

**KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUCUK İZOLATÖRLERDE DEPREM ETKİME
AÇISININ MAKSİMUM İZOLATÖR DEPLASMANLARINA ETKİSİ**

BURAK ERŞEKER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekanik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Gökhan ÖZDEMİR

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Haziran, 2017

Bu Tez Çalışması TÜBİTAK tarafından kabul edilen 114M259 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Burak ERŞEKER'in "KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK İZOLATÖRLERDE DEPREM ETKİME AÇISININ MAKSİMUM İZOLATÖR DEPLASMANLARINA ETKİSİ" başlıklı tezi 27/04/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, Mekanik Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı-Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç. Dr. Gökhan ÖZDEMİR
Üye	: Doç. Dr. Beyhan BAYHAN
Üye	: Doç. Dr. Özgür AVŞAR

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK İZOLATÖRLERDE DEPREM ETKİME AÇISININ MAKSİMUM İZOLATÖR DEPLASMANLARINA ETKİSİ

Burak ERŞEKER

Mekanik Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, 2017

Danışman: Doç. Dr. Gökhan ÖZDEMİR

Sismik taban izolasyonunda kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılan yapıların deprem hareketleri altındaki davranışını inceleyen çalışmalar göstermiştir ki, deneysel çalışmalardan elde edilen izolatöre ait kuvvet-deplasman eğrileri ile izolatörlerin gerçek davranışına uygun olarak geliştirilen ve izolatör dayanımının azalım gösterdiği malzeme modeli kullanılarak elde edilen izolatör davranışı başarılı bir şekilde örtüşmektedir. Bu çalışmanın amacı, kuvvet-deplasman ilişkisi azalım gösteren kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde, çift doğrultulu deprem hareketleri altında maksimum izolatör deplasmanlarının farklı deprem etkime açılarının dikkate alındığı durumlar için elde edilmesidir. Bu doğrultuda, seçilecek deprem hareketlerinin birbirine dik yatay doğrultudaki her iki kaydı 10'ar derece aralıklarla döndürülecek ve incelemeye konu olan sismik taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle yapılan binaya etki ettirilecektir. Elde edilen sonuçlar ışığında, deprem hareketlerinin etkime açısı dikkate alınmadan elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarının, deprem etkime açısına bağlı olarak elde edilecek olası artış miktarını yansıtacak şekilde önerilecek bir katsayı aracılığıyla uygun bir biçimde geliştirilmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sismik Taban İzolasyonu, Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler, Maksimum İzolatör Deplasmanı, Deprem Etkime Açısı.

ABSTRACT

EFFECT OF GROUND MOTION EXCITATION DIRECTION ON THE MAXIMUM ISOLATOR DISPLACEMENTS OF LEAD-RUBBER BEARINGS

Burak ERSEKER

Department of Civil Engineering

Anadolu University, Graduate School of Science, June, 2017

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökhan ÖZDEMİR

Research studies that focused on the response of seismic base isolated structures isolated with lead rubber bearings (LRBs) showed that the performance of isolators are in agreement with the experimental results provided that the actual deteriorating hysteretic behavior of LRBs are used in the analyses. Consequently, deteriorating hysteretic representations for cyclic behavior of LRBs are used in all of the analyses performed in the present study. The objective of this study is to determine the amplification in maximum isolator displacements (MIDs) when LRB isolated structures are subjected to bidirectional excitations of records with different orientations. For this purpose orthogonal horizontal components of ground motions were rotated from their as-recorded original forms by increments of 10° up to 360° and employed in nonlinear response history analyses. In the analyses, first, the original (as-recorded) ground motion is applied to the seismically isolated structure and the corresponding MID is noted. Then, the same structure is subjected to rotated versions of the same ground motion and MID is recorded. To quantify the amplification in isolator displacement due to change in ground motion orientation, MIDs are compared. Once the effect of ground motion orientation is established, a constant that accounts for the amplification in MID due to ground motion orientation is proposed to be used in estimating MIDs by means of original ground motion records.

Keywords: Seismic Base Isolation, Lead Rubber Bearings, Maximum Isolator Displacement, Ground Motion Incidence Angle.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı” ile tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmam ile ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Burak Erşeker

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
GÖRSELLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sismik İzolasyon	1
1.2. Sismik İzolatörler	3
1.2.1. Elastomer izolatörler.....	5
1.2.1.1. Düşük sönümlü doğal ve yapay kauçuk izolatörler.....	6
1.2.1.2. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler.....	7
1.2.2. Kayıcı izolatör sistemleri.....	9
1.3. Sismik İzolasyonlu Yapıların Davranışı.....	10
1.4. Literatür Taraması	13
1.4.1. Sismik izolatörlü yapılar hakkında yürütülen çalışmalar	13
1.4.2. Kurşun çekirdekteki ısınmanın dikkate alındığı çalışmalar.....	15
1.4.3. Çift doğrultulu deprem hareketlerinin dikkate alındığı çalışmalar.....	19
1.5. Araştırma Amaçları	27
1.6. Tez Organizasyonu.....	29
2. SİSMİK İZOLASYONLU BİNA TANITIMI VE İZOLATÖR TASARIMI.....	31
2.1. Sismik Taban İzolasyonlu Bina Modeli (Üst yapı).....	31
2.2. İzolasyon Sistemi Parametreleri	34
2.3. İzolatör Tasarımı.....	35
2.3.1. Konvansiyel (Geleneksel) izolatör tasarımı.....	35

2.3.2. Sıcaklık etkisi dikkate alınarak izolatör tasarımı.....	39
2.4. Stabilité Kontrolü	41
2.5. Çift Doğrultulu Analizlerde Kullanılan Plastisite Modeli.....	43
3. DİNAMİK ANALİZLER İÇİN DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ.....	48
3.1. Deprem Kaydı Seçerken Dikkat Edilecek Noktalar	48
3.1.1. Deprem seçimi esnasında dikkat edilmesi gereken kriterler.....	48
3.1.1.1. Deprem büyüklüğü.....	49
3.1.1.2. Faya olan mesafe.....	50
3.1.1.3. Zemin sınıflandırması.....	51
3.1.1.4. İlave parametreler.....	52
3.2. Yakın Saha Kaynaklı Deprem Kayıtlarının Seçilmesi	52
3.3. Seçilen Orijinal Deprem Kayıtlarının Belirli Açısız Aralıklarla Döndürülmesi.....	60
4. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	65
4.1. Deprem Grubu 1'e Ait Analiz Sonuçları.....	66
4.1.1. İzolasyon periyodunun (T) etkisi.....	66
4.1.2. Q/W oranının etkisi.....	66
4.2. Deprem Grubu 2'ye Ait Analiz Sonuçları.....	71
4.2.1. İzolasyon periyodunun (T) etkisi.....	71
4.2.2. Q/W oranının etkisi.....	71
4.3. Deprem Grubu 3'e Ait Analiz Sonuçları.....	76
4.3.1. İzolasyon periyodunun (T) etkisi.....	76
4.3.2. Q/W oranının etkisi.....	76
5. SONUÇLAR.....	90
5.1. Özet.....	90
5.2. Sonuçlar	90
KAYNAKÇA.....	92
EK	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Yaygın olarak kullanılan izolatör araçlarının esneklik ve sönümleme özellikleri.....	5
Tablo 2.1. Yönetmeliklerde yer alan sönüm azaltma katsayı, B değerleri.....	37
Tablo 2.2. İzolatörler için tasarım değerleri.....	37
Tablo 3.1. Grup 1 deprem kayıtları ve özellikleri (30cm/s<PGV<50cm/s).....	55
Tablo 3.2. Grup 2 deprem kayıtları ve özellikleri(50cm/s<PGV<70cm/s).....	55
Tablo 3.3. Grup 3 deprem kayıtları ve özellikleri(30cm/s<PGV<50cm/s).....	56
Tablo 4.1. Grup 1 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının olası artış miktarı.....	84
Tablo 4.2. Grup 2 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının olası artış miktarı.....	85
Tablo 4.3. Grup 3 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının olası artış miktarı.....	86
Tablo 4.4. Grup 1 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar.....	87
Tablo 4.5. Grup 2 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar.....	88
Tablo 4.6. Grup 3 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Deprem anında normal yapı ve sismik izolasyonlu yapının davranışı (yeni.tutev.org.tr'den alınmıştır.).....	1
Şekil 1.2. Sismik izolasyonlu bir yapıda periyot ötelenmesinin ivme ve deplasmanlara etkisi	2
Şekil 1.3. Farklı sönüm oranları altında spektral ivme değerlerinin değişimi (%5, %10, %20).....	3
Şekil 1.4. Farklı sönüm oranları altında spektral deplasman değerlerinin değişimi (%5, %10, %20).....	4
Şekil 1.5. Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör (Naeim ve Kelly, 1999'dan alınmıştır.).....	6
Şekil 1.6. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün tersinir tekrarlanır hareketler altındaki kuvvet-deplasman eğrisi (MCEER Report 07-0012, 2007'den alınmıştır.).....	11
Şekil 1.7. Sahaya özel tasarım spektrum ivme değerlerinin (kırmızı çizgi) mevcut deprem yönetmeliğinde spektrum değerleri (siyah çizgi) ile kıyaslanması (Özmen vd., 2011'den alınmıştır.).....	12
Şekil 1.8. EDF izolasyon sistemi kuvvet-deplasman ilişkisi (Jangid ve Kelly, 2001'den alınmıştır.).....	20
Şekil 1.9. Taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetlerin belirlenmesi (DBYBHY, 2007'den alınmıştır.).....	24
Şekil 1.10. Deprem hareketleri (1,2,3) ve yapı (X,Y,Z) asal eksenleri: (a) Genel durum; (b) deprem hareketinin yatayda iki tane, düşey bir tane bileşeni (Hernandez ve Lopez, 2003'den alınmıştır.).....	25
Şekil 2.1. Tipik kat planı.....	32
Şekil 2.2a. B ve D akslarına ait düşey kesit görüntüsü.....	32
Şekil 2.2b. 2 ve 6 akslarına ait düşey kesit görüntüsü.....	33

Şekil 2.3. Çift doğrulu kuvvet-deplasman ilişkisi gösteren tipik bir izolatör (Özdemir, 2010'dan alınmıştır.).....	34
Şekil 2.4. İzolatör tasarımı için kullanılan iteratif çözüme ait akış şeması.....	36
Şekil 2.5. Tipik bir kurşun çekirdekli kauçuk izolatör için kesit görünümü.....	38
Şekil 2.6. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörde her bir döngüde sönmölen enerji miktarı.....	40
Şekil 2.7. Etkileşimli çözüm için gerekli denklem takımında kullanılan Z_x ve Z_y değerlerinin deprem hareketi boyunca değişimi (Chi-Chi TCU102, $Q/W=0.090$, $T=3.0s$).....	45
Şekil 2.8. Chi-Chi TCU102 deprem kaydı için etkileşimli çözümde izolatör sıcaklığının deprem hareketi boyunca değişimi ($Q/W=0.090$, $T=3.0s$).....	46
Şekil 2.9. Çift doğrultulu deprem etkileri altında analiz edilen bir izolatöre ait kuvvet-deplasman eğrileri (Chi-Chi TCU102, $Q/W=0.090$, $T=3.0s$).....	46
Şekil 2.10. Tipik bir kurşun çekirdekli kauçuk izolatöre ait kuvvet-deplasman eğrisi (Özdemir ve Akyüz, 2013'ten alınmıştır.).....	47
Şekil 3.1. Superstition Hills-01 ve Superstition Hills-02 depremlerine ait spektral ivme değerleri.....	50
Şekil 3.2. Kobe depreminin faya olan mesafe olarak iki farklı istasyonuna ait spektral ivme değerleri.....	51
Şekil 3.3. Kocaeli depreminin farklı kayma dalga hızları altındaki spektral ivme değerleri.....	52
Şekil 3.4a. Grup 1 deprem kayıtları için kuvvetli doğrultudaki spektrum eğrileri.....	57
Şekil 3.4b. Grup 1 deprem kayıtları için zayıf doğrultudaki spektrum eğrileri.....	57
Şekil 3.5a. Grup 2 deprem kayıtları için kuvvetli doğrultudaki spektrum eğrileri.....	58
Şekil 3.5b. Grup 2 deprem kayıtları için zayıf doğrultudaki spektrum eğrileri.....	58

Şekil 3.6a.	Grup 3 deprem kayıtları için kuvvetli doğrultudaki spektrum eğrileri.....	59
Şekil 3.6b.	Grup 3 deprem kayıtları için zayıf doğrultudaki spektrum eğrileri.....	59
Şekil 3.7.	Deprem etkime doğrultusu ve bina asal eksenlerine transformasyonu.....	60
Şekil 3.8.	Düzce depremine ait kuvvetli doğrultudaki ivme-zaman serileri.....	63
Şekil 3.9.	Düzce depremine ait zayıf doğrultudaki ivme-zaman serileri.....	63
Şekil 3.10.	Düzce depreminin 0°-180° arasında kuvvetli doğrultudaki spektrum eğrileri.....	64
Şekil 3.11.	Düzce depreminin 0°-180° arasında zayıf doğrultudaki spektrum eğrileri.....	64
Şekil 4.1.	Superstition Hills depremi için maksimum izolatör deplasmanı (Q/W=0.105).....	67
Şekil 4.2.	Superstition Hills depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı (Q/W=0.105).....	68
Şekil 4.3.	Loma Prieta Gilroy Array #2 için maksimum izolatör deplasmanı (T=2.75s).....	69
Şekil 4.4.	Loma Prieta Gilroy Array #2 depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı (T=2.75s).....	70
Şekil 4.5.	Chi-Chi CHY024 depremi için maksimum izolatör deplasmanı (Q/W=0.120).....	72
Şekil 4.6.	Chi-Chi CHY024 depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı (Q/W=0.120).....	73
Şekil 4.7.	Kocaeli-Düzce depremi için maksimum izolatör deplasmanı (T=2.50s).....	74
Şekil 4.8.	Kocaeli-Düzce depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı (T=2.50s).....	75

Şekil 4.9.	Erzincan depremi için maksimum izolatör deplasmanı ($Q/W=0.135$).....	77
Şekil 4.10.	Erzincan depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı ($Q/W=0.135$).....	78
Şekil 4.11.	Kobe Takatori depremi için maksimum izolatör deplasmanı ($T=2.25s$).....	79
Şekil 4.12.	Kobe Takatori depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı ($T=2.25s$).....	80
Şekil 4.13.	Maksimum izolatör deplasmanlarının olası artış miktarlarının Q/W oranına bağlı değişimi.....	83

GÖRSELLER DİZİNİ

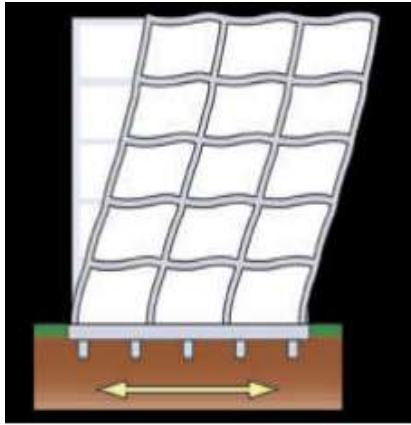
- Görsel 1.1.** Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (Kalpakidis ve Constantinou, 2008'den alınmıştır)..... 8
- Görsel 1.2.** Friction pendulum system (Sürtünmeli Sarkaç Sistemi) (oiles.co.jp'den alınmıştır.)..... 10

1. GİRİŞ

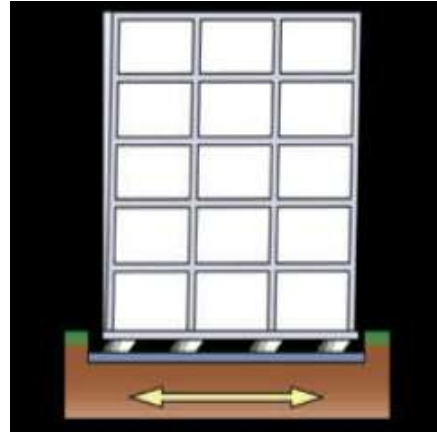
1.1. Sismik İzolasyon

Dünya nüfusunun büyük bir bölümü, deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde yaşamaktadır. Her yıl meydana gelen bu depremlerde ciddi anlamda can ve mal kaybı da ortaya çıkmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarım ve uygulama teknikleri, yıllardır depremin binalar, köprüler ve diğer yapılar üzerindeki etkilerini azaltmak için geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu teknolojilerden bir tanesi de son yıllarda kullanımı giderek artan sismik izolasyon uygulamasıdır.

Sismik izolasyon, depremlerin olası zararlarından yapıları korumak için geliştirilmiş yenilikçi bir sismik tasarım sistemidir. Bu sistemde en önemli amaç yapıların dayanımını arttırmaktan ziyade yapının sismik talebini azaltmaktır. Sismik izolasyon temel olarak, üst yapıyı alt yapıdan ayıran bir mekanizma olup potansiyel olarak deprem hareketinin yıkıcı etkilerinden yapıyı koruyan bir sistemdir (Şekil 1.1). Bu da yapıya yeterli miktarda esneklik kazandırarak ve izolasyon seviyesinde sönümleme yaparak sağlanmaktadır. Çoğu uygulamada sismik izolasyon sistemi yapının altına yerleştirildiğinden bu sisteme “taban izolasyonu” denmektedir (Skinner vd., 1993).



Normal yapı

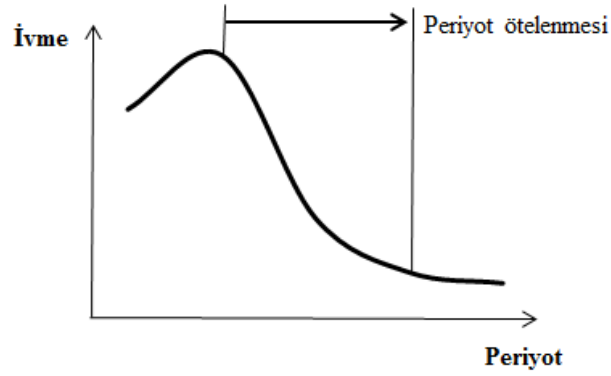


Sismik izolasyonlu yapı

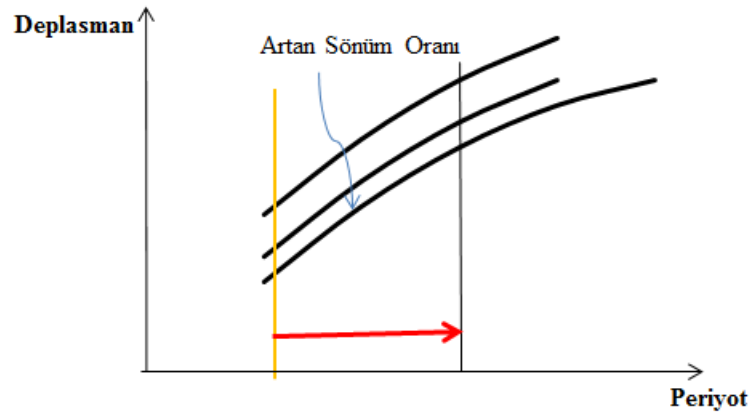
Şekil 1.1. Deprem anında normal yapı ve sismik izolasyonlu yapının davranışı (yeni.tutev.org.tr’den alınmıştır.)

Sismik taban izolasyonu uygulamasında temel ile üst yapı arasına yerleştirilen esnek malzemeler nedeniyle binanın doğal titreşim periyodu arttırılmış olur. Doğal titreşim periyodundaki bu artış Şekil 1.2 (a)'da görüldüğü üzere yapıya etki edecek ivme değerlerinin önemli oranda azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca, konvansiyonel bir yapıya kıyasla sismik izolatörler tarafından sönmölenen enerji miktarı daha fazla olduğundan artan eşdeğer sönmö oranı ile birlikte ivme değerleri bir kez daha azalacaktır (Şekil 1.2 (b)).

Bu sayede olası bir deprem esnasında üst yapıda oluşacak gördeli kat ötelemeleri ve kat ivmelerinin aynı anda sınırlandırılması mümkün olabilmektedir. Bu yüzden, sismik izolasyon yapısal/yapısal olmayan elemanları deprem etkilerinden korumak için kullanılan en etkili yöntemlerinden bir tanesidir (Özdemir, 2010).



(a)



(b)

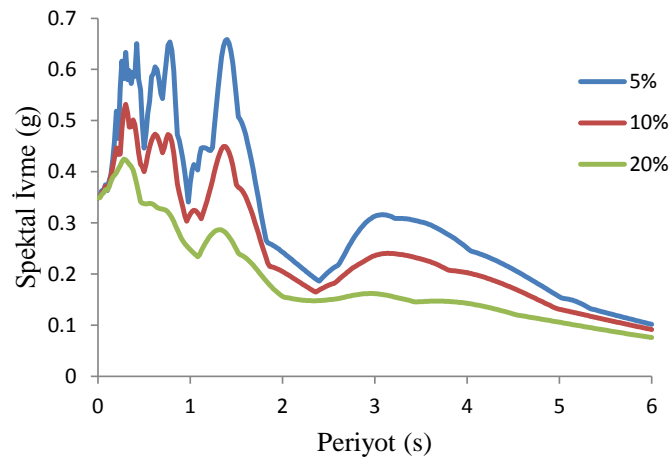
Şekil 1.2. Sismik izolasyonlu bir yapıda periyot ötelenmesinin ivme ve deplasmanlara etkisi

Sismik izolasyon uygulamasının kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Görüldüğü gibi sadece yeni yapılacak binalarının tasarımında değil aynı zamanda mevcut yapıların sismik performansının iyileştirilmesi amacıyla da kullanılabilirler.

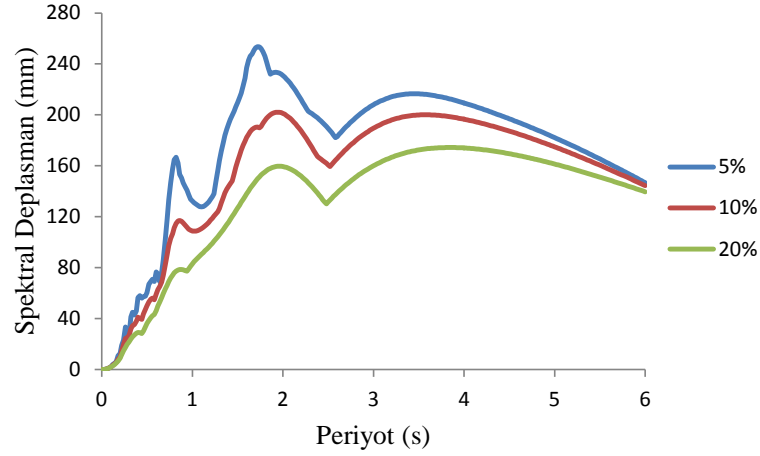
- Yapı güvenliğini ve deprem sonrası kullanılabilirliğini artırmak
- Tasarıma esas yanal eşdeğer deprem kuvvetlerini azaltmak
- Mevcut yapıların deprem performansının iyileştirilmesi
- Tarihi bina ve kültürel mirası korumak

1.2. Sismik İzolatörler

Sismik taban izolasyonu günümüzde birçok ülkede kabul gören inşaat uygulamaları arasında yer almaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). Tipik bir yapının başarılı bir şekilde sismik izolasyonunun yapılması uygun izolatörün seçimine bağlıdır. İzolasyon sisteminin başlıca özelliği, yüksek derecede yatay esneklik sağlarken yapıyı desteklemesidir. Fakat yatay esneklik sağlanırken sönümleme oranına da dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü düşük sönüm oranlarında izolatörün yapacağı maksimum izolatör deplasman değeri şiddetli depremlerde kontrol edilebilir sınırların dışına çıkabilir. Şekil 1.3 ve 1.4'te sırasıyla bir deprem kaydına ait spektral ivme ve deplasman eğrileri artan sönüm oranı için verilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi spektral ivme değerini azaltmak için daha büyük periyotlu yapı tasarlanabilir. Ancak, bu durumda da artan deplasman değerlerine dikkat etmek gerekecektir. Bu amaçla yüksek sönüm oranları hedeflenerek deplasman değerleri düşürülebilmektedir.



Şekil 1.3. Farklı sönüm oranları altında spektral ivme değerlerinin değişimi (%5, %10, %20)



Şekil 1.4. Farklı sönüm oranları altında spektral deplasman değerlerinin değişimi (%5, %10, %20)

1970'li yıllardan başlayarak yapılan çalışmalarda, taban izolasyonlu yapıların deprem kuvvetlerinden nasıl korunacağı üzerinde durulmuştur. Bu yüzden de genellikle politetrafloroetilen (PTFE) kayıcı izolatörler ve kauçuk elastomer izolatörler kullanılarak yapıların taban izolasyonu sağlanmıştır (Skinner vd., 1975).

İzolasyonlu bir yapının ortalama ömrünün 30 ila 80 yıl arasında değiştiği göz önüne alınırsa, izolasyon sistemini sağlayan araçların bakımları da buna bağlı olarak periyodik olarak yapılmalıdır. Bu esnada izolatörün tüm çevresel faktörlerden (metal yüzeylerin paslanması, elastomerlerin bozulması vs.) etkilenmemesi sağlanmalıdır (Skinner vd., 1993).

Günümüz teknolojisinde sismik izolasyon birçok yapıda kullanılmaktadır. Bu yapılarda uygulanan sismik izolasyon genel olarak elastomer izolatörler ve kayıcı sistemler ile sağlanmaktadır. Ancak hangi tip izolatör kullanılırsa kullanılsın izolasyon sisteminden beklenen davranışlar şöyle sıralanabilir:

- Dinamik yük altında deplasman yapabilmesi (deprem enerjisini sönümlemek için)
- Düşey rijitlik
- Deformasyon sonrasında izolatörün eski yerine dönebilme kapasitesi

Yapılara sismik taban izolasyonu uygulanırken kullanılan izolatörler genel olarak merkezlenme kuvveti ve sönümlenme özelliklerine göre iki gruba ayrılmaktadır. İzolatörün lineer olup olmamasına göre de sınıflandırılan izolasyon araçlarını gösteren tablo aşağıdadır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. *Yaygın olarak kullanılan izolatör araçlarının esneklik ve sönümlenme özellikleri*

Özellik	Lineer	Lineer Olmayan
Merkezlenme kuvveti	<ul style="list-style-type: none"> • Tabakalı Kauçuk İzolatörler • Esnek kazıklar ve kolonlar • Yaylar 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler • Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler
Sönümlenme	<ul style="list-style-type: none"> • Tabakalı Kauçuk İzolatörler • Viskoz sönümleyiciler 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler • Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler • Çelik sönümleyiciler

Kaynak: *Skinner vd., 1993.*

1.2.1. Elastomer izolatörler

60 yıl önce kullanılmaya başlanan elastomer izolatörler bugün dünyada binlerce köprü ve benzeri yapıların sismik izolasyonunu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Elastomer izolatörler üst yapı ile temel arasında yatay esneklik ve enerji sönümlenme kapasitesi sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar (Nagarajaiah ve Sun, 2000).

Elastomer izolatörler günümüzde, çelik ve kauçuğun tabakalar halinde yerleştirilip vulkanizasyon teknolojisi kullanılarak uygun özelliklere sahip elastomerlerden (neopren kauçuk, polikloropren) ilgili standartların gereklerine, kullanım alanlarına ve istenilen özelliklere göre imal edilmektedirler. Yük etkisinde kauçukta oluşan kayma gerilmeleri sayesinde yatayda oldukça esnek davranış gösterirken, çelik tabakalardan dolayı düşeyde de rijit bir davranış sağlamaktadırlar.

Elastomer izolatörler yaygın olarak tabakalı kauçuk izolatörler ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tabakalı kauçuk izolatörler temel olarak çelik ve kauçuk tabakalardan oluşmaktadır. İzolatörün iç kısmında bulunan çelik tabakalar “şim” olarak adlandırılmaktadır. Bu çelik şimler kauçuğun yanal genişlemesini engellemekte ve izolatörün düşey rijitliğini artırmaktadır.

Ayrıca doğal kauçuk izolatörler ilk defa 1969 yılında depreme karşı dayanıklı olarak tasarlanan Makedonya'nın Skopje kentindeki Pestalozzi İlkokulu'nda kullanılmıştır. Bugün kullanılan izolatörlerde geniş çelik donatı tabakası olmayan kauçuk bloklar kullanılmaktadır ve bu bloklar bina ağırlığının %25'i altında sıkıştırılmaktadır. (Naeim ve Kelly, 1999).

1.2.1.1. Düşük sönümlü doğal ve yapay kauçuk izolatörler

Düşük sönümlü doğal ve yapay izolatörler yaygın olarak Japonya'da sönümleme araçlarının (çelik çubuklar, viskoz sönümleyiciler, kurşun çubuklar, vs.) birleştirilmesinde kullanılmıştır. Bu tip izolatörler Japonya'da doğal kauçuk, Fransa'da ise yapay kauçuk olarak birçok projede kullanılmıştır. Genel hatlarıyla kauçuk izolatörler iki kalın çelik tabaka ve birçok ince çelik şimlerden meydana gelmektedir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör (Naeim ve Kelly, 1999'dan alınmıştır.)

Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin birçok avantajı vardır:

- Kolay imal edilirler.
- Kolay modellenirler.
- Mekanik davranışları sıcaklığa, kauçuğun yaşlanmasına ve kirlenmesine bağlı olarak değişmemektedir.

Tek dezavantajı ise bu tip izolatörlere ek sönümleme sistemi takviyesi yapılması gerekmektedir. Bu ilave sönümleme sistemleri ayrıntılı bağlantı gerektirmekte ve metalik sönümleyici kullanılması durumunda düşük döngülü yorulmalara neden olmaktadır.

1.2.1.2. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler

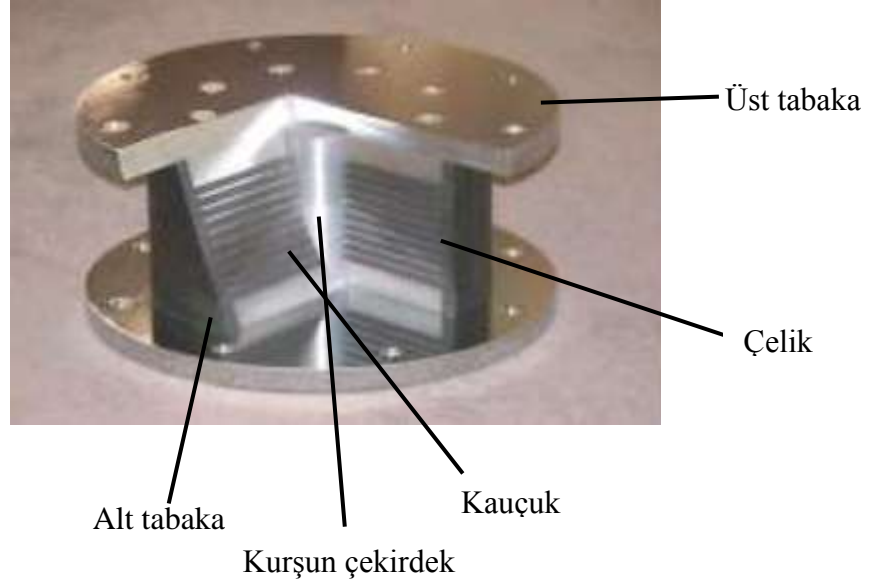
Kurşun çekirdekli izolatorler taban izolasyon sistemlerinde kullanılan izolator tiplerinden biridir. Tasarlanan yeni koprulerde ve mevcut yapıların guclendirilmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. 1970 yılından itibaren Yeni Zelanda'da kurşun çekirdekli izolatorler kullanılmaya başlanmış ve bu izolasyon sistemi geliştirilmiştir (Hayashikawa ve Julian, 2004).

Yeni Zelanda'da Doktor William Robinson tarafından keşfedilen kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler yapının titreşim periyodunu artırmakta ve deprem esnasında yapı ivmesini azaltmaktadır. Yapıların sismik izolasyonu alanında dünya çapında yaygın olarak kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler başta Yeni Zelanda olmak üzere Japonya, Amerika Birleşik Devletleri gibi uelkelerde de koprü ve benzeri yapılarda kullanılmıştır (Naeim ve Kelly, 1999).

İlk olarak Yeni Zelanda'da Rangitikei Koprüsü'nde koprü ayaklarının altına yerleştirilen kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler, merkezinde kurşun çekirdek bulunan elastomer izolatorlerin bir türüdür. O yıllarda taban izolasyonu sorununu çözmek için kullanılan en makul ve en ucuz çözüm olan bu izolator tipi yapıya elastik geri çağırıcı kuvvet sağlamaktadır ve böylelikle depremden sonra izolatorler eski yerini alabilmektedir. Ayrıca uygun boyutta seçilen kurşun çekirdek sayesinde gerekli miktarda sönüm sağlanabilmektedir (Robinson, 1982).

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler kullanılarak izole edilen ilk yapı inşası 1981 yılında tamamlanan Yeni Zelanda'daki William Clayton binasıdır. Bu binanın ardından birçok uelkede de taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler ile sağlanan yapılar inşa edilmiştir (Jangid, 2007).

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler genel anlamda düşük sönümlü kauçuk izolatorler gibi katmanlardan oluşmaktadır. Ana hatlarıyla yatayda esnekliğı sağlayan kauçuk katmanlar ve düşeyde stabiliteyi sağlayan çelik katmanlar ile bu katmanların ortasında izolatöre ilave enerji sönümleme kapasitesi kazandıran en az bir adet kurşun çekirdek bulunmaktadır (Görsel 1.1).



Görsel 1.1. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (Kalpakidis ve Constantinou, 2008'den alınmıştır.)

Geçmişte kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin sismik performansı üzerine yapılan çalışmalarda yapı davranışının olumlu yönde geliştiği ve izolatörlerin tasarımlarına uygun olarak üstün bir performans sergilediği tespit edilmiştir. Bu bağlamda Hayashikawa ve Julian (2004)'nin yaptıkları çalışmaya konu olan viyadük de kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile izole edilmiş ve izolatörler çelik kagirlerin üstüne yerleştirilmiştir. Kurşun çekirdek, viyadüğün deprem anında istenmeyen seviyede deplasman yapmasına izin vermeyecek ve viyadüğe yüksek oranda rijitlik sağlayacaktır. Viyadükte kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılmasının bir başka sebebi de oda sıcaklığında kurşun plastik olarak deforme olduğunda, “sıcak işleme” yapılmaya elverişli hale gelmesidir. Yani kurşun 20°C’de plastik deformasyona uğrarken demir ya da çelik aynı duruma 450°C’de gelmektedir. Bu nedenle, kurşun plastik birim şekil değiştirme süresince iyi bir yorulma özelliğine sahiptir.

Kurşun çekirdekli izolatörün etkin rijitliği ve etkin sönümlemesi izolatörün yaptığı deplasmana bağlı olduğu için belirli bir sönüm oranı altında izolatörün yapacağı deplasman değerini belirlemek önem arz etmektedir. Diğer taraftan Kunde ve Jangid (2003)’e göre kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler sismik izolasyonlu bir yapıya “düşey yük taşıma desteği, yatayda esneklik, merkezlenme kuvveti ve sönümleme” sağlamaktadır. Ayrıca Japonya ve Kaliforniya’da yapılan bütün köprülerde kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin merkezinde çift kurşun çekirdek bulunmaktadır (Kalpakidis ve Constantinou, 2008).

Sonuç olarak, taban izolasyonunda kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmasının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Düşey doğrultuda güçlü ve rijit, yatay doğrultuda esnektirler.
- İzolatör şeklini değiştirerek deprem tarafından oluşturulan enerjiyi soğurma kapasitesine sahiptirler.
- Kauçuğun elastik davranışı sayesinde deprem sonrası yapıların orijinal pozisyonlarına dönmesi sağlanır (geri merkezleme kuvveti).
- Kurşun çekirdek sayısı artırılarak sönümleme oranı artırılabilir.
- Düşük maliyetli bakımları vardır.

1.2.2. Kayıcı izolatör sistemleri

Bir diğer sismik izolasyon tekniği de kayıcı izolasyon sistemleridir. Kayıcı izolasyon sistemi, en eski izolasyon sistemlerinden bir tanesidir. İlk olarak 1909 yılında İngiliz doktor Johannes Avetican Calantarients tarafından öne sürülen kayıcı izolatörlerde izolasyon kayma ve sürtünme yolu ile sağlanmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). Yapıyı temelden “talc” tabakası ile ayırmayı öneren Calantarients yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda kayıcı izolasyon sisteminin, sismik izolasyonlu yapılarda görelî kat ötelemelerini ve kat ivmelerini sınırlandırdığını ortaya koymuştur. Calantarients’in geliştirdiği bu sistem, günümüzde de uygulanan taban izolasyon sisteminin mantığını anlatmaktadır: yapıyı ve temeli birbirinden ayırarak, deprem anında izolatörün yapacağı deplasmanın tamamen izolasyon seviyesinde olması ve üst yapının bu durumdan etkilenmemesi.

Elastomer izolatörlere kıyasla kayıcı izolasyon sisteminin başlıca avantajları şunlardır:

- Geniş alanda sürtünmeye bağlı taban izolasyonu oldukça etkilidir.
- Sürtünme kuvveti, bina kütlesi ve kütle merkezi ile orantılıdır. Böylece burulma etkilerine karşı bina dirençli hale gelmektedir.

Kayıcı izolasyon sisteminin en önemli araçlarından birisi “friction pendulum system (sürtünmeli sarkaç sistemi)”dir. Bu sistemde, izolasyon konkav bir düzlemde mafsalı kayıcının sürtünmesi ile sağlanmaktadır (Görsel 1.2). Ayrıca izolatörün efektif rijitliği ve bina periyodu da konkav düzlemin eğrilik yarıçapı ile kontrol edilmektedir. Enerji sönümleme ise kompozit malzeme ve paslanmaz çelik plaka arasında meydana gelen

sürtünme ile olmaktadır. Kayıcı yüzey, sürtünmeli sarkaç sisteminin davranışında çok önemli bir rol oynamaktadır. Mafsallı kayıcının konkav düzlemde hareket etmesi ile sistemde merkezlenme kuvveti oluşmaktadır. Bu merkezlenme kuvveti ile deprem hareketi esnasında yatay ötelenme yapan izolatör, deprem sonrasında yeniden eski yerine dönmektedir.



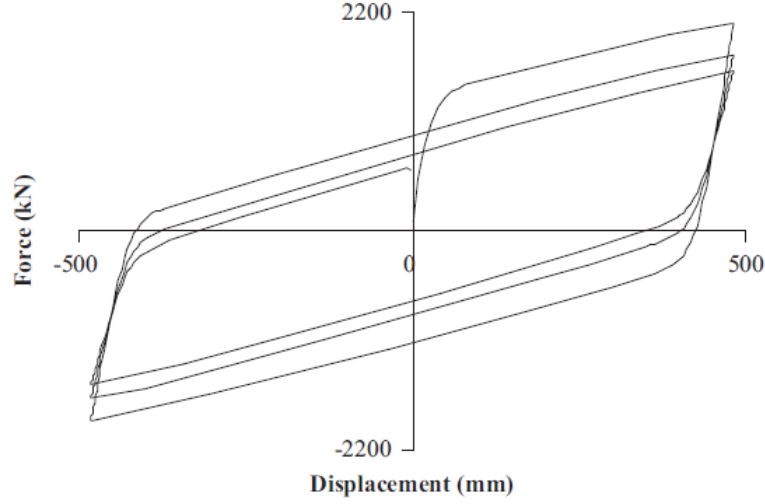
Görsel 1.2. *Friction pendulum system (Sürtünmeli Sarkaç Sistemi) (oiles.co.jp'den alınmıştır.)*

1.3. Sismik İzolasyonlu Yapıların Davranışı

Yapılan bir çok çalışmada görülmüştür ki; sismik izolasyon deprem anında binanın yapısal/yapısal olmayan elemanlarında meydana gelen hasarları azaltmaktadır (Jangid ve Matsagar, 2004; Mosqueda vd., 2004; Özdemir, 2010). Ayrıca izolasyonlu yapıların yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altındaki davranışları da birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Warn ve Whittaker, 2004; Benzoni ve Casarotti, 2009; Özdemir ve Dicleli, 2012; Özdemir vd., 2014). Bu çalışmaların ışığında yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altında elde edilen izolatör deplasman değerleri oldukça fazla bulunmuştur ve bu da izolasyon sisteminde stabilite problemlerine neden olabilmektedir (Jangid, 2007).

Sismik taban izolasyonlu yapıların tasarımına esas teşkil eden değişken izolasyon seviyesindeki deplasman değeridir. Bu değer hem üst yapının hem de izolatörlerin boyutlandırılması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle maksimum izolatör deplasmanları ön tasarım aşamasında gerçeğe uygun bir şekilde belirlenmelidir. Bu bağlamda, izolatör deplasman değerleri hesaplanırken kullanılan ve mevcut deprem yönetmeliğinin de önerdiği %30 birleştirme kuralı ile farklı doğrultularda etkiyen deprem hareketinin etkisi dikkate alınmaktadır. Böylelikle yapıya etki edecek en elverişsiz sismik talepler belirlenmektedir. Ancak sismik taban izolasyonlu yapılar dikkate alındığında, birleştirme kuralı ile elde edilen maksimum izolatör deplasmanları tersinir tekrarlanır

hareketler altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde gözlenen dayanım kaybının etkisini yansıtmaktan çok uzaktır. Birleştirme kurallarının uygulandığı durumlar için birinci şart, dikkate alınan kuvvet-deplasman eğrisi sabit olması yani herhangi bir dayanım kaybı olmamasıdır. Ancak çalışmaya konu olan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde tersinir tekrarlanır hareketler altında kurşun çekirdeğin ısınmasından dolayı belirgin bir dayanım kaybı olmaktadır (Şekil 1.6).

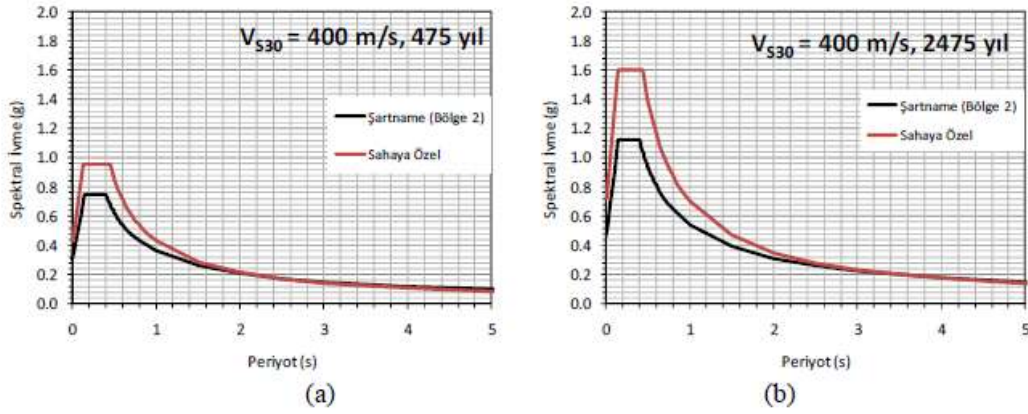


Şekil 1.6. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün tersinir tekrarlanır hareketler altındaki kuvvet-deplasman eğrisi (MCEER Report 07-0012, 2007'den alınmıştır)

Öte yandan, izolatörlerin sismik izolasyonu sağlamadaki başarısı birçok deprem esnasında görülmüştür. 1994 yılında Northridge'da meydana gelen depremde Güney Kaliforniya Hastanesi sismik izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ve tabakalı kauçuk izolatörler ile sağlandığından fazla bir hasar almamıştır. Hastanede 68 tane kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve 81 tane de tabakalı kauçuk izolatör kullanılmıştır (Nagarajaiah ve Sun, 2000). Nagarajaiah ve Sun'ın da (2000) belirttiği üzere Güney Kaliforniya Hastanesi taban izolasyonu uygulandığı için depremden fazla etkilenmemiş ve taban izolasyonu taban kesme kuvvetlerini, görelî kat ötelemelerini ve kat ivmelerini azaltmıştır. Ayrıca yazarların görüşüne göre eğer Güney Kaliforniya Hastanesi sismik taban izolasyonu uygulanmadan tasarlansaydı meydana gelecek hasar üç kat daha fazla olacaktı.

Erzurum Hastanesi de ülkemizde sismik taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılarak yapılan hastanelerimizden bir tanesidir. 2011 yılında inşasına başlanılan hastanenin 5 bloğunda depreme karşı yalıtım yapılmıştır. A blokta 224, B ve C blokların her birinde 198, D blokta 114, ve E blokta da 404 adet olmak üzere toplamda

1138 adet izolatör kullanılmıştır (Özmen vd., 2011). 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yılda 1 tekrarlama periyodu) ve %2 (2475 yılda 1 tekrarlama periyodu) olan depremlere göre analiz yapılmış ve mevcut şartnamenin aynı tekrarlama periyotlarına göre önerdiği spektral ivme ve spektral deplasman değerleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda hastane sahasının yönetmelik spektrumlarına nazaran daha büyük genliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durumda, deprem yönetmeliğinin 2.4.4 maddesi dikkate alınarak aşağıdaki sahaya özel spektrum eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Sahaya özel tasarım spektrum ivme değerlerinin (kırmızı çizgi) mevcut deprem yönetmeliğinde spektrum değerleri (siyah çizgi) ile kıyaslanması (Özmen vd., 2011'den alınmıştır.)

İzolatörlerin köprülerin sismik performansı üzerine etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Jangid ve Kelly, 2001; Dicleli ve Mansour, 2003; Dicleli, 2006). Bu çalışmalarda köprülerin sismik performansı incelenirken kullanılan izolatör tipine bağlı olarak dayanım kaybı olmadığı kabulü yapılmıştır. Ancak Constantinou vd. (2007) tarafından yapılan deneysel çalışmalar sonucunda görülmüştür ki; sismik izolasyonu kayıcı izolatör sistemleri ile sağlanan yapılarda kayma düzleminde, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde ise kurşun çekirdekte ısınmaya bağlı dayanım kaybı olmaktadır.

Yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altında sismik taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile sağlanan çok katlı yapıların ve köprülerin davranışının incelendiği çalışmada Jangid (2007) kuvvet-deplasman eğrisi çift doğrulu davranış gösteren izolatör modeli kullanmıştır. Yaptığı analitik çalışmanın sonuçlarını köprü ayaklarındaki taban kesme kuvveti ve maksimum izolatör deplasmanları bazında inceleyen yazar, izolasyon periyodu arttıkça taban kesme kuvveti ve köprü tabliyesi ivme değerlerinin azaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca çok katlı binalarda yüksek izolasyon periyotlarında görece kat ötelemelerinin daha yüksek olduğu, izolatör akma dayanımındaki

artışın maksimum izolatör deplasmanlarının azalmasına neden olduğu, yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin optimum akma dayanımının üst yapı ve izolatörlerin rijitliği ile doğru orantılı olarak arttığı sonuçlarına varılmıştır.

Hameed vd. (2008) ise yaptıkları çalışmada sismik izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile sağlanan bir köprüde izolatör davranışını depremin maksimum yer ivme değerinin (peak ground acceleration, PGA) maksimum yer hızına (peak ground velocity, PGV) oranı bazında incelemiştir. Bu bağlamda, 5 farklı eksenel yük seviyesine (Q/W) karşılık; 6 farklı izolasyon periyodu (T) kullanarak 30 farklı izolasyon sistemini test etmişlerdir. Çalışma sonucunda seçilen deprem kayıtlarına göre daha küçük maksimum izolatör deplasmanı (M_{İD}) ve maksimum izolatör kuvveti (M_{İF}) değerlerine sahip izolatörlü köprünün sismik performans açısından daha iyi durumda olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmanın sonucunda Hameed vd. (2008) Q/W oranı arttıkça M_{İD}'in azaldığı M_{İF}'in arttığını gözlemlemişlerdir. İzolatör deplasmanındaki bu azalmanın sebebi Q/W oranı arttıkça izolasyon sisteminin daha rijit hale gelmesidir. Ancak köprü ayaklarındaki taban kesme kuvvetleri artan Q/W oranı ile önce azalış sonra artış göstermektedir. Çalışmanın ardından elde edilen bir başka sonuç da yüksek PGA/PGV oranına sahip deprem kayıtları altında daha düşük izolatör deplasmanı elde edilmesidir. Bunun sebebi de deprem büyüklüğüne bağlı olarak maksimum yer hızının daha büyük olmasıdır.

1.4. Literatür Taraması

Bu bölümde temel olarak 3 farklı alanda yapılan araştırmalar ile ilgili çalışmalara yer verilecektir. Bunlar sismik izolatörlü yapılar hakkında yürütülen çalışmalar, kurşun çekirdekteki ısınmanın dikkate alındığı çalışmalar ve çift doğrultulu deprem hareketlerinin dikkate alındığı çalışmalardır.

1.4.1. Sismik izolatörlü yapılar hakkında yürütülen çalışmalar

Farklı özelliklere sahip izolatörlerin davranışının incelendiği çalışmalardan bir tanesinde Gheryani vd. (2015) yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin sismik izolasyonlu yapı davranışını nasıl etkilediği üzerine analitik bir çalışma yürütmüşlerdir. 6 katlı bir sismik izolasyonlu yapı modeli çift doğrultulu deprem hareketlerine maruz bırakılmış ve sonlu elemanlar analizleri ile test edilmiştir. İzolatörlerin doğrusal olmayan kuvvet-deplasman davranışları izolatörde dayanım kaybı olup olmadığı durumlara göre incelenmiştir. İzolatör davranışındaki farklılaşmayı ortaya koymak için de izolasyon

periyodu 2.0s, 2.5s ve 3.0s olarak seçilmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda, izolatörün ısınması, yaşlanması gibi izolatör mekanik özelliklerinin çok katlı yapıların davranışını etkilediği ortaya konulmuştur. Analiz sonuçlarının izolatör deplasmanı, taban kesme kuvveti, görelî kat ötelemesi gibi parametreler bazında incelendiği bu analitik çalışmada, izolatör kullanım ömrüne bağılı olarak izolatör deplasmanının azaldığı, taban kesme kuvveti değerinin de izolatör ısındıkça düştüğü görülmüştür. Ayrıca izolasyon periyodu arttıkça izolasyon sistemi de daha esnek olmaktadır.

Yukarıda bahsi geçen çalışmadan farklı olarak Mazza ve Mazza (2016) ise yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altında taban izolasyonu sürtünmeli sarkaç izolatörlerle sağlanan bir yapı modelini doğrusal olmayan dinamik analizler ile incelemiştir. 12 farklı izolatör ile gerçekleştirilen analizlerde seçilen deprem kayıtları hem ölçeklendirilmiş hem de orijinal halleriyle dikkate alınmıştır. PEER veri tabanından deprem büyüklüğü, faya olan mesafe, yatay doğrultudaki her iki bileşene ait maksimum yer ivmesi ve maksimum yer hızı parametreleri dikkate alınarak deprem kayıtları seçilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda yazarlar, orijinal kayıtlarda burulma etkilerinin daha çok olduğunu, izolatör eğrilik yarıçapı azaldıkça kalıcı deplasman değerinin de düştüğünü, orijinal kayıtlara maruz kalan taban izolasyonlu yapılarda daha fazla kalıcı deplasman meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Bir diğere izolatör analiziyle ilgili çalışmada da Huang vd. (2015) bir viskoelastik sönümleyici izolatörün sismik analizini incelemişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemiyle bu izolasyon sistemini test eden araştırmacılar Tohoku-2011 depremine maruz bıraktıkları bir yapı modelinde viskoelastik sönümleyici izolatörler kullanmış ve bu izolatörlerin depremin sismik enerjisini büyük oranda sönümlediğini gözlemlemişlerdir. Öte yandan, izolatörün üst kısmında yer alan viskoelastik malzeme sayesinde deprem enerjisi hızlı bir şekilde soğurulmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda görülmüştür ki, viskoelastik sönümleyici izolatörler deprem tarafından yapıya gelen sismik enerjiyi önemli derecede sönümlemektedir.

Becker ve Ezazi (2016) tarafından yürütölen analitik çalışmada ise çift izolasyon sistemi üzerinde durulmuştur. Klasik izolasyon sistemlerinde (izolatörlerin yapının tabanına yerleştirildiği) üst yapıya aktarılan ivme değerleri azalırken izolasyon tabakasında ciddi derecede fazla deplasman meydana gelmektedir. Bu sorunu çözmek için de tasarımcıların geniş izolasyon boşlukları bırakmaları gerekmektedir ve bu da proje maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. İzolasyon sistemindeki istenmeyen yüksek

deplasman değerlerini azaltmanın en yaygın yolu ilave sönümleyiciler eklemektir. Ancak izolatör deplasman artışını kontrol eden bu ilave sönümleyiciler kat ivmeleri ve kat deplasmanlarının artışına neden olabilmektedir. Orta-kat izolasyonu (çift izolasyon) mevcut yapıda yanal kuvvet talebini ve izolasyon tabakasının üstündeki kısmında kat ötelemesini azaltmaktadır. Yenilikçi bir sistem olan çift izolasyonda hem tabana hem de kat ortasına izolatör yerleştirilmektedir.

Çift izolasyon sisteminin klasik taban izolasyon sistemine göre yapı performansındaki farklılıkları gözlemlenmek için Becker ve Ezazi (2016) zaman tanım alanında analizler gerçekleştirmiştir. Beşi atımlı beşi normal on deprem kaydı seçilmiş ve 10 katlı bir bina modeline uygulanmıştır. Çift izolasyon sisteminde klasik izolasyon sistemine kıyasla göreceli kat ötelemeleri %48 oranında azalım göstermiştir. Ayrıca çift izolasyon sisteminde elde edilen maksimum taban kesme kuvveti klasik izolasyon sistemine göre daha azdır. Bunun sebebi, çift izolasyon sistemindeki ilk tabakada izolatör deplasman değerinin azalmasıdır.

1.4.2. Kurşun çekirdekdeki ısınmanın dikkate alındığı çalışmalar

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler bugüne kadar birçok çalışmanın konusu olmuştur. Sismik taban izolasyonu uygulamalarında en çok tercih edilen izolatör tiplerinden birisi olan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile yapılan çalışmalarda tersinir tekrarlanır hareketlere maruz kalan izolatör dayanımında kademeli olarak bir azalma olduğu görülmüştür. Bu dayanım kaybına neden olan esaslar ise kauçuğun kirlenmesi, izolatörün yük geçmişi ve kurşun çekirdeğin ısınması olarak belirlenmiştir (Robinson, 1982). Bu etkilerin yapılan hesaplara yansıtılabilmesi için alt ve üst limit analizleri olarak tanımlanan bir grup dinamik analiz yürütülmektedir (AASHTO, 1999; ASCE, 2010). Bu analizler ışığında, limit analiz sonuçlarının en yüksek ve en düşük değerleri göz önünde bulundurularak izolatör dayanımının bu iki değer arasında olacağı kabulü yapılmaktadır (Özdemir vd., 2015).

Constantinou vd. (2007) ve Kalpakidis ve Constantinou (2008) kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile yaptıkları çalışmada, tersinir tekrarlanır hareketler altında kurşun çekirdekdeki sıcaklık artışına bağlı olarak izolatör dayanımında azalım olduğunu tespit etmişlerdir. Elde edilen deney sonuçları, kurşun çekirdekdeki sıcaklık artışı ile izolatör dayanımındaki azalma arasında bir ilişki kurulabilmesi için kullanılmıştır. Artan sıcaklığa bağlı olarak kurşun çekirdeğin akma dayanımı azalmaktadır. Bu dayanım kaybını belirlemek için Kalpakidis ve Constantinou (2009,a) kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler

için anlık sıcaklığa bağlı kurşunun akma dayanımını hesaplayan bir matematik model geliştirmişlerdir. Bu modelin çözüm prensibi esasen izolatörün maruz kaldığı harekete bağlı olarak kurşun çekirdekdeki anlık sıcaklık artışını belirlemek üzerinedir. Hesaplanan sıcaklık artışı ise sonradan izolatöre ait ilk dayanımın kademeli olarak azaltılması için kullanılmaktadır.

Geliştirdikleri malzeme modelinin doğruluğunu teyit etmek için yürüttükleri analitik çalışmada Kalpakidis ve Constantinou (2009,b) geliştirdikleri matematik model ile elde edilen kuvvet-deplasman ilişkilerini deneysel olarak karşılaştırıp test etmiş ve doğrulamışlardır. Bu bağlamda 6 tane farklı geometriye sahip kurşun çekirdekli kauçuk izolatör 8 farklı test koşulları altında incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizine tabi tutulan izolatörler ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar ile teorik olarak bulunan sonuçlar kıyaslanmıştır.

Diğer taraftan, yürütülen diğer analitik çalışmalarda da kurşun çekirdekte meydana gelen dayanım kaybının, izolatöre etkiyen deprem hareketindeki döngü sayısı, yükleme hızı gibi faktörlerden ciddi anlamda etkilendiği ortaya konulmuştur (Benzoni ve Casarotti, 2009; Özdemir ve Dicleli, 2012). Benzoni ve Casarotti (2009) yaptıkları çalışmada, sismik izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile sağlanan köprülerde düşey yük seviyesi ve yükleme hızının köprü performansı üzerine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında, eksenel yük seviyesinin izolatörün dayanım kaybı üzerinde ihmal edilebilir seviyede bir etkisinin olduğu gözlenmiştir. Öte yandan, deprem hareketindeki döngü sayısının izolatör dayanımına doğrudan etkisinin olduğu ve her bir döngüde dayanımın azaldığı deneyler ile doğrulanmıştır. Yapılan çalışma ile yükleme hızının izolatör dayanım kaybı üzerindeki etkisinin önemli ölçüde olduğu ve ön tasarım aşamasında mutlaka dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Benzer şekilde, Özdemir ve Dicleli (2012) yürüttükleri analitik çalışmada kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin sentetik deprem kayıtları altındaki davranışını incelemişlerdir. Bu çalışmada sentetik deprem kaydı kullanılmasının nedeni; kayıttaki döngü sayısı, depremin büyüklüğü, faya olan uzaklık, zemin koşulları gibi etkilerin birbirinden bağımsız olarak ortaya konulabilmesidir. Ayrıca yazarlar, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde tersinir tekrarlanır hareketler altında kurşun çekirdeğin ısınmasına bağlı oluşan dayanım kaybının deprem hareketlerindeki döngü sayısına oldukça bağlı olduğunu belirtmiştir. Özdemir ve Dicleli (2012) tarafından yapılan bu çalışmanın sonucunda, kullanılan izolatörün geometrik özelliklerinin sismik izolasyonlu köprü

davranışında ihmal edilebilir seviyede olduğu, eksenel yük seviyesi (Q/W) arttıkça kurşun çekirdekte açığa çıkan ısı miktarının azaldığı, izolasyon periyodunun kurşun çekirdekteki ısınmayı etkilemediği ve faya olan uzaklık arttıkça kurşun çekirdekte açığa çıkan ısı miktarının logaritmik olarak azaldığı görülmüştür.

Öte yandan, Kalpakidis vd. (2010) tarafından yürütülen analitik çalışmada ise büyük boyutlu kurşun çekirdekli kauçuk bir izolatör farklı deprem hareketlerine maruz bırakılmış ve kuvvet-deplasman eğrilerindeki farklılaşma incelenmiştir. Ayrıca, yazarlar mevcut modelleme tekniğinin gerçek izolatör davranışını ne ölçüde yansıtabileceğini incelemiştir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda izolatörde oluşan dayanım kaybının uygulanan deprem hareketlerine oldukça bağlı olduğu görülmüştür. Bu bağlılığın bir fonksiyonu olarak mevcut modelleme tekniğinin yetersiz olabileceği vurgulanmıştır.

Özdemir vd. (2011) ise sismik izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile sağlanan köprülerin yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altındaki davranışını incelemiştir. Kurşun çekirdekteki ısınmaya bağlı oluşan dayanım kaybının göz önünde bulundurulduğu bu çalışmada deprem kaydının sadece yatay doğrultudaki kuvvetli bileşeni dikkate alınmıştır. Farklı zemin koşullarına sahip deprem kayıtları kullanarak kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin gerçek davranışı ile mevcut modelleme tekniğinin bu davranışı belirlemedeki başarısını inceledikleri bu çalışmada yazarlar, zemin koşullarına bağlı olarak iki yaklaşım arasında belirgin farklar olduğunu ortaya koymuştur.

Özdemir vd. (2011) izolasyonlu sistemin davranışını belirlemek için elde ettikleri analiz sonuçlarını alt limit ve üst limit analizleri ile karşılaştırmıştır. Analiz sonuçlarına bağlı olarak üst limit analiz sonucunun alt yapı elemanlarının maksimum sismik kuvvet talebi; alt limit analiz sonucunun ise izolatörlerin yapacağı maksimum izolatör deplasman değeri olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca Kalpakidis ve Constantinou (2009a,b) tarafından geliştirilen malzeme modelini dikkate alarak yapı modelini OpenSees yazılımı kullanarak modellemiş ve sonuçları deneysel veriler ile kıyaslamışlardır.

Yukarıdaki çalışmalardan farklı olarak Özdemir (2015) ise çalışmasında mevcut basitleştirilmiş hesaplama yöntemlerinin kurşun çekirdekteki ısınmaya bağlı dayanım kaybı sonucu oluşan izolatör deplasmanlarının tahmininde ne kadar başarılı olduğunu incelemiştir. İncelenen birçok basitleştirilmiş hesaplama yönteminin, izolatörler tarafından sönmölen enerji miktarını yani eşdeğer sönmö oranını doğru bir şekilde hesaplayamadığını vurgulamıştır. Bu bağlamda, Özdemir (2015) eşdeğer sönmöleme

oranının hesaplanması için yeni bir yöntem önermiş ve bu yöntemin geçerliliğini farklı deprem kayıtları için test edip doğrulamıştır. Önerilen yeni formüllere göre, kurşun çekirdeğin ısınmasına bağlı oluşan dayanım kaybı dikkate alınıp eşdeğer sönüm oranı seçilen depremlere göre hesaplanmıştır. Ayrıca formüldeki basitleştirilmiş yöntemler ile elde edilen eşdeğer sönüm oranı, izolatör özelliklerine ve zemin özelliklerine bağlı olmadan maksimum izolatör deplasmanlarının hesaplanmasını sağlamaktadır.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin davranışını yakın saha kaynaklı çift doğrultulu deprem hareketleri altında inceleyen Özdemir ve Bayhan (2015) ise Kalpakidis ve Constantinou (2009) tarafından geliştirilen malzeme modelini dikkate alarak, taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ile sağlanan 3 katlı yapıyı OpenSees yazılımı kullanarak modellemiştir. Analiz sonuçlarının maksimum izolatör deplasmanları ve maksimum kesme kuvveti bazında değerlendirildiği bu çalışmada, limit analizi ile elde edilen maksimum izolatör deplasmanları ile deneysel olarak elde edilen deplasman değeri arasında %13 sapma bulunduğu, maksimum kesme kuvveti değerinde ise bire bir örtüşme olduğu gözlenmiştir.

