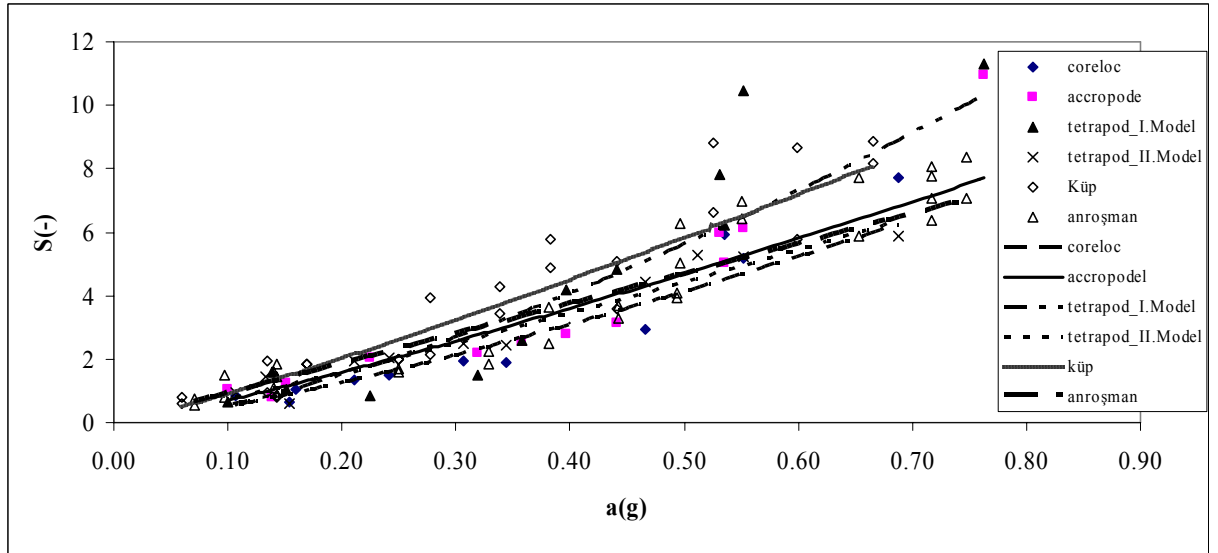
Şekil 8.65 Core-loc bloklü dalgakıran için 3 mm genlik, 6 Hz frekans için hasarın zamanla değişim grafiği

Tüm yapay bloklarda oluşan hasar seviyelerinin zemin ivmesine göre değişimleri aynı grafik üzerinde Şekil 8.66'da gösterilmiştir. Hasar seviyelerinin değişimi incelendiğinde core-loc, accropode ve tetrapod (II. model) bloklü modellerin hasar seviyelerinin değişiminin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Küp ve tetrapod (I. model) model dalgakıranlar ise deprem etkisinde daha fazla hasara uğramaktadırlar. Bunun nedeni küp ve tetrapod (I. modelin) model dalgakıranı oluşturan elemanların kenetlenme yeteneklerinin daha düşük olması ve ağırlık merkezlerinin daha üst bir noktada olmasından kaynaklı olarak yatay etki altında harekete karşı daha dirençsiz olmalarındandır. Buna karşı tek koruma tabakası olarak kullanılan accropode ve core-loc elemanların kullanımı sırasında dikkatli olunmalıdır. Her ne kadar yüksek kilitlenme yetenekleri sayesinde sismik etkinin başlamasından sonra kilitlenerek tek bir eleman gibi direnç göstermelerine rağmen, çekirdek malzemesi ile olan kenetlenmeleri düşük olduğundan oturma ve kayma etkileri sonucunda kret bölgesi yakınlarında yerel olarak çekirdek tabakasının ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Şekil 8.67’de yapay bloklar ile topuklu geleneksel tabakalı dalgakıran modelinde oluşan hasar seviyeleri zemin ivmesine karşılık değişimi birlikte gösterilmiştir. Tabakalı geleneksel taş dolgu dalgakıran modeline topuk teşkil edilmesi halinde küp ve tetrapod (I. Model) modellerden depreme karşı daha fazla dayanım gösterdiği görülmektedir.



Şekil 8.66 Yapay bloklar (küp, tetrapod, accropode, core-loc) için şevde oluşan hasar seviyelerinin zemin ivmesi ile değişimi



Şekil 8.67 Yapay bloklar (küp, tetrapod, accropode, core-loc) ve topuklu geleneksel tabakalı model için şevde oluşan hasar seviyelerinin zemin ivmesi ile değişimi

## 9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada  $\frac{1}{2}$  eğime sahip taş dolgu dalgakıranların deneysel olarak sağlam zemin üzerindeki sismik davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla YTÜ Hidrolik ve Kıyı-Liman Mühendisliği Laboratuvarında 1m yüksekliğinde, 1m genişliğinde ve 4.5 uzunluğunda bir sismik tank geliştirilerek kurulmuştur. Tankın genliği ve frekansı ayarlanabilmektedir. Deneysel çalışmalar genellikle 0.08g ile 1.0g arasında taban ivmesinde gerçekleştirilmiştir. Üniiform anroşman dalgakıran modeli için deneyler kuru ortamda ve su içinde yapılırken, sadece çekirdekten (çakıl) oluşan model, geleneksel taş dolgu dalgakıran ve koruma tabakasında yapay blokların (küp, tetrapod, accropode, core-loc) kullanıldığı modeller için deneyler su içinde yapılmıştır. Su derinliği 40 cm olarak belirlenmiştir. Taş dolgu dalgakıranın çekirdeğini oluşturan çakıl malzeme otomatik bir yağmurlama mekanizması yardımıyla istenilen sıklıkta tüm deneylerde aynı olacak biçimde serilmiştir. Deney sonuçlarından dalgakıran modellerinde oluşan birim oturmalar, hacimsel şekil değiştirmeler, kret ve şevlerde oluşan ivme büyümeleri ile şevlerde oluşan hasar seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

### Üniiform dalgakıran modeli için;

- 1- Kuru ortamda anroşmandan oluşturulan üniiform dalgakıran modeli için uygulanan genlik ve frekansın arttırılmasıyla kret seviyesindeki düşme, hacimsel değişim ve şevlerde meydana gelen hasar miktarı artmaktadır.
- 2- Kuru ortamda anroşmandan yapılan üniiform dalgakıran modelinde belirlenen birim oturma ve hacimsel şekil değiştirmelerdeki değişimin doğrusal olmadığı ve zemin ivmesinin 0.4-0.6g arasında ani bir artış gösterdiği ve ivmenin üst değerinden sonra artışta azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.
- 3- Şevlerde oluşan hasar seviyeleri incelendiğinde Van der Meer (1988) tarafından ifade edilen hasar başlangıcının (S=2), 0.3g'den sonra başladığı ve tam hasar seviyesine (S>8) 0.8g'den sonra ulaştığı görülmektedir.
- 4- Zemin sismik ivmesi dalgakıran kretinde artmaktadır.
- 5- Dalgakıranda oluşan deformasyonların görüntü işleme tekniği ile incelenmesiyle %60'lık kısmının ilk 10 s'de, %80'lik kısmının ilk 20 s'de oluştuğu belirlenmiştir. Yaklaşık 30 s'de kesitteki deformasyon tamamlanmaktadır.

- 6- Su içinde anroşmandan oluşturulan üniform dalgakıran modeli için uygulanan genlik ve frekansın arttırılmasıyla kuru ortamdaki deney sonuçlarına benzer olarak kret seviyesindeki düşme, hacimsel değişim ve şevlerde meydana gelen hasar miktarı artmaktadır. Ancak bu artış kuru ortamdaki artışa göre daha büyük olmaktadır. Bunun nedeni malzemenin batıklık etkisinde olmasından dolayı ağırlık kaybı ve ilave olarak hidrodinamik yüklemenin etkisinde kalmasıdır.
- 7- Su içinde anroşmandan yapılan üniform dalgakıran modelinde belirlenen birim oturma ve hacimsel şekil değiştirmelerdeki değişimin doğrusal olmadığı ve 0.3-0.4g arasında ani bir artış gösterdiği ve ivmenin artmasıyla bu artışın azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.
- 8- Şevlerde oluşan hasar seviyeleri incelendiğinde hasar başlangıcının ( $S=2$ ), 0.2g'de başladığı ve tam hasar seviyesine ( $S>8$ ) 0.6g civarında oluştuğu görülmektedir.
- 9- Zemin sismik ivmesinin şevlerde daha fazla büyüdüğü tespit edilmiştir. Bu durum sismik etki sonucunda şevdeki elemanların kaymalarından kaynaklanmaktadır.
- 10- Görüntü işleme tekniği ile deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; deformasyonun %60'lık kısmı ilk 10 s'de %80'lik kısmı ilk 20 s'de oluşmaktadır. Yaklaşık 30 s'de deformasyon tamamlanmaktadır.
- 11- Çekirdek malzemesinin deformasyonu anroşman malzemesinden daha fazla meydana gelmiştir. Çekirdek malzemesindeki oturma ve hacimsel birim deformasyon sıkışarak yoğunluğunun artmasıyla meydana gelmektedir.
- 12- Su içinde ve kuru ortamda bulunan anroşmandan yapılan üniform dalgakıran modellerinin deney sonuçlarına göre:
  - Birim oturma ve hacimsel şekil değiştirme değişimi su içindeki kesitte daha fazla olmaktadır.
  - Şevde oluşan hasar seviyeleri iki model için incelenirse, su içindeki modelin tam hasara ulaşma noktası zemin ivmesinin 0.6g değerine karşılık gelirken, kuru ortamdaki modelde bu nokta zemin ivmesinin 0.8g değerinden sonra oluşmaktadır.
  - Modelde meydana gelen deformasyonlar ve şevde oluşan hasarlar taş elemanların batıklık etkisinde bulunması ve modelin sismik davranışı sırasında dinamik kuvvetlerin neden olduğu hidrodinamik basınçların etkili olması yüzünden su içinde artmaktadır.

Kuru ortamda ve su içindeki davranışı incelenen anroşmandan yapılan üniform dalgakıran modellerinin sayısal analizlerinden elde edilen sonuçlara göre:

- 13- Newmark Kayan Blok Yöntemi ile kuru ortamdaki dalgakıran şevini kaydıran kritik ivme değeri 0.37g olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi analizi ile kuru ortam ve su içindeki dalgakıran şevleri için yenilme ivmesi değerleri sırasıyla 0.38g ve 0.19g olarak bulunmuştur.
- 14- Dinamik davranış analizi sonuçlarına göre, model kretinde elde edilen ivme tarihçesi ile deneylerde ölçülen ivme tarihçeleri uyumlu bulunmuştur. Aynı analizler deney sonuçlarında elde edilen düşey yer değiştirme ile sayısal analiz sonuçlarında elde edilen düşey yer değiştirme miktarlarının uyumlu olduğunu göstermiştir. Dalgakıran boyunca farklı kesitlerde sayısal modelden elde edilen toplam yer değiştirmeler ile deneylerde ölçülen deforme olmuş dalgakıran kesitlerinin uyumlu oldukları görülmüştür. Bu sonuçlara göre yapılan sayısal modelin, fiziksel modeli yeterince temsil edebildiği görülmüştür.

**Geleneksel tabakalı dalgakıran modeli (topuksuz hal) için;**

- 15- Geleneksel tabakalı dalgakıran modeli için uygulanan genlik ve frekansın artırılmasıyla kret seviyesindeki düşme, hacimsel değişim ve şevlerde meydana gelen hasar miktarı artmaktadır.
- 16- Birim oturma ve hacimsel şekil değiştirmeler incelendiğinde 0.3g'ye kadar değişimin fazla olmadığı 0.4-0.5g aralığında ani bir artışın olduğu ve 0.5g'den büyük ivme değerlerinde bu artış miktarı azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.
- 17- Şevlerde oluşan hasar seviyesi değişimine göre hasar başlangıcının (S=2) 0.25g'de başladığı ve tam hasar durumuna (S>8) 0.4g'de ulaştığı belirlenmiştir. Hasar seviyesi başlangıcı ve tam hasar durumu koşullarına düşük zemin ivmesi değerlerinde ulaşması, anroşman malzemesi ile çekirdek malzemesi arasındaki kenetlenmenin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, anroşman malzemesinin şev üzerindeki hareketini (kayma, dönme, yuvarlanma) arttırmaktadır.
- 18- İvme büyümesi en fazla şev üzerindeki koruma tabakasında sonra çekirdekte ve krette meydana gelmektedir. 0.5g'den büyük zemin ivmelerinin etkimesi durumunda çekirdek ve kretteki ivme büyümeleri değişimi birbirine yaklaşmaktadır.
- 19- Görüntü işleme tekniği ile deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; deformasyonun %60'lık kısmı ilk 10 s'de %80'lik kısmı ilk 20 s'de oluşmaktadır. Yaklaşık 30 s'de deformasyon tamamlanmaktadır.
- 20- Topuksuz geleneksel tabakalı dalgakıran modeli ile su içinde üniform anroşmandan oluşan dalgakıran modeli ve çekirdek malzemesinin sismik davranışı karşılaştırıldığında;

- Birim oturma miktarının en fazla geleneksel tabakalı taş dolgu dalgakıranda, sonra çekirdek malzemesinde ve en son olarak üniform anroşmandan oluşan dalgakıranda oluştuğu belirlenmiştir.
- Hacimsel şekil değiştirme değişiminin ise en fazla çekirdek malzemesinde, sonra geleneksel tabakalı taş dolgu dalgakıranda ve en son olarak üniform anroşman malzemesinden oluşan dalgakıranda oluştuğu belirlenmiştir. Geleneksel tabakalı modelde şev üzerindeki elemanların hareketleri (kayma, dönme, yuvarlanma) sonucunda topuk bölgesinde oluşan yığılma çekirdek malzemesinin yanal yönde yayılmasını engellemekte ve bunun sonucunda hacimsel şekil değiştirmeyi kısıtlayan bir durum ortaya çıkarmaktadır.

**Geleneksel tabakalı dalgakıran modeli (topuklu hal) için;**

- 21- Birim oturma zemin ivmesiyle doğrusala yakın bir değişim göstermektedir ve nihai oturmaya mevcut deney şartlarında uygulanan zemin ivmesi değerlerinden daha büyük bir değerde ulaşacağı belirlenmiştir. Birim oturmanın değişimi 0.5-0.6g değerinden sonra azalmaktadır ancak nihai oturmaya ulaştığı tam olarak görülememektedir.
- 22- Hacimsel şekil değiştirmenin 0.3g'den sonra ani bir artış gösterdiği ve 0.6g'den sonra artışın azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Birim oturmadan farklı olarak mevcut deney şartlarında hacimsel şekil değiştirmenin hemen hemen nihai değerine ulaştığı belirlenmiştir.
- 23- Şevlerde oluşan hasar seviyeleri ile zemin ivmesi arasındaki ilişkiye göre hasar başlangıcı ( $S=2$ ) durumu zemin ivmesinin 0.3g değerinde oluşmakta ve tam hasar durumuna ( $S>8$ ) ise zemin ivmesinin 0.7g olduğu noktada ulaşacağı tespit edilmiştir. Bu durum topuğun şev kaymalarını ve yanal yöndeki yayılmayı engellemesinin sonucudur.
- 24- İvme büyütmelerinin, 0.1-0.3g aralığında şev üzerindeki koruma tabakasında sonra krette ve çekirdekte meydana geldiği, 0.3-0.5g aralığında şev üzerindeki koruma tabakası ile krette hemen hemen aynı, 0.5g'den büyük değerlerde ise kretteki ivme büyümesinin en büyük olduğu belirlenmiştir.
- 25- Görüntü işleme tekniği ile deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; deformasyonun %80'lik kısmı ilk 10 s'de, deformasyonun geri kalan kısmı ise 20 s'de oluşmaktadır.
- 26- Topuksuz geleneksel tabakalı dalgakıran modeli ile topuklu geleneksel tabakalı dalgakıran modeli deney sonuçları karşılaştırıldığında, birim oturma değişimi ile hacimsel şekil değiştirme değişiminin topuklu modelde daha az olduğu belirlenmiştir.

27- Topuklu ve topuksuz geleneksel dalgakıran modeli ile su içindeki üniform anroşmandan oluşan dalgakıran modellerinin şevlerinde oluşan hasar seviyeleri göre modele topuk inşa etmek hasar seviyesini önemli miktarda azaltmakta ve sismik etkiye karşı dalgakıranın direncini arttırmaktadır. Topuklu model ile üniform anroşmandan oluşan modelin hasar seviyeleri değişimi birbirlerine çok yakındır.

**Küp dalgakıran modeli (topuksuz hal) için;**

28- Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimine göre birim oturma 0.2-0.3g civarında belirgin olmakta ve 0.5-0.6g değerlerinde nihai değerine ulaşarak tam hasar durumunu oluşturmaktadır.

29- Hacimsel şekil değiştirme değişimi 0.3g'den sonra ani bir artış göstermekte (hasar başlangıcı) ve 0.5-0.6g değerlerinden sonra azalarak nihai değerine ulaşmaktadır.

30- Şevlerde oluşan hasar seviyeleri ile zemin ivmesi arasındaki ilişkiye göre hasar başlangıcı (S=2) durumu zemin ivmesinin 0.25g değerinde oluşmakta ve tam hasar durumuna (S>8) ise zemin ivmesinin 0.35g olduğu noktada ulaşacağı tespit edilmiştir.

31- Deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; deformasyonun %60'lık kısmı ilk 10 s'de, %80'lik kısmı ise 20 s'de oluşmaktadır. Yaklaşık 30 s'de deformasyon tamamlanmaktadır.

32- İvme büyütmelerinin şev ve krette birbirlerine oldukça yakın olduğu, ancak çekirdekte en büyük olduğu belirlenmiştir.

33- Topuksuz küp bloklı dalgakıran ile geleneksel tabakalı taş dolgu dalgakıranın sismik davranışının karşılaştırılması sonucunda, birim oturma ve hacimsel şekil değiştirme değişiminin küp bloklı dalgakırandan daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Hasar seviyeleri değişimi ise birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır.

**Küp dalgakıran modeli (topuklu hal) için;**

34- Birim oturmanın zemin ivmesi ile değişimine göre birim oturma 0.3-0.4g aralığında belirgin bir artış göstermekte ve 0.5-0.6g değerlerinde artış miktarında azalma görülmektedir.

35- Benzer şekilde hacimsel şekil değiştirme değişimi 0.2-0.3g aralığında ani bir artış göstermekte ve 0.5-0.6g değerlerinden sonra artış miktarı azalma eğilimi göstermektedir. Ancak değişimin nihai değerine mevcut deney şartlarında ulaşılmamıştır.

36- Şevlerde oluşan hasar seviyeleri ile zemin ivmesi arasındaki ilişkiye göre hasar başlangıcı (S=2) durumu zemin ivmesinin 0.25g değerinde oluşmakta ve tam hasar durumuna (S>8) ise zemin ivmesinin 0.65g olduğu noktada ulaşacağı tespit edilmiştir.

- 37- Deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; deformasyonun %60'lik kısmı ilk 10 s'de, %80'lik kısmı ise 20 s'de oluşmaktadır. Yaklaşık 30 s'de deformasyon tamamlanmaktadır.
- 38- İvme büyütmelerinin en fazla şevde, sonra çekirdekte ve en az krette olduğu belirlenmiştir.
- 39- Topuklu ve topuksuz küp dalgakıranların hacimsel şekil değiştirme değişimleri ve birim oturma değişimleri karşılaştırıldığında;
- Hacimsel şekil değiştirme değişiminin düşük ivme (0.1-0.4g) değerlerinde birbirlerine çok yakın olduğu yüksek ivme (>0.4g) değerlerinde topuklu modelin değişiminin daha az olduğu tespit edilmiştir.
  - Birim oturma değişimlerinde ise topuk inşa edilen modelde birim oturma miktarının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.
- 40- Topuklu küp bloklu dalgakıranlar ile topuklu geleneksel tabakalı taş dolgu dalgakıranların sismik davranışı karşılaştırıldığında, birim oturma değişimlerinin hemen hemen aynı olduğu, fakat hacimsel şekil değiştirme değişimlerinde küp bloklu dalgakıranın daha fazla değişim gösterdiği anlaşılmıştır. Hasar seviyelerinin değişiminde ise küp bloklu dalgakıranın daha fazla hasara uğradığı görülmüştür.

**Tetrapod bloklu dalgakıran modeli (I. yerleştirme yöntemi) için;**

- 41- Deney sonuçlarından elde edilen birim oturma sonuçlarına göre 0.1-0.3g aralığındaki ivme değerlerinde oluşan birim oturmalarda büyük değişimler göstermediği, 0.3-0.5g ivme aralığında birim oturmalarda ani bir artış olduğu ve 0.5g'den büyük ivme değerlerinde ise bu artış miktarının azalarak nihai oturmaya ulaştığı görülmüştür
- 42- Şevde oluşan hasar seviyeleri değişiminden, hasar başlangıcının (S=2) 0.35g civarında olduğu, tam hasar durumuna ise (S>8) 0.55g'den sonra ulaşacağı anlaşılmıştır.
- 43- İvme büyütmelerinin en fazla çekirdekte meydana geldiği belirlenmiştir.
- 44- Deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; deformasyonun %80'lik kısmı ilk 10 s'de, deformasyonun geri kalan kısmı ise 20 s'de oluşmaktadır.

**Tetrapod dalgakıran modeli (II. yerleştirme yöntemi) için;**

- 45- Birim oturma değişiminin 0.1-0.3g aralığındaki ivme değerlerinde büyük değişimler göstermediği, 0.3-0.5g ivme aralığında birim oturmalarda ani bir artış olduğu ve 0.5g'den büyük ivme değerlerinde ise bu artış miktarının azalarak nihai oturmaya ulaştığı görülmektedir.



- 46- Şevde oluşan hasar seviyeleri değişimine göre, hasar başlangıcı (S=2) 0.25g civarında oluşurken, mevcut deney koşullarında tam hasar durumu oluşmamıştır.
- 47- İvme büyütmelerinin en fazla çekirdekte meydana geldiği belirlenmiştir.
- 48- Deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; deformasyonun %80'lik kısmı ilk 10 s'de, deformasyonun geri kalan kısmı ise 20 s'de oluşmaktadır.
- 49- Her iki yerleştirme yöntemine göre oluşturulan model dalgakıranların deney sonuçlarının karşılaştırılması durumunda:
- Birim oturma değişimi her iki model içinde hemen hemen aynıdır.
  - Şevde oluşan hasar seviyelerine göre II. yerleştirme yöntemine göre oluşturulan dalgakıran modeli sismik etki karşısında daha stabildir. I. yerleştirme yönteminde tetrapod bloklar arasındaki kenetlenmenin düşük olması ve ağırlık merkezinin daha üst noktada bulunması sonucunda tetrapod blokların sismik etki altında bireysel hareketlerinin daha fazla olması bu durumun sebebidir.

**Accropode dalgakıran modeli için;**

- 50- Birim oturmanın değişiminin 0.1-0.3g aralığındaki ivme değerlerin karşılık büyük değişimler göstermediği, 0.3-0.5g ivme aralığında birim oturmalarda ani bir artış olduğu ve 0.5g'den büyük ivme değerlerinde ise bu artış miktarının azalarak nihai oturmaya ulaştığı görülmektedir.
- 51- Şevde oluşan hasar seviyesi değişimine göre hasar başlangıcı durumu (S=2) 0.25g zemin ivmesinde başlarken, tam hasar durumuna (S=8) 0.75g zemin ivmesi yakınlarında ulaşılmaktadır. Ancak tek tabaka olarak kullanılan bu bloklarda sismik etki altındaki blok hareketleri sonucunda kret bölgesi yakınlarında yer yer çekirdek tabakasının ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.
- 52- Çekirdekte ve şevde oluşan ivme büyütmelerinin karşılaştırılmasından, ivme büyütmesinin çekirdekte daha fazla meydana geldiği bulunmuştur.
- 53- Deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; deformasyonun %80'lik kısmı ilk 10 s'de, deformasyonun geri kalan kısmı ise 20 s'de oluşmaktadır.

**Core-loc dalgakıran modeli için;**

- 54- Birim oturmanın değişiminin 0.1-0.3g aralığındaki ivme değerlerin karşılık büyük değişimler göstermediği, 0.3-0.5g ivme aralığında birim oturmalarda ani bir artış olduğu ve 0.5g'den büyük ivme değerlerinde ise bu artış miktarının azalarak nihai oturmaya ulaştığı görülmektedir.

- 55- Şevde oluşan hasar seviyesi değişimine göre hasar başlangıcı durumu (S=2) 0.35g zemin ivmesinde başlarken, tam hasar durumuna (S=8) mevcut deney şartlarında ulaşamamıştır.
- 56- Görüntü işleme tekniği ile deformasyonun zamansal değişimi incelendiğinde; deformasyonun %80'lik kısmı ilk 10 s'de, deformasyonun geri kalan kısmı ise 20 s'de oluşmaktadır.

### **Genel Değerlendirme**

- 57- Tüm dalgakıran modelleri için deneyler sonunda oluşan deformasyonların (hacimsel şekil değiştirme ve birim oturma) ve hasar seviyelerinin değişimi Çizelge 9.1'de özetlenmiştir. Ayrıca dalgakıran modelleri için elde edilen hasar seviyeleri bağıntıları Çizelge 9.2'de gösterilmiştir. Tüm yapay bloklar ve geleneksel tabakalı taş dolgu dalgakıran (topuklu hal) birlikte değerlendirildiğinde, şevlerde oluşan hasar seviyeleri değişimine göre hasar başlangıcı durumu (S=2), her model için 0.2-0.3g zemin ivmesi aralığında başlarken, tam hasar durumuna (S=8) ulaşma noktaları farklılık göstermektedir. Core-loc, accropode ve tetrapod (II. model) bloklı modellerin hasar seviyelerinin değişiminin birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Küp ve tetrapod (I. model) model dalgakıranlar ise deprem etkisinde daha fazla hasara uğramaktadırlar. Bunun nedeni küp ve tetrapod (I. modelin) model dalgakıranı oluşturan elemanların kenetlenme yeteneklerinin daha düşük olması ve ağırlık merkezlerinin daha üst bir noktada olmasından kaynaklı olarak yatay etki altında harekete karşı daha dirençsiz olmalarındandır. Buna karşı tek koruma tabakası olarak kullanılan accropode elemanların kullanımı sırasında dikkatli olunmalıdır. Her ne kadar yüksek kilitleme yetenekleri sayesinde sismik etkinin başlamasından sonra kilitleyerek tek bir eleman gibi direnç göstermelerine rağmen, çekirdek malzemesi ile olan kenetlenmeleri düşük olduğundan oturma ve kayma etkileri sonucunda kret bölgesi yakınlarında yerel olarak çekirdek tabakasının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Tabakalı geleneksel taş dolgu dalgakıran modeline topuk teşkil edilmesi halinde küp ve tetrapod (I. Model) modellerden depreme karşı daha fazla dayanım gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 9.1 Dalgakıran modelleri için hacimsel şekil değiştirme, birim oturma ve hasar seviyeleri değişimi

Dalgakıran Tipi	Hacimsel Şekil Değişirme		Birim Oturma		Hasar seviyesi	
	Hasar başlangıcı (g)	Nihai hasar(g)	Hasar başlangıcı(g)	Nihai hasar(g)	Hasar başlangıcı (S=2) (g)	Nihai hasar (S>8) (g)
Anroşman(kuru ortamda)	0.55	1.0	0.40	0.90	0.30	0.90
Anroşman(su içinde)	0.30	0.80	0.40	0.70	0.20	0.60
Geleneksel tabakalı (Topuksuz)	0.30	0.60	0.30	0.55	0.25	0.40
Geleneksel tabakalı (Topuklu)	0.30	0.65	0.30	-	0.30	0.70
Küp bloklu (topuksuz)	0.30	0.65	0.20	0.50	0.15	0.35
Küp bloklu (topuklu)	0.30	-	0.30	0.60	0.25	0.65
Tetrapod bloklu (I.Model)	-	-	0.30	0.60	0.35	0.55
Tetrapod bloklu (II. Model)	-	-	0.30	0.60	0.25	-
Accropode bloklu	-	-	0.30	0.60	0.25	0.75
Core-loc bloklu	-	-	0.30	0.60	0.35	-

Çizelge 9.2 Dalgakıran modelleri için elde edilen hasar seviyeleri bağıntıları

Dalgakıran Tipi	Hasar seviyesi bağıntıları	İfade no
Anroşman(kuru ortamda)	$S=7.65a_g^{1.14}$	(5.14)
Anroşman(su içinde)	$S=13.95a_g^{1.30}$	(5.13)
Geleneksel tabakalı (topuksuz)	$S=49.96 a_g^2$	(7.5)
Geleneksel tabakalı (topuklu)	$S=9.43 a_g^{1.01}$	(7.10)
Küp bloklu (topuksuz)	$S = 43.00a_g^{1.62}$	(8.5)
Küp bloklu (topuklu)	$S = 12.94a_g^{1.15}$	(8.10)
Tetrapod bloklu (I.Model)	$S = 15.24a_g^{1.44}$	(8.12)
Tetrapod bloklu (II. Model)	$S = 9.65a_g^{1.12}$	(8.14)
Accropode bloklu	$S = 10.59a_g^{1.18}$	(8.16)
Core-loc bloklu	$S = 9.86a_g^{1.25}$	(8.18)

Bu çalışmadan sonra incelenmesi gerekenler ise aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1-Aynı deneyler zayıf temel koşullarında incelenerek meydana gelecek sismik deformasyonlar belirlenmelidir.

2-Geleneksel taş dolgu modeller öncelikle dalga etkisine maruz bırakılarak koruma tabakasının kilitlemesi sağlandıktan sonra sismik etkiye maruz bırakılmalıdır. Böylece hasar seviyeleri kilitlemeden sonra incelenmelidir.

**KAYNAKLAR**

- Alpan I., (1970), "The geotechnical properties of soils", *Earth-Science Reviews*, 6:5–49.
- Anderson, M. G. & Richards, K. S. (1987) "Slope Stability: Geotechnical Engineering and Geomorphology". John Wiley and Sons, N.Y.
- Bishop, A. W. (1955). "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes" *Geotechnique*, London, Vol. 5, No.1, pp. 7-17.
- Benz, T., (2006), "Small-Strain Stiffness of Soils and its Numerical Consequences", Ph.D. Thesis, Stuttgart Universität.
- Bolt, B.A., (1989), *The Nature of Earthquake Ground Motion*, in F. Naeim, ed., *The Seismic Design Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Bolt, B.A., (1993), *Earthquakes*, W.H. Freeman, New York.
- Chopra, A.K., (1967), "Hydrodynamic pressures on dams during earthquakes", *J. Eng. Mechs. Div. ASCE*, 93: 205-223.
- Chopra, A.K., (1968), "Earthquakes behaviour of reservoir-dam systems", *J. Eng. Mechs. Div. ASCE*, 94:1475-1499.
- Çetin, K. O., (2000), *Reliability-Based Assessment of Seismic Soil Liquefaction Initiation. Hazard*, Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Doctor of Philosophy, University of California at Berkeley.
- Duncan, J. M., Chang, C.-Y., (1970), "Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soil", *ASCE J. Of the Soil Mech. And Found. Div.* Vol. 96, 1629-1653.
- Earthquake Engineering Research Laboratory, (1971) "Strong motion earthquake accelerograms, digitized and plotted data, Volume II - corrected accelerograms and integrated ground velocity and displacement curves"; Part A - Accelerograms IIA001 through IIA020", Technical Report: CaltechEERL:1971.EERL-71-50. California Institute of Technology.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., (1936), "On Seismic Waves", *Gerlans Bietraege zur Geophysik*, 34: 1985-1988.
- Gürer, S., (2000), *Tetrapod Dalgakıranların Stabilitelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hagiwara, T., Yamazaki, H., Shiraishi, S., Fukumori, Y., Satoh, Y., Hirano, T., Yamada, H., Yamada, T., (2004), "Experimental study on stability of a caisson type quay wall by the artificial drain method using recycle material during earthquake", *Oceans '04. Mts/Ieee Techno-Ocean:2092-2097*, 9-12 November2004, Kobe.
- Hanks, T.C., Kanamori, H., (1979), "A Moment Magnitude Scale", *Journal of Geophysical Research*, 84: 2348-2350.
- Hardin, B.O., Drnevich, V.P. (1972), "Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves", *Proc. ASCE: Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 98(SM7):667–692.
- Heaton, T. H., (1986), "Estimating Ground Motions Using Recorded Accelerograms", *Survey in Geophysics*, 8:25-83.
- Iai, S., (1989), "Similitude for shaking table tests on soil-structure-fluid model in 1-g gravitational field", *Soils and Foundations* 29 (1): 105–118

- Janbu, N., (1973), "Slope Stability Computations In Embankment Dam Engineering", Casagrande Memorial Volume, Hirschfield, E., Poulos, S. Eds. John Wiley, New York, 47-86.
- Kanamori, H., (1977), "The Energy Release in Great Earthquakes", *Journal of Geophysical Research*, 82: 2981-2987.
- Kanamori, H., (1983), "Magnitude Scale and Quantification of Earthquakes", *Tectonophysics*, 93:185-199.
- Ketin, İ., (1988), Genel jeoloji Yerbilimlerine Giriş, Cilt. 1, İTÜ Kitap yayın no: 22, İstanbul.
- Kondner, R. L., (1963), "A Hyperbolic Stress Strain Formulation for Sands", 2. Pan. Am. ICOSFE Brazil, Vol. 1, 289-324
- Kramer, L.S., (2003), Geoteknik Deprem Mühendisliği, (Çev. K. Kayabalı), Gazi Kitapevi, Ankara.
- Lin, M. L., Wang, K., L., (2006), "Seismic Slope Behavior in a Large-scale Shaking Table Model Test", *Engineering Geology*, 86:118-133.
- Masing, G., (1926), "Eigenspannungen und Verfestigung beim Messing", In Proc. 2nd Int. Congr. Appl. Mech., Zurich.
- Memos, C.D. and Protonotarios, J., (1992), "Patras breakwater failure due to seismic loading", 23rd International Conference on Coastal Engineering, Chapter 225, pp. 3343-3356. 4-9 Oct. 1992, Venice, Italy.
- Memos, C.D., (2000), "Experimental investigation of the seismic response of rubble-mound breakwaters", *Maritime Engineering and Ports II*, WIT Press, 27-29 September 2000, pp. 319-330, Barcelona, Spain.
- Memos, C.D., Bouckovalas, G. & Tsiachris, A., (2000), "Stability of Rubble-Mound Breakwaters Under Seismic Action", *Proceedings of the 27th International Conference of Coastal Engineering*, ASCE, Sydney, Australia, 16-21 July 2000.
- Memos, C.D., Kiara, A., Pavlidis, E., (2003), "Coupled seismic response analysis of rubble-mound breakwaters", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water and Maritime Engineering* 156, ,I: 23-31.
- Mohajerı, M., Ichıı, K., Tamura, T., (2002), "Modification of the sliding block concept for caisson walls", *The Eleventh Japan Earthquake Engineering Symposium*, 191, pp.1015-1020, November 2002, Tokyo.
- Murphy, J.R, O'Brien, L.J. (1977), "The Correlation of Peak Ground Acceleration Amplitude with Seismic Intensity and Other Physical Parameters", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 67:877-915.
- Newmark, N. M. (1965). "Effects of Earthquakes on Dams and Embankments," *Geotechnique*, 15 (2): 139-160.
- Noson, L.L., Qamar, A., Thorsen, G.W. (1988), *Washington State Earthquake Hazards*, Information Circular 85, Washington Division of Geology and Earth Resources, Olympia, Washington.
- OCDI, (1991), *Technical Standarts and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*.
- PIANC, (2001), *Seismic Design Guidelines for Port Structures*.
- Plaxis V9 Manual, 2009.

- Richter, C.F., (1958), *Elementary Seismology*, W.H. Freeman, San Francisco.
- Sadrekarami, A., Ghalandarzadeh, A. and Sadrekarami, J., (2008) “Static and Dynamic Behavior of Hunchbacked Gravity Quay Walls”, *Soil and Earthquake Engineering*, 28:99-117.
- Seed R B, Çetin K O, Der Kiureghian A, Tokimatsu K, Harder L F, Kayen R., (2003) SPT based probabilistic and deterministic evaluation of seismic soil liquefaction potential, ASCE, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, in press.
- Sotramer, (1973), “Tetrapods”, Grenoble, October, 1973.
- Sugano, T., Nakamichi, M., Sugaya, M., Sezaki, Y., Iwai, T., Moriya, M., Horaya, K., (2004), “Development of "wedged caisson" as a quay wall structure and its application to Hidaka-port Japan”, *Oceans '04. Mts/Ieee Techno-Ocean '04*, 4:2072-2077, 9-12 November 2004, Kobe.
- Tochigi, H., (1995), “Developing a method to assess the seismic resistance of caisson-type breakwaters in severe earthquakes”, *Principles Research Results in fiscal 1994, Annual Research Report*.
- Van der Meer, J. W., (1988a), *Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack*, Doctorate Thesis, Delft Technical University, Netherlands.
- Vucetic, M., and Dobry, R., (1991), “Effect of soils plasticity on cyclic response”, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117 (1): 898-907.
- Westergaad, H.M., (1933), “Water pressures on dams during earthquakes”, *Transactions, ASCE*, 98:418-472.
- Wilson, R.C., Keefer, D.K., (1985), “Predicting the Areal Limits of Earthquakes Induced Landslides” In: Ziony, J. (Ed.), *Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Metropolitan Area*, US Geological Survey, Professional Paper 1360, 317-345.
- Yüksel, Y, Alpar, B, Yalçiner, A,C, Çevik,E, Özgüven, O, Çelikoğlu, (2003), “ Effects of the Marmara Earthquake on the Marine Structures and Coastal Areas”, *ICE, Water and Maritime Eng. Journal*, 156:147-163.
- Yüksel, Y., Çetin, K. O., Özgüven, O., Isik, N. S., Çevik, E., Sümer, B. M., (2004) “Seismic Response of Eregli Fishery Port Rubble Mound Breakwater”, *ICE Maritime Engineering*, 157 (MA 4):151-161.