Lee ve Constantinou (2016) da Kalpakidis ve Constantinou (2009) tarafından geliştirilen teorinin doğruluğunu test etmek için kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ve sönümleyicilerin en iyi performans göstermesi amacıyla sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizlerin sonucunda, çoklu kurşun çekirdeğe sahip izolatörlerde ve sönümleyicilerde hareketteki döngü sayısının artışına bağlı olarak kurşun çekirdekteki sıcaklık artışı ve buna bağlı olarak meydana gelen izolatördeki dayanım kaybı tek kurşun çekirdeği olan izolatörlere kıyasla daha az olmaktadır. Hareketteki döngü sayısı çok fazla olmadığı müddetçe, çoklu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin tekli kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlere göre önemli avantajları bulunmamaktadır.

Özdemir ve Gülkan (2016) ise taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile sağlanan yapıların tasarım aşamalarında gerçekleştirilen dinamik analizlerle deprem kayıtları için gerekli ölçek katsayılarının belirlenmesine yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Dinamik analizlerde ölçek katsayıları genel olarak 2 ile 4 arasında değişen değerler almaktadır (Bommer ve Acevedo, 2004; Tena-Colunga ve Perez-Osornia, 2006). Sismik izolasyonlu yapılar ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirerek ölçek katsayısı belirlenirken deprem kaydı özellikleri, yapı sisteminin elastik olup olmadığı, süneklik düzeyi gibi parametreler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada ise yazarlar gerçekleştirilen dinamik analizlerde izolasyon periyodu, kaydın

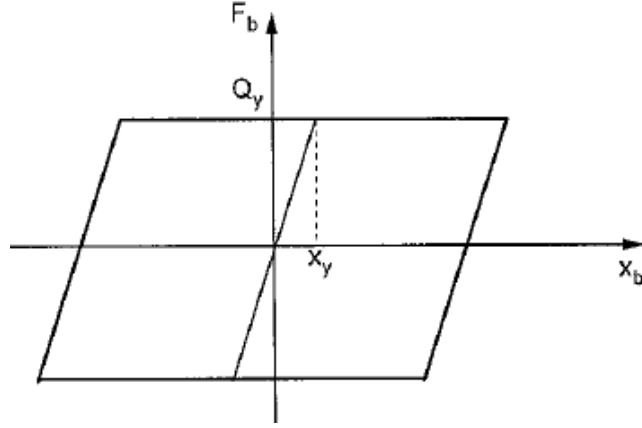
maksimum yer hızı ve zemin sınıfı gibi değişkenleri dikkate almışlardır. Bu bağlamda, sismik izolasyonlu bir köprü (izolasyon sistemin kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle sağlanan) tek doğrultulu deprem hareketlerine maruz bırakılmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle elde edilen sonuçlar limit analiz sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Seçilen deprem kayıtları maksimum yer hızlarına göre $30\text{cm/s} < \text{MYH} < 50\text{cm/s}$; $50\text{cm/s} < \text{MYH} < 70\text{cm/s}$; $\text{MYH} > 70\text{cm/s}$ olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Kurşun çekirdekdeki sıcaklık artışının dikkate alındığı bu çalışmada incelenen yapısal tepki izolatörlerin maksimum izolatör deplasman değeridir. Alt limit analizleri sonucu elde edilen maksimum izolatör deplasmanı (MID_{alt}), kurşun çekirdekdeki ısınmanın dikkate alındığı durumda elde edilen maksimum izolatör deplasmanına ($MID_{ısı}$) oranlanarak çalışma sonuçları incelenmiştir. Bu bağlamda, $30\text{cm/s} < \text{MYH} < 50\text{cm/s}$ olan deprem kayıtları için ölçek katsayısının 4'ten küçük, $50\text{cm/s} < \text{MYH} < 70\text{cm/s}$ olan deprem kayıtları için ölçek katsayısının 3'ten küçük ve $\text{MYH} > 70\text{cm/s}$ olan kayıtlar için ise ölçek katsayısının 2'den küçük olması gerektiği vurgulanmıştır.

1.4.3. Çift doğrultulu deprem hareketlerinin dikkate alındığı çalışmalar

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin, kurşun çekirdekdeki sıcaklık artışına bağlı davranışının incelendiği yukarıda belirtilen analitik çalışmalarda sadece tek doğrultulu deprem etkileri dikkate alınmıştır. Bu çalışmalarda, kullanılan deprem kayıtlarının sadece yatay doğrultudaki kuvvetli bileşeni ile analizler gerçekleştirilmiştir. Fakat sıcaklık faktörünün izolatör davranışı üzerindeki etkisinin ihmal edildiği birçok çalışma sonucunda elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarının çift doğrultulu, yani deprem kaydının yatay doğrultudaki her iki bileşeninin aynı anda sisteme etki ettirildiği durumlarda, tek doğrultulu olanlara göre daha fazla olduğu görülmüştür (Jangid ve Kelly, 2001; Mosqueda vd., 2004; Warn ve Whittaker, 2004; Tena-Colunga ve Perez-Osornia, 2006; Özdemir ve Akyüz, 2012; Özdemir ve Akyüz, 2013; Özdemir, 2014).

Taban izolasyonlu yapıların çift doğrultulu deprem hareketleri altındaki davranışını inceledikleri analitik çalışmada Jangid ve Kelly (2001) elde edilen izolatör deplasman değerlerinin tek doğrultulu deprem hareketleri altında elde edilen deplasman değerlerinden %40 daha fazla olduğunu belirtmiştir. Üst yapının rijit tabliye olarak idealize edildiği yapı modelinde bütün ağırlık izolatörlerin bulunduğu kolonlara verilmiş ve izolatörlerin doğrusal kuvvet-deplasman davranışı gösterdiği kabulü yapılmıştır (izolatör davranışı üzerindeki sıcaklık etkisi ihmal edilmiştir). Yapılan analitik çalışmanın sonunda görülmüştür ki, Electricite-de-France (EDF) tipi izolasyon sistemleri yakın saha

yerleşiminde bulunan yapıların tasarımında kullanılacak en optimum seçimdir. Bu izolasyon sisteminde, izolatörlerin tipik elasto-plastik kuvvet-deplasman ilişkisi gösterdiği kabul edilmektedir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. EDF izolasyon sistemi kuvvet-deplasman ilişkisi (Jangid ve Kelly, 2001'den alınmıştır.)

Mosqueda vd. (2004) ise çift doğrultulu deprem hareketleri altında sürtümlü sarkaç izolatör tiplerinin davranışını deneysel ve nümerik yöntemler ile inceleyip kıyaslamıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında, ölçeklendirilmiş rijit çerçeve bir köprü modelinde kullanılan 4 tane sürtümlü sarkaç izolatör deprem simülasyonlarına tabi tutulmuştur. Deprem kayıtlarının yatay doğrultudaki her iki bileşeni aynı anda yapı modeline etki ettirilmiş ve elde edilen izolatör deplasmanları not edilmiştir. Bu çalışmanın sonunda sürtümlü sarkaç izolatörler için matematik model oluşturmayı planlayan yazarlar izolatörlerdeki enerji sönmemesini belirleyebilmek için eşdeğer lineer modeller oluşturmuşlardır.

Warn ve Whittaker (2004) ise yürüttükleri çalışmada çift doğrultulu deprem hareketlerine maruz kalan sismik izolasyonlu köprülerin performansını incelemiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler ile 20 farklı izolasyon sistemi test edilmiş, sismik izolasyonlu köprülerin izolatör deplasmanları ve çift doğrultulu deprem hareketleri sebebiyle izolatörün yapacağı maksimum deplasmanlardaki artış miktarı belirlenmiştir. Bu artışa sebep olan faktörler, deprem hareketinin yatay doğrultudaki diğer bileşeninin izolatör deplasman değerini arttırıcı etkisinin olduğu ve sismik izolatörlerin deprem hareketinin her iki bileşenine aynı anda maruz kalması olarak belirlenmiştir.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin davranışının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile incelendiği çalışmada Özdemir ve Akyüz (2012) yakın saha kaynaklı çift doğrultulu deprem kayıtları kullanmıştır. Seçilen deprem kayıtlarının yatay doğrultudaki her iki bileşeni kullanılarak izolasyonlu yapının davranışı maksimum izolator deplasmanları ve eşdeğer yanal kuvvet bazında değerlendirilmiştir. Eşdeğer yanal kuvvet metodu; deprem hareketinin yatay doğrultudaki her iki bileşeninin dikkate alındığı durumlarda yapılan tek doğrulu analizdir. Bu metod kullanılarak yapılan araştırmalarda sismik izolasyonlu yapıların davranışı çift doğrultulu deprem hareketleri altında incelenmiştir ve deprem hareketinin sadece kuvvetli bileşeni dikkate alınarak yapılan analizlere göre daha fazla izolator deplasmanı elde edildiği görülmüştür (Warn ve Whittaker, 2004; Özdemir ve Constantinou, 2010). Warn ve Whittaker (2004)'in çalışmasında eşdeğer yanal kuvvet metodu ile elde edilen maksimum izolator deplasman değerleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan çift doğrultulu analizler ile kıyaslanmıştır. Öte yandan, Özdemir ve Constantinou (2010) ise eşdeğer yanal kuvvet metodunun yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altında elde edilen maksimum izolator deplasman değerlerini belirlemedeki başarısını ortaya koymuştur. Yapılan analizler sonucunda da yumuşak zeminlerde bu metodun daha doğru sonuçlar verdiğini kanıtlamışlardır.

Yukarıda bahsi geçen analitik çalışmalara ek olarak Özdemir ve Akyüz (2013) ise kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin davranışını çift doğrultulu deprem hareketleri altında kurşun çekirdekteki ısınmayı dikkate alarak incelemişlerdir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılarak davranışı incelenen izolator yakın saha kaynaklı deprem hareketlerine maruz bırakılmıştır. Kuvvet-deplasman davranışı çift doğrulu ilişki gösteren izolatorlerin yapacağı maksimum izolator deplasmanlarını kıyaslamak suretiyle tek doğrultulu deprem hareketleri altında da yapılan analizlerin sonucunda izolatorlerin maksimum deplasman değerlerinde tek doğrulu olana göre %20, kurşun çekirdekte açığa çıkan ısıda ise %50 artış görülmüştür.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin sıcaklığa bağlı davranışının hem tek hem de çift doğrultulu deprem hareketleri altında incelendiği çalışmaların birinde ise Özdemir (2014), zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yaparak kurşun çekirdekteki ısınmaya bağlı olarak izolator deplasmanlarındaki artış miktarını belirlemeye çalışmıştır. Bu bağlamda, Özdemir (2014) çalışmasında iki farklı zemin grubuna denk gelen deprem kayıtlarını incelemiştir. Yakın saha kaynaklı deprem kayıtlarının kullanıldığı bu çalışmada

analiz sonuçları izolasyon periyodu (T) ve eksenel yük seviyesi (Q/W) bazında değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda yazar, izolatör deplasman değerinin yapı modeline deprem kaydının her iki bileşeni aynı anda uygulandığında daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Öte yandan çalışma sonucunda elde edilen bir başka sonuç da kurşun çekirdek çift doğrultulu deprem hareketleri altında daha fazla ısınmakta ve kurşun çekirdekte açığa çıkan ısı miktarı artan Q/W oranı ile azalmaktadır. Her iki zemin grubu için sonuçların farklılaştığını gösteren bu çalışmada yazar seçilen deprem hareketlerinin kaydedildikleri hallerini kullanmış ve herhangi bir deprem etkime doğrultusunu dikkate almamıştır.

Yukarıda bahsi geçen çalışmalara ek olarak Pant ve Maharjan (2016) çift doğrultulu deprem hareketlerine maruz kalan sismik izolasyonlu yapılarda deprem kaydı seçiminin ve ölçeklenmesinin izolasyon seviyesi deplasmanına etkisini incelemişlerdir. PEER veri tabanından seçilen deprem kayıtları atımlı olup olmadıklarına göre iki gruba ayrılmıştır. Her iki grupta da deprem büyüklüğü 6.5'den büyük, faya olan mesafesi 10 km'den küçük ve zemin sınıfı ASCE-7/10 (ASCE, 2010)'a göre belirlenen C (çok sıkı zemin) veya D (sert zemin) olan kayıtlar kullanılmıştır. Parametrik analizlerde karakteristik dayanımın eksenel yük seviyesine oranı (Q/W) ve izolasyon periyodu (T) değişken olarak seçilmiştir. Çift doğrulu histeretik davranış gösteren elastomer izolatörlerin kullanıldığı bu çalışmada hareketteki döngü sayısına bağlı izolatörde meydana gelen dayanım kaybı dikkate alınmamıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle izolasyon seviyesinin deplasman talebinin belirlenmesine yönelik yürütülen bu çalışmanın sonucunda, yedi tane ivme-zaman serisi çiftinin izolasyon sisteminin deplasman talebini belirlemek için yeterli olduğu belirtilmiştir.

Cancellara ve De Angelis (2016) ise çok katlı betonarme bir binada kullanılan üç farklı hibrit izolasyon sisteminin çift doğrultulu deprem hareketleri altında doğrusal olmayan dinamik analizlerini yürütmüşlerdir. Bu bağlamda, elastomer yaylı sönümleyiciler + sürtünmeli kayıcı izolatörler, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler + sürtünmeli kayıcı izolatörler ve yüksek sönümlü kauçuk izolatörler + sürtünmeli kayıcı izolatörler kullanılmıştır. Seçilen deprem kayıtlarının orijinal hallerinin kullanıldığı bu çalışmada, yapısal tepki davranışları her bir izolasyon sisteminin kendi içinde ve ankastre temelli yapıya göre kıyaslanmıştır. Buna göre, izolasyonlu sistemlerde ankastre temelli yapıya göre üst yapının maksimum kesme kuvveti oldukça düşük elde edilmiştir. Ayrıca izolasyon seviyesi deplasman değeri kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin kullanıldığı hibrit izolasyon sisteminde diğer iki izolasyon sistemine göre daha az iken görece kat

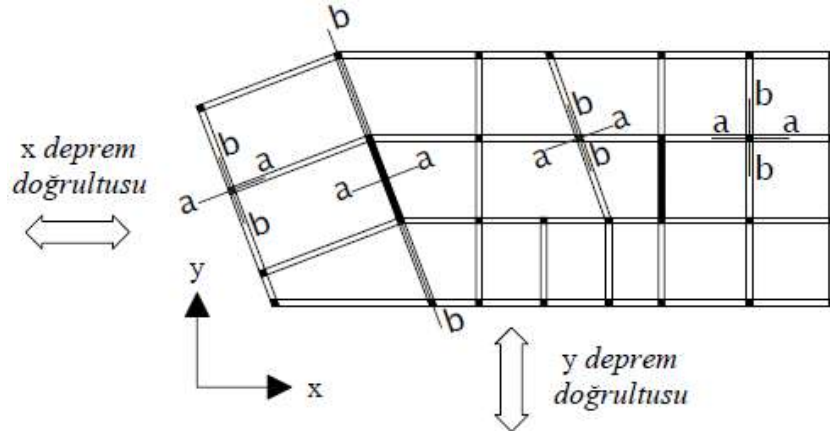
ötelemesi değeri ise elastometik yaylı sönümleyicilerin bulunduğu hibrit sistemde en fazladır.

Mavronicola vd. (2016)'nın yürüttükleri analitik çalışmada ise sismik taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle sağlanan 3 katlı bir bina çift doğrultulu deprem hareketleri altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlere tabi tutulmuştur. Deprem etkime doğrultusu ve kütle eksantrikliği parametrelerinin incelendiği bu çalışmada izolatör karakteristikleri ve yapı ile taban seviyesindeki istinat duvarları arasındaki mesafe de göz önünde bulundurulmuştur. Bu bağlamda, istinat duvarlarının sadece X doğrultusunda yerleştirildiği ve eksenel yük seviyesinin (Q/W) 0.05 olduğu, istinat duvarlarının hem X hem Y doğrultusunda yerleştirildiği ve eksenel yük seviyesinin (Q/W) 0.05 olduğu ve istinat duvarlarının hem X hem Y doğrultusunda yerleştirildiği ve eksenel yük seviyesinin (Q/W) 0.10 olduğu 3 farklı durum incelenmiştir. Deprem kayıtları PEER veri tabanından deprem büyüklüğü 6.0'dan büyük ve faya olan mesafesi 15 km'den az olacak şekilde 20 adet yakın saha kaynaklı olarak seçilmiştir. 0°-360° arasında 5'er derece aralıklarla döndürülen orijinal deprem kayıtları ile 73 adet farklı etkime durumu incelenmiştir. Çalışma sonucunda, deprem etkime doğrultusunun yapısal davranışı etkilediği ve bu nedenle bina çökmesini önlemek amacıyla bırakılan sismik boşluklar üzerinde önemli bir rolü olduğu ortaya konmuştur. Öte yandan, deprem etkime doğrultusunun görelî kat ötelemesi oranını da ciddi anlamda etkilediği ve bu oranın sismik boşluk miktarı azaldıkça arttığı gözlenmiştir.

Olası bir depremin tasarlanan yapıya hangi doğrultuda etki edeceği bilinemediği için tasarımcılar deprem hareketleri altında yapılarda oluşacak en elverişsiz etkileri genellikle yönetmeliklerde önerilen birleştirme kurallarını uygulayarak belirlemeye çalışmaktadırlar. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'de taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksen doğrultusundaki iç kuvvetleri, %30 birleştirme kuralı ya da bir başka ifade ile ortak etki formülleri kullanılarak belirlenmektedir (Şekil 1.9). Buna göre taşıyıcı sistem elemanının "a" ve "b" asal eksen doğrultusundaki iç kuvvetleri (B_a ve B_b) herhangi bir doğrultuda (x ya da y deprem doğrultusu) uygulanan deprem etkisi nedeniyle oluşan iç kuvvet diğer doğrultuda uygulanan deprem etkisi nedeniyle oluşan iç kuvvetin %30'u ile birleştirilmesi ile belirlenmektedir. Bu işlem deprem doğrultularının yer değiştirmesi ve farklı yönlerde etkimesi durumları dikkate alınarak Şekil 1.9'da verilen formülasyonlar kullanılarak en elverişsiz etki belirlenmektedir.

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 \cdot B_{ay} \quad \text{veya} \quad B_a = \pm 0.3 \cdot B_{ax} \pm B_{ay}$$

$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0.30 \cdot B_{by} \quad \text{veya} \quad B_b = \pm 0.3 \cdot B_{bx} \pm B_{by}$$



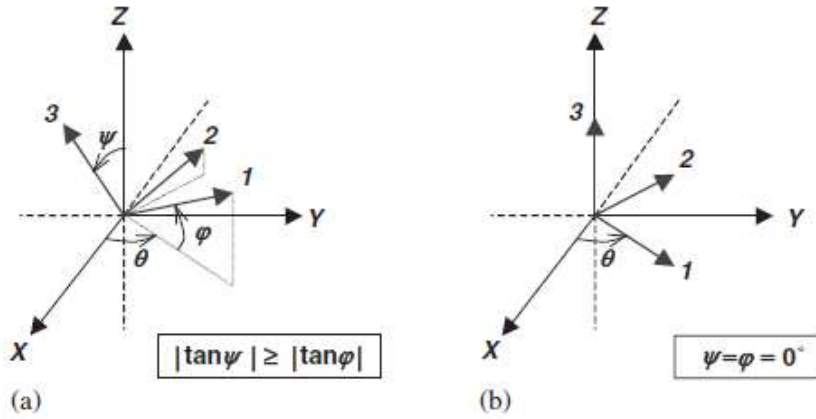
Şekil 1.9. Taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetlerin belirlenmesi (DBYBHY, 2007'den alınmıştır.)

DBYBHY (2007)'de olduğu üzere Eurocode 8 (2004), AASHTO (2010), ASCE/SEI 7 (2010), Caltrans (2010) gibi diğer uluslararası yönetmeliklerde de %30 birleştirme kuralı kullanılmaktadır. Eurocode 8 (2004)'de ayrıca Karelerin Toplamının Kare Kökü (SRSS) kuralı uygulanarak da sismik etkilerin en elverişsiz durumunun belirlenebileceğinden bahsedilmektedir. Diğer taraftan, ATC (1996), %30 birleştirme kuralına benzer bir yöntem olan diğer bileşenin etkisinin %40'ını hesaba katan %40 birleştirme kuralını önermektedir. Birleştirme kurallarının bir takım kabullere dayanarak yaklaşık sonuçlar vermesinden dolayı özellikle çok eksenli sismik etkiler için mevcut birleştirme kurallarının değerlendirilmesi için bir takım çalışmalar da yapılmıştır (Lopez vd., 2001; Hernandez ve Lopez, 2003; Maleki ve Bisadi, 2006).

Lopez vd. (2001) yaptıkları çalışmada, depreme dayanıklı yapı tasarlarken deprem hareketinin yapı üzerinde oluşturacağı etki hesaplanırken SRSS, %30 ve %40 birleştirme kuralının uygulandığını vurgulamıştır. Bir yapı modeli genellikle yapı asal eksenleri doğrultusunda uygulanan deprem hareketinin yatay doğrultudaki her iki bileşeni dikkate alınarak analiz edilmektedir. Bu bileşenlerin birlikte oluşturdukları davranış ise deprem hareketinin bileşenleri ile yapı eksenleri arasındaki etkime açısına bağlıdır. Bu bağlamda, Menun ve Der Kiureghian (1998) tarafından geliştirilen Tam Karesel Birleştirme, CQC3 kuralı genel olarak tepki spektrumu birleştirme kuralı olarak uygulanmaktadır.

Planda simetrik/simetrik olmayan yapılar ve iki katlı yapıların kritik tepki spektrumlarının birleştirme kuralları ile belirlendiği analitik çalışmanın sonucunda planda simetrik ve simetrik olmayan yapıların kritik tepki spektrumları deprem hareketinin x ve y doğrultusundaki bileşenleri birbirine yaklaştıkça artmaktadır ancak bu etki birleştirme kuralları uygulanırken dikkate alınmamaktadır. Ayrıca birleştirme kuralları (SRSS, %30 ve %40) ile belirlenen tepki spektrum değerlerinin CQC3 kuralı ile bulunan değerler ile hemen hemen örtüştüğü görülmüştür. Hesaplamalarda ortaya çıkan küçük farklar ise SAP2000 gibi yazılımlar ile yapılan analizlerde ihmal edilebilir düzeydedir (Lopez vd., 2001).

Yönetmeliklerde (2000 ICC ve Eurocode 8) belirtilen birleştirme kurallarına göre hesaplanan tepki spektrum değerlerinin deprem hareketinin 3 bileşeni dikkate alınarak incelendiği analitik çalışmada Hernandez ve Lopez (2003) analiz sonuçlarını r_e/r_c bazında incelemiştir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Deprem hareketleri (1,2,3) ve yapı (X,Y,Z) asal eksenleri: (a) Genel durum; (b) deprem hareketinin yatayda iki tane, düşey bir tane bileşeni (Hernandez ve Lopez, 2003'den alınmıştır.)

r_e , elastik sistemler için yönetmeliklerin önerdiği bir takım birleştirme kuralının dikkate alınarak deprem hareketinin üç bileşeninin etkisini belirlemek için hesaplanan spektrum değerini; r_c ise elde edilen tüm spektrum değerlerinin en kritik olan değerini temsil etmektedir. Bu bağlamda yapılan analizlerin sonucunda görülmüştür ki, r_e/r_c oranı SRSS kuralı ile hesaplanan değerler için sürekli azalmakta, %30 ve %40 birleştirme kuralı ile hesaplanan değerler için ise değişken olup artış azalış göstermektedir.

Maleki ve Bisadi (2006) ise köprülerde, uygulanan deprem hareketinin doğrultusuna göre oluşan sismik kuvvetlerin etkisinin tepki spektrumu üzerindeki etkilerini belirlemek için zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizler yapmışlardır. Deprem hareketlerinin, köprüler üzerindeki en elverişsiz etkilerini belirlemek için kullanılan birleştirme kurallarının genellikle SRSS, %30 ve %40 birleştirme kuralı olduğunu belirten yazarlar çalışmaya konu olan verev köprülerde SRRS ya da %40 birleştirme kuralının kullanılmasının daha uygun seçim olacağını belirtmişlerdir. Yazarlar sismik bölgelerde bulunan köprülere sismik kuvvetlerin hangi doğrultuda etki edeceğinin bilinmesi elzem olduğundan bu etkileri hesaplayabilmek için yönetmeliklerin önerdiği mevcut birleştirme kurallarının kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu bağlamda zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlerin ardından SRSS kuralı ile elde edilen spektrum değerlerinin daha doğru sonuçlar verdiğini, tepki spektrum analizlerinde ise bina asal eksenleri (x,y) doğrultusunda %30, asal eksenler ile belirli bir açı yapacak şekilde elde edilen (n,t) doğrultuda ise %40 birleştirme kuralı ile belirlenen değerlerin SRSS kuralı ile bulunan tepki spektrum değerine yakın sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Deprem yer hareketi nedeniyle yapılarda oluşabilecek en büyük sismik etkiyi bulabilmek için yer hareketi bileşenlerinin döndürülerek en kritik deprem etkime açısının ve bu açığa bağlı yapıda oluşan maksimum davranışın belirlenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Penzien ve Watabe, 1975; Wilson ve Butten, 1982; Smeby ve Der Kiureghian, 1985; Lopez ve Torres, 1996; Lopez ve Torres, 1997). Deprem etkime açısının, yapısal tepkiler üzerindeki etkilerini incelemek üzere yürütülen bu çalışmalarda orijinal deprem kayıtlarının farklı etkime açıları dikkate alınarak elde edilen sonuçlarda bu farklılaşmanın ihmal edildiği durumlara göre artış olduğu görülmüştür.

Penzien ve Watabe (1975)' nin yaptığı analitik çalışmanın temel oluşturduğu çalışmalarda Lopez ve Torres (1996), Lopez ve Torres (1997), ve Lopez vd. (2000) yönetmeliklerde bulunan kritik deprem etkime açısını ve deprem hareketinin yatay doğrultudaki her iki bileşeni ile düşey doğrultudaki bileşenine maruz kalan yapının davranışını belirlemek için bir metot geliştirmişlerdir. Ghersi ve Rossi (2001), planda düzensiz ve tek eksenli simetrik olan sistemlerin çift doğrultulu deprem hareketleri altında elastik ötesi davranışlarını incelemişlerdir. Eurocode 8'de önerilen yer hareketinin iki bileşenini birleştirme yönteminin, yapı elemanlarının süneklik taleplerinin ve elastik davranış spektrumlarının belirlenmesinde yeterli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Kritik deprem etkime açısı ve buna bağlı olarak yapı tepki spektrumlarının alacağı en yüksek değerin belirlenmesini amaçlayan çalışmada Athanatopoulou (2005) simetrik olmayan çok katlı yapılar ile zaman tanım alanında analizler gerçekleştirmiştir. Yer hareketinin farklı doğrultularda uygulanması durumunda elde edilen sonuçların, deprem bileşenlerinin yapının sadece asal eksenlerine uygulandığı durumda hesaplanan sonuçlardan %80 daha büyük sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Yukarıdaki çalışmaya ek olarak Rigato ve Medina (2007) ise yaptıkları çalışmada iki eksenli sismik etki altında tek katlı yapıların elastik ötesi davranışını incelemiştir. Yapı hakim periyodu 0.2 saniye ile 2.0 saniye arasında değişen düzlemde simetrik ve simetrik olmayan yapılarda, deprem etkime doğrultusunun farklı mühendislik istem parametrelerine etkisinin incelendiği bu çalışmada; deprem yer hareketinin sadece yapının asal eksenleri doğrultusunda uygulanması durumunda elde edilen elastik ötesi deformasyonların, depremin yapıya farklı doğrultularda uygulandığı durumlarda hesaplanan değerlerden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Öte yandan, deprem etkime doğrultusunun incelenen mühendislik istem parametresine (süneklik, görelî kat ötelemesi oranı, kat dönmesi), depremin özelliğine ve elastik ötesi davranışın mertebesine bağlı olduğu vurgulanmıştır.

Yapılan literatür araştırmasından da anlaşılacağı üzere kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılarak (kurşun çekirdekteki sıcaklık artışına bağlı dayanım kaybının dikkate alındığı) tasarlanmış sismik izolasyonlu yapıların davranışı, deprem etkime doğrultusunun bir fonksiyonu olarak incelenmemiştir. Diğer taraftan, deprem etkime açısının incelendiği çalışmalar sonucunda (sismik taban izolasyonlu olmayan yapıların incelendiği) deprem doğrultusunun incelemelere konu olan yapıların davranışı üzerinde önemli ölçüde bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda, sıcaklığa bağlı dayanım kaybının dikkate alındığı kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için de deprem etkime açısının önemli olacağı düşünülmektedir.

1.5. Araştırma Amaçları

Literatür taramasından da anlaşılacağı gibi hem deprem etkime açısının hem de kurşun çekirdekte meydana gelen dayanım kaybının dikkate alındığı mevcut bir çalışma bulunmamaktadır. Literatürde yer alan bu açığı kapatmak adına bu çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmanın amacı, sismik taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle sağlanan yapılarda maksimum izolatör deplasman değerlerini gerçekçi bir şekilde hesaplamak için kullanılan mevcut hesaplama yöntemini, kurşun çekirdekteki sıcaklık

artışına bağlı dayanım kaybının ve deprem etkime açısının etkilerini yansıtacak şekilde geliştirmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, sismik taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile sağlanan yapıların tasarımında belirlenen maksimum izolatör deplasmanlarında, farklı deprem etkime açıları sebebiyle oluşabilecek artış miktarının belirlenebilmesine yönelik bir çalışma yürütülmüştür. Bu bağlamda, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılarak tasarlanan tipik bir sismik taban izolasyonlu yapı analitik olarak modellenmiş ve çift doğrultulu deprem hareketleri altında incelenmiştir. İncelemeye konu olan sismik taban izolasyonlu yapı, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerde, seçilen deprem kayıtlarının birbirine dik yatay eksenlerdeki her iki bileşenlerine aynı anda maruz bırakılmıştır. Yapı öncelikle kaydedilen orijinal deprem hareketi altında analiz edilmiş, daha sonra deprem etkime doğrultularının etkisini yansıtılabilmek için belirli açısal aralıklarla döndürülerek yapıya tekrar etki ettirilmiştir. Yapılan tüm analizler sonucunda elde edilen maksimum izolatör deplasman değerleri kaydedilmiştir. Orijinal deprem kayıtları kullanılarak elde edilen maksimum izolatör deplasman değerleri ile belirli açısal aralıklarla döndürülen kayıtlar kullanılarak elde edilen maksimum izolatör deplasmanları kıyaslanarak olası artış miktarı belirlenmiştir. Elde edilen bu artış miktarı, sismik izolasyonlu yapıların ön tasarım aşamasında kullanılan basitleştirilmiş hesaplama yöntemine bir çarpan olarak önerilmiştir.

Yapılan analizlerde genel olarak üç temel parametre üzerinde durulmuştur. Bunlar izolasyon periyodu, eksenel yük seviyesi ve deprem hareketlerindeki farklılaşmayı temsil etmek amacıyla kayıtların maksimum yer hızıdır. İzolasyon periyotları olarak 4 farklı değer (2.25s, 2.50s, 2.75s, 3.00s) seçilmiştir. Benzer şekilde izolatörler 4 farklı Q/W oranına (0.090, 0.105, 0.120, 0.135) göre tasarlanmıştır. Deprem hareketlerindeki farklılaşmayı yansıtılabilmek için ise seçilen deprem kayıtları 3 farklı grupta toplanmıştır. Sismik izolasyonlu yapıların, yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altındaki davranışı incelenirken dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan bir tanesi deprem kayıtlarının seçimidir. Bu çalışmada, doğrusal olmayan dinamik analizlerde kullanılacak deprem kayıtları maksimum yer hızlarına göre seçilmiştir. Böyle bir gruplamaya gidilmesinin temel sebebi, yapılan literatür taramaları ışığında, maksimum izolatör deplasman değerleri ve deprem kayıtlarının maksimum yer hızı arasında oldukça yüksek bir uyum olduğunun belirtilmesidir (Avşar ve Özdemir, 2013). Deprem kayıtlarının maksimum yer hızı değerlerine göre sınıflandırıldığı grupların yer hızı değerleri 30cm/s-50cm/s, 50cm/s-

70cm/s, 70cm/s ve üzeri aralıklarındadır. Her deprem kaydının sismik taban izolasyonlu yapının analitik modeline birçok farklı doğrultuda uygulanabilmesi için orijinal deprem kaydı, belirli açısal aralıklarla döndürülmüştür. Seçilen tüm deprem kayıtlarının farklı açılarda döndürülmesi ile elde edilen yeni iki eksenli yer hareketi bileşenleri kullanılarak analizler tekrarlanmış ve maksimum izolatör deplasmanları belirlenmiştir. Böylelikle her bir deprem kaydı için en elverişsiz etkiye doğrultusu ve bu duruma karşılık gelen maksimum izolatör deplasmanı belirlenmiştir.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde kurşun çekirdekdeki sıcaklık artışına bağlı oluşan dayanım kaybının gerçekçi bir biçimde modellenmesine imkân sağlayan matematik model yakın bir tarihte geliştirildiğinden bu konu ile yapılan analitik çalışma sayısı da sınırlıdır. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda da tek doğrultulu deprem hareketleri kullanılmıştır, çift doğrultulu deprem hareketleri altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin davranışının incelendiği çalışmalarda ise deprem etkiye doğrultusu dikkate alınmamıştır. Diğer taraftan, deprem etkiye doğrultusu üzerine yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür ki, farklı deprem etkiye açıları söz konusu olduğunda incelemeye esas olan yapısal tepki değerlerinde artış olmaktadır. Sismik taban izolasyonlu yapılar için henüz böyle bir çalışma olmadığından, yapılacak olan analitik çalışma sonucunda ilk kez kurşun çekirdekli kauçuk izolatör tasarımına yönelik deprem etkiye doğrultusunun etkisini dikkate alan ve sismik izolatördeki sıcaklığa bağlı dayanım kaybını içeren bir bağıntı önerilecektir. Mevcut tasarım yöntemlerinin her iki durumu da hesaplarına gerçekçi olarak yansıtamadığı düşünüldüğünde, bu çalışma sayesinde kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin sismik davranışının olabildiğince gerçeğe yakın bir şekilde temsil edilerek tasarım açısından oldukça etkin bir gelişme sağlanmış olacaktır.

1.6. Tez Organizasyonu

Bu tez çalışması 5 ana başlık altında aşağıda kısaca belirtilen bölümlerden oluşmaktadır:

Bölüm 1: Sismik izolasyon hakkında genel bilgi, sismik izolasyon araçları, sismik izolasyonlu yapıların davranışı, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile yapılan çalışmalar ve çalışmanın özgün değeri.

Bölüm 2: Sismik izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile sağlanan bir yapının tanıtımı ve izolatör tasarımı.

Bölüm 3: Literatürde kullanılan deprem kayıtlarının seçilmesi sırasında kullanılan metotlar, seçilen yakın saha kaynaklı deprem hareketlerinin maksimum yer hızı değerlerine göre sınıflandırılması ve deprem kayıtlarının belirli açısal aralıklarla döndürülmesi.

Bölüm 4: Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.

Bölüm 5: Kısa bir özet ve sonuçlar.

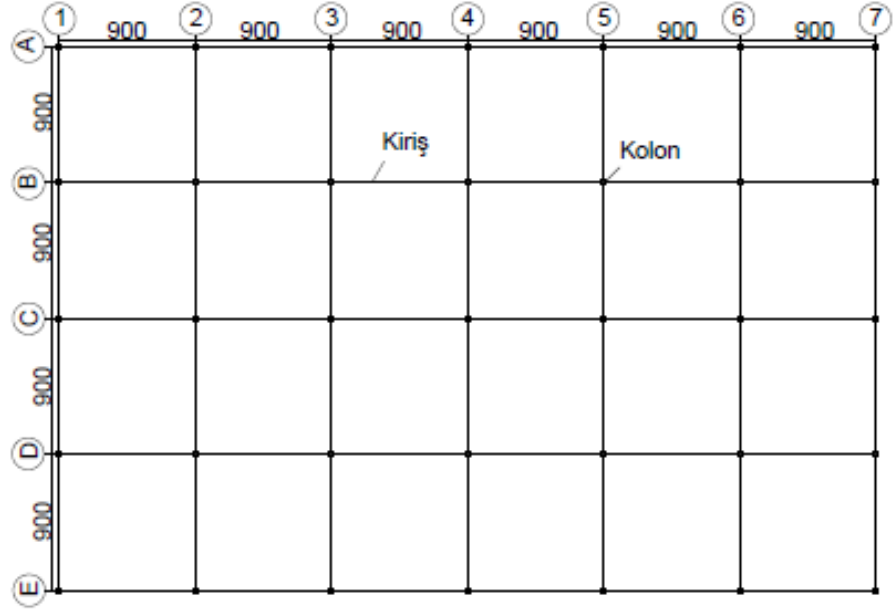
2. SİSMİK İZOLASYONLU BİNA TANITIMI VE İZOLATÖR TASARIMI

Bu bölümde çalışmaya konu olan sismik taban izolasyonu kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ile sağlanan bir yapı ve analizlerde kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler hakkında bilgi verilecektir.

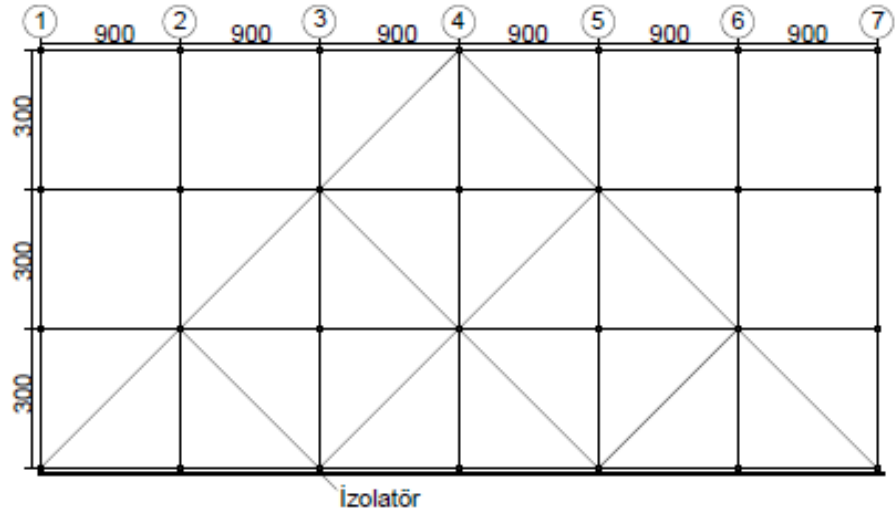
2.1. Sismik Taban İzolasyonlu Bina Modeli (Üst yapı)

Sismik taban izolasyonlu yapılar, geleneksel olarak tasarlanan yapılara göre genellikle daha büyük aks açıklıkları dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Bu tür bir tasarım yaklaşımının sebebi, mümkün mertebe kullanılacak her bir izolatörün üzerine gelecek eksenel yük seviyesini artırarak ihtiyaç duyulacak izolatör sayısından tasarruf etmektir. Ayrıca, özellikle kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler söz konusu olduğunda izolatör merkezinde bulunan kurşun çekirdeğin çapı da eksenel yük seviyesinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, tez kapsamında yürütülecek doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak olan üst yapının belirlenmesi elde edilecek sonuçların gerçekçi olması bakımından oldukça önemlidir. OpenSees yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında modellenen üst yapı, National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP, 2006) bünyesinde sismik taban izolasyonlu yapıların tasarım ilkelerinin test edilmesine yönelik olarak tasarlanan binadan uyarlanmıştır. İncelemeye konu olan yapı, hayali bir acil durum yönetim merkezini temsilen tasarlanmış ve taşıyıcı sistemi çelik çerçeve elemanlarla oluşturulmuştur. Yapı modeli 3 katlı olup kat yükseklikleri 3^m dir. Plandaki boyutları 36^mx54^m olan yapının kısa doğrultusunda 4 açıklık bulunurken uzun doğrultusunda ise 6 açıklık bulunmaktadır. Her iki yatay doğrultudaki açıklık boyutları eşit ve 9^m dir. Yapıda ayrıca çapraz elemanlar da kullanılmıştır. Hem yatayda hem de düşeyde herhangi bir düzensizlik içermeyen yapının toplam ağırlığı 73000 kN'dur. İzolasyon seviyesi ve ilk iki katın ağırlıkları birbirine eşit iken, en üst katın ağırlığı diğer katların ağırlığının %75'i kadardır.

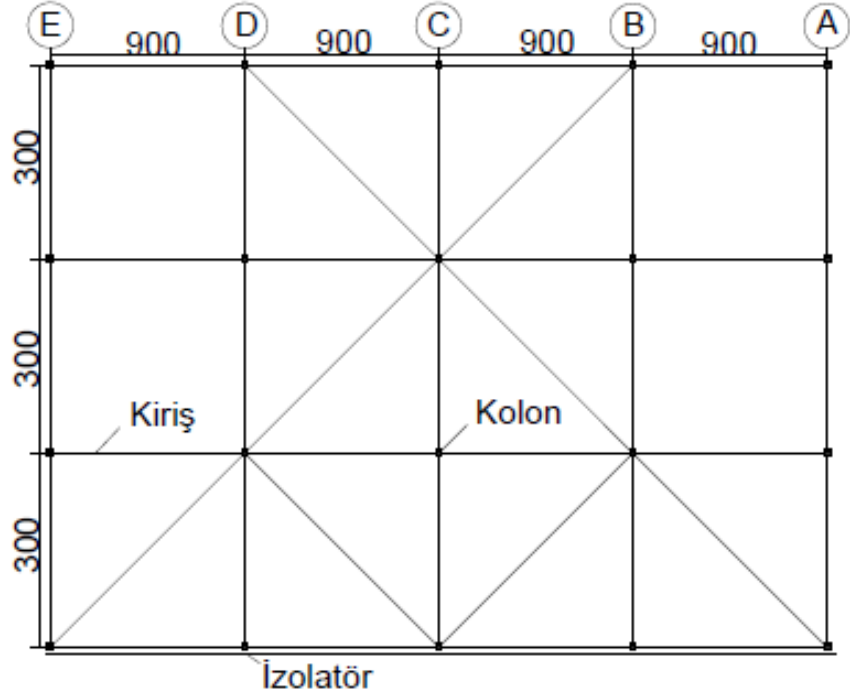
Sismik izolasyonlu yapı modelinde kullanılan izolatörler, üst yapı ile temel arasında yeterli esneklik ve deplasmanların izolasyon seviyesinde olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle üst yapı izolasyon seviyesine göre daha rijit tasarlanmıştır. Sonuç olarak üst yapıda herhangi bir deformasyon olmayacak ve üst yapı elastik olarak kalacaktır (Jangid, 2007). Çeliğin elastisite modülü 200 GPa, poisson oranı ise 0.3 olarak seçilmiştir. Tez çalışması kapsamında incelenecek olan yapıya ait şekiller Şekil (2.1-2.2)'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tipik kat planı



Şekil 2.2a. B ve D akslarına ait düşey kesit görüntüsü



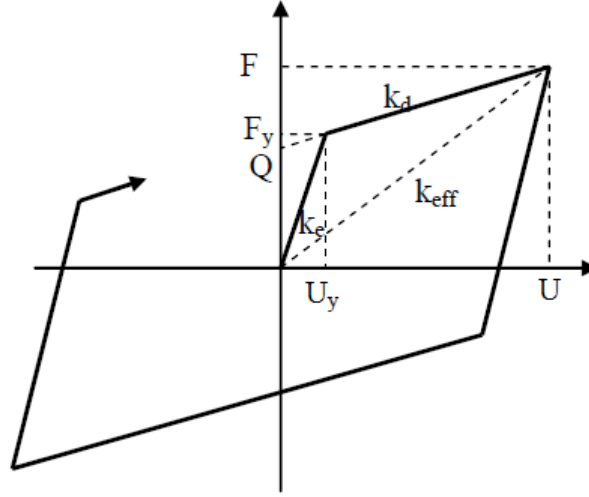
Şekil 2.2b. 2 ve 6 akslarına ait düşey kesit görüntüsü (birimler [cm] cinsinden verilmiştir.)

Üst yapı modellenirken aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- İzolasyon sistemi deprem anında histeretik döngüler ile enerji sönmüleyerek üst yapının elastik kalmasını sağlar. Bu yüzden de üst yapı taşıyıcı sistem elemanları elastik olarak modellenmiştir.
- Bütün katlar kendi düzlemlerinde rijit olarak tasarlanmıştır. Her katta 2 ötelenme ve 1 dönme olmak üzere 3 serbestlik derecesi vardır.
- Kat kütleleri her kat seviyesindeki düğüm noktalarında tanımlanmıştır (Rijit diyafram kabulü ile).
- İzolatörler izolasyon seviyesinde her kolonun altına yerleştirilmiştir.
- Yapıda üst yapı simetrik olduğundan herhangi bir eksentrik durum dikkate alınmamıştır.

2.2. İzolasyon Sistemi Parametreleri

Mevcut analiz yöntemlerinde sismik izolatörlerin modellenmesi için kullanılan çift doğrulu kuvvet-deplasman eğrileri, tersinir tekrarlanır hareketler altında dayanım kaybı göstermezler (Şekil 2.3). Grafikte gösterilen Q , izolatör karakteristik dayanımını; k_d , akma sonrası rijitliği; k_e , elastik rijitliği temsil etmektedir. F_y ve U_y ise sırasıyla izolatörün akma kuvvet değerini ve akma deplasmanını göstermektedir.



Şekil 2.3. Çift doğrulu kuvvet-deplasman ilişkisi gösteren tipik bir izolatör (Özdemir, 2010'dan alınmıştır.)

İzolatörün elastik rijitliği k_e kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde hem kurşunun hem de kauçuğun akma öncesindeki rijitliklerinin toplamına eşittir ($k_e = k_l + k_d$).

$$k_l = \frac{G_l \cdot A_l}{h_r} \quad (2.1)$$

$$k_d = \frac{G_r \cdot A_r}{h_r} \quad (2.2)$$

Formüllerde yer alan G_l ve A_l sırasıyla kurşunun kayma modülü ve kesit alanını, G_r ve A_r ise kauçuğun kayma modülü ve kesit alanını temsil etmektedir. h_r ise toplam kauçuk yüksekliğidir. İzolatörün akma deplasmanı ve akma dayanımı Denklem (2.3) ve (2.4)'de verilmiştir.

$$U_y = \frac{F_y}{k_e} = \frac{F_y}{k_l + k_d} \quad (2.3)$$

$$F_y = Q + k_d \cdot U_y \quad (2.4)$$

Denklem (2.3) ve (2.4) birleştirildiğinde $U_y = Q/k_l$ olarak bulunmaktadır. Q da σ_l ile A_l çarpımına eşit olduğundan U_y diğer bir ifade ile Denklem (2.5) ile gösterilebilir.

$$U_y = \frac{\sigma_l \cdot h_r}{G_l} \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)'den de görüldüğü üzere izolatörün akma deplasman değeri k_e/k_d oranından bağımsız olarak değişmektedir ve kurşunun karakteristik özellikleri ile toplam kauçuk yüksekliğinden etkilenmemektedir. Bu nedenle k_e/k_d oranını sabitlemek yerine izolatörün yapacağı deplasman değeri sabitlenmelidir.

2.3. İzolatör Tasarımı

2.3.1. Konvansiyel (Geleneksel) izolatör tasarımı

İzolatör tasarımı hem maksimum izolatör deplasmanı hem de izolatörler tarafından karşılanan kesme kuvvetinin belirlenmesine dayanan iteratif bir metottur. Bu çözüm yönteminde öncelikli olarak izolatörün Q/W değerine ve izolasyon periyoduna ihtiyaç duyulmaktadır. Burada tarif edilen Q/W değeri, izolatörün üzerine gelen aksel yükü temsil ederken; izolasyon periyodu ise akma sonrası rijitlik, k_d 'nin hesaplanmasında kullanılır. Bu iki değişkene ek olarak izolatöre ait çift eğrili doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi için kullanılan akma deplasman değeri ise iteratif çözümde başlangıç değeri olarak kabul edilmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için tipik akma deplasman değeri 25 mm olarak tanımlandığından (Constantinou vd., 2007; Ozdemir ve Constantinou, 2010) bu çalışmada da 25 mm olarak seçilmiştir. Daha sonra tahmini olarak belirlenen bir tasarım deplasmanı ile gerekli hesaplamalara başlanır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen izolatör deplasmanı başlangıçta kabul edilen tasarım deplasmanından farklıysa elde edilen değer ile döngü yeniden başlatılır. Bu işlem hesaplanan ve başlangıçta kabul edilen değerler birbirlerine daha önceden tanımlanan bir hata payı içinde kalacak şekilde yakın olana kadar devam ettirilir. Eğer iki değer arasındaki fark ihmal edilebilir seviyede ise hesaplama sonlandırılır. Bu çözüm yönteminde doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi idealize edilerek eşdeğer doğrusal elastik değerler üzerinden hesaplamalar yapılır. Bu yaklaşımın adı eşdeğer kuvvet yöntemidir (Jara ve Casa, 2006; Özdemir ve Constantinou, 2010; Jara vd., 2012) ve sismik taban izolasyonlu yapıların ön tasarımında kullanılması için şartnameler (AASHTO, 1999; ASCE-7/10, 2010) tarafından önerilmektedir. Tariflenen bu hesaplamalara ait denklem takımı aşağıda verilmiştir. Burada k_{eff} , T_{eff} ve β_{eff} olarak belirtilen değerler eşdeğer elastik sisteme ait eşdeğer rijitlik, eşdeğer periyot ve eşdeğer sönüm oranını simgelemektedir.

$$k_{eff} = \frac{Q}{U} + k_d \quad (2.6)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_d \cdot g}} \quad (2.7)$$

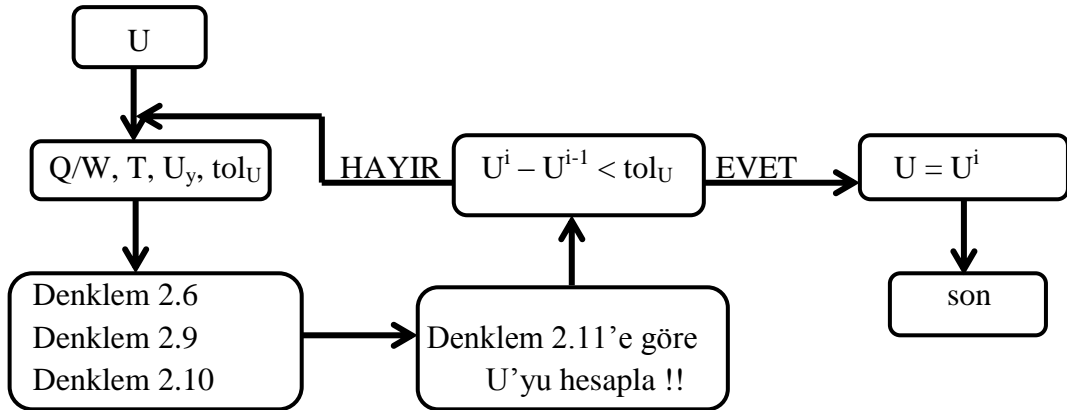
$$ED = 4 \cdot Q \cdot (U - U_y) \quad (2.8)$$

$$\beta_{eff} = \frac{4 \cdot Q \cdot (U - U_y)}{2\pi \cdot k_{eff} \cdot U^2} \quad (2.9)$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{eff} \cdot g}} \quad (2.10)$$

$$U = \frac{g \cdot S_a \cdot T_{eff}^2}{4\pi^2 \cdot B} \quad (2.11)$$

Yukarıda anlatılan hesap işlemlerine ait akış şeması Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. İzolatör tasarımı için kullanılan iteratif çözüme ait akış şeması

Denklem (2.11)'de yer alan sönüm azaltma katsayısı, B 'nin bazı yönetmeliklerde efektif sönümleme yüzdesine göre hangi değerde alınacağını gösteren tablo aşağıda verilmiştir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Yönetmeliklerde yer alan sönüm azaltma katsayı, B değerleri

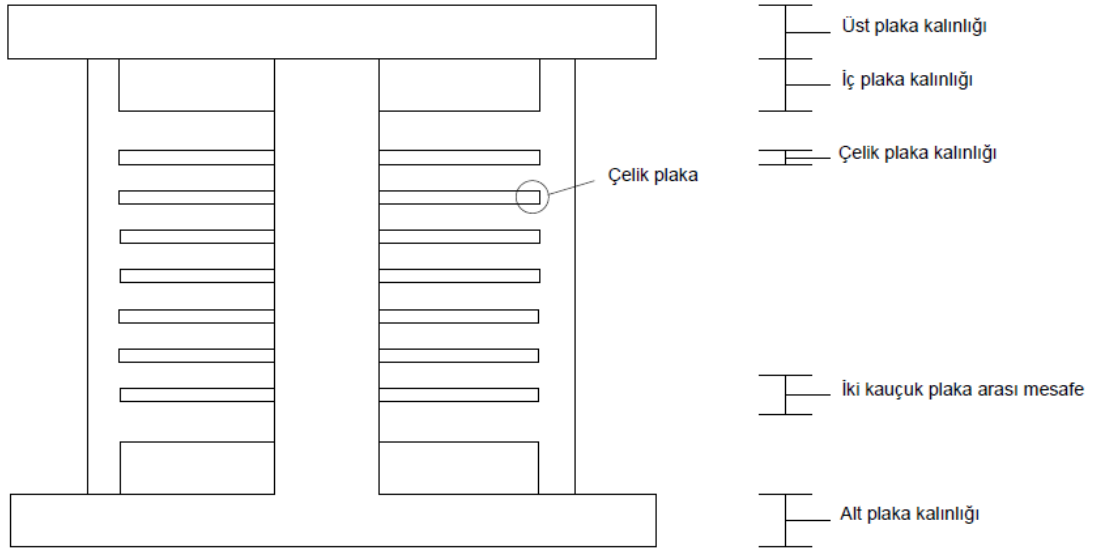
$\beta(\%)$	1999 AASHTO, 2001 CBC	2003 NEHRP	FEMA 440	EUROCODE 8
≤ 2	0.8	0.8	0.8	0.8
5	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.2	1.2	1.2	1.2
20	1.5	1.5	1.5	1.6
30	1.7	1.7 ya da 1.8 ¹	1.8	1.9
40	1.9	2.1	2.1	2.1
50	2.0	2.4	2.4	2.3

¹ izolasyonlu yapılar için 1.7; sönümleyici sistemli yapılar için 1.8

Yapılan iteratif çözümler sonucunda elde edilen izolatör boyutlarına ve bunlara ait doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkilerine ait değerler Tablo 2.2’de verilmiştir. Burada, n toplam kauçuk sayısını, k_d akma sonrası rijitlik değerini, T izolasyon periyodunu, U tasarım deplasmanını simgelemektedir. Tablo 2.2’de belirtilen d ve D değerleri ise sırasıyla kurşun çekirdek çapını ve izolatörün dış çapını simgelemektedir. Tipik bir kurşun çekirdekli kauçuk izolatöre ait kesit görüntüsü Şekil 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.2. İzolatörler için tasarım değerleri

n (kauçuk tabaka sayısı)	k_d (akma sonrası rijitlik) (N/mm)	T (izolasyon periyodu) (saniye)	U (tasarım deplasmanı) (mm)
	Q/W=0.090; $d=155$ mm; $D=848$ mm; $Q=188$ kN		
23	1665.8	2.25	498
29	1353.5	2.50	542
34	1110.6	2.75	583
41	941.6	3.00	622
	Q/W=0.105; $d=167$ mm; $D=848$ mm; $Q=219$ kN		
23	1665.8	2.25	456
29	1353.5	2.50	492
34	1110.6	2.75	525
41	941.6	3.00	555
	Q/W=0.120; $d=179$ mm; $D=848$ mm; $Q=250$ kN		
23	1665.8	2.25	417
29	1353.5	2.50	446
34	1110.6	2.75	472
41	941.6	3.00	495
	Q/W=0.135; $d=190$ mm; $D=848$ mm; $Q=282$ kN		
23	1665.8	2.25	381
29	1353.5	2.50	404
34	1110.6	2.75	427
41	941.6	3.00	452



Şekil 2.5. *Tipik bir kurşun çekirdekli kauçuk izolatör için kesit görünümü*

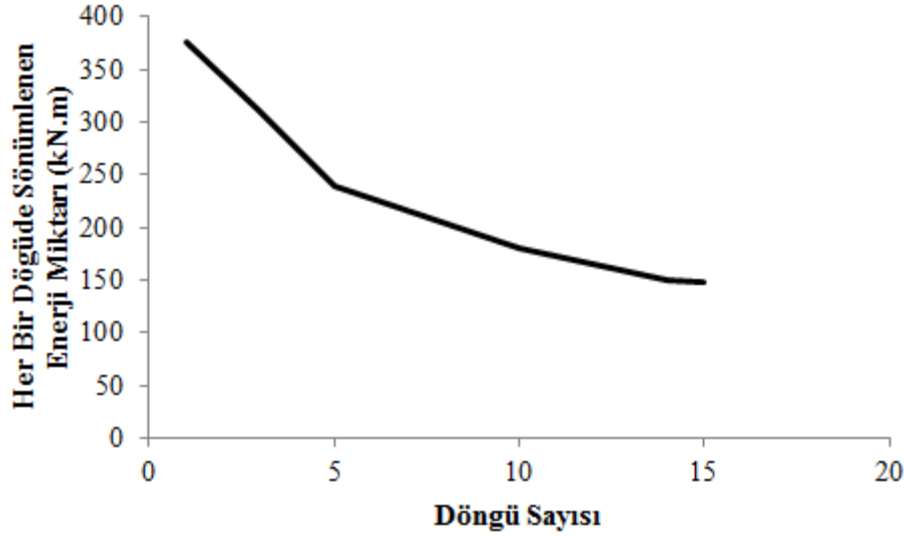
Önerilen bu tez çalışması kapsamında elde edilecek sonuçların, kullanılacak tek bir izolatör davranışına bağlı olmasını önlemek amacıyla farklı özelliklere sahip kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün kullanıldığı çok sayıda analiz gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu bağlamda, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin davranışını doğrudan etkilediği bilinen izolasyon periyodu, T ve eksenel yük seviyesi, Q/W için her birinden 4'er farklı set alınmak suretiyle 16 adet izolatör tasarlanmıştır. Bu tasarım sırasında, Dicleli (2006) tarafından sunulan sonuçlar dikkate alınarak yakın saha depremleri altında uygulanabilir ve kontrol edilebilir izolatör boyutları ve deplasmanları ile çalışılabilmesi için izolasyon periyodunun $3s.$ 'den küçük olması gerektiği vurgulanmıştır. Buna ek olarak, seçilmesi gereken Q/W değerinin ise 0.10 'dan az olmaması gerektiği belirtilmiştir. Bu tez çalışması için belirlenen izolatörlerin tasarıma esas teşkil eden değerleri izolasyon periyotları olarak $2.25s$, $2.50s$, $2.75s$, $3.00s$; eksenel yük seviyesi olarak ise 0.090 , 0.105 , 0.120 , 0.135 değerleri dikkate alınmıştır. Tek bir izolasyon periyodu veya Q/W değeri üzerinden yapılan analizlerin ve elde edilen sonuçların sismik taban izolasyonlu yapıların davranışı hakkında yeterli veri oluşturmayacağı için bu çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan tasarım değerleri kullanılmıştır.

2.3.2. Sıcaklık etkisi dikkate alınarak izolator tasarımı

Şekil 2.3'te verilen izolatöre ait kuvvet-deplasman grafiği izolatörün maruz kaldığı hareketten etkilenmeyip değişmeden kaldığı varsayımı üzerine tanımlanmaktadır. Ancak, kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler ile yürütülen çok sayıda deney sonucunda bu kabulün doğru olmadığı, izolatöre ait kuvvet-deplasman eğrisinin uygulanan hareketin özelliklerine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir (Robinson, 1982; Benzoni ve Casarotti, 2005; Benzoni ve Casarotti, 2009). Bu değişimin de izolator dayanımındaki kaybın neticesinde olduğu gözlenmiştir. Yakın bir tarihe kadar izolator dayanımındaki bu kaybın izolatörün kirlenmesi, yaşlanması, yük geçmişi gibi nedenlerden kaynaklandığı ancak kesin olarak dayanım kaybına neden olan esaslar ortaya konulamamıştı. Ancak, Kalpakidis ve Constantinou (2009a, b) tarafından yürütülen çalışmalar neticesinde izolatörde dayanım kaybına neden olan esas faktörün izolatörün maruz kaldığı hareket sonucu kurşun çekirdekteki sürtünmeye bağlı olarak artan sıcaklık olduğu tespit edilmiştir.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler tersinir tekrarlanır hareketlere maruz kaldıklarında kurşun çekirdek ısınmakta ve bu ısı çelik plakalara aktarılmaktadır. Ayrıca hareketten ötürü kauçukta da ısı açığa çıkmaktadır ancak bu ısı ihmal edilebilir ölçüde küçüktür (Kalpakidis ve Constantinou, 2008). Her bir döngüde sönmölen enerji miktarı ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin karakteristik dayanımı artan döngü sayısı ile ters orantılı olarak azalım göstermektedir. İlk döngülerde bariz olarak azalan dayanım ilerleyen döngüler ile sabitlenmeye başlamaktadır. Artan sıcaklığa bağlı olarak kurşunun akma dayanımının düşmesi her bir döngüde sönmölen enerji miktarının da düşmesine neden olmaktadır. Şekil 2.6'da döngü sayısına bağlı olarak her bir döngüde sönmölen enerji miktarını gösteren grafik mevcuttur.