**İNTERNET KAYNAKLARI**

<http://www.deprem.gov.tr/linkhart.htm>

<http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/turkiye.htm>

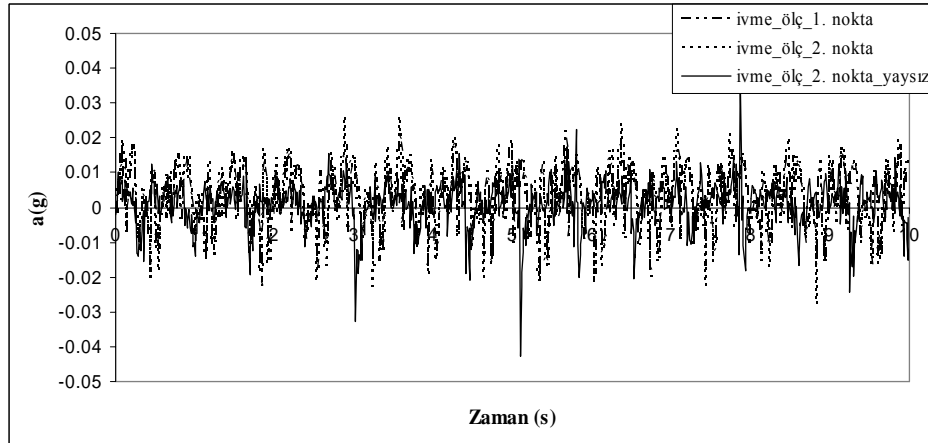
<http://www.tagasoft.com/docs/tslope/a0.html>



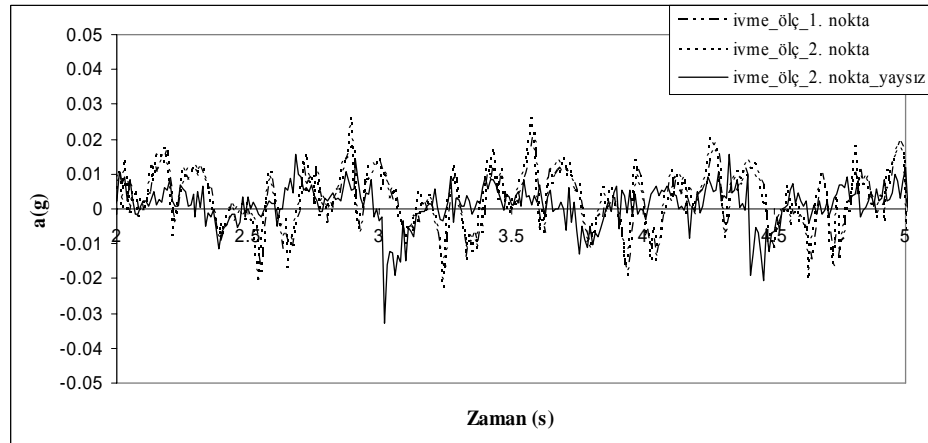
**EKLER**

- Ek 1** Boş durumdaki sarsma tankında ivme ölçerlerin 1 ve 2 nolu noktalara yerleştirilmesi durumunda elde edilen ivme değerimleri
- Ek 2** Üniform anroşman malzemesi ile oluşturulan model için kuru ortamda 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları
- Ek 3** Üniform anroşman malzemesi ile oluşturulan model için su içinde 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları
- Ek 4** Geleneksel tabakalı model (topuksuz) için su içinde 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 7 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları
- Ek 5** Geleneksel tabakalı model (topuklu) için su içinde 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 7 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları
- Ek 6** Küp blok ile oluşturulan topuksuz model için 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 5, 6 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları
- Ek 7** Küp blok ile oluşturulan topuklu model için 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 5, 6 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları

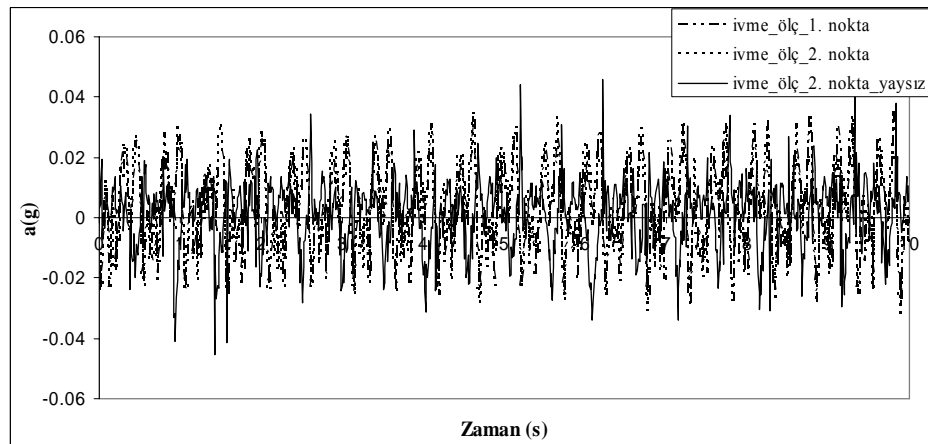
**Ek 1** Boş durumdaki sarsma tankında ivme ölçerlerin 1 ve 2 nolu noktalara yerleştirilmesi durumunda elde edilen ivme değişimleri



(a) 1 mm genlik, 1.5 Hz frekans ve 10 s zaman aralığı için alınan veriler

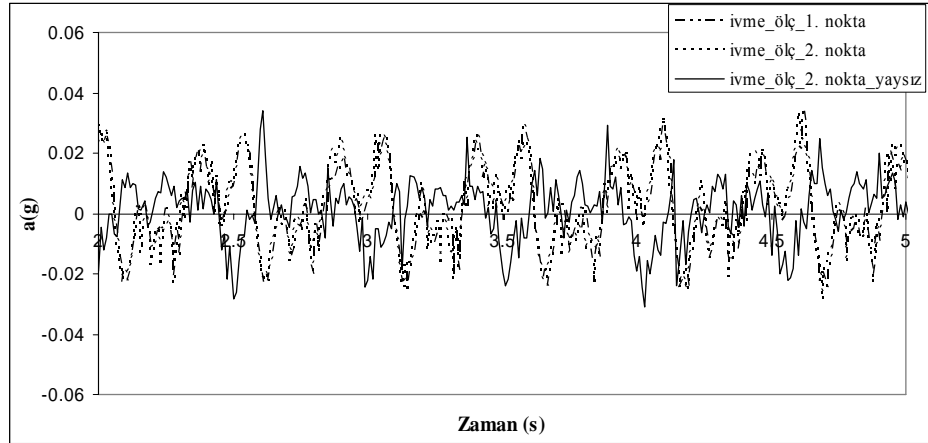


(b) 1 mm genlik, 1.5 Hz frekans ve 2-5 s zaman aralığı için alınan veriler

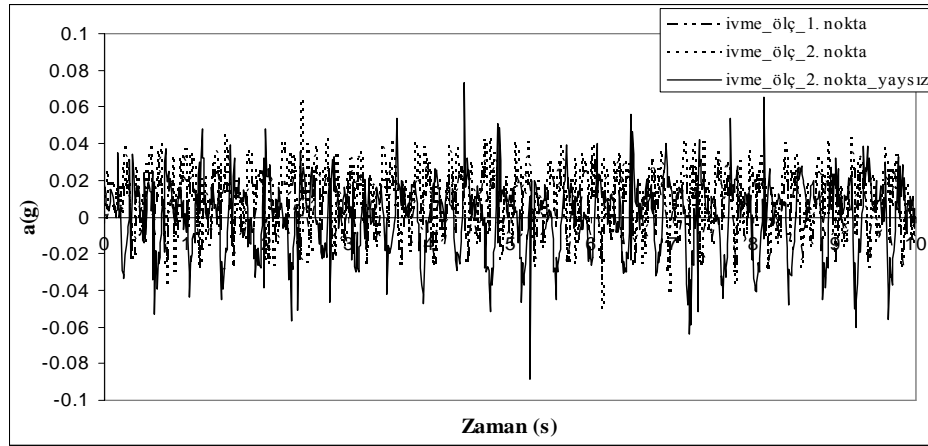


(c) 1 mm genlik, 2 Hz frekans ve 10 s zaman aralığı için alınan veriler

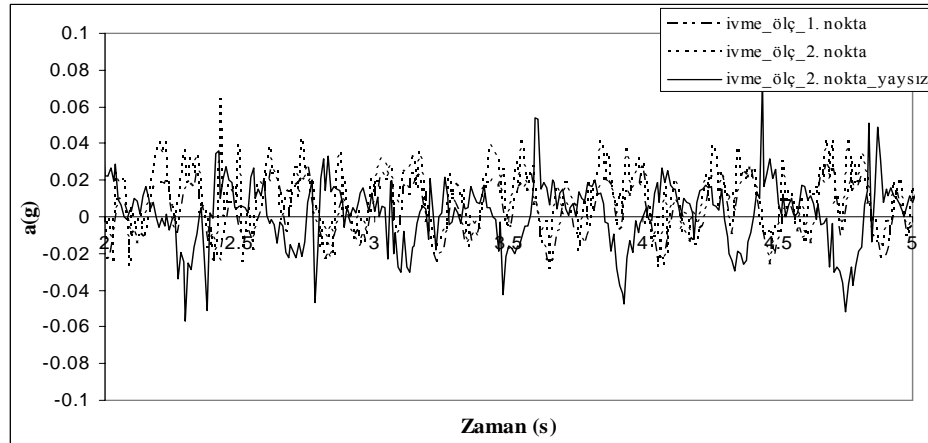
## EK1 (Devam)



(d) 1 mm genlik, 2 Hz frekans ve 2-5 s zaman aralığı için alınan veriler

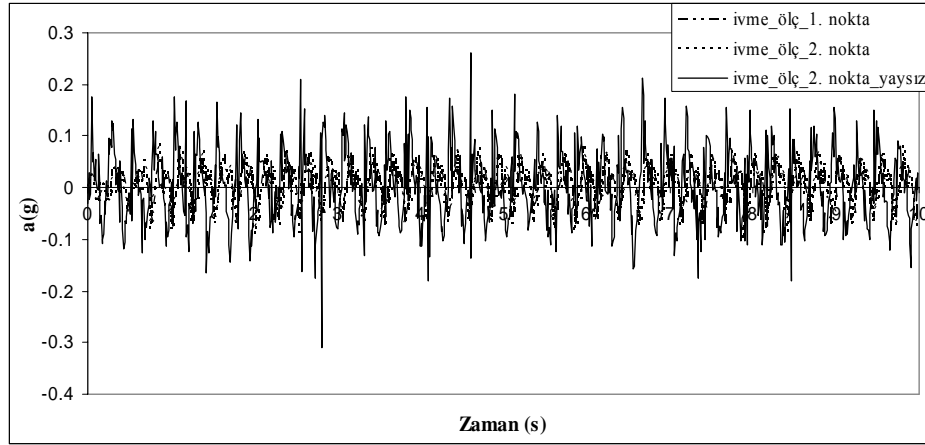


e) 1 mm genlik, 2.5 Hz frekans ve 10 s zaman aralığı için alınan veriler

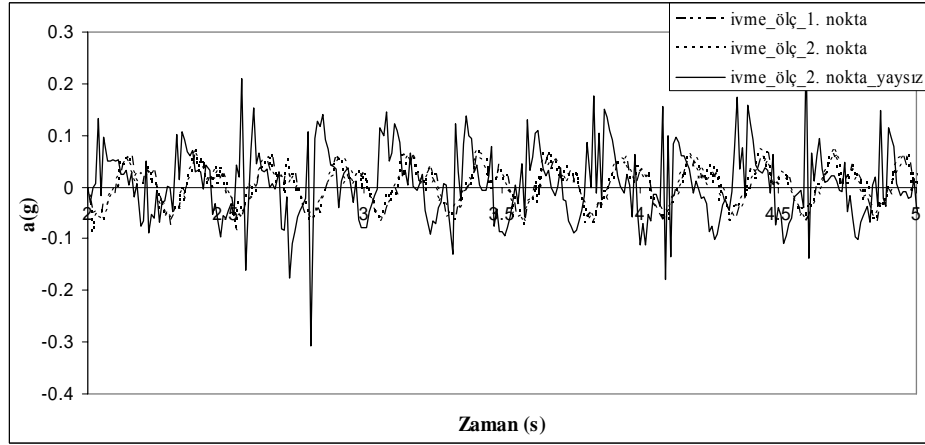


f) 1 mm genlik, 2.5 Hz frekans ve 2-5 s zaman aralığı için alınan veriler

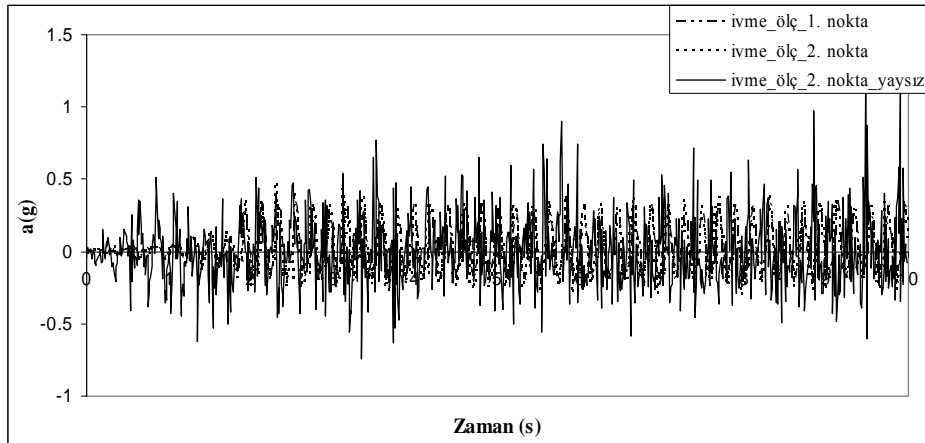
## EK1 (Devam)



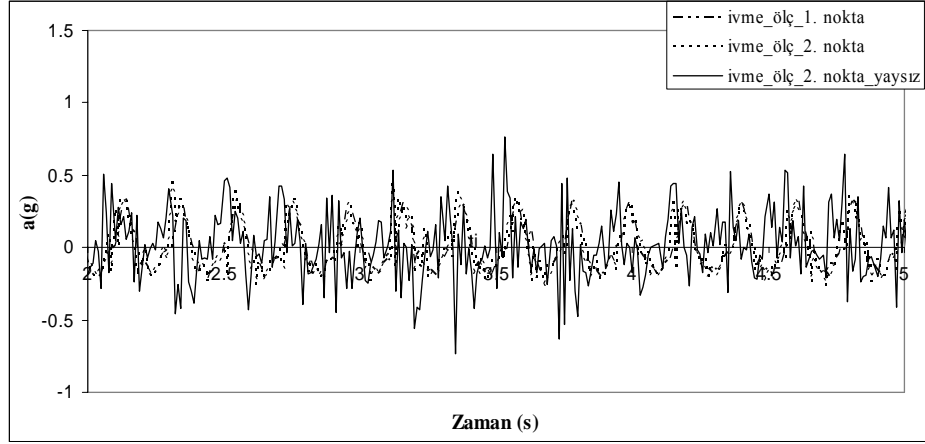
g) 1 mm genlik, 4 Hz frekans ve 10 s zaman aralığı için alınan veriler



h) 1 mm genlik, 4 Hz frekans ve 2-5 s zaman aralığı için alınan veriler



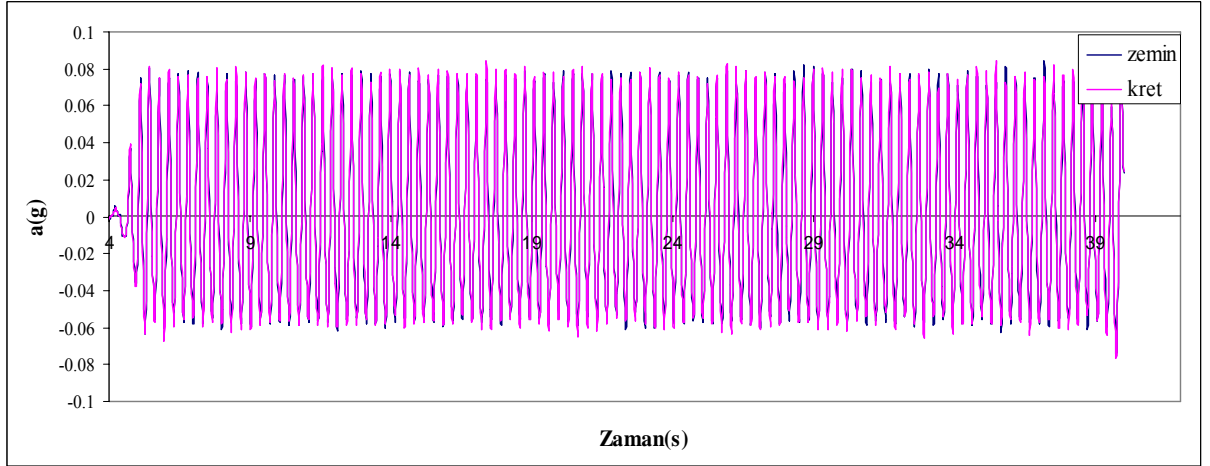
(i) 1 mm genlik, 5 Hz frekans ve 10 s zaman aralığı için alınan veriler

**EK1 (Devam)**

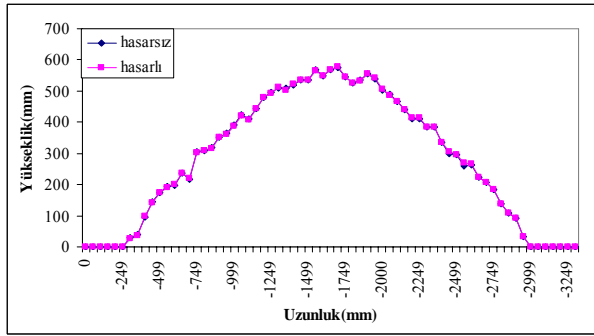
(j) 1 mm genlik, 5 Hz frekans ve 2-5 s zaman aralığı için alınan veriler

Şekil Ek 1.1 1 ve 2 no'lu noktalarda ivme ölçerlerden alınan ivme kayıtları

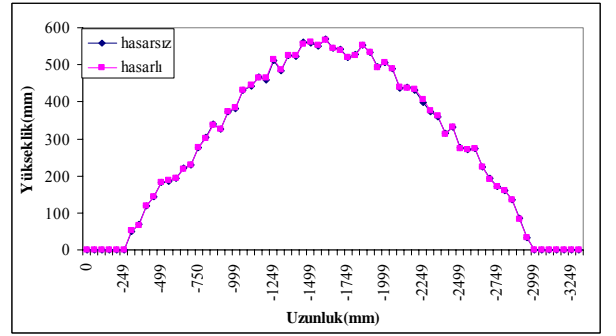
**Ek 2** Üniorm anroşman malzemesi ile oluşturulan model için kuru ortamda 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları



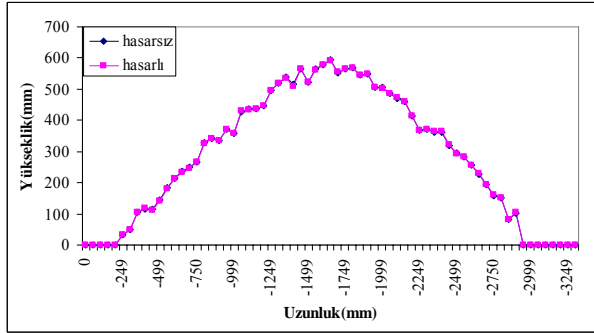
Şekil Ek 2.1 1mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



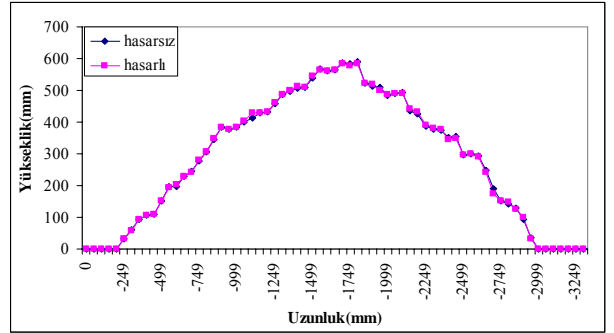
a) 2. nokta



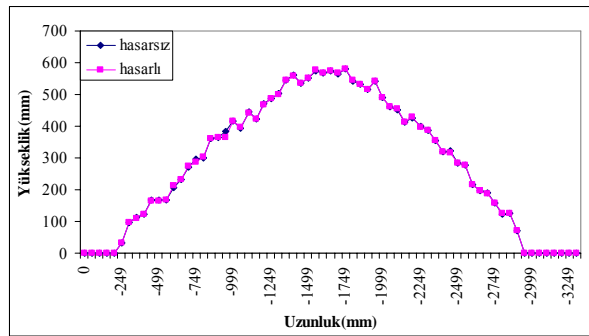
b) 3. nokta



c) 4. nokta



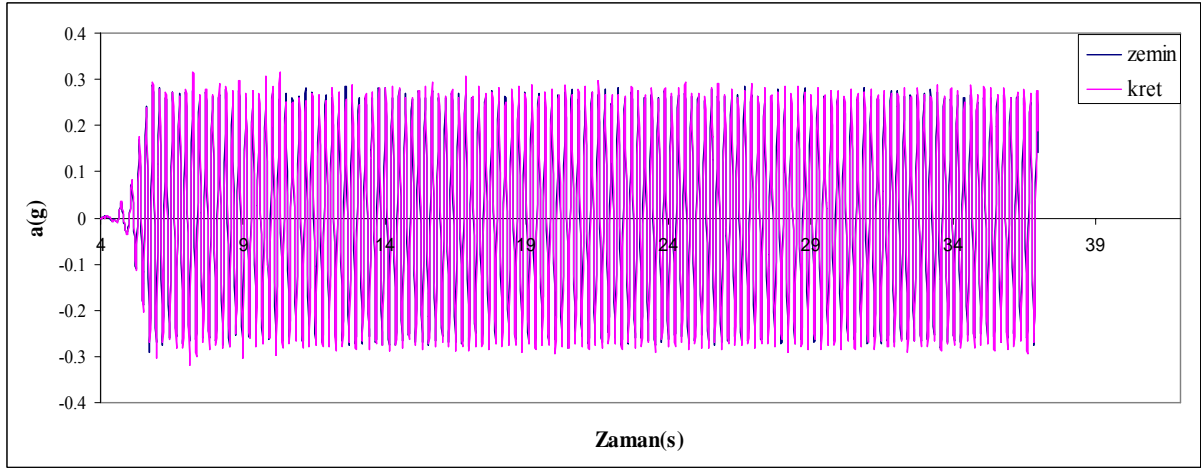
d) 5. nokta



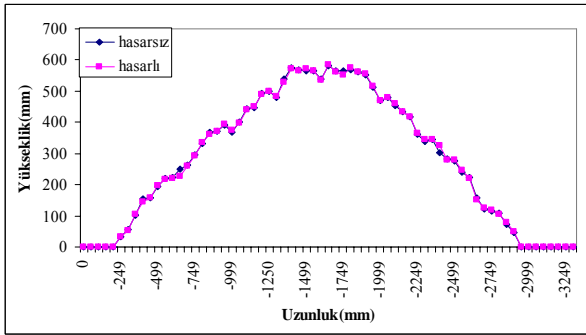
e) 6. nokta

Şekil Ek 2.2 1 mm genlik 3Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

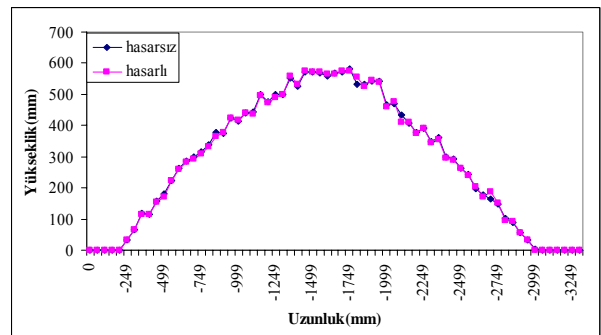
## Ek 2 (Devam)



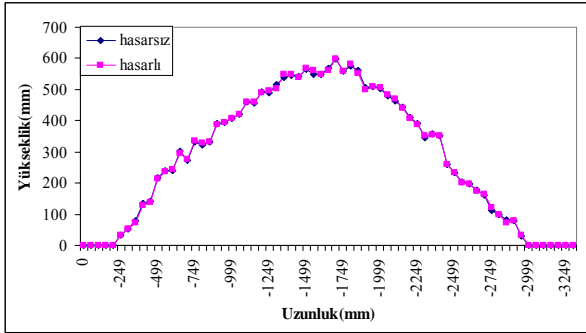
Şekil Ek 2.3 1mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



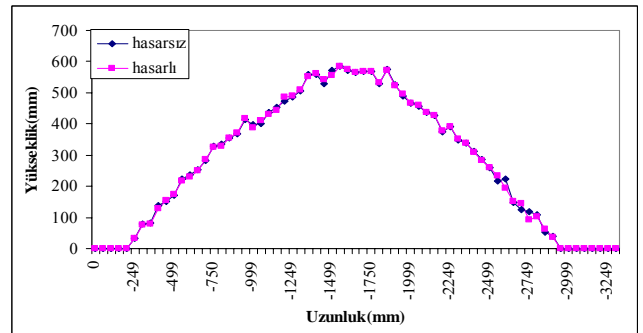
a) 2. nokta



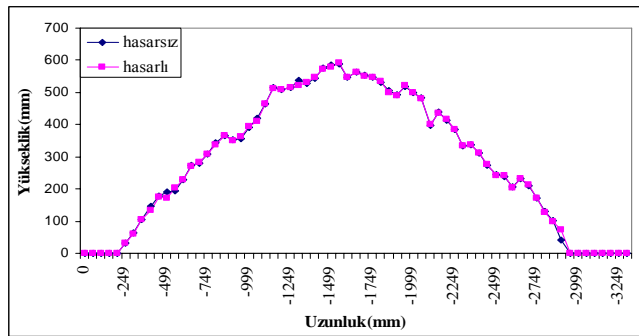
b) 3. nokta



c) 4. nokta



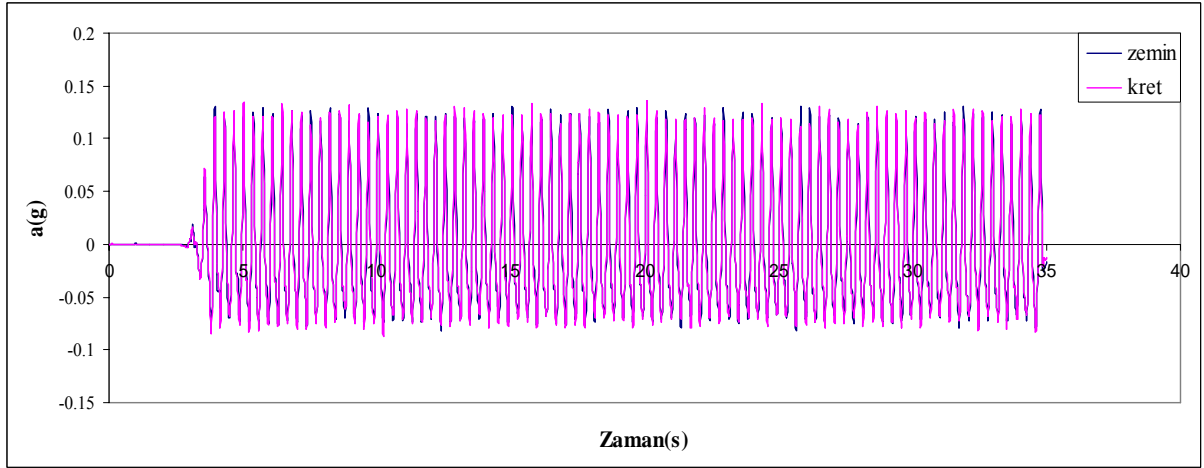
d) 5. nokta



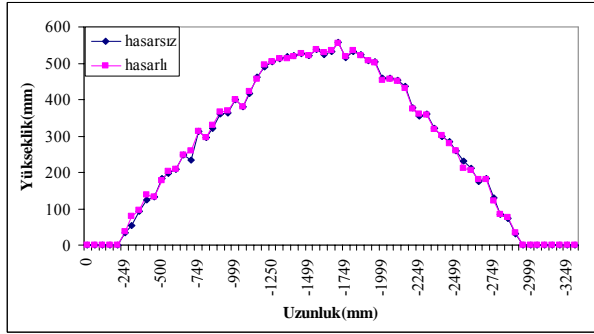
e) 6. nokta

Şekil Ek 2.4 1 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

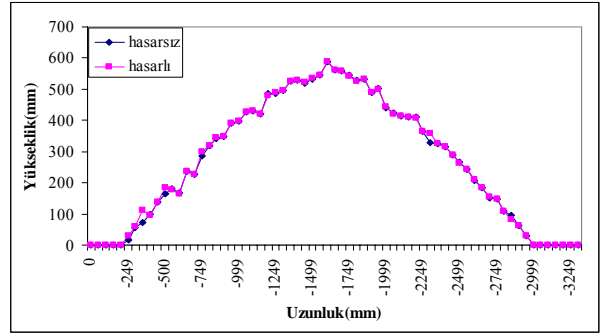
## Ek 2 (Devam)



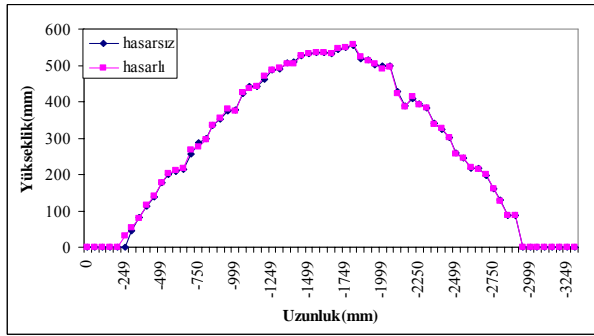
Şekil Ek 2.5 2mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



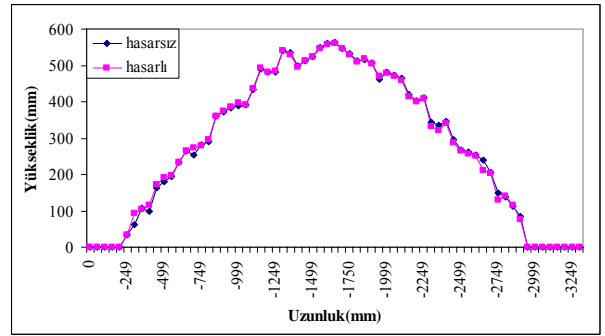
a) 2. nokta



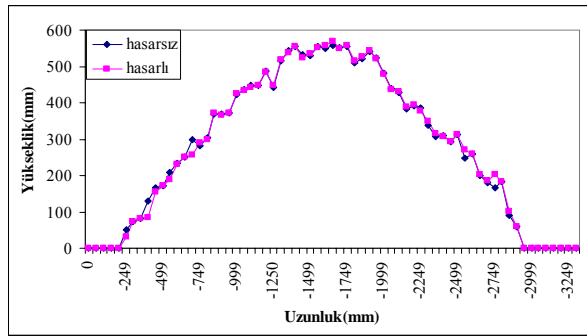
b) 3. nokta



c) 4. nokta



d)5. nokta

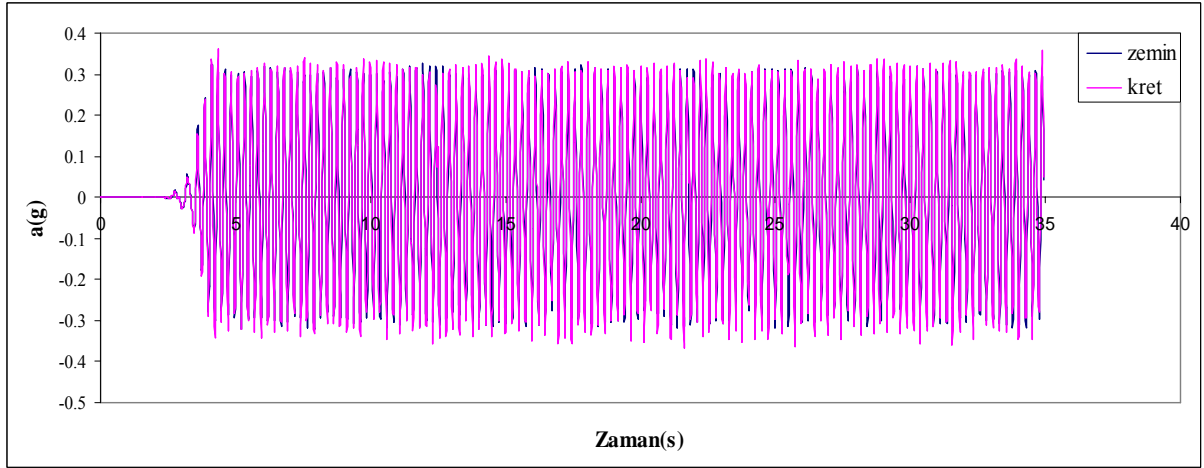


e) 6. nokta

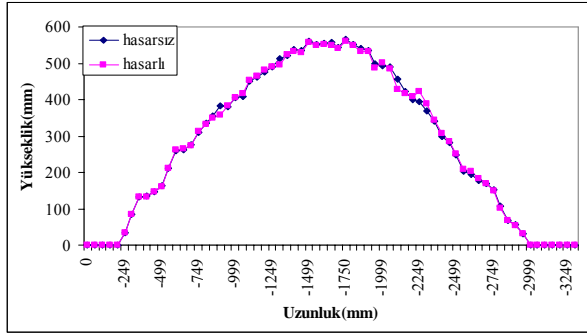
Şekil Ek 2.6 2 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller



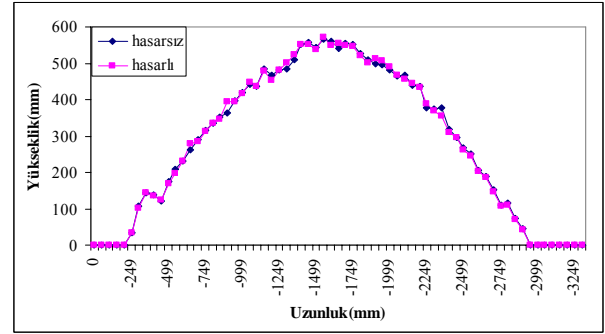
## Ek 2 (Devam)



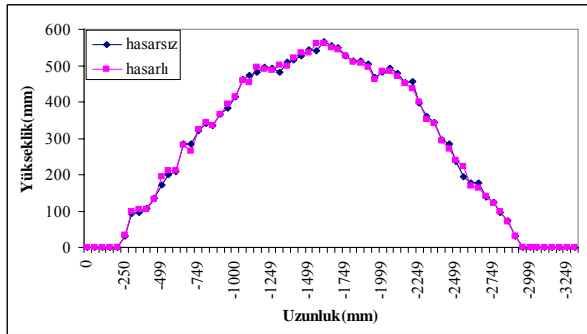
Şekil Ek 2.7 2mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



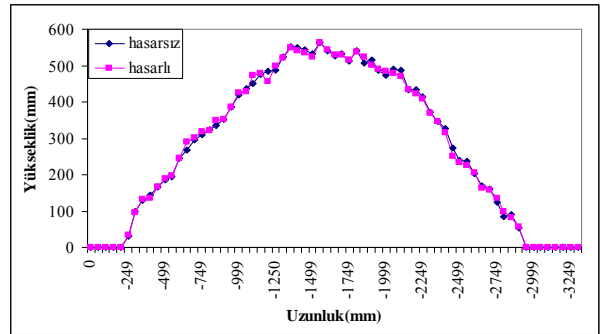
a) 2. nokta



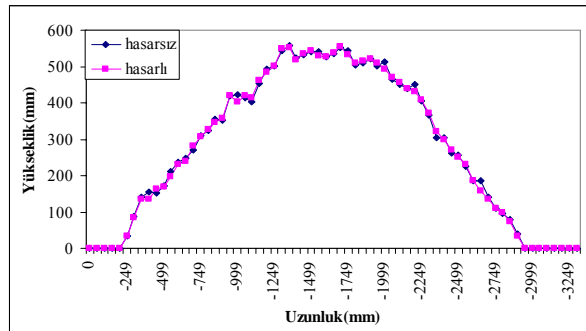
b) 3. nokta



c) 4. nokta



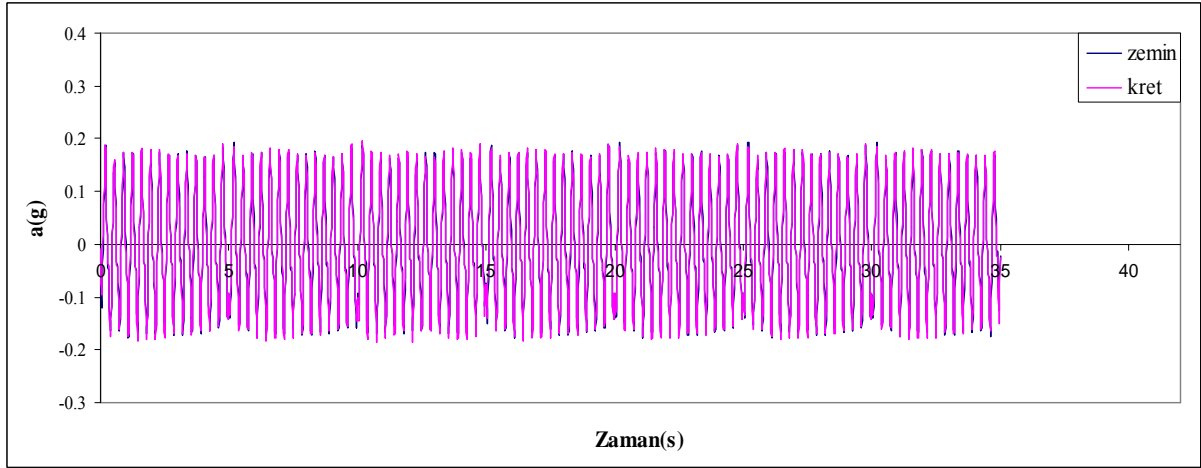
d) 5. nokta



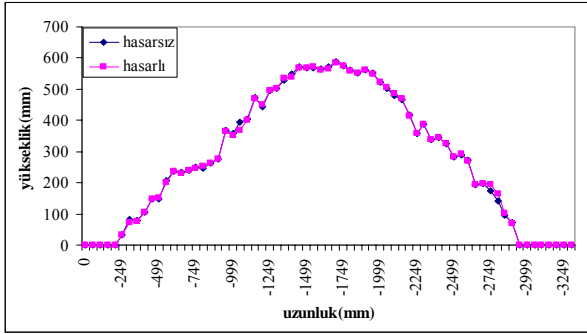
e) 6. nokta

Şekil Ek 2.8 2 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

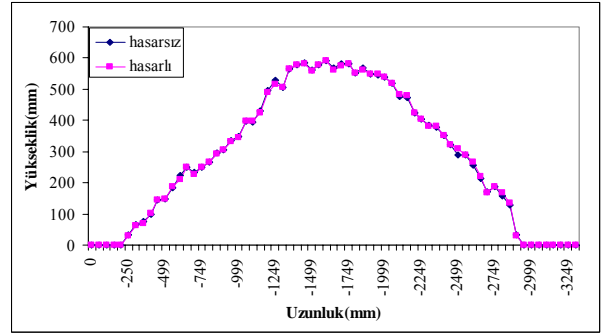
## Ek 2 (Devam)



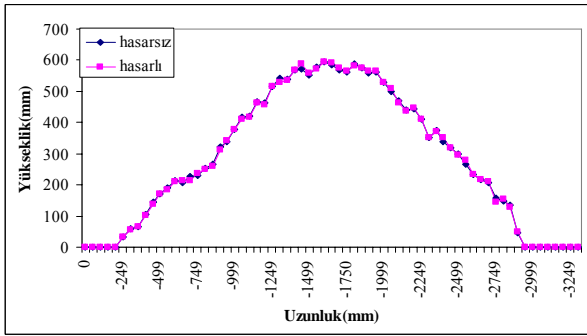
Şekil Ek 2.9 3mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



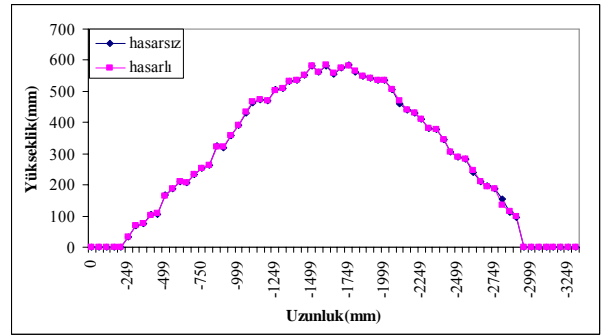
a) 2. nokta



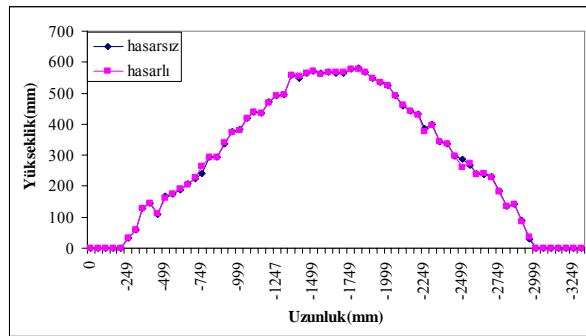
b) 3. nokta



c) 4. nokta



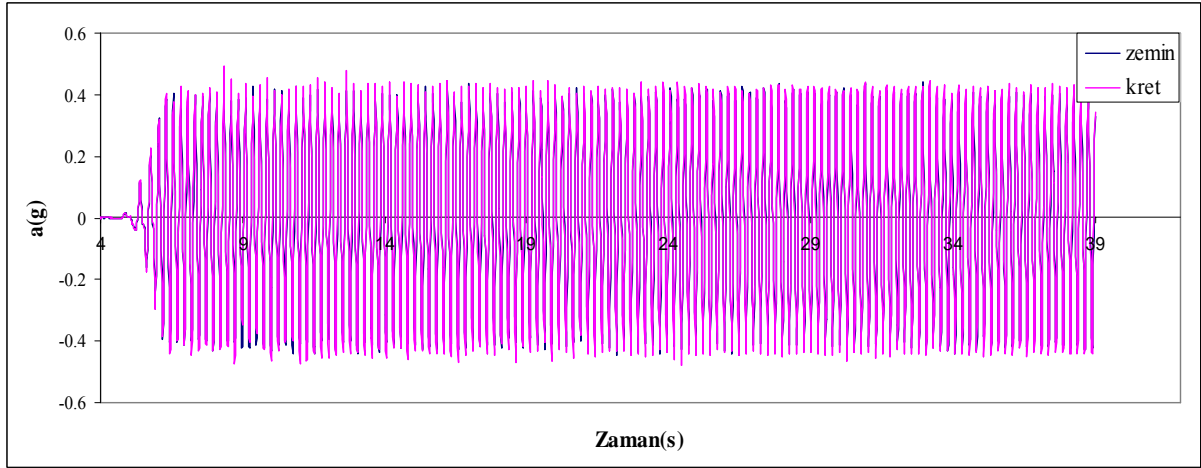
d) 5. nokta



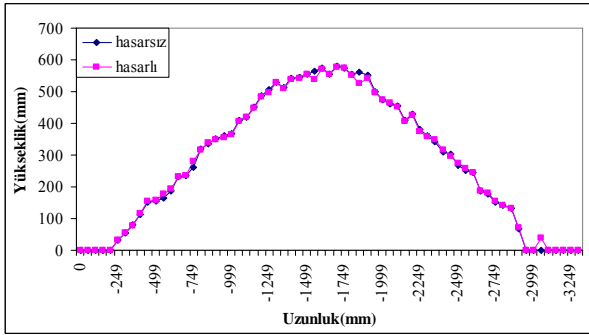
e) 6. nokta

Şekil Ek 2.10 3 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

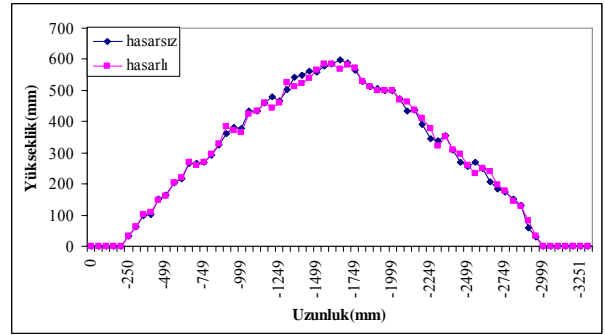
## Ek 2 (Devam)



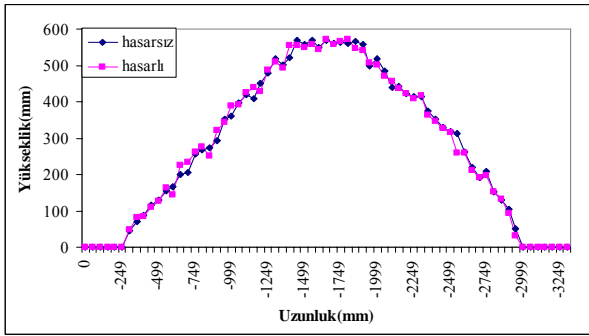
Şekil Ek 2.11 3mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



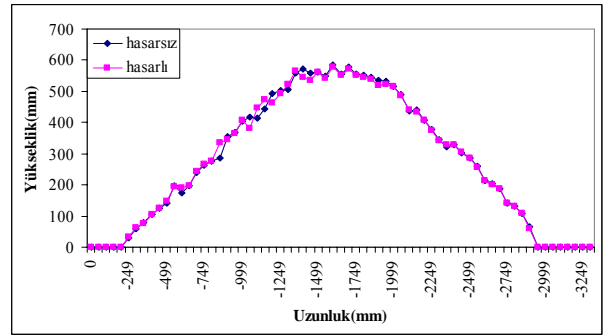
a) 2. nokta



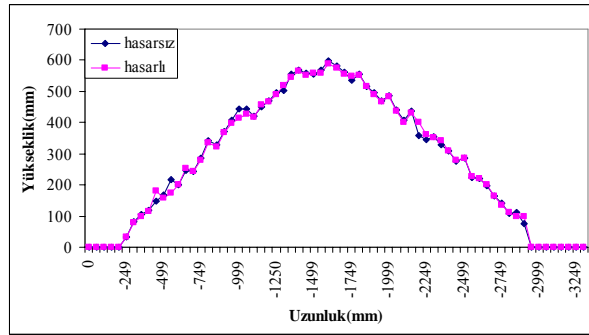
b) 3. nokta



c) 4. nokta



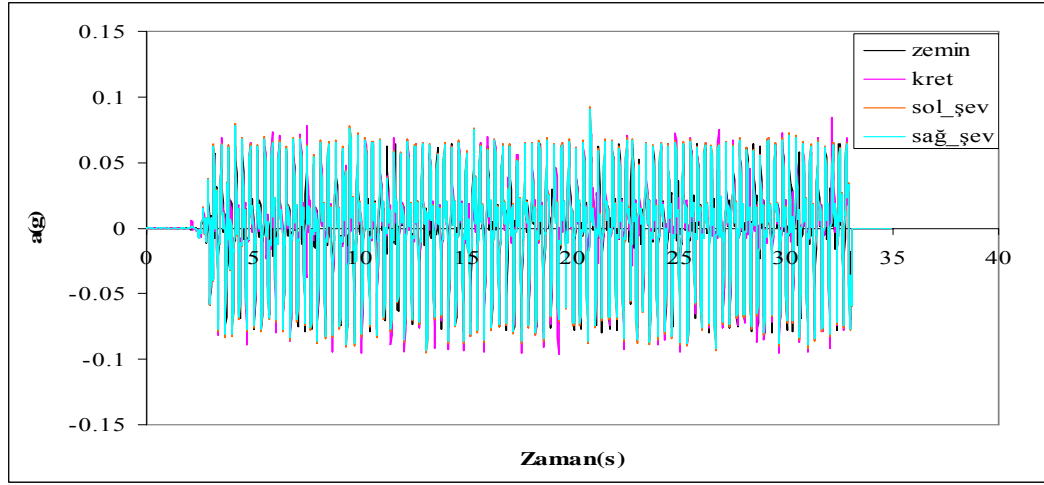
d) 5. nokta



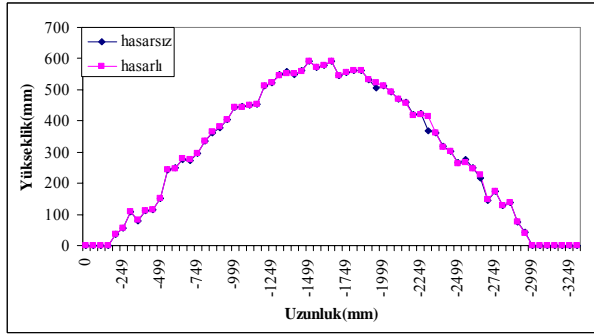
e) 6. nokta

Şekil Ek 2.12 3 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

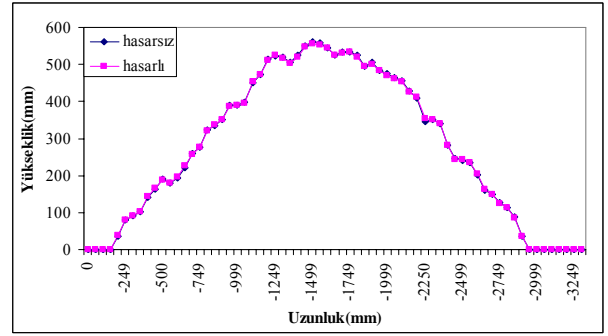
**Ek 3** Üniform anroşman malzemesi ile oluşturulan model için su içinde 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları



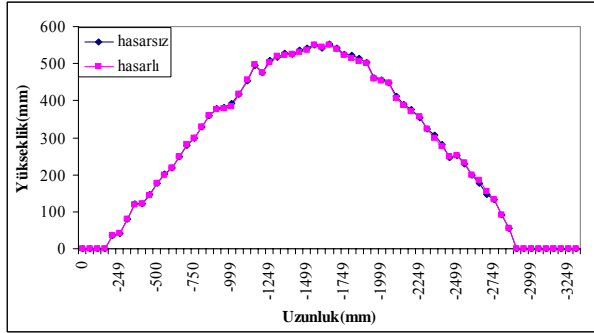
Şekil Ek 3.1 1mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



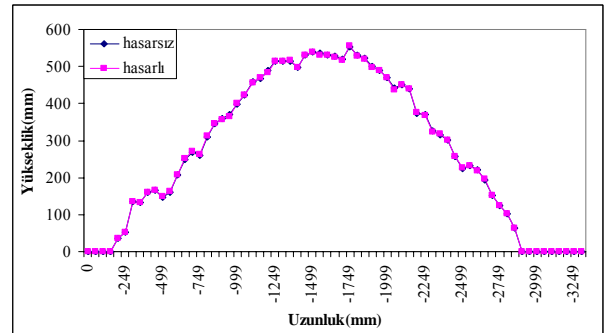
a) 2. nokta



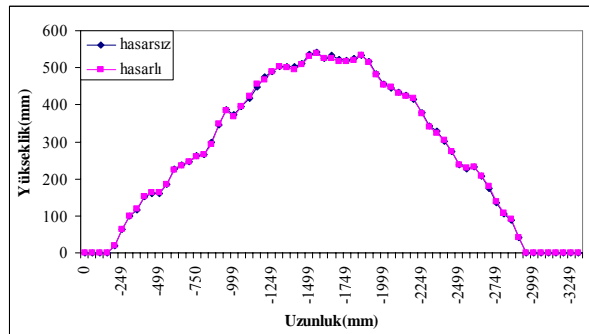
b) 3. nokta



c) 4. nokta



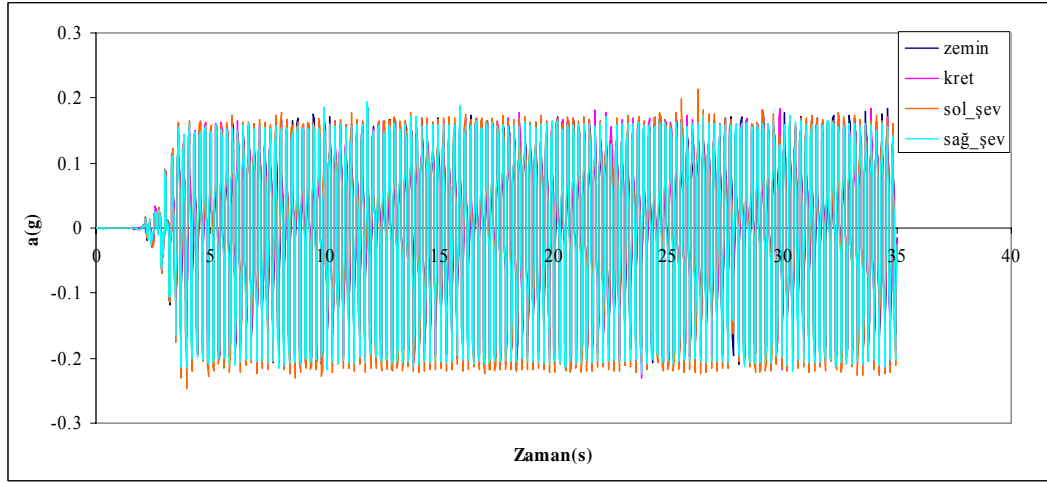
d) 5. nokta



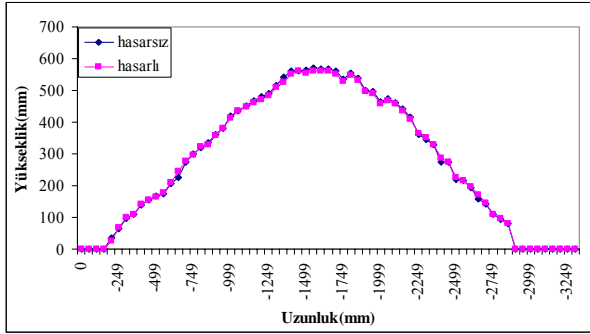
e) 6. nokta

Şekil Ek 3.2 1 mm genlik 3Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

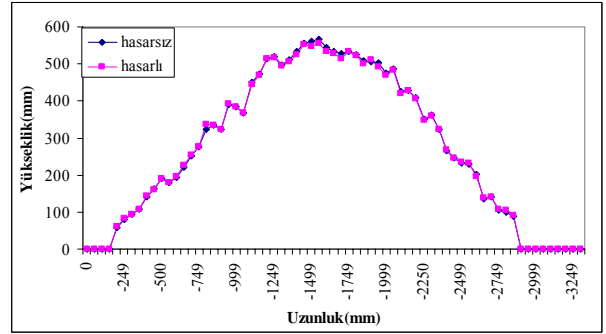
## Ek 3 (Devam)



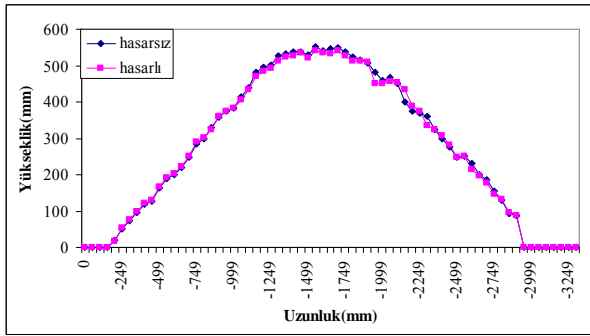
Şekil Ek 3.3 1mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



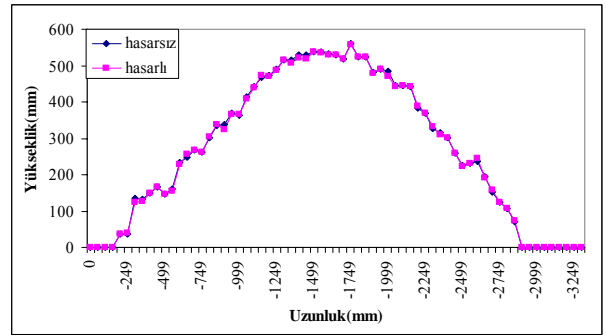
a) 2. nokta



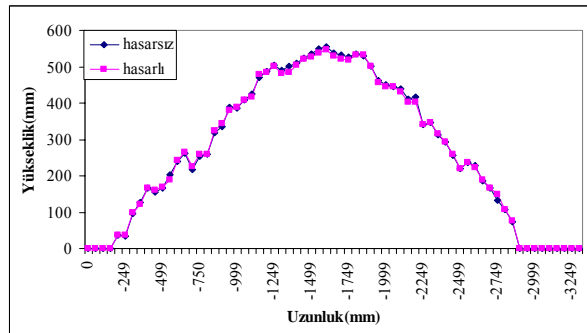
b) 3. nokta



c) 4. nokta



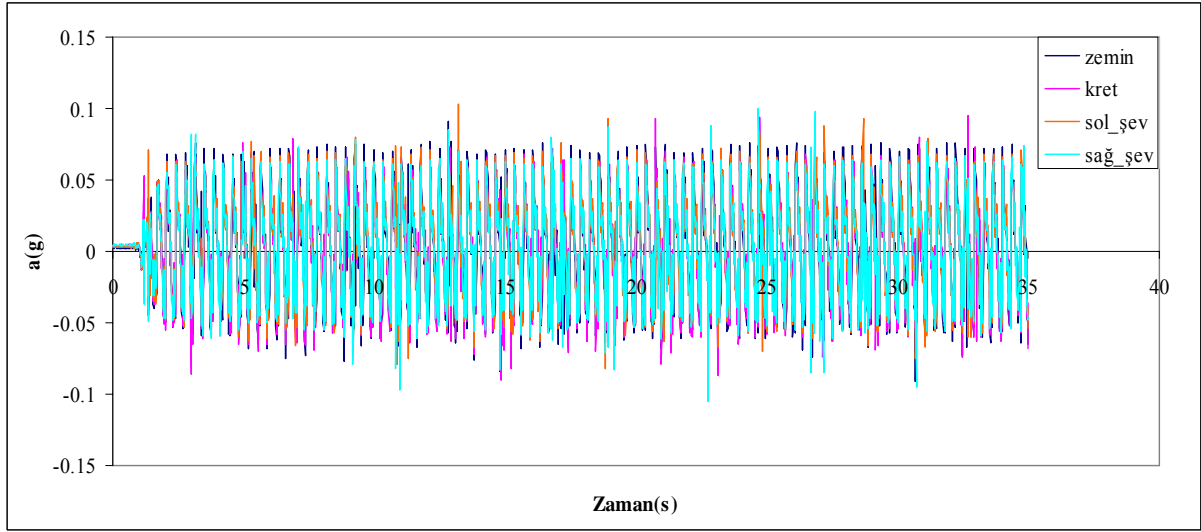
d) 5. nokta



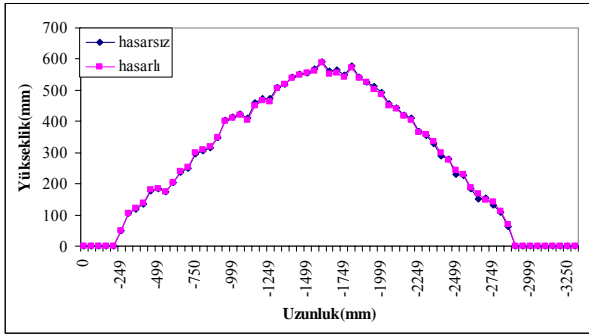
e) 6. nokta

Şekil Ek 3.4 1 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

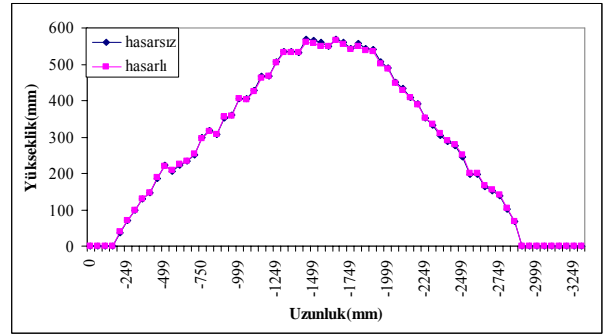
## Ek 3 (Devam)



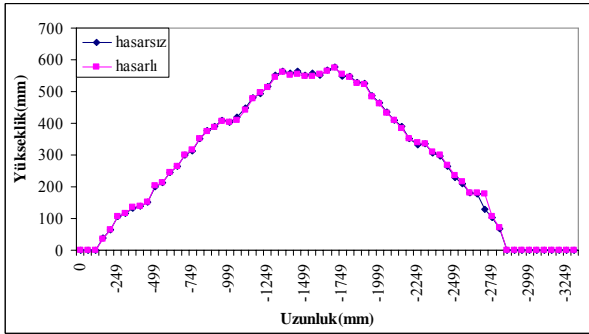
Şekil Ek 3.5 2 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



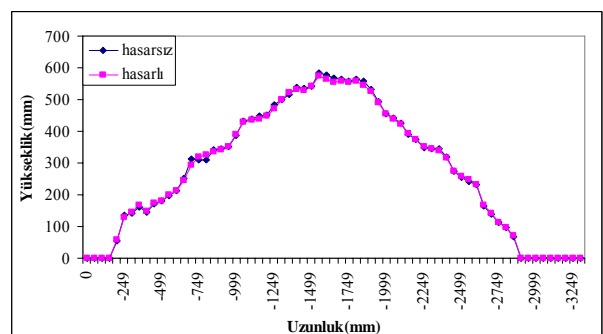
a) 2. nokta



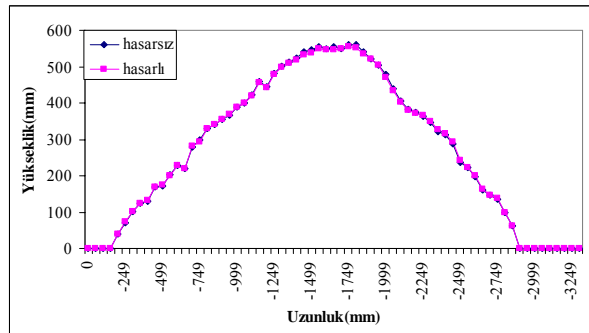
b) 3. nokta



c) 4. nokta



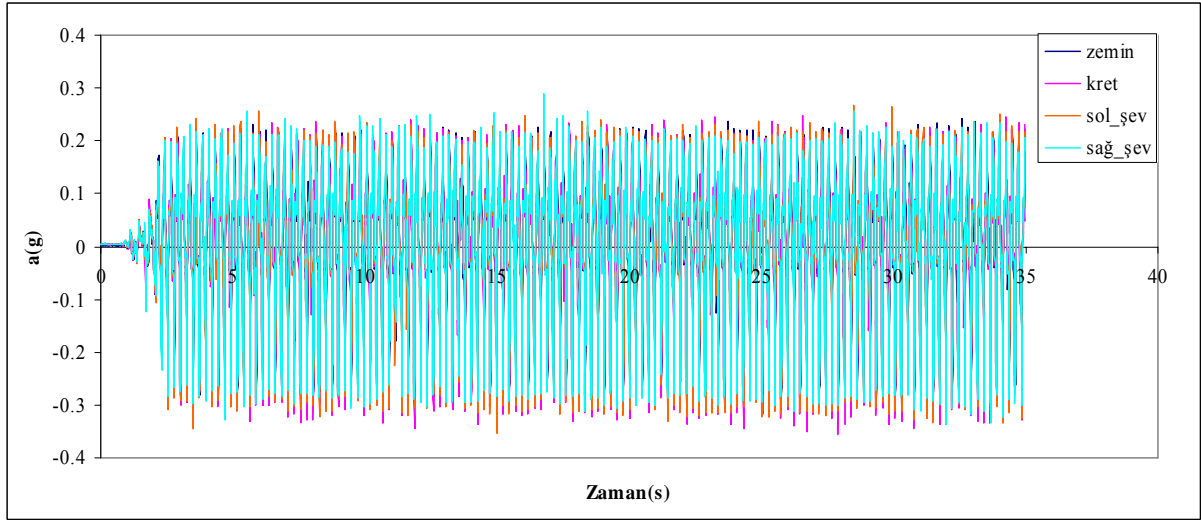
d) 5. nokta



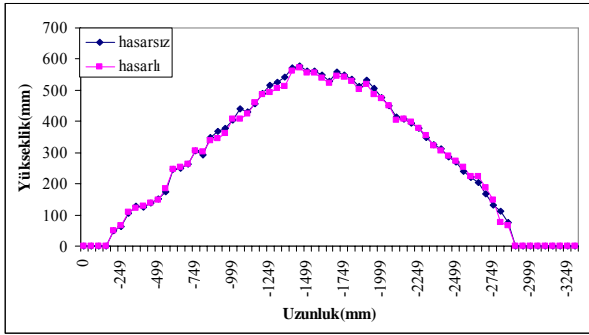
e) 6. nokta

Şekil Ek 3.6 2 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

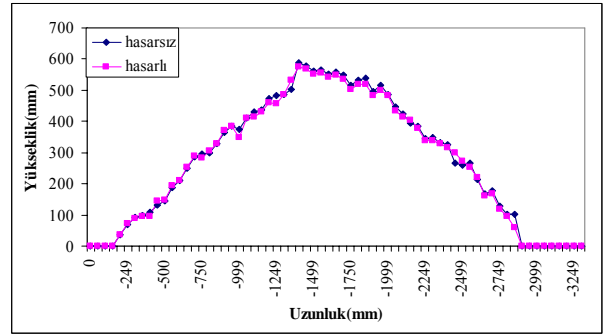
## Ek 3 (Devam)



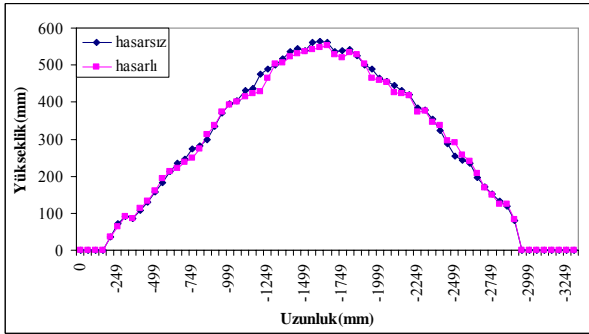
Şekil Ek 3.7 2 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



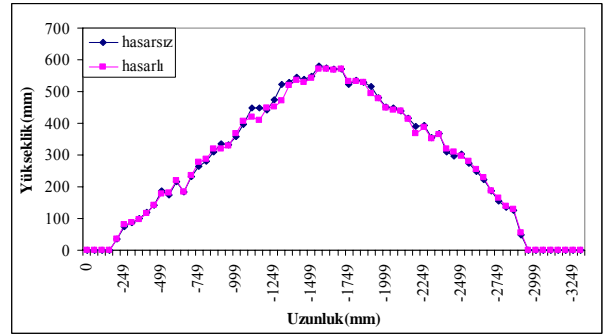
a) 2. nokta



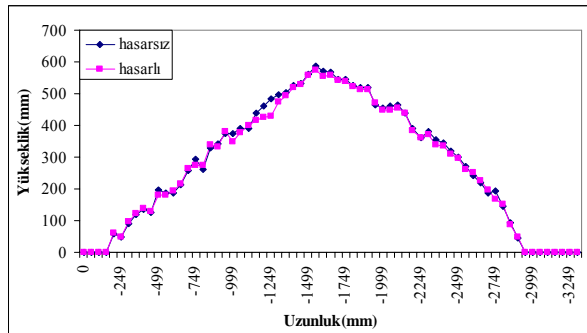
b) 3. nokta



c) 4. nokta



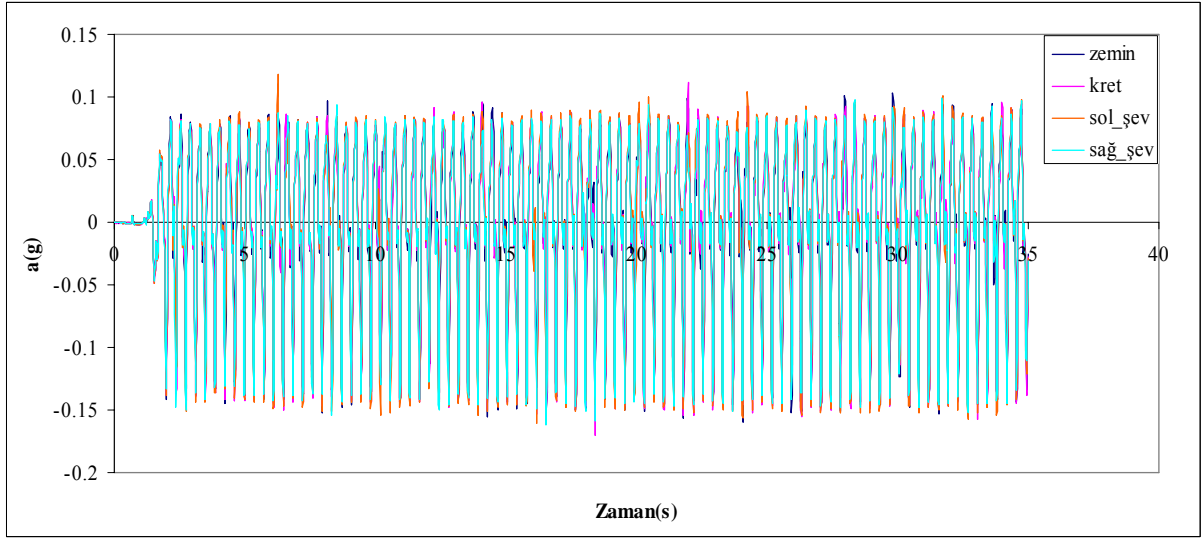
d) 5. nokta



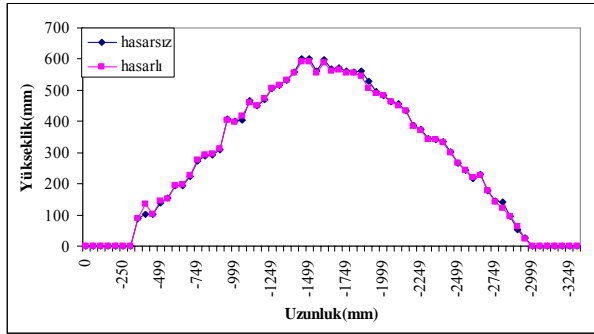
e) 6. nokta

Şekil Ek 3.8 2 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

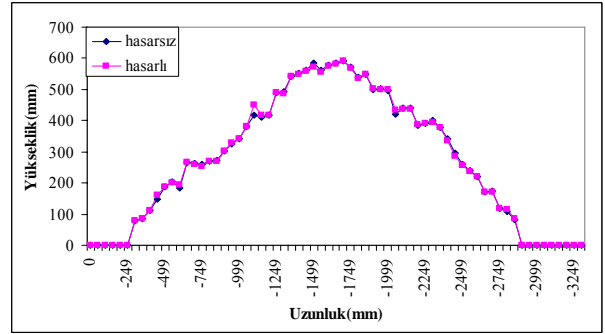
## Ek 3 (Devam)



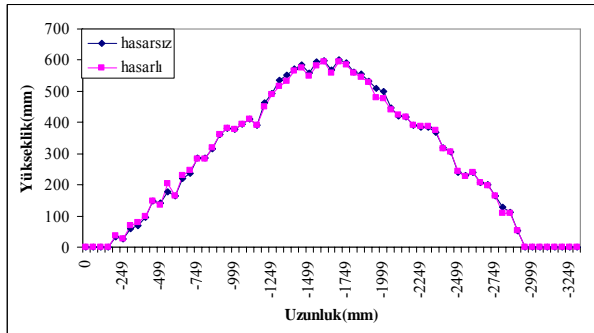
Şekil Ek 3.9 3 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



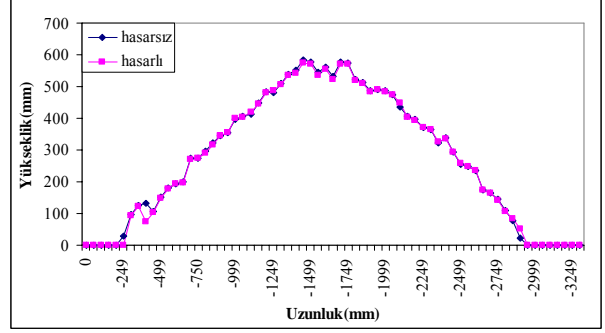
a) 2. nokta



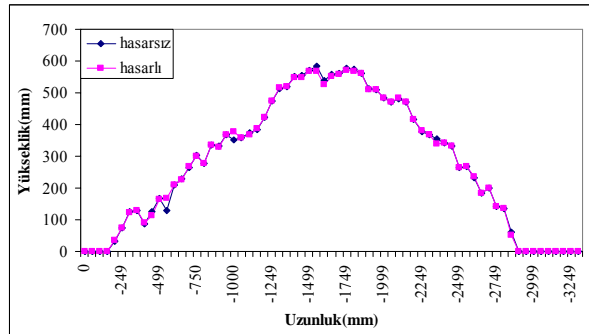
b) 3. nokta



c) 4. nokta



d) 5. nokta

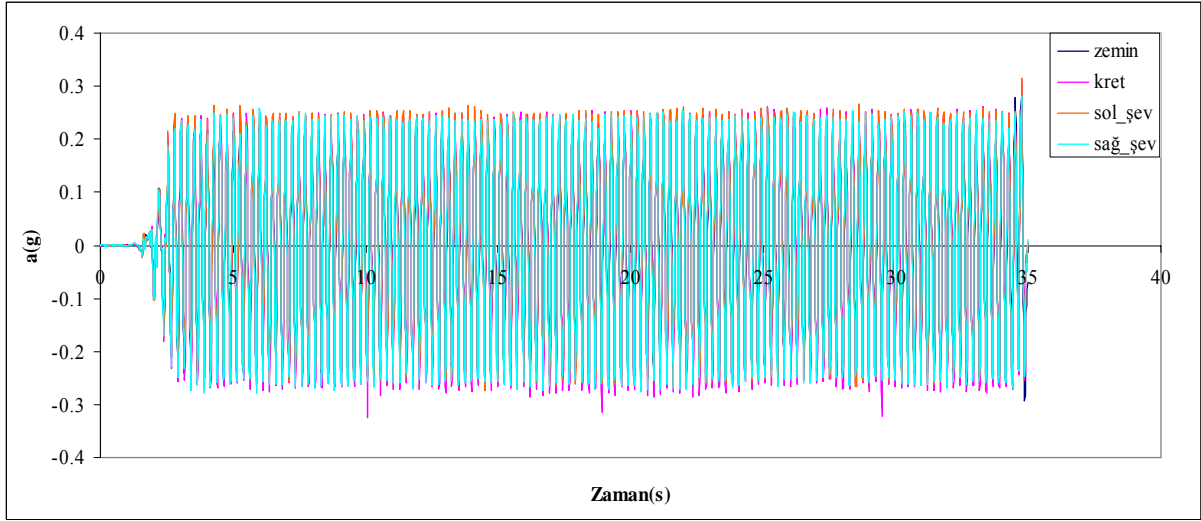


e) 6. nokta

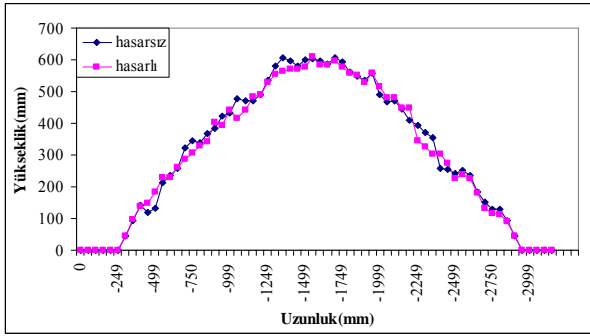
Şekil Ek 3.10 3 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller



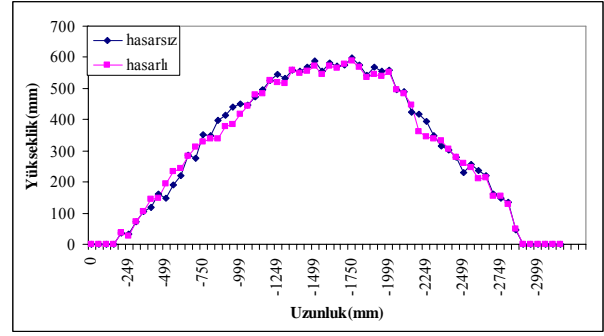
## Ek 3 (Devam)



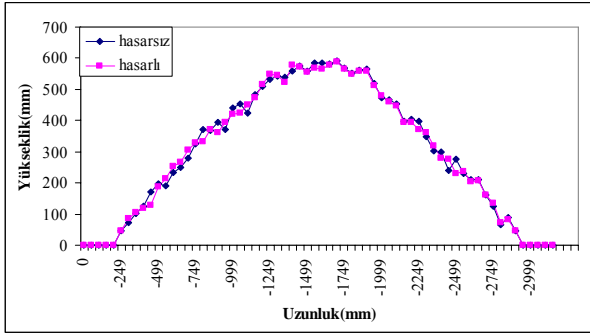
Şekil Ek 3.11 3 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