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin kuvvet-deplasman eğrilerinde, maruz bırakıldıkları hareketlere bağlı olarak dayanım kaybı olduğu için iterasyonlardan elde edilen değerler, incelenecek olan izolatörün sadece ilk dayanım değerini ve izolator geometrilerini belirlemeye yaramıştır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorlerin dayanımındaki kaybı yansıtabilmek için ise Kalpakidis ve Constantinou (2009a,b) tarafından önerilen malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model sayesinde kurşun çekirdekteki sıcaklık artışı belirlenmekte ve anlık sıcaklığa bağlı dayanım hesaplanabilmektedir.



Şekil 2.6. Kurşun çekirdekli kauçuk izolâtörde her bir döğüde sönümlenen enerji miktarı

Kurşun çekirdekli kauçuk izolâtörlerde, kurşun çekirdekteki sıcaklık artışına bağı dayanım kaybını modelleyebilmek için, Kalpakidis ve Constantinou (2009a,b) öncelikle izolâtörün yatay doğrultudaki dayanımını belirleyen kurşunun kayma gerilmesini sıcaklığın bir fonksiyonu olacak şekilde tanımlamışlardır. Denklem (2.12)'de görülen $\sigma_{YL}(T_L)$ kurşunun sıcaklığa bağı kayma gerilmesini, σ_{YL0} kurşunun başlangıç kayma gerilmesini, T_L kurşun çekirdekteki toplam sıcaklığı temsil etmektedir. E_2 ise sabit bir sayıdır. Çift doğrultulu hareketlere maruz kalan bir kurşun çekirdekli kauçuk izolâtörün kurşun çekirdeğinde oluşması öngörülen anlık sıcaklık artışı ise Denklem (2.13)-(2.14) arasında tariflenen ilişkiler yardımıyla hesaplanmaktadır. Aşağıda verilen bu denklem takımında, kurşun çekirdekli kauçuk izolâtöre ait hem malzeme hem de geometrik özellikler kullanılmaktadır. Örneğın, a , t_s ve h_L ile ifade edilen değerler sırasıyla izolâtörde kullanılan kurşun çekirdeğın yarıçapını, çelik plakaların toplam kalınlığını ve izolâtörün yüksekliğini simgelemektedir. Bu nedenle, kurşun çekirdekli kauçuk izolâtörlerin doğrusal olmayan dinamik analizlerinde kullanılmak üzere kıstas olarak belirlenen kuvvet-deplasman eğrileri tek başına yeterli olmayıp, stabilite problemlerinin de göz önüne alındığı izolâtör geometrisinin de tasarım aşamasında dikkate alınması gerekmektedir.

$$\sigma_{YL}(T_L) = \sigma_{YL0} \cdot \exp(-E_2 T_L) \quad (2.12)$$

$$\dot{T}_L = \frac{\sigma_{YL}(T_L) \cdot \sqrt{Z_x^2 + Z_y^2} \sqrt{U_x^2 + U_y^2}}{\rho_L c_L h_L} - \frac{k_s T_L}{a \rho_L c_L h_L} \cdot \left(\frac{1}{F} + 1.274 \left(\frac{t_s}{a} \right) (t^+)^{-\frac{1}{3}} \right) \quad (2.13)$$

$$F = \begin{cases} 2 \cdot \left(\frac{\tau}{\pi}\right)^{1/2} - \frac{\tau}{\pi} \cdot \left[2 - \left(\frac{\tau}{4}\right) - \left(\frac{\tau}{4}\right)^2 - \frac{15}{4} \left(\frac{\tau}{4}\right)^3\right], & \tau < 0.6 \\ \frac{8}{3\pi} - \frac{1}{2(\pi\tau)^{1/2}} \cdot \left[1 - \frac{1}{3(4\tau)} + \frac{1}{6(4\tau)^2} - \frac{1}{12(4\tau)^3}\right], & \tau \geq 0.6 \end{cases} \quad (2.14)$$

$$\tau = \frac{a_s t}{a^2} \quad (2.15)$$

Yukarıdaki formüllerde kullanılan ρ_L ve c_L sırasıyla kurşunun yoğunluğu ve özgül ısıdır. a_s çeliğin ısı yayılma katsayısı, k_s çeliğin ısı iletkenlik katsayısı, t harekete başladıktan itibaren geçen zaman, τ birimsiz zamanı, E_2 sıcaklığa ve akma dayanımına bağlı bir katsayıyı temsil etmektedir. h_L , a , ve t_s dışındaki diğer değişkenler malzeme özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler Kalpakidis ve Constantinou (2009) tarafından verilmiştir: $\rho_L = 11200 \text{ kg/m}^3$, $c_L = 130 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$, $k_s = 50 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$, $a_s = 1.41 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, ve $E_2 = 0.0069/^\circ\text{C}$.

2.4. Stabilite Kontrolü

Elastomer ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler sismik izolasyonda yaygın olarak kullanılan izolatör tiplerinden ikisidir. İzolasyon sisteminde bulunan izolatörlerden bazıları deprem anında büyük aksel basınç kuvvetlerine maruz kalmakta ve bunun sonucunda da büyük yanal deplasmanlar meydana gelmektedir. Bu nedenle izolatör tasarımı esnasında maksimum izolatör deplasman değerine karşılık gelen değer belirlenip buna göre stabilite kontrolleri yapılmaktadır (Weisman ve Warn, 2012).

Mevcut tasarım yönetmelikleri (AASHTO-2010) izolatörlerin “servis yükü” ve “maksimum deprem seviyesi” altında stabil kalabilmesi için kritik yükün;

$$P_{cr}^l \geq 1.2P_D + P_{SL} + P_{E,MCE} \quad (2.16)$$

olduğunu belirtmiştir. P_D , ölü yük nedeniyle meydana gelen aksel yükü, P_{SL} ve $P_{E,MCE}$ sismik etkilerden dolayı meydana gelen yükü, P_{cr}^l ise izolatörün maksimum deprem seviyesi deplasmanına karşılık gelen kritik yük kapasitesini temsil etmektedir. ($P_{SL}=0$)

Ayrıca kritik yük kapasitesi Denklem 2.17’de verildiği şekilde de hesaplanabilmektedir.

$$P_{cr}^l = \frac{A_r}{A} \times 0.218 \times \frac{GD_B^4}{tT_r} \quad (2.17)$$

Denklem 2.16 ve 2.17 birbirine eşitlendiği takdirde t , gerekli olan kauçuk tabaka kalınlığının alabileceği maksimum değer bulunabilir.

$$t \leq \frac{0.218}{1.2} \times \frac{GD_B^4}{(P_D + P_{E,MCE})T_r} \times \frac{A_r}{A} \quad (2.18)$$

Yukarıdaki denklem takımlarında geçen T_r , D_B , G ve $\frac{A_r}{A}$ sırasıyla toplam kauçuk kalınlığını, kauçuk çapını, kauçuk kesme modülü ve azaltılmış alan oranını temsil etmektedir.

İzolatörün yeterliliği için bir diğer önemli kriter de kauçuk tabakanın birim şekil değiştirmesi kontrolüdür.

$$\gamma_{C,MCE} + \gamma_{S,MCE} + \gamma_{rs} \leq 7.0 \quad (2.19)$$

$\gamma_{C,MCE}$ basınçtan ötürü oluşan birim şekil değiştirmesini, $\gamma_{S,MCE}$ yanal deplasmandan ötürü oluşan birim şekil değiştirmesini temsil etmektedir. γ_{rs} ise kauçuktaki toplam birim şekil değiştirmeyi simgelemekte ve 0 olarak kabul edilmektedir.

$$\gamma_{C,MCE} = \frac{P_D + P_{E,MCE}}{A_r \cdot G \cdot S} \quad (2.20)$$

$$\gamma_{S,MCE} = \frac{D_M}{T_r} \quad (2.21)$$

Denklem 2.19'da verilen kayma gerilmesi değerlerinin formülasyonu Denklem 2.20 ve 2.21'de verilmiştir. Denklem (2.19-2.20-2.21) düzenlendiğinde Denklem 2.22 elde edilmiştir.

$$\frac{P_D + P_{E,MCE}}{A_r \cdot G \cdot S} + \frac{D_M}{T_r} \leq 7.0 \quad (2.22)$$

Yukarıdaki denklem takımlarında geçen D_M , A_r , A , S ve δ aşağıda verilen formüller ile hesaplanmaktadır.

$$D_M = \frac{A \cdot T_{eff}^2}{4\pi^2} \quad (2.23)$$

$$A_r = \frac{D_B^2}{4} \cdot (\delta - \sin \delta) \quad (2.24)$$

$$\delta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D_M}{D_B} \right) \quad (2.25)$$

$$S = \frac{D_B}{4t} \quad (2.26)$$

$$A_r = \frac{A_r}{A} \cdot \frac{\pi D_B^2}{4} \quad (2.27)$$

Denklem 2.22’de S ve A_r yerine Denklem 2.26 ve 2.27’deki değerleri konulduğunda kauçuk tabaka için gerilme kontrol sınır kalınlığı Denklem 2.28’deki gibi bulunmuştur (Constantinou vd., 2007).

$$t \leq \frac{\pi}{16} \cdot \left(7 - \frac{D_M}{T_r}\right) \cdot \frac{A_r}{A} \cdot \frac{G \cdot D_B^3}{P_D + P_{E,MCE}} \quad (2.28)$$

2.5. Çift Doğrultulu Analizlerde Kullanılan Plastisite Modeli

Sismik izolatörlü binalar ile yürütülen çift doğrultulu deprem analizleri esnasında izolatörler için elde edilen kuvvet-deplasman eğrilerinin her iki yatay doğrultuda etkileşimli olarak çözümünde kullanılan matematiksel model Park vd. (1986) tarafından geliştirilmiştir. Bu model, izolatör her iki yatay doğrultuda da doğrusal olmayan davranış sergilediği zaman izolatör tarafından taşınan bileşke kuvvetin her iki doğrultunun etkileşimli çözümünde kullanılmaktadır (Özdemir, 2014). Park vd. (1986) tarafından geliştirilen matematik model aşağıda verilmiştir:

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix} = c_d \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_x \\ \dot{U}_y \end{pmatrix} + K \cdot \begin{pmatrix} U_x \\ U_y \end{pmatrix} + (\sigma_{YL}(T_L)A_L) \cdot \begin{pmatrix} Z_x \\ Z_y \end{pmatrix} \quad (2.29)$$

$$Y \cdot \begin{pmatrix} \dot{Z}_x \\ \dot{Z}_y \end{pmatrix} = (A \cdot [I] - B \cdot [\Omega]) \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_x \\ \dot{U}_y \end{pmatrix} \quad (2.30)$$

$$[\Omega] = \begin{bmatrix} Z_x^2 \cdot [\text{sgn}(\dot{U}_x Z_x) + 1] & Z_x Z_y \cdot [\text{sgn}(\dot{U}_y Z_y) + 1] \\ Z_x Z_y \cdot [\text{sgn}(\dot{U}_x Z_x) + 1] & Z_y^2 \cdot [\text{sgn}(\dot{U}_y Z_y) + 1] \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

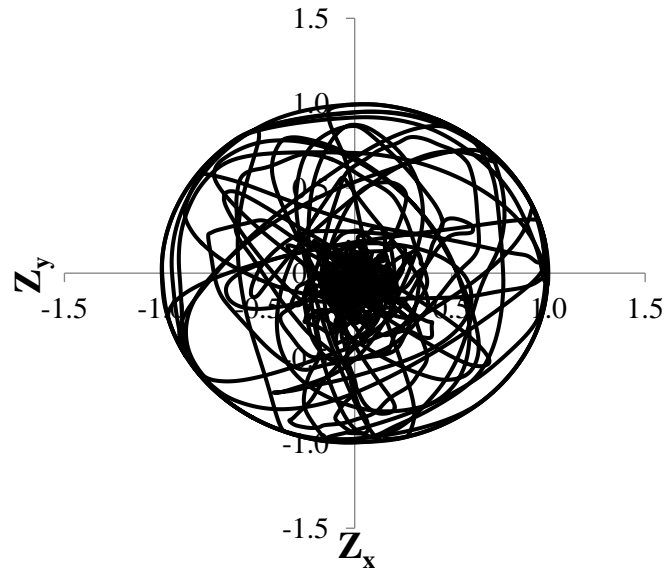
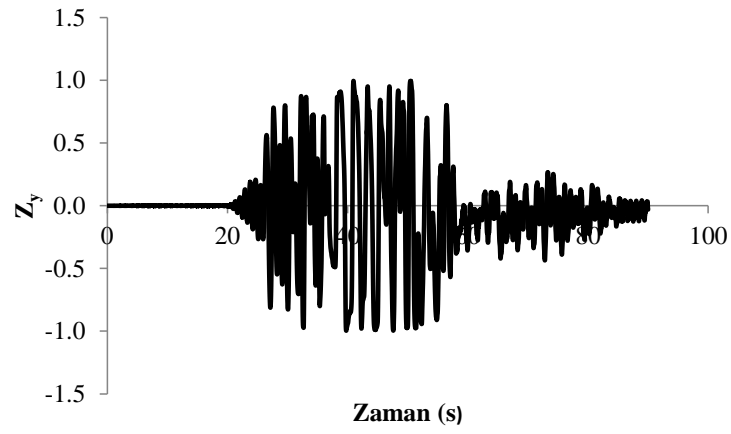
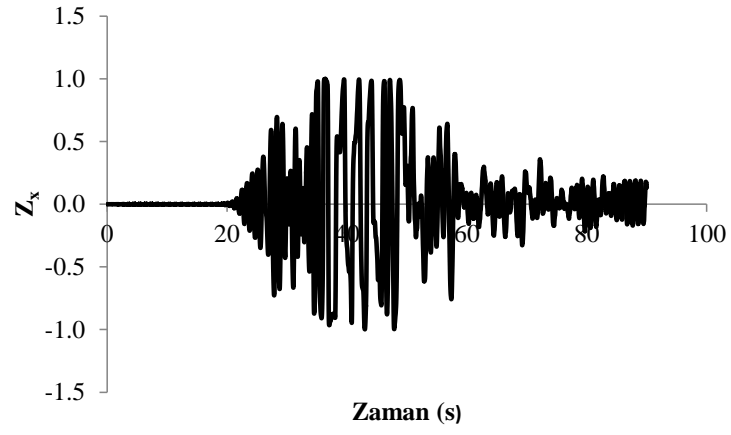
Denklem (2.29-2.31) arasında verilen denklemlerde F_x , F_y , U_x ve U_y sırasıyla birbirine dik yatay doğrultudaki izolatör kuvvetini ve izolatör deplasmanını temsil etmektedir. Öte yandan Y doğrusal olmayan kuvvet-deplasman eğrisinin akma deformasyonunu; K ise akma sonrası rijitliği simgelemektedir. c_d , A_L , T_L sırasıyla kauçuğun enerji sönmüleme miktarını, kurşun çekirdeğin kesit alanını ve kurşun çekirdeğin sıcaklığını belirtmek için kullanılmıştır. Denklem takımlarında kullanılan Z_x ve Z_y değişkenleri birimsiz katsayılar olup +1 ile -1 arasında değerler almaktadır. Bu iki

katsayı her iki yatay doğrultudaki izolatör kuvvetlerinin etkileşimli çözümünü ve kuvvetlerin yönlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Denklem 2.30'da yer alan A ve B değişkenleri arasında ise $A=2B$ ilişkisi bulunmalıdır (Mokha vd., 1993). Çünkü bu ilişki kuvvet ve deplasman vektörlerinin aynı yönde olması için zorunludur. Ayrıca, $[I]$ birim matrisi, sgn de signum fonksiyonunu simgelemektedir. Denklem 2.12 kullanılarak kurşun çekirdeğin anlık kayma gerilmesi, Denklem 2.29'da yerine konularak anlık güncellenmiş bir izolatör kuvvetinin hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

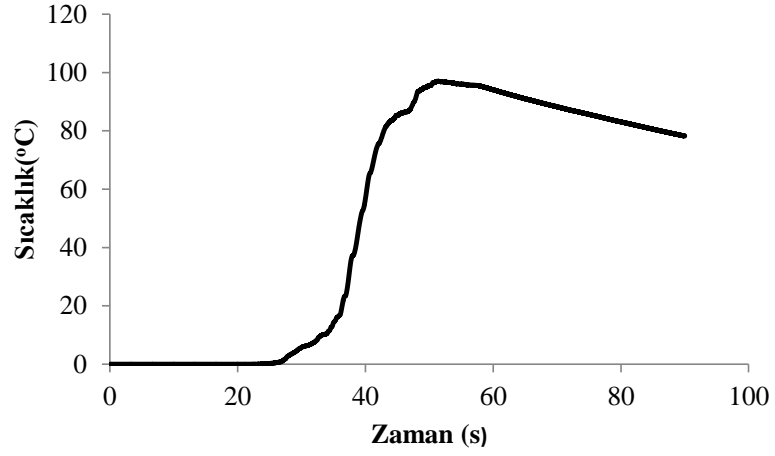
Denklem (2.29)-(2.31)'de yer alan Z_x ve Z_y değerlerinin yürütülen bir analiz boyunca değişimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Açıkça görüldüğü gibi hem Z_x hem de $Z_y +1$ ile -1 arasında değerler alarak analizlerde kullanılan denklem takımının hedeflenen doğrultuda bir çözüm yaptığı da ispatlanmış olmaktadır. Ayrıca çift doğrultulu deprem analizleri sonucunda elde edilen ve kurşun çekirdekdeki ısınma miktarını gösteren değerler yine örnek bir analiz için Şekil 2.8'de verilmiştir.

Çift doğrultulu deprem hareketi altındaki bir izolatörün her iki yatay doğrultudaki histeretik davranışını ortaya koyabilmek adına Şekil 2.9'da deprem hareketinin her iki yatay doğrultudaki bileşenine ait kuvvet-deplasman grafikleri verilmiştir. Şekil 2.9'da açıkça görüldüğü üzere etkileşimli çözüm sonucunda elde edilen histeretik eğri farklılaşma göstermektedir. Bu farklılaşmanın sebebi döngü boyunca kurşun çekirdekte açığa çıkan ısı miktarıdır. Kurşun çekirdek ısındıkça izolatör dayanımı da azalmaktadır. Çift doğrultulu deprem analizlerinde mutlak surette etkileşimli çözüm yapabilen malzeme davranışı ya da analiz yönteminin kullanılması ile gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek mümkündür (Özdemir, 2010).

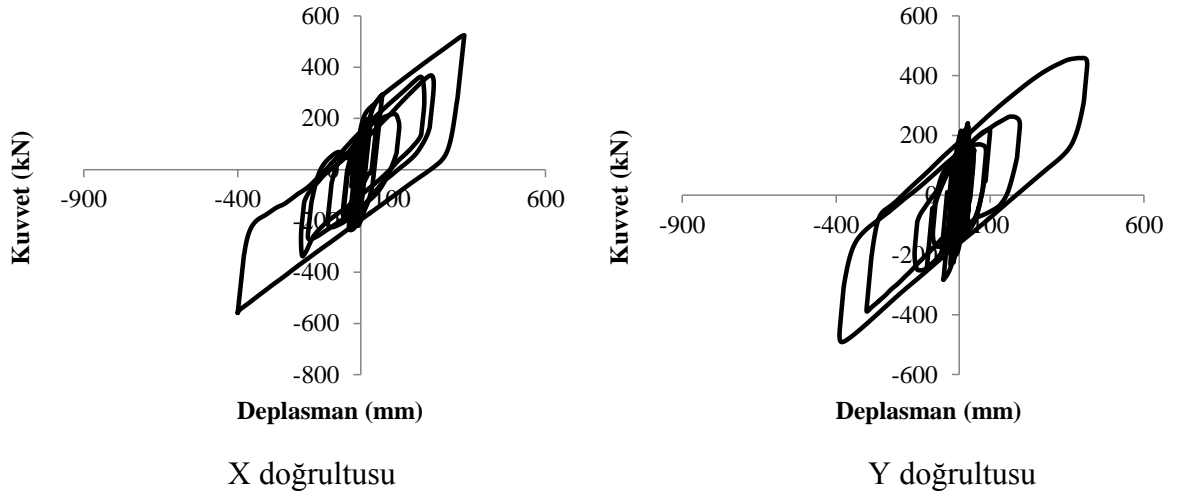
Kalpakidis ve Constantinou (2009) tarafından geliştirilen malzeme modeli birçok araştırmacı tarafından da kullanılmıştır (Özdemir vd., 2011; Özdemir ve Dicleli, 2012; Özdemir ve Bayhan, 2015). Yukarıdaki denklem sistemleri kullanılarak, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin tersinir tekrarlanır hareketler altında kurşun çekirdeğin ısınması nedeniyle meydana gelen dayanım kaybının dikkate alınarak, modellenmesi sonucu oluşan temsili kuvvet-deplasman eğrisi Şekil 2.10'da mevcuttur.



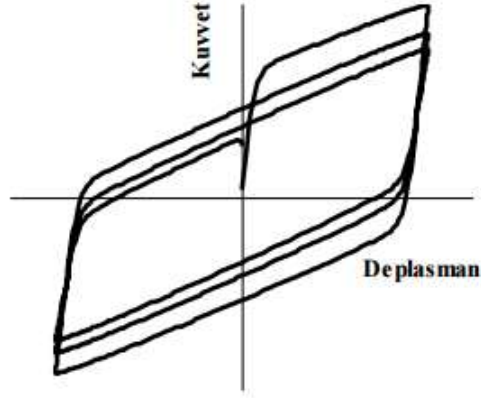
Şekil 2.7. Etkileşimli çözüm için gerekli denklem takımında kullanılan Z_x ve Z_y değerlerinin deprem hareketi boyunca değişimi (Chi-Chi TCU102, $Q/W=0.090$, $T=3.0s$)



Şekil 2.8. Chi-Chi TCU102 deprem kaydı için etkileşimli çözümde izolator sıcaklığının deprem hareketi boyunca değişimi ($Q/W=0.090$, $T=3.0s$)



Şekil 2.9. Çift doğrultulu deprem etkileri altında analiz edilen bir izolatöre ait kuvvet-deplasman eğrileri (Chi-Chi TCU102, $Q/W=0.090$, $T=3.0s$)



Şekil 2.10 *Tipik bir kurşun çekirdekli kauçuk izolatöre ait kuvvet-deplasman eğrisi (Özdemir ve Akyüz, 2013'ten alınmıştır.)*

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için üst limit analiz sonucunda çift doğrulu histeretik davranış gösteren eğrinin ilk döngüsünden kurşunun akma dayanımı elde edilmektedir. Öte yandan, alt limit analiz sonucu ise ilk 3 döngü sonunda elde edilen ortalama akma dayanımını göstermektedir (Özdemir, 2014). Bu çalışmada, alt limit analizi sonucunda efektif akma dayanımı değeri 10 MPa olarak seçilmiştir (Robinson, 1982). Üst limit (σ_u) ile alt limit (σ_l) analizleri sonucu elde edilen akma dayanım değerleri arasında $\sigma_u = 1.35\sigma_l$ ilişkisi bulunmaktadır (Constantinou vd., 2007). Bu nedenle de kurşunun akma dayanımı üst limit analiz sonucunda bulunan 13.5 MPa olarak seçilmiştir. Aynı zamanda bu değer çift doğrulu kuvvet-deplasman ilişkisi gösteren kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün ilk akma dayanımıdır. (σ_{YL0})

3. DİNAMİK ANALİZLER İÇİN DEPREM KAYITLARININ SEÇİLMESİ

Bu bölümde, araştırmacılar için uygun deprem kaydı seçimi aşamasında dikkat edilmesi gereken noktalar üzerinde durulacaktır. Bölüm 3.1’de deprem kaydı seçerken kullanılan metotlar, Bölüm 3.2’de ise tez çalışması kapsamında seçilen deprem kayıtları anlatılacaktır.

3.1. Deprem Kaydı Seçerken Dikkat Edilecek Noktalar

Dinamik analiz gerçekleştirirken en temel gereklilik uygun deprem seti oluşturmaktır. Bu bölümde deprem seçimi için yaygın olarak kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

Dinamik analizlerin ilk adımı ivme-zaman serileri elde etmektir. İvme-zaman serileri elde etmek için temel olarak 3 yol bulunmaktadır. İlk seçenek yapay deprem kayıtları üretmektir. Fakat yapay kayıt kullanıldığı zaman bazı sorunlar meydana gelmektedir. Bu sorunlardan bir tanesi, yapay kayıt kullanıldığında çok sayıda gerçeğe uygun olmayan genliği yüksek döngüler meydana gelmesidir (Özdemir, 2010).

Bir diğer seçenek ise sentetik deprem kayıtları kullanarak ivme-zaman serileri elde etmektir. Bu kayıtları üretmek ise sismolojik modellere bağlıdır. Ayrıca sismolojik modeller üretilirken zemin koşullarının etkisi de dikkate alınmalıdır. Sentetik deprem kayıtlarının kullanılması incelenen değişkenlerin etkilerinin birbirinden bağımsız olarak ortaya konulabilmesi açısından önemlidir (Özdemir ve Dicleli, 2012).

Son olarak gerçek deprem kayıtlarına ait ivme kayıtları kullanılabilir. Son yıllarda, deprem kayıtlarına ulaşmak genel veri tabanları vasıtası ile oldukça kolaydır. Bu basit yöntem sayesinde orijinal deprem kayıtları kullanmak daha basittir. Dünya çapında meydana gelen depremlerin kayıtlarına başta PEER veri tabanı olmak üzere birçok yerden erişim mümkündür. Bu internet siteleri kullanıcılara depremin büyüklüğü, faya olan mesafe, maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, maksimum yer deplasmanı, zemin koşulları gibi değişkenleri sınırlandırarak arama yapmalarına imkân sağlamaktadır.

3.1.1. Deprem seçimi esnasında dikkat edilmesi gereken kriterler

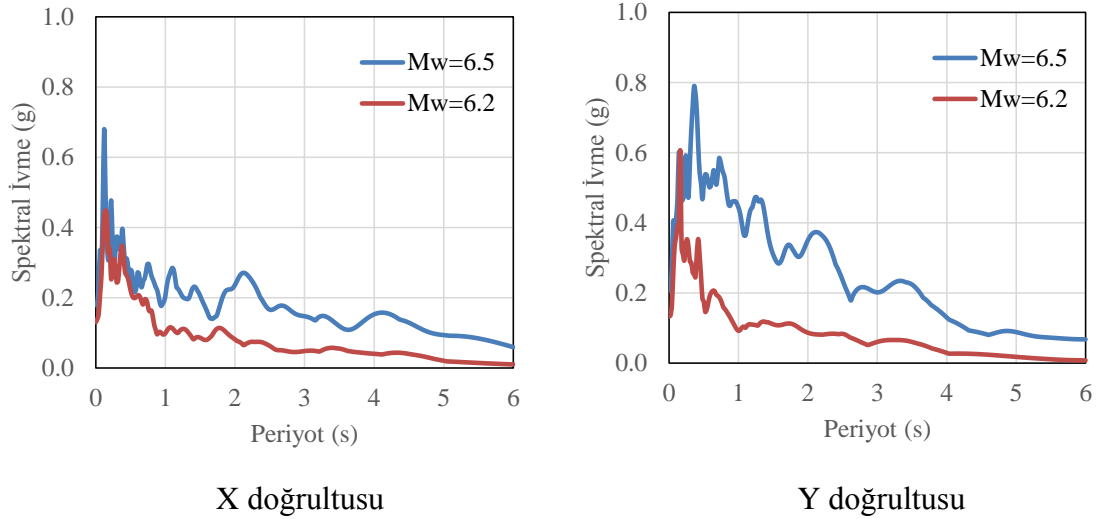
Deprem kayıtlarına erişim arttığı için dinamik analiz kullanımı da son yıllarda artış göstermiştir. Öte yandan, deprem kayıtları seçilirken doğrusal olmayan dinamik analizlerin hassaslığını etkilemesi bakımından 3 temel parametre göz önünde bulundurulmaktadır. Bunlar; depremin büyüklüğü, faya olan mesafe ve zemin koşullarıdır. Her biri için kısaca açıklama ilerleyen paragraflarda yapılacaktır.

3.1.1.1. Deprem büyüklüğü

Deprem hareketinin büyüklüğü, deprem kaydı seçerken dikkat edilmesi gereken parametrelerin başında gelmektedir. Ancak bu parametrenin deprem kaydı seçerken dikkate alınması gereken parametre olup olmadığı hakkında görüş ayrılıkları bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda deprem kaydının uygun ölçekleme yapıldığında deprem büyüklüğünün önemli olmadığı desteklenirken (Shome vd., 1998; Baker ve Cornell, 2005), bazı çalışmalarda ise bu parametrenin davranışı doğrudan etkilediği savunulmaktadır (Bommer ve Acevedo, 2004).

Shome vd. (1998), deprem kayıtlarının yapı hakim periyoduna karşılık gelen elastik tasarım spektrum değerlerine göre ölçeklendirildiğinde deprem kayıtlarını seçerken tekrardan deprem büyüklüğü parametresini de göz önünde bulundurmaya gerek olmadığını belirtmiştir. Öte yandan, Baker ve Cornell (2005), Iervolino ve Cornell (2005) başta olmak üzere yapılan bazı çalışmalarda deprem büyüklüğü parametresinin yapıların doğrusal olmayan davranışları üzerinde sınırlı derecede etkisi olduğu ortaya konulmuştur.

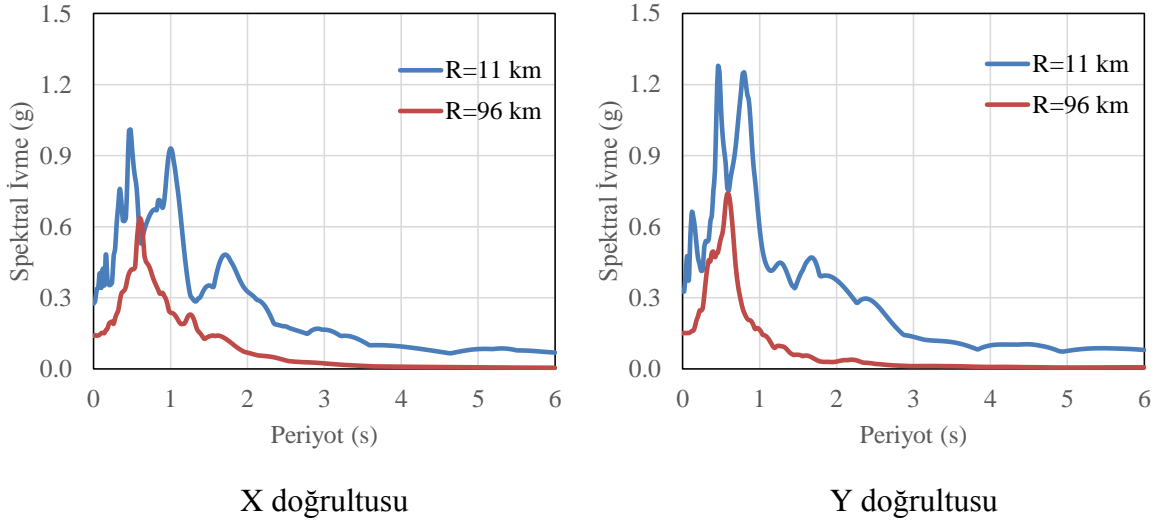
Diğer taraftan ise uygun büyüklükte depremler seçmenin hem hareketteki döngü sayısı hem de tepki spektrumunun şekli bakımından önemli olduğu belirtilmiştir (Stewart vd., 2001; Bommer ve Acevedo, 2004). Ayrıca senaryo depremler ile seçilen deprem kayıtlarının spektrum eğrilerinin birbirlerine benzer olması da düşünüldüğünde deprem büyüklüğü parametresi deprem kaydı seti oluştururken elzem parametrelerin başında gelmektedir. Ancak deprem kaydı seçerken bu parametreyi olabildiğince dar aralıkta seçip ihtiyaç duyulan kayıt sayısına ulaşmak tavsiye edilmektedir (Bommer ve Acevedo, 2004). Deprem büyüklüğü parametresindeki farklılaşmayı ortaya koymak için 1987 yılında meydana gelen 6.2 büyüklüğündeki Superstition Hills-01 ve 6.5 büyüklüğündeki Superstition Hills-02 depremlerinden kaydedilen spektral ivme-periyot grafikleri Şekil 3.1'de sunulmuştur. Öte yandan grafiklerden de anlaşıldığı üzere deprem büyüklüğü arttıkça spektral ivme değerlerinde de artış meydana gelmektedir.



Şekil 3.1. *Superstition Hills-01 ve Superstition Hills-02 depremlerinin spektral ivme değerleri*

3.1.1.2. Faya olan mesafe

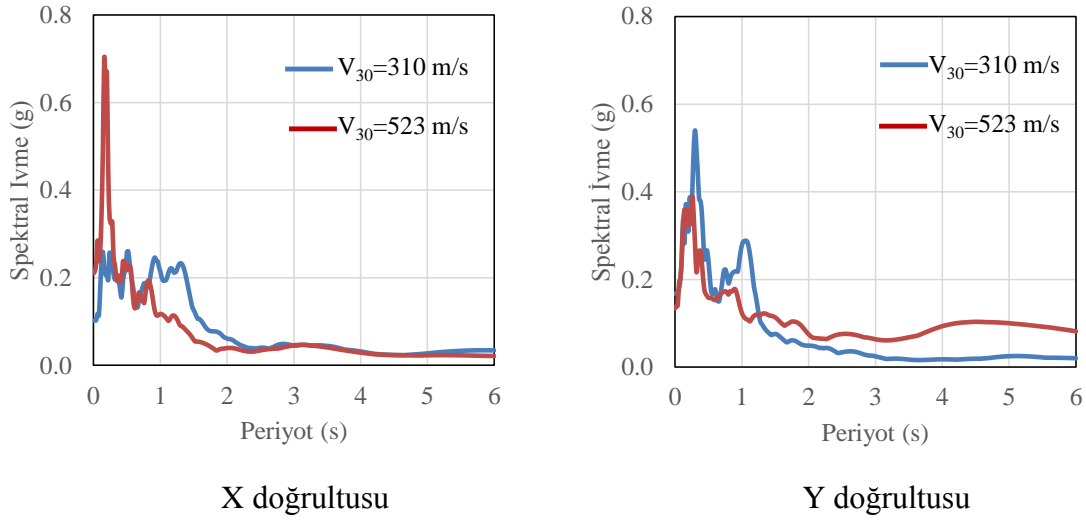
Deprem kaydı seçilirken dikkat edilmesi gereken bir başka parametre de faya yani merkez üssüne olan uzaklıktır. Deprem büyüklüğü parametresinden ayrı olarak faya olan uzaklık konusunda literatürde ortak görüş belirtilmektedir. Ayrıca yapıların davranışı üzerinde faya olan uzaklık parametresinin deprem büyüklüğü parametresinden daha az etkisinin olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. (Shome vd., 1998; Bommer ve Acevedo, 2004; Baker ve Cornell, 2005). Deprem kaydı seçimi yapılırken deprem büyüklüğü parametresi dar bir aralıkta seçildiği için yeterli sayıda kayıt elde edilemez ise, faya olan mesafe arttırılarak istenilen kayıt sayısına ulaşılabilmektedir. Ancak bu genelleme yumuşak zeminlerde ve yakın saha kaynaklı deprem kayıtları kullanılacaksa geçerli değildir (Bommer ve Acevedo, 2004). Faya olan mesafe parametresindeki farklılaşmayı ortaya koymak için ise Kobe depreminin Amagasaki (R=11 km) ve HIK (R=96 km) istasyonundan kaydedilen spektrum eğrileri dikkate alınmıştır. Faya mesafe olarak yakın olan istasyonlarda daha yüksek spektral ivme değerleri elde edilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Kobe depreminin faya olan mesafe olarak iki farklı istasyonuna ait spektral ivme değerleri

3.1.1.3. Zemin sınıflandırması

Üçüncü parametre olan zemin sınıflandırılması deprem kaydı seçimi yaparken genlik ve tepki spektrumunun şekli açısından oldukça önemlidir. Deprem kaydı seti oluştururken zemin sınıflandırması parametresini de göz önünde bulundurarak birçok deprem kaydını elimine edip gerekli kayıtlara erişmek mümkün olmaktadır (Bommer ve Scott, 2000). Deprem büyüklüğü ve faya olan mesafe parametreleri ile istenilen kayıt sayısına erişilemediği takdirde, ilgilenilen zemin sınıfı sert kaya zemin ise yumuşak zemin özelliklerine sahip kayıtları seçim dışında bırakarak da seçim yapılabilir. Bir diğer seçenek de yalnızca tek tip zemin sınıfına ait kayıtları seçerek kayıt seti tamamlanabilmektedir (Bommer ve Acevedo, 2004). Şekil 3.3'te Kocaeli depremine ait en üstteki 30 m' lik zemin tabakasındaki kayma dalga hızı 310 m/s olan ATK istasyonu ile kayma dalga hızı 523 m/s olan ARE istasyonundan elde edilen spektrum eğrileri sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde uzun periyotlu yapılar özelinde zemin sınıfındaki farklılığa bağlı olarak özellikle Y doğrultusunda spektral ivme değerleri farklılaşmaktadır.



Şekil 3.3. Kocaeli depreminin farklı kayma dalga hızları altındaki spektral ivme değerleri

3.1.1.4. İlave parametreler

Temel olarak yukarıda anlatılan parametreler kullanılarak deprem kaydı seçilmesine rağmen, deprem kaydı setinde eksiklik varsa ilave iki parametre daha kullanılarak deprem kayıtları kısıtlanabilmektedir: (i) fay kırığı mekanizması, (ii) tek tip deprem hareketinin domine ettiği setler (Özdemir, 2010). Genel olarak bulunan görüş birliğine göre ters fay mekanizmasına sahip deprem kayıtlarının daha fazla genlik oluşturduğu belirtilmektedir. Ayrıca çok fazla belirtilmeyen ama dikkat edilmesinde mutlak yarar olan bir diğer önemli kriter de deprem kaydı seti oluştururken deprem kaydı setinin tek bir depremden oluşmamasına dikkat etmektir. Mümkün olduğunca farklı deprem kayıtları seçerek tek tip ivme-zaman serileri oluşturmaktan kaçınılmalıdır (Bommer ve Acevedo, 2004).

3.2. Yakın Saha Kaynaklı Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Yapılan literatür taramalarında sismik taban izolasyonlu yapıların deprem hareketleri altındaki davranışını inceleyen çalışmalar göstermiştir ki, yakın saha kaynaklı deprem hareketleri altında elde edilen maksimum izolatör deplasmanları diğer depremlere göre daha fazla olmaktadır. Bu durumda, sismik taban izolasyonlu yapılar için kritik durumun yakın saha kaynaklı deprem hareketleri olduğu vurgusu yapılmıştır (Heaton vd., 1995).

Şu anki mevcut yapı modellerinin bulunduğu standartlardaki sismik koşullar, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler kullanılarak binaların nasıl tasarlanması gerektiğini belirten kurallar içermektedir. Deprem kayıtları zaman tanım alanındaki analizlere uygun olarak seçilmektedir. Bu seçim tasarım ve yapı performansını doğrudan etkilediğinden analiz amaçlarına uygun deprem seti oluşturmak büyük önem arz etmektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler; i) sismik izolatörler ya da enerji sönümleyici araçlar kullanılarak tasarlanan yeni binalar, ii) mevcut binaların sismik olarak güçlendirilmesi için yürütülmektedir (Whittaker vd., 2012). Ayrıca yazarlar deprem kaydı seti oluştururken eksik kayıt olduğunda ya daha önceden meydana gelmiş depremlerden ya da deprem simülasyonlarından seçilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Buna ek olarak Ay ve Akkar (2012) ise yaptıkları analitik çalışmada doğrusal olmayan yapı sistemlerinin verilen deprem senaryosuna göre performansının belirlenebilmesine yönelik deprem kaydı seçimi üzerinde durmuşlardır. Deprem seti oluştururken deprem büyüklüğü olarak aralığı deprem büyüklüğü ± 0.25 ; faya olan uzaklığı da ± 25 km kabul ederek çalışmışlardır. Ayrıca deprem kayıtlarının aynı tip fay kırığı ve zemin tipi özelliklerine sahip olmasına dikkat etmişlerdir. Öte yandan yazarlar yaygın olarak kullanılan ve önceki çalışmalarda da belirtildiği üzere en az 7 deprem kaydı seçerek deprem seti oluşturulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Doğrusal olmayan dinamik analizler özellikle düzensiz yapıların sismik performansının belirlenmesinde başvurulan en güvenilir yöntemlerin başında gelmektedir. Araujo vd. (2016) binaların sismik performansını belirlerken kullanılan deprem kayıtlarının seçimi için Eurocode-8 Bölüm-1, ASCE41-13, ve Yeni Zelanda 1170.5:2004 yönetmeliklerinin neler önerdiği konusu üzerinde durmuşlardır.

Genel olarak yukarıda belirtilen yönetmeliklerin her üçü de doğrusal olmayan dinamik analizler için deprem seti oluştururken en az 3 deprem kaydı seçilmesi gerektiğini önermektedir. Kayıtlar ya gerçek deprem kayıtları ya da sentetik kayıtlar arasından seçilmelidir. Ancak analiz sonuçlarının gerçeğe yakın sonuçlar vermesi istendiğinden gerçek deprem kayıtları kullanılması tavsiye edilmektedir. Öte yandan yönetmelik bazlı deprem kaydı seçimi metodlarından çoğu deprem seti oluştururken dikkat edilmesi gereken noktaları; i) deprem büyüklüğü, ii) faya olan mesafe, iii) fay kırığı mekanizması, iv) zemin tipi olarak belirtmektedir.

Yukarıda belirtilen çıkarımlar ışığında, bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizlerde kullanılan deprem kayıtları yakın saha kaynaklı deprem hareketleri arasından seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında, bir kaydın yakın kaynaklı olarak adlandırılabilmesi için o kaydın faya olan uzaklığının 20 km'den az olması gerekmektedir (Somerville vd., 1997). Ancak sadece faya olan uzaklık ölçütü baz alınarak seçilen deprem kayıtlarının neden olacağı izolatör deplasmanlarında çok ciddi farklılıklar olacağı unutulmamalıdır. Bu yüzden seçilecek kayıtların kendi aralarında tutarlı bir şekilde gruplandırılması gerekmektedir. Yürütülen analitik çalışmada Avşar ve Özdemir (2013) bir çok deprem kaydı kullanarak sismik izolasyonlu bir köprüde meydana gelen maksimum izolatör deplasmanlarını farklı izolasyon parametreleri altında incelemiştir.

Sismik izolasyonlu köprülerdeki maksimum izolatör deplasmanları ile seçilen deprem kayıtlarının şiddet ölçütü arasındaki uyumun incelendiği bu analitik çalışmada Avşar ve Özdemir (2013) izolatör parametresi olarak izolasyon periyodu (T) ve izolatör üzerine gelen eksenel yük seviyesi (Q/W) olan bir çok doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirmiştir. Yakın saha kaynaklı kayıtlar ile gerçekleştirilen bu analizlerde deprem kayıtları atımlı ya da normal kayıt olarak iki gruba ayrılmıştır. 4'er farklı izolasyon periyodu (2.5s, 3.0s, 3.5s, 4.0s) ve eksenel yük seviyesi (0.03, 0.05, 0.07, 0.09) toplamda 16 farklı izolatör kullanılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen izolatör deplasmanları ile deprem kayıtlarının maksimum yer hızları arasında büyük oranda bir korelasyon bulunduğu gözlenmiştir. Bu yüzden, tez çalışması kapsamında kullanılan deprem kayıtları maksimum yer hızları (MYH) dikkate alınarak üç farklı grupta incelenmiştir. Gruplar şu şekilde oluşturulmuştur: Grup 1, $30\text{cm/s} < \text{MYH} < 50\text{cm/s}$; Grup 2, $50\text{cm/s} < \text{MYH} < 70\text{cm/s}$; Grup 3, $\text{MYH} > 70\text{cm/s}$. Her bir grup için 10 adet iki bileşenli deprem kaydı seçilmiştir. Toplamda 30 farklı ivme-zaman serisi çifti kullanılmıştır. Yapılan dinamik analizler çift doğrultulu deprem hareketleri altında incelendiğinden seçilen her bir deprem kaydının yatay doğrultudaki birbirine dik iki bileşeninden maksimum yer hızı büyük olan dikkate alınarak gruplamaya gidilmiştir.

Tez çalışması kapsamında kullanılan deprem kayıtlarının gruplar halinde sıralanmış gösterimleri Tablo 3.1-3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Grup 1 deprem kayıtları ve özellikleri ($30\text{cm/s} < \text{PGV} < 50\text{cm/s}$).

No	Deprem İsmi	Kayıt İstasyonu	M_w	R (km)	Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
1	Imperial Valley	Brawley Airport	6.5	10.4	315	0.22	38.9	13.6
					225	0.16	35.8	22.3
2	Imperial Valley	Bond Corner	6.5	8.4	230	0.77	45.9	15.0
					140	0.59	45.2	16.7
3	Imperial Valley	El Centro Array #10	6.5	6.2	050	0.17	47.5	31.1
					320	0.22	41.2	18.0
4	Loma Prieta	Gilroy Array #2	6.9	11.1	090	0.32	39.1	12.2
					000	0.37	32.9	7.0
5	Loma Prieta	Gilroy Array #3	6.9	12.8	090	0.37	44.7	19.4
					000	0.56	35.7	8.4
6	Northridge	Canyon Country W Lost Canyon	6.7	12.4	270	0.48	44.9	12.6
					000	0.41	43.0	11.8
7	Superstition Hills	El Centro Imp Co Center	6.5	18.2	000	0.36	46.4	17.4
					090	0.26	40.9	20.0
8	Chi-Chi	TCU138	7.6	9.8	E	0.19	41.0	36.4
					N	0.22	40.9	26.1
9	Chi-Chi	CHY035	7.6	12.7	W	0.25	45.6	12.0
					N	0.25	37.7	16.9
10	Chi-Chi	TCU050	7.6	9.5	N	0.13	42.4	52.0
					W	0.15	36.9	54.7

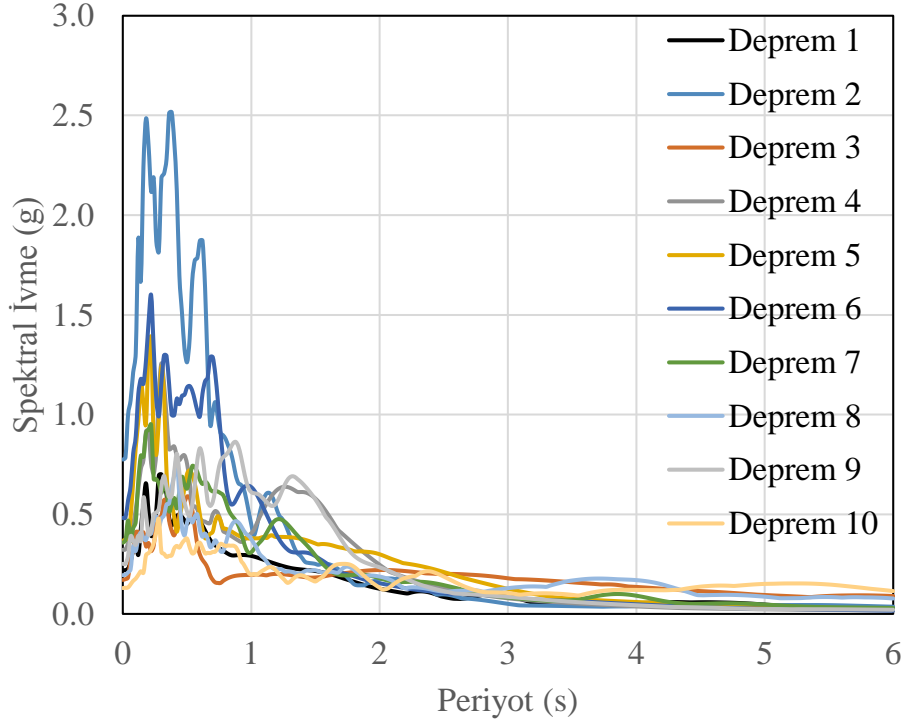
Tablo 3.2. Grup 2 deprem kayıtları ve özellikleri ($50\text{cm/s} < \text{PGV} < 70\text{cm/s}$).

No	Deprem İsmi	Kayıt İstasyonu	M_w	R (km)	Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
1	Duzce	Bolu	7.1	12.0	090	0.82	62.1	13.6
					000	0.73	56.4	23.1
2	Imperial Valley	EC Co Center FF	6.5	7.2	092	0.23	68.8	39.6
					002	0.21	37.5	15.9
3	Imperial Valley	El Centro Array #8	6.5	3.9	140	0.60	54.2	32.2
					230	0.45	49.2	35.3
4	Kocaeli	Duzce	7.5	15.4	180	0.31	58.9	44.2
					270	0.36	46.4	17.6
5	Kocaeli	Yarimca	7.5	4.8	060	0.27	65.7	57.2
					330	0.35	62.2	51.1
6	Northridge	Canoga Park Topanga Canyon	6.7	14.7	196	0.42	60.7	20.2
					106	0.36	32.1	9.1
7	Northridge	Saticoy	6.7	12.1	180	0.48	61.5	22.1
					090	0.37	28.9	8.4
8	Chi-Chi	CHY024	7.6	9.6	W	0.28	52.9	43.6
					N	0.18	49.0	31.1
9	Chi-Chi	TCU101	7.6	2.1	W	0.20	67.9	75.5
					N	0.25	49.4	35.1
10	Chi-Chi	TCU109	7.6	13.1	N	0.16	53.1	34.8
					W	0.16	50.8	46.5

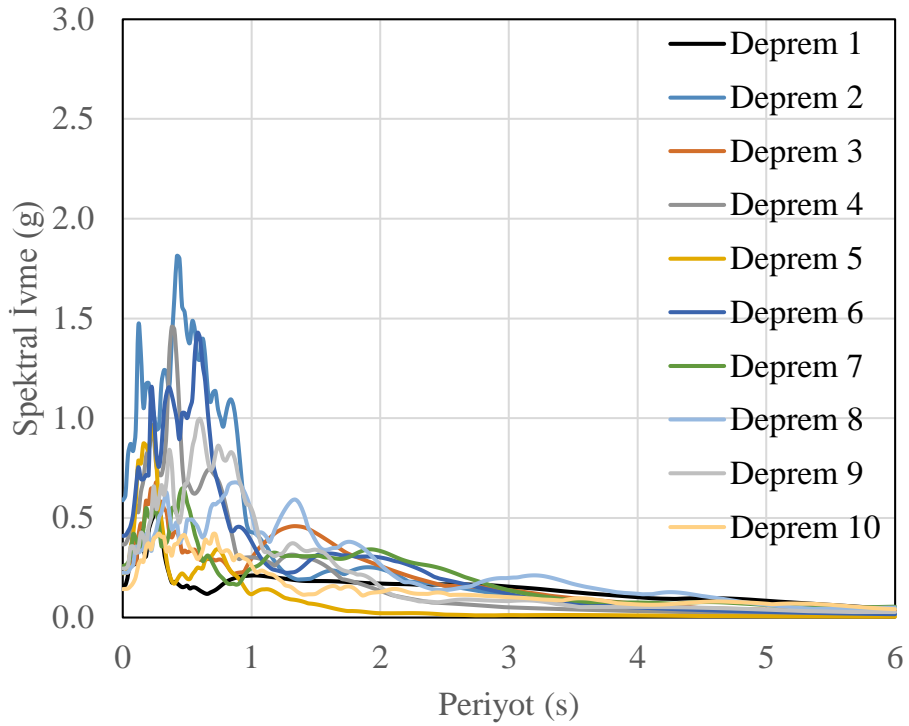
Tablo 3.3. Grup 3 deprem kayıtları ve özellikleri ($PGV > 70 \text{ cm/s}$).

No	Deprem İsmi	Kayıt İstasyonu	M_w	R (km)	Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
1	Duzce	Duzce	7.1	6.6	270	0.54	83.5	51.8
					180	0.35	60.0	41.8
2	Erzincan	Erzincan	6.7	4.4	NS	0.52	84.0	27.7
					EW	0.50	64.3	21.9
3	Imperial Valley	El Centro Array #4	6.5	7.1	230	0.36	76.5	58.9
					140	0.49	37.4	19.7
4	Imperial Valley	El Centro Array #5	6.5	4.0	230	0.38	90.5	63.0
					140	0.52	46.9	35.3
5	Northridge	Newhall	6.7	9.4	360	0.59	96.9	38.4
					090	0.58	74.9	18.0
6	Kobe	KJM	6.9	1.0	000	0.82	81.3	17.7
					090	0.60	74.4	20.0
7	Northridge	Sylmar Hospital	6.7	5.3	360	0.84	129.6	32.7
					090	0.60	78.2	16.0
8	Chi-Chi	CHY028	7.6	3.1	W	0.65	72.8	14.7
					N	0.82	67.0	23.3
9	Chi-Chi	TCU102	7.6	1.5	W	0.30	112.5	89.2
					N	0.17	77.2	44.9
10	Kobe	Takatori	6.9	1.5	000	0.61	127.2	35.8
					090	0.62	120.7	32.7

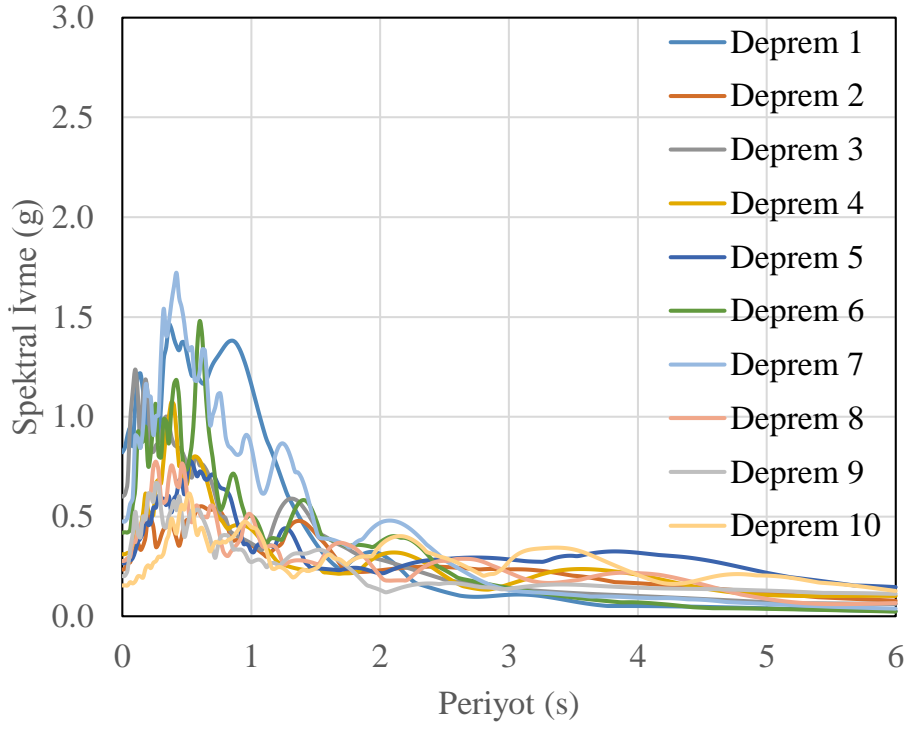
Şekil 3.4-3.6'da ise her bir deprem grubu için seçilen deprem kayıtlarına ait spektrum eğrileri sunulmaktadır. Bu spektrum eğrilerinde belirtilen kuvvetli doğrultu deprem kayıtlarından maksimum yer hızı büyük olan bileşeni, zayıf doğrultu ise maksimum yer hızı küçük olan bileşeni temsil etmektedir. Öte yandan, ilgili grafikler incelendiğinde dikkate alınan izolasyon periyodu aralığında (2.25s-3.00s) elde edilen spektral ivme değerlerinin ortalamasının Grup 3 depremleri için en büyük, Grup 1 depremleri için de en küçük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi artan maksimum yer hızına bağlı olarak spektral ivme değerlerinin ortalama bazında artış göstermesidir.



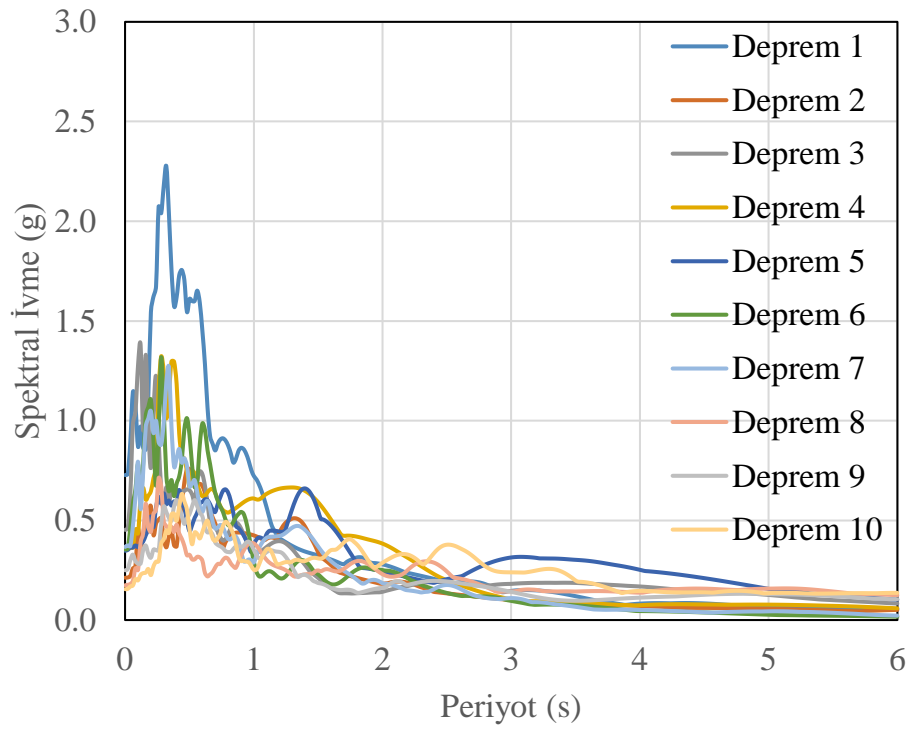
Şekil 3.4a. Grup 1 deprem kayıtları için kuvvetli doğrultudaki spektrum eğrileri



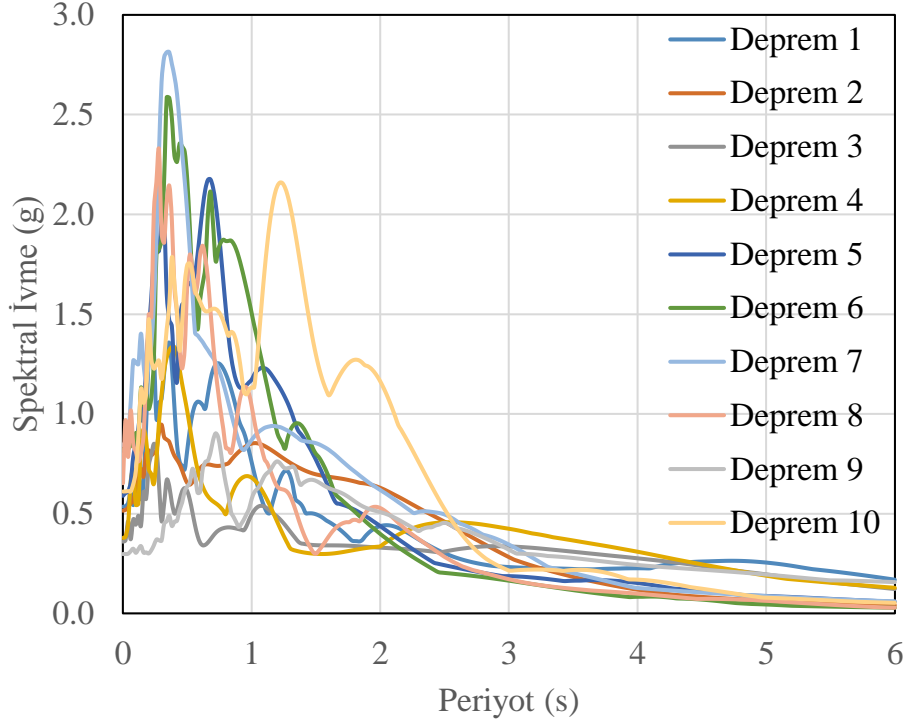
Şekil 3.4b. Grup 1 deprem kayıtları için zayıf doğrultudaki spektrum eğrileri



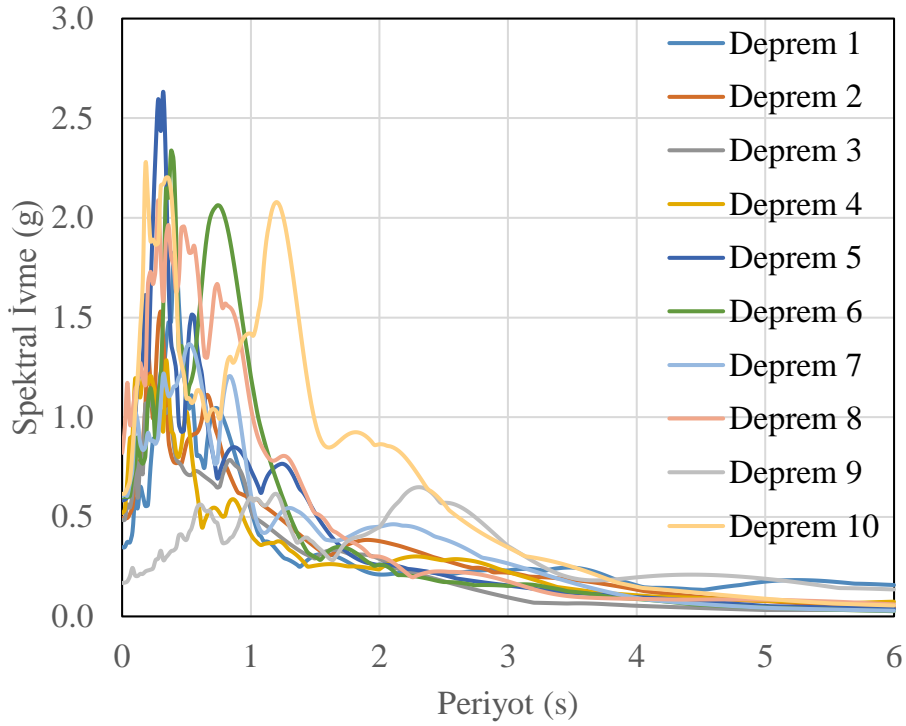
Şekil 3.5a. Grup 2 deprem kayıtları için kuvvetli doğrultudaki spektrum eğrileri



Şekil 3.5b. Grup 2 deprem kayıtları için zayıf doğrultudaki spektrum eğrileri



Şekil 3.6a. Grup 3 deprem kayıtları için kuvvetli doğrultudaki spektrum eğrileri

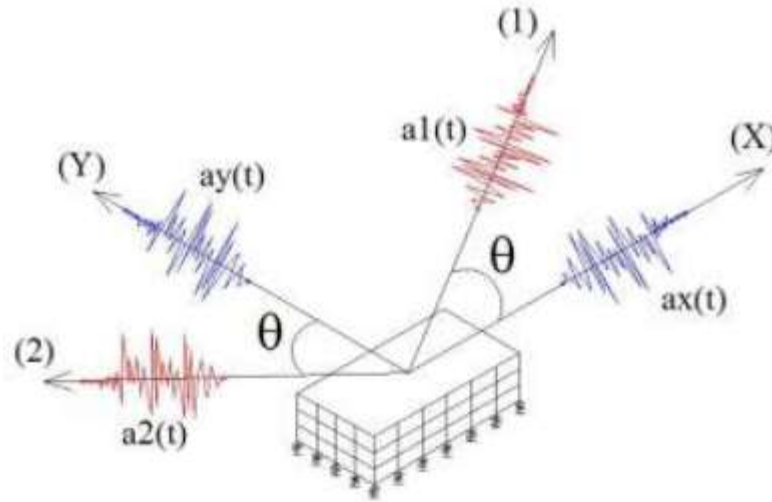


Şekil 3.6b. Grup 3 deprem kayıtları için zayıf doğrultudaki spektrum eğrileri

3.3. Seçilen Orijinal Deprem Kayıtlarının Belirli Açısız Aralıklarla Döndürülmesi

Sismik izolatörlü binaya deprem hareketlerinin farklı doğrultularda uygulanması durumunda binada oluşabilecek en elverişsiz etkilerin belirlenebilmesi için seçilen deprem kayıtlarının yatay doğrultudaki iki bileşenli ivme-zaman serisi çifti binaya farklı doğrultuda uygulanmıştır. Kaydedilmiş iki bileşenli yer hareketi ivme serisinin, binanın asal eksenleri (X ve Y) ile θ açısı yapacak şekilde binaya etki ettiği düşünülmüştür (Şekil 3.7). Bu açı Denklem (3.1) kullanılarak yer hareketi ivme-zaman serisi doğrusal transformasyon ile döndürülerek binanın asal eksenlerine uygulanmak üzere yeni bir ivme-zaman serisi çifti $[a_x(t)$ ve $a_y(t)]$ elde edilmiştir.

$$\begin{pmatrix} a_x(t) \\ a_y(t) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_1(t) \\ a_2(t) \end{pmatrix} \quad (3.1)$$



Şekil 3.7. Deprem etkime doğrultusu ve bina asal eksenlerine transformasyonu

Tez çalışması kapsamında kullanılacak etkime doğrultusu ve en büyük hangi açiya kadar inceleneceğine karar verilmesi gerekmektedir. Yapılacak analiz sayısını doğrudan etkileyecek bu karar için bir çok çalışma incelenmiştir (Lopez ve Torres, 1997; Bisadi ve Head, 2011; Kostinakis vd., 2013; Moschonas ve Kappos, 2013; Kalkan ve Reyes, 2013).