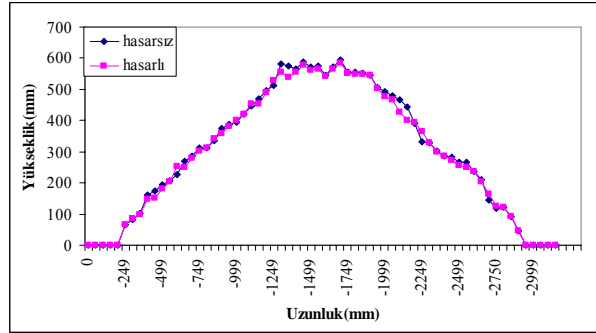
a) 2. nokta



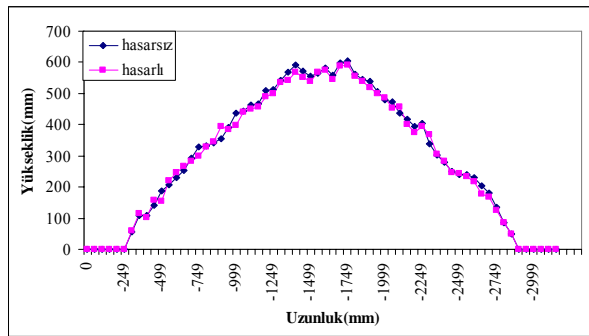
b) 3. nokta



c) 4. nokta



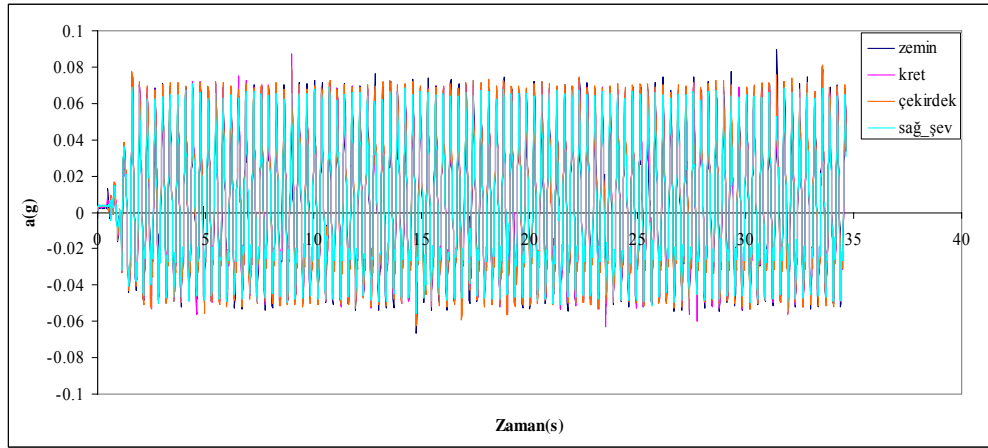
d) 5. nokta



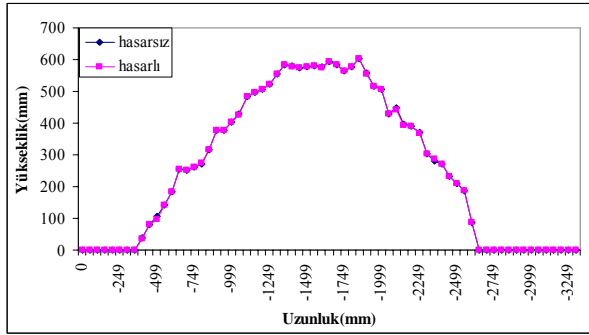
e) 6. nokta

Şekil Ek 3.12 3 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

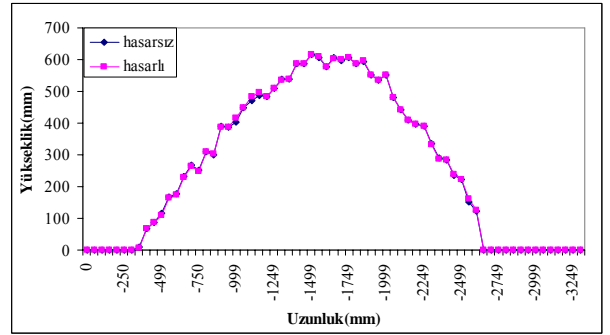
**Ek 4** Geleneksel tabakalı model (topuksuz) için su içinde 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 7 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları



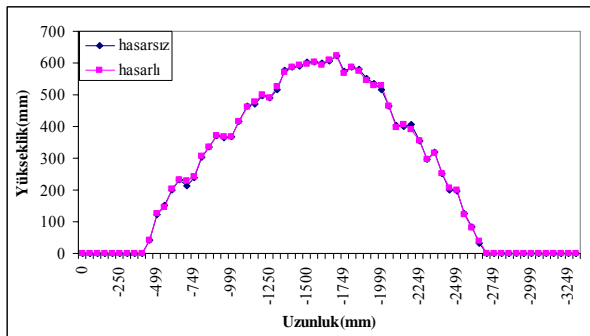
Şekil Ek 4.1 1 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



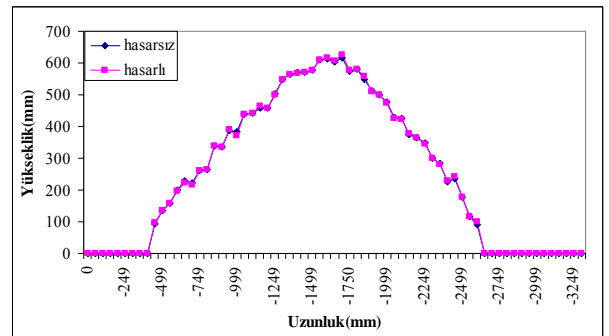
a) 2. nokta



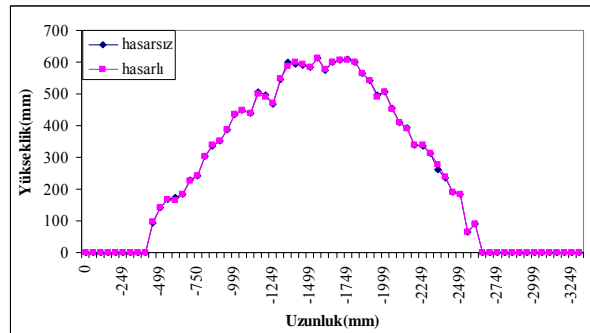
b) 3. nokta



c) 4. nokta



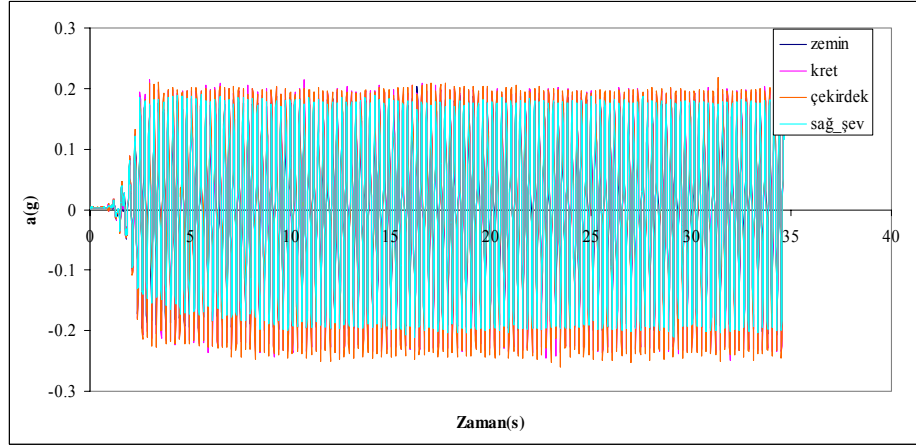
d) 5. nokta



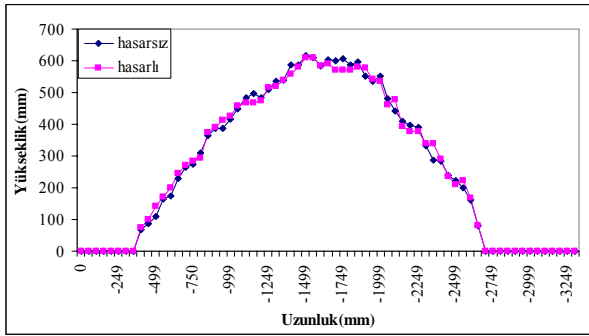
e) 6. nokta

Şekil Ek 4.2 1 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

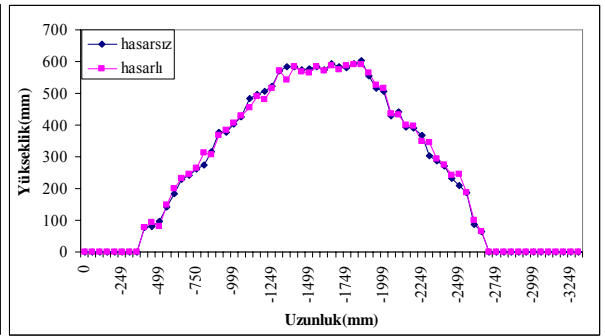
## Ek 4 (Devam)



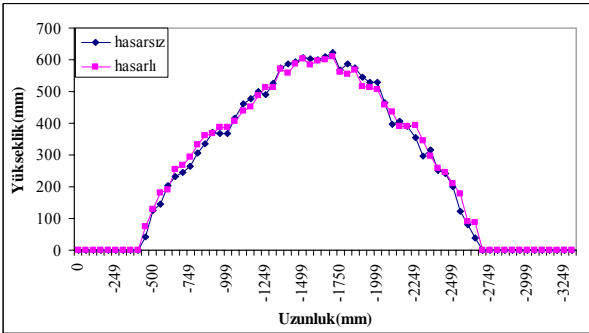
Şekil Ek 4.3 1 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



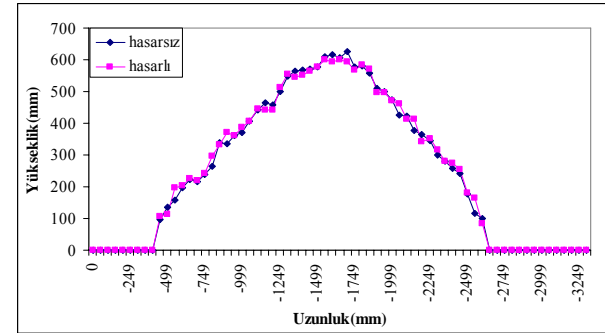
a) 2. nokta



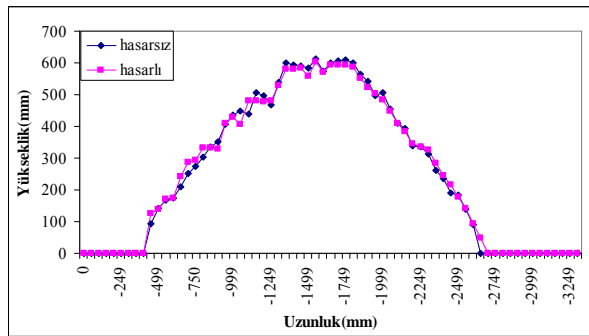
b) 3. nokta



c) 4. nokta



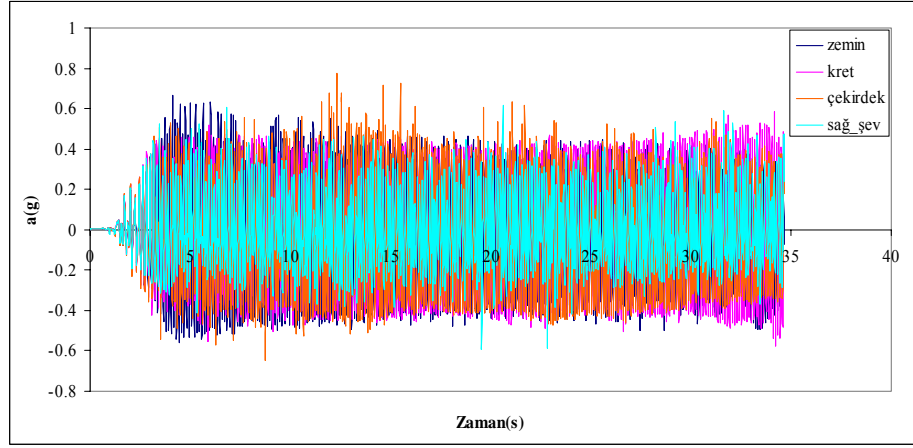
d) 5. nokta



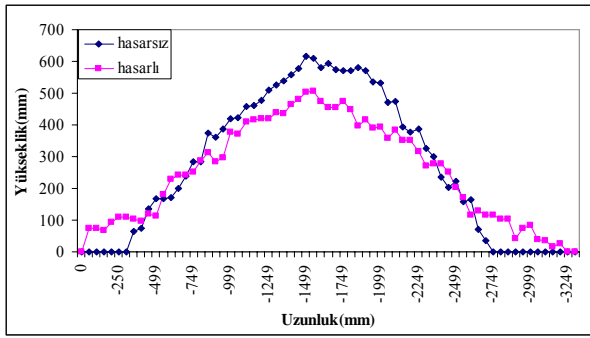
e) 6. nokta

Şekil Ek 4.4 1 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

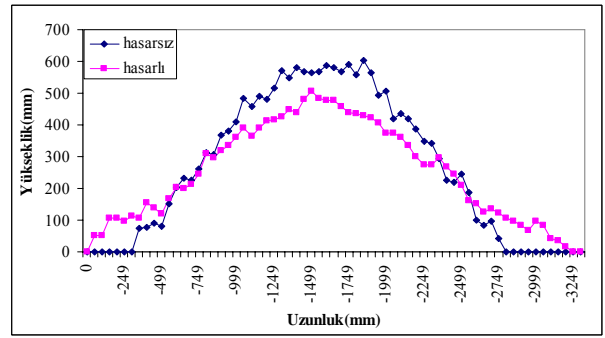
## Ek 4 (Devam)



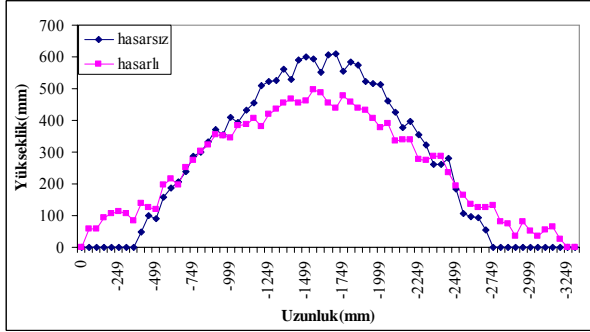
Şekil Ek 4.5 1 mm genlik, 7 Hz frekans için ivme değerleri



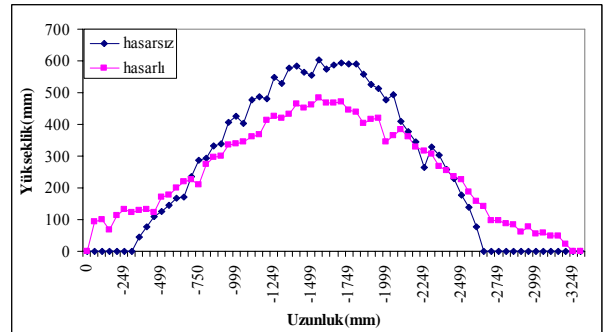
a) 2. nokta



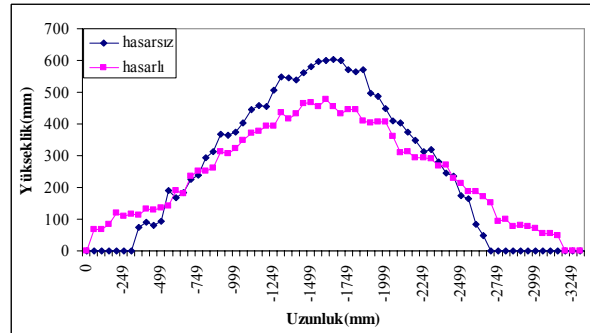
b) 3. nokta



c) 4. nokta



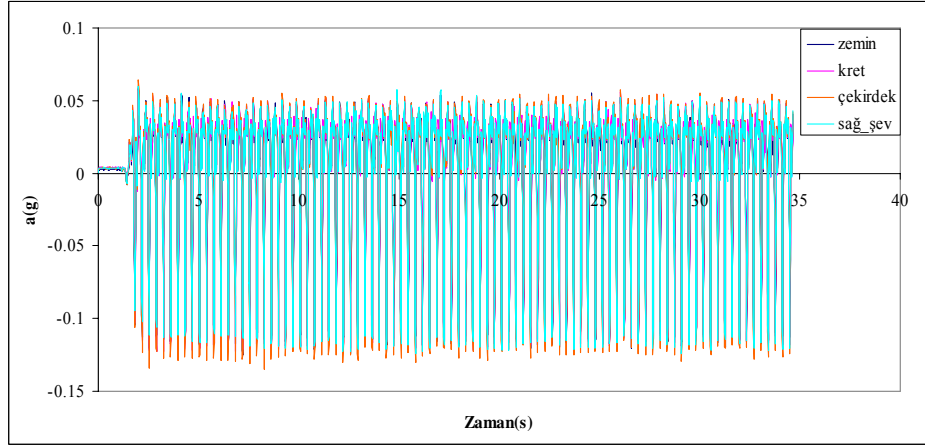
d) 5. nokta



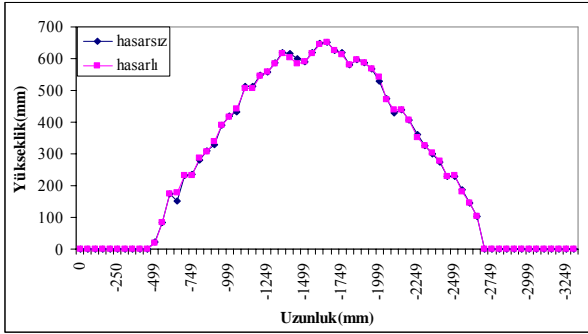
e) 6. nokta

Şekil Ek 4.6 1 mm genlik 7 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

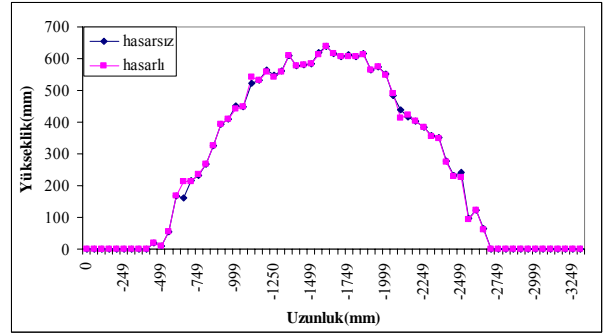
## Ek 4 (Devam)



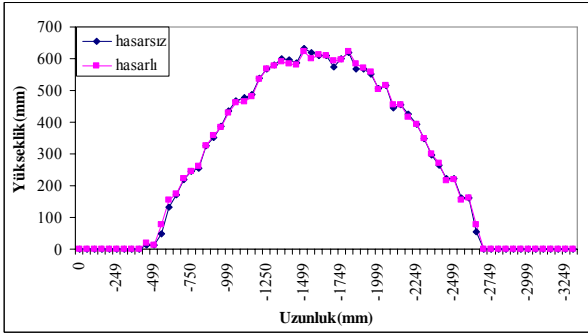
Şekil Ek 4.7 2 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



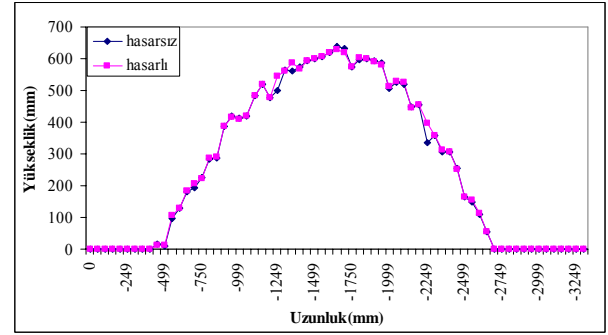
a) 2. nokta



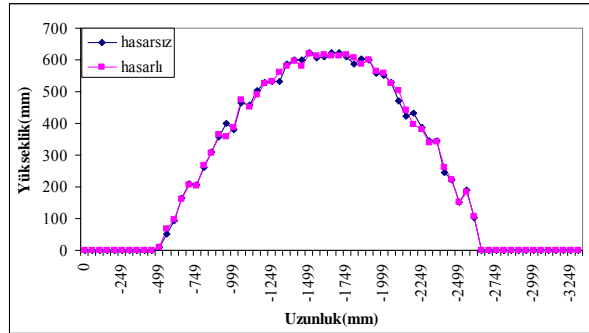
b) 3. nokta



c) 4. nokta



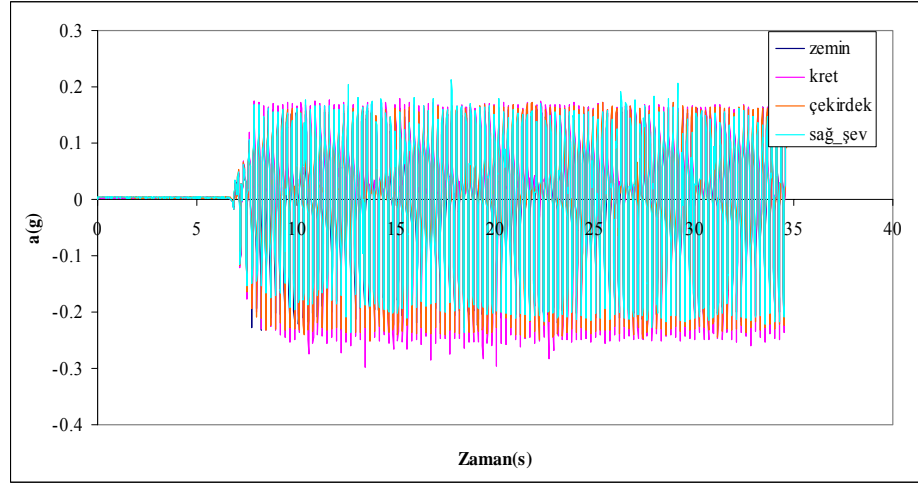
d) 5. nokta



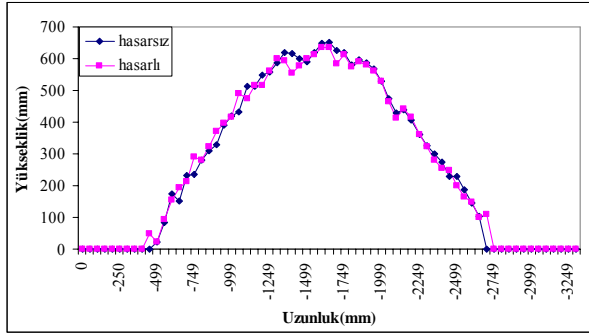
e) 6. nokta

Şekil Ek 4.8 2 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

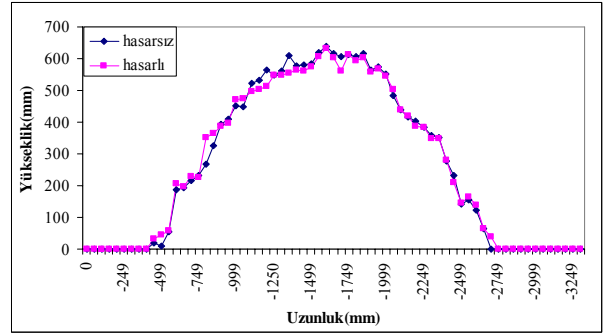
## Ek 4 (Devam)



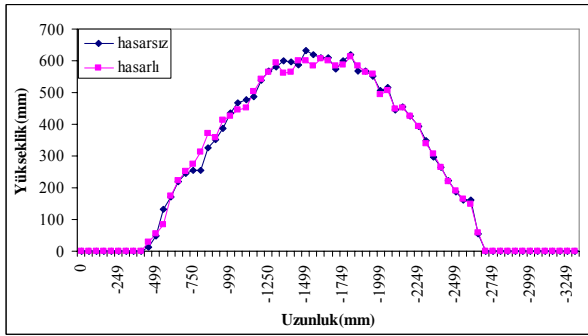
Şekil Ek 4.9 2 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



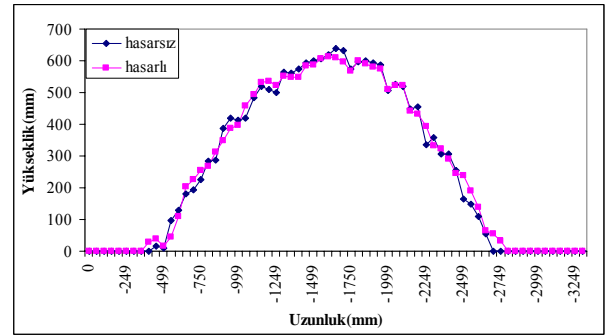
a) 2. nokta



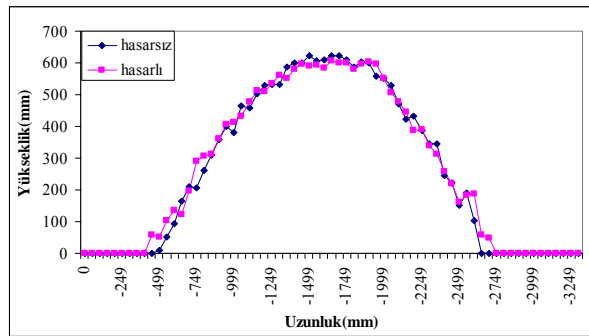
b) 3. nokta



c) 4. nokta



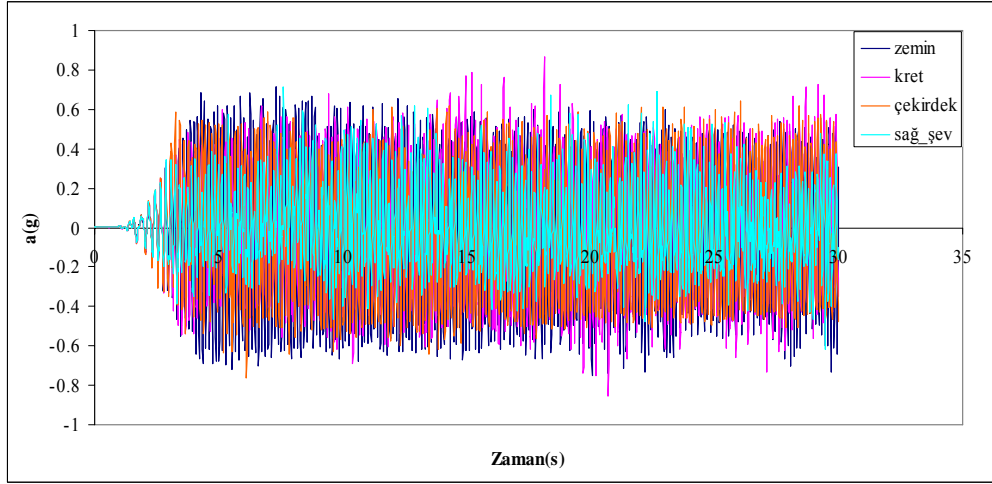
d) 5. nokta



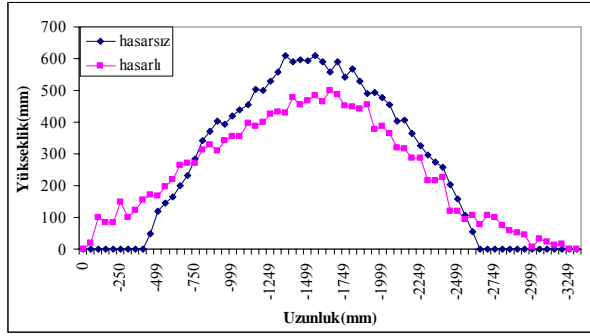
e) 6. nokta

Şekil Ek 4.10 2 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

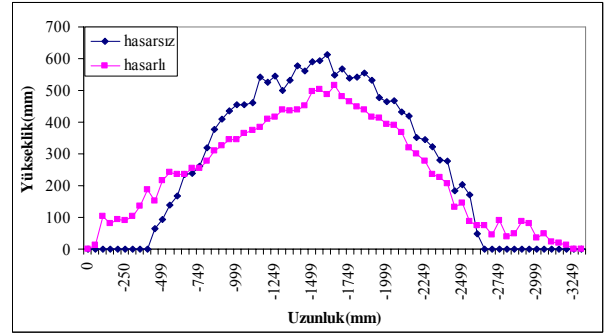
## Ek 4 (Devam)



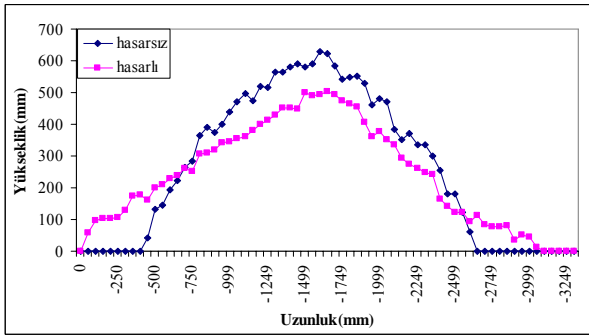
Şekil Ek 4.11 2 mm genlik, 7 Hz frekans için ivme değerleri



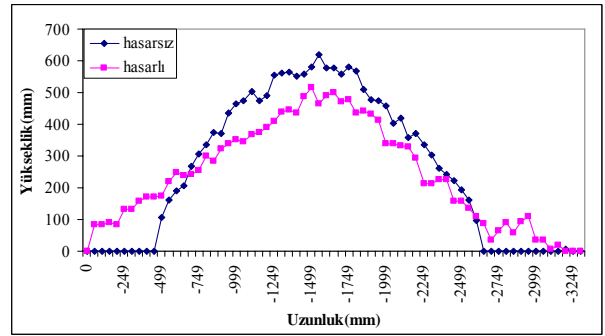
a) 2. nokta



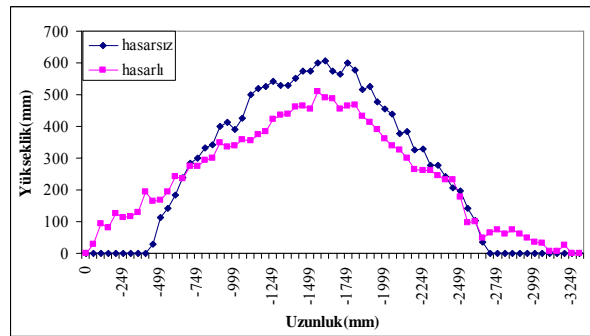
b) 3. nokta



c) 4. nokta



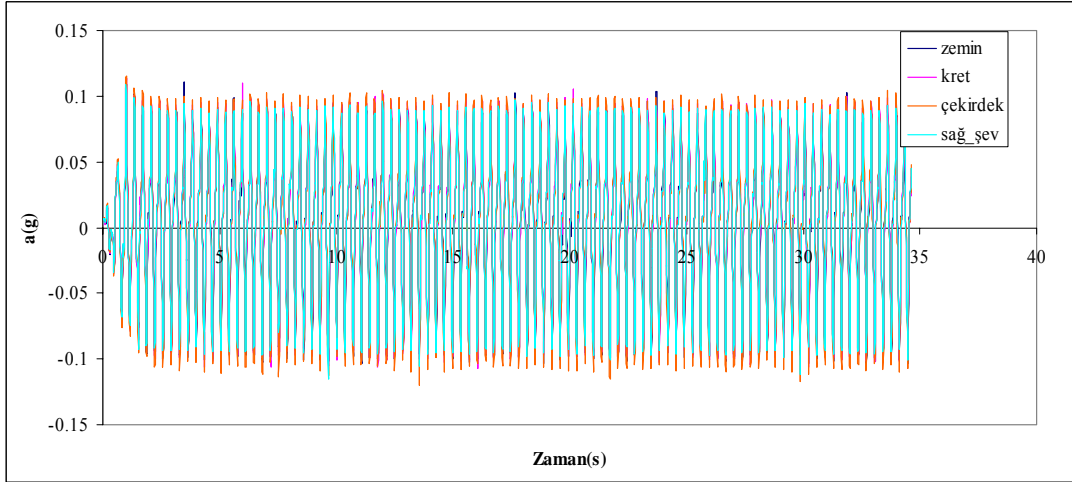
d) 5. nokta



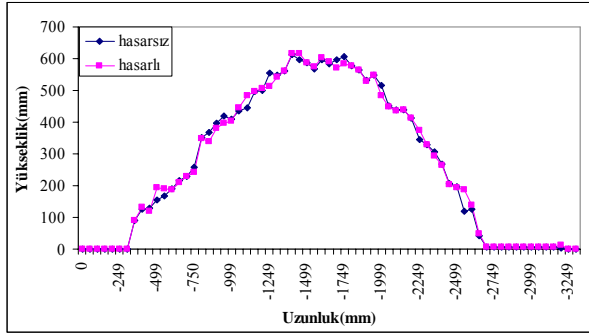
e) 6. nokta

Şekil Ek 4.12 2 mm genlik 7 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

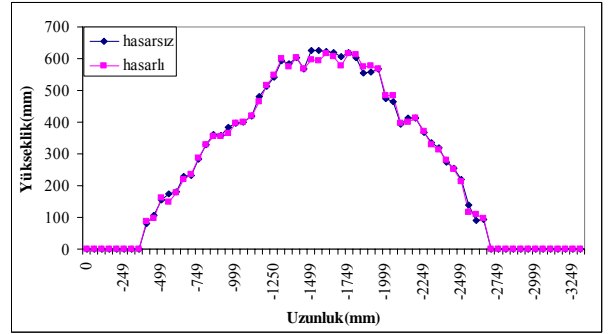
## Ek 4 (Devam)



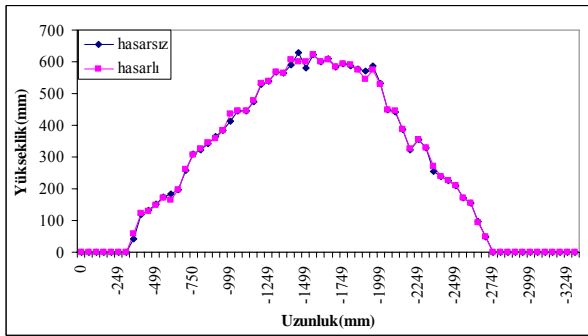
Şekil Ek 4.13 3 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



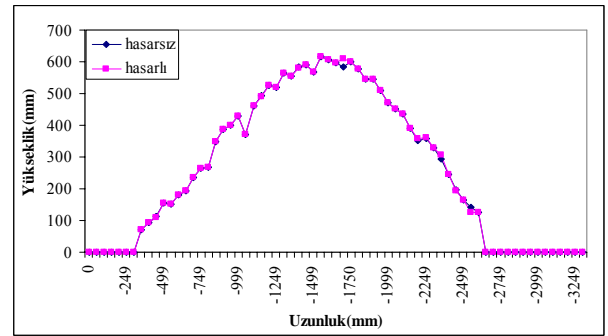
a) 2. nokta



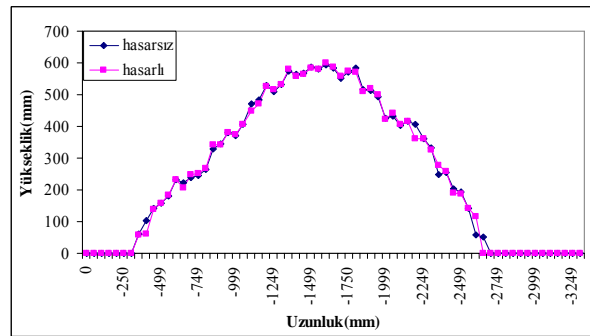
b) 3. nokta



c) 4. nokta



d) 5. nokta

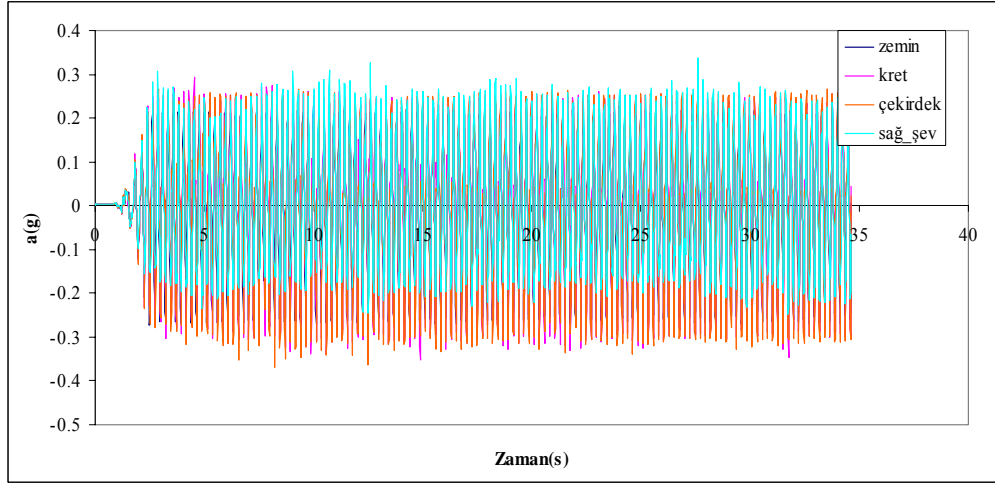


e) 6. nokta

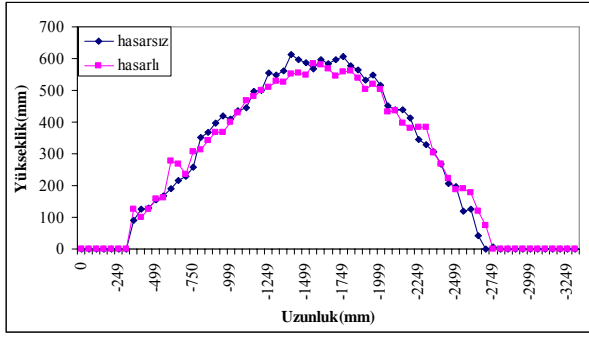
Şekil Ek 4.14 3 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller



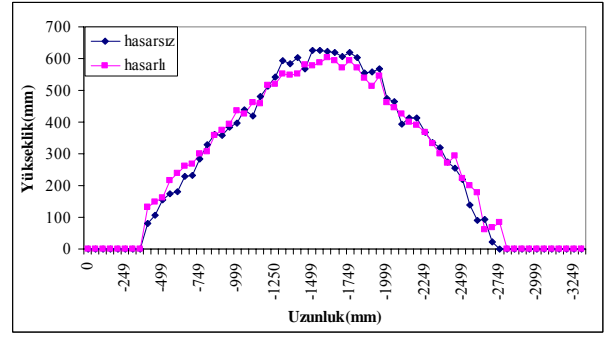
## Ek 4 (Devam)



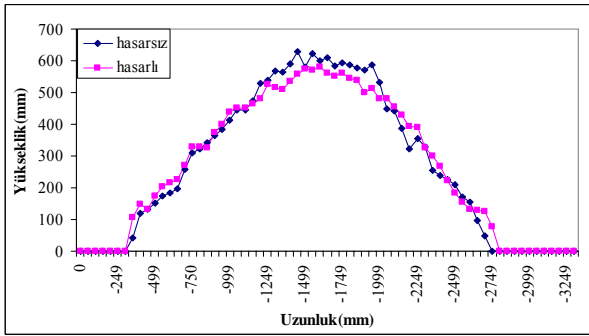
Şekil Ek 4.15 3 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



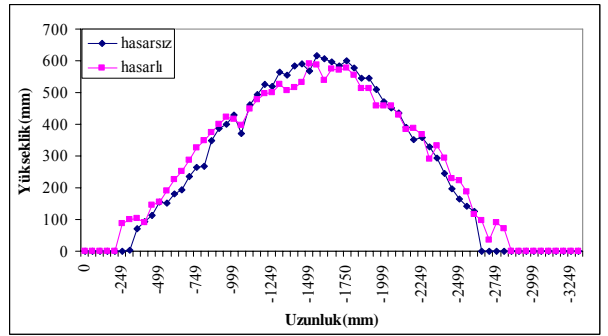
a) 2. nokta



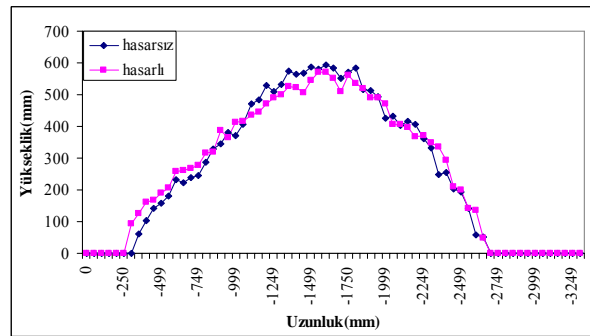
b) 3. nokta



c) 4. nokta



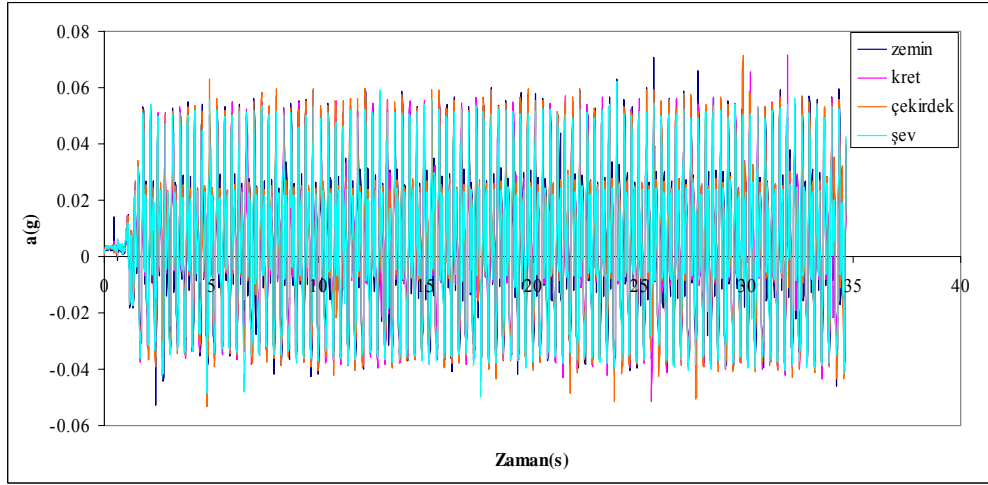
d) 5. nokta



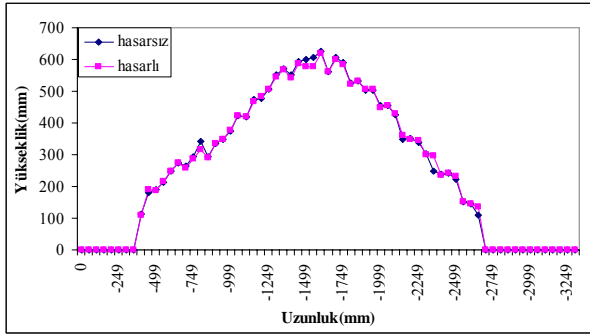
e) 6. nokta

Şekil Ek 4.16 3 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

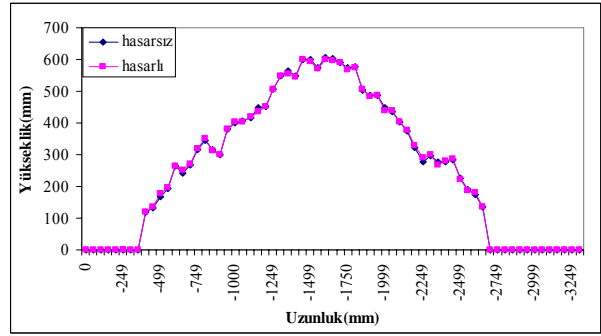
**Ek 5** Geleneksel tabakalı model (topuklu) için su içinde 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları



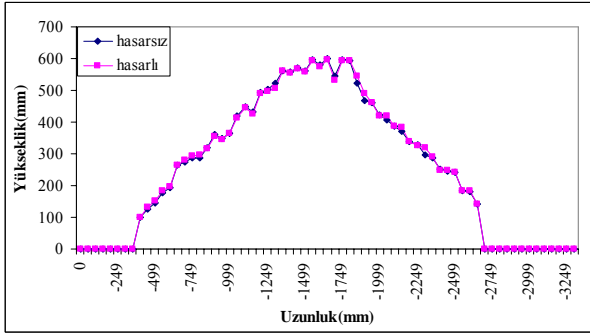
Şekil Ek 5.1 1 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



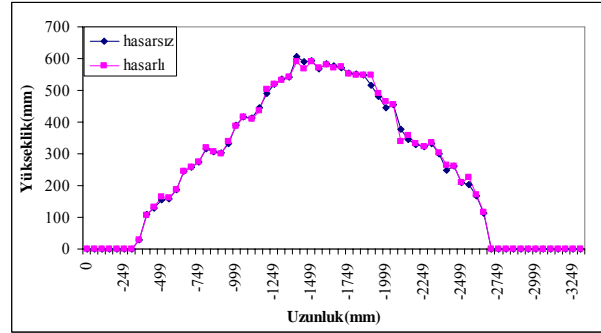
2. nokta



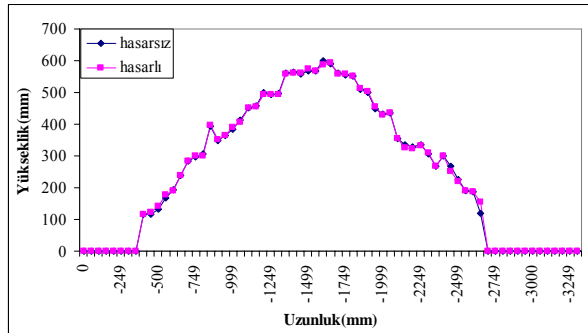
3. nokta



4. nokta



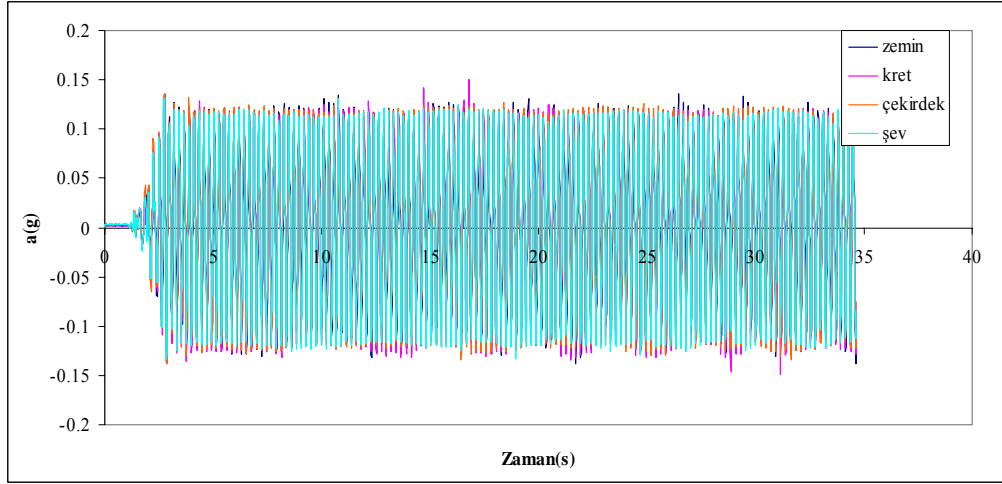
5. nokta



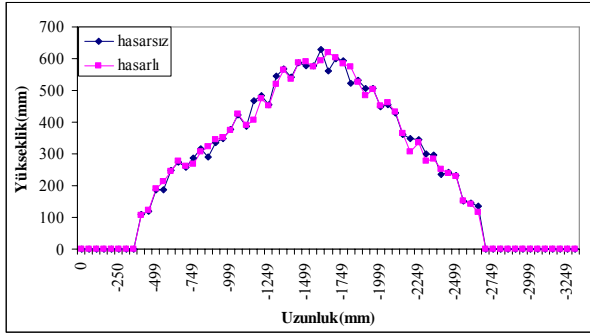
6. nokta

Şekil Ek 5.2 1 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

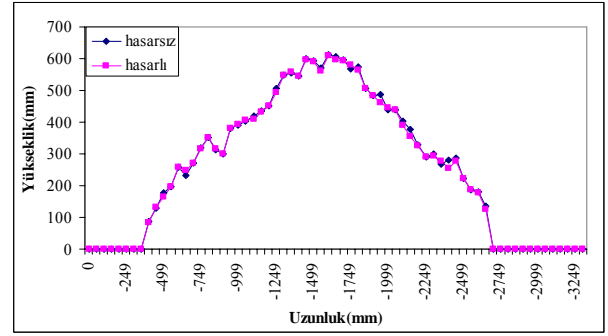
## Ek 5 (Devam)



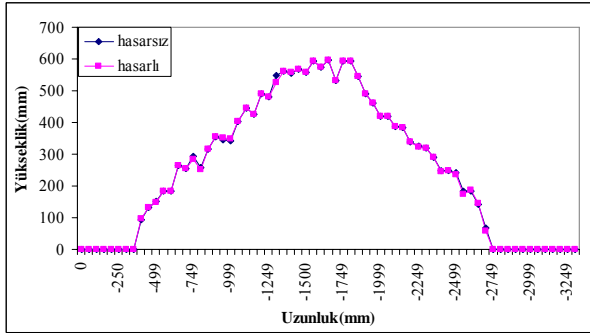
Şekil Ek 5.3 1 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



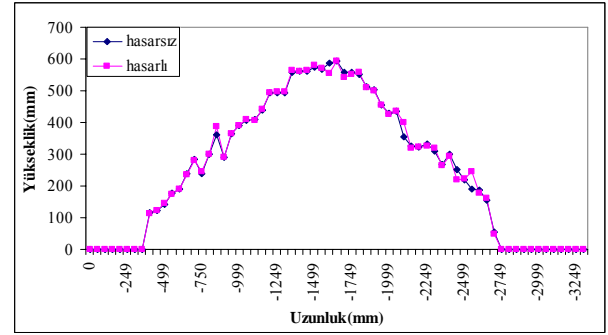
2. nokta



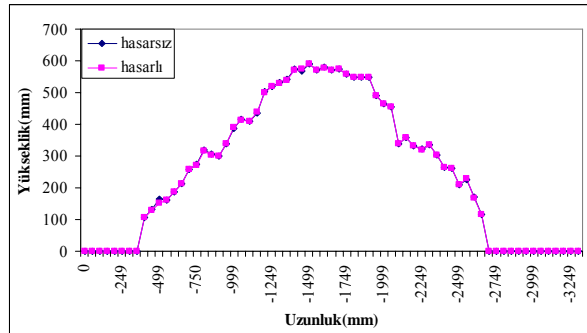
3. nokta



4. nokta



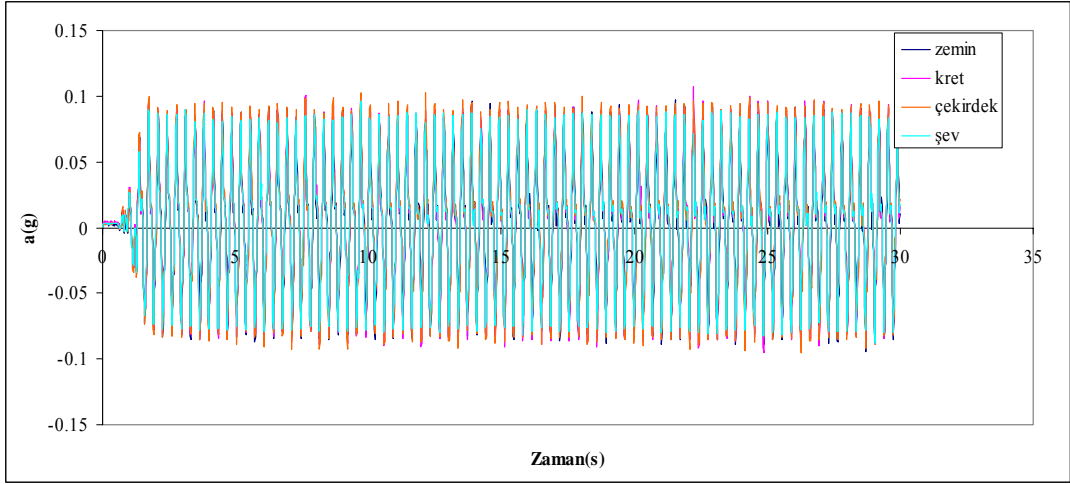
5. nokta



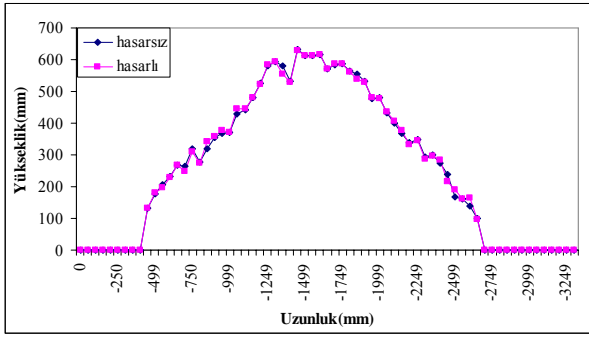
6. nokta

Şekil Ek 5.4 1 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

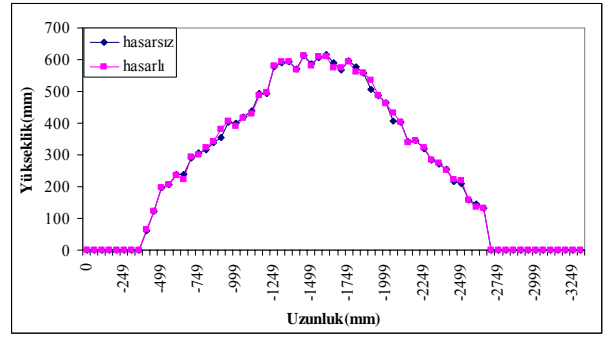
## Ek 5 (Devam)



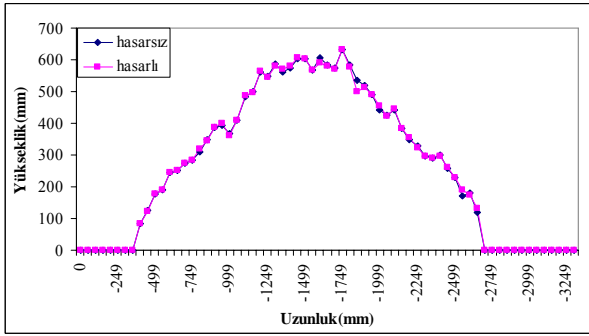
Şekil Ek 5.5 2 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



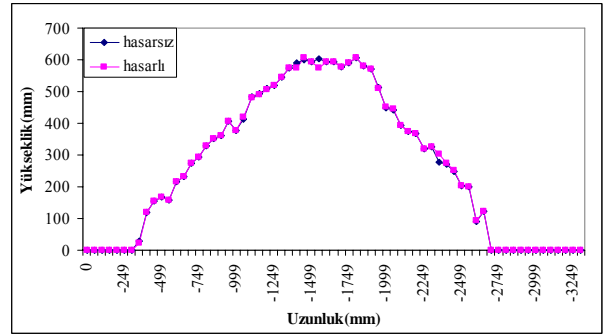
2. nokta



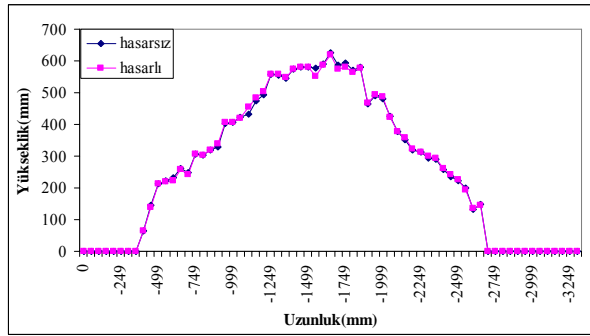
3. nokta



4. nokta



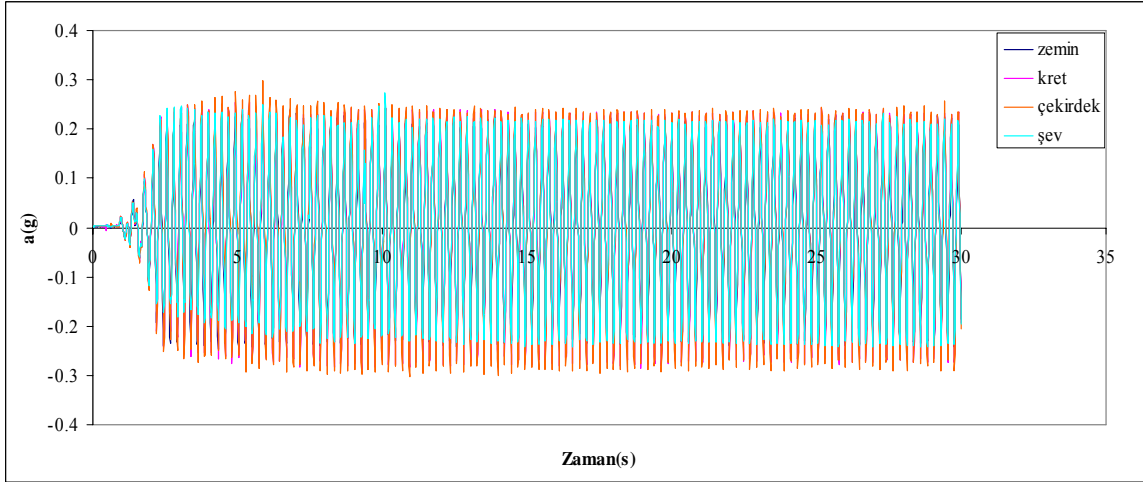
5. nokta



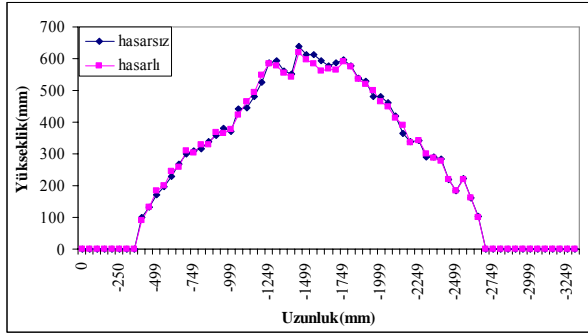
6. nokta

Şekil Ek 5.6 2 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

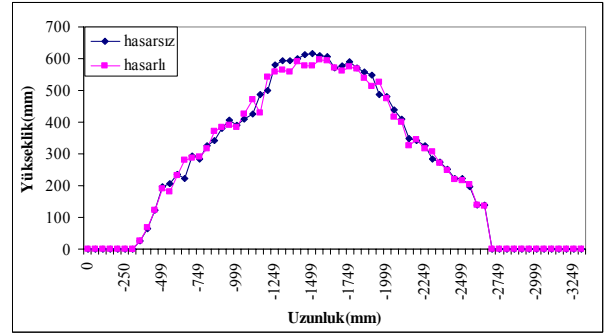
## Ek 5 (Devam)



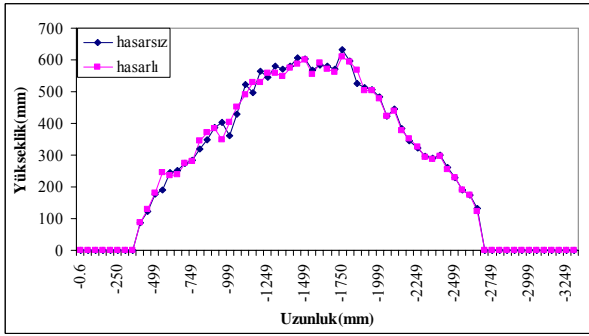
Şekil Ek 5.7 2 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



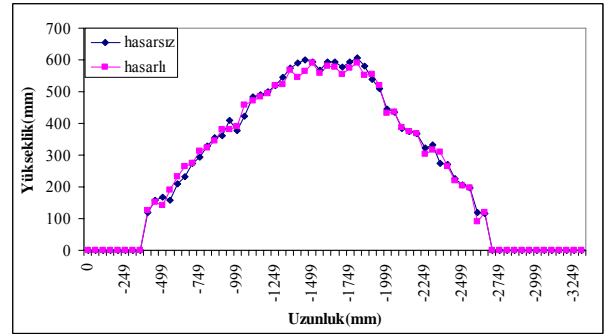
2. nokta



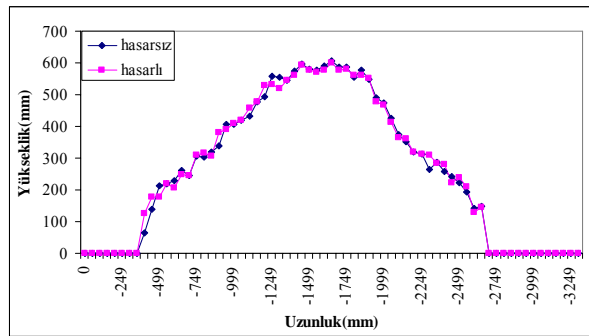
3. nokta



4. nokta



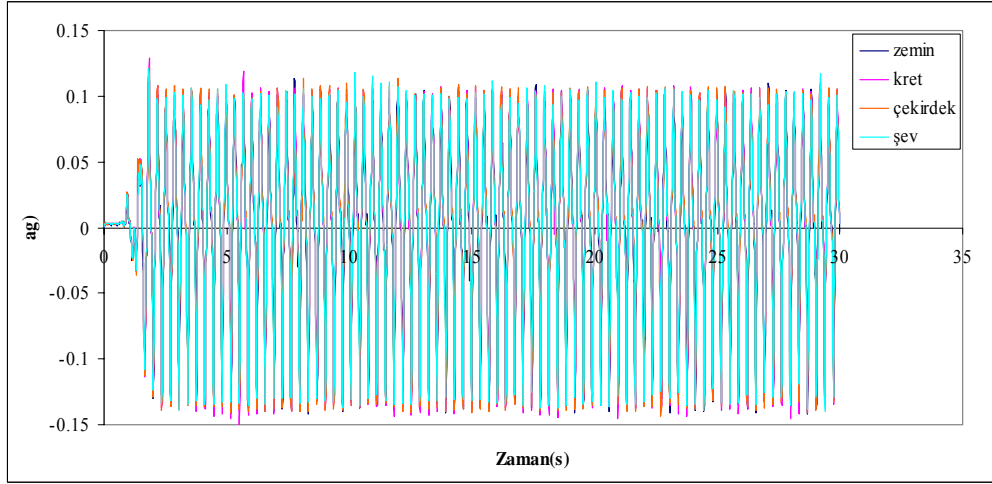
5. nokta



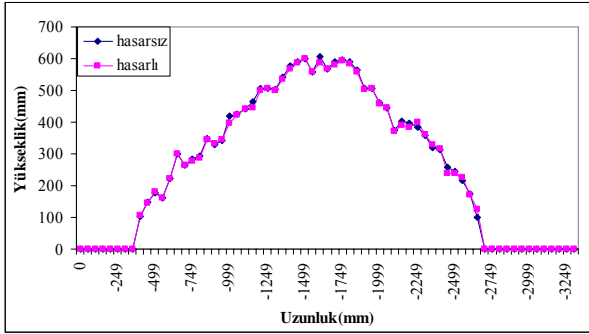
6. nokta

Şekil Ek 5.8 2 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

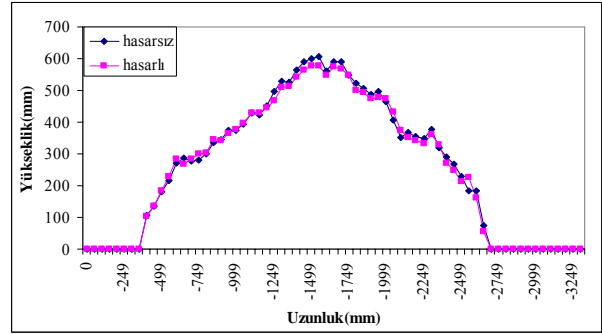
## Ek 5 (Devam)



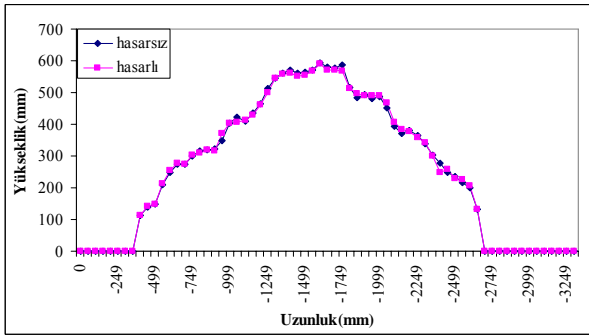
Şekil Ek 5.9 3 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



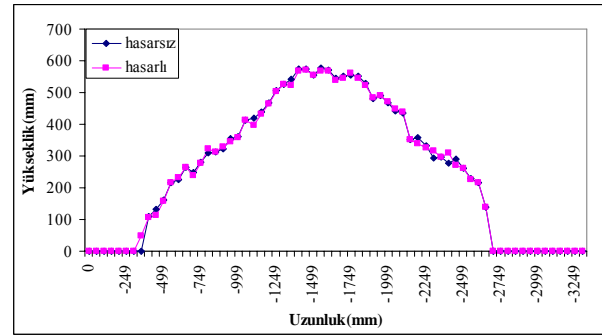
2. nokta



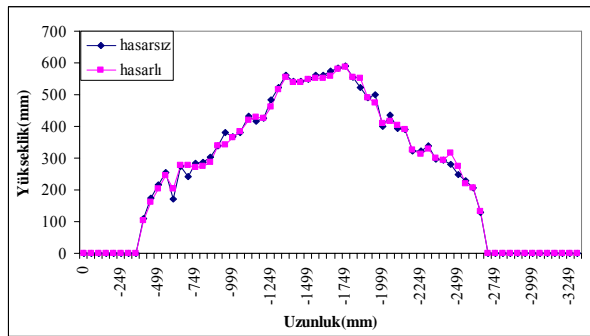
3. nokta



4. nokta



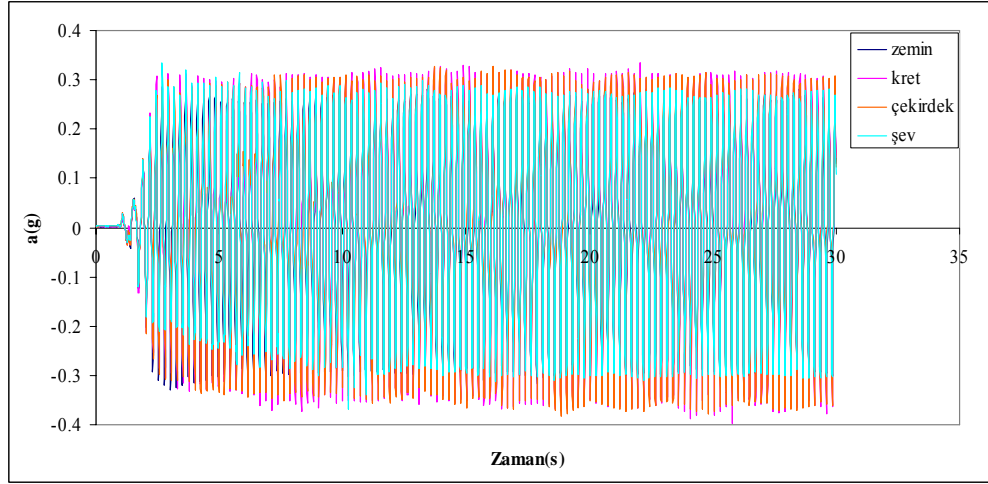
5. nokta



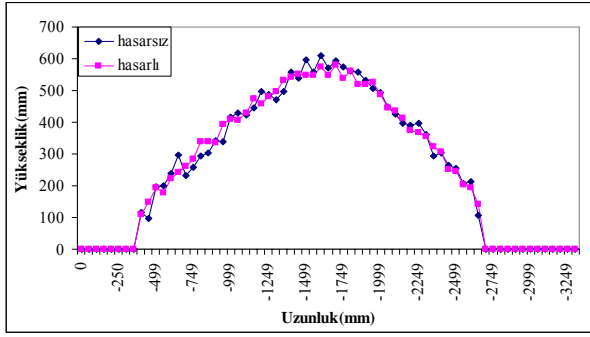
6. nokta

Şekil Ek 5.10 3 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

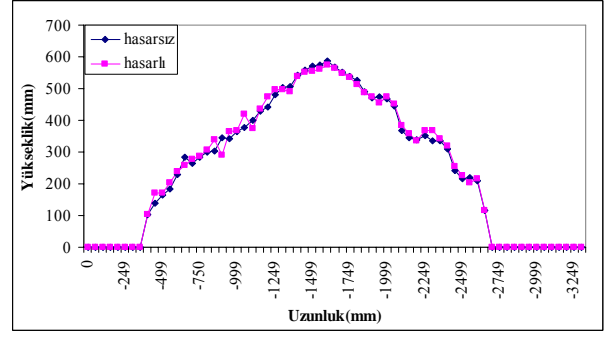
## Ek 5 (Devam)



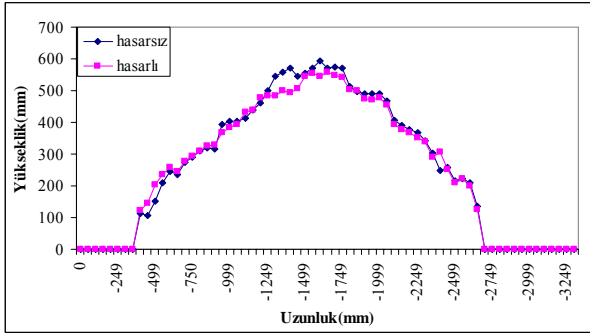
Şekil Ek 5.11 3 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



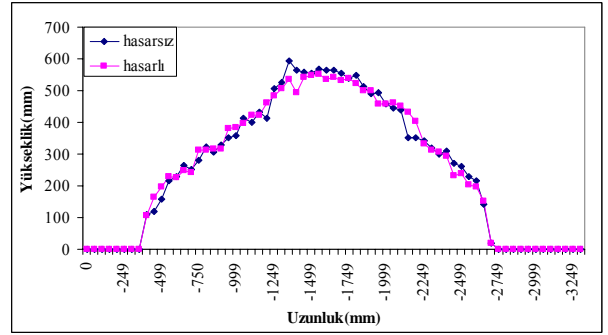
2. nokta



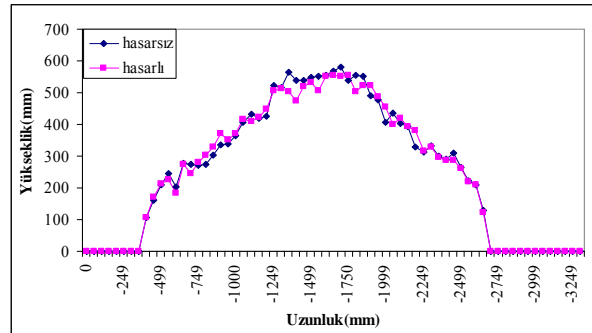
3. nokta



4. nokta



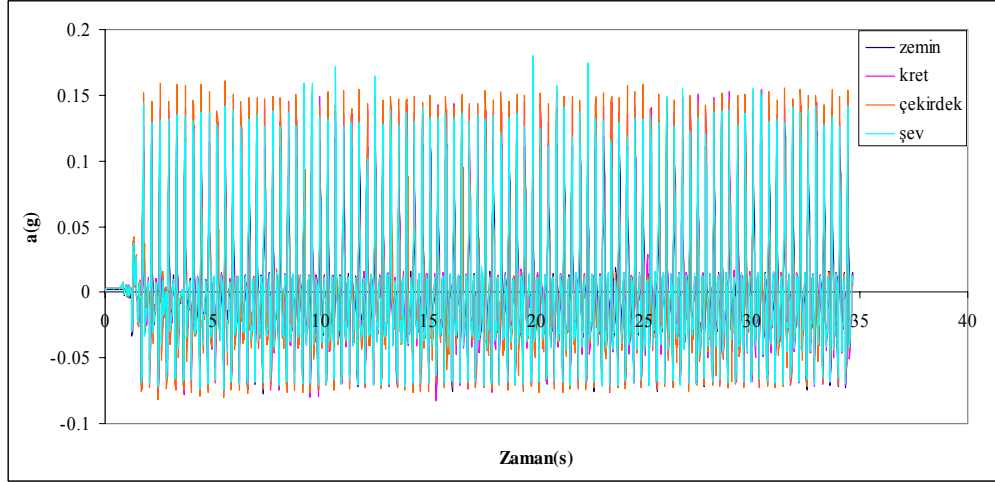
5. nokta



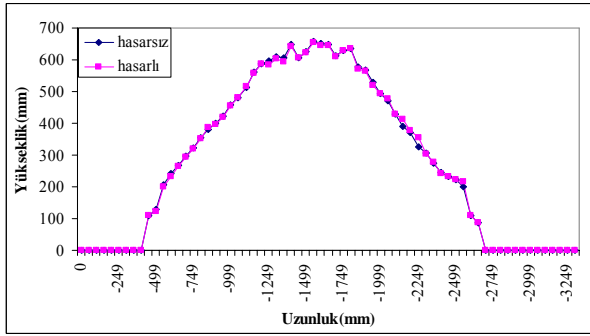
6. nokta

Şekil Ek 5.12 3 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

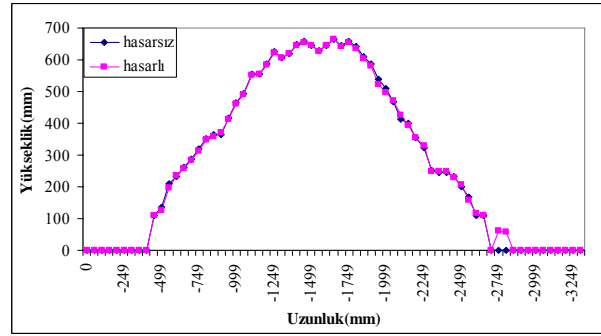
**Ek 6** Küp blok ile oluşturulan topuksuz model için 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 5, 6 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları



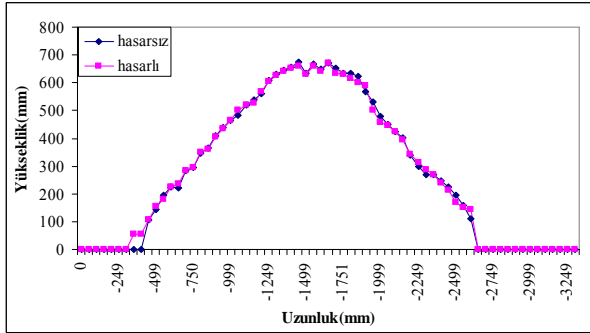
Şekil Ek 6.1 1 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