Bu çalışmaların içinde Lopez ve Torres (1997) yaptıkları analitik çalışmada kritik deprem etkime açısını ve bu açığa bağılı yapının davranışını belirleyen bir metot geliştirmişlerdir. Deprem hareketinin düşey doğrultudaki bileşenin yapı davranışı üzerinde etkisi olmadığından analizler yapılırken yalnızca yatay doğrultudaki her iki bileşen dikkate alınmıştır. 9 katlı asimetrik bina ile yaptıkları çalışmada deprem etkime doğrultusunu 0° - 180° arasında 10° artımlı açılar kullanmışlardır. Geliştirdikleri metot ile asimetrik binaların dinamik analizleri gerçekleştirilmekte ve mevcut bilgisayar programlarına aktarılabilmektedir. Planda düzensiz yapıların tasarımında sismik yönetmeliklerin önerdiği yöntemler ile uyumlu olan bu metot sayesinde yapıların sismik davranışı belirlenmektedir.

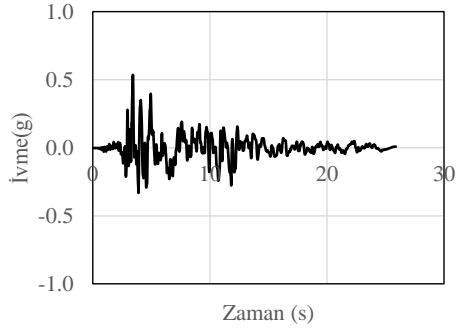
Bisadi ve Head (2011) ise bütün deprem etkime açılarını dikkate alarak köprülerin analizini yapmanın pratik olmadığını ve bu yüzden mevcut birleştirme yöntemleri ile sismik taleplerin belirlendiğini savundukları çalışmada deprem etkime açısının köprülerin sismik davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Yönetmeliklerde izolatör deplasmanları ve elastik kuvvetleri belirlemek için birleştirme kurallarının kullanılabileceği ancak hangi birleştirme kuralının kullanılacağı belirtilmediğinden yaptıkları analitik çalışma kapsamında yazarlar $\%100+\%30$, $\%100+\%40$ ve SRSS metotlarını kullanmışlardır. Daha sonra ise elde edilen sonuçların deprem etkime açısı ile uyumlu olup olmadığını kontrol etmişlerdir. Deprem etkime açısının köprünün sismik davranışını belirlemek için deprem kayıtları 0° - 180° arasında 10° artımlı açılar ile döndürülerek köprü modeline uygulanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler OpenSees yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar metodu ile gerçekleştirilmiştir. Her bir etkime açısı altında elde edilen sonuçlar köprü tabliyesi yanal deplasmanı, kolon momentleri, taban kesme kuvveti gibi değişkenler bazında kaydedilmiştir.

Kostinakis vd. (2013) yürüttükleri analitik çalışmada tek katlı betonarme bir yapı sisteminin elastik ötesi davranışını çift doğrultulu deprem hareketleri altında farklı deprem etkime açıları için incelemiştir. Deprem kaydının yatay doğrultudaki bileşenleri 0° - 360° arasında 5° aralıklarla döndürülerek yapı asal eksenlerine etkilmiştir.

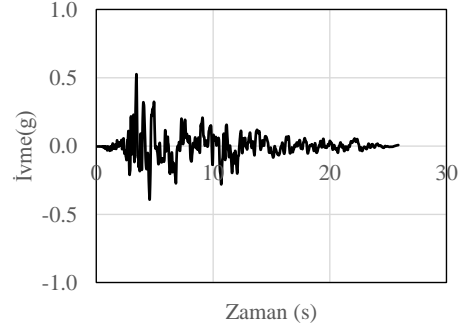
Moschonas ve Kappos (2013) ise yaptıkları çalışmada tek ve çift doğrultulu deprem hareketleri altında köprülerde farklı deprem etkime açıları için dinamik itme analizleri gerçekleştirmişlerdir. Köprü davranışını belirleyebilmek için ilk önce çift doğrultulu deprem hareketlerine maruz bırakılan köprü modeli daha sonra tek doğrultulu deprem hareketleri altında analiz edilmiştir ve sonuçlar taban kesme kuvveti-köprü tabliyesi deplasmanı bazında incelenmiştir. Yazarlar 0° - 360° arasında 15° artımlı etkime açılarını dikkate almışlardır.

Kalkan ve Reyes (2013) ise çok katlı simetrik ve asimetrik yapıların davranışını farklı mühendislik istem parametreleri açısından incelemiştir. Planda simetrik olan yapı 9 katlı çelik çerçeve sisteminden oluşurken, asimetrik bina ise hayali bir çelik yapı olarak tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada deprem etkime açıları olarak 0° - 360° arasında 10° artımlı açılar dikkate alınmıştır.

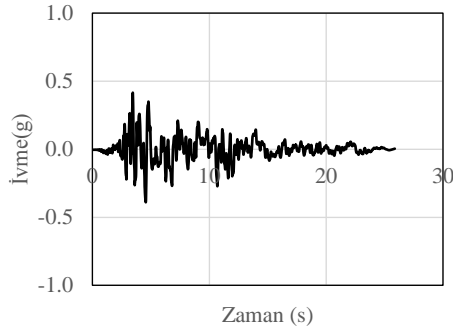
Yürütülen bu tez çalışması kapsamında da Kalkan ve Reyes (2013)'in çok katlı binalarda kullandığı deprem etkime açıları dikkate alınmış ve 0° - 360° arasında 10° artımlı deprem etkime doğrultuları olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda her bir deprem kaydı çifti için Denklem (3.1) kullanılarak 36 farklı yeni ivme-zaman serisi hesaplanmıştır. Dikkate alınan deprem gruplarında yer alan her bir deprem kaydı için zaman tanım alanında yapılan 36 analizden elde edilen maksimum izolatör deplasmanları, orijinal deprem kaydının yapının asal eksenlerine uygulanması durumunda ($\theta=0^{\circ}$) hesaplanan deplasman değerine bölünüp normalize edilmiştir. Böylelikle en kritik deprem etkime açısı ve buna karşılık gelen izolatör deplasmanındaki artış belirlenerek tasarım aşamasında uygulanması gereken artış derecesi belirlenmiştir. Örnek olarak 3. deprem grubunun 1. kaydının (Düzce depremi) 0° etkime açısı (orijinal kayıt), 30° , 60° ve 90° etkime açısı için oluşturulmuş iki yatay bileşenine ait ivme zaman serisi sırasıyla Şekil 3.8 ve 3.9'da verilmiştir. Ayrıca yine Düzce depremi için 0° - 180° arasında deprem etkime doğrultusuna bağlı olarak kuvvetli ve zayıf doğrultu için elde edilen spektral ivme-periyot grafikleri de Şekil 3.10 ve 3.11'de sunulmuştur. Kuvvetli ve zayıf doğrultu için Bölüm 3.3'te yapılan tanımlama dikkate alınmıştır.



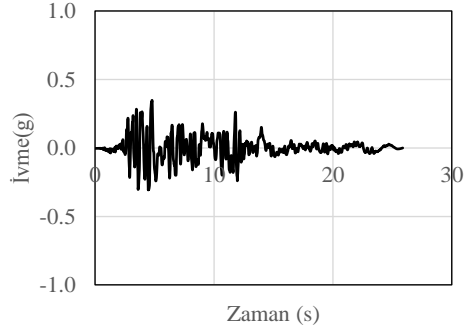
0 derece



30 derece

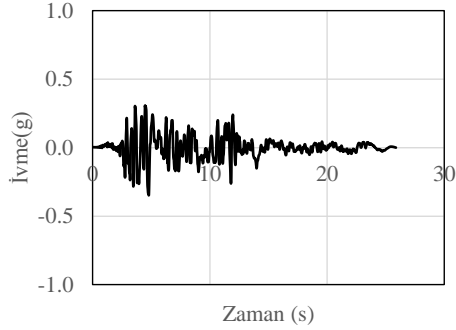


60 derece

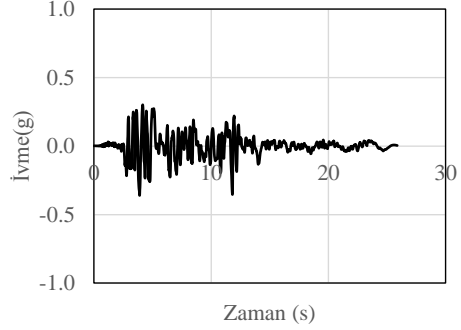


90 derece

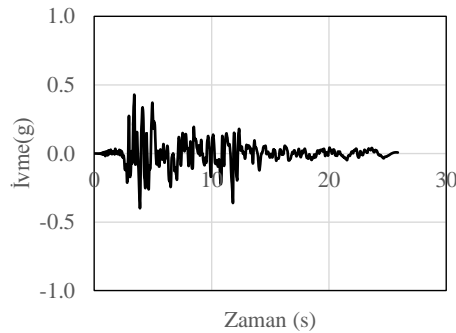
Şekil 3.8. Düzce depremine ait kuvvetli doğrultudaki ivme-zaman serileri



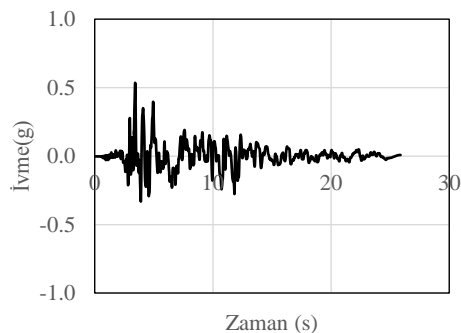
0 derece



30 derece

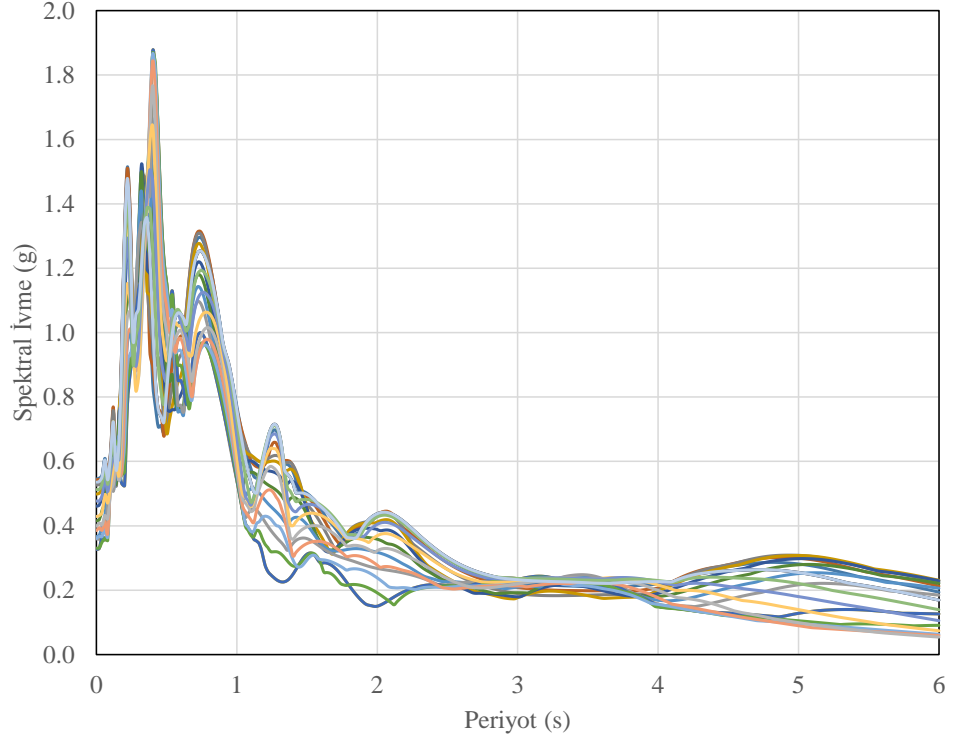


60 derece

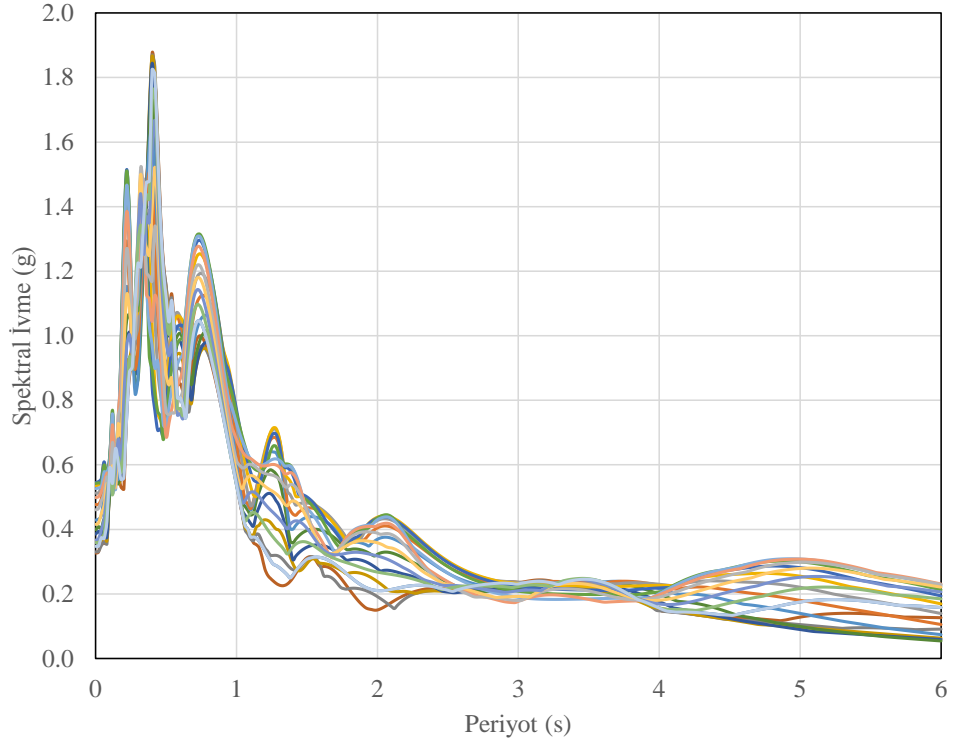


90 derece

Şekil 3.9. Düzce depremine ait zayıf doğrultudaki ivme-zaman serileri



Şekil 3.10. Düzce depreminin 0° - 180° arasında kuvvetli doğrultudaki spektrum eğrileri



Şekil 3.11. Düzce depreminin 0° - 180° arasında zayıf doğrultudaki spektrum eğrileri

4. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında yürütülen analizlerden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. İncelenen yapısal tepki izolatörlere ait maksimum deplasman değeridir. Çift doğrultulu deprem hareketleri altında her iki yatay doğrultuda kaydedilen izolatör deplasmanları kareleri alınarak toplanmış ve elde edilen değerlerin karekökü maksimum izolatör deplasman değeri olarak hesaplanmıştır. Bu işlem hem orijinal deprem kaydının hem de farklı deprem etkime açılarını dikkate alabilmek için oluşturulan yeni kayıtların kullanıldığı analizler için tekrarlanmıştır. Böylece, orijinal kayıt kullanılarak elde edilen maksimum izolatör deplasmanının deprem kaydının döndürülmesine bağlı olarak ne ölçüde değiştiğini belirlemek mümkün olmuştur.

Ek-A bölümünde 16 farklı özellikteki sismik izolatörlü bina özelinde her bir deprem grubu için 10 farklı deprem hareketi ve her deprem hareketinin farklı etkiye doğrultusu için oluşturulan 36 farklı yeni deprem hareketi için toplamda (16*10*3*36) 17280 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizden elde edilen veriler ayrı ayrı sunulmuştur. Böylece, depremlerin gruplandırılmasında kullanılan parametrenin (deprem kaydının kuvvetli bileşenine ait maksimum yer hızı değeri) deprem etkime doğrultusuna bağlı olarak maksimum izolatör deplasmanlarındaki değişime olan etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, sismik taban izolasyonlu yapıların davranışını etkileyen diğer parametrelerden sismik izolasyon periyodunun (2.25s, 2.5s, 2.75s, ve 3.00s) ve Q/W oranının (0.090, 0.105, 0.120, 0.135) incelemeye konu olan değişimi nasıl etkilediği de tespit edilmiştir.

Takip eden bölümlerde ise her bir deprem grubu için seçilen bazı deprem kayıtları özelinde izolatör davranışındaki farklılaşmayı belirlemek adına dikkate alınan izolasyon periyodu, T ve Q/W oranının etkisi incelenmiştir.

4.1. Deprem Grubu 1'e Ait Analiz Sonuçları

Bu bölümde, maksimum yer hızı değerleri 30cm/s ile 50cm/s arasında değişim gösteren deprem kayıtlarından Superstition Hills depremi için izolasyon periyodunun (T), Loma Prieta Gilroy Array #2 depremi için ise eksenel yük seviyesinin (Q/W oranı) etkisi incelenmiştir.

4.1.1. İzolasyon periyodunun (T) etkisi

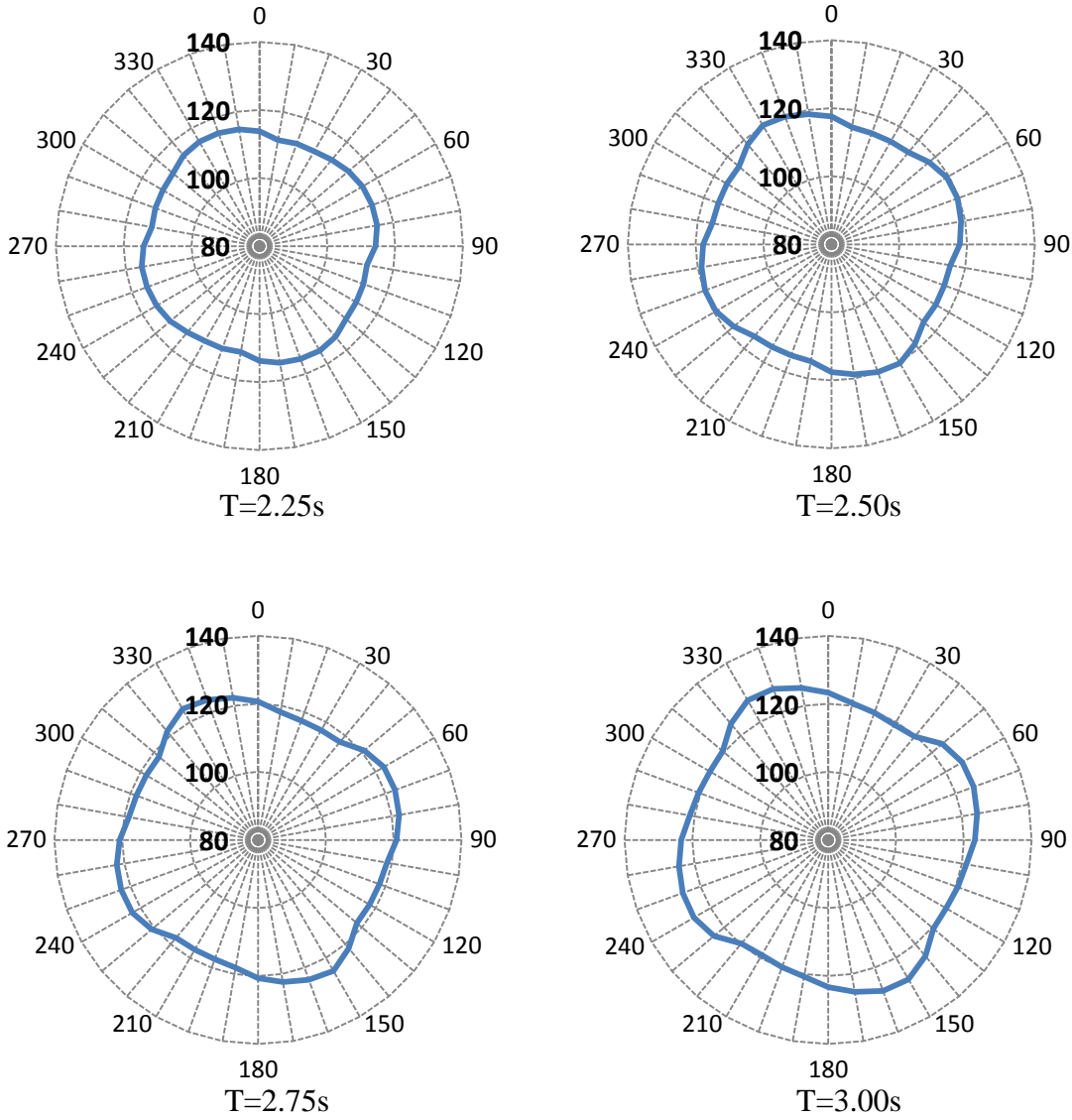
Superstition Hills deprem kaydı için Q/W oranı sabit olmak koşulu ile izolasyon periyodu arttıkça maksimum izolatör deplasmanlarının da arttığı gözlenmektedir. Şekil 1.2'de verilen grafik incelendiğinde bu durumun beklenen bir sonuç olduğu görülmektedir. Öte yandan, yine aynı deprem kaydı için deprem etkime doğrultusuna bağlı elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarının orijinal deprem kaydı altında elde edilen maksimum izolatör deplasman değerine oranlanması suretiyle de elde edilen değerler Şekil 4.2'de sunulmuştur. Buna göre açısız döndürmeye bağlı olarak elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarındaki artış oranı %5 mertebesinde hesaplanmıştır. Bu oranın izolasyon periyodundaki değişimden etkilenmediği tespit edilmiştir. Öte yandan Superstition Hills depremi için (Grup 1 Deprem 7) Q/W oranı sabit iken (0.105) izolasyon periyodu arttıkça maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açı sabit olup 150° olarak tespit edilmiştir. Bu da ilgili deprem kaydı özelinde açısız döndürmeye bağlı edilen maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açının izolasyon periyodundan bağımsız olduğunu göstermektedir (Tablo 4.4).

4.1.2. Q/W oranının etkisi

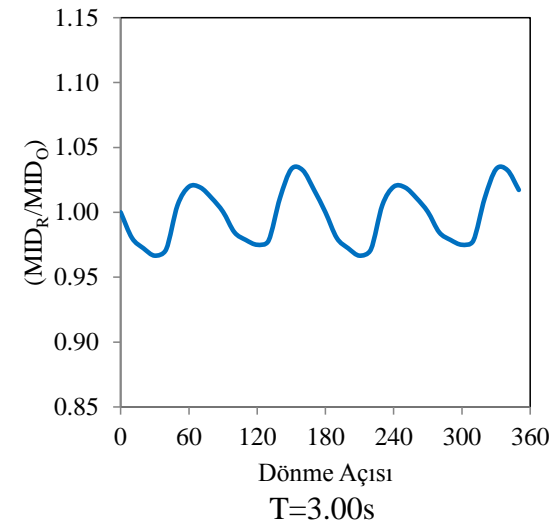
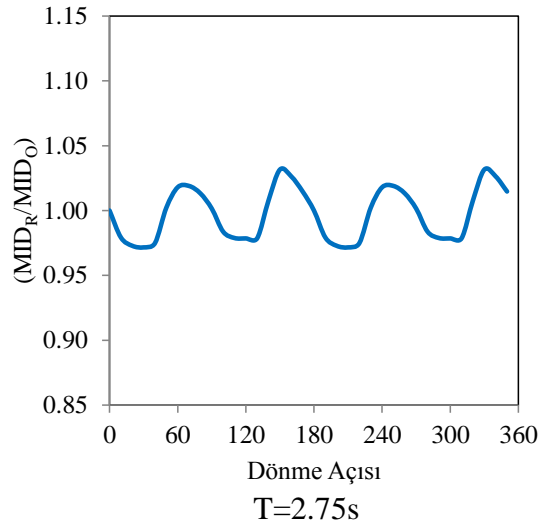
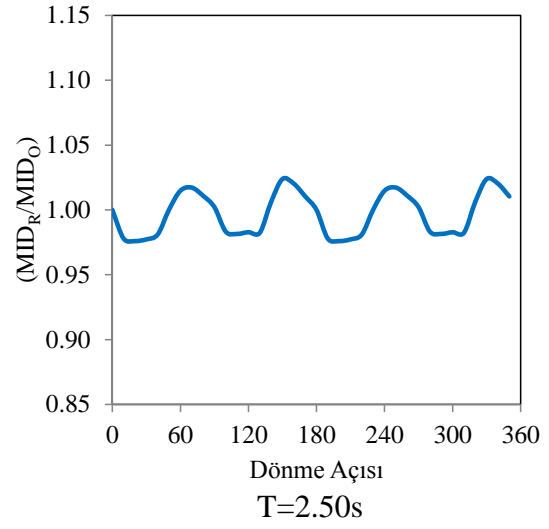
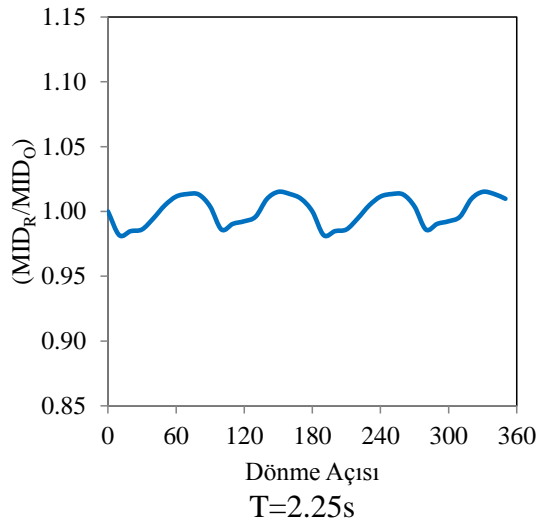
Loma Prieta Gilroy Array #2 deprem kaydı özelinde maksimum izolatör deplasmanları üzerinde eksenel yük seviyesinin (Q/W oranı) etkisi incelendiğinde izolasyon periyodu sabit tutulmak koşuluyla Q/W oranı arttıkça maksimum izolatör deplasmanlarının azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi ise Q/W oranı arttıkça sistemin rijitliğinin artması ve izolatörün yapacağı deplasmanın azalmasıdır.

Loma Prieta Gilroy Array #2 deprem kaydı için maksimum izolatör deplasmanı olası artış miktarı üzerinde Q/W oranının etkisini incelemek için izolasyon periyodu 2.75 saniye iken dikkate alınan Q/W oranları için farklı deprem etkime açıları altında elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarının artış miktarları Şekil 4.4'de sunulmuştur. Buna göre maksimum izolatör deplasmanlarındaki artış miktarlarının ortalama değerlerinin %3 seviyesinde olması ve her bir Q/W oranı için de bu değerlerin hemen hemen birbirine yakın olması bu deprem kaydı özelinde maksimum izolatör deplasmanlarının artış

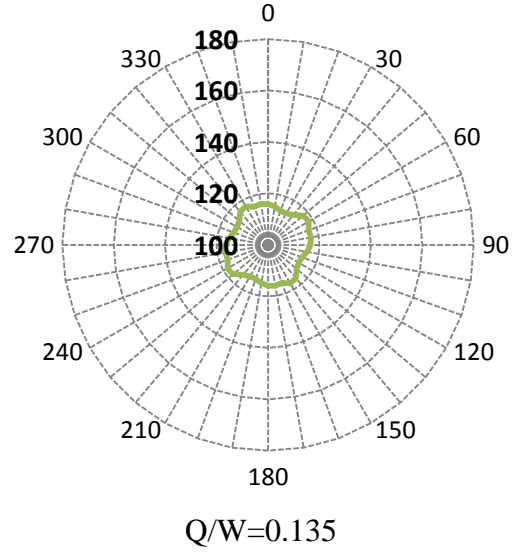
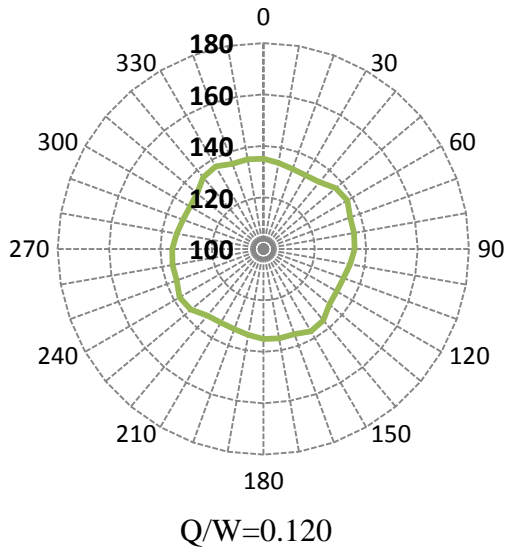
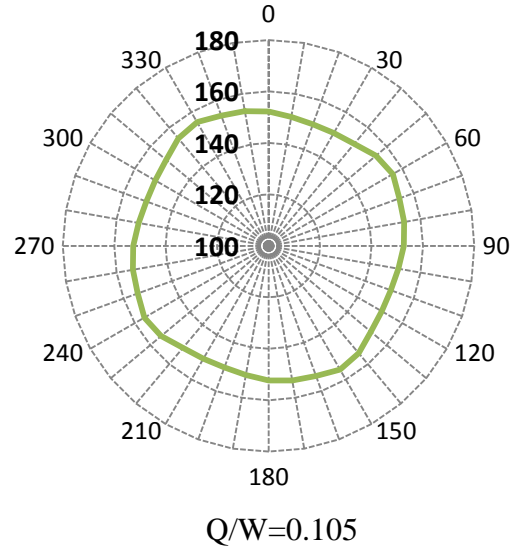
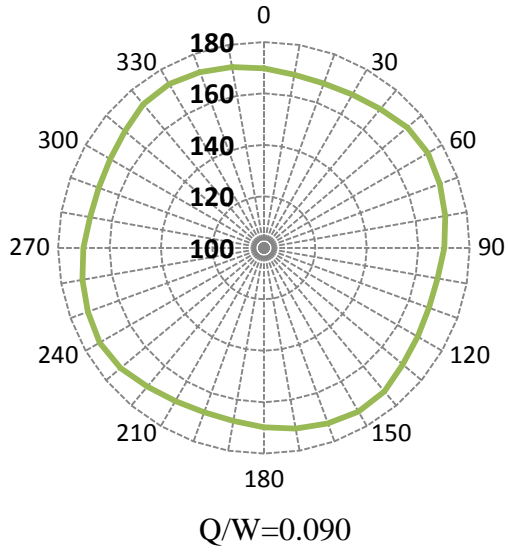
miktarının Q/W oranından bağımsız olduğunu göstermektedir. Ayrıca Loma Prieta Gilroy Array #2 depremi için (Grup 1 Deprem 4) deprem etkiye doğrultusuna bağlı elde edilen maksimum izolator deplasmanları izolasyon periyodu sabit iken ($T=2.75s$) dikkate alınan Q/W oranları için aynı açıda elde edilmiştir. (60°) Bu da ilgili deprem kaydı için maksimum izolator deplasmanları üzerinde Q/W oranının etkisinin bağımsız olduğunu göstermektedir (Tablo 4.4).



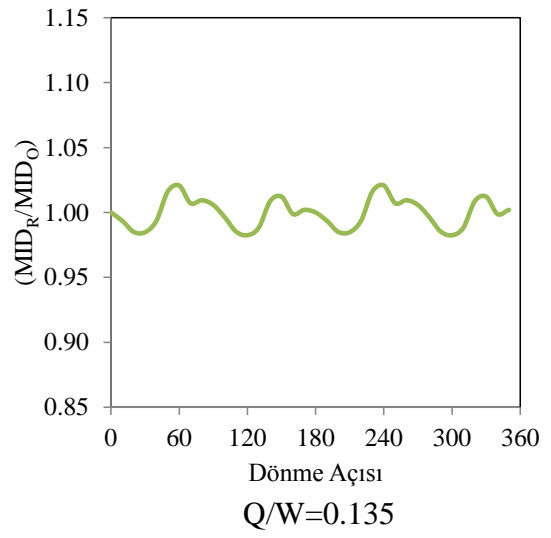
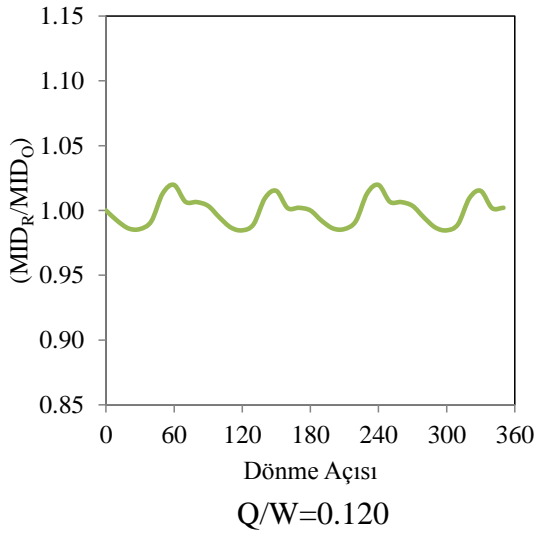
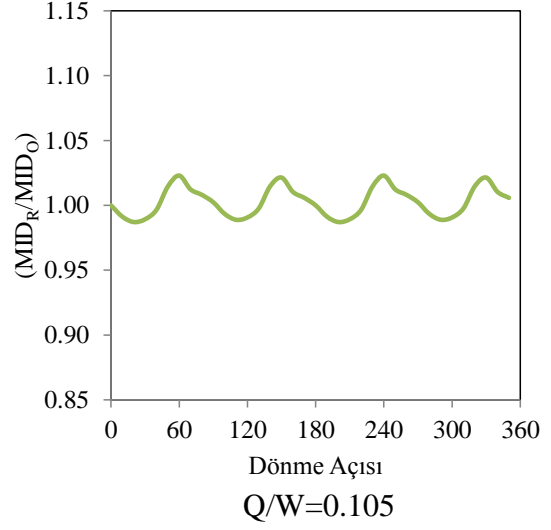
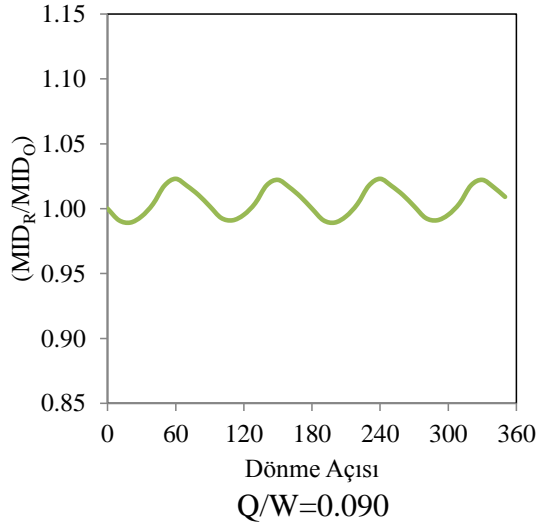
Şekil 4.1. Superstition Hills depremi için maksimum izolator deplasmanı ($Q/W=0.105$)



Şekil 4.2. *Superstition Hills* depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı ($Q/W=0.105$)



Şekil 4.3. Loma Prieta Gilroy Array #2 depremi için maksimum izolatör deplasmanı
($T=2.75s$)



Şekil 4.4. Loma Prieta Gilroy Array #2 depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı ($T=2.75s$)

4.2. Deprem Grubu 2'ye Ait Analiz Sonuçları

Bu bölümde, PGV değerleri 50cm/s ile 70cm/s arasında değişim gösteren deprem kayıtlarından Chi-Chi CHY024 ve Kocaeli-Düzce depremleri özelinde T ve Q/W oranının etkisi incelenmiştir.

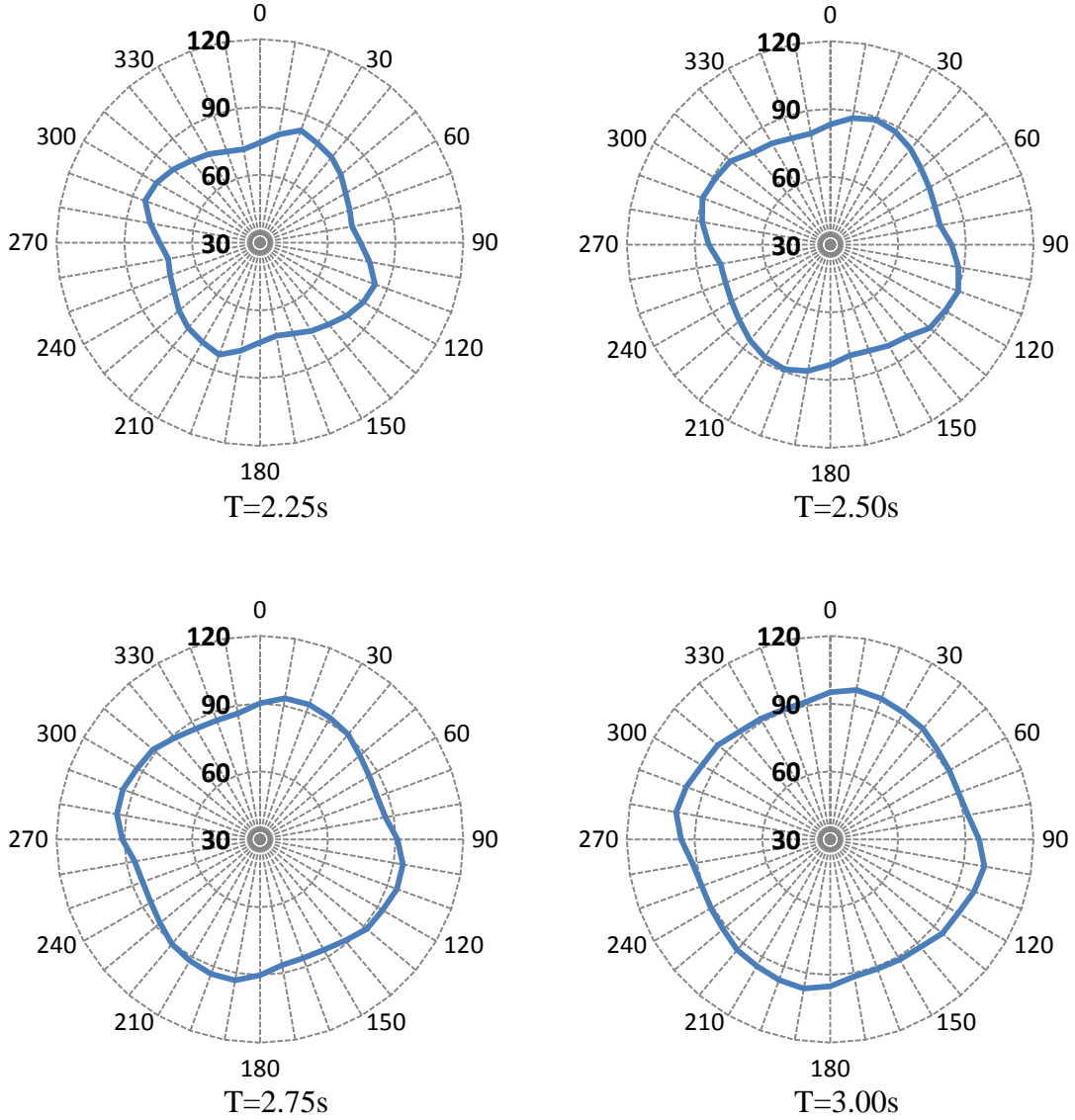
4.2.1. İzolasyon periyodunun (T) etkisi

Chi-Chi CHY024 deprem kaydı için izolasyon periyodunun maksimum izolatör deplasmanı ve deprem etkime doğrultusuna bağlı oluşan olası artış miktarı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda, Q/W oranı 0.120 iken dikkate alınan izolasyon periyodu aralığında (2.25s-3.00s) maksimum izolatör deplasmanlarının ortalama bazında %10 oranında bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Öte yandan, Şekil 4.6 incelendiğinde izolasyon periyodu arttıkça açısız döndürmeye bağlı elde edilen maksimum izolatör deplasmanlardaki artış miktarının azaldığı görülmektedir. Bu durum bütün deprem kayıtlarının ortalama davranışı ile kıyaslandığında %1 gibi ihmal edilebilir bir düzeye karşılık gelmektedir. Ayrıca Chi-Chi CHY024 deprem kaydı (Grup 2 Deprem 8) için deprem etkime doğrultusuna bağlı olarak maksimum izolatör deplasmanları Q/W oranı sabit iken (0.120) dikkate alınan izolasyon periyotlarından 3.00 saniyede 100°'de diğer izolasyon periyotlarında ise 110°'de elde edilmiştir (Tablo 4.5). Bu nedenle seçilen deprem kaydı özelinde maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar üzerinde izolasyon periyodunun etkisi için genelleme yapılamamaktadır.

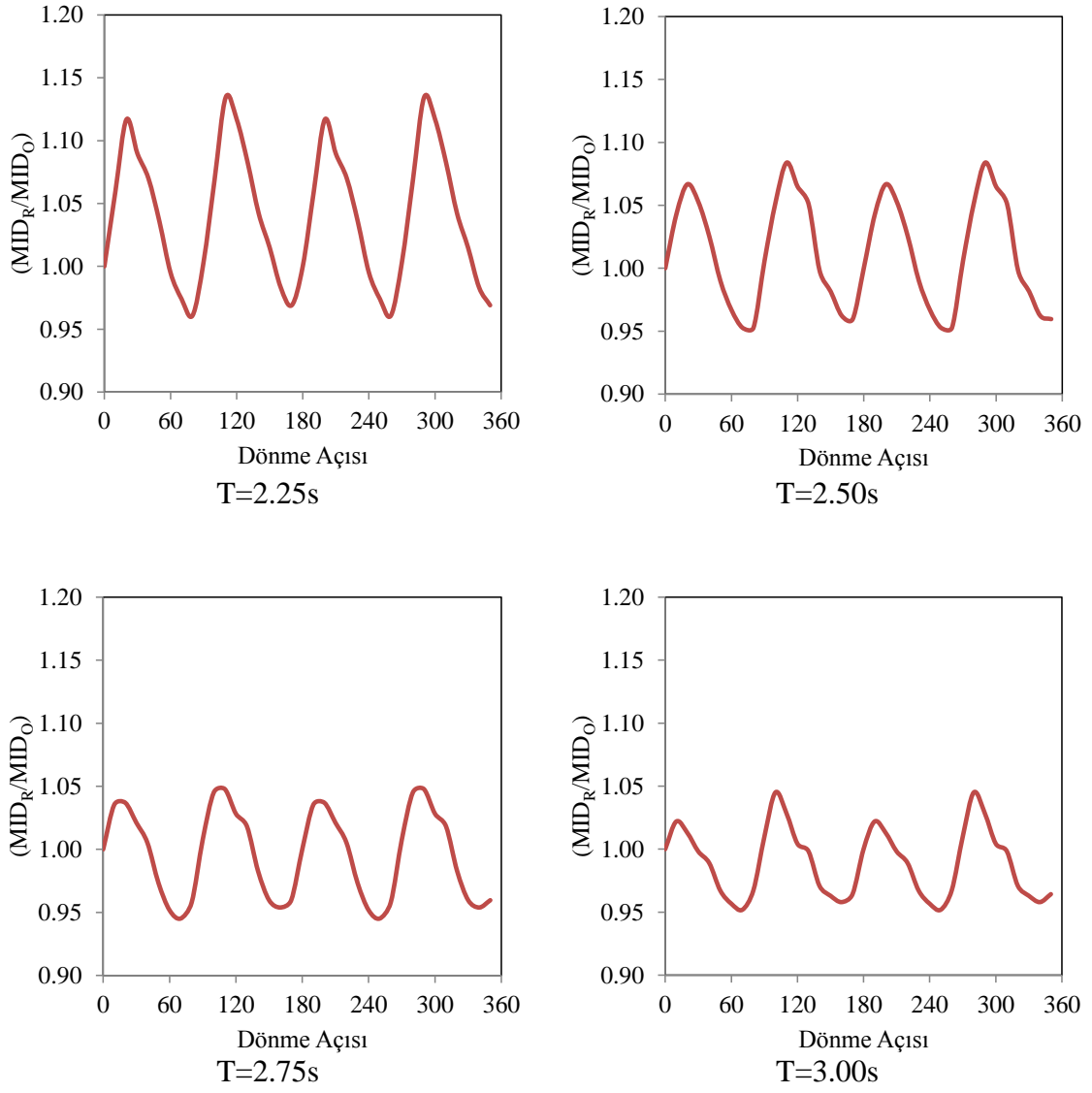
4.2.2. Q/W oranının etkisi

Kocaeli-Düzce depremi özelinde Q/W oranının maksimum izolatör deplasmanları üzerindeki etkisi izolasyon periyodu 2.50s iken incelenmiştir. İncelemeye konu olan deprem kaydı için Q/W oranı arttıkça maksimum izolatör deplasmanlarında kademeli olarak bir azalma tespit edilmiştir (Şekil 4.7). Ayrıca aynı deprem kaydı için açısız döndürmeye bağlı oluşan maksimum izolatör deplasmanlarındaki artış miktarının değişimi Q/W oranı bazında incelenmiştir (Şekil 4.8). İzolasyon periyodu 2.50s seçilip dikkate alınan Q/W oranları altında elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarındaki artış miktarlarının ortalamaları dikkate alındığında Q/W oranı 0.120 iken artış miktarı %5 mertebelerinde hesaplanırken bu oran Q/W 0.090 iken %3 olarak belirlenmiştir. Bu da Q/W oranı değiştiğinde söz konusu artış miktarının da değiştiğini göstermektedir. Ancak ortalama değerler dikkate alındığında bu değişimin çok küçük olduğu ve ihmal edilebilir düzeyde kaldığı gözlenmiştir. Öte yandan Tablo 4.5 incelendiğinde ilgili deprem kaydı için (Grup 2 Deprem 4) açısız döndürmeye bağlı maksimum izolatör deplasmanlarının

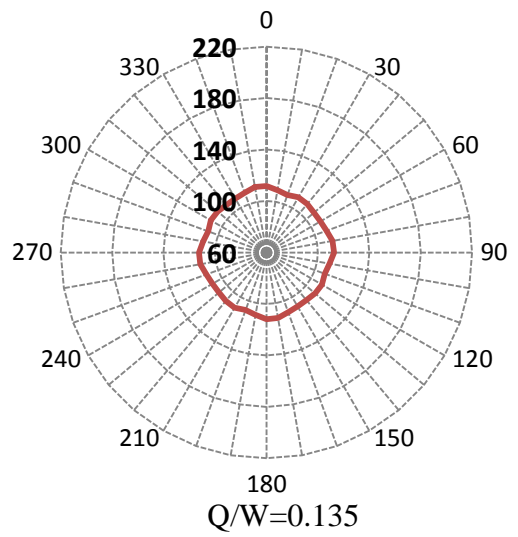
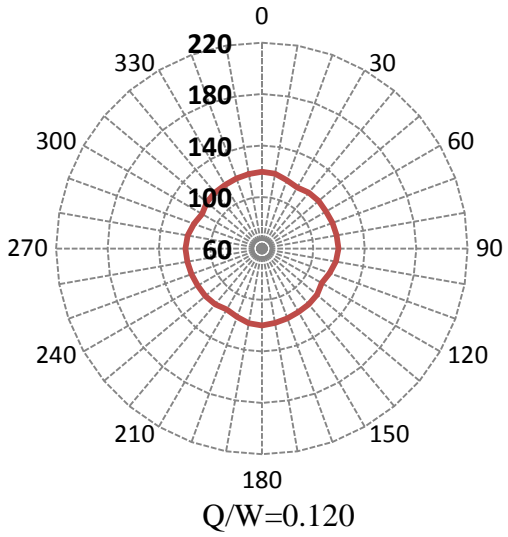
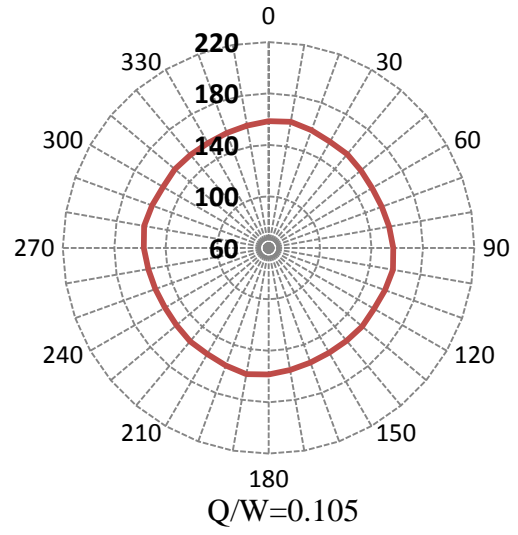
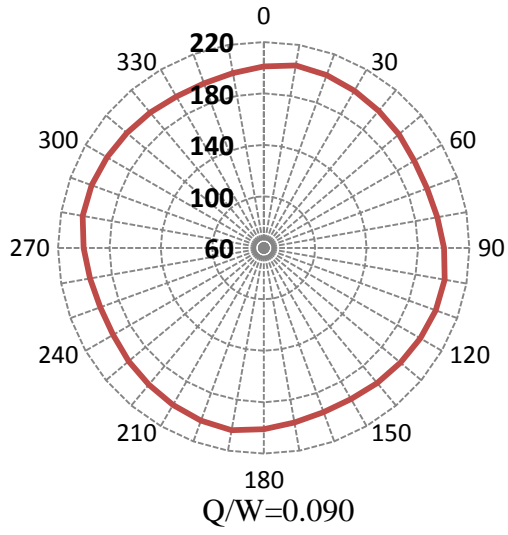
dikkate alınan izolasyon periyodu özelinde ($T=2.50s$) Q/W oranına bağlı olarak farklı açılarda elde edildiği görülmektedir ($0^\circ, 10^\circ, 90^\circ$). Bu durumda Kocaeli-Düzce depremi için maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar üzerinde Q/W oranının etkisi hakkında bir genellemeye gidilememektedir.



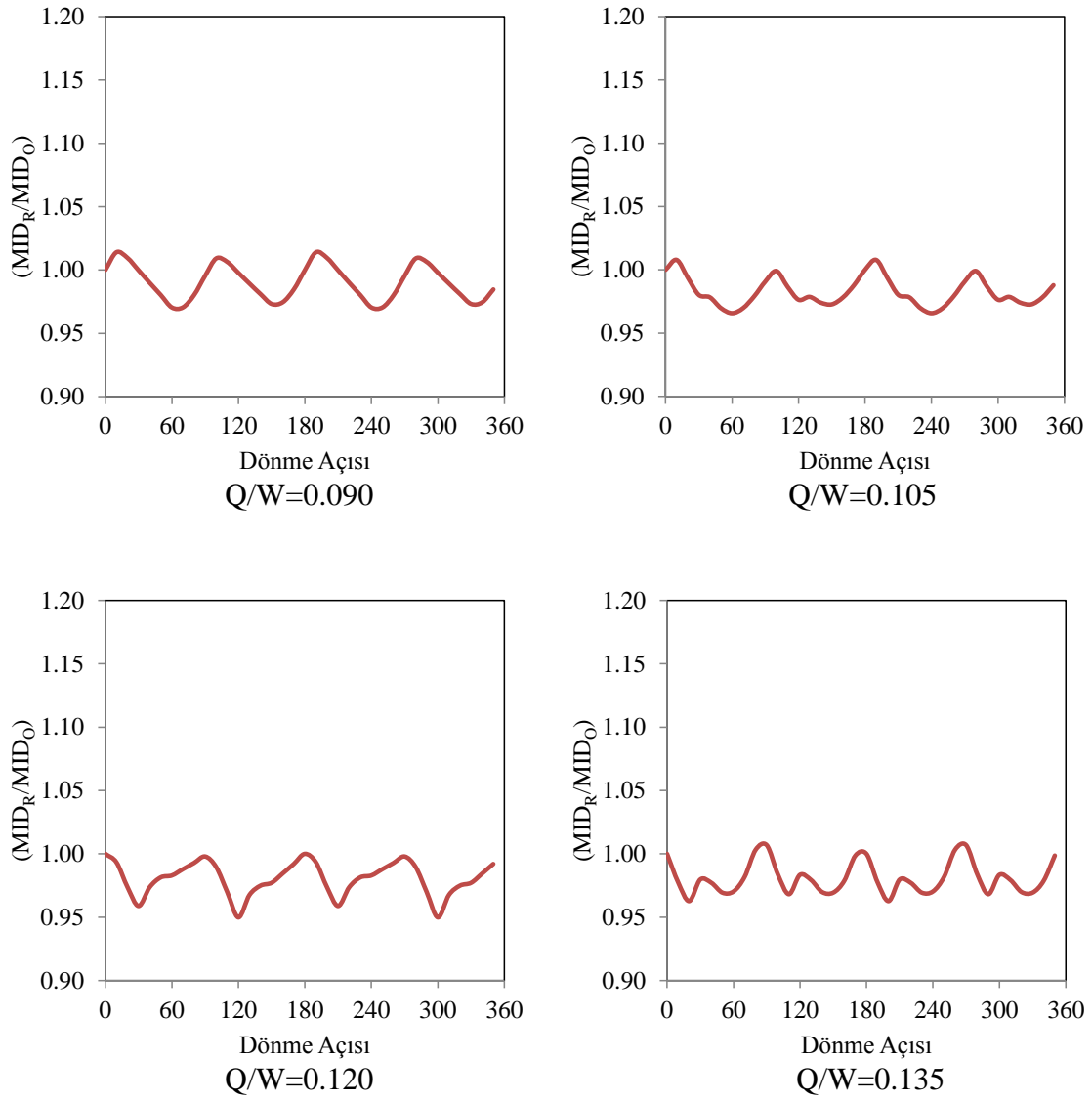
Şekil 4.5. Chi-Chi CHY024 depremi için maksimum izolatör deplasmanı ($Q/W=0.120$)



Şekil 4.6. Chi-Chi CHY024 depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı ($Q/W=0.120$)



Şekil 4.7. Kocaeli-Düzce depremi için maksimum izolatör deplasmanı ($T=2.50s$)



Şekil 4.8. *Kocaeli-Düzce depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı ($T=2.50s$)*

4.3. Deprem Grubu 3'e Ait Analiz Sonuçları

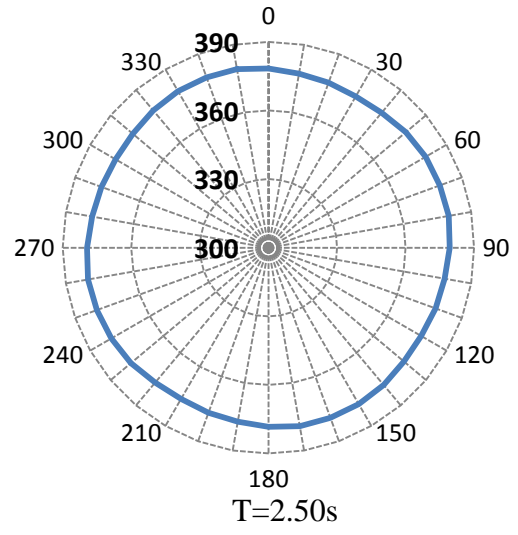
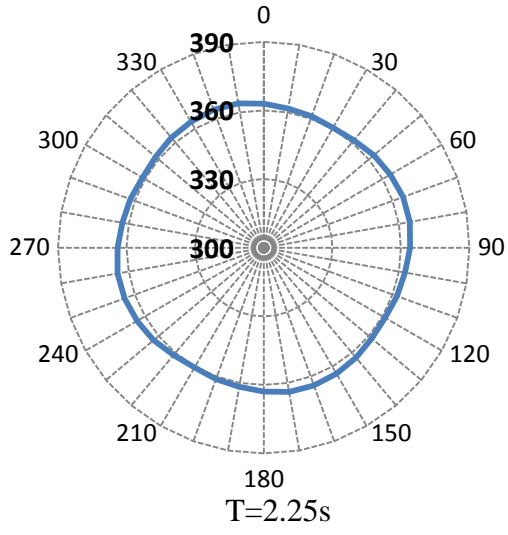
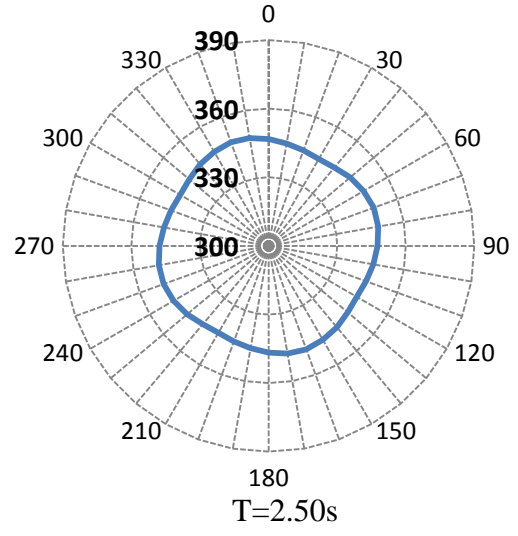
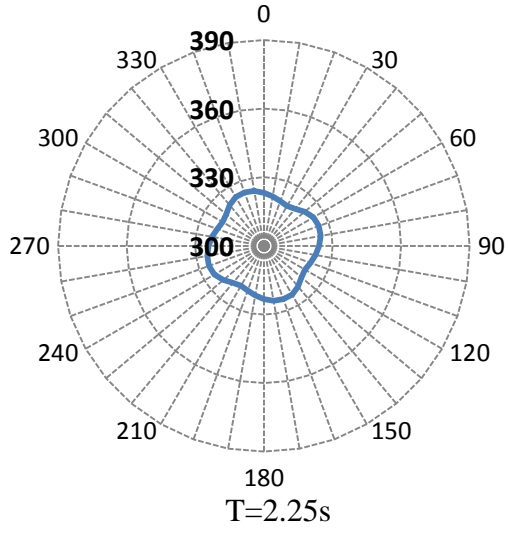
Bu bölümde, maksimum yer hızı değerleri 70cm/s'den büyük deprem kayıtlarından Erzincan depremi için izolasyon periyodunun (T), Kobe Takatori depremi için ise eksenel yük seviyesinin (Q/W oranı) etkisi incelenmiştir.

4.3.1. İzolasyon periyodunun (T) etkisi

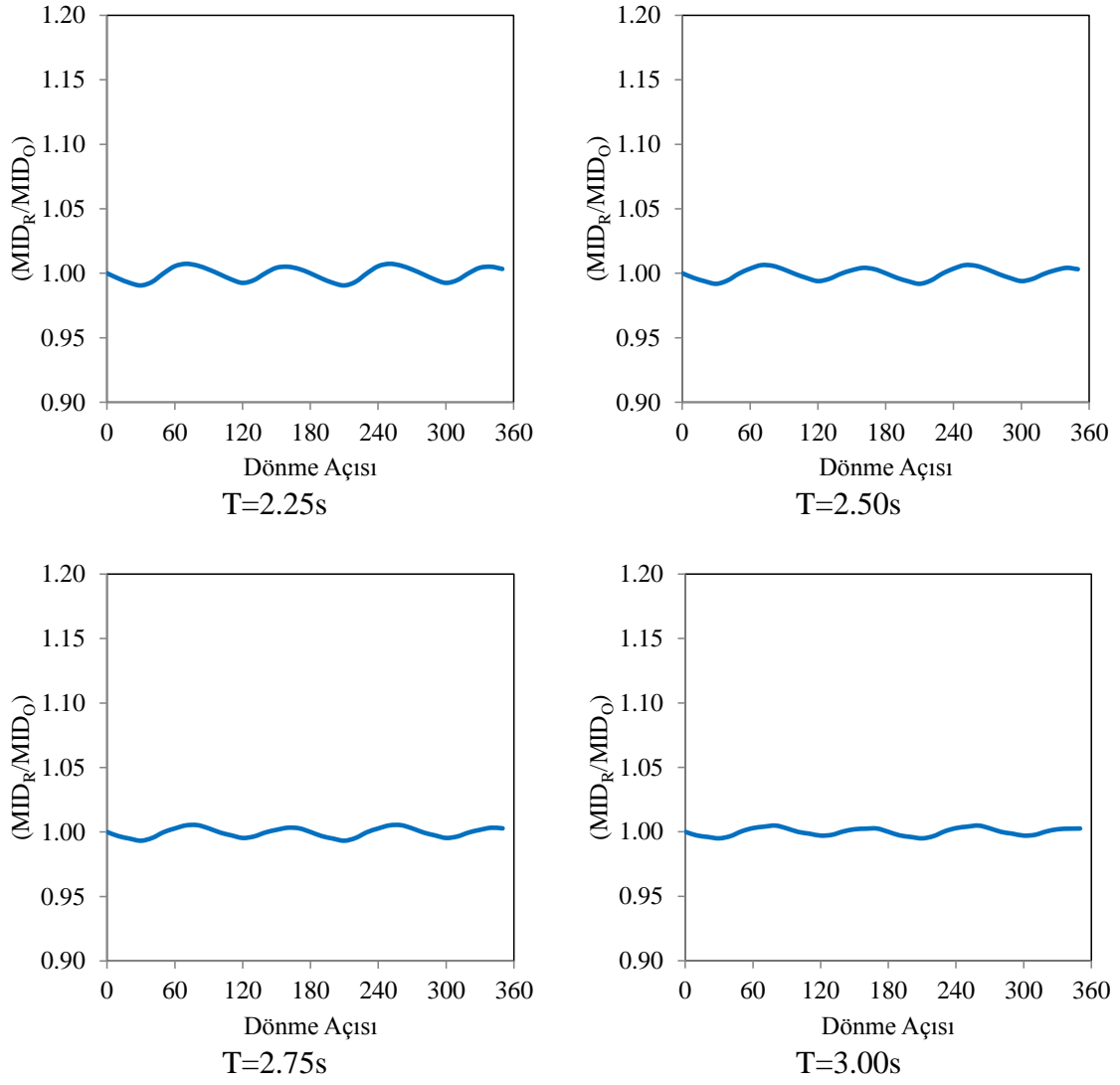
Erzincan depremi için izolasyon periyodunun etkisi maksimum izolatör deplasmanları ve olası artış miktarını bazında incelenmiştir. Bunun için Q/W oranı 0.135 iken 4 farklı izolasyon periyodu altında elde edilen maksimum izolatör deplasmanları ve olası artış miktarı belirlenmiştir (Şekil 4.9-4.10). Bu bağlamda ilgili grafikler incelendiğinde, dikkate alınan izolasyon periyodu aralığında maksimum izolatör deplasmanlarının ortalama değerinde yaklaşık olarak %1 oranında artış görülmektedir. Öte yandan, ilgili deprem kaydı için (Grup 3 Deprem 2) maksimum izolatör deplasmanlarının Q/W oranı 0.135 iken izolasyon periyoduna bağlı olarak elde edildiği açılar 70° ve 80° olarak belirlenmiştir (Tablo 4.6). Bu da Erzincan depremi özelinde açısal döndürmeye bağlı maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar üzerinde izolasyon periyodunun etkisinin bağımsız olduğunun göstergesidir.

4.3.2. Q/W oranının etkisi

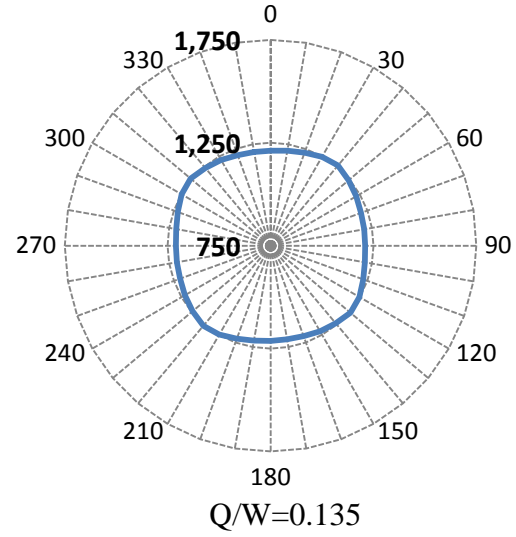
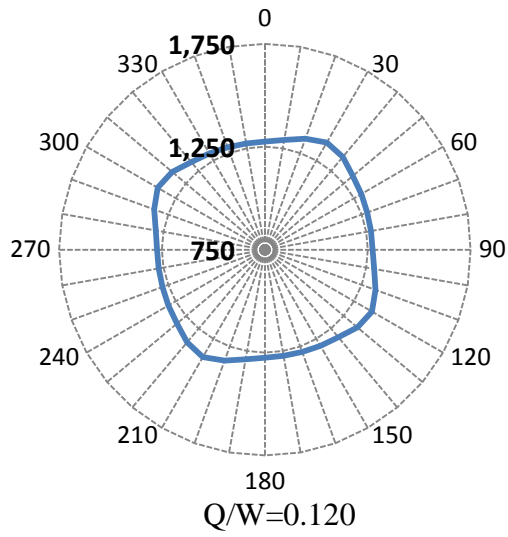
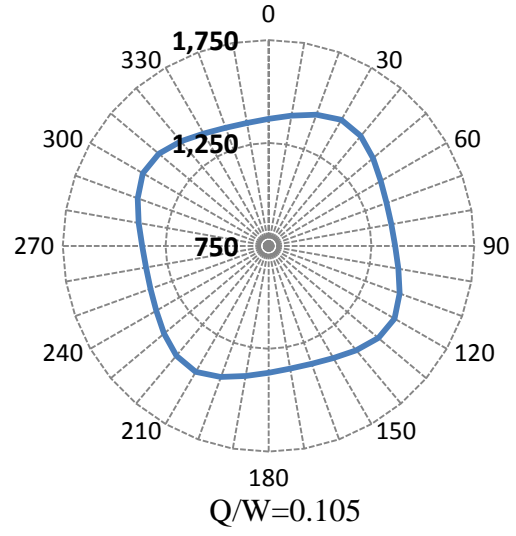
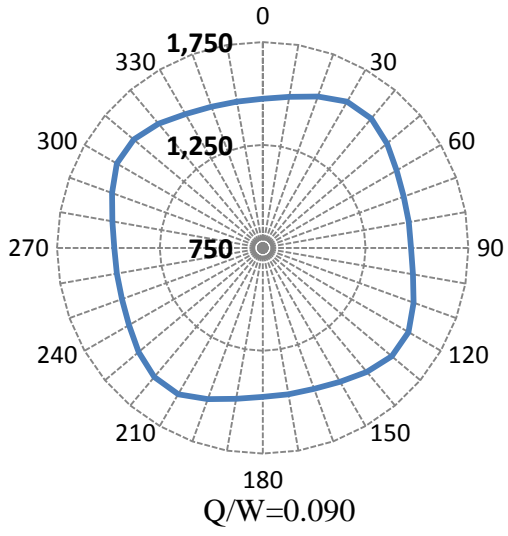
Kobe-Takatori depremi özelinde maksimum izolatör deplasmanlarının eksenel yük seviyesinden nasıl etkilendiğini belirlemek için izolasyon periyodu sabit tutulmak koşuluyla (T=2.25s) dikkate alınan Q/W değerleri için maksimum izolatör deplasmanlarının değişimi incelenmiştir (Şekil 4.11). İzolasyon periyodu sabit iken artan Q/W oranına bağlı olarak maksimum izolatör deplasmanlarının azaldığı gözlenmiştir. Öte yandan, ilgili deprem kaydı için açısal döndürmeye bağlı maksimum izolatör deplasmanlarındaki olası artış miktarları incelendiğinde dikkate alınan Q/W oranı aralığında bu değer yaklaşık olarak %7 mertebelerinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.12). Buna ek olarak, seçilen deprem kaydı için (Grup 3 Deprem 10) deprem etkime doğrultusuna bağlı olarak maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar Q/W oranı bazında değerlendirildiğinde Q/W 0.135 iken 40°; diğer Q/W oranlarında 30° olarak belirlenmiştir (Tablo 4.6). Bu durum Kobe-Takatori depremi için maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar Q/W oranından bağımsız olarak değiştiğini göstermektedir.



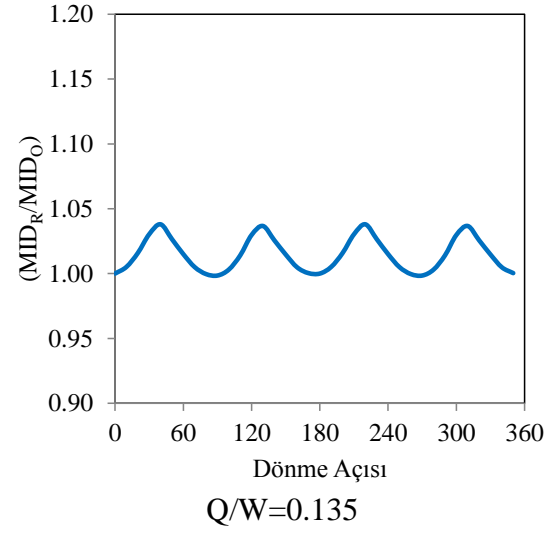
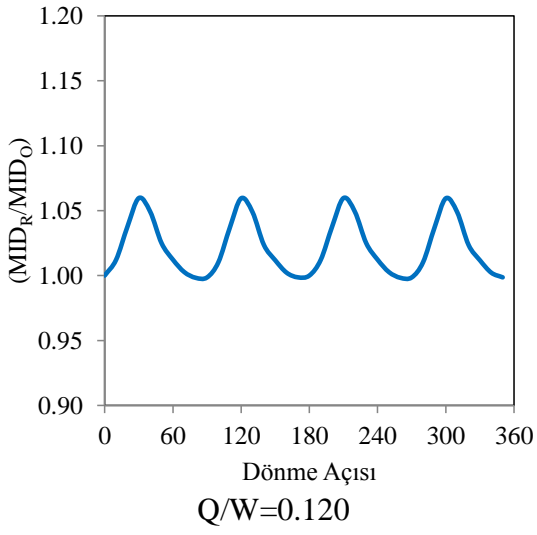
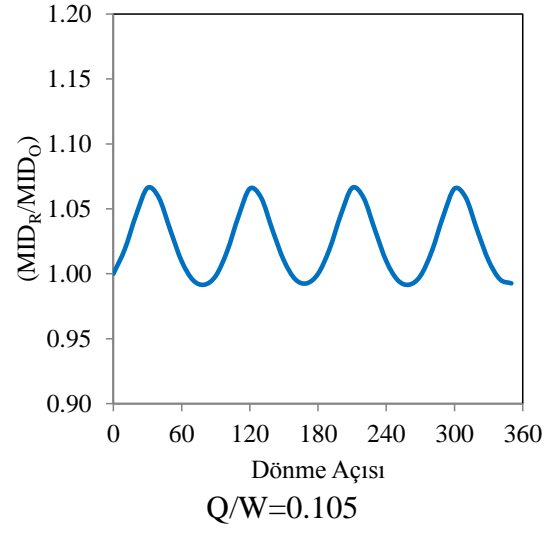
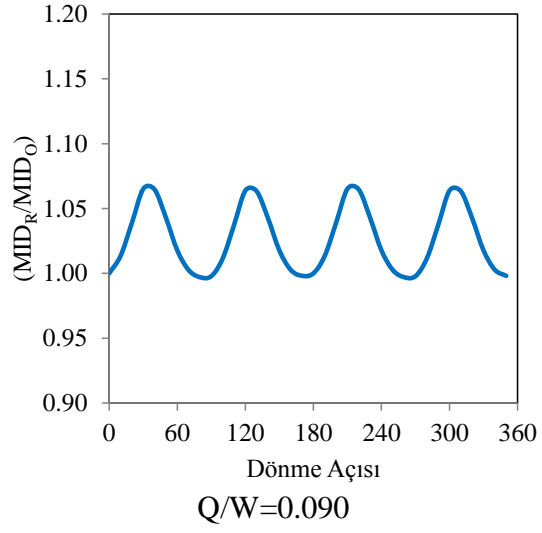
Şekil 4.9. Erzincan depremi için maksimum izolatör deplasmanı ($Q/W=0.135$)



Şekil 4.10. *Erzincan depremi için maksimum izolator deplasmanı artış miktarı ($Q/W=0.135$)*



Şekil 4.11. Kobe Takatori depremi için maksimum izolatör deplasmanı ($T=2.25s$)



Şekil 4.12. *Kobe Takatori depremi için maksimum izolatör deplasmanı artış miktarı ($T=2.25s$)*

Ek-A kısmında verilen maksimum izolatör deplasmanlarının deprem etkime açısına bağlı değişimi, elde edilen bu değerlerin en büyüğünün orijinal deprem kaydından elde edilen maksimum izolatör deplasmanına oranı incelemeye konu olan her bir deprem kaydı için ayrı ayrı göstermek ve orijinal kayıtlardan elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarındaki deprem etkime açısına bağlı artışı ortalama bir değer üzerinden ifade edebilmek adına Tablo 4.1-4.3 oluşturulmuştur. Bu tablolarda, tek bir deprem kaydı kullanılarak elde edilen farklı deprem etkime açılarına karşılık elde edilen izolatör deplasmanlarındaki artış miktarlarının en büyüğü hesaplanmış ve söz konusu deprem için maksimum izolatör deplasmanındaki artış miktarı olarak dikkate alınmıştır. Hesaplanan bu değerler bütün deprem kayıtları, izolasyon periyotları ve Q/W oranları için ayrı ayrı Tablo 4.1-4.3’de verilmiştir.

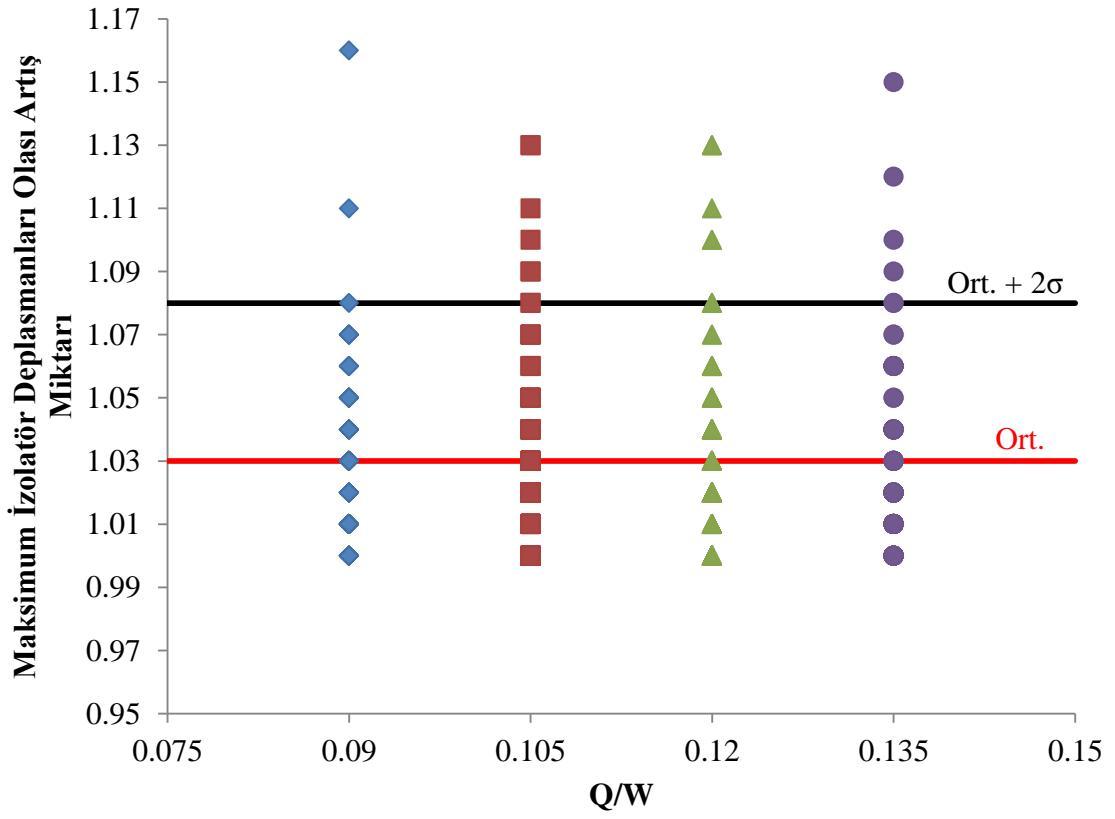
Ek-A kısmında yer alan maksimum izolatör deplasmanları ve açısız döndürmeye bağlı elde edilen olası artış miktarları incelendiğinde maksimum yer hızı parametresine göre gruplandırılan deprem kayıtları ile yürütülen analizlerin sonucunda genel olarak izolasyon periyodu, T sabit tutulmak koşuluyla eksenel yük seviyesi, Q/W oranı arttıkça elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca seçilen deprem kayıtları özelinde izolasyon periyodunun maksimum izolatör deplasmanları üzerindeki etkisi incelendiğinde görülmüştür ki, Q/W oranı sabitken izolasyon periyodu arttıkça maksimum izolatör deplasman değerleri de artış göstermektedir. Ancak seçilen deprem kayıtları arasında bu genellemeleri sağlamayan bazı durumlar da mevcuttur (Imperial Valley-Bond Corner (Grup 1 Deprem 2), Düzce-Bolu (Grup 2 Deprem 1) ve Kobe-KJM (Grup 3 Deprem 6)).

Öte yandan her bir deprem grubu özelinde, dikkate alınan izolatör karakteristikleri altında, açısız döndürmeye bağlı maksimum izolatör deplasmanlarındaki artış miktarları da değerlendirildiğinde, Grup 1 depremleri için deprem etkime doğrultusuna bağlı elde edilen maksimum izolatör deplasman değerlerinin orijinal deprem kaydı altında elde edilen maksimum izolatör deplasmanına oranlanması suretiyle Tablo 4.1’de yer alan değerler elde edilmiştir. Buna göre izolasyon periyodu ve Q/W oranı bazında ortalama olarak %3 oranında bir artış miktarı bu gruptaki deprem kayıtları altında analiz edilen sismik izolasyonlu yapıların tasarımında kullanılmak üzere yeterli olacaktır. Maksimum yer hızı 50cm/s ile 70 cm/s arasında değişen deprem kayıtlarından oluşan Grup 2 deprem kayıtları özelinde ise açısız döndürme sonucunda elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarındaki olası artış miktarları incelendiğinde ise dikkate alınan izolasyon

periyodu ve Q/W oranları altında ortalama olarak %2'lik artış miktarı bu gruptaki deprem kayıtları özelinde artış miktarını yansıtmak için yeterli olmaktadır. Maksimum yer hızı 70cm/s'den fazla olan deprem kayıtlarını içeren Grup 3 depremleri için maksimum izolator deplasmanlarındaki artış miktarları incelendiğinde ise diğer iki grupta yer alan deprem kayıtları için elde edilen ortalama değere yakın bir katsayı elde edildiği görülmektedir (%2). Buradan yola çıkarak maksimum yer hızına göre gruplandırılan deprem kayıtları için benzer sonuçların elde edilmesi, ilgili deprem kayıtları özelinde, açısız döndürmeye bağlı maksimum izolator deplasmanlarındaki artış miktarının dikkate alınan izolasyon periyodu ve Q/W oranından bağımsız olarak değiştiğini göstermektedir.

Öte yandan, maksimum izolator deplasman değerlerinin dikkate alınan deprem gruplarında yer alan her bir deprem kaydı için hangi açıda elde edildiği de Tablo 4.4-4.6'da sunulmuştur. Açısız döndürmeye bağlı olarak elde edilen maksimum izolator deplasmanlarının dikkate alınan izolasyon periyodu, T ve eksenel yük seviyesi, Q/W oranı aralığı için değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle, seçilen deprem grubundaki deprem kayıtları özelinde bu konu ile ilgili herhangi bir genellemeye gidilememektedir.

Bunun yanı sıra, maksimum izolator deplasmanlarının olası artış miktarlarının eksenel yük seviyesine bağlı değişimini göstermek adına Şekil 4.13'de yer alan grafik oluşturulmuştur. Bu bağlamda, seçilen deprem gruplarındaki her bir deprem kaydı için ilgili izolasyon parametreleri olan izolasyon periyodu (T) ve Q/W oranı altında elde edilen artış miktarları dikkate alındığında bu kayıtlar özelinde elde edilen artış miktarlarının ortalaması 1.026, standart sapması (σ) 0.027 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda grafikte yer alan "Ortalama+2 σ " değeri de 1.08 olmaktadır. Bu da belirlenen 3 deprem grubunda yer alan 10 deprem kaydı için dikkate alınan T ve Q/W oranları altında toplamda (3*10*16) 480 adet verinin %95'i için güvenli bir artış sağlamaktadır.



Şekil 4.13. Maksimum izolatör deplasmanlarının olası artış miktarlarının Q/W oranına bağlı değişimi

Tablo 4.1. Grup 1 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının olası artış miktarı

Dep #	Q/W = 0.090				Q/W = 0.105				Q/W = 0.120				Q/W = 0.135			
	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s
1	1.05	1.03	1.02	1.02	1.06	1.05	1.03	1.03	1.04	1.03	1.03	1.02	1.05	1.04	1.03	1.02
2	1.01	1.03	1.05	1.08	1.00	1.00	1.01	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01
3	1.06	1.04	1.04	1.06	1.09	1.10	1.09	1.08	1.05	1.06	1.06	1.05	1.03	1.04	1.04	1.03
4	1.04	1.01	1.02	1.02	1.05	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.06	1.02	1.02	1.02
5	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03
6	1.03	1.01	1.00	1.01	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
7	1.05	1.01	1.01	1.03	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
8	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00
9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.00	1.00	1.00	1.01
10	1.05	1.03	1.03	1.02	1.13	1.13	1.11	1.08	1.10	1.11	1.13	1.13	1.06	1.06	1.06	1.06
Ort.	1.03	1.02	1.02	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02
	Ortalama = 1.03				Ortalama = 1.04				Ortalama = 1.03				Ortalama = 1.02			
	Ortalama = 1.03															

Tablo 4.2. Grup 2 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının olası artış miktarı

Dep #	Q/W = 0.090				Q/W = 0.105				Q/W = 0.120				Q/W = 0.135			
	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s
1	1.03	1.05	1.06	1.05	1.02	1.03	1.04	1.04	1.01	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01
2	1.16	1.11	1.03	1.01	1.02	1.06	1.07	1.07	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
3	1.00	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01	1.02	1.00	1.00	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.02
4	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01
5	1.04	1.04	1.03	1.02	1.03	1.05	1.06	1.05	1.00	1.00	1.06	1.07	1.00	1.00	1.02	1.02
6	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.01	1.01	1.02	1.02	1.00	1.00	1.01	1.01
7	1.00	1.03	1.03	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00
8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.13	1.08	1.05	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00
9	1.07	1.07	1.07	1.05	1.07	1.05	1.03	1.02	1.10	1.08	1.08	1.06	1.15	1.12	1.10	1.08
10	1.01	1.02	1.02	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
Ort.	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02
	Ortalama = 1.03				Ortalama = 1.02				Ortalama = 1.03				Ortalama = 1.02			
	Ortalama = 1.02															

Tablo 4.3. Grup 3 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının olası artış miktarı

Dep #	Q/W = 0.090				Q/W = 0.105				Q/W = 0.120				Q/W = 0.135			
	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s
1	1.03	1.05	1.05	1.04	1.03	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04	1.01	1.03	1.03	1.04	1.03
2	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.00	1.00	1.02	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00
3	1.02	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
4	1.01	1.01	1.00	1.00	1.03	1.03	1.02	1.00	1.02	1.03	1.03	1.03	1.01	1.01	1.02	1.02
5	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.05	1.07	1.01	1.00	1.04	1.06	1.07	1.08
6	1.03	1.02	1.04	1.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02
8	1.06	1.06	1.04	1.03	1.04	1.04	1.04	1.02	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03
9	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.05	1.04	1.03	1.03	1.09	1.07	1.06	1.05
10	1.07	1.02	1.01	1.01	1.07	1.02	1.01	1.01	1.06	1.02	1.01	1.02	1.04	1.03	1.02	1.02
Ort.	1.03	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02	1.02	1.01	1.03	1.03	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03
	Ortalama = 1.02				Ortalama = 1.02				Ortalama = 1.02				Ortalama = 1.03			
	Ortalama = 1.02															

Tablo 4.4. Grup 1 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar

Dep #	Q/W = 0.090				Q/W = 0.105				Q/W = 0.120				Q/W = 0.135			
	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s
1	110	100	100	100	110	110	110	100	120	110	110	100	120	120	120	120
2	150	160	160	160	0	0	160	160	90	90	90	90	100	100	100	60
3	20	20	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
4	60	170	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	120	60	60	60
5	160	160	160	70	150	150	150	150	60	60	60	60	60	60	60	60
6	20	30	90	90	30	110	110	40	110	110	100	100	100	140	140	140
7	150	170	20	20	150	150	150	150	140	140	140	50	100	120	130	140
8	170	60	150	150	170	70	70	70	170	170	170	120	160	160	160	100
9	90	0	0	0	90	170	170	170	80	80	80	80	0	0	80	80
10	120	110	110	110	110	110	110	110	100	70	70	70	70	160	160	160

Tablo 4.5. Grup 2 depremleri için maksimum izolatör deplasmanlarının elde edildiği açılar

Dep #	Q/W = 0.090				Q/W = 0.105				Q/W = 0.120				Q/W = 0.135			
	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s
1	20	30	130	130	20	120	130	130	120	120	120	130	120	120	120	130
2	130	130	120	170	160	130	130	120	160	170	170	170	170	170	170	170
3	90	50	50	50	0	60	50	50	80	80	60	60	80	80	80	70
4	10	10	10	10	10	10	10	10	170	0	0	0	90	90	90	90
5	120	120	120	120	40	120	120	120	0	0	120	120	0	170	100	100
6	90	100	100	100	100	100	140	140	90	90	90	90	90	90	90	90
7	0	140	140	40	0	0	0	0	90	90	0	90	110	90	90	90
8	150	50	50	50	100	10	160	160	110	110	110	100	170	0	0	0
9	120	130	130	130	130	40	30	30	140	140	140	140	140	140	140	140
10	170	170	160	0	90	90	90	90	0	90	90	90	0	0	0	90

Tablo 4.6. Grup 3 depremleri için maksimum izolator deplasmanlarının elde edildiği açılar

Dep #	Q/W = 0.090				Q/W = 0.105				Q/W = 0.120				Q/W = 0.135			
	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s	T= 2.25s	T= 2.50s	T= 2.75s	T= 3.00s
1	150	150	50	120	150	150	60	110	150	150	150	110	150	150	150	120
2	80	170	170	80	80	80	80	170	70	80	80	80	70	70	80	80
3	40	40	40	30	40	40	30	30	130	130	120	120	130	130	120	120
4	30	30	30	10	30	30	30	90	20	20	20	20	110	110	110	110
5	170	170	110	80	170	170	110	80	130	40	40	170	130	130	40	40
6	10	100	50	120	70	0	0	80	0	0	10	0	10	0	0	0
7	160	160	160	60	160	160	160	70	160	160	160	70	160	70	150	60
8	110	40	40	40	40	40	40	40	40	40	130	130	50	50	50	50
9	60	60	60	60	70	60	60	60	60	60	60	60	60	60	150	150
10	30	40	40	50	30	40	40	50	30	40	40	40	40	40	40	40

5. SONUÇLAR

5.1. Özet

Bu tez çalışması kapsamında, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılarak tasarlanan sismik taban izolasyonlu yapıların tasarım aşamasında belirlenen maksimum izolatör deplasmanlarında, farklı deprem etkime açıları sebebiyle oluşabilecek artış miktarının belirlenebilmesine yönelik bir çalışma yürütülmüştür. Bu sebeple, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılarak tasarlanan tipik bir sismik taban izolasyonlu yapı analitik olarak modellenmiş ve çift doğrultulu deprem hareketleri altında incelenmiştir. Bu bağlamda, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kuvvet-deplasman eğrilerinde kurşun çekirdeğin ısınmasından dolayı meydana gelen dayanım kaybı dikkate alınarak modellenmiştir. İncelemeye konu olan sismik taban izolasyonlu yapı, zaman tanım alanında yürütülen doğrusal olmayan analizlerde, seçilen deprem kayıtlarının birbirine dik her iki yatay eksendeki bileşenlerine eş zamanlı olarak maruz bırakılmıştır. Yapı öncelikle, kaydedilen orijinal deprem hareketi altında analiz edilmiş; daha sonra bu deprem hareketi olası tüm deprem etkime doğrultularını yansıtabilmek amacıyla belirli açısız aralıklarla (10°) döndürülerek yapıya tekrar etki ettirilmiştir. Yapılan tüm analizler sonucunda elde edilen maksimum izolatör deplasmanları kaydedilmiştir. Orijinal deprem kayıtları kullanılarak elde edilen maksimum deplasman değerleri ile belirli açısız aralıklarla döndürülen kayıtlar kullanılarak elde edilen maksimum izolatör deplasmanları kıyaslanmak suretiyle izolatör deplasmanlarındaki olası artış miktarı belirlenmiştir. Elde edilen bu ortalama artış miktarı, sismik izolasyonlu yapıların öntasarım sürecinde kullanılan basitleştirilmiş hesaplama yöntemine bir çarpan olarak önerilmiştir.

5.2. Sonuçlar

Yürütülen tez çalışması kapsamında yapılan dinamik analizlerin sonuçları ışığında aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Her bir deprem grubu için maksimum izolatör deplasmanlarının olası artış miktarları incelendiğinde, hesaplanan artış miktarlarının ortalama değerlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bu da, dikkate alınan deprem hareketleri için sismik izolasyon periyodu, T ve eksenel yük seviyesi, Q/W oranının deprem etkime açısına bağlı maksimum

izolatör deplasmanlarındaki artış miktarı üzerinde ihmal edilebilir seviyede bir etkisi olduğunu göstermektedir. Ancak Tablo 4.1-4.3 incelendiğinde seçilen deprem kayıtları arasında bu genellemenin dışında sonuçların elde edildiği de görülmektedir.

- Öte yandan, maksimum izolatör deplasman değerlerinin her bir deprem grubu için hangi açıda olduğuna dair tablolar incelendiğinde, bu değerlerin ilgili izolatör karakteristiklerine bağlı olarak farklı açılarda elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle maksimum izolatör deplasmanlarının artış miktarının görüldüğü açılar ile ilgili genelleme yapılamamaktadır.
- Ayrıca, PGV değerlerine göre gruplandırılmış üç farklı deprem grubu için de benzer sonuçların gözlenmesi elde edilen sonuçların deprem kaydına ait PGV değerinden bağımsız olduğunu göstermektedir. Bu durumda, orijinal deprem kaydı kullanılarak elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarındaki ortalama olarak %3 oranında bir artış deprem etkime açısına bağlı değişimi yansıtmak için yeterli olacaktır.
- Ancak, bu artış miktarı %5 oranına çıkarılacak olursa yapılan analizlerin yaklaşık olarak %90'ı için güvenli bir artış miktarı belirlenmiş olmaktadır. Öte yandan, orijinal deprem kayıtları kullanılarak elde edilen maksimum izolatör deplasmanlarında %8 oranında bir artış miktarı ise dikkate alınan deprem kayıtları için hesaplanan artış miktarlarını %95 güvenle karşılamaktadır. Ayrıca %10 oranındaki artış miktarıyla da seçilen deprem kayıtları özelinde %98 gibi yüksek bir oranda güvenlik payı sağlanmaktadır.
- Bu çalışmanın temel amacı olan ve yenilenecek deprem şartnamemizin ilgili bölümünde kullanılmak üzere önerilmesi düşünülen artış miktarının mühendisleri güvenli bir tasarıma yöneltmesi gerektiğinden, bu çalışma neticesinde önerilen maksimum izolatör deplasmanlarındaki deprem etkime açısına bağlı artış miktarını orijinal deprem kayıtlarından elde edilen değerler kullanarak hesap eden ifade şu şekildedir:

$$MID_{\text{döndürülmüş}} = MID_{\text{orijinal}} \times 1.1$$

KAYNAKÇA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2010) "AASHTO LRFD bridge design specifications", 5th Ed., Washington, DC.
- American Society of Civil Engineers, Structural Engineering Institute (ASCE/SEI) (2010) "Minimum design loads for buildings and other structures", ASCE 7-10.
- Applied Technology Council (ATC) (1996) "Improved seismic design criteria for California bridges", Redwood City, CA.
- Araujo, M., Macedo, L., Marques, M., Castro, J.M. (2016) "Code-based record selection methods for seismic performance assessment of buildings", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, *Earthquake Engng Struct. Dyn.*2016; 45:129-148
- Asher, J.W, Hoskere, S.N, Ewing, R.D, Mayes, R.L, Button, M.R, Van Volkinburg D.R. (1997) "Performance of seismically isolated structures in the 1994 Northridge and 1995 Kobe earthquakes", *Proceedings of Structures Congress*, vol. XV. ASCE.
- Athanatopoulou, A.M (2005) "Critical orientation of three correlated seismic components", *Engineering Structures*, 27, 301-312.
- Avşar, Ö., Özdemir, G (2013) "Response of Seismic Isolated Bridges in Relation to Intensity Measures of Ordinary and Pulse-Like Ground Motions", *Journal of Bridge Engineering (ASCE)*, 18, 250-260.
- Ay, B.O, Akkar, S. (2012) "A procedure on ground motion selection and scaling for nonlinear response of simple structural systems", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, *Earthquake Engng Struct. Dyn.* 2012; 41:1693-1707.
- Baker, J.W, Cornell, C.A (2005) "A Vector-Valued Ground Motion Intensity Measure Consisting of Spectral Acceleration and Epsilon", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34(10), pp. 1193-1217.
- Becker, T.C, Ezazi, A. (2016) "Enhanced performance through a dual isolation seismic protection system", *THE STRUCTURAL DESIGN OF TALL AND SPECIAL BUILDINGS*, *Struct. Design Tall Spec. Build.* 2016; 25:72–89, DOI: 10.1002/tal.1229
- Benzoni, G., Casarotti, C. (2009) "Effects of vertical load, strain rate and cycling on the response of lead-rubber seismic isolators", *Journal of Earthquake Engineering*, 13, 293-312.
- Bisadi, V, Head, M (2011) "Evaluation of Combination Rules for Orthogonal Seismic Demands in Nonlinear Time History Analysis of Bridges", *ASCE Journal of Bridge Engineering*, 16, 711-717.

- Bommer, J.J, Acevedo, A.B (2004) “The Use of Real Earthquake Accelerograms as Input to Dynamic Analysis”, *Journal of Earthquake Engineering*, Volume 8, Special Issue 1, pp. 43-92.
- Bommer, J.J, Scott, S.G (2000) “The feasibility of using real accelerograms for seismic design”, In: *Implications of Recent Earthquakes on Seismic Risk*, eds. A.S. Elnashai and S. Antoniou, Imperial College Press, pp. 115-126.
- Cancellara, D., De Angelis, F. (2016) “Nonlinear dynamic analysis for multi-storey RC structures with hybrid base isolation systems in presence of bi-directional ground motions”, *Composite Structures*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.07.030>
- Constantinou, M.C, Whittaker, A.S, Kalpakidis, I.V, Fenz, D.M, Warn, G.P (2007) “Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading”, Technical Report MCEER-07-0012, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, State University of New York at Buffalo
- Constantinou, M.C, Whittaker, A.S, Fenz, D.M, Apostolakis, G (2007) “Seismic Isolation of Bridges”, Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, University at Buffalo, State University of New York, Buffalo, NY 14260
- Dicleli M. (2006) “Performance of seismic-isolated bridges in relation to near-fault ground-motion and isolator characteristics”, *Earthquake Spectra*; 22(4):887–907.
- Dicleli M., Mansour, M.Y (2003) “Seismic retrofitting of highway bridges in Illinois using friction pendulum seismic isolation bearings and modeling procedures”, *Engineering Structures*; 25(9):1139–1156.
- European Standard EN 1998-1:2004 Eurocode 8 “Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, Comite Europeen de Normalisation, Brusells, 2004.
- Ghersi, A., Rossi, P.P (2001) “Influence of bi-directional ground motions on the inelastic response of one-storey in-plan irregular systems”, *Engineering Structures*, 23, 579-591.
- Gheryani, M.H., Razak, A.H., Jameel, M. (2015) “Dynamic Response Changes of Seismic Isolated Building Due to Material Degradation of HDRB”, *Arab J Sci Eng* (2015), DOI: 10.1007/s13369-015-1794-7
- Hameed, A., Koo, Min-Se, Do, T.D, Jeong, J.H (2008) “Effect of Lead Rubber Bearing Characteristics on the Response of Seismic-isolated Bridges”, *KSCE Journal of Civil Engineering* 12(3):187-196 DOI:10.1007/s12205-008-0187-9

- Hayashikawa, T., Ruiz Julian, F.D (2004) “Effect of hardening of lead-rubber bearings on nonlinear behavior of highway viaducts under great earthquakes”, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No.3332
- Heaton, T.H, Hall, J.F, Halling, M.W, Wald, D.J (1995) “Near-Source Ground Motion and its Effects on Flexible Buildings”, Earthquake Spectra, doi: <http://dx.doi.org/10.1193/1.1585828>
- Hernandez, J.J, Lopez, O.A (2003) “Evaluation of combination rules for peak response calculation in three-component seismic analysis”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 1585-1602.
- Huang, B.W., Kuang, J.H., Tseng, J.G., Wang, J.C., Qiu, Y.X. (2015) “Seismic Analysis of a Viscoelastic Damping Isolator”, Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering Volume 2015, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/280625>
- Iervolino, I, Cornell, C.A (2005) “Record Selection for Nonlinear Seismic Analysis of Structures”, Earthquake Spectra, 21(3), pp. 685-713.
- International Code Council, Inc. (ICC) (2000) International Building Code, Birmingham, AL.
- Jangid, R.S. (2007) “Optimum lead-rubber bearings for near-fault motions”, Engineering Structures, Vol. 29, No. 10, pp. 2503-2513.
- Jangid, R.S, Kelly, J.M (2001) “Base isolation for near-fault motions”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics; 30(5):691–707.
- Jara M., Casas J.R (2006) “A Direct Displacement-Based Method for the Seismic Design of Bridges on Bi-linear Isolation Devices”, Engineering Structures 28(6), 869-879.
- Jara M., Jara J.M, Olmos B.A, Casas J.R (2012) “Improved Procedure for Equivalent Linearization of Bridges Supported on Hysteretic Isolators”, Engineering Structures 35, 99-106.
- Kalkan, E, Reyes, J.C (2013) “Significance of Rotating Ground Motions on Behavior of Symmetric- and Asymmetric-plan Structures: Part 2. Multi-story Structures”, Earthquake Spectra, doi: <http://dx.doi.org/10.1193/072012EQS242M>.
- Kalpakidis, I.V., Constantinou, M.C. (2008) “Effects of heating and load history on the behavior of lead-rubber bearings”, Technical Report MCEER-08-0027, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, State University of New York at Buffalo.

- Kalpakidis, I.V, Constantinou, M.C (2009a) “Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearing. I:Theory”, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 135, 1440-1449.
- Kalpakidis, I.V, Constantinou, M.C (2009b) “Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearing. II:Verification of theory”, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 135,1450-1461.
- Kalpakidis, I.V, Constantinou, M.C, Whittaker, A.S (2010) “Modeling strength degradation in lead-rubber bearings under earthquake shaking”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39, 1533-1549.
- Kostinakis, K.G, Athanatopoulou, A. M, Avramidis, I.E (2013) “Evaluation of inelastic response of 3D single story R/C frames under bi-directional excitation using different orientation schemes”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11, 637-661.
- Kunde, M.C, Jangid, R.S. (2003) “Seismic behavior of isolated bridges: A state-of-the-art review”, *Electronic Journal of Structural Engineering, Australia*, Vol. 3, pp. 140-170.
- Lee, D., Constantinou, M.C. (2016) “Further results on the heating of single and multi-core lead-rubber bearings and dampers”, *Bull Earthquake Eng* (2016) 14:999–1016, DOI 10.1007/s10518-015-9830-2
- Lopez, O.A, Chopra, A.K, Hernandez, J.J (2000) “Critical response of structures to multicomponent earthquake excitation”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 1759-1778.
- Lopez, O.A, Chopra, A.K, Hernandez, J.J (2001) “Evaluation of combination rules for maximum response calculation in multicomponent seismic analysis”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 1379-1398.
- Lopez, O.A, Torres, R. (1996) “Determination of maximum structural response to two horizontal ground motion components applied along any arbitrary directions, for application to building codes”, *Proc. XI world conference on earthquake engineering, Acapulco, Mexico*
- Lopez, O.A, Torres, R. (1997) “The critical angle of seismic incidence and the maximum structural response”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 881-894
- Maleki, S., Bisadi, V. (2006) “Orthogonal effects in seismic analyses of skewed bridges”, *J. Bridge Eng.*, 11(1), 122–130.
- Matsagar, V.A, Jangid, R.S (2004) “Influence of Isolator Characteristics on the Response of Base-Isolated Structures”, *Engineering Structures*, 26, pp. 1735-1749.

- Mavronicola, E.A, Polycarpou, P.C, Komodromos, P. (2016) “Spatial seismic modeling of base-isolated buildings pounding against moat walls: effects of ground motion directionality and mass eccentricity”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Earthquake Engng Struct. Dyn.2016, DOI: 10.1002/eqe.2850
- Mazza, F., Mazza, M. (2016) “Nonlinear seismic analysis of irregular r.c. framed building base-isolated with friction pendulum system under near-fault excitations”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.08.028>
- Menun, C., Der Kiureghian, A. (1998) “A replacement for the 30%, 40%, and SRSS rules for multicomponent seismic analysis”, *Earthquake Spectra*, 14, 153-163.
- Mokha, A.S., Constantinou, M.C., Reinhorn A.M. (1993) “Verification of friction model of teflon bearings under triaxial load. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*; 119(1):240–261.
- Moschonas, I.F, Kappos, A.J (2013) “Assessment of concrete bridges subjected to ground motion with an arbitrary angle of incidence: static and dynamic approach”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11, 581-605.
- Mosqueda, G., Whittaker, A.S, Fenves, G.L (2004) “Characterization and modeling of friction pendulum bearings subjected to multiple components of excitation”, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 130, 433-442.
- Naeim, F., Kelly, J.M (1999) “Design of seismic isolated structures: From theory to practice”, Wiley, New York.
- Nagarajaiah, S., Sun, X. (2000) “Response of base isolated USC hospital building in Northridge earthquake”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE 126:1177–86.
- Najafi, L.H, Tehranizadeh, M (2015) “Ground Motion Selection and Scaling in Practice”, DOI: 10.3311/PPci.7808
- Özdemir, G. (2010) “Response of isolated structures under bi-directional excitations of near-field ground motions”, PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University
- Özdemir, G. (2014) “Lead Core Heating in LRBs Subjected to Bidirectional Ground Motion Excitations in Various Soil Types”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 43, 267-285.
- Özdemir, G. (2015) “Formulations for Equivalent Linearization of LRBs in order to Incorporate Effect of Lead Core Heating”, *Earthquake Spectra*, DOI: 10.1193/041913EQS107M.
- Özdemir, G., Akyüz, U. (2012) “Dynamic Analysis of Isolated Structures under Bi-directional Excitations of Near-Field Ground Motions”, *Shock and Vibration*, 19, 505-513.

- Özdemir, G., Akyüz, U. (2013) “Sismik izolasyonu LRB ile yapılan yapıların çift doğrultulu deprem hareketleri altındaki davranışının kurşun çekirdekdeki ısınmaya bağlı değişimi”, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül 2013 – MKÜ – HATAY
- Özdemir, G., Avşar, Ö., Arguç, S. (2015) “Change in superstructure response of a base isolated multi-story building depending on lead core heating”, Eighth National Conference on Earthquake Engineering, 11 May- 14 May 2015, Istanbul, Turkey
- Özdemir, G., Avşar, Ö., Bayhan, B. (2011) “Change in response of bridges isolated with LRBs due to lead core heating”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31, 921-929.
- Özdemir, G., Bayhan, B. (2015) “Response of an Isolated Structure with Deteriorating Hysteretic Isolator Model”, Journal of Research on Engineering Structures & Materials 1 (2015) 1-10
- Özdemir, G., Constantinou, M.C (2010) “Evaluation of equivalent lateral force procedure in estimating seismic isolator displacements”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30 (2010) 1036–1042
- Özdemir, G., Dicleli, M. (2012) “Effect of lead core heating on the seismic performance of bridges isolated with LRB in near-fault zones”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 41, 1989-2007.
- Özdemir, G., Gülkan, H.P. (2016) “Scaling Legitimacy for Design of Lead Rubber Bearing Isolated Structures Using a Bounding Analysis”, Earthquake Spectra: February 2016, Vol. 32, No. 1, pp. 345-366, doi: <http://dx.doi.org/10.1193/123113EQS300M>
- Özmen, A., Şadan, B., Kubin, J., Kubin, D., Akkar, S., Yücel, O., Aydın, H., Eroğlu, E. (2011) “Deprem yalıtımlı hastane tasarımı uygulaması: Erzurum Sağlık Kampüsü”, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, Ankara.
- Pant, D.R, Maharjan, M. (2016) “On the selection and scaling of ground motions for analysis of seismic isolated structures”, Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Earthq Eng & Eng Vib (2016) 15: 633-648, DOI: 10.1007/s11803-016-0354-9
- Park, Y.J, Wen, Y.K, Ang, A.H (1986) “Random vibration of hysteretic systems under bi directional ground motions”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 14, 543-557.
- Penzien, J., Watabe, M. (1974) “Characteristics of 3-D earthquake ground motions”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 3, 365-373.
- Rigato, A.B, Medina, R.A (2007) “Influence of angle of incidence on seismic demands for inelastic single-storey structures subjected to bi-directional ground motions”, Engineering Structures, 29, 2593-2601.

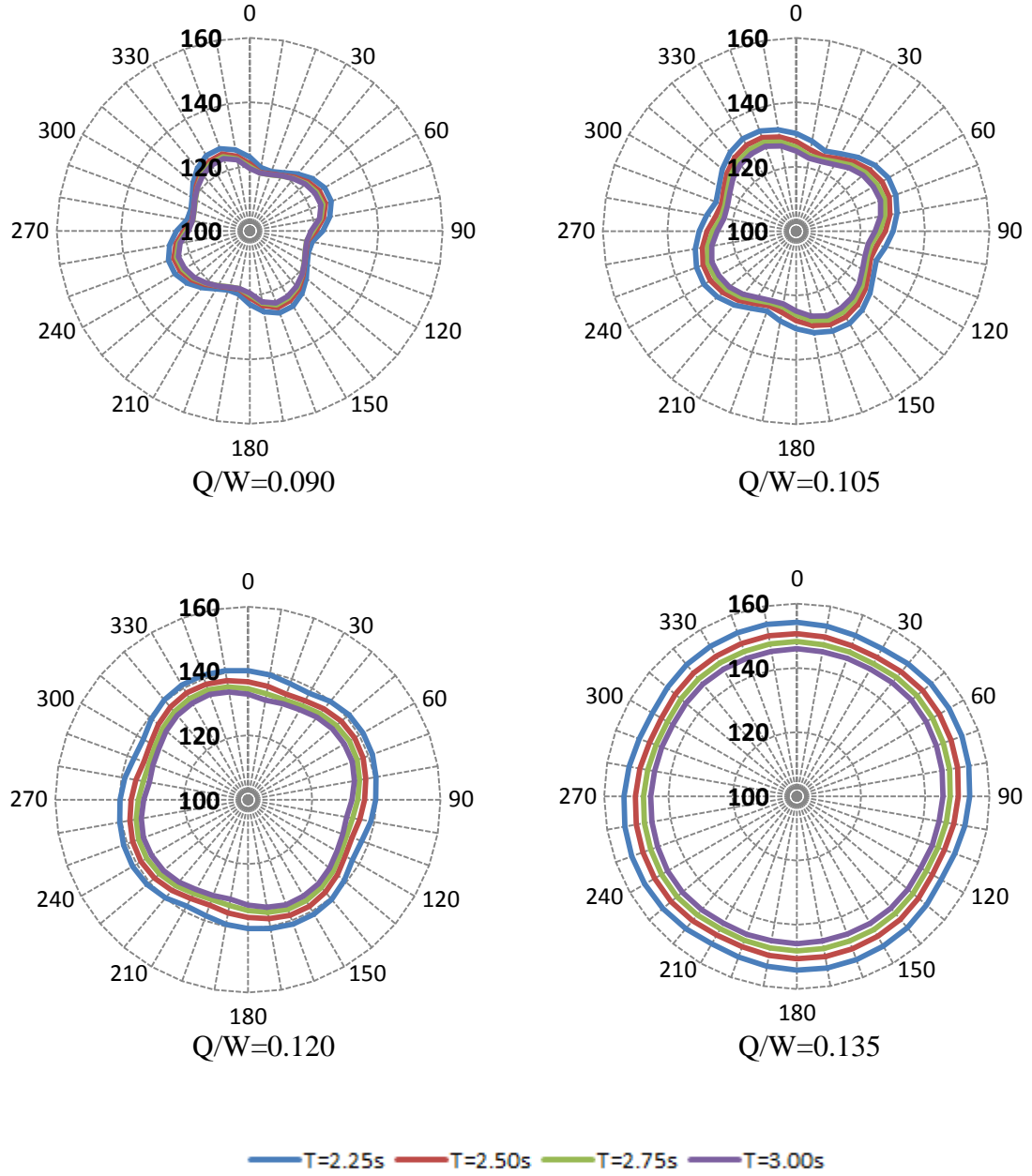
- Robinson, W.H. (1982) “Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 10(4):593–604.
- Shome, N, Cornell, C.A, Bazzurro, P, Carballo, J.E (1998) “Earthquakes, Records and Nonlinear Responses”, *Earthquake Spectra*, 14(3), pp. 469-500.
- Skinner, R.I, Beck, J.L, Bycroft, G.N (1975) “A practical system for isolating structures from earthquake attack”, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 3:3 (1975), 297–309.
- Skinner, R.I, Robinson, W.H, McVerry, GH (1993) “An Introduction to Seismic Isolation”, Wiley, Chichester, England.
- Smeby, W., Der Kiureghian, A. (1985) “Modal combinations rules for multicomponent earthquake excitation”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 13: 1-12
- Stewart, J.P, Chiou S.-J., Bray, J.D, Graves, R.W, Somerville, P.G, Abrahamson, N.A (2001) “Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design”, PEER Report 2001/09, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Tena-Colunga, A., Perez-Osornio, M.A (2006) “Design displacements for base isolators considering bidirectional seismic effects”, *Earthquake Spectra*, 22, 803-825.
- Warn, G.P, Whittaker, A.S (2004) “Performance estimates in seismically isolated bridge structures”, *Engineering Structures*, 26, 1261-1278.
- Warn, G.P, Whittaker, A.S, Constantinou, M.C (2007) “Vertical Stiffness of Elastomeric and Lead–Rubber Seismic Isolation Bearings”, DOI:10.161/(ASCE)0733-9445(2007)133:9(1227)
- Weisman, J, Warn, G.P (2012) “Stability of Elastomeric and Lead-Rubber Seismic Isolation Bearings”, American Society of Civil Engineers, DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000459
- Whittaker, A.S, Haselton, C.B, Hortacsu, A, Baker, J.W, Bray, J, Grant, D.N (2012) “Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response History Analyses”, *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 2012.
- Wilson, E., Button, M. (1982) “Three-dimensional dynamic analysis for multicomponent earthquake spectra”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10: 471-476

<http://yeni.tutev.org.tr/sismik-izalasyon-sistemleri-deprem-izalatorleri/>

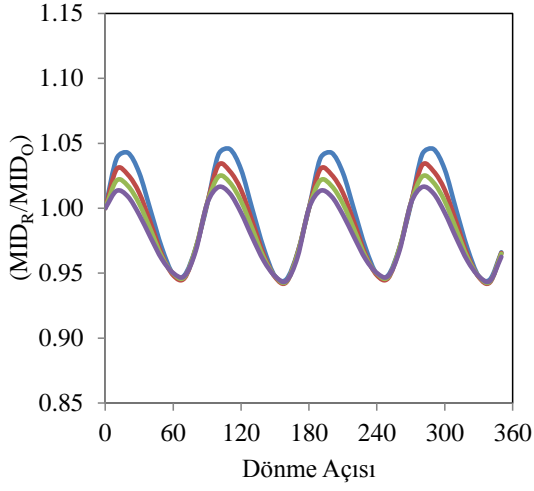
<http://www.oiles.co.jp/en/menshin/building/menshin/products/fps/>

EK

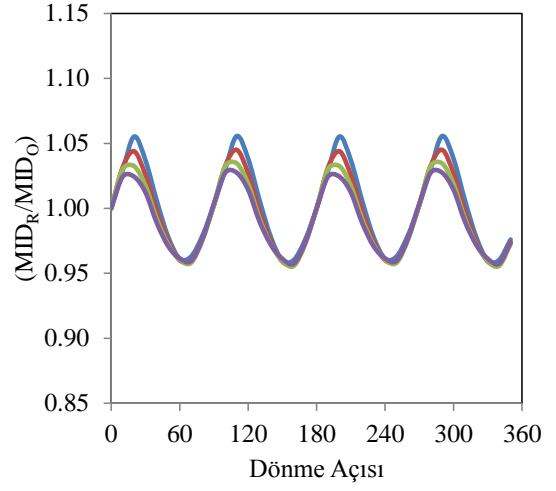
Deprem Grubu 1'e Ait Analiz Sonuçları



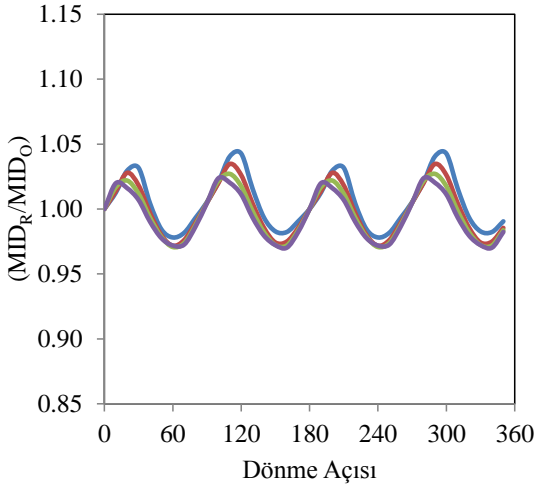
Şekil 1. Grup 1 Deprem 1- Maksimum İzolatör Deplasmanı



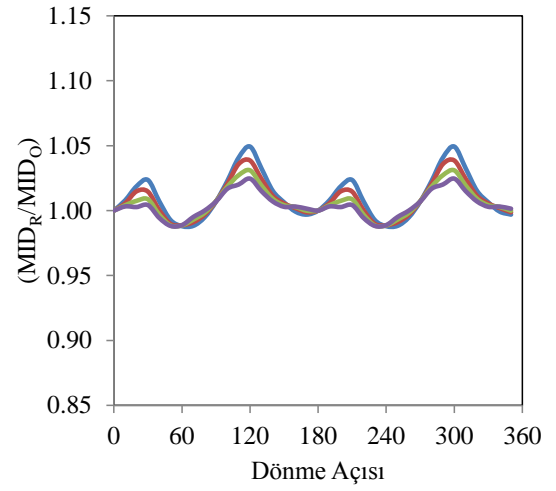
Q/W=0.090



Q/W=0.105



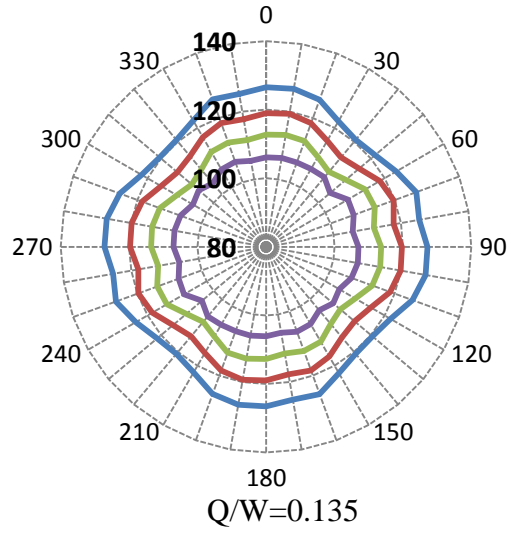
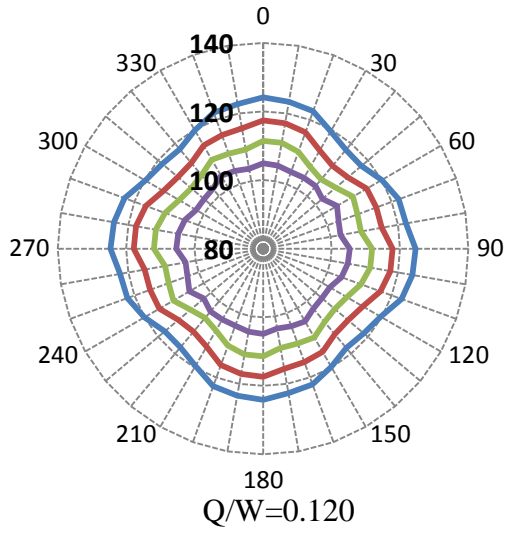
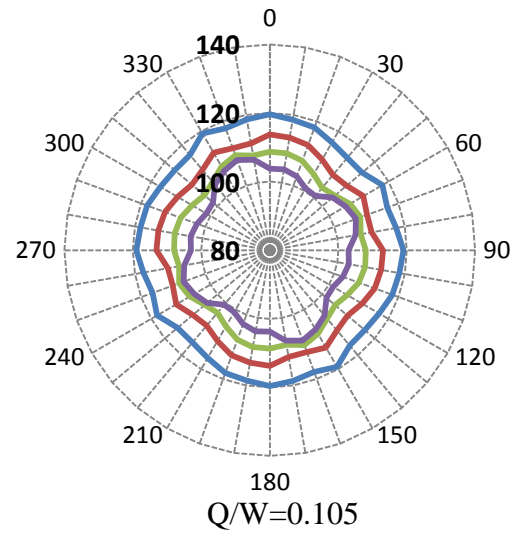
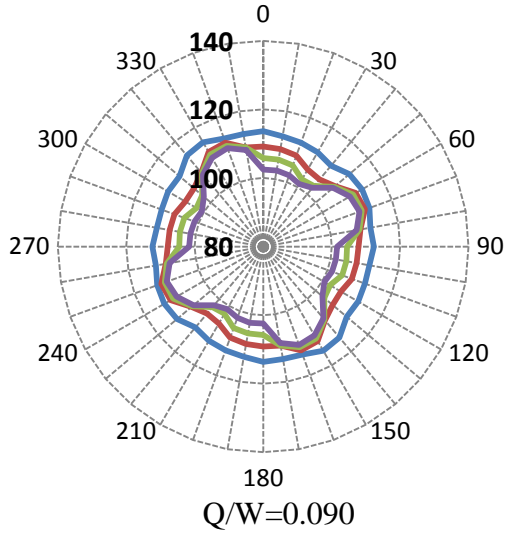
Q/W=0.120



Q/W=0.135

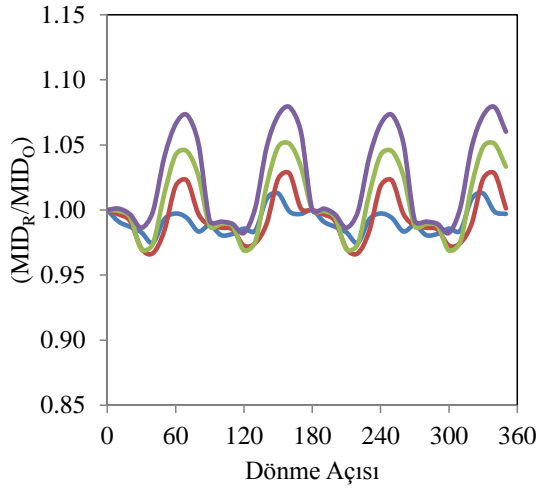
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 2. Grup 1 Deprem 1- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)

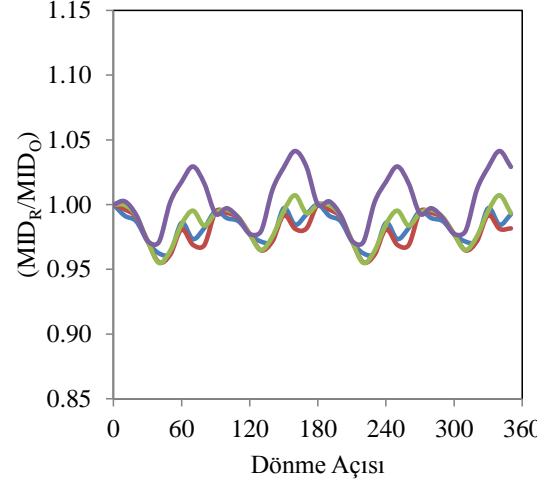


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

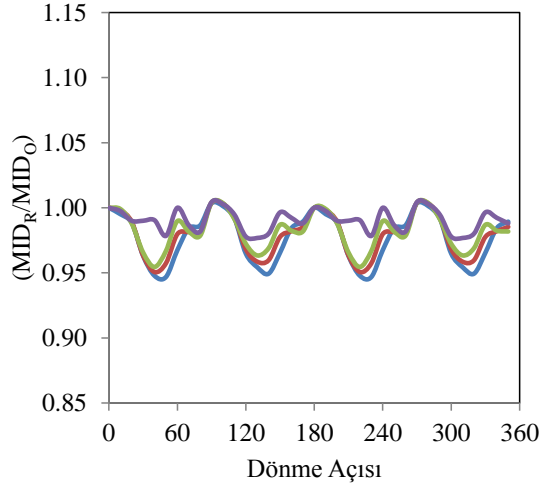
Şekil 3. Grup 1 Deprem 2- Maksimum İzolatör Deplasmanı