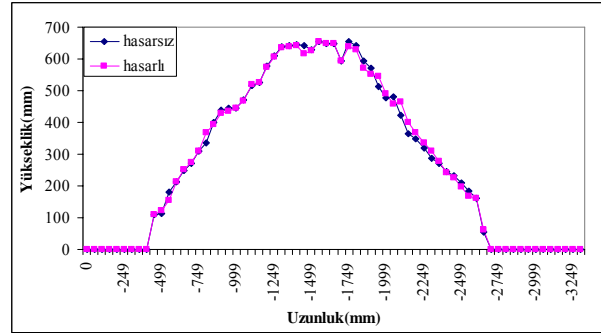
a) 2. nokta



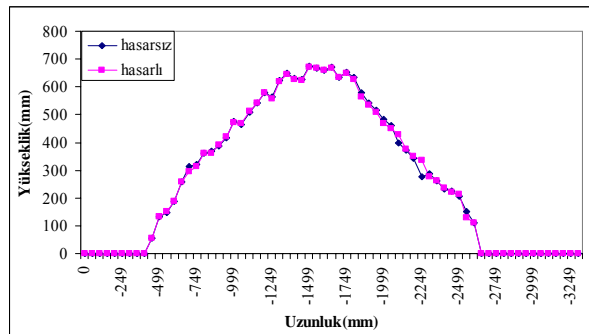
b) 3. nokta



c) 4. nokta



d) 5. nokta

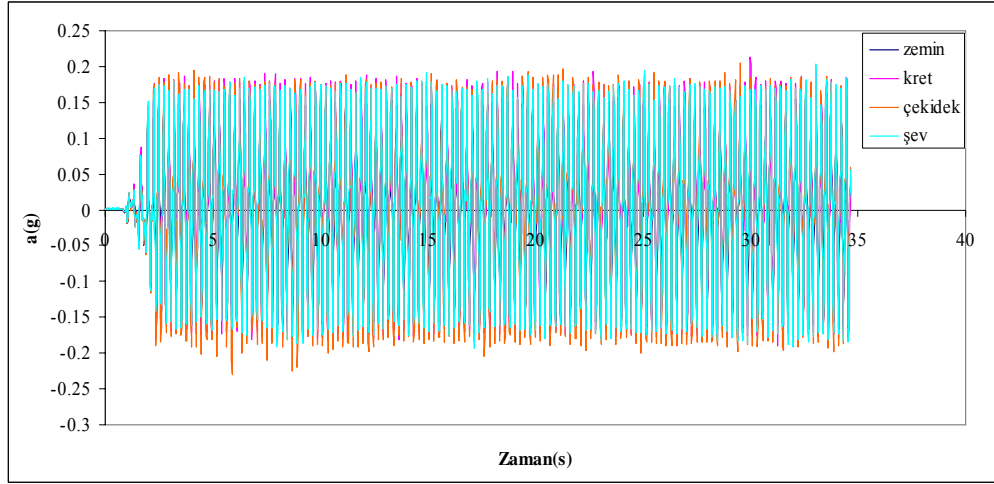


e) 6. nokta

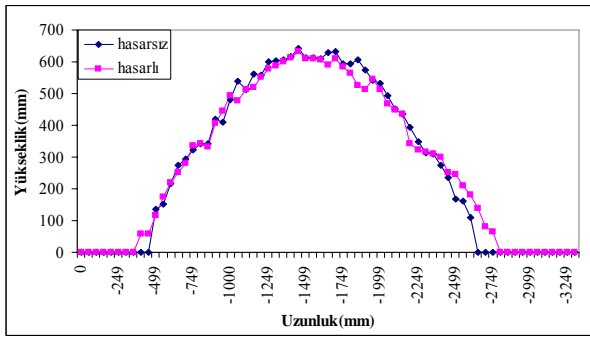
Şekil Ek 6.2 1 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller



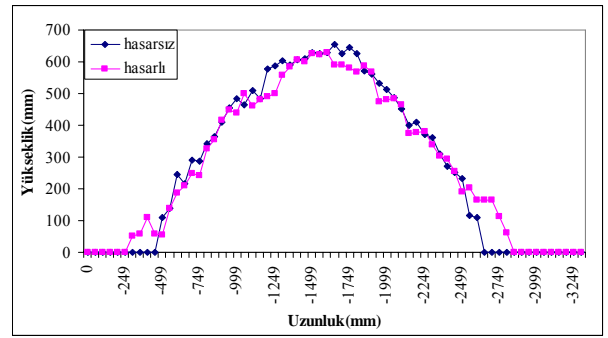
## Ek 6 (Devam)



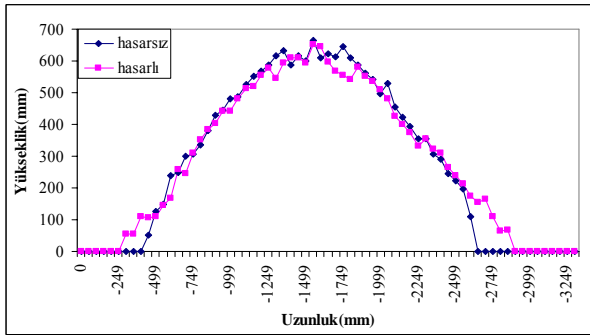
Şekil Ek 6.3 1 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



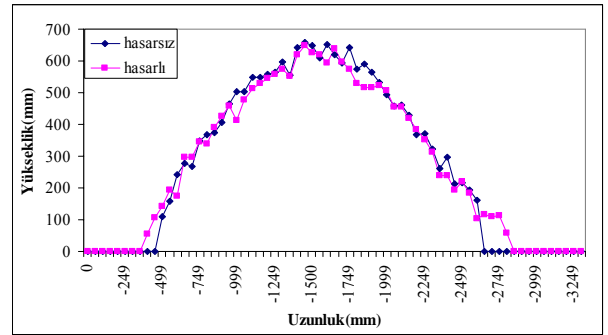
a) 2. nokta



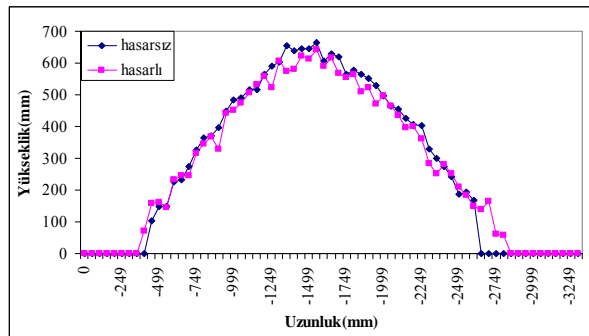
b) 3. nokta



c) 4. nokta



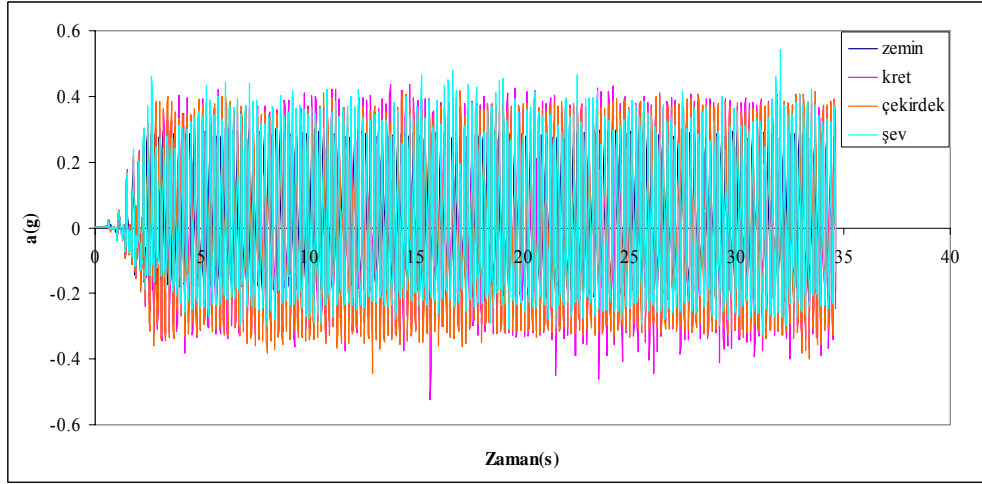
d) 5. nokta



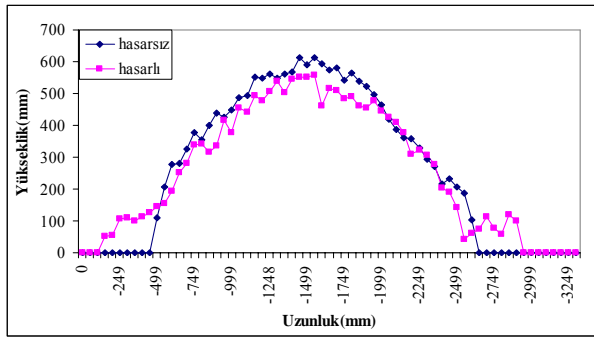
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.4 1 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

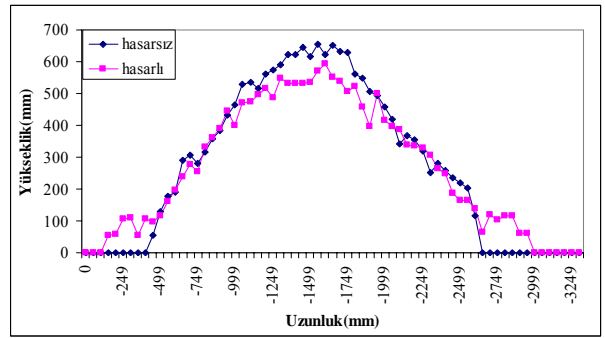
## Ek 6 (Devam)



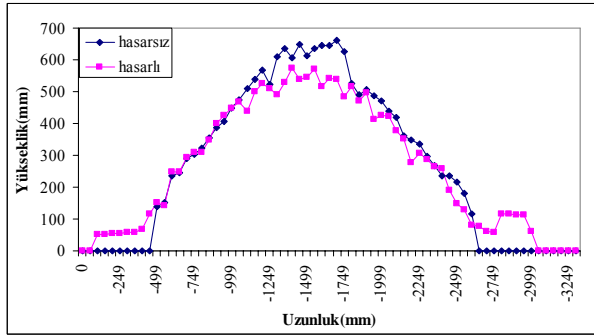
Şekil Ek 6.5 1 mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



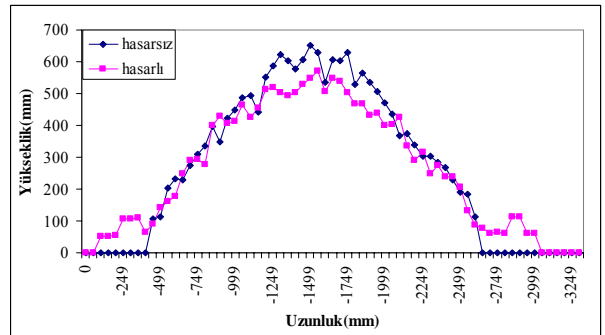
a) 2. nokta



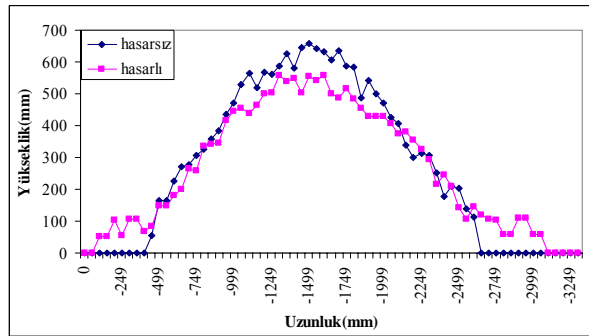
b) 3. nokta



c) 4. nokta



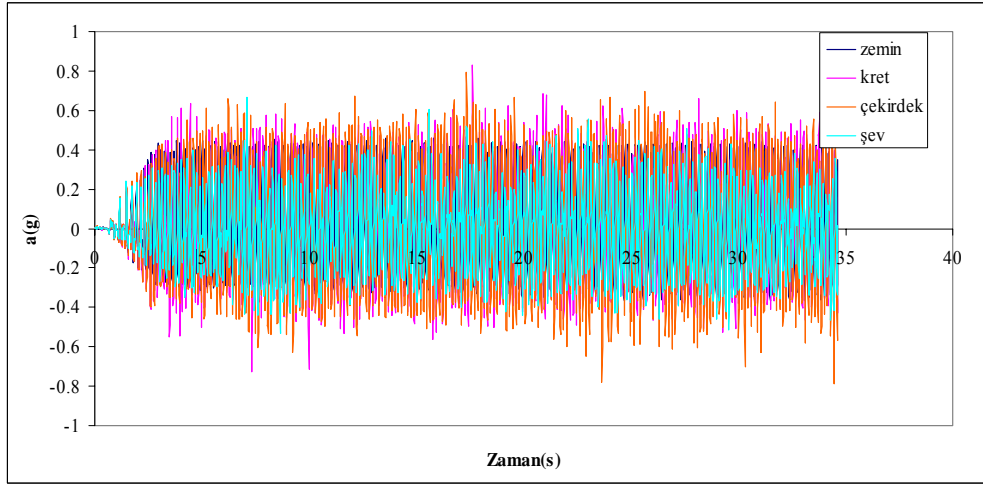
d) 5. nokta



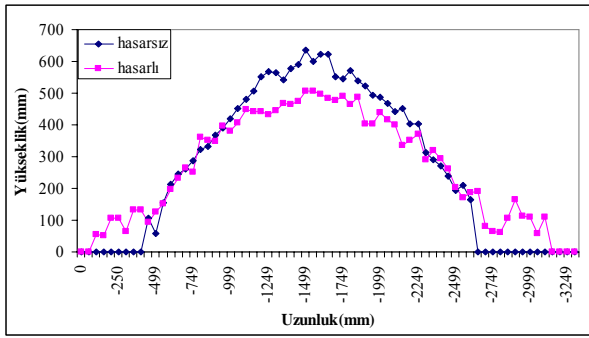
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.4 1 mm genlik 5 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

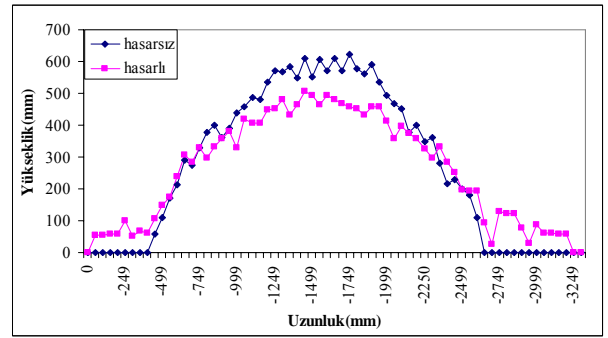
## Ek 6 (Devam)



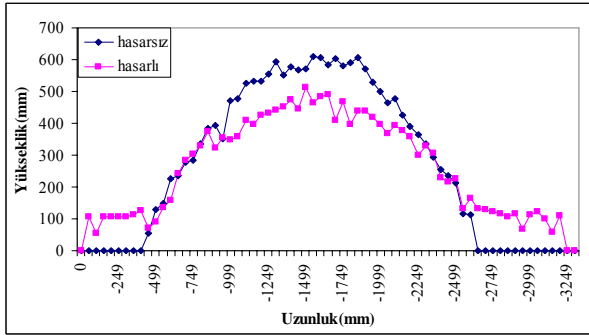
Şekil Ek 6.7 1 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



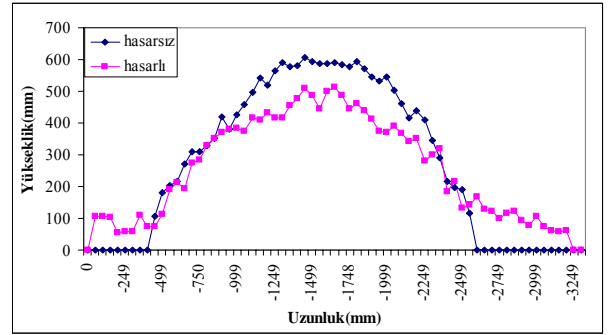
a) 2. nokta



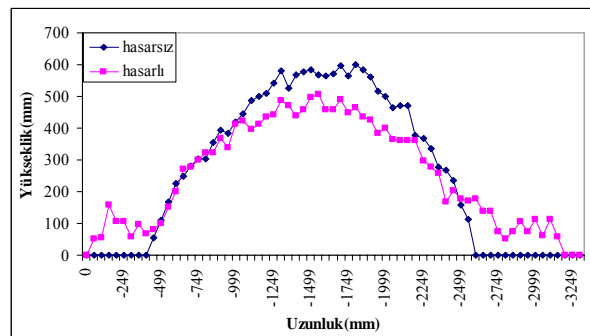
b) 3. nokta



c) 4. nokta



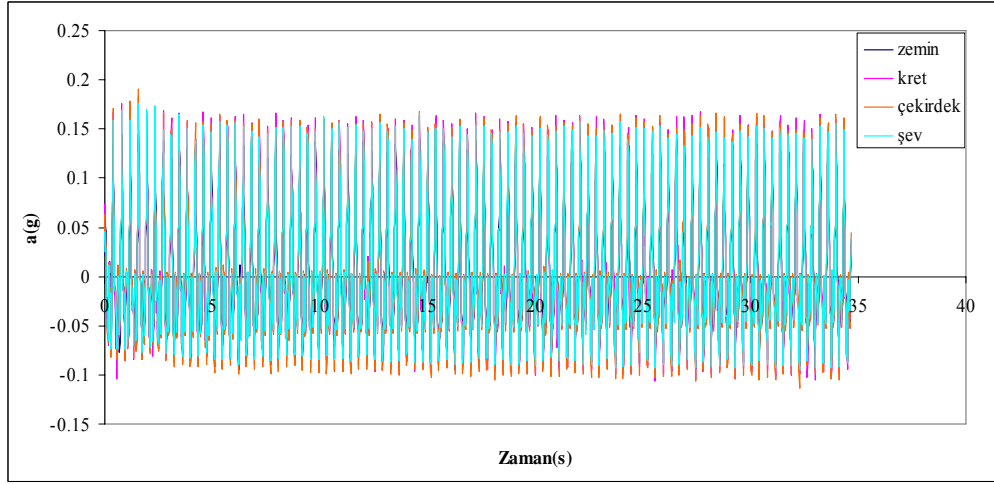
d) 5. nokta



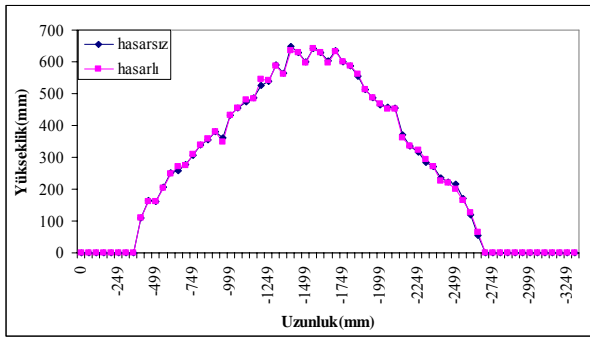
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.8 1 mm genlik 6 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

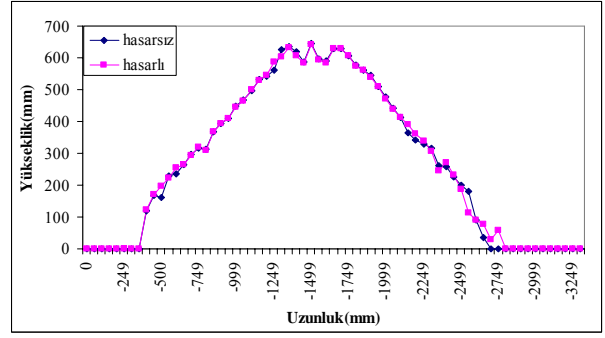
## Ek 6 (Devam)



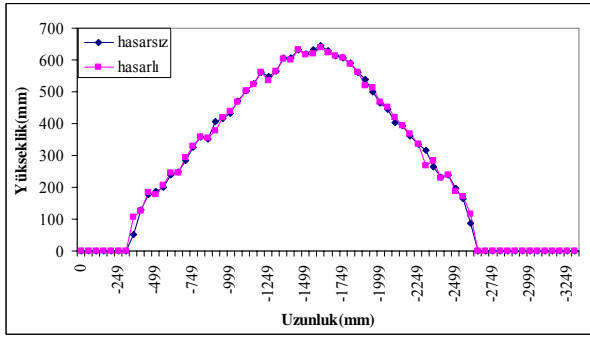
Şekil Ek 6.9 2 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



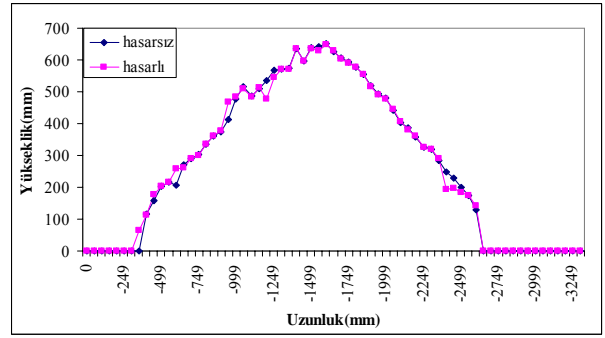
a) 2. nokta



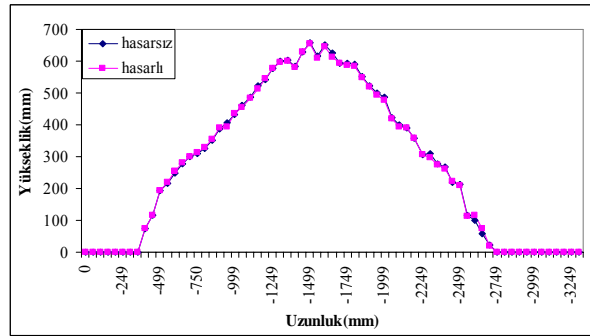
b) 3. nokta



c) 4. nokta



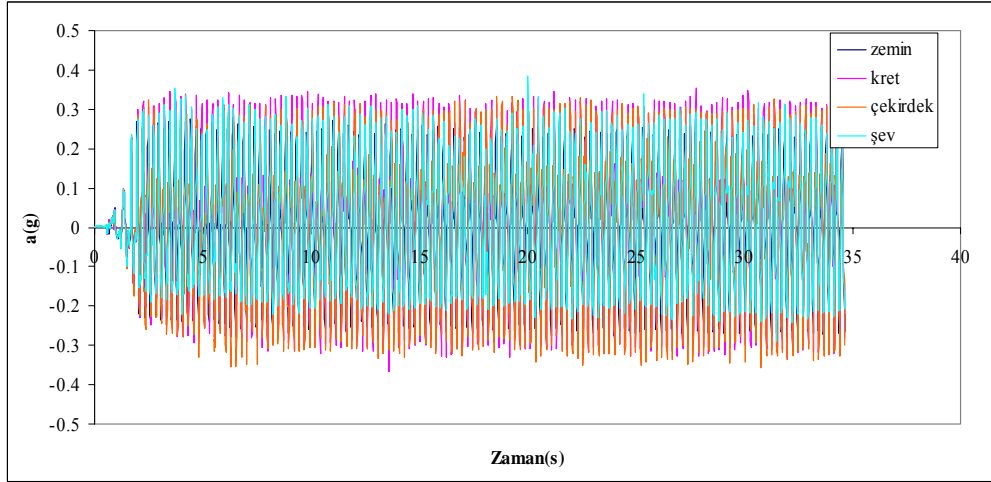
d) 5. nokta



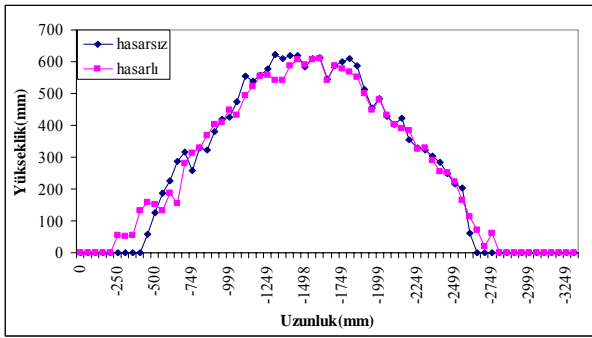
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.10 2 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

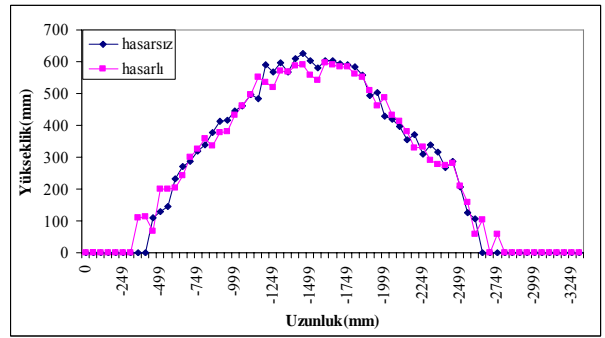
## Ek 6 (Devam)



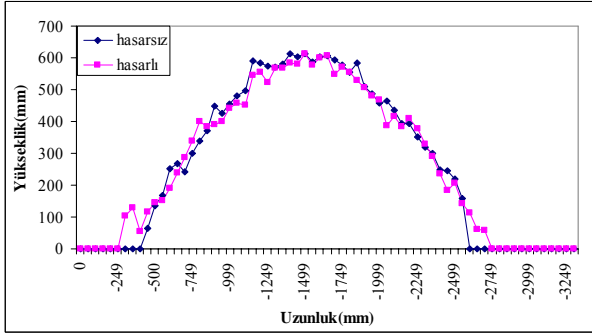
Şekil Ek 6.11 2 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



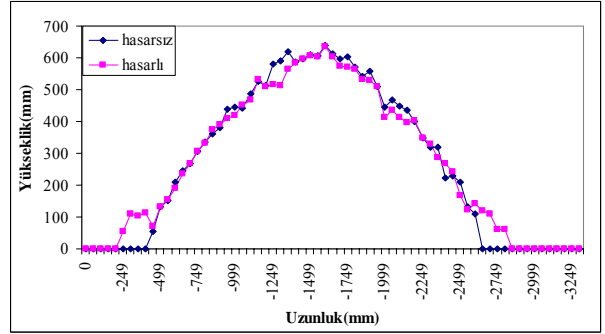
a) 2. nokta



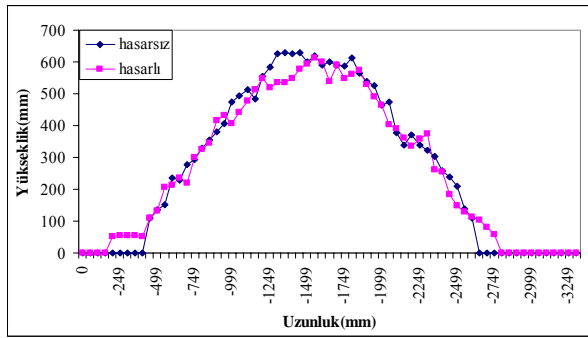
b) 3. nokta



c) 4. nokta



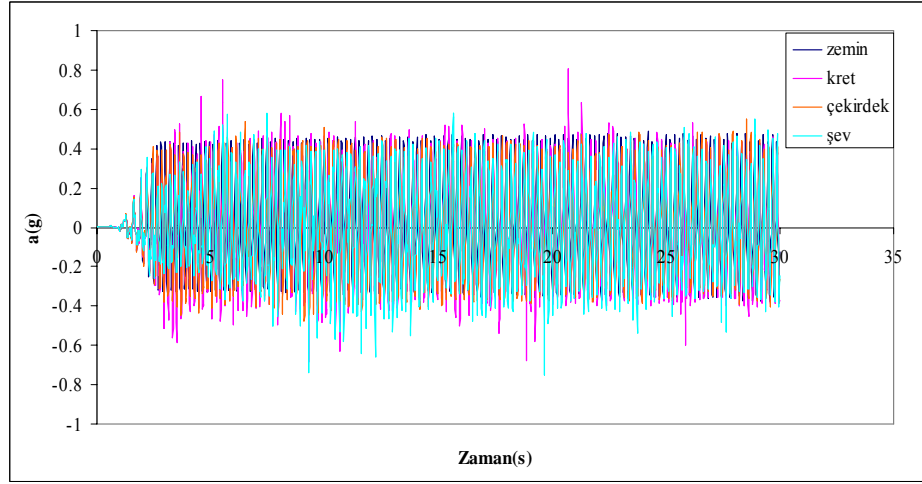
d) 5. nokta



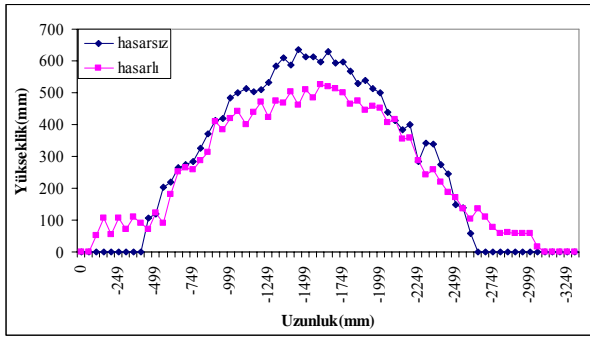
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.12 2 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

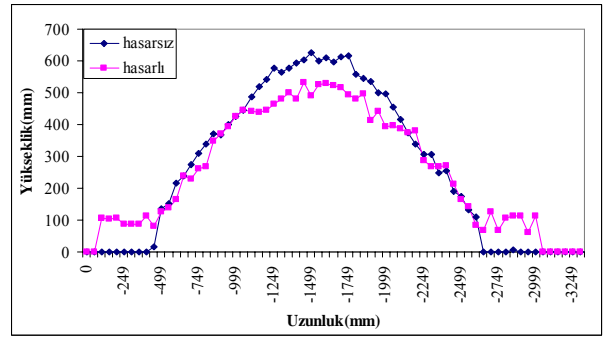
## Ek 6 (Devam)



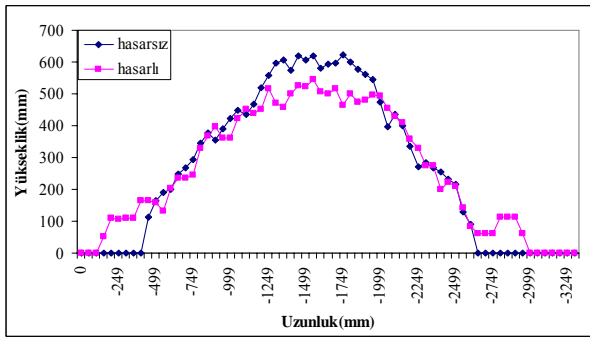
Şekil Ek 6.13 2 mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



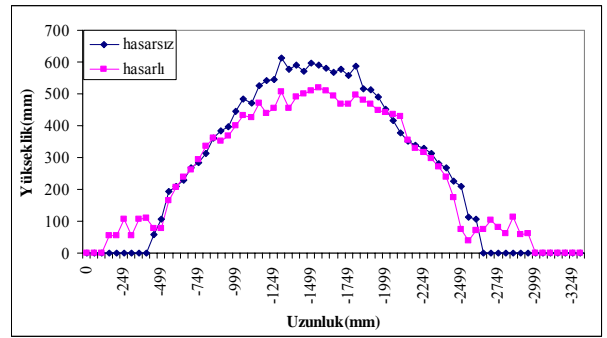
a) 2. nokta



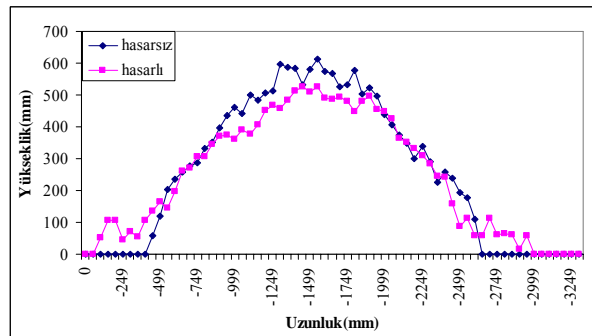
b) 3. nokta



c) 4. nokta



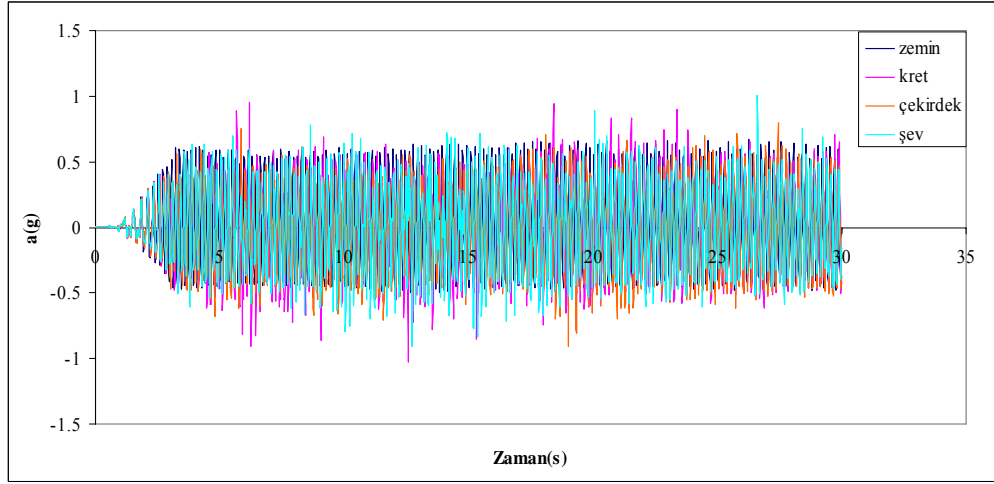
d) 5. nokta



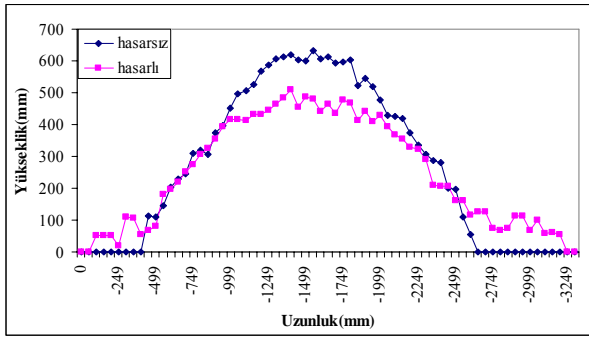
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.14 2 mm genlik 5 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

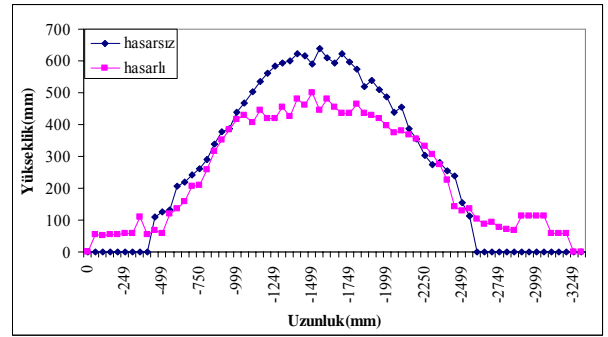
## Ek 6 (Devam)



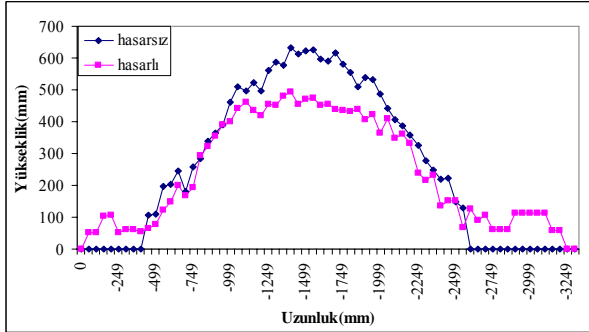
Şekil Ek 6.15 2 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



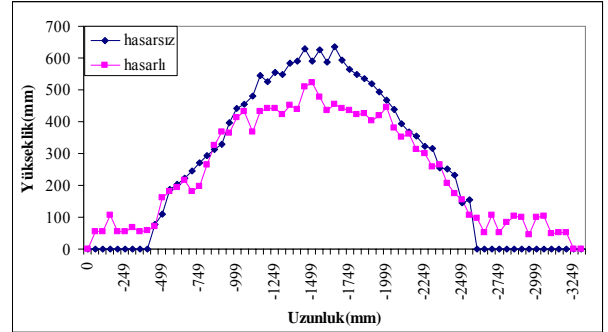
a) 2. nokta



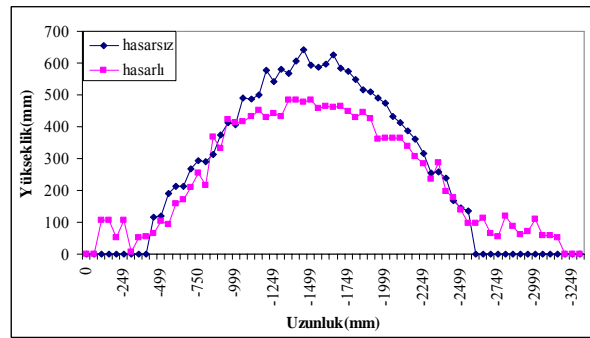
b) 3. nokta



c) 4. nokta



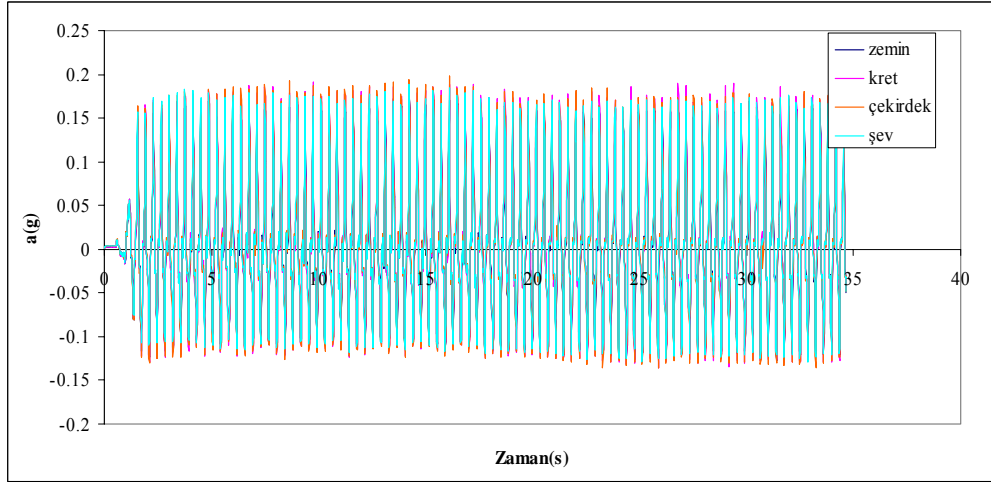
d) 5. nokta



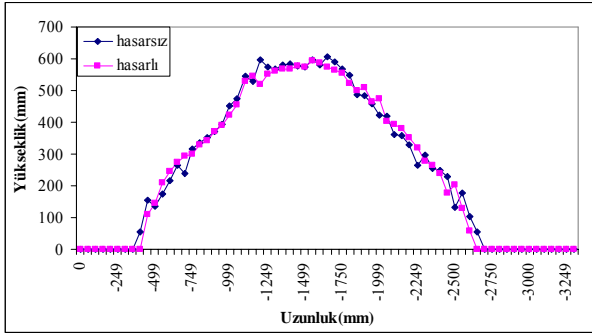
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.16 2 mm genlik 6 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

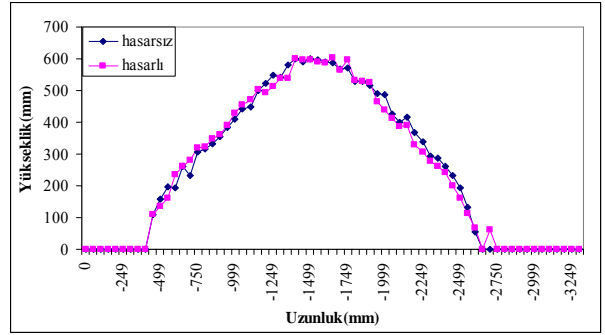
## Ek 6 (Devam)