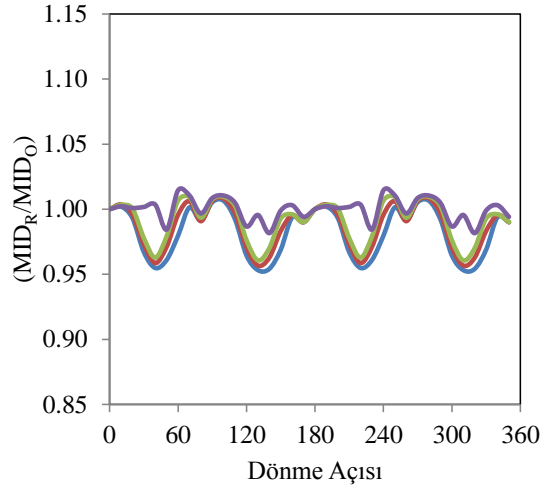
Q/W=0.090



Q/W=0.105



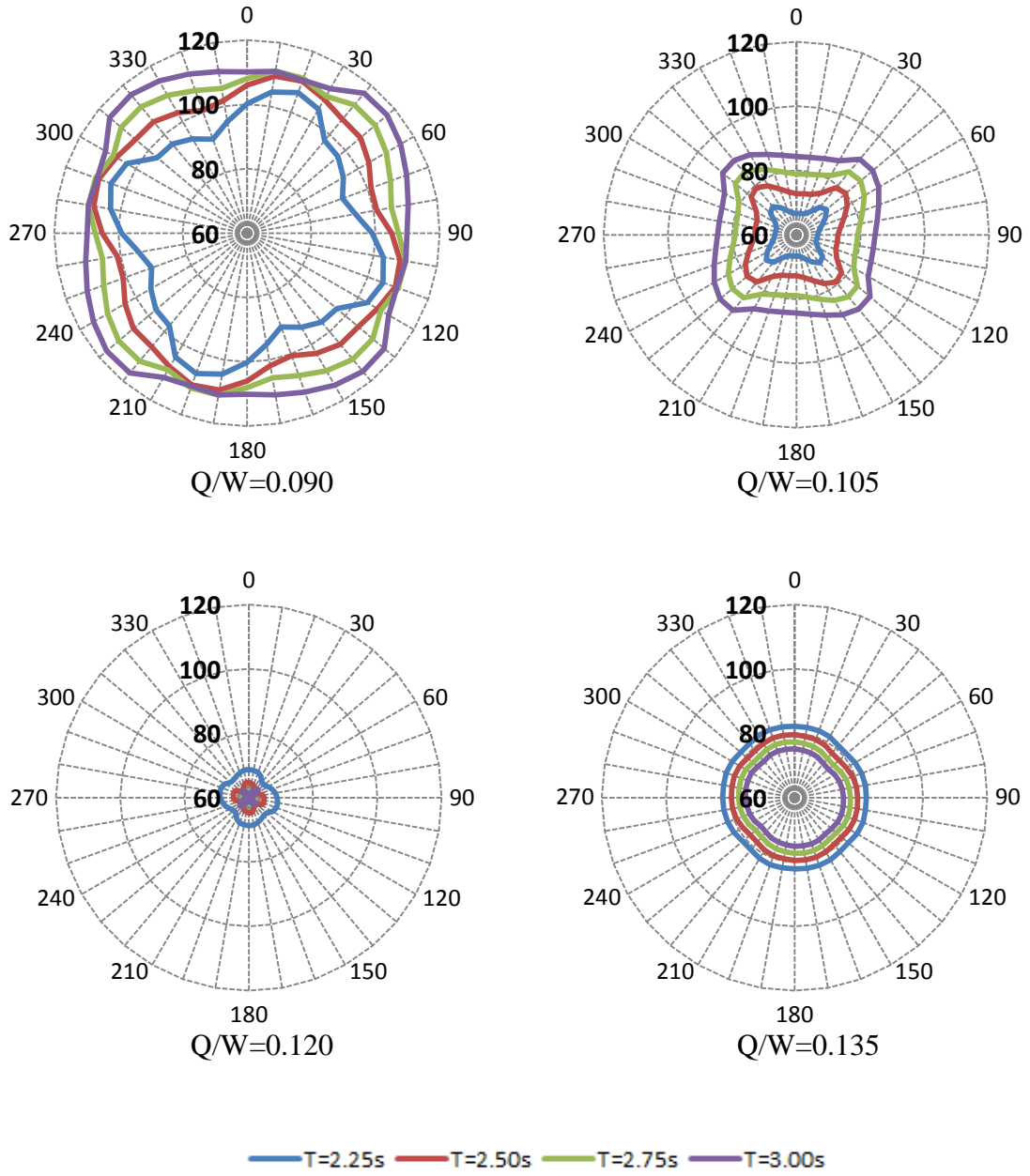
Q/W=0.120



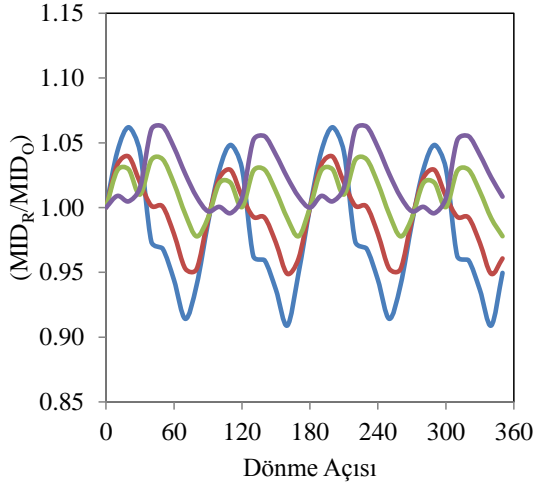
Q/W=0.135

— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

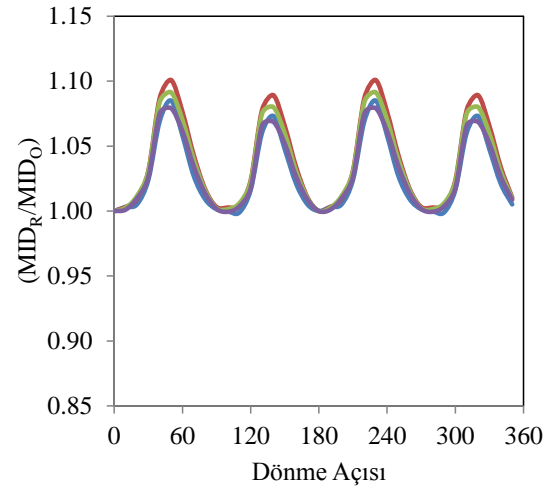
Şekil 4. Grup 1 Deprem 2- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)



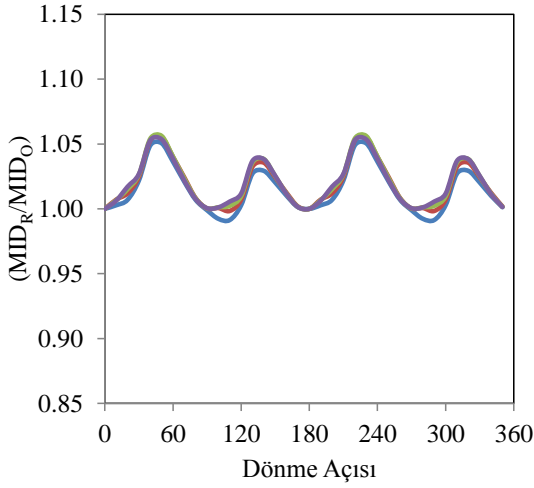
Şekil 5. Grup 1 Deprem 3- Maksimum İzolatör Deplasmanı



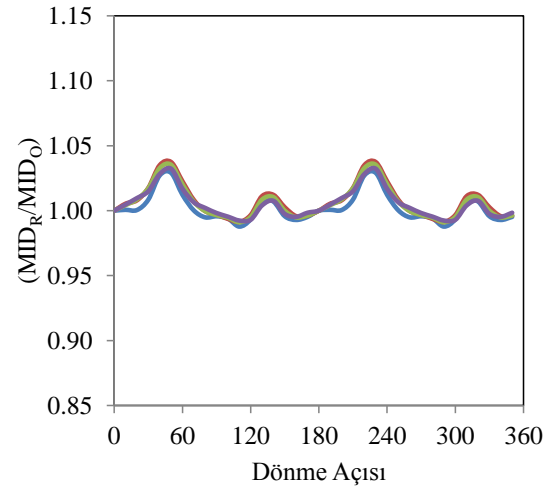
Q/W=0.090



Q/W=0.105



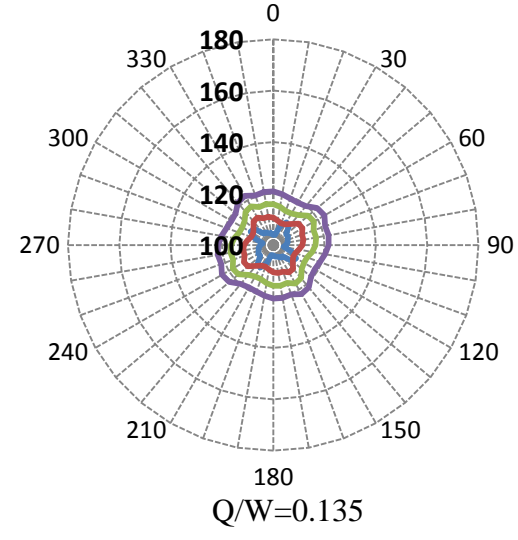
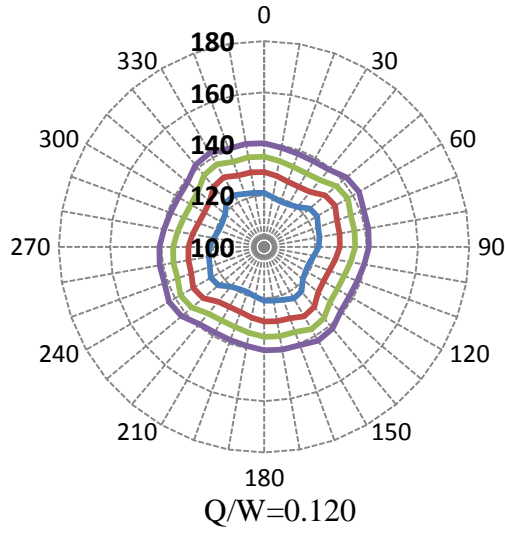
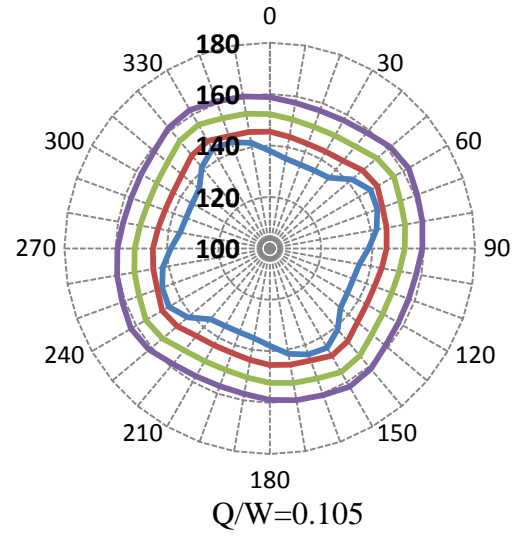
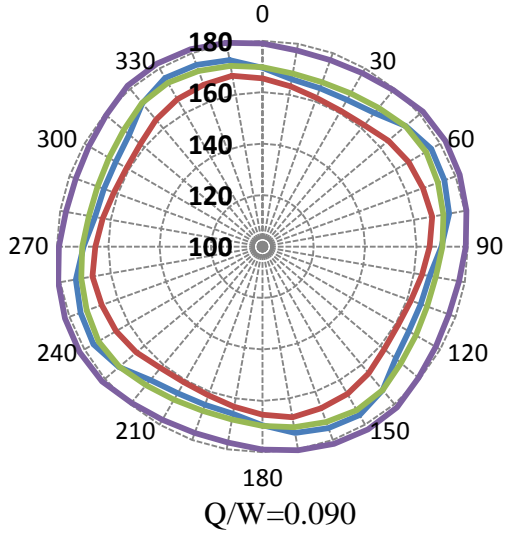
Q/W=0.120



Q/W=0.135

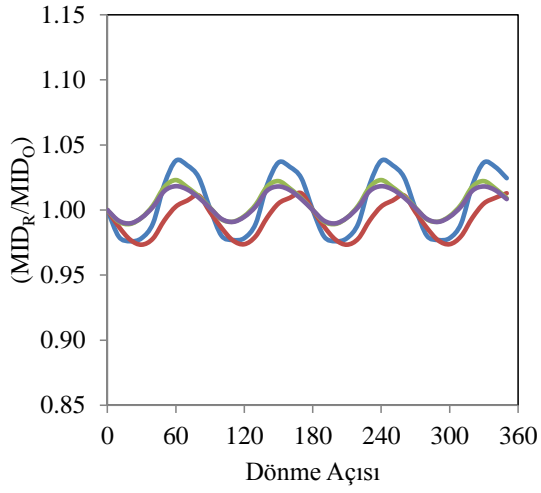
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 6. Grup 1 Deprem 3- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

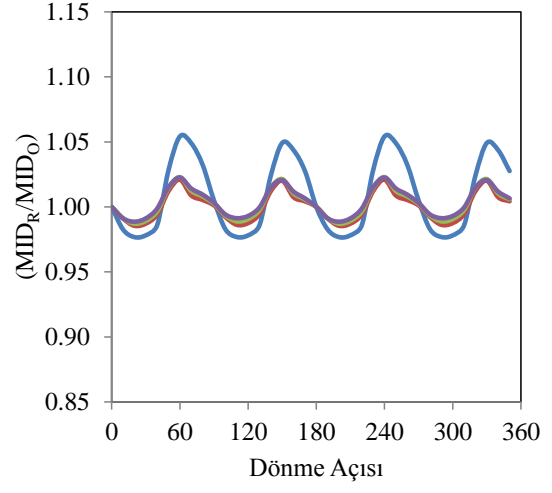


— T=2.25s
 — T=2.50s
 — T=2.75s
 — T=3.00s

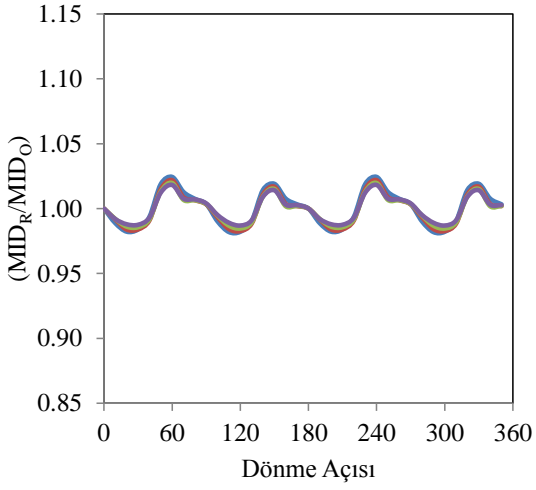
Şekil 7. Grup 1 Deprem 4- Maksimum İzolatör Deplasmanı



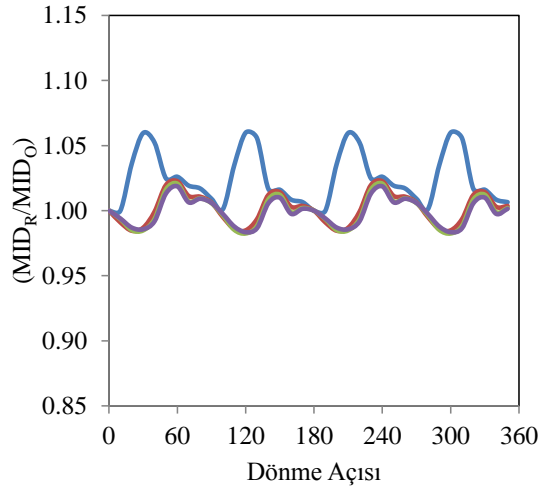
Q/W=0.090



Q/W=0.105



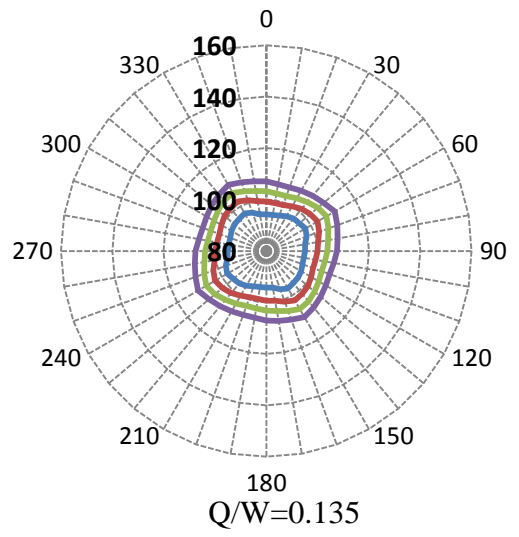
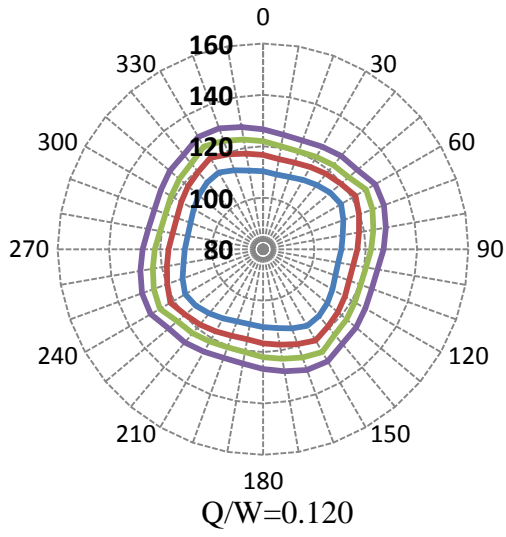
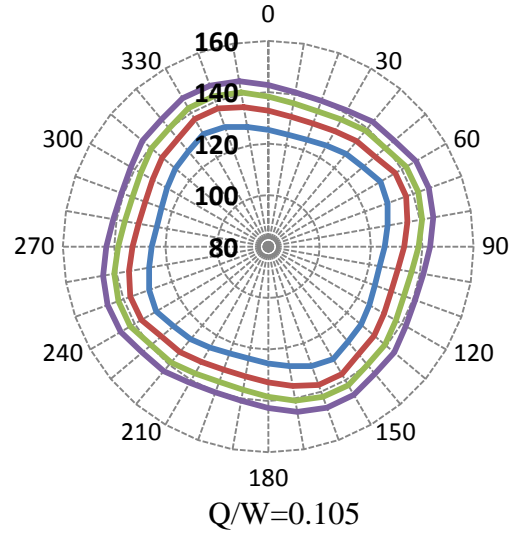
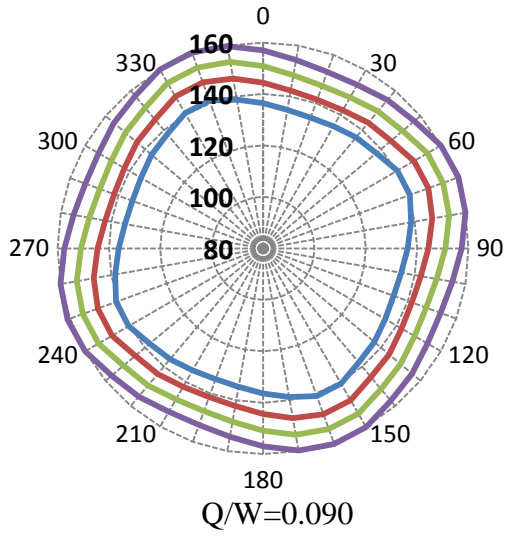
Q/W=0.120



Q/W=0.135

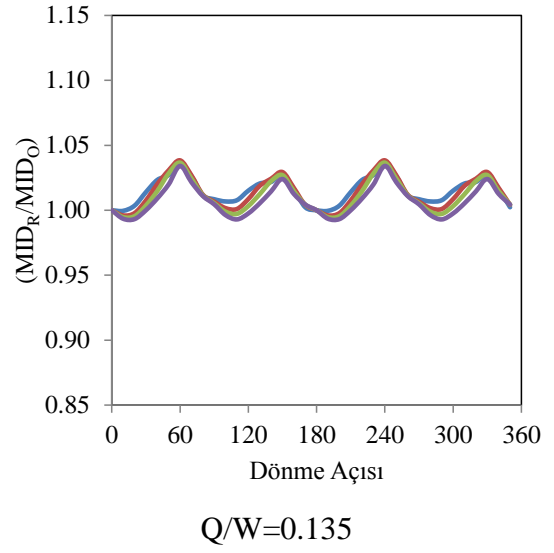
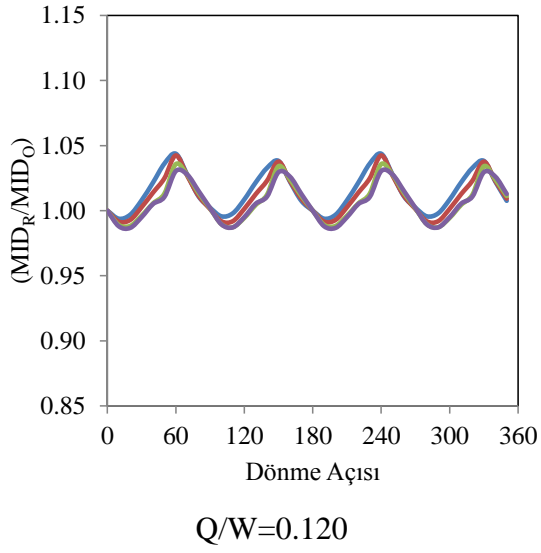
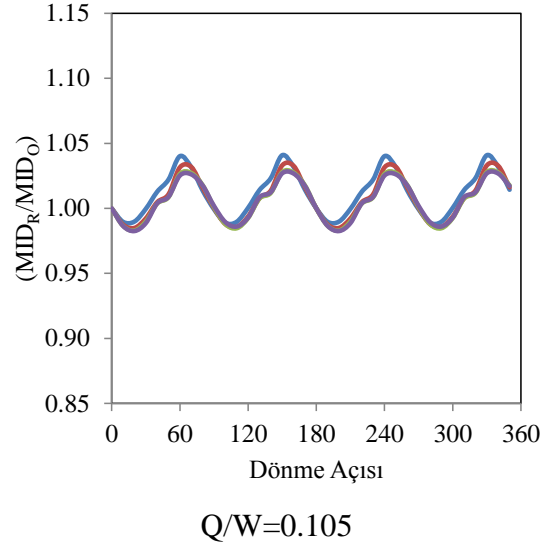
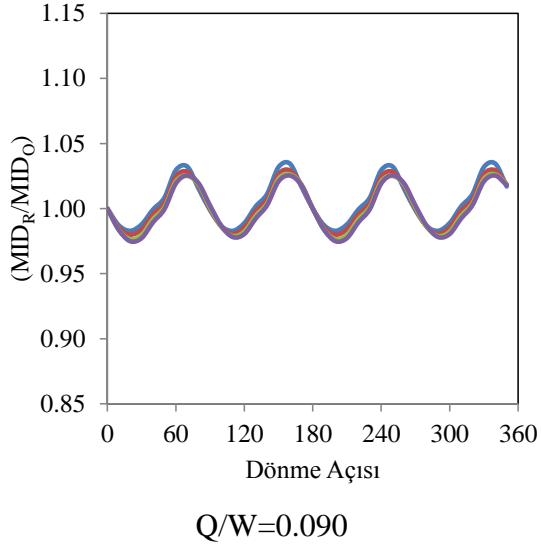
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 8.Grup 1 Deprem 4- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)



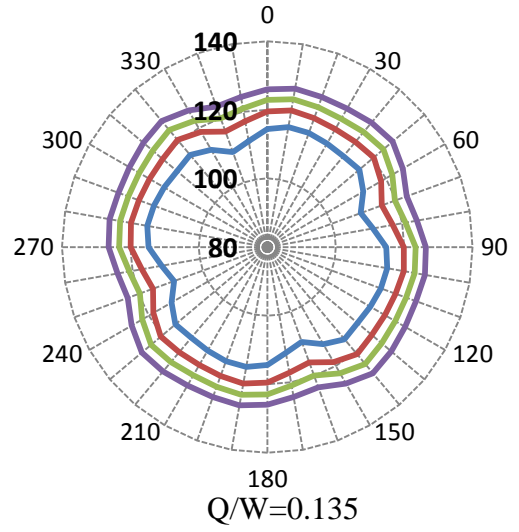
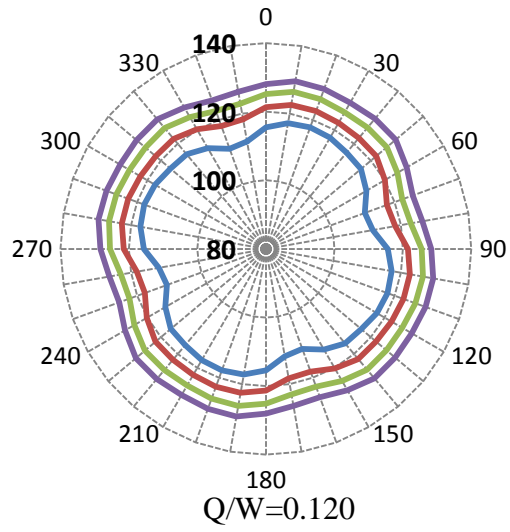
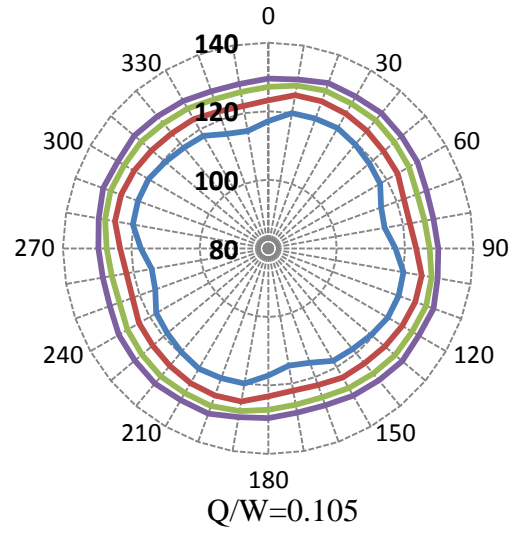
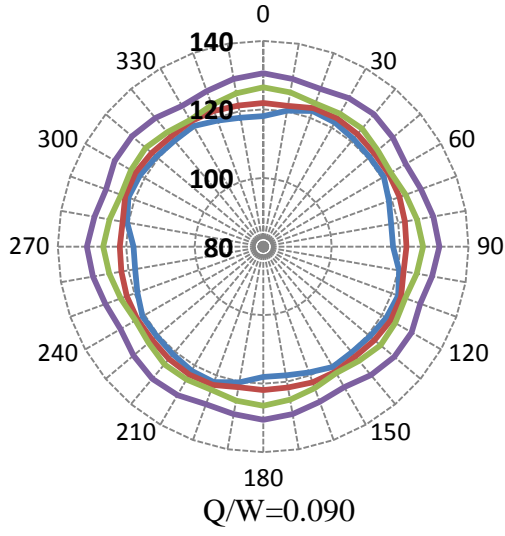
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 9. Grup 1 Deprem 5- Maksimum İzolatör Deplasmanı



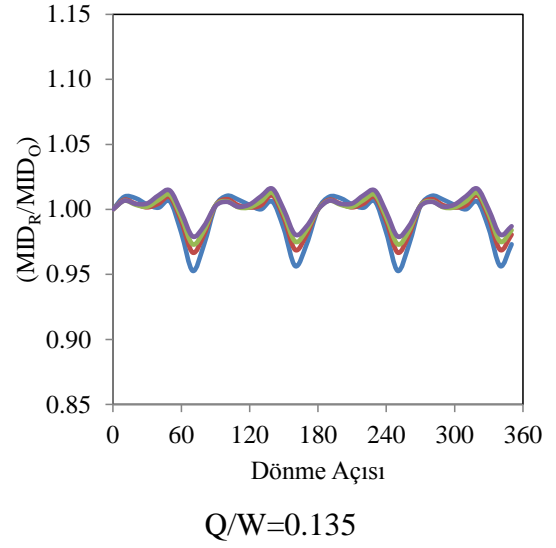
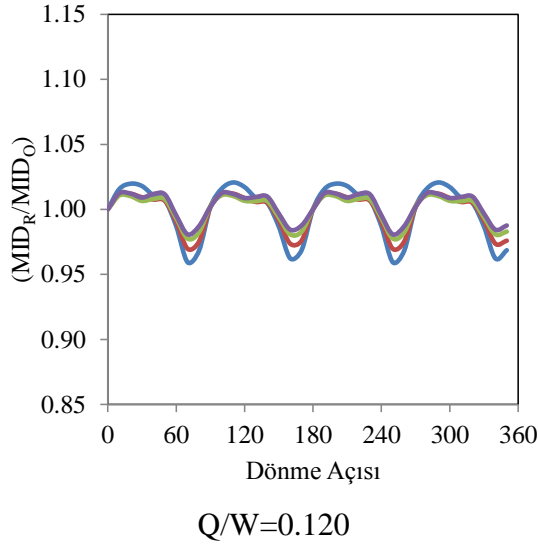
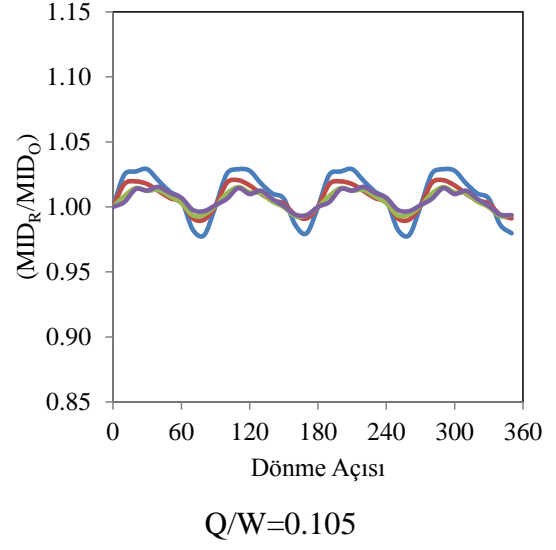
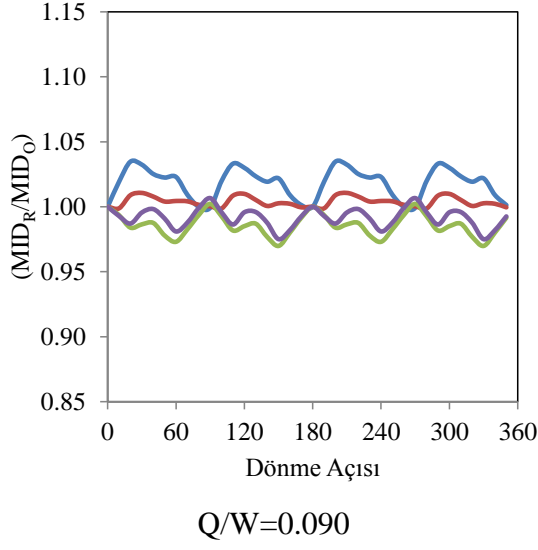
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 10. Grup 1 Deprem 5- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)



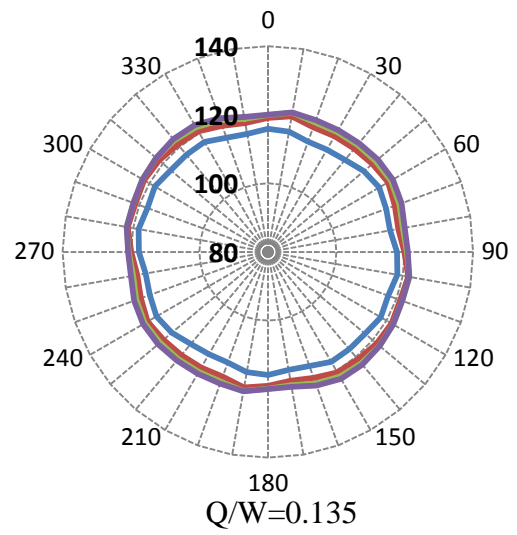
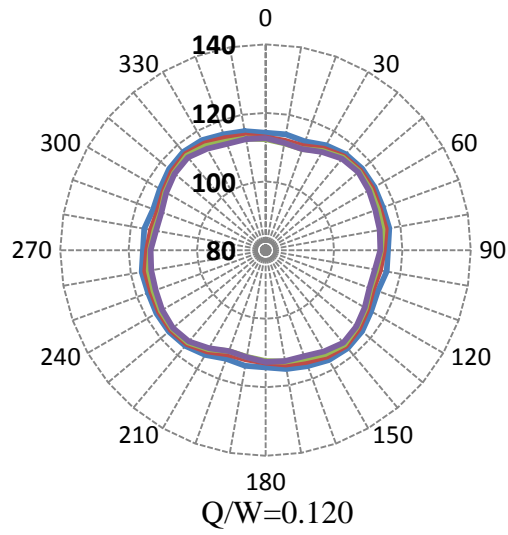
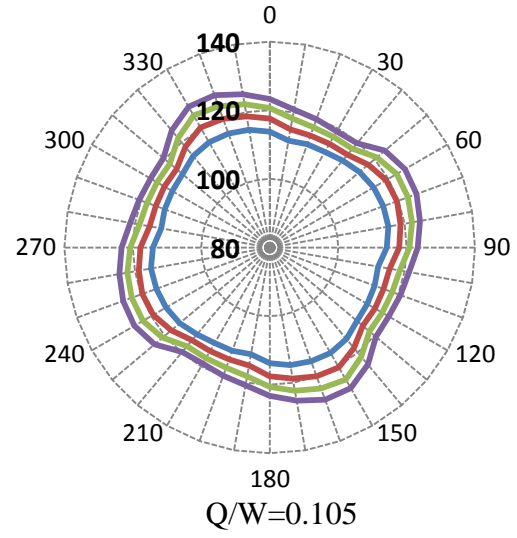
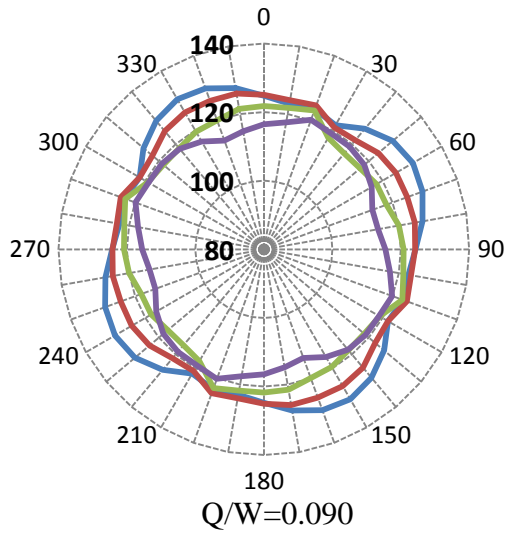
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 11. Grup 1 Deprem 6- Maksimum İzolatör Deplasmanı



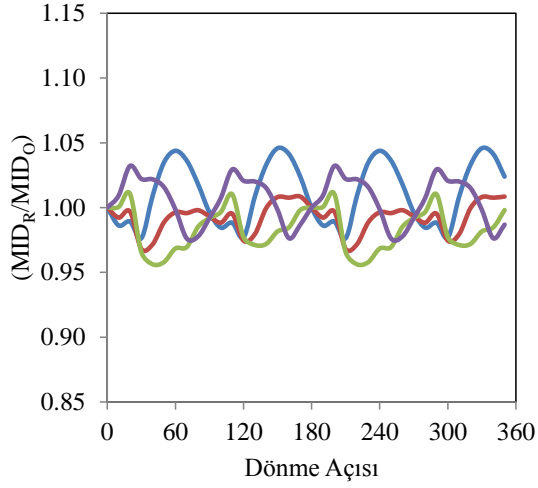
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 12. Grup 1 Deprem 6- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)

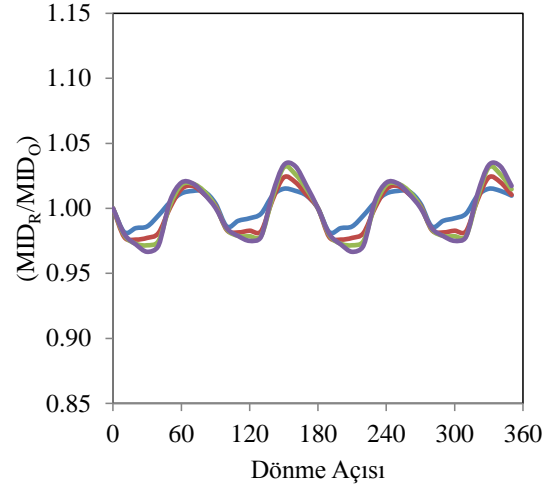


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

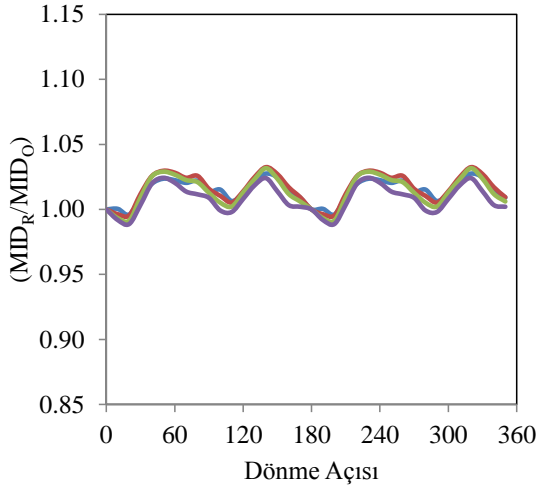
Şekil 13. Grup 1 Deprem 7- Maksimum İzolatör Deplasmanı



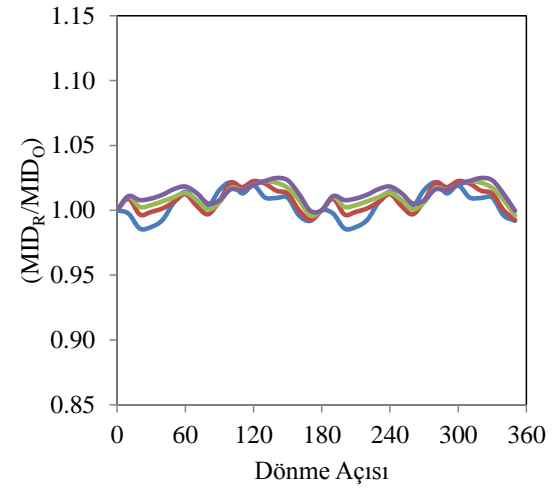
Q/W=0.090



Q/W=0.105



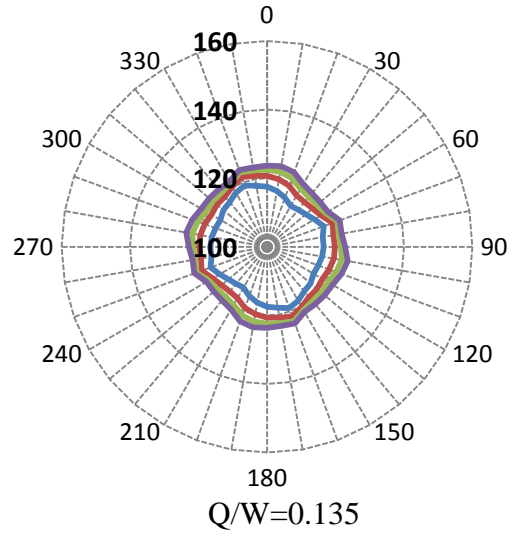
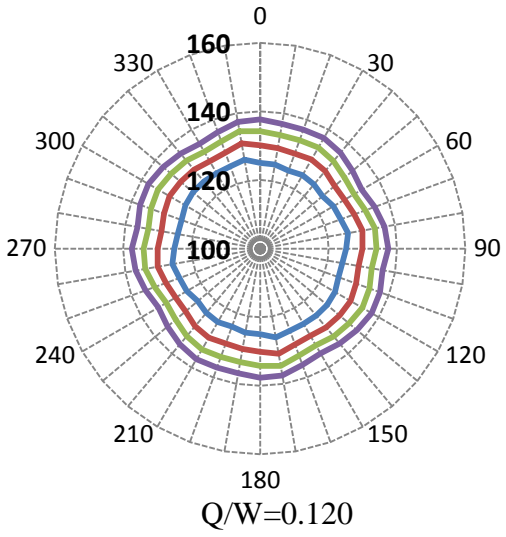
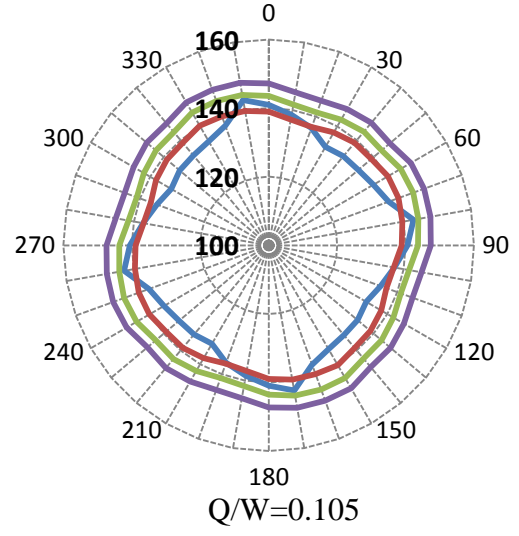
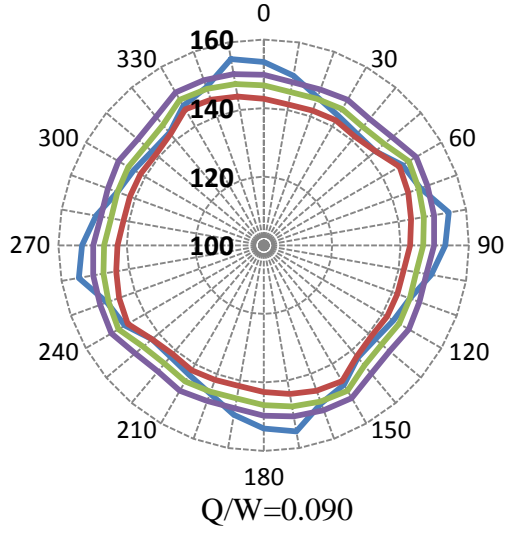
Q/W=0.120



Q/W=0.135

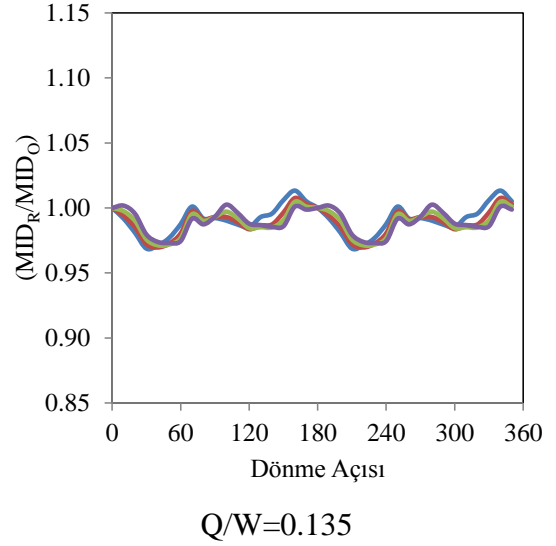
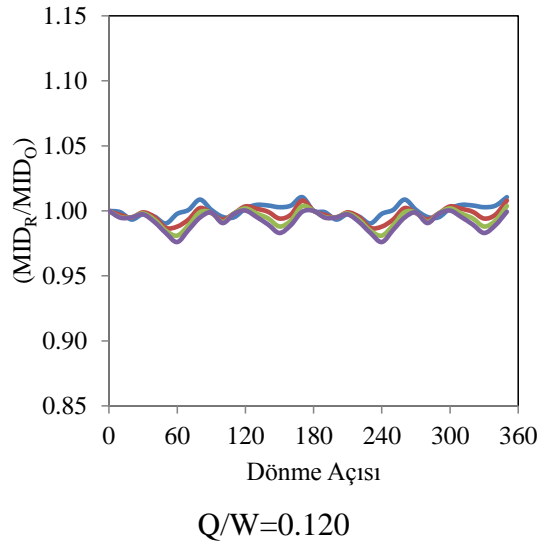
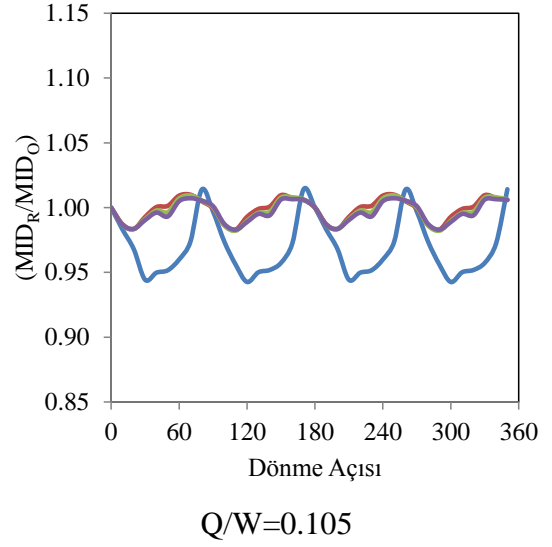
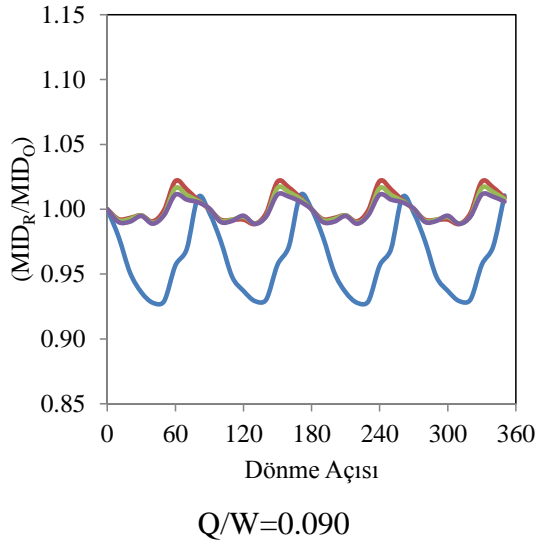
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 14. Grup 1 Deprem 7- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)



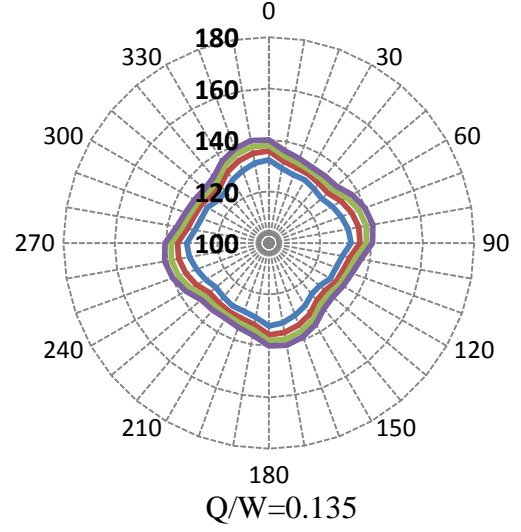
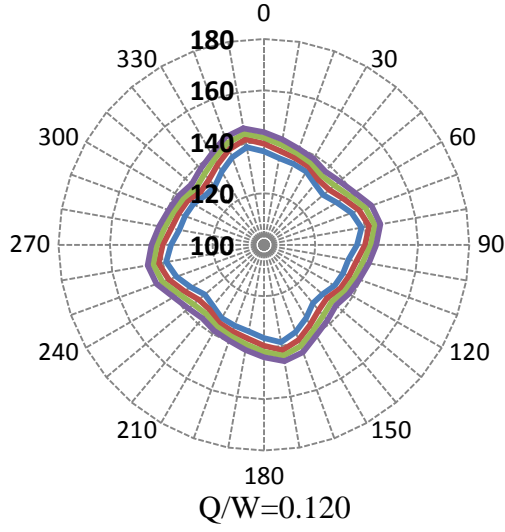
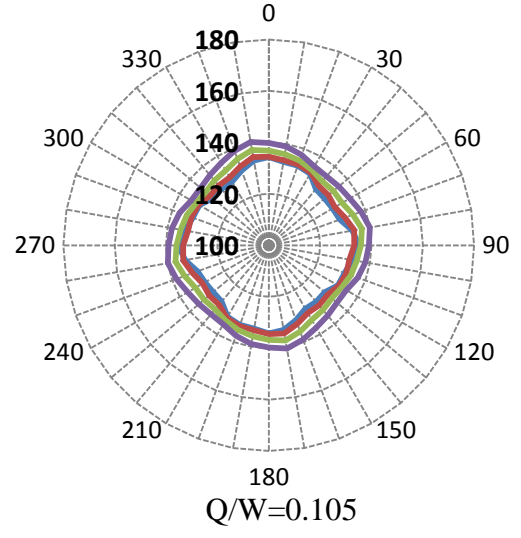
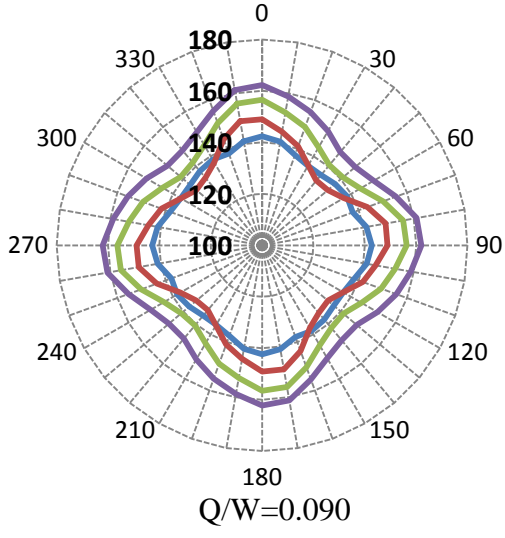
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 15. Grup 1 Deprem 8- Maksimum İzolatör Deplasmanı



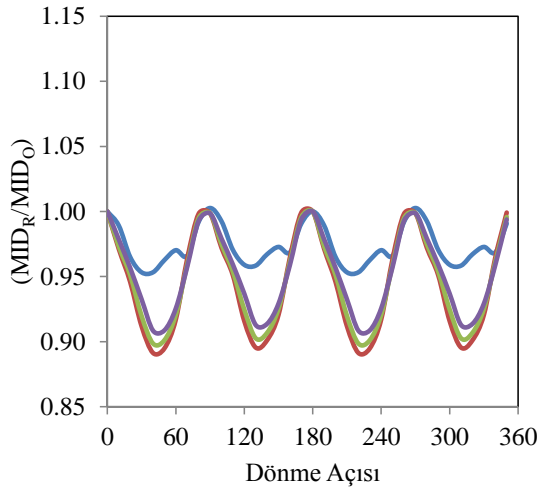
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 16. Grup 1 Deprem 8- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)

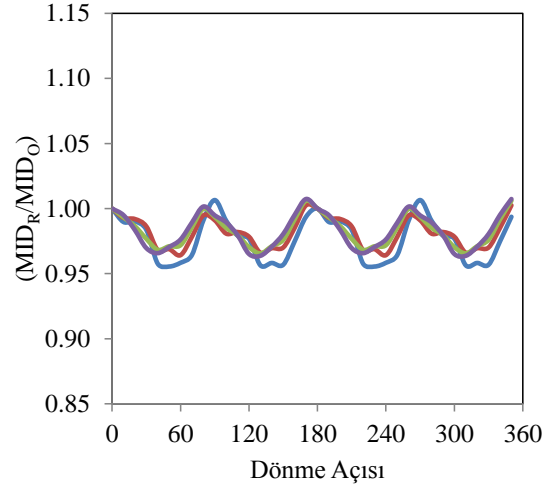


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

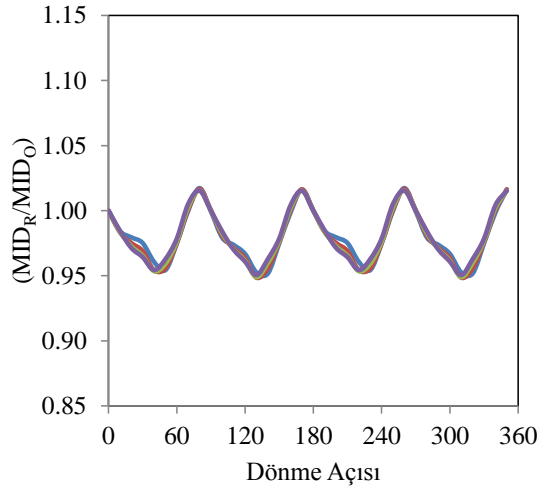
Şekil 17. Grup 1 Deprem 9- Maksimum İzolatör Deplasmanı



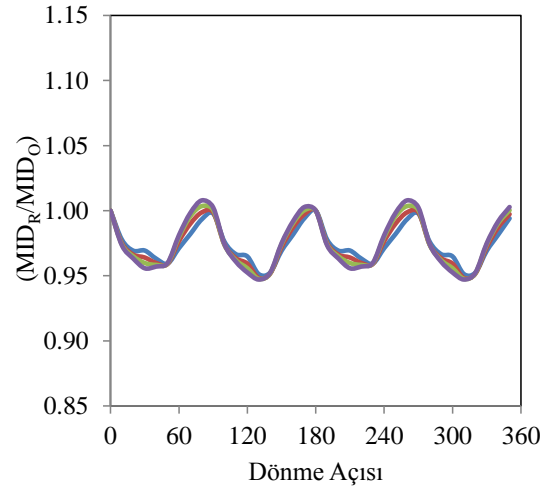
Q/W=0.090



Q/W=0.105



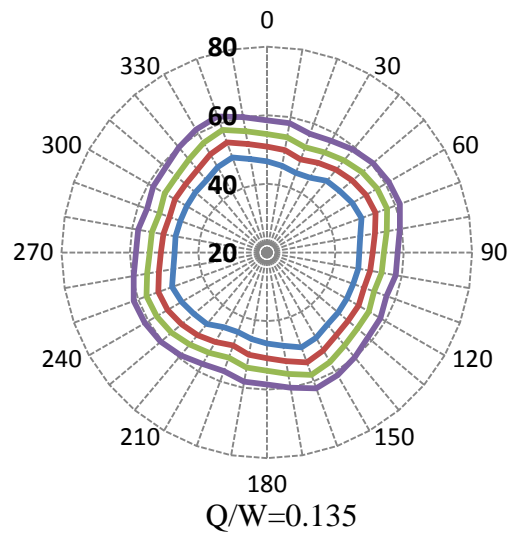
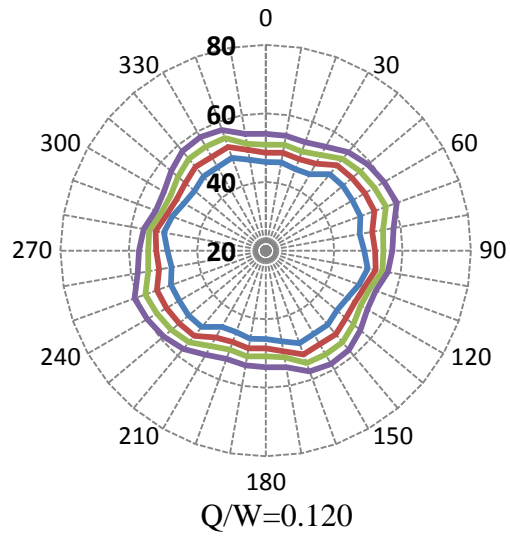
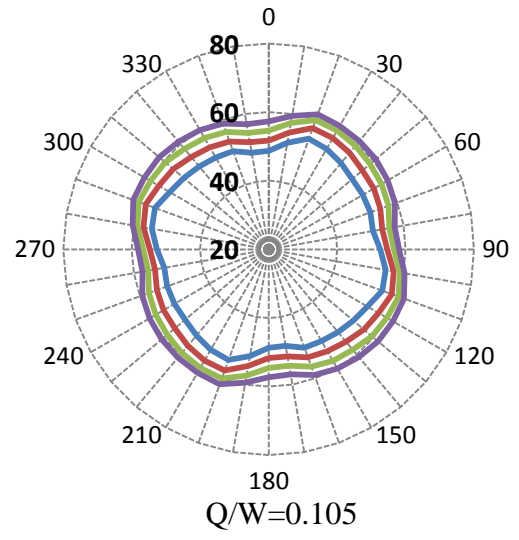
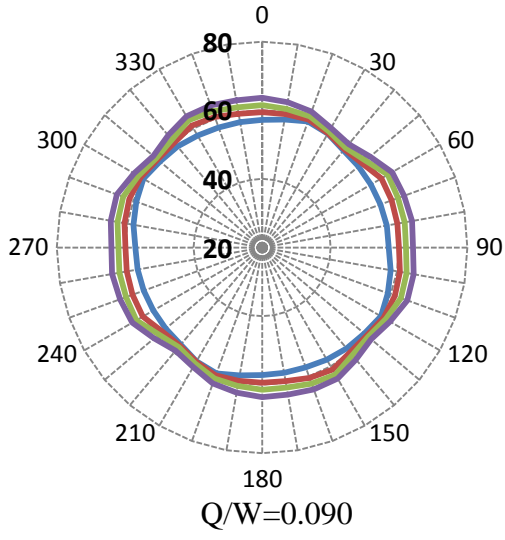
Q/W=0.120



Q/W=0.135

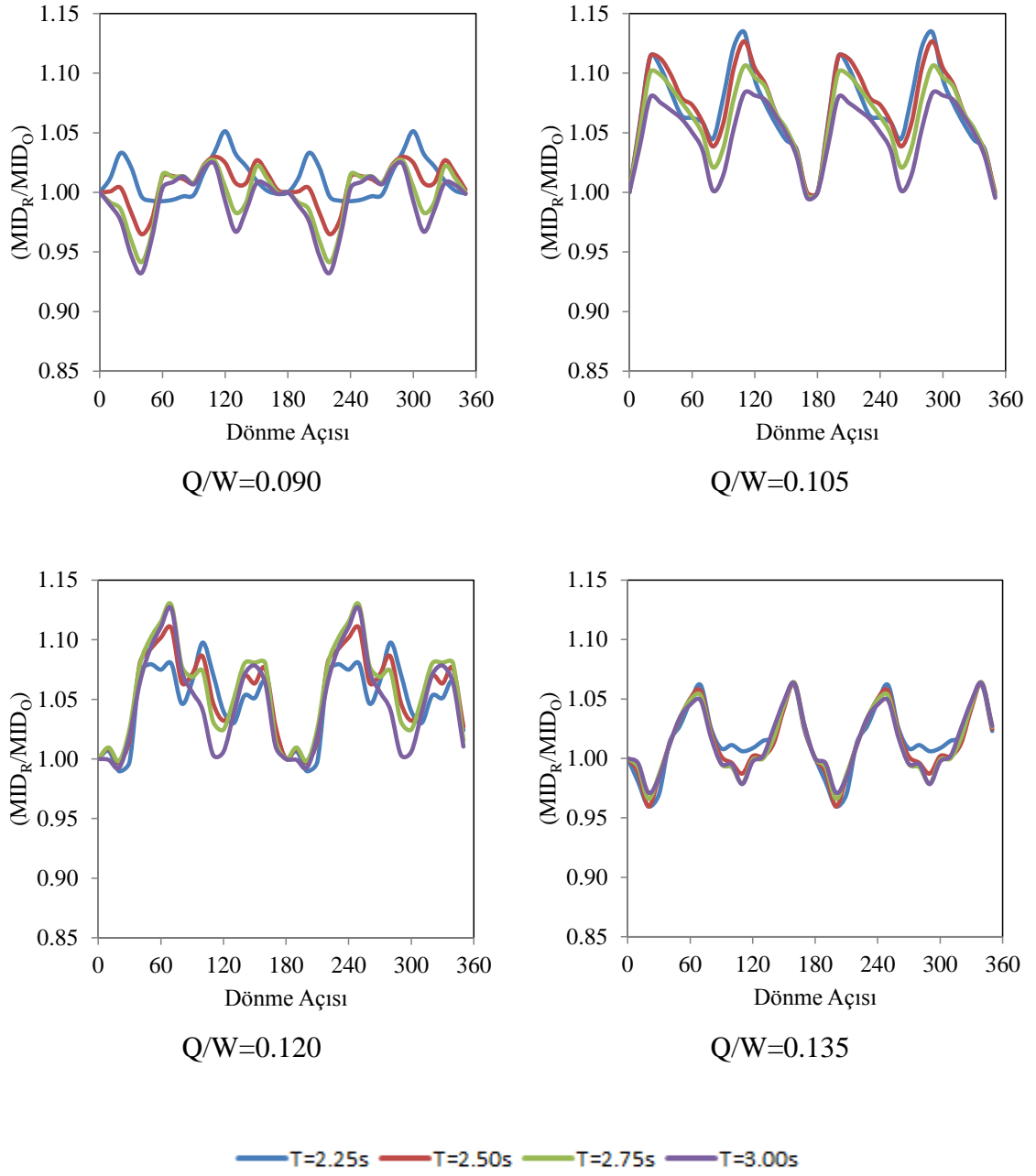
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 18. Grup 1 Deprem 9- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)



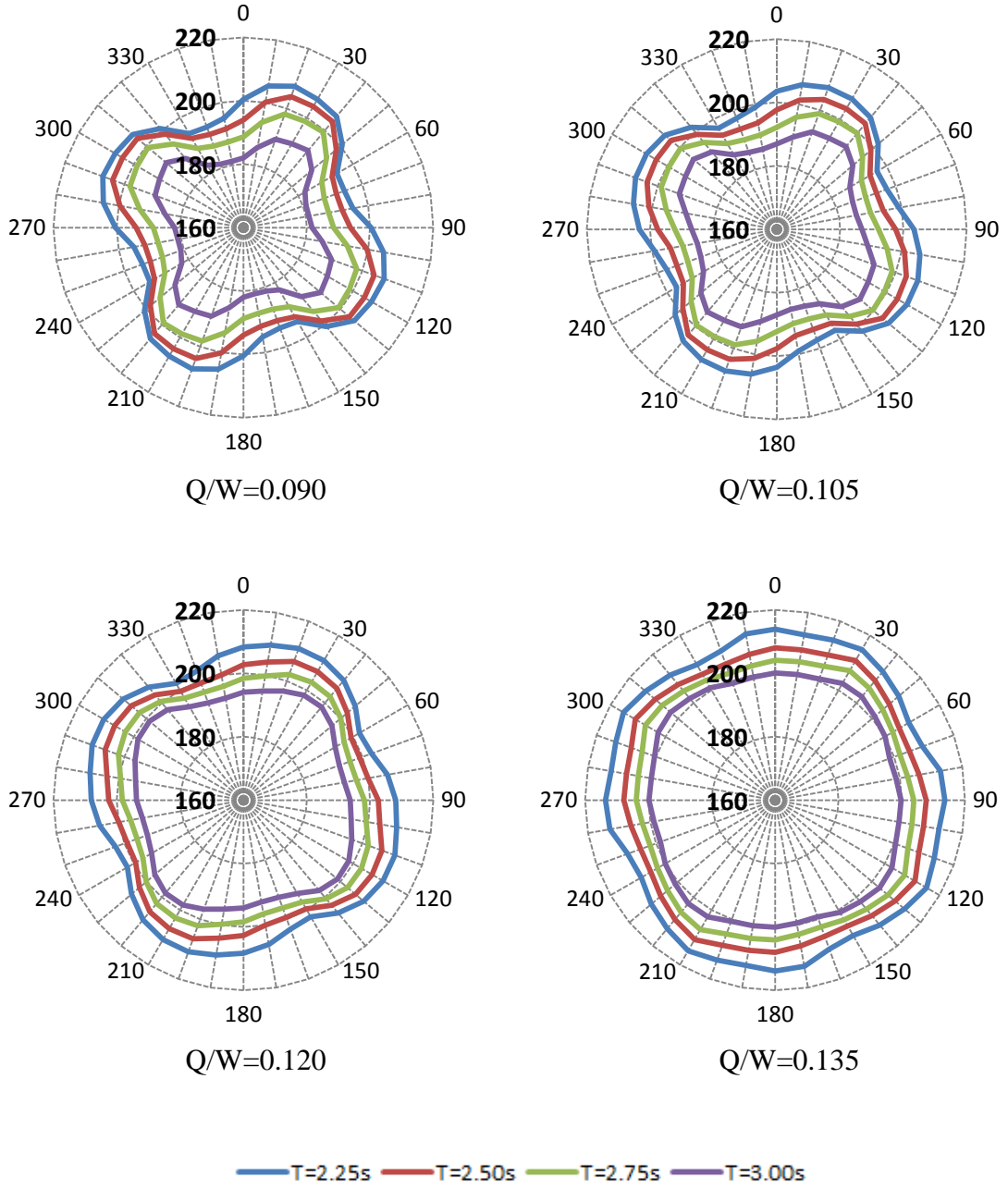
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 19. Grup 1 Deprem 10- Maksimum İzolatör Deplasmanı

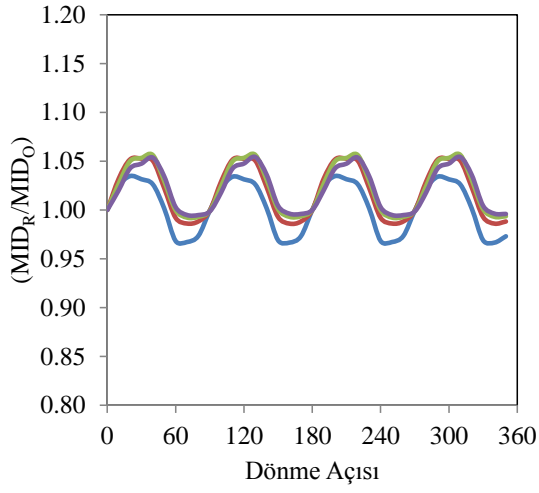


Şekil 20. Grup 1 Deprem 10- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)

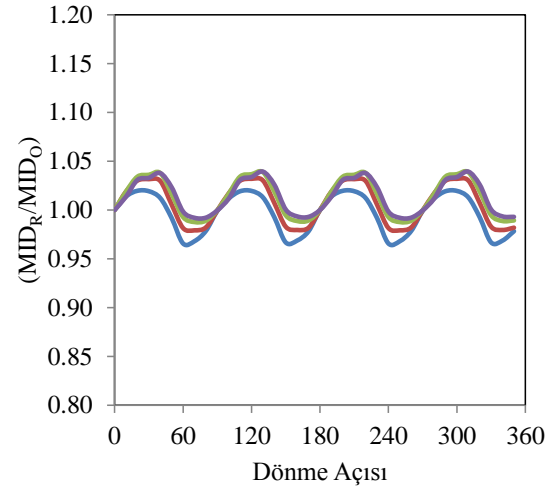
Deprem Grubu 2'ye Ait Analiz Sonuçları



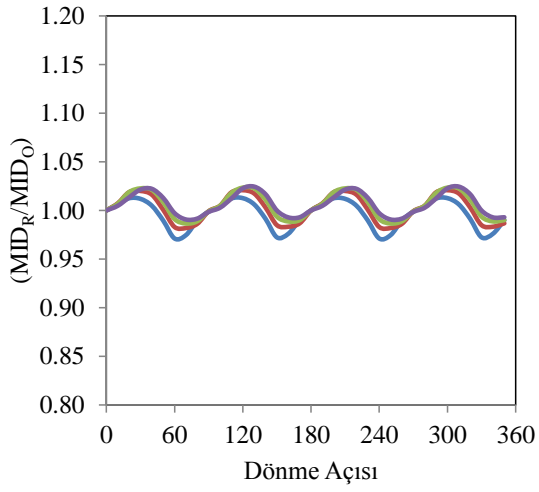
Şekil 21. Grup 2 Deprem 1- Maksimum İzolatör Deplasmanı



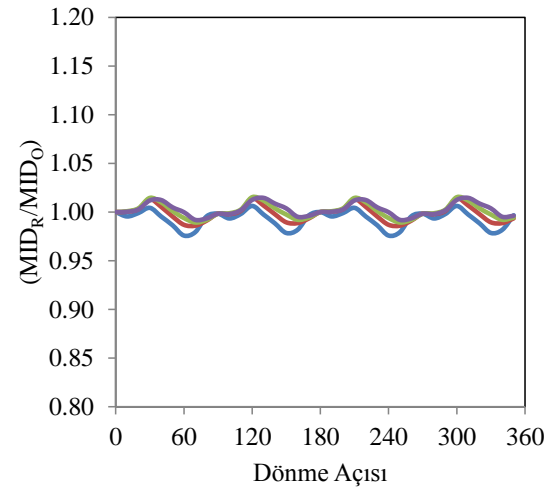
Q/W=0.090



Q/W=0.105



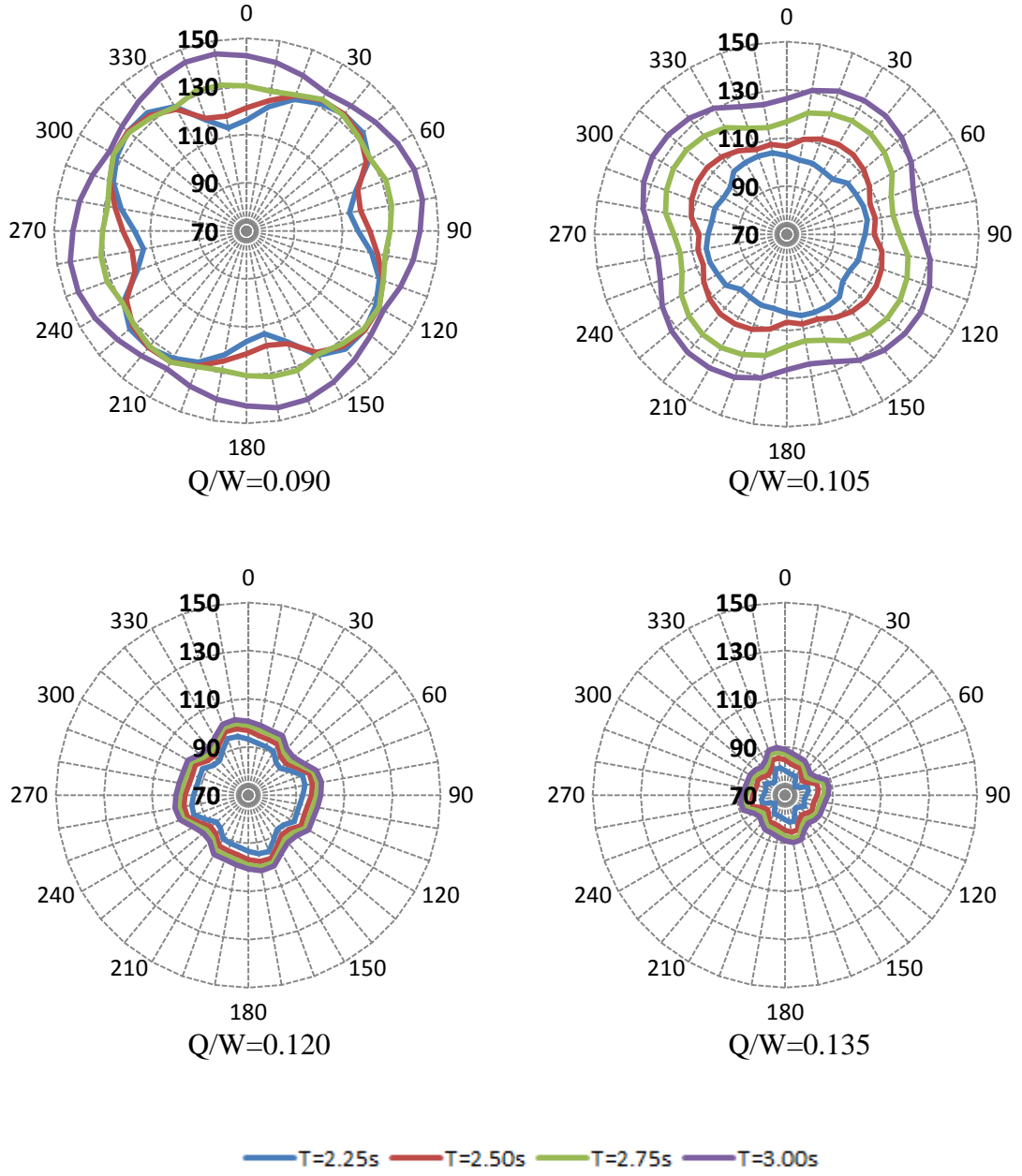
Q/W=0.120



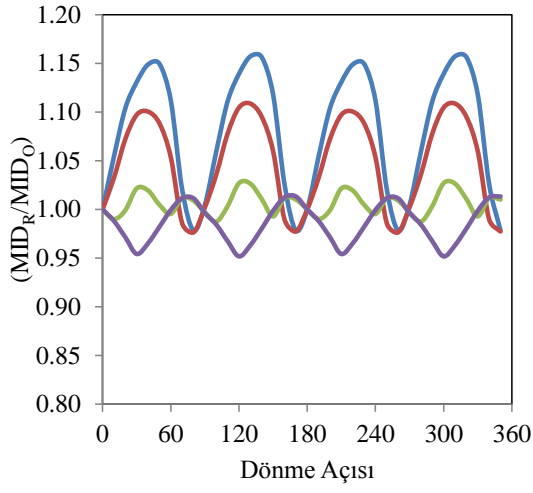
Q/W=0.135

— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

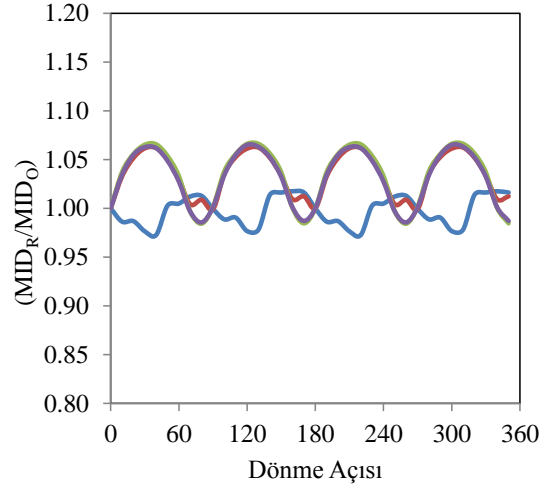
Şekil 22. Grup 2 Deprem 1- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)



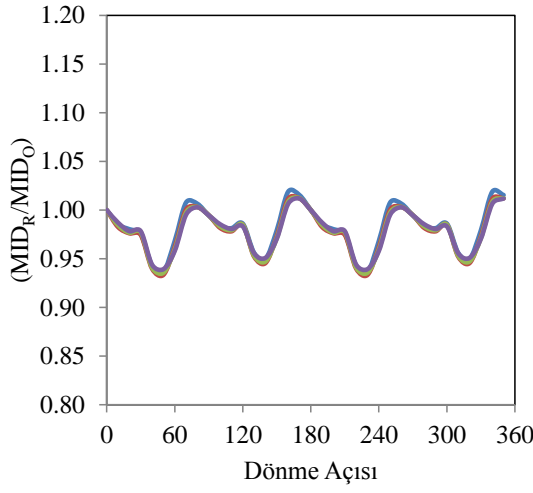
Şekil 23. Grup 2 Deprem 2- Maksimum İzolatör Deplasmanı



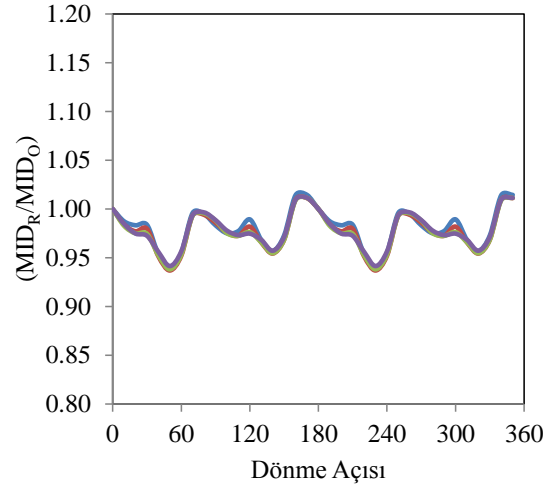
Q/W=0.090



Q/W=0.105



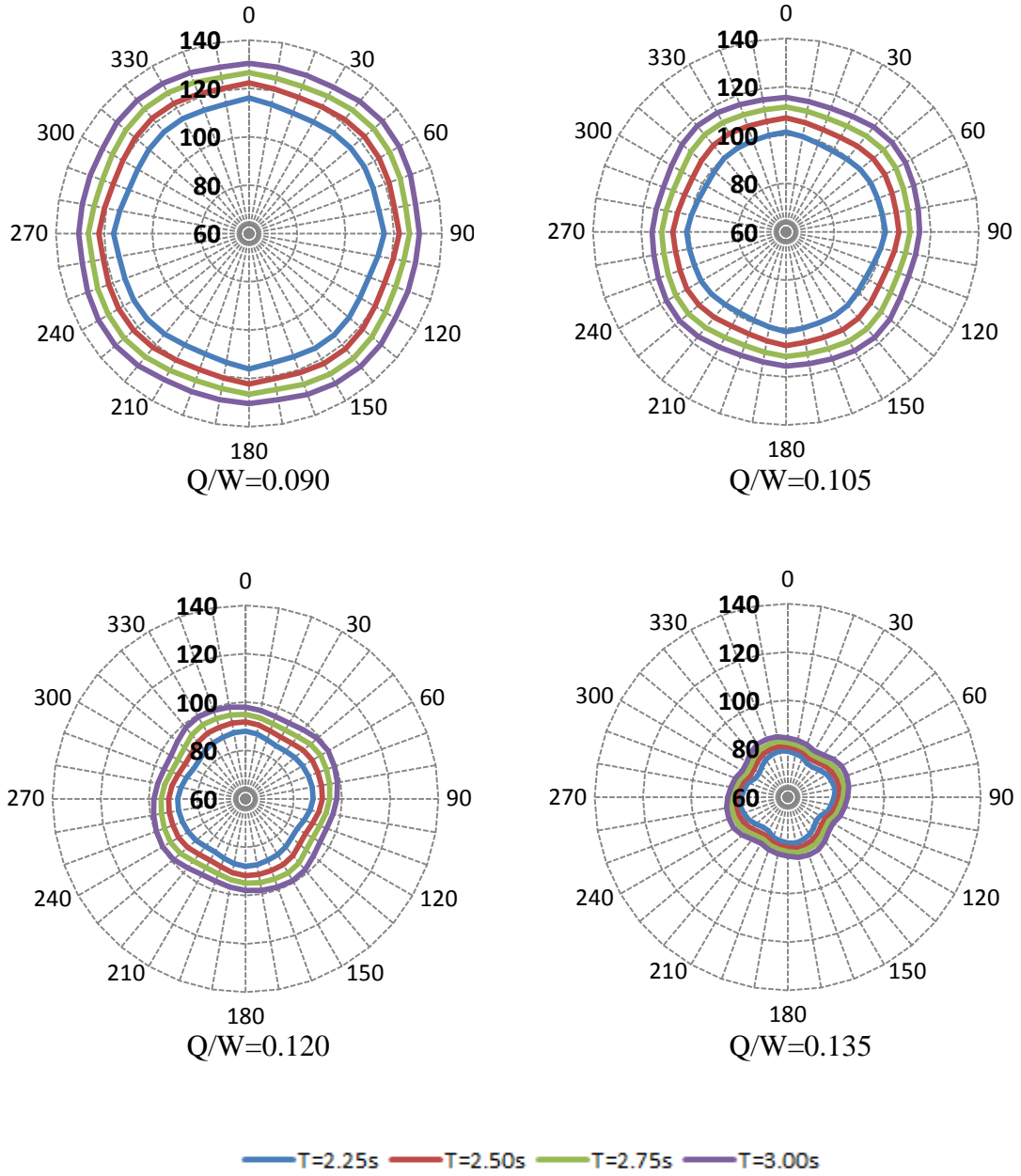
Q/W=0.120



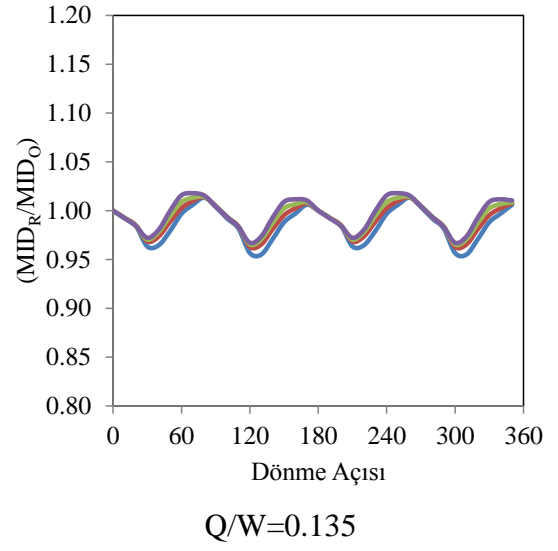
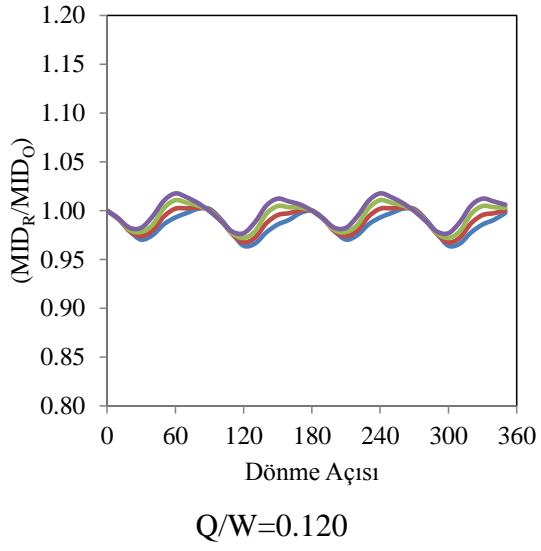
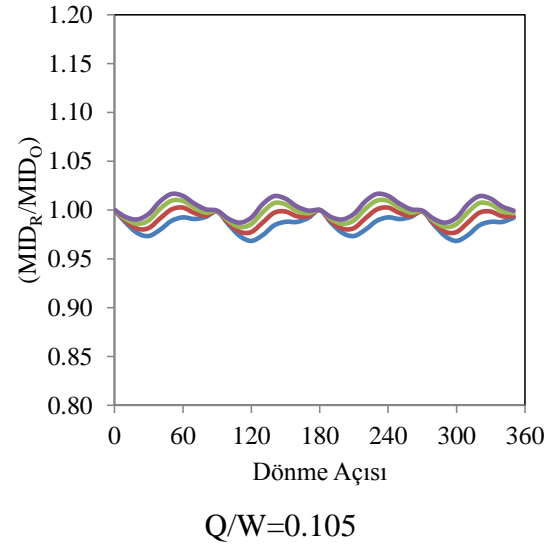
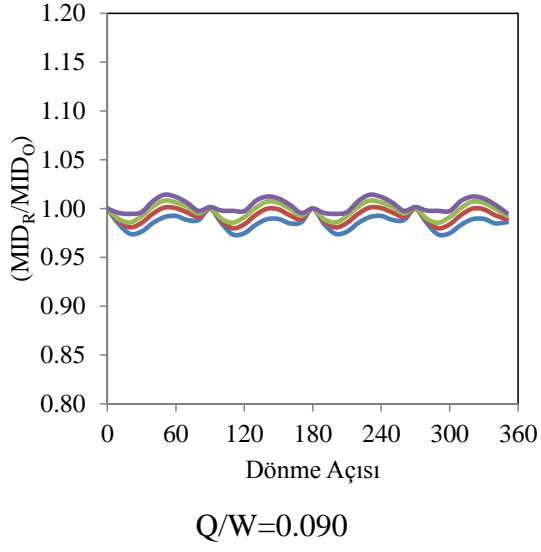
Q/W=0.135

— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 24. Grup 2 Deprem 2- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

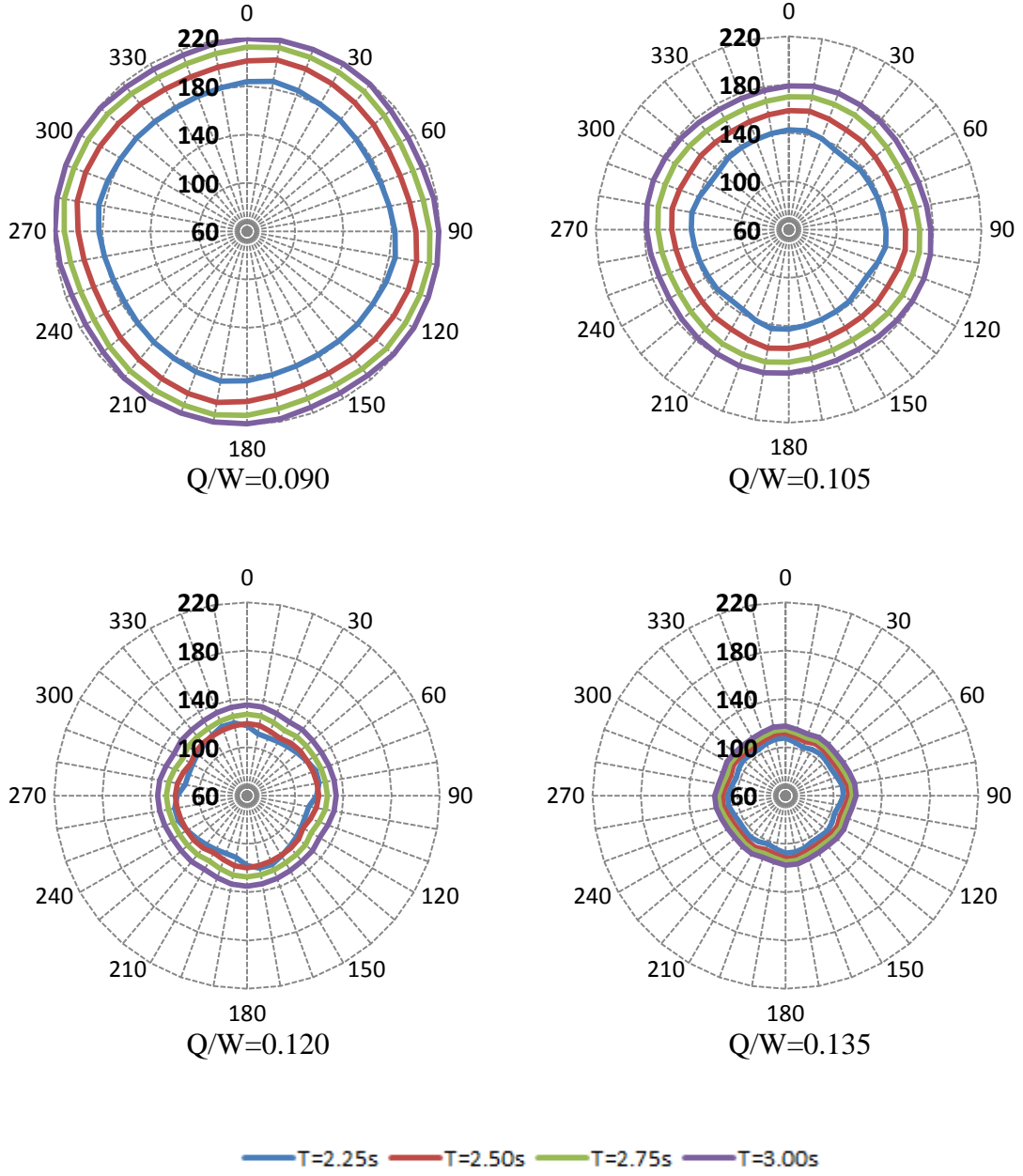


Şekil 25. Grup 2 Deprem 3- Maksimum İzolatör Deplasmanı

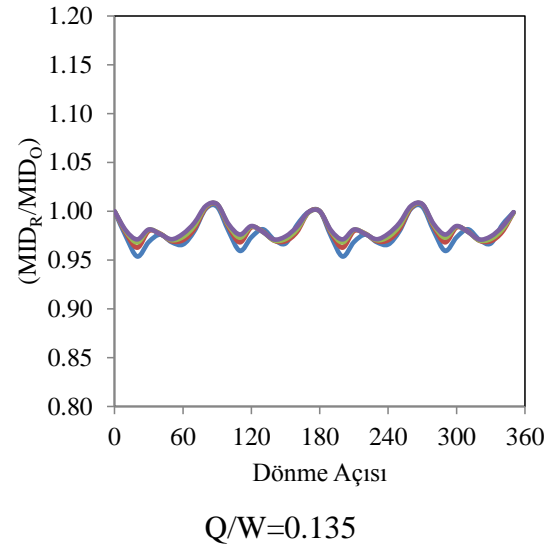
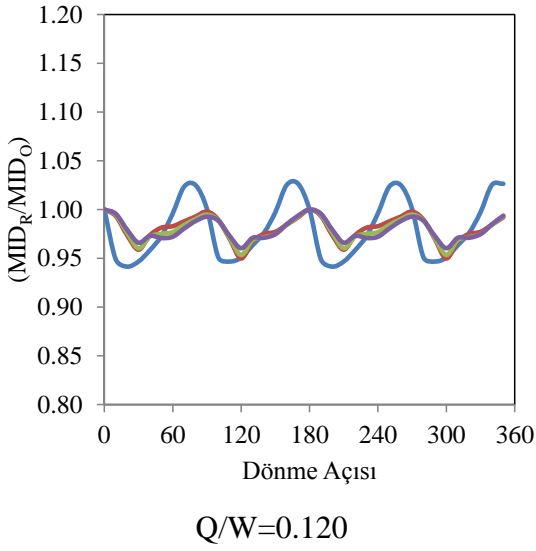
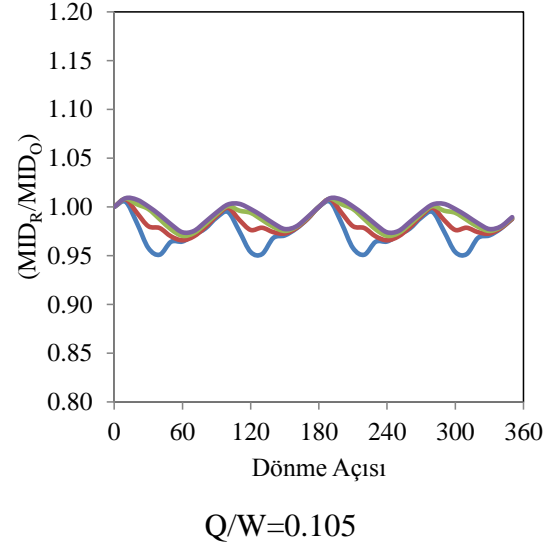
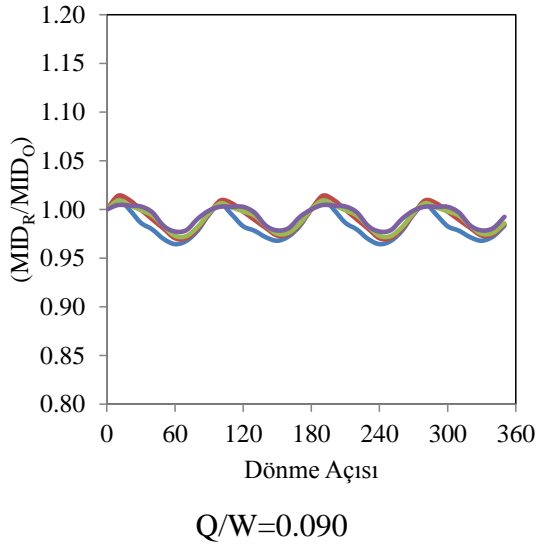


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 26. Grup 2 Deprem 3- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

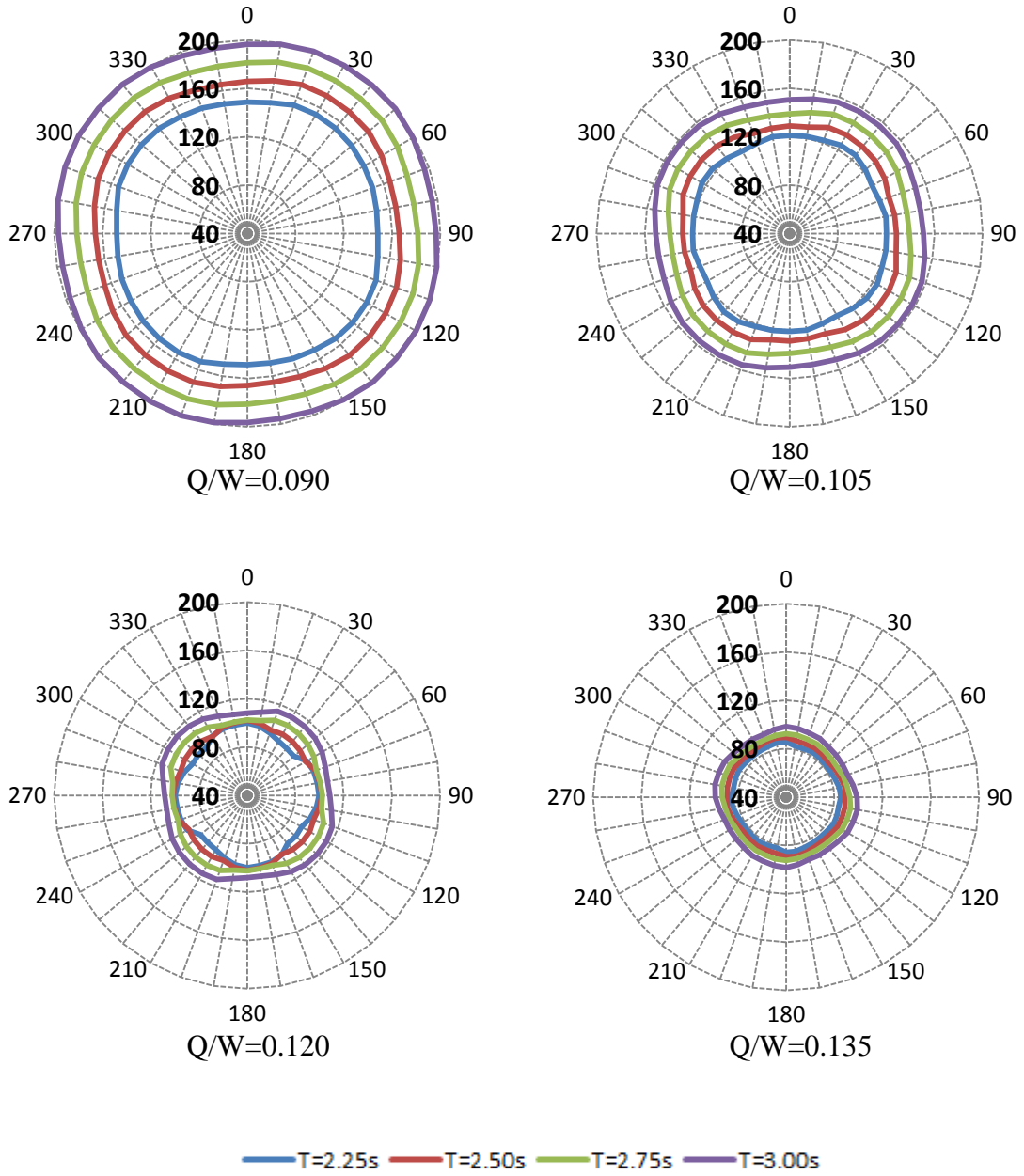


Şekil 27. Grup 2 Deprem 4- Maksimum İzolatör Deplasmanı

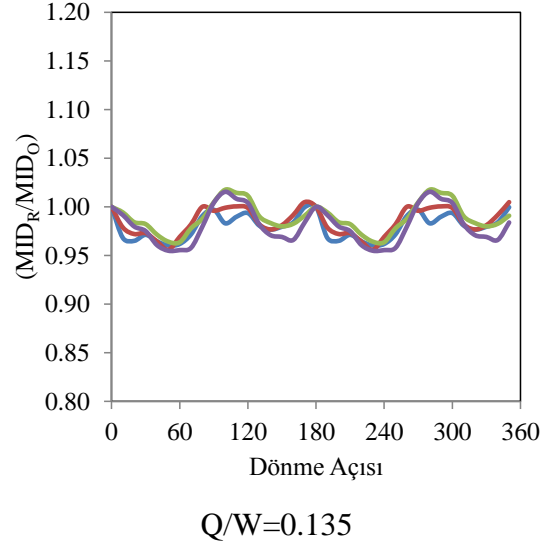
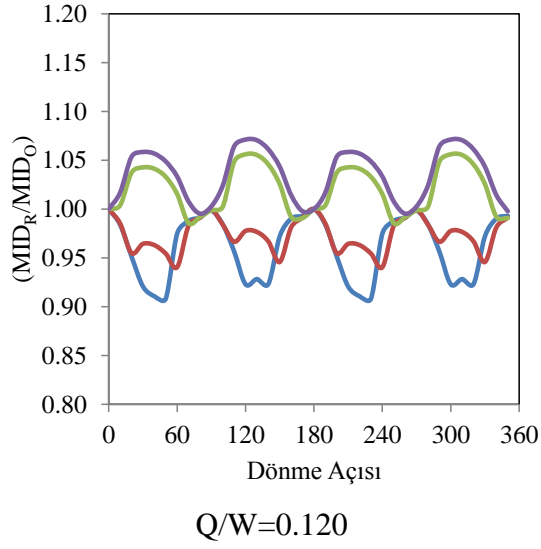
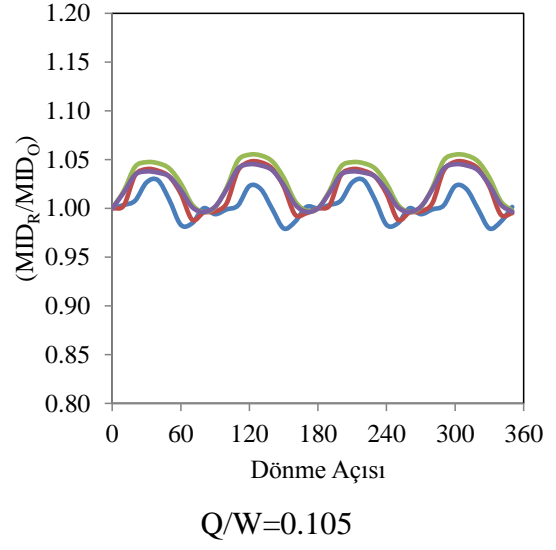
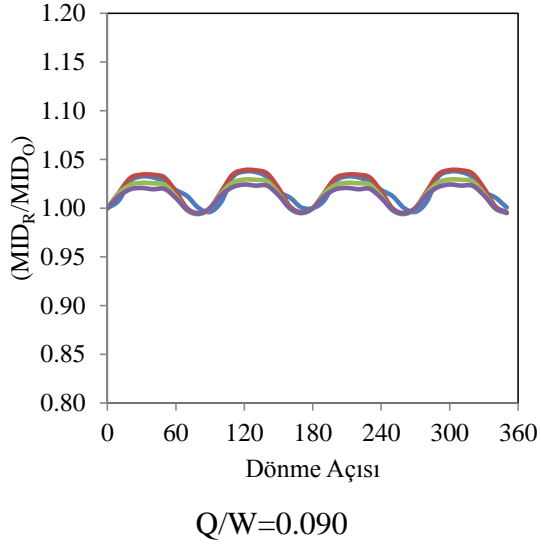


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 28. Grup 2 Deprem 4- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

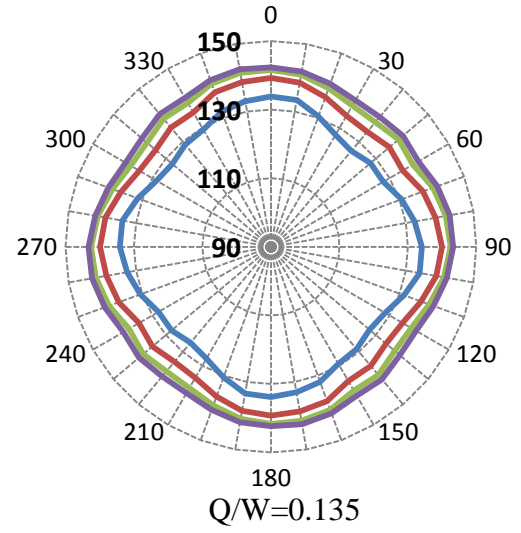
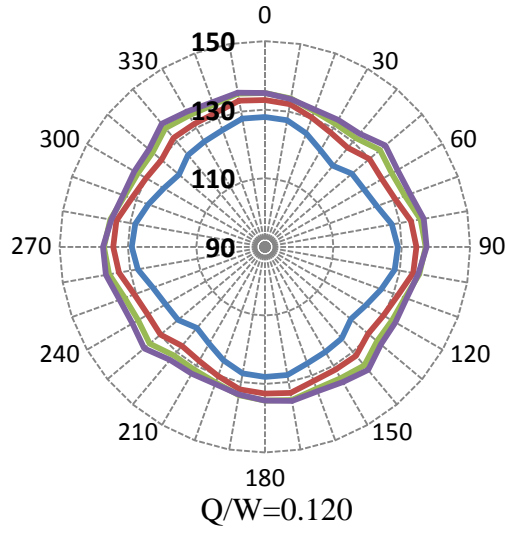
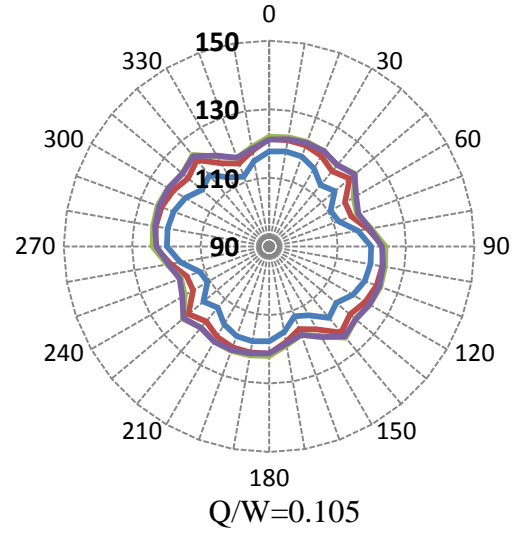
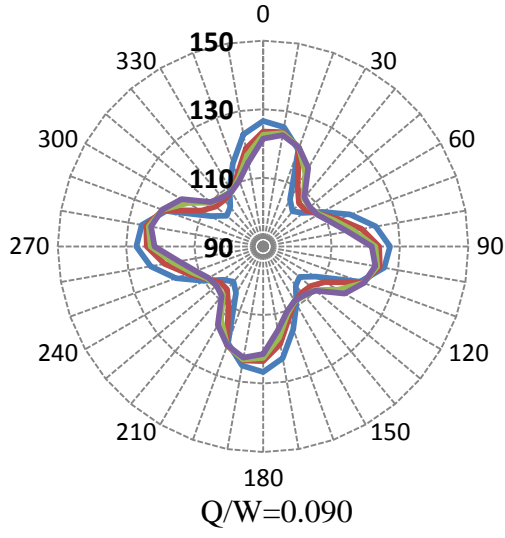


Şekil 29. Grup 2 Deprem 5- Maksimum İzolatör Deplasmanı



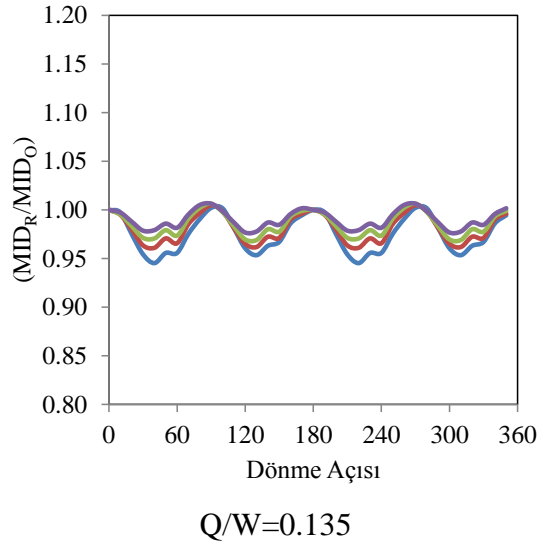
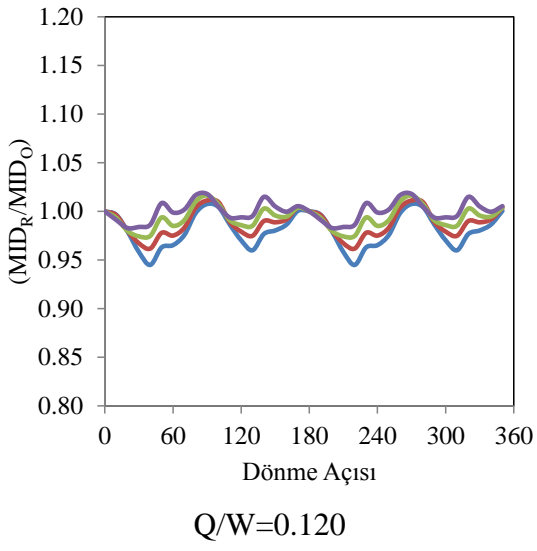
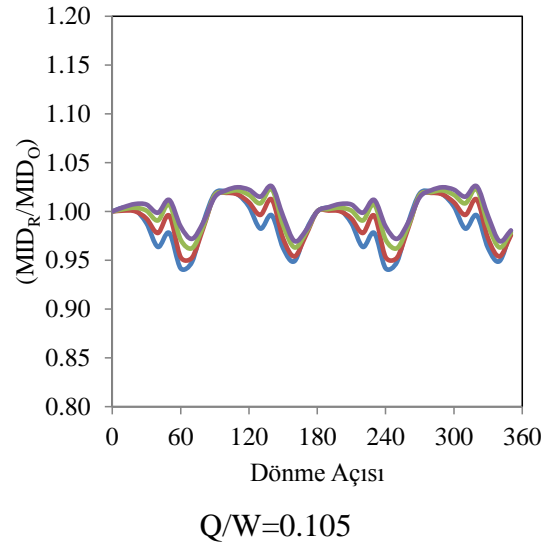
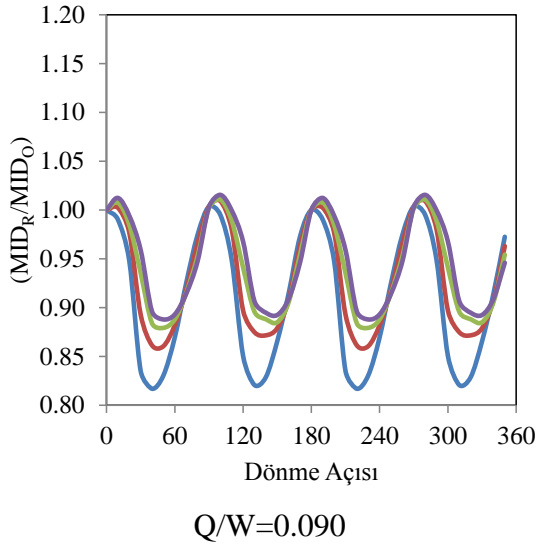
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 30. Grup 2 Deprem 5- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)



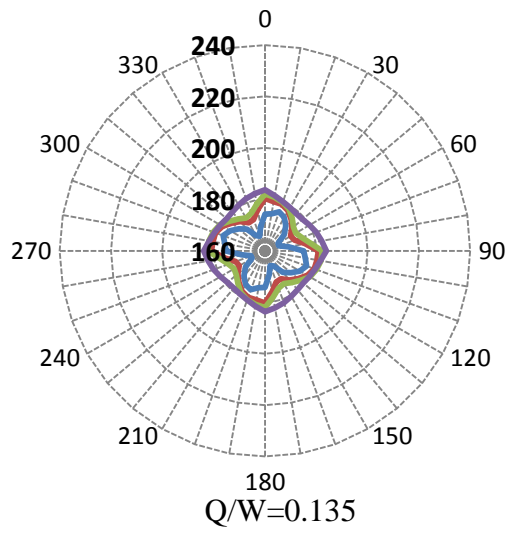
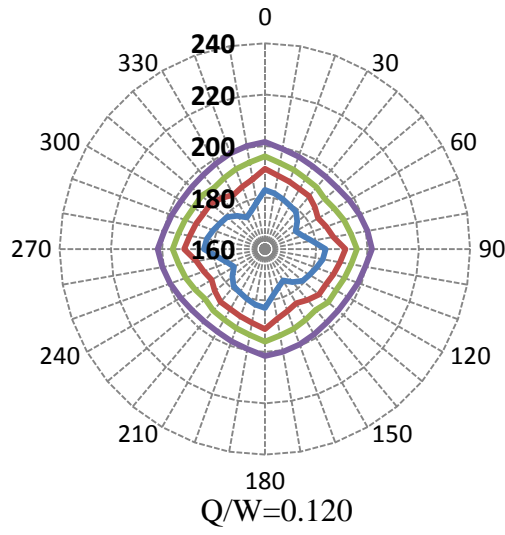
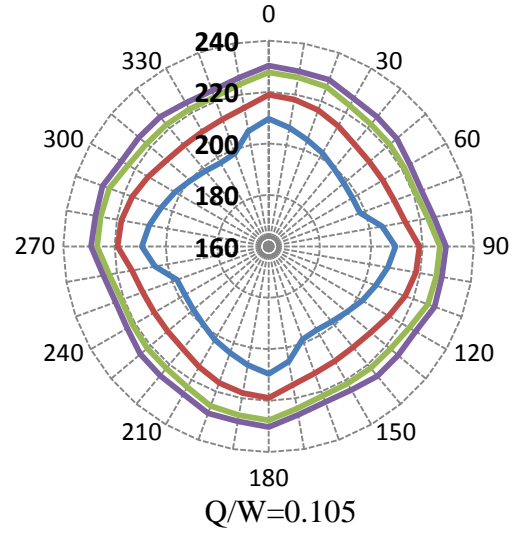
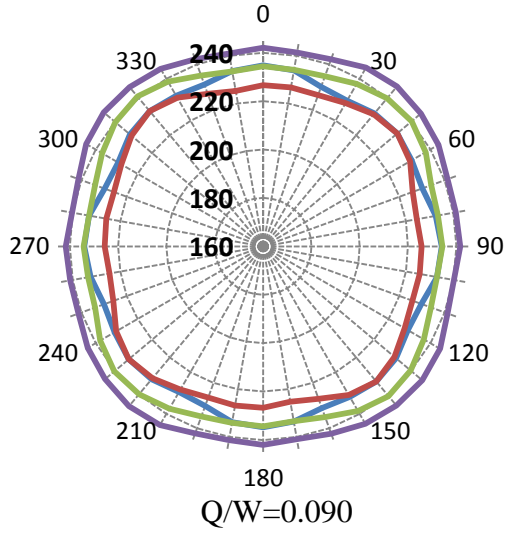
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 31. Grup 2 Deprem 6- Maksimum İzolatör Deplasmanı



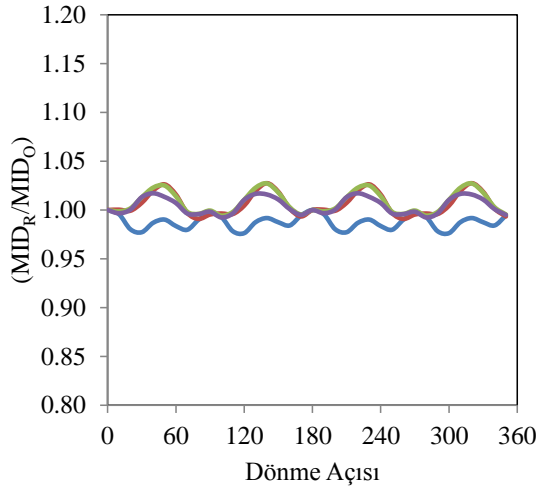
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 32. Grup 2 Deprem 6- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

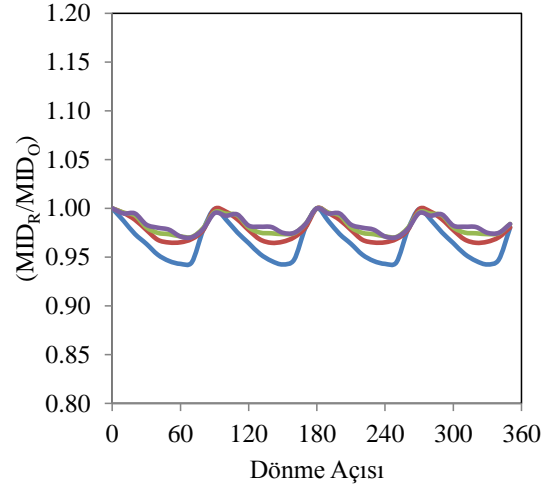


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

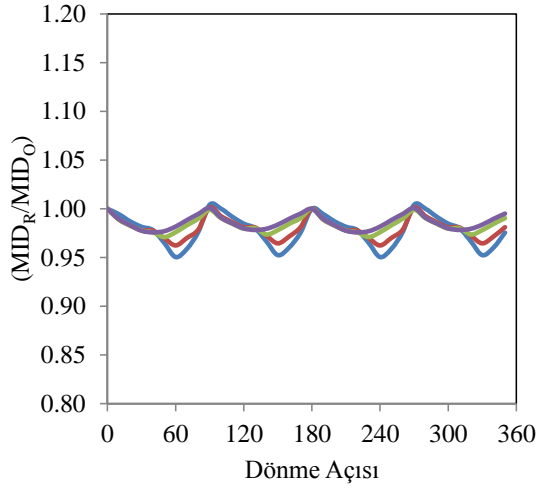
Şekil 33. Grup 2 Deprem 7- Maksimum İzolatör Deplasmanı



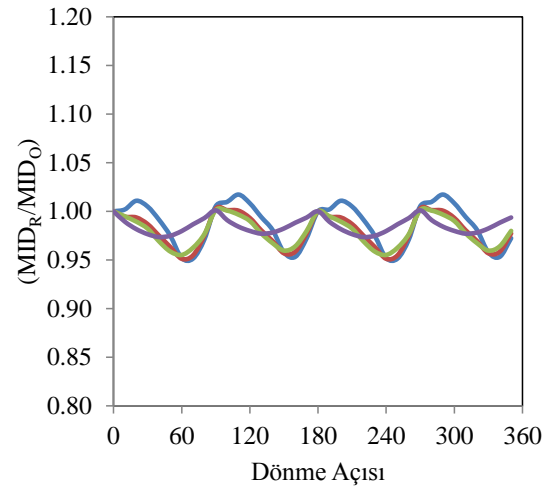
Q/W=0.090



Q/W=0.105



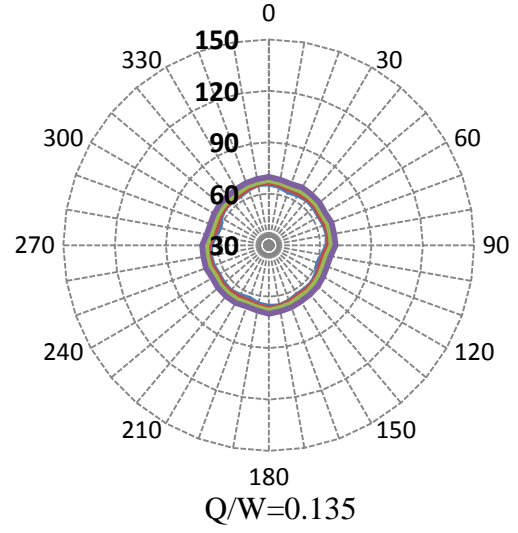
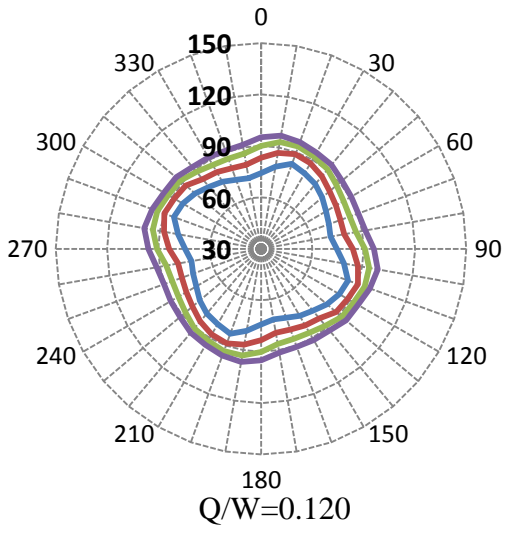
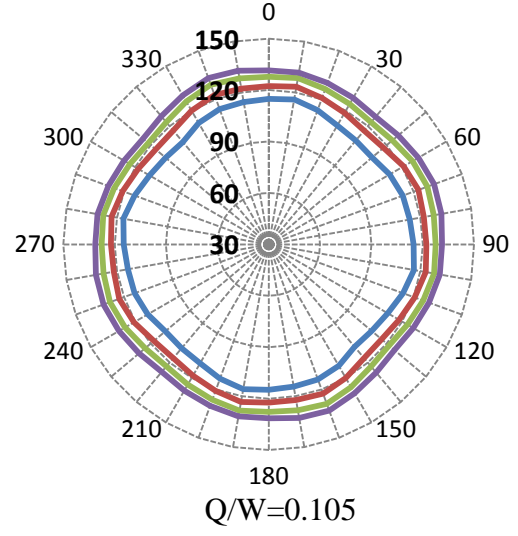
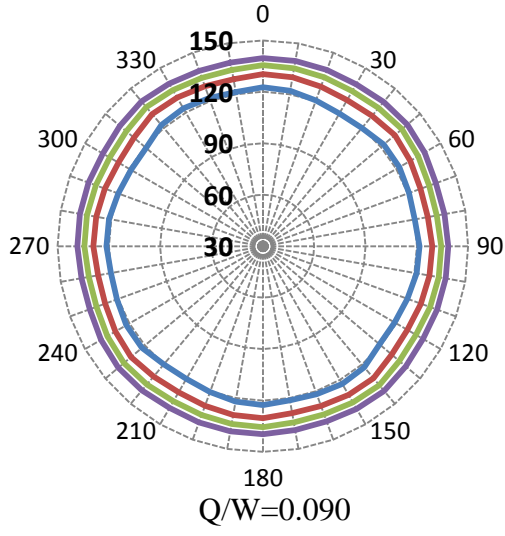
Q/W=0.120



Q/W=0.135

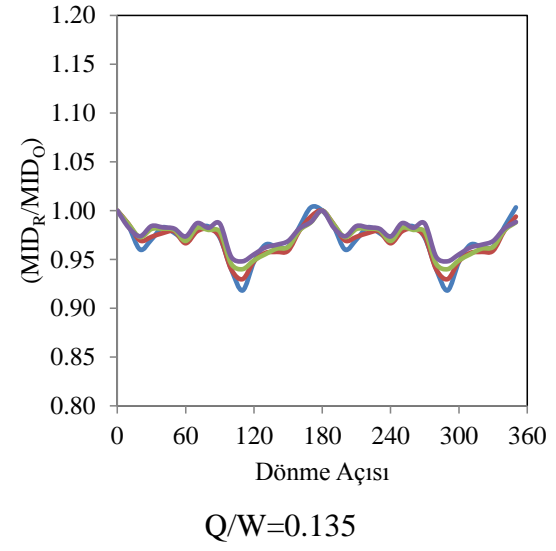
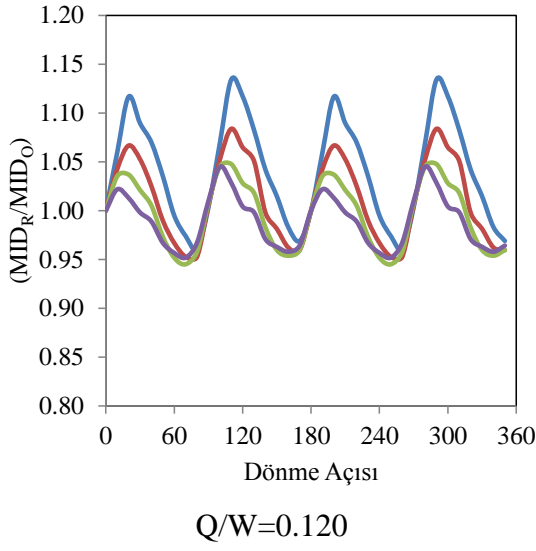
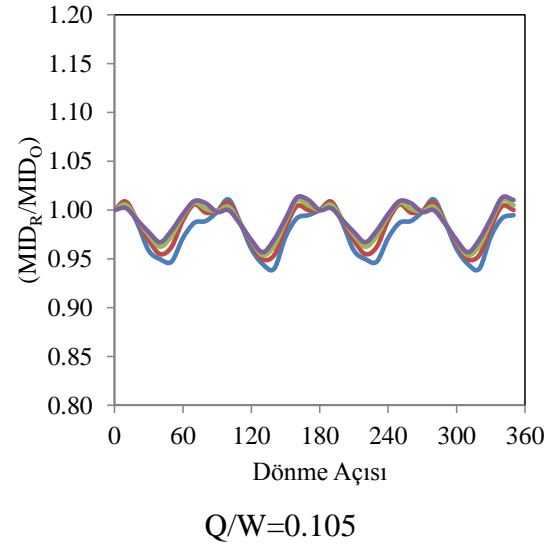
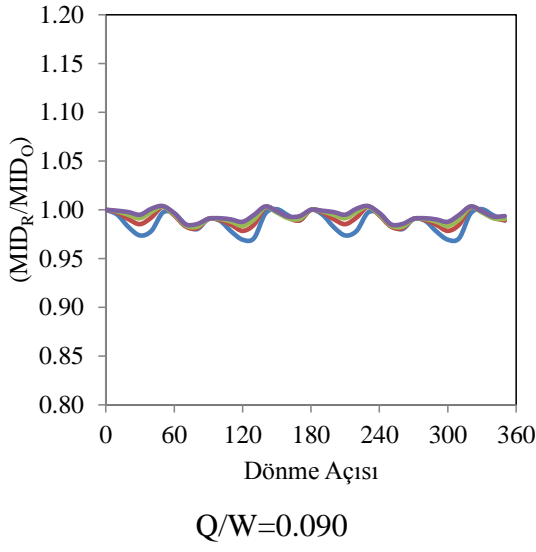
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 34. Grup 2 Deprem 7- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)



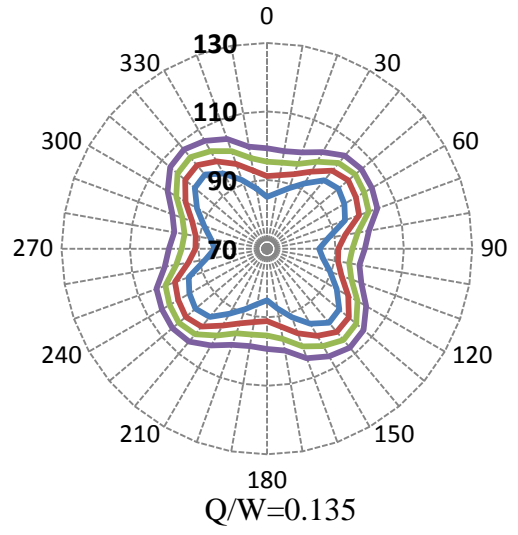
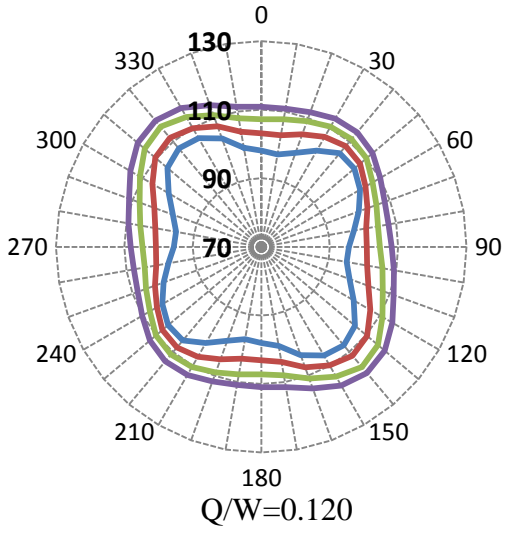
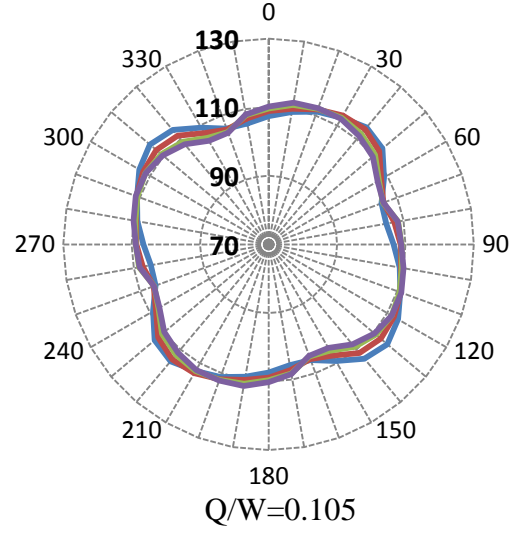
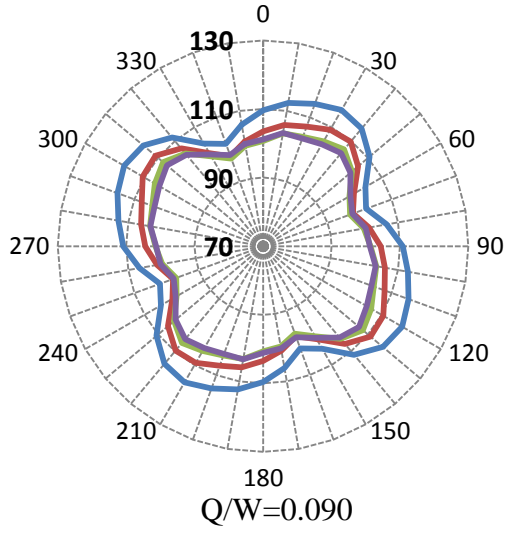
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 35. Grup 2 Deprem 8- Maksimum İzolatör Deplasmanı



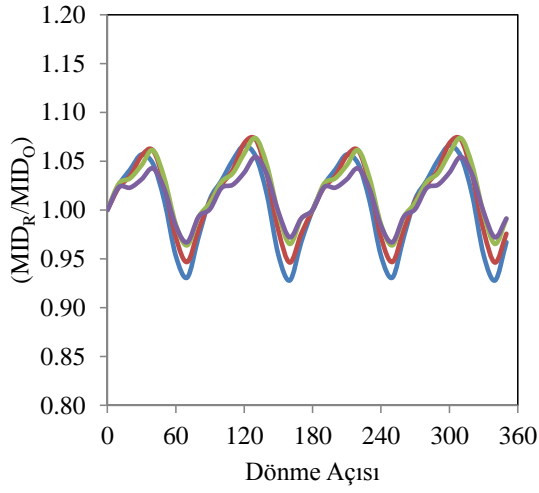
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 36. Grup 2 Deprem 8- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

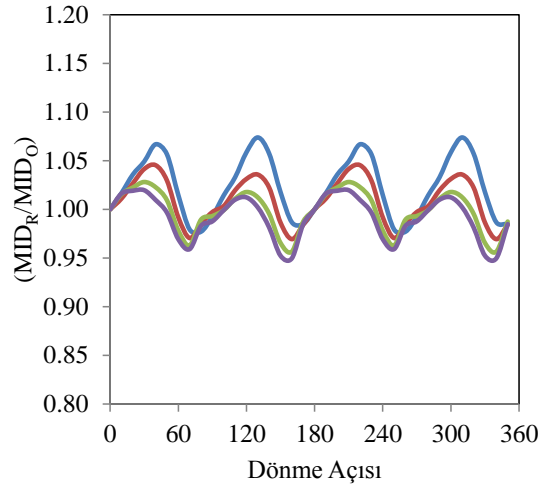


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

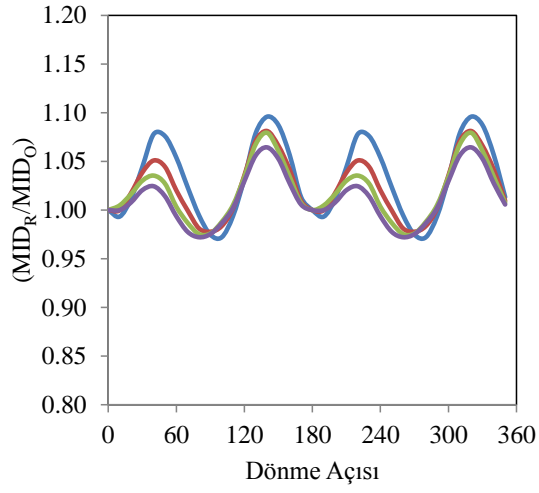
Şekil 37. Grup 2 Deprem 9- Maksimum İzolatör Deplasmanı



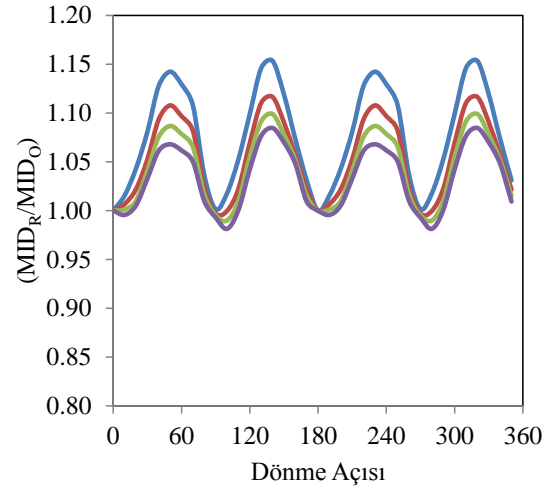
Q/W=0.090



Q/W=0.105



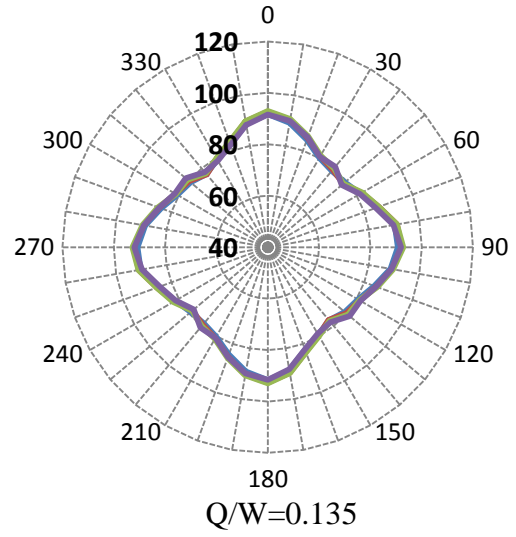
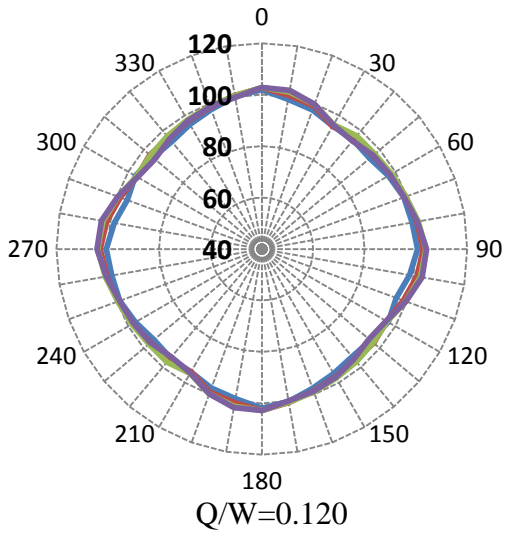
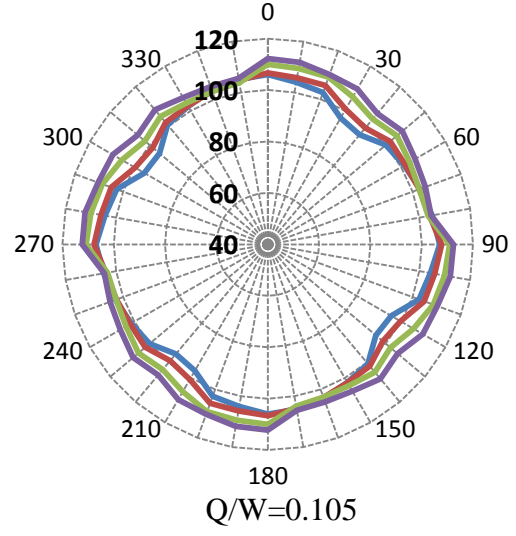
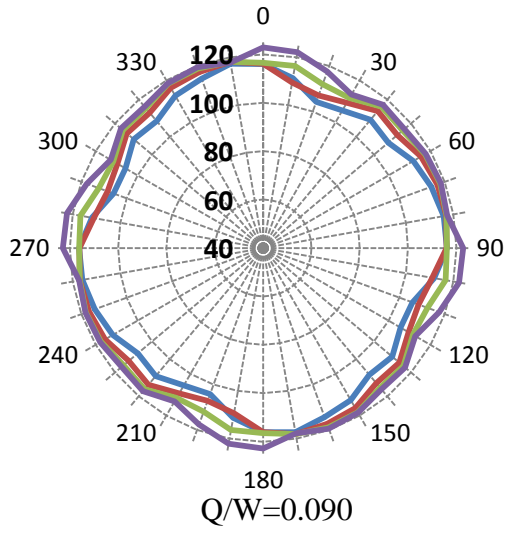
Q/W=0.120



Q/W=0.135

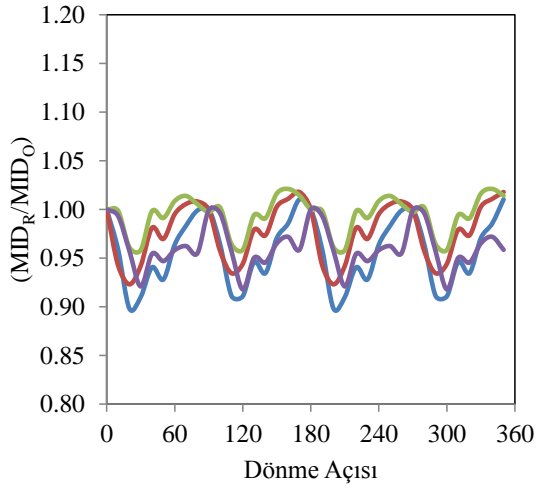
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 38. Grup 2 Deprem 9- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

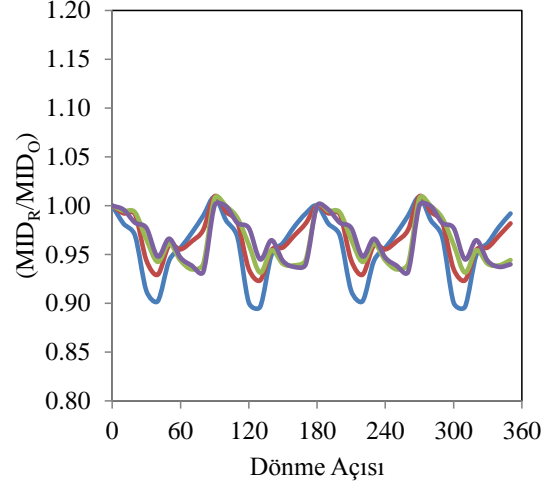


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

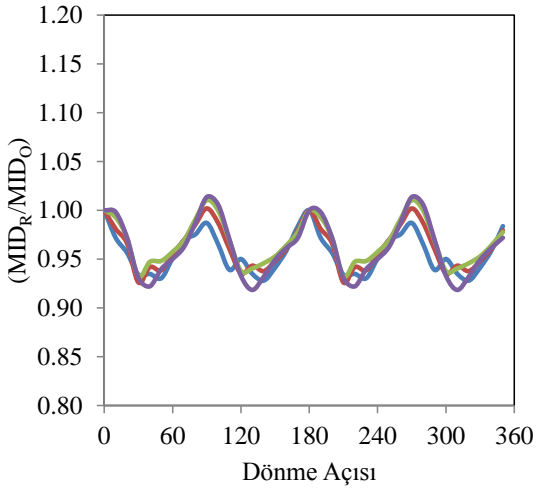
Şekil 39. Grup 2 Deprem 10- Maksimum İzolatör Deplasmanı



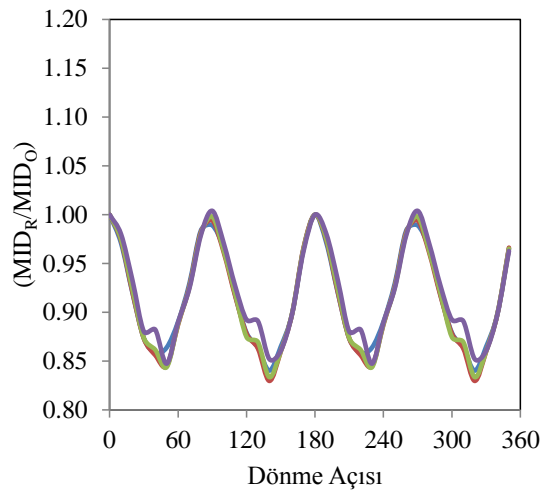
Q/W=0.090



Q/W=0.105



Q/W=0.120

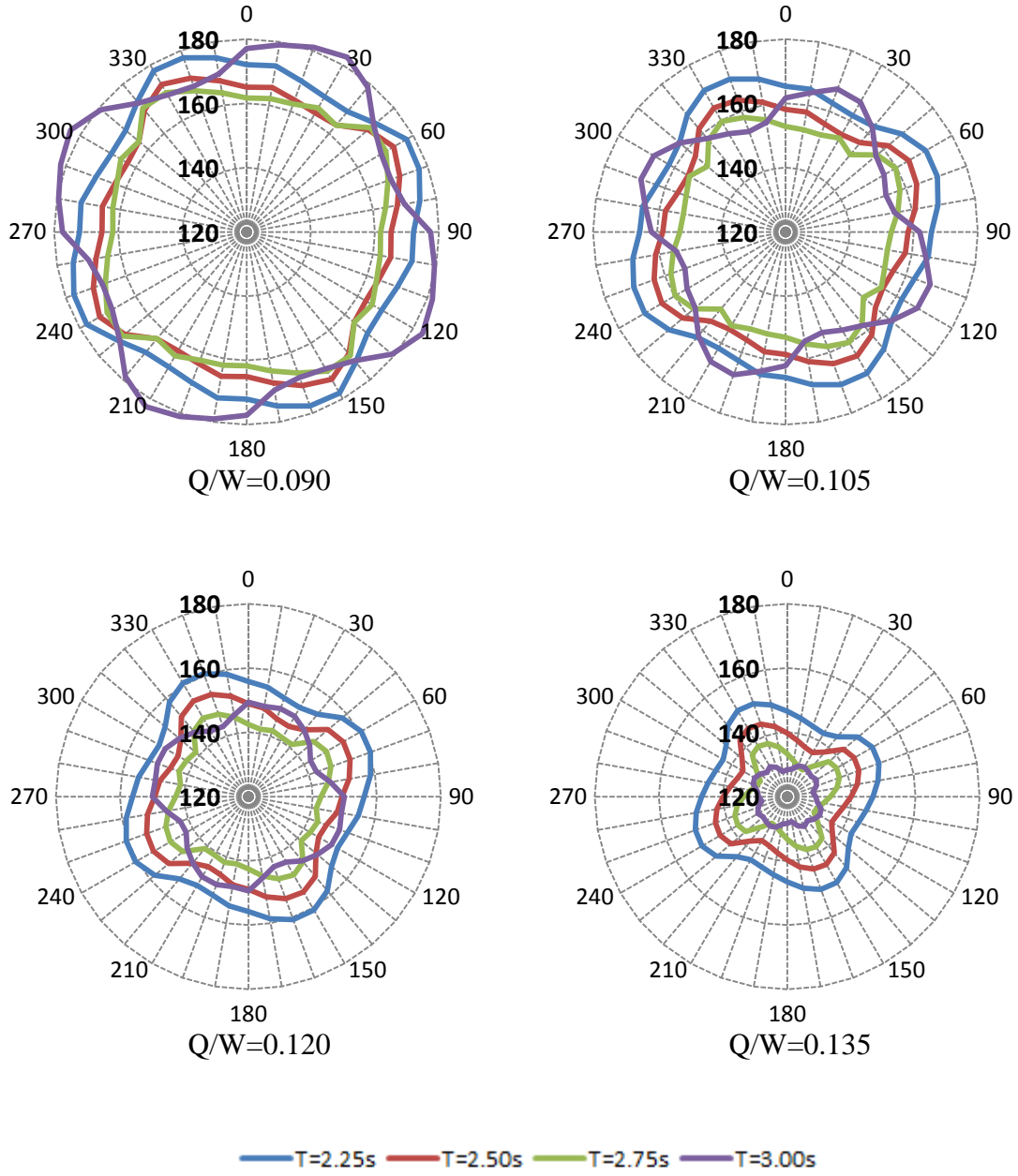


Q/W=0.135

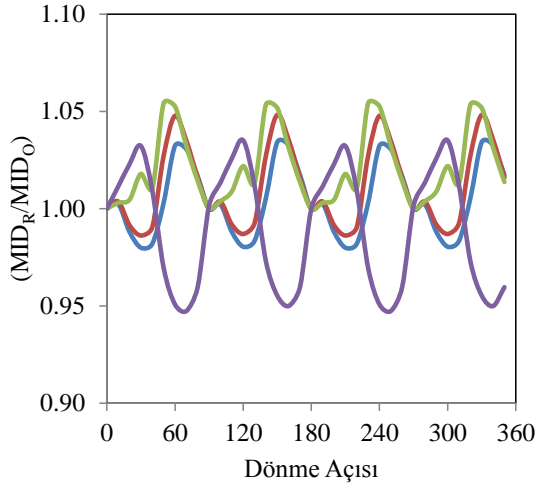
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 40. Grup 2 Deprem 10- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

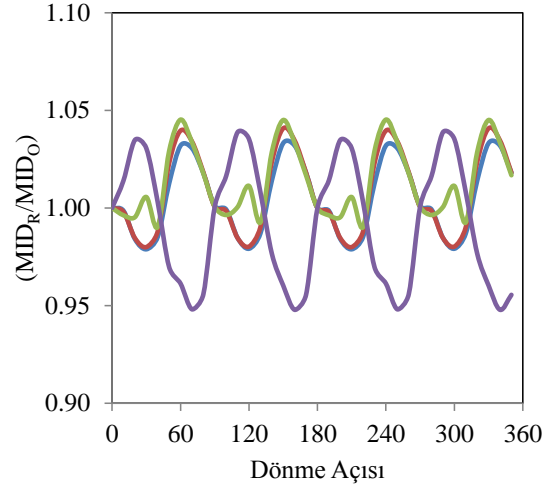
Deprem Grubu 3'e Ait Analiz Sonuçları



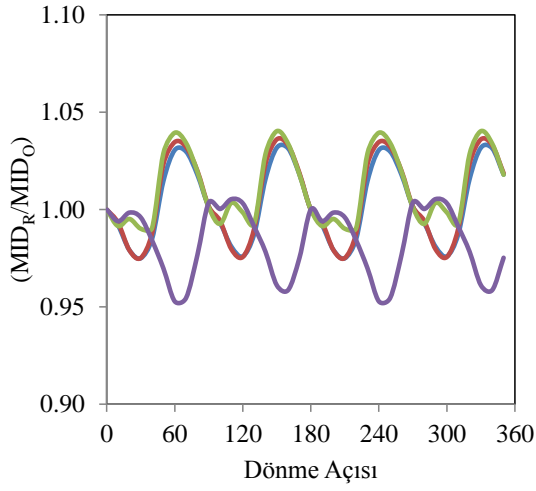
Şekil 41. Grup 3 Deprem 1- Maksimum İzolatör Deplasmanı



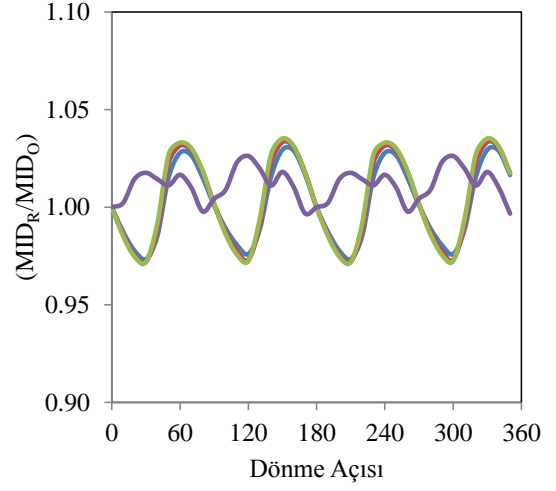
Q/W=0.090



Q/W=0.105



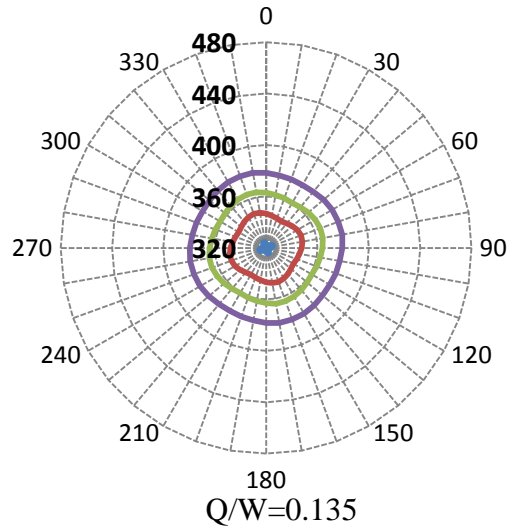
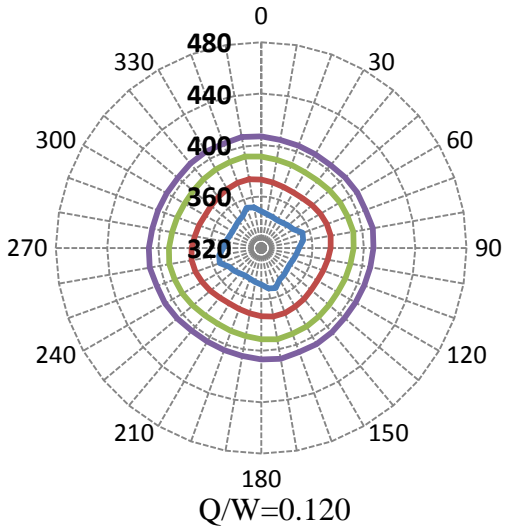
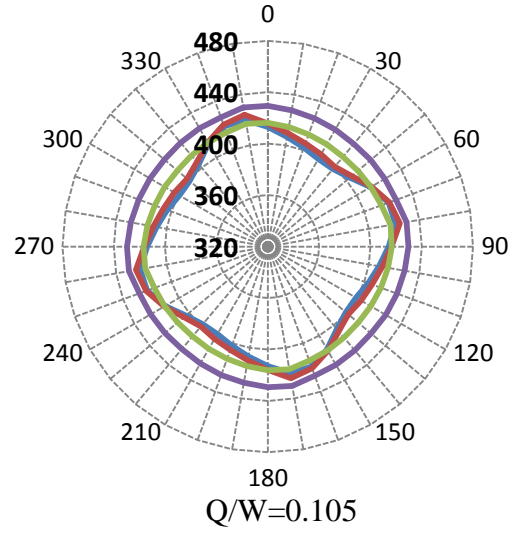
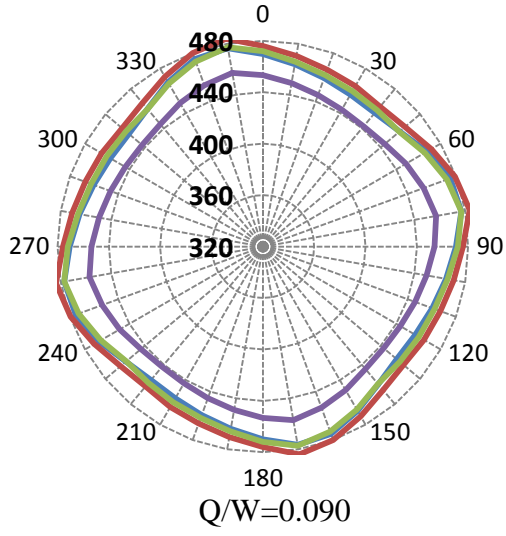
Q/W=0.120



Q/W=0.135

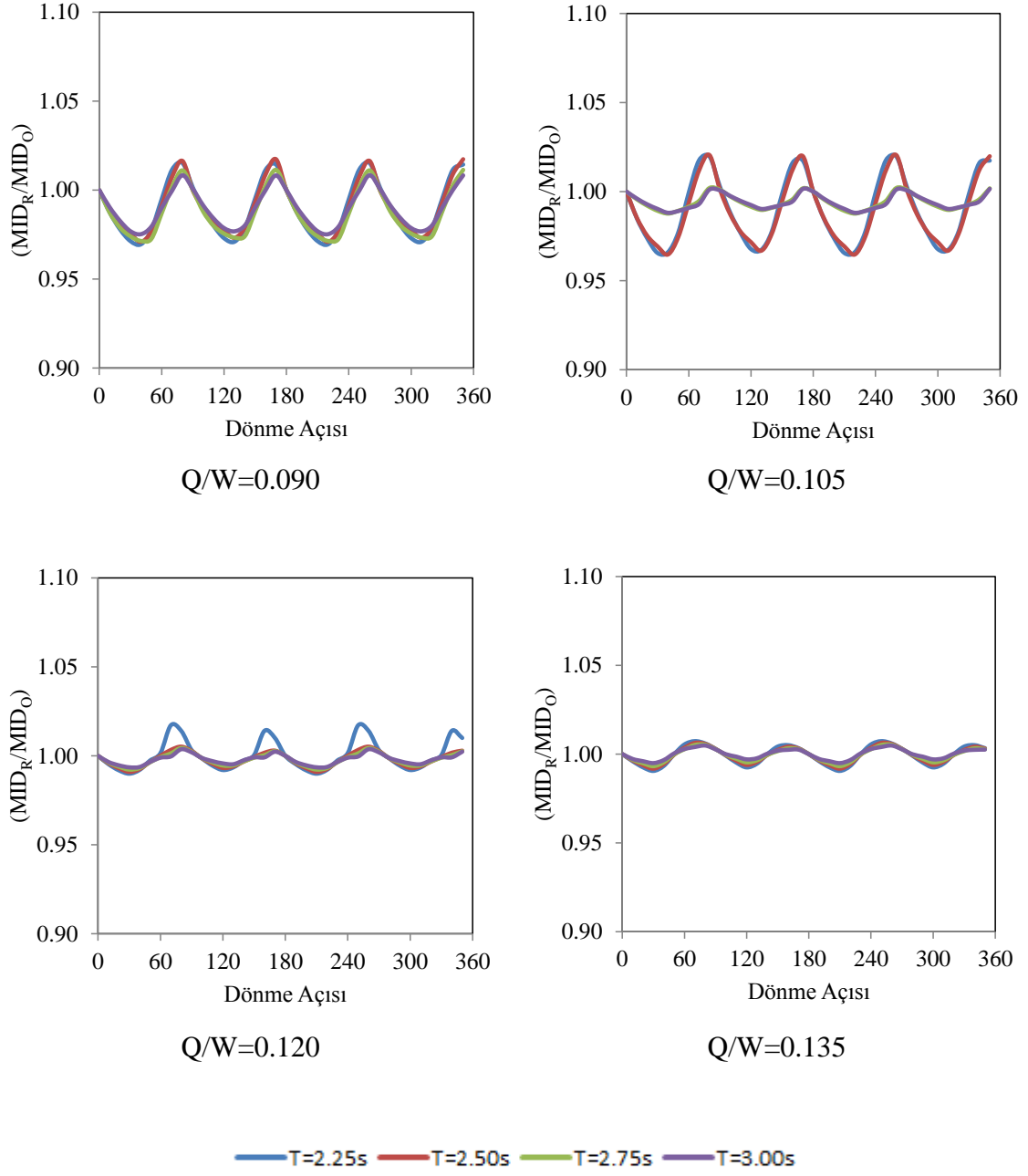
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 42. Grup 3 Deprem 1- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

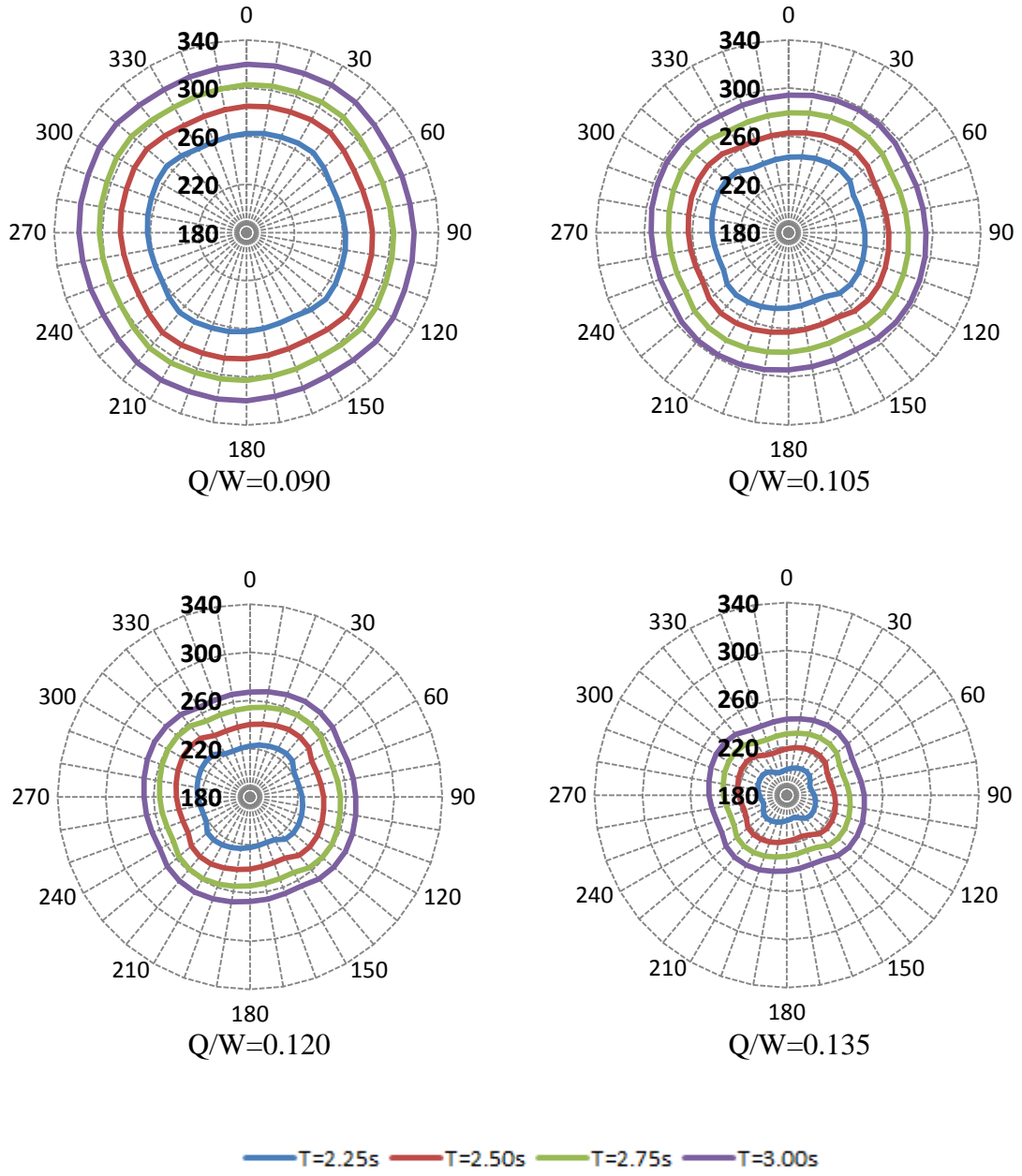


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

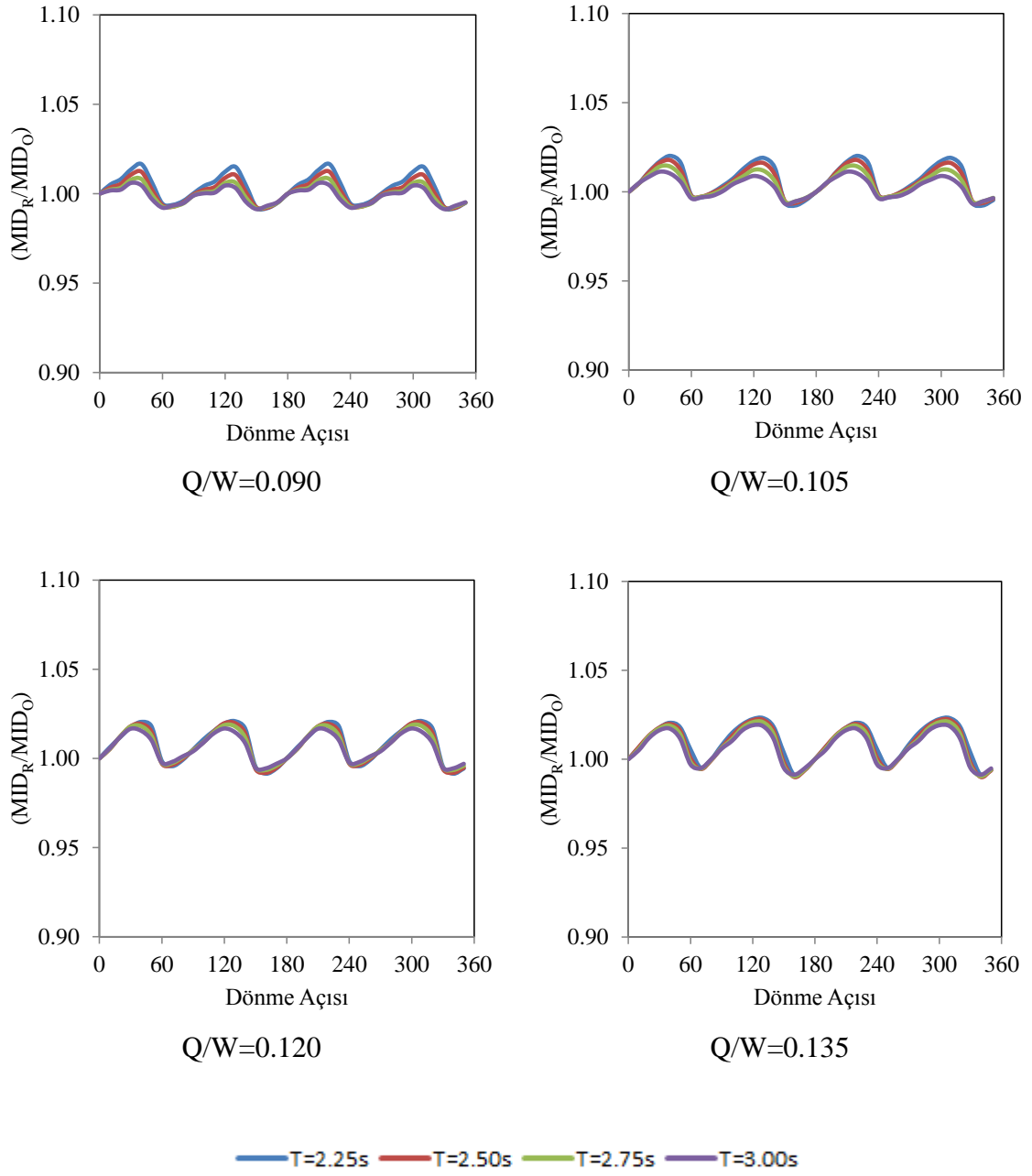
Şekil 43. Grup 3 Deprem 2- Maksimum İzolatör Deplasmanı



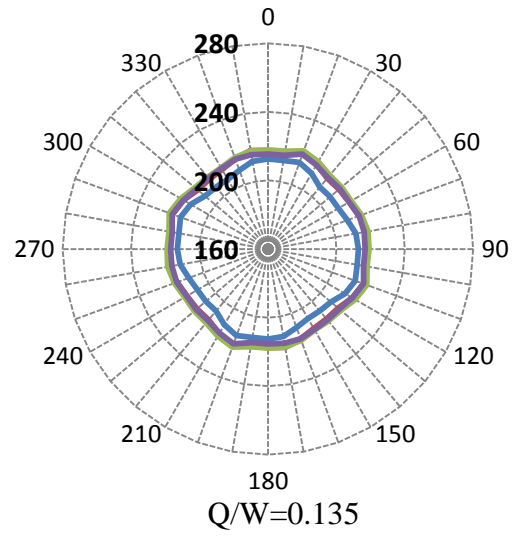
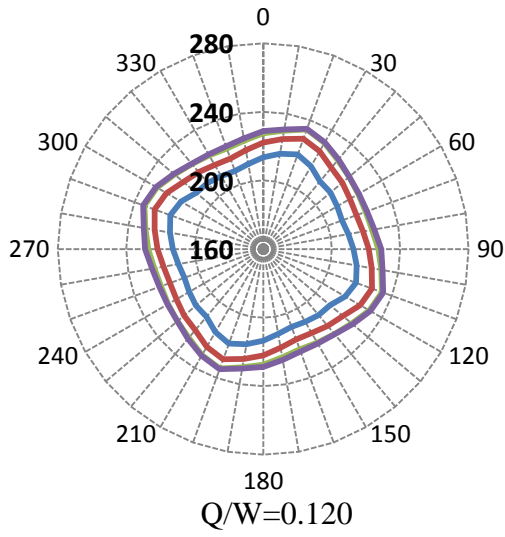
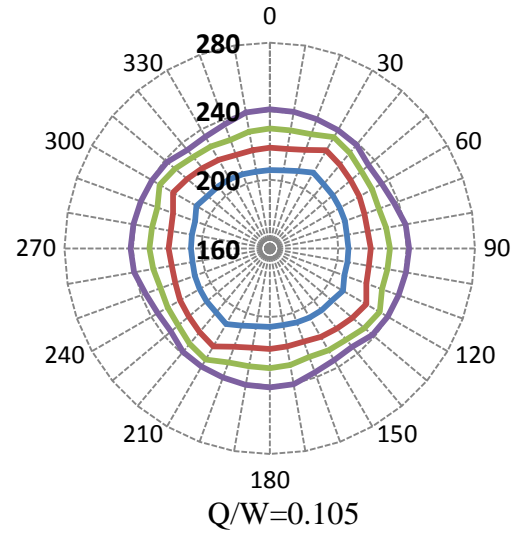
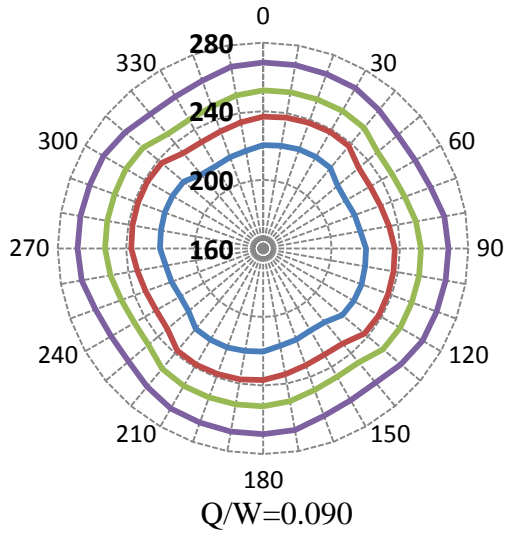
Şekil 44. Grup 3 Deprem 2- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)



Şekil 45. Grup 3 Deprem 3- Maksimum İzolatör Deplasmanı

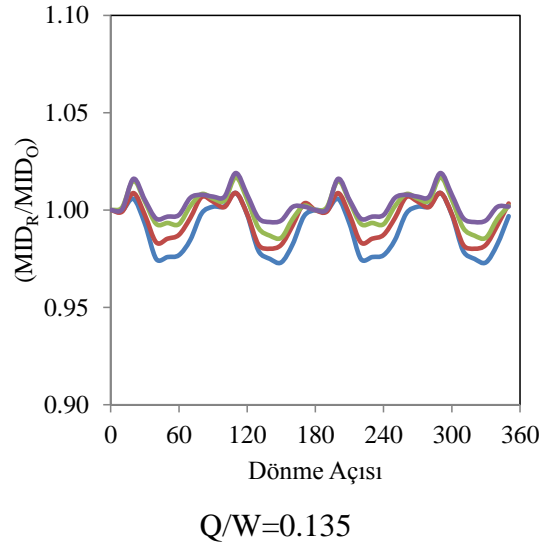
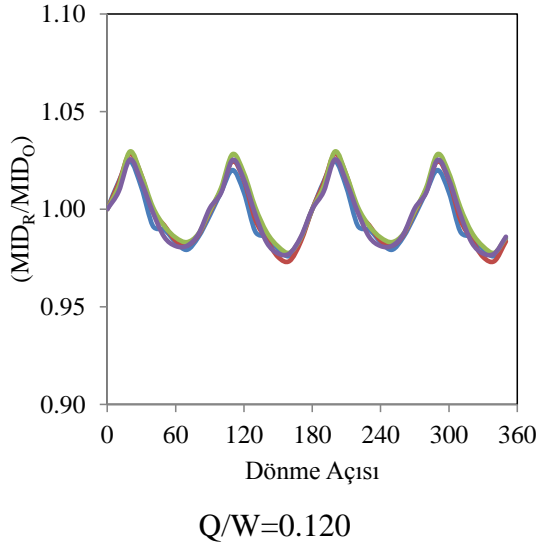
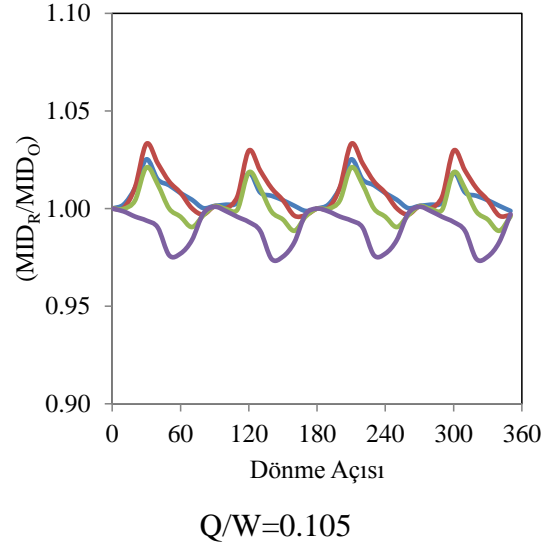
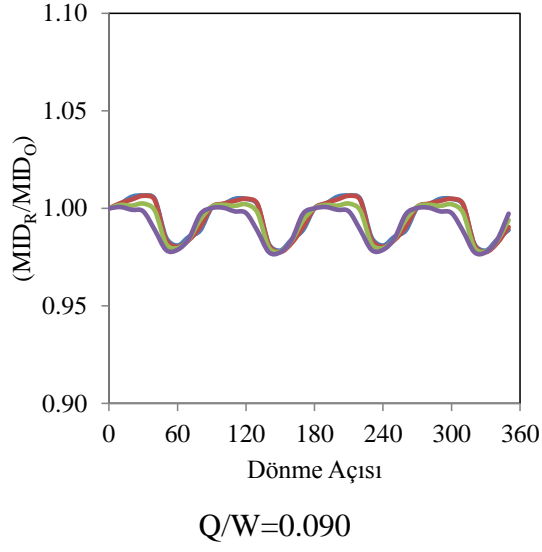


Şekil 46. Grup 3 Deprem 3- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)



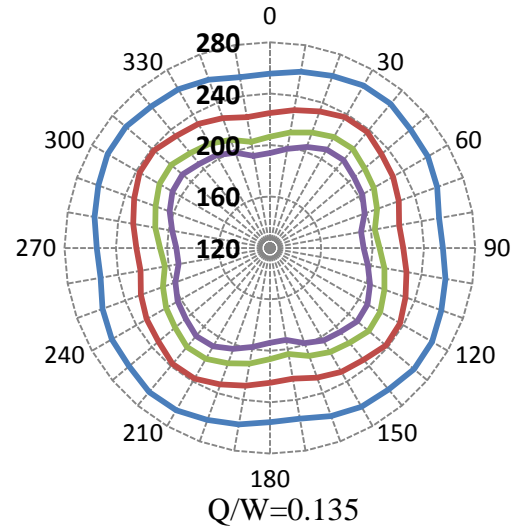
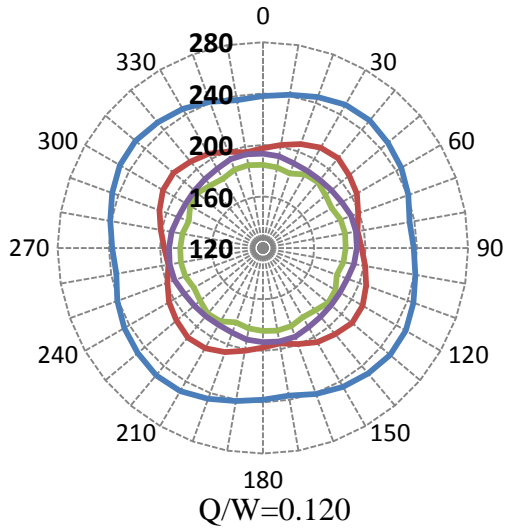
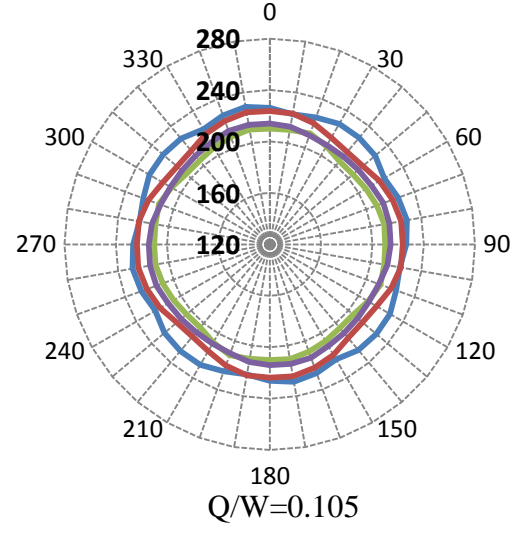
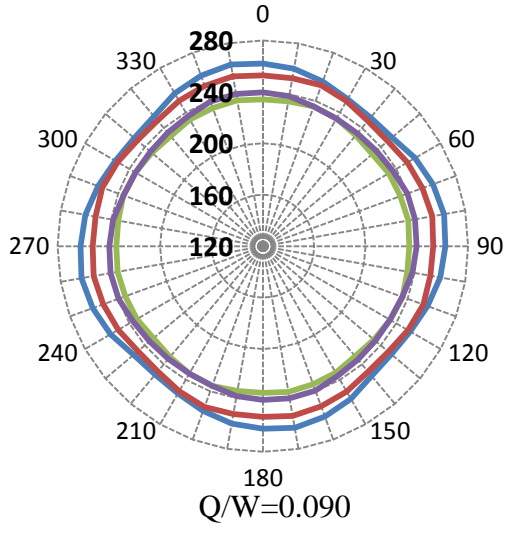
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 47. Grup 3 Deprem 4- Maksimum İzolatör Deplasmanı



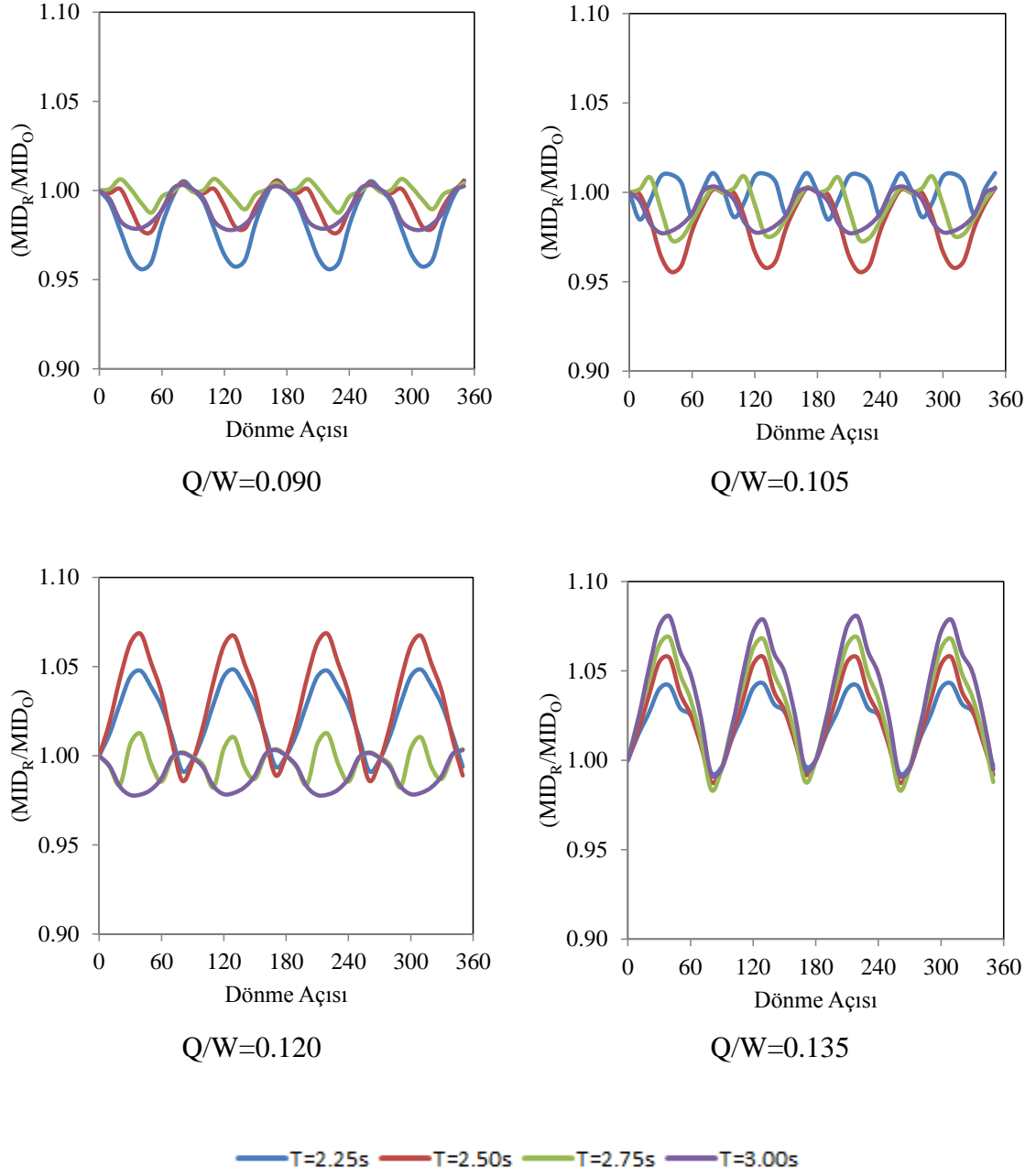
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 48. Grup 3 Deprem 4- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

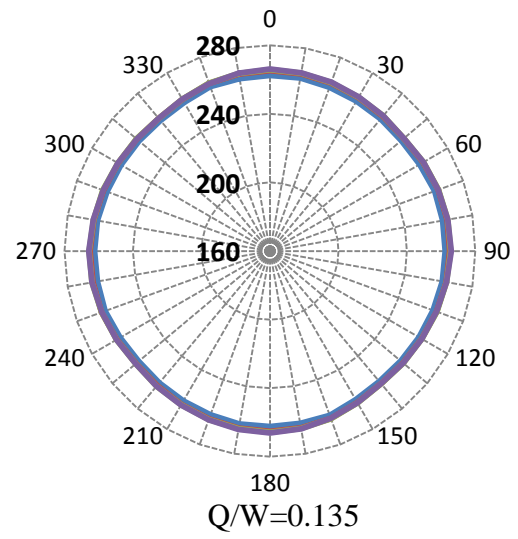
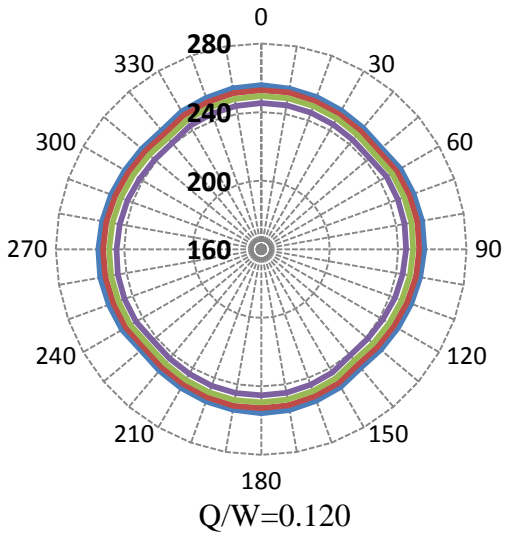
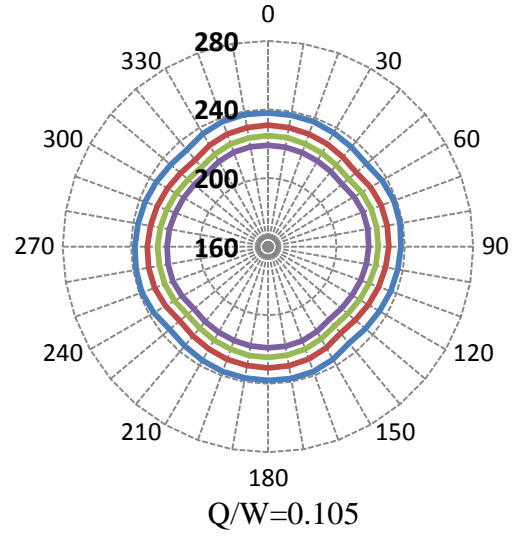
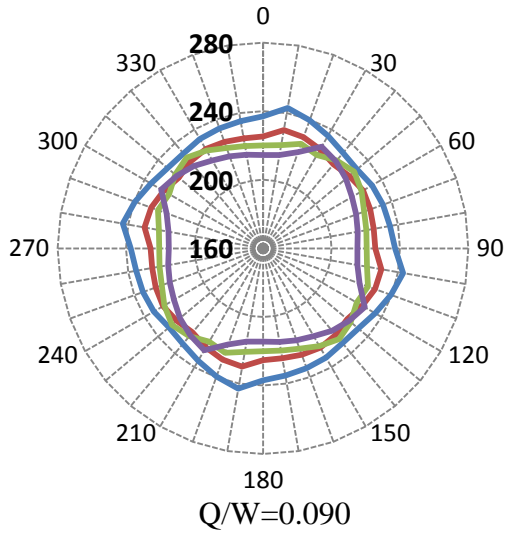


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 49. Grup 3 Deprem 5- Maksimum İzolatör Deplasmanı

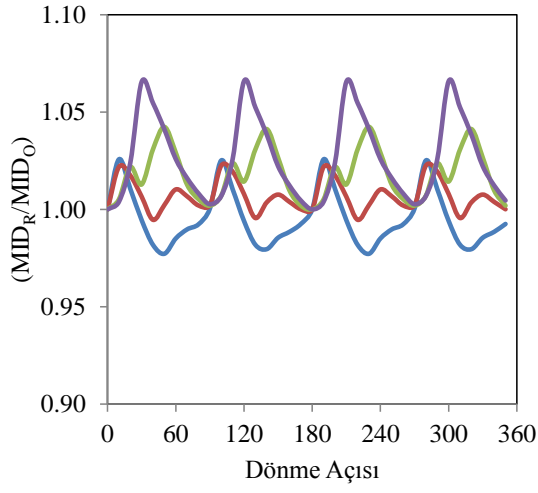


Şekil 50. Grup 3 Deprem 5- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

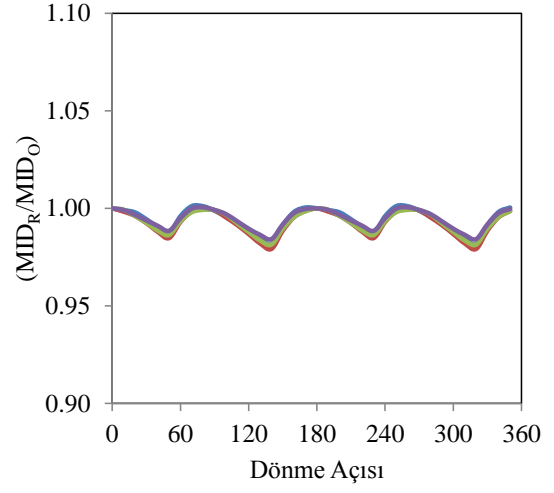


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

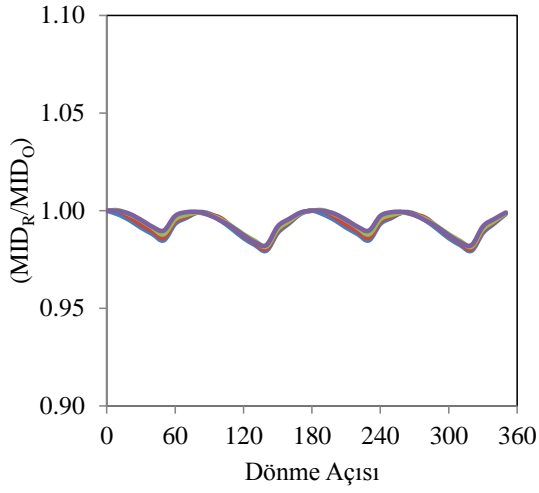
Şekil 51. Grup 3 Deprem 6- Maksimum İzolatör Deplasmanı



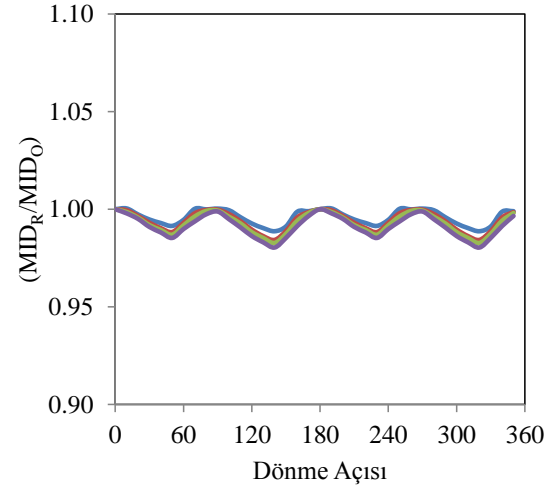
Q/W=0.090



Q/W=0.105



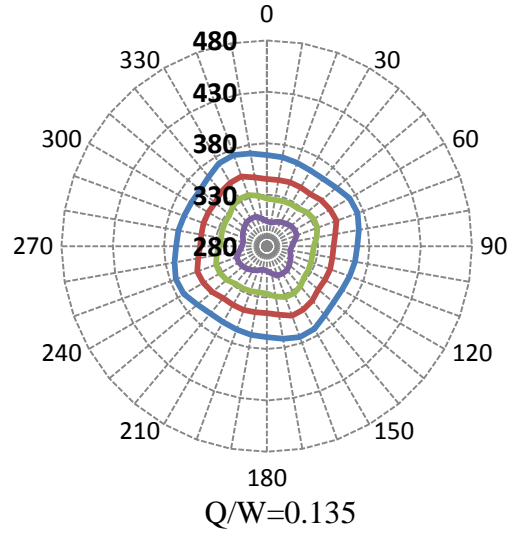
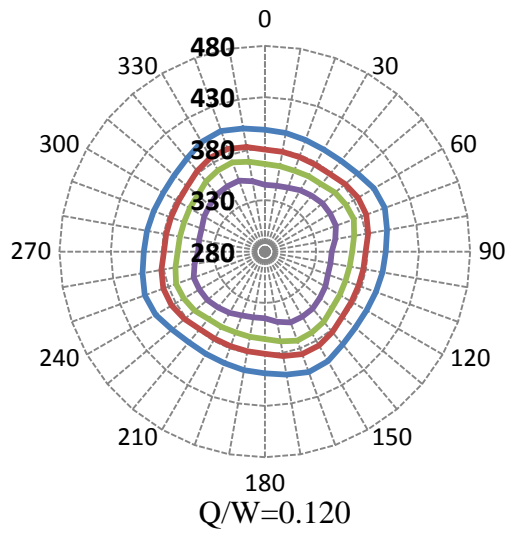
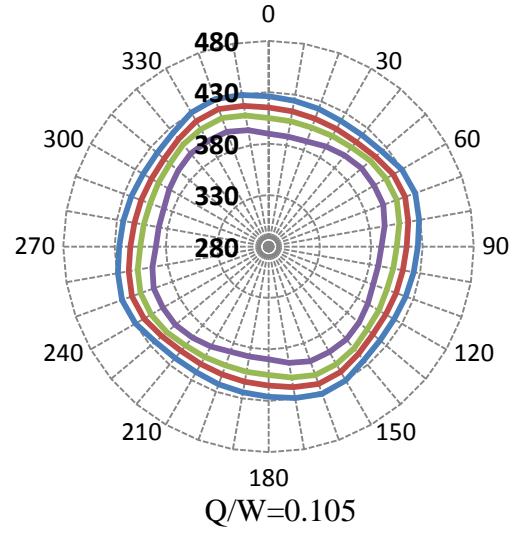
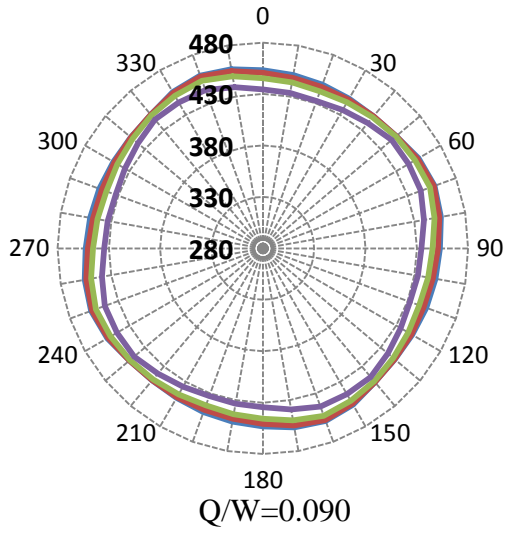
Q/W=0.120



Q/W=0.135