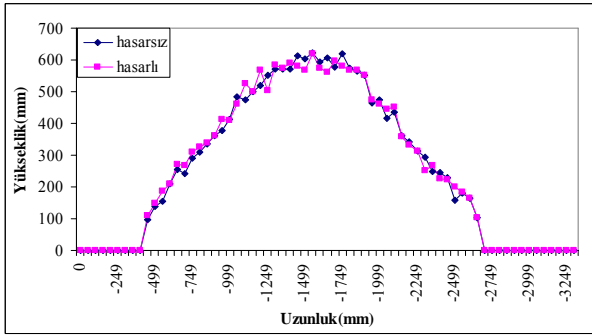
Şekil Ek 6.17 3 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



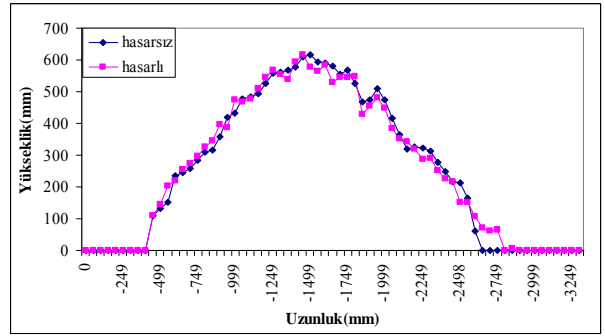
a) 2. nokta



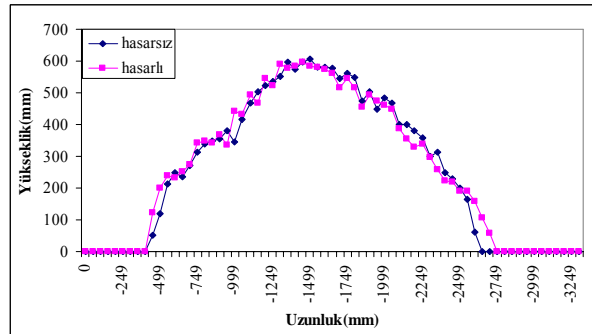
b) 3. nokta



c) 4. nokta



d) 5. nokta

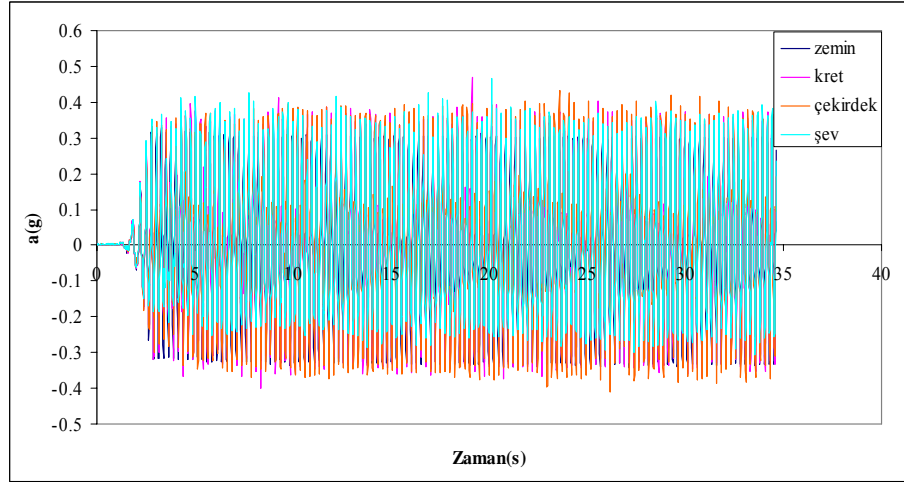


e) 6. nokta

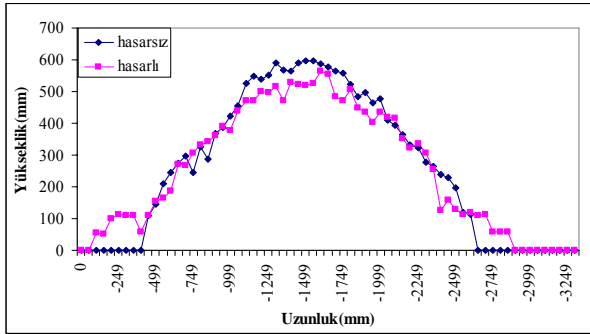
Şekil Ek 6.18 3 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller



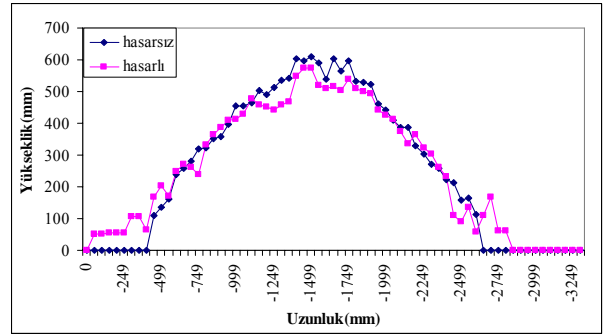
## Ek 6 (Devam)



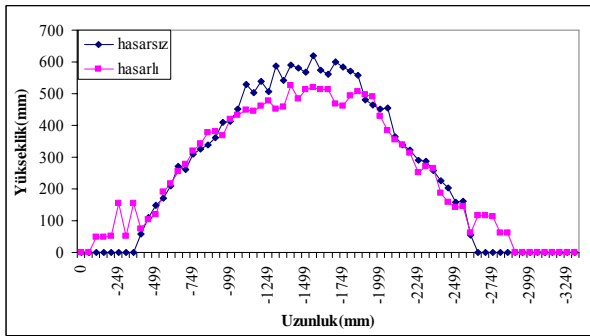
Şekil Ek 6.19 3 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



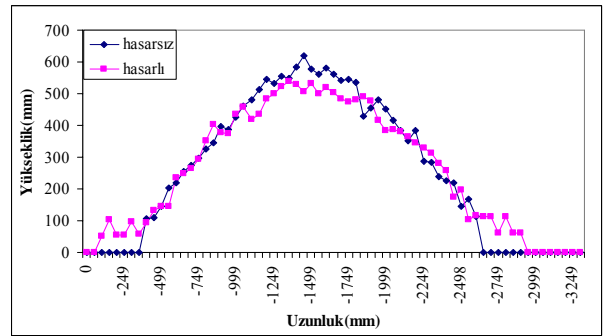
a) 2. nokta



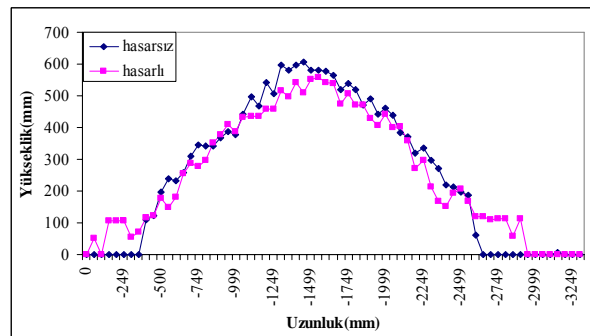
b) 3. nokta



c) 4. nokta



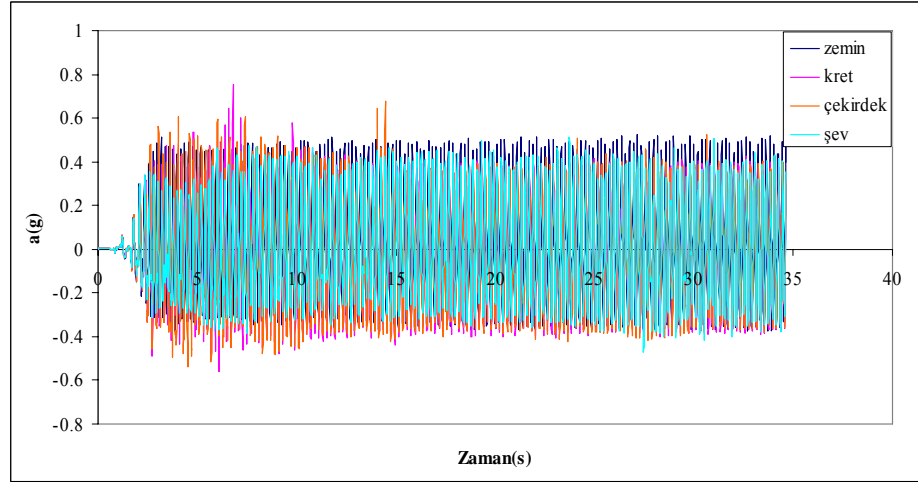
d) 5. nokta



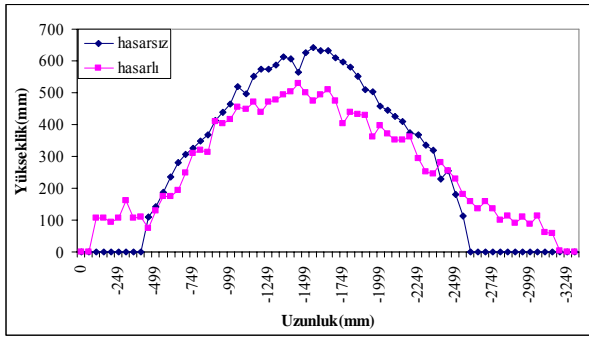
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.20 3 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

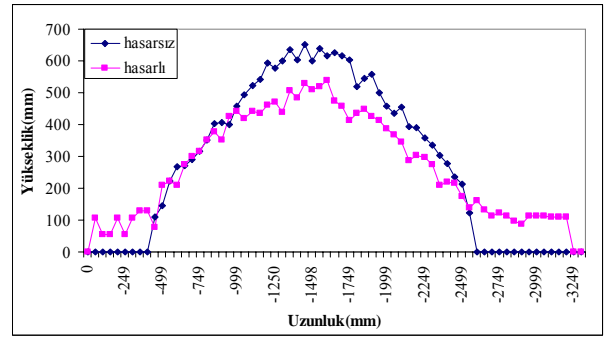
## Ek 6 (Devam)



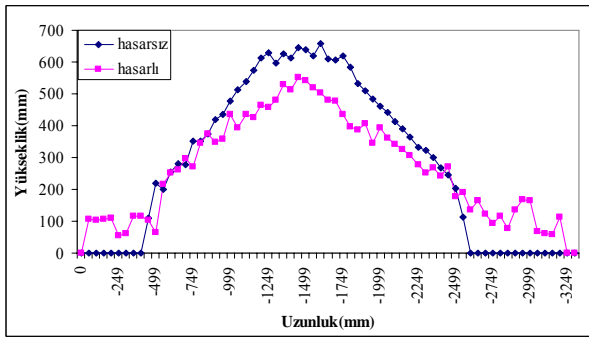
Şekil Ek 6.21 3 mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



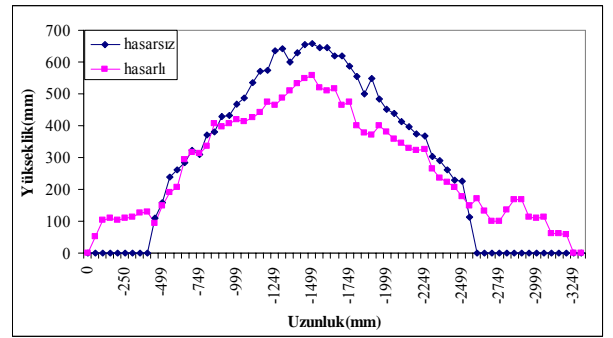
a) 2. nokta



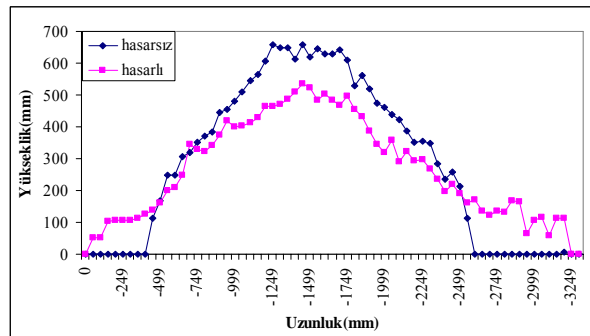
b) 3. nokta



c) 4. nokta



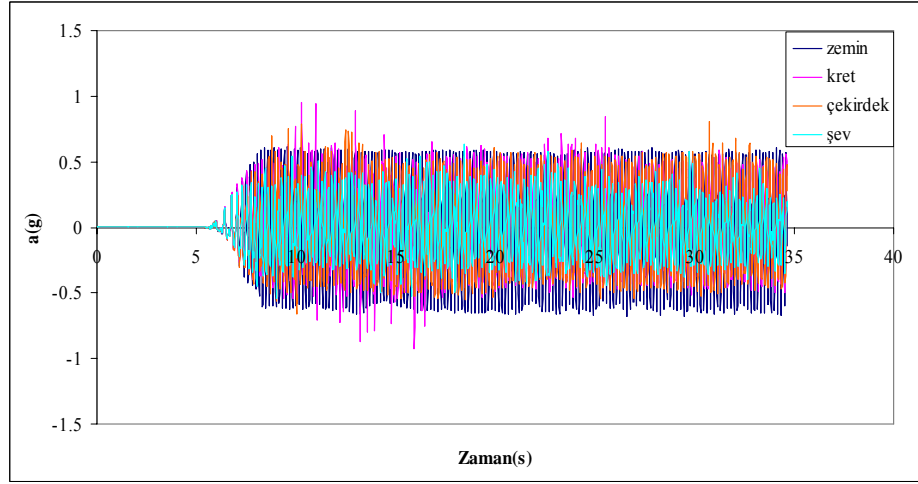
d) 5. nokta



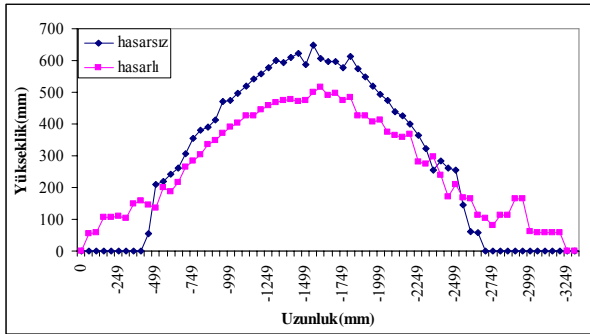
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.22 3 mm genlik 5 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

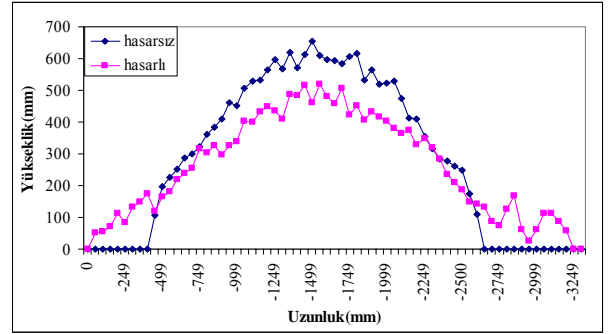
## Ek 6 (Devam)



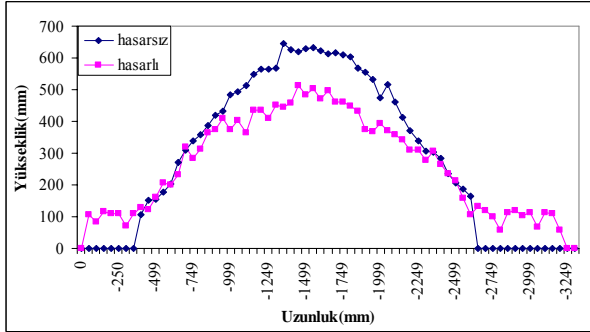
Şekil Ek 6.23 3 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



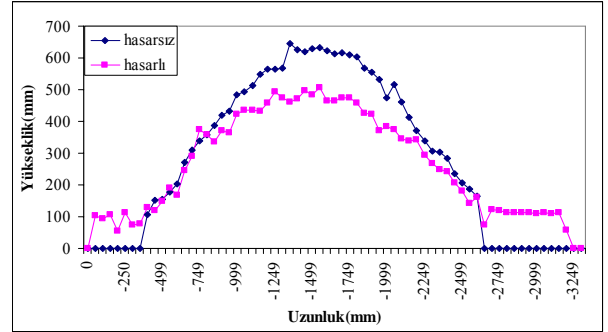
a) 2. nokta



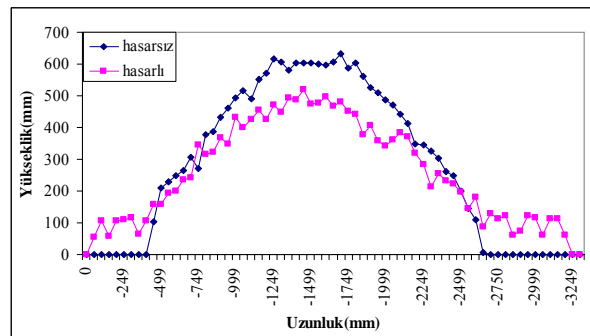
b) 3. nokta



c) 4. nokta



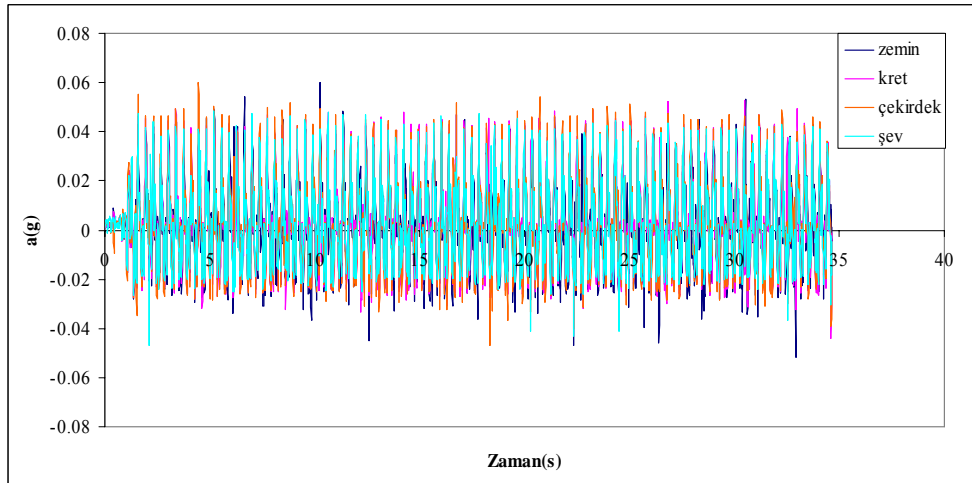
d) 5. nokta



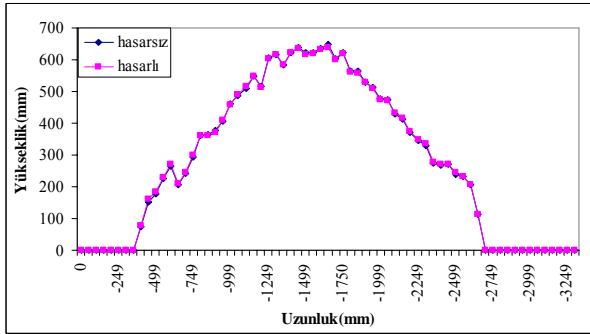
e) 6. nokta

Şekil Ek 6.24 3 mm genlik 6 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

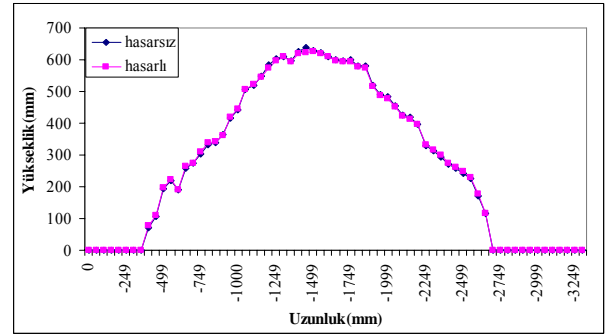
**Ek 7** Küp blok ile oluşturulan topuklu model için 1, 2, 3 mm genlik ve 3, 4, 5, 6 Hz frekans değerleri için yapılan deneylerde elde edilen ivme ve profil kayıtları



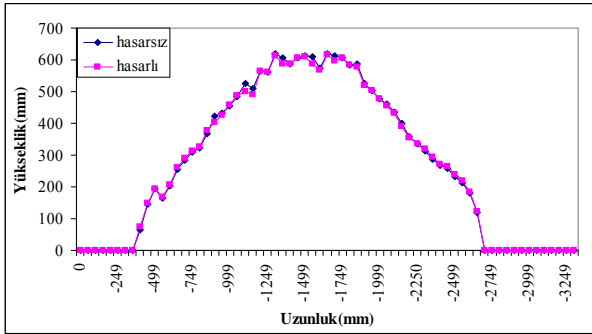
Şekil Ek 7.1 1 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



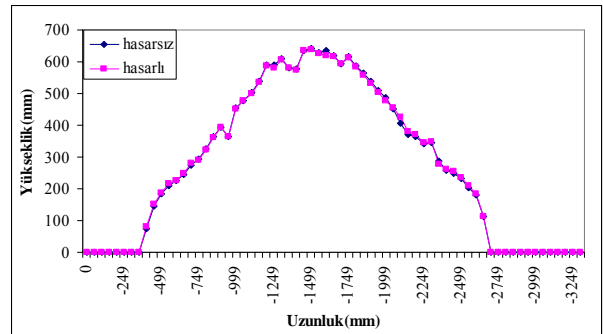
a) 2. nokta



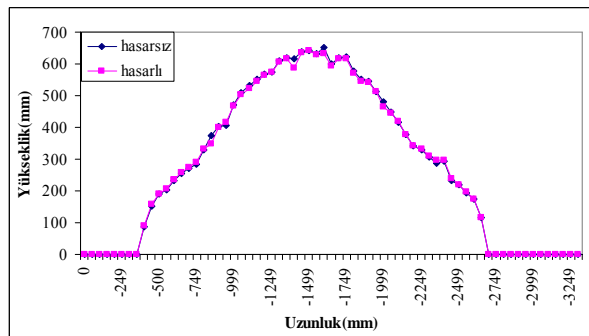
b) 3. nokta



c) 4. nokta



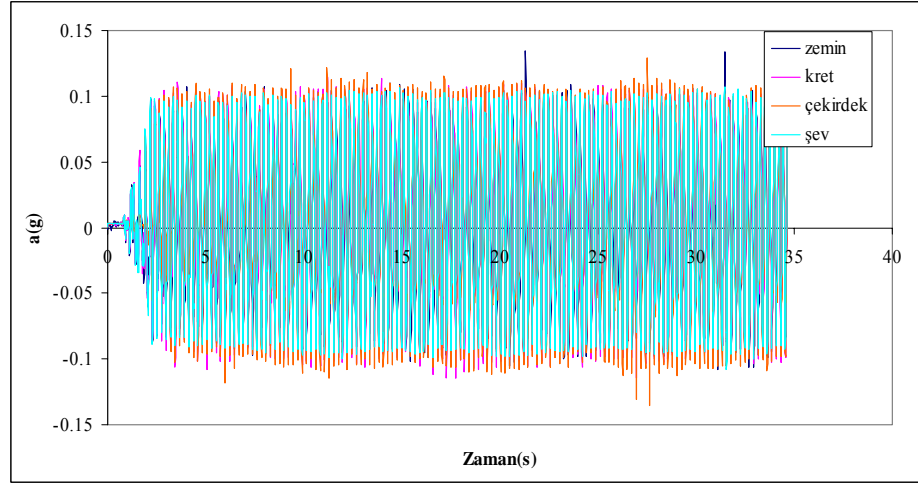
d) 5. nokta



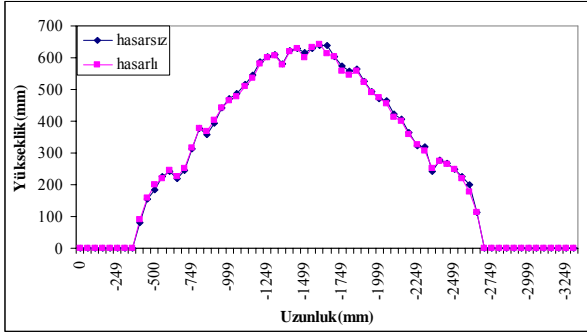
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.2 1 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

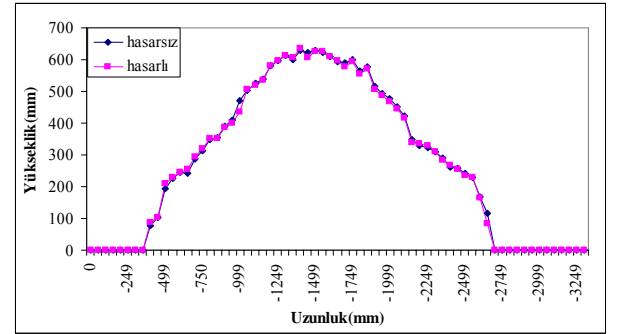
## Ek 7 (Devam)



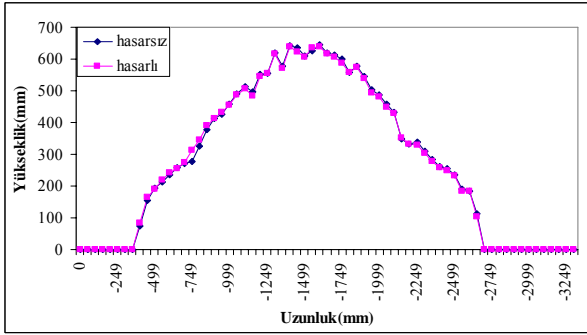
Şekil Ek 7.3 1 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



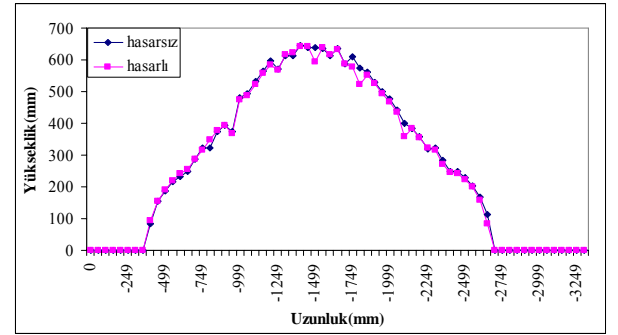
a) 2. nokta



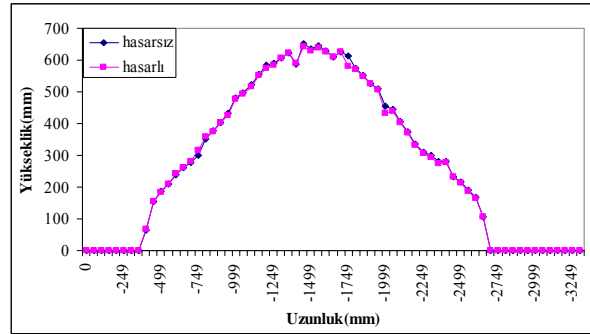
b) 3. nokta



c) 4. nokta



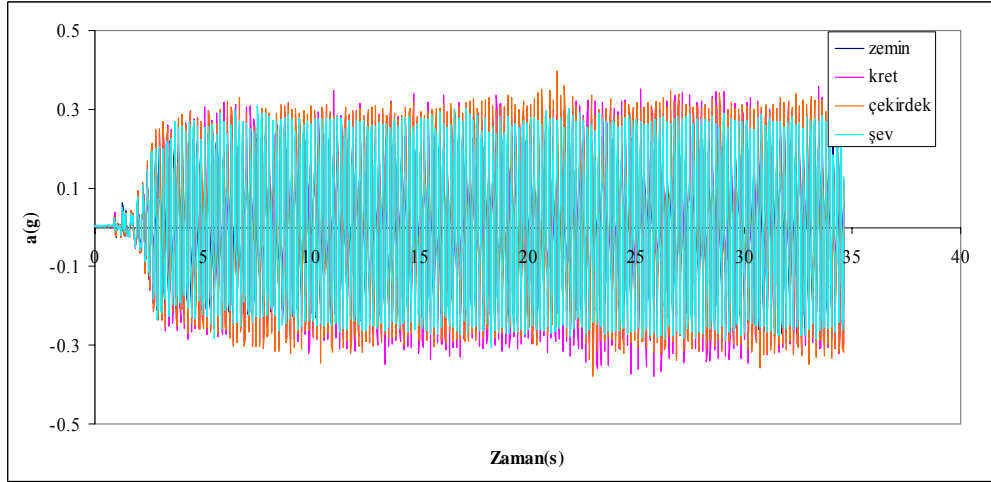
d) 5. nokta



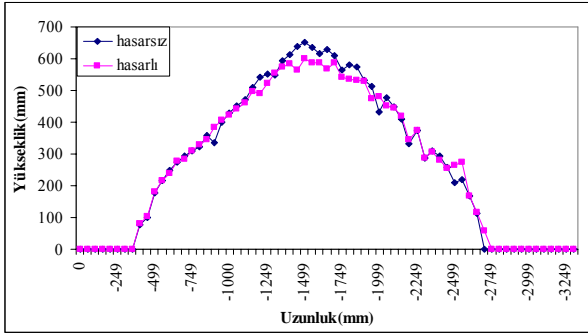
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.4 1 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

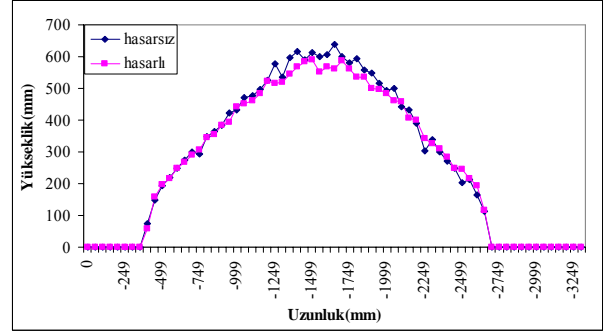
## Ek 7 (Devam)



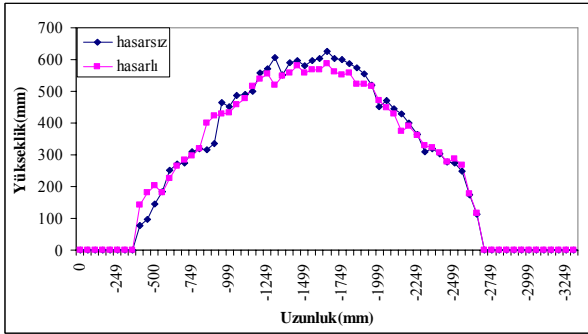
Şekil Ek 7.5 1 mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



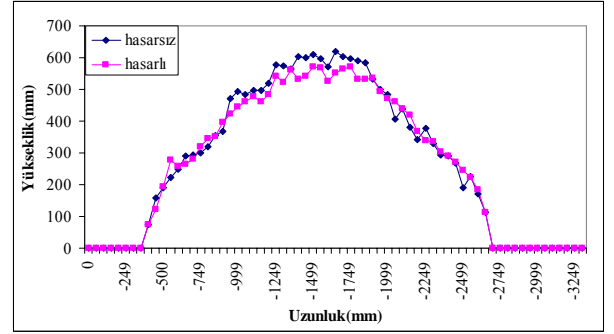
a) 2. nokta



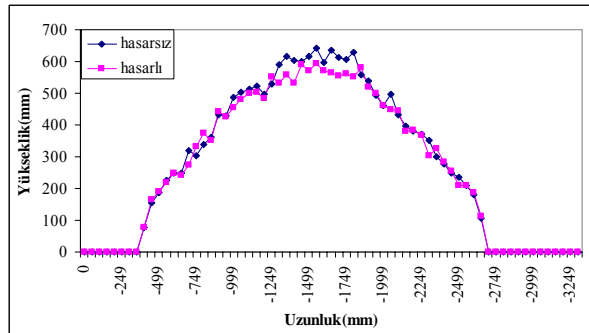
b) 3. nokta



c) 4. nokta



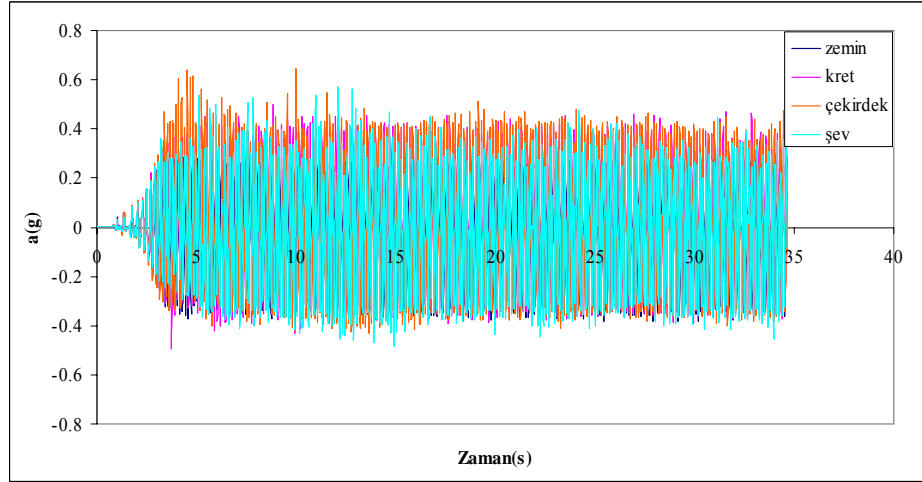
d) 5. nokta



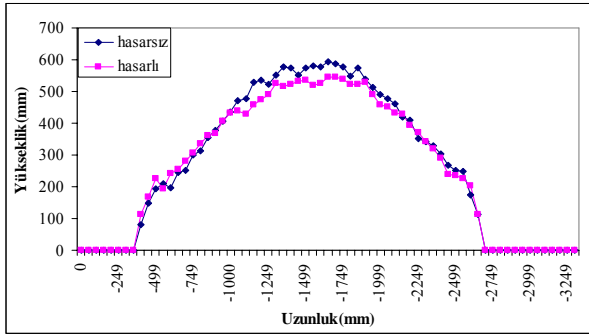
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.6 1 mm genlik 5 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

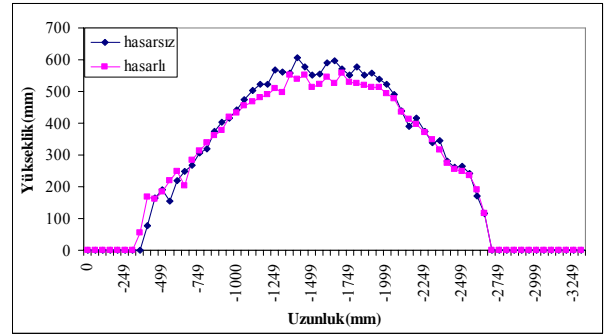
## Ek 7 (Devam)



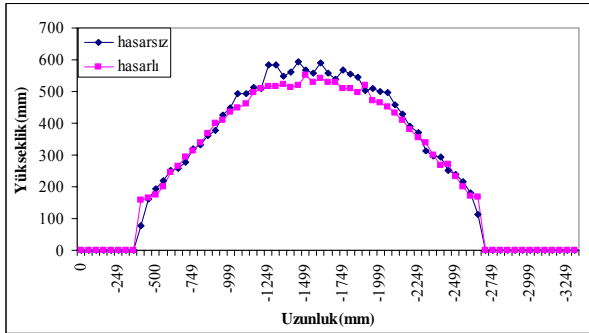
Şekil Ek 7.7 1 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



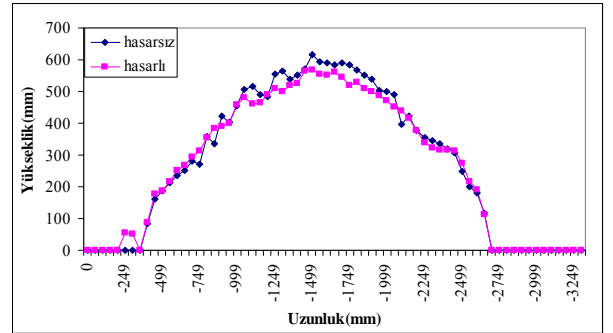
a) 2. nokta



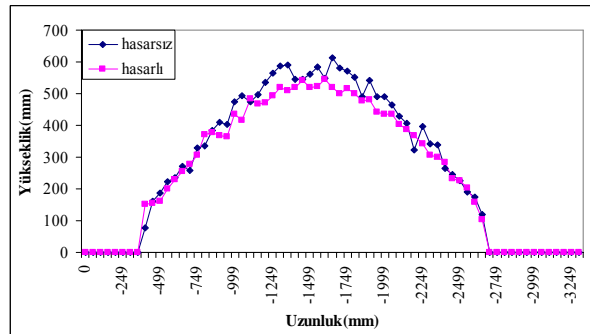
b) 3. nokta



c) 4. nokta



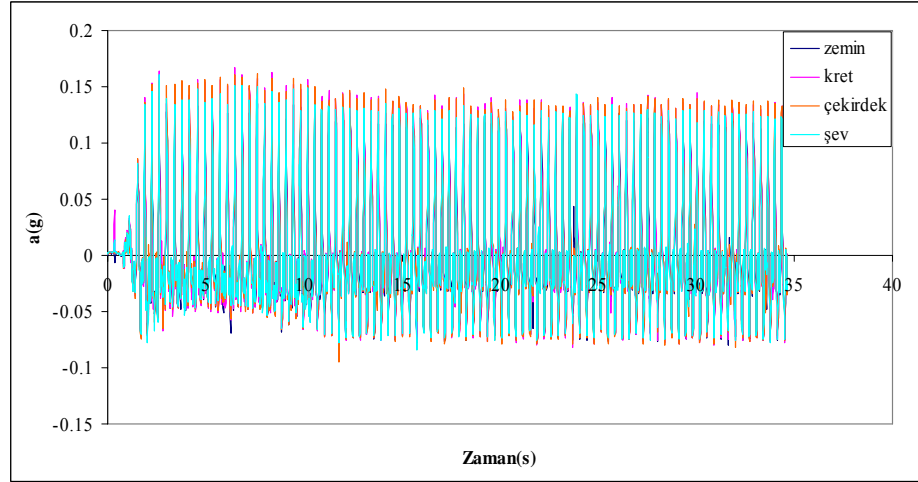
d) 5. nokta



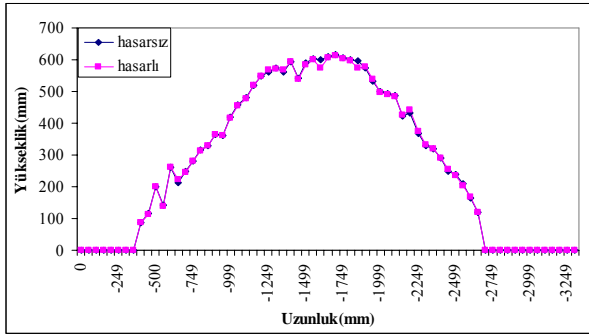
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.8 1 mm genlik 6 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

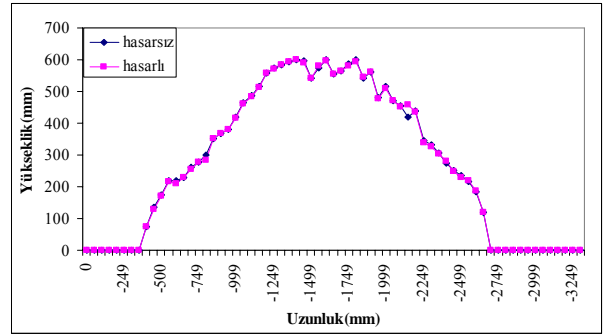
## Ek 7 (Devam)



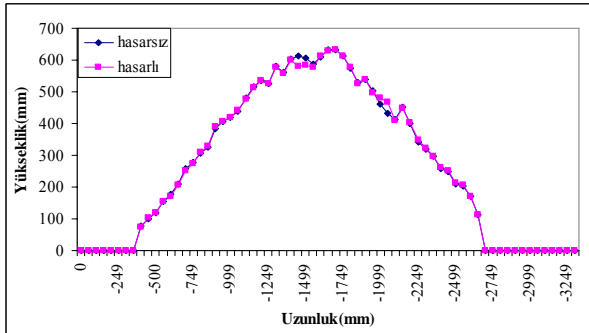
Şekil Ek 7.9 2 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



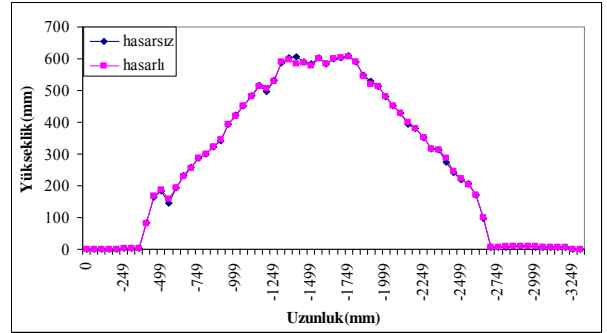
a) 2. nokta



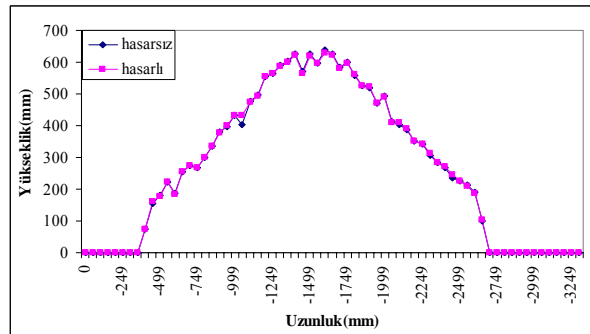
b) 3. nokta



c) 4. nokta



d) 5. nokta

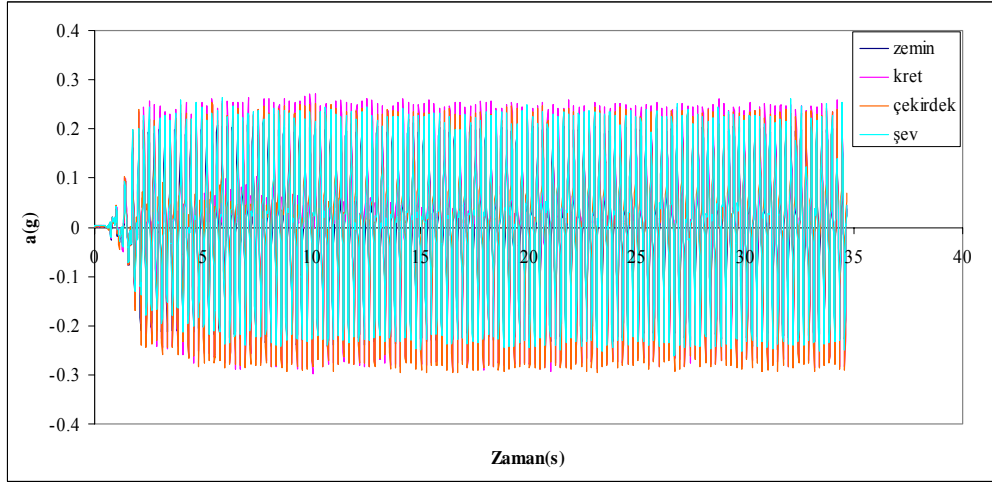


e) 6. nokta

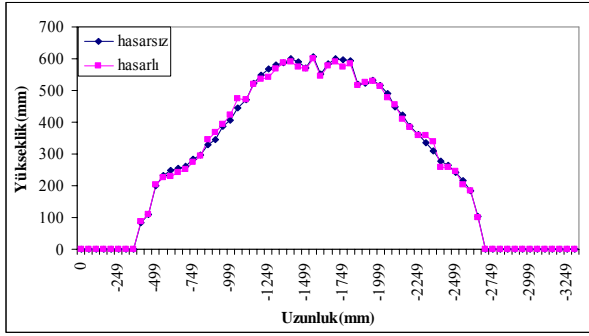
Şekil Ek 7.10 2 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller



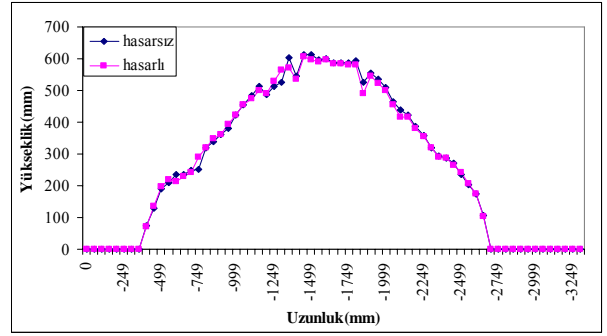
## Ek 7 (Devam)



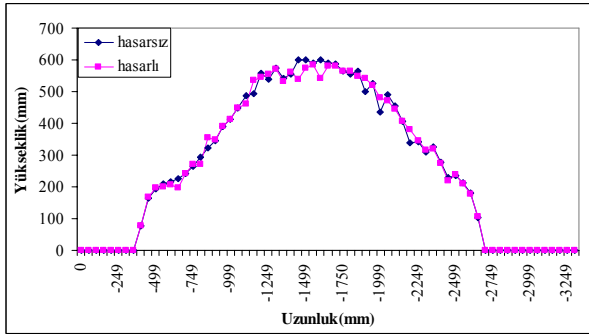
Şekil Ek 7.11 2 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



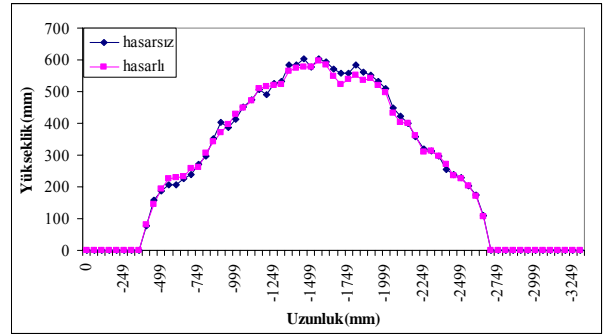
a) 2. nokta



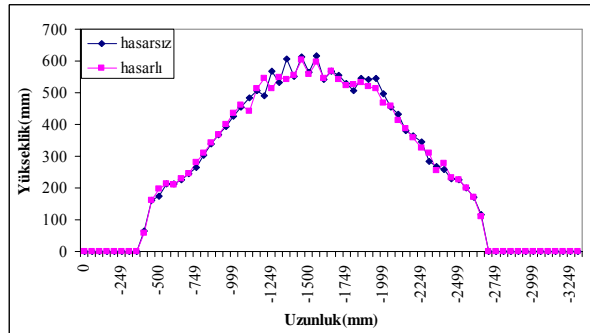
b) 3. nokta



c) 4. nokta



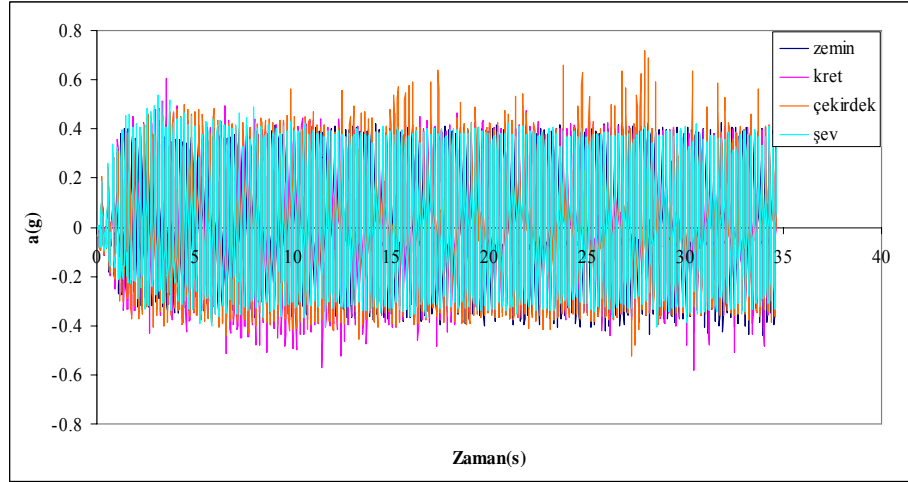
d) 5. nokta



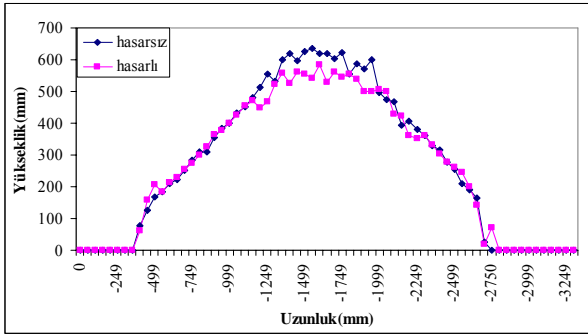
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.12 2 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

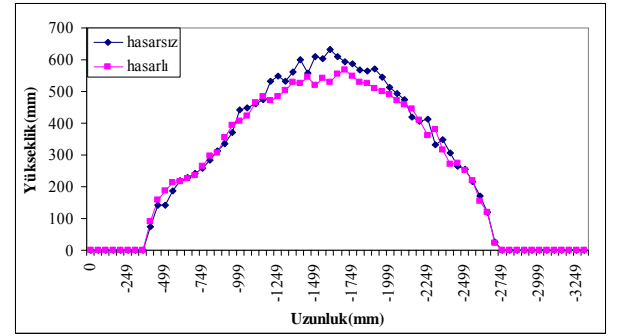
## Ek 7 (Devam)



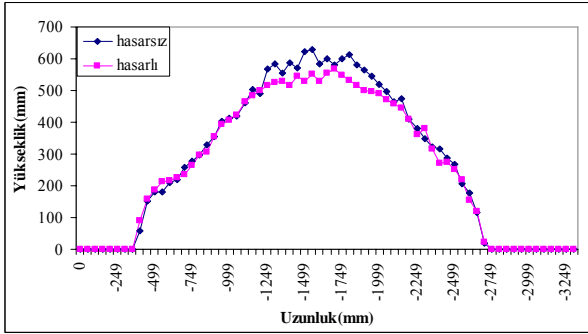
Şekil Ek 7.13 2 mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



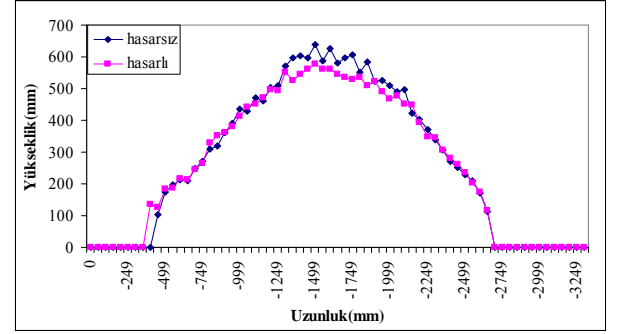
a) 2. nokta



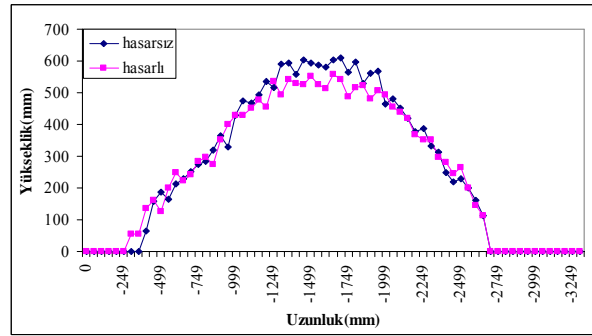
b) 3. nokta



c) 4. nokta



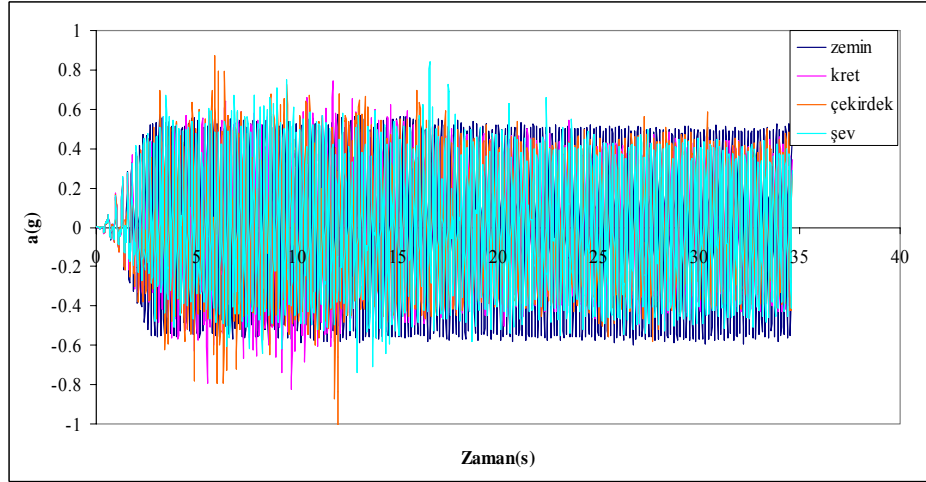
d) 5. nokta



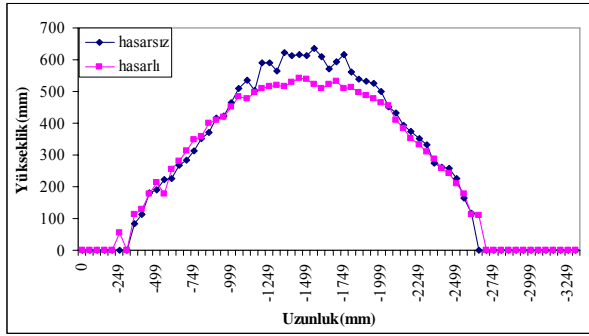
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.14 2 mm genlik 5 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

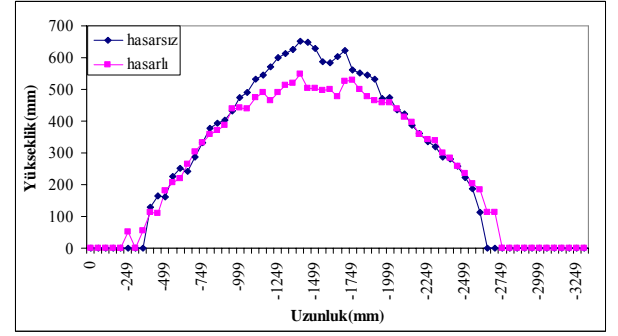
## Ek 7 (Devam)



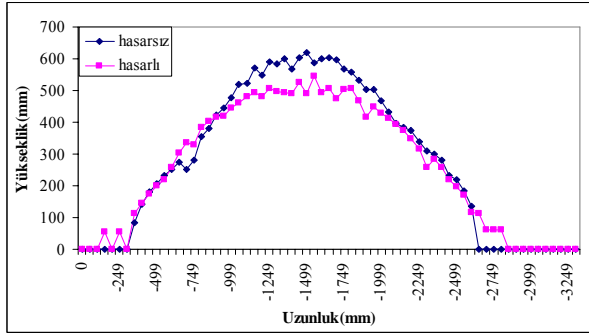
Şekil Ek 7.15 2 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



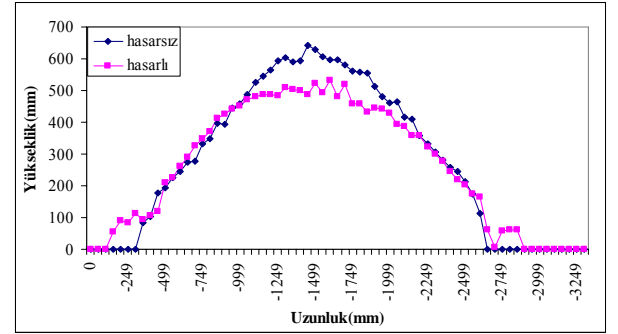
a) 2. nokta



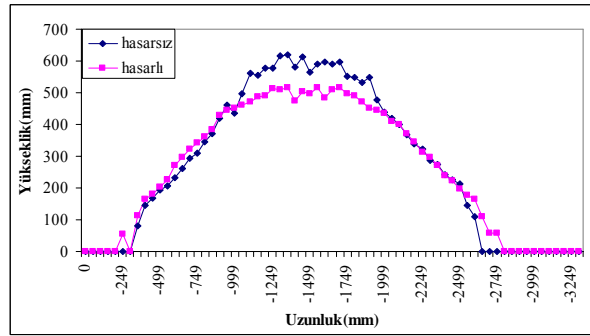
b) 3. nokta



c) 4. nokta



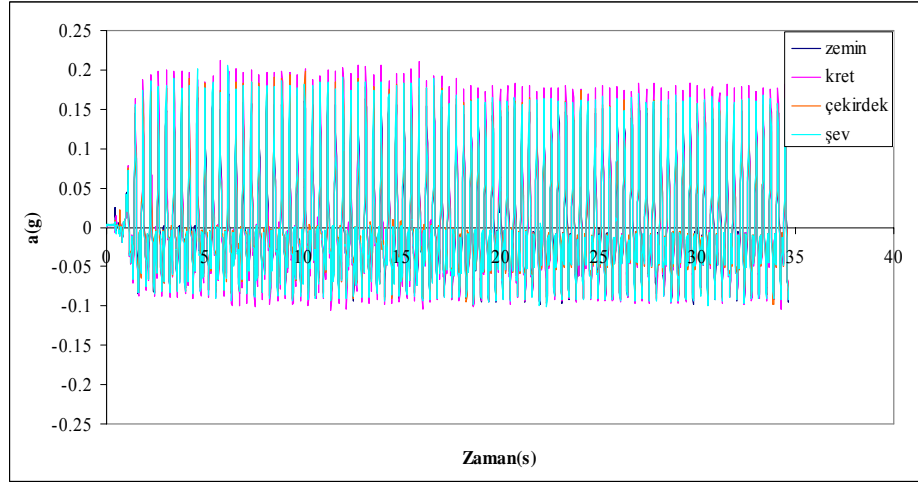
d) 5. nokta



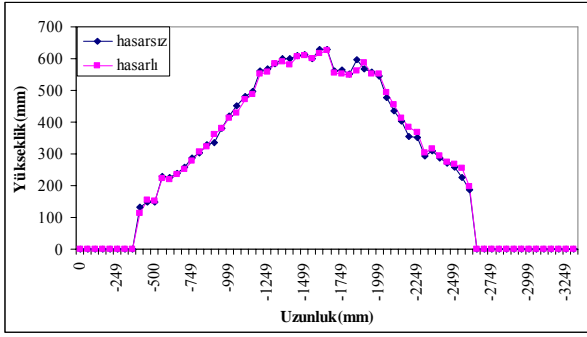
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.16 2 mm genlik 6 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

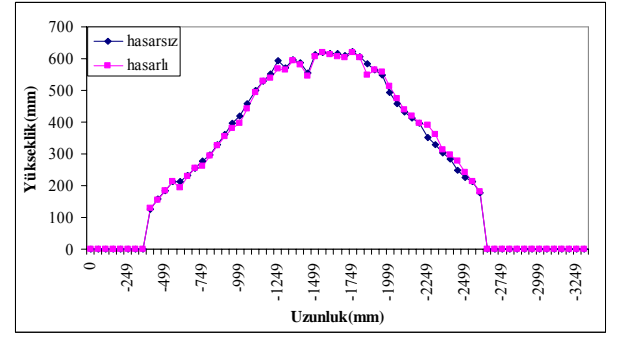
## Ek 7 (Devam)



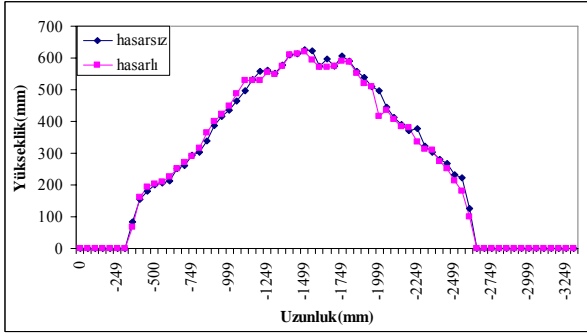
Şekil Ek 7.17 3 mm genlik, 3 Hz frekans için ivme değerleri



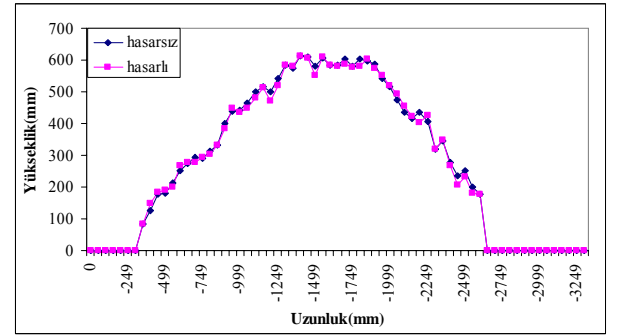
a) 2. nokta



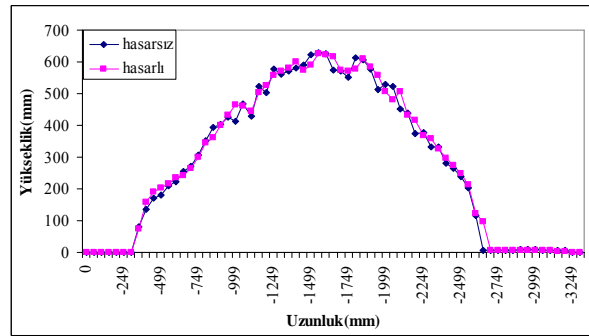
b) 3. nokta



c) 4. nokta



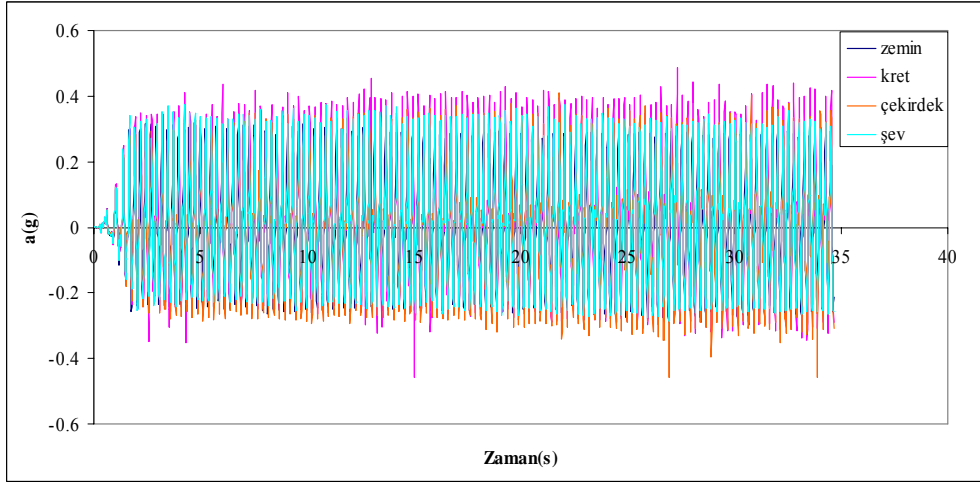
d) 5. nokta



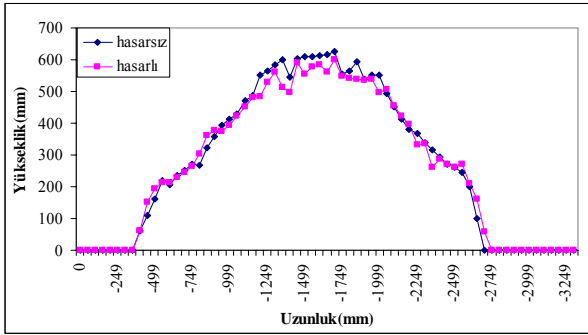
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.18 3 mm genlik 3 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

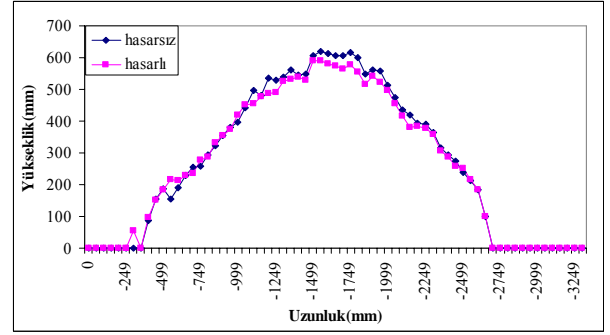
## Ek 7 (Devam)



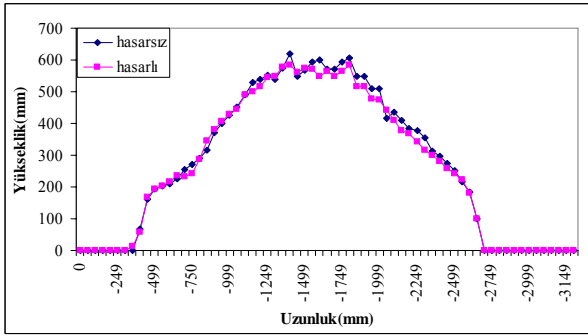
Şekil Ek 7.21 3 mm genlik, 4 Hz frekans için ivme değerleri



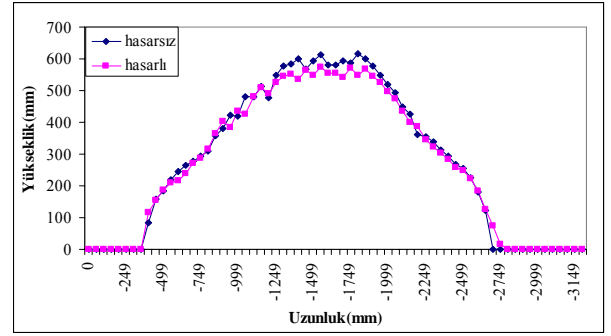
a) 2. nokta



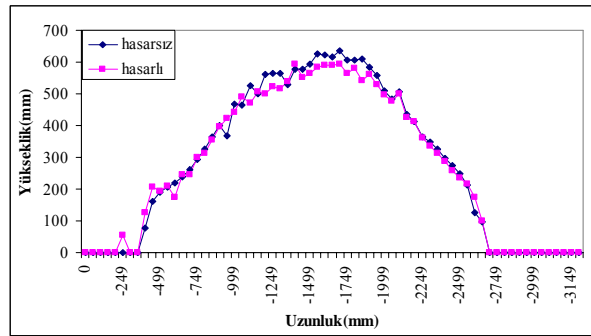
b) 3. nokta



c) 4. nokta



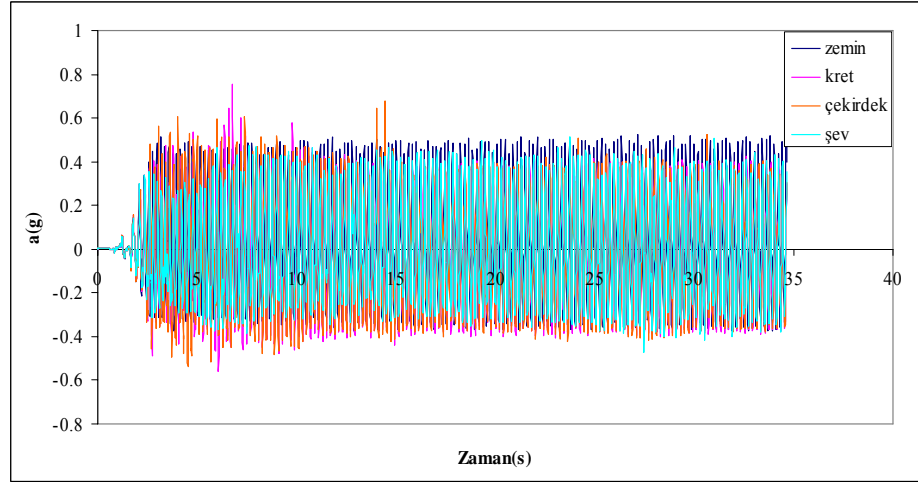
d) 5. nokta



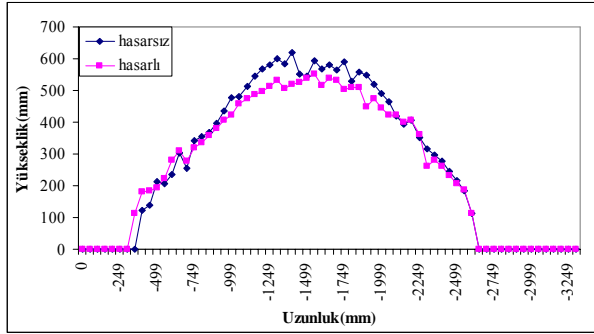
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.22 3 mm genlik 4 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

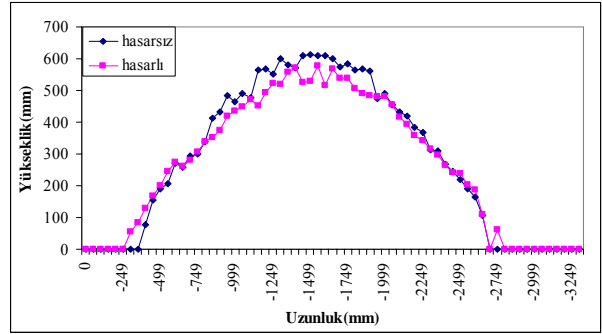
## Ek 7 (Devam)



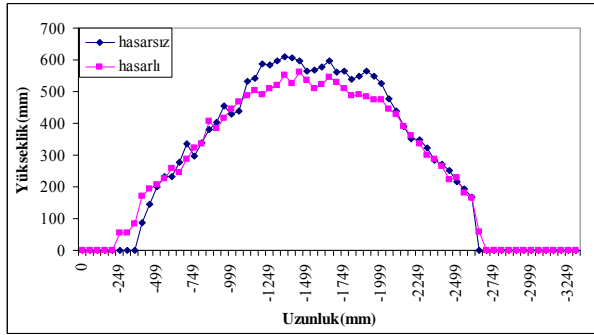
Şekil Ek 7.23 3 mm genlik, 5 Hz frekans için ivme değerleri



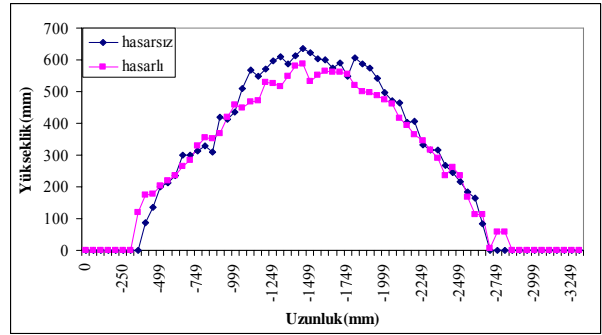
a) 2. nokta



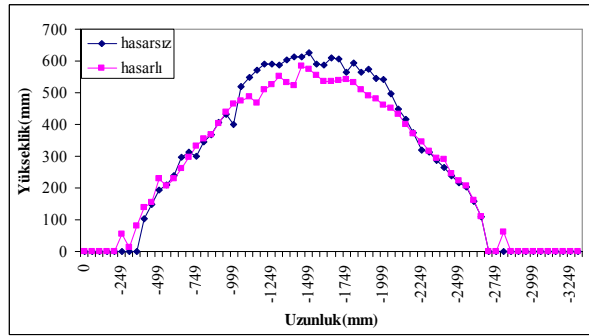
b) 3. nokta



c) 4. nokta



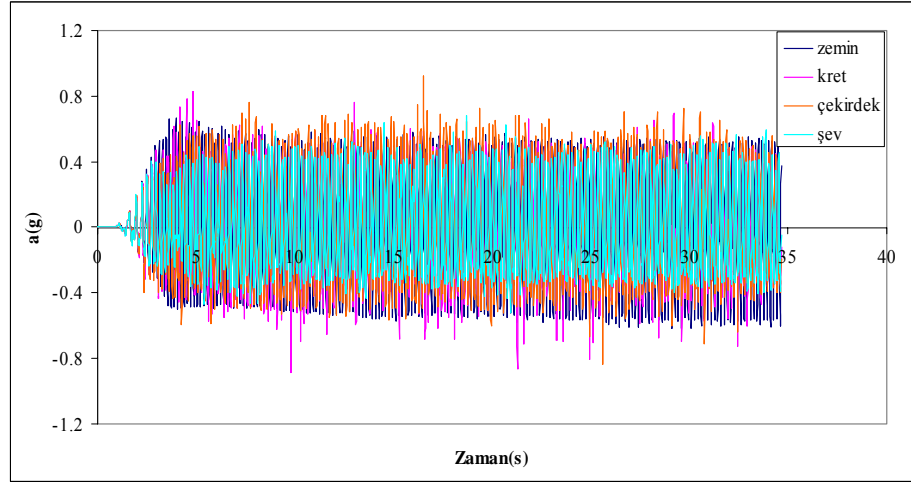
d) 5. nokta



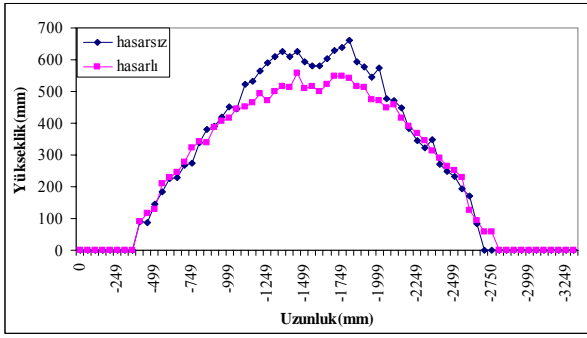
e) 6. nokta

Şekil Ek 7.24 3 mm genlik 5 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

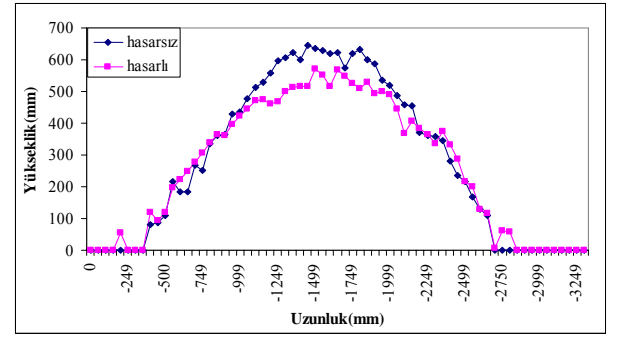
## Ek 7 (Devam)



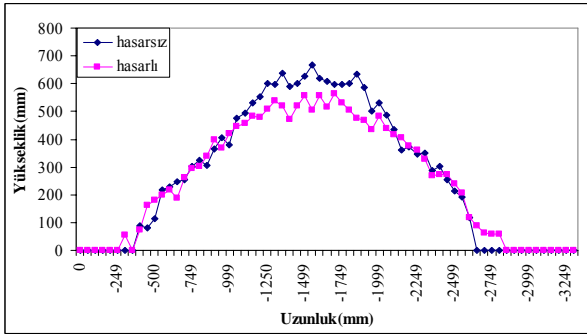
Şekil Ek 7.25 3 mm genlik, 6 Hz frekans için ivme değerleri



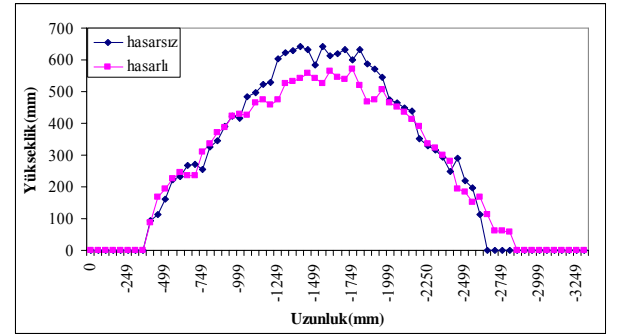
a) 2. nokta



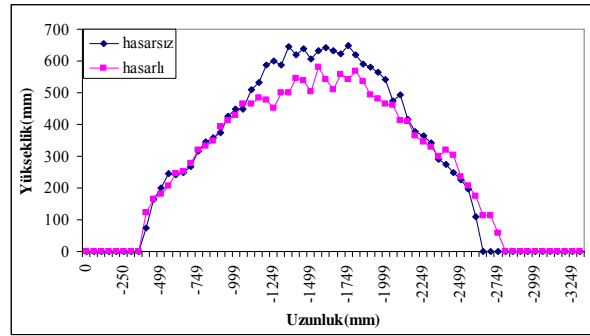
b) 3. nokta



c) 4. nokta



d) 5. nokta



e) 6. nokta

Şekil Ek 7.26 3 mm genlik 6 Hz frekans için hasarsız ve hasarlı profiller

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 12.12.1978

Doğum yeri İstanbul

Lise	1992-1995	Şişli Lisesi
Lisans	1996-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı
Doktora	2003-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Kıyı ve Liman Müh. Programı

**Çalıştığı kurumlar**

2005-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi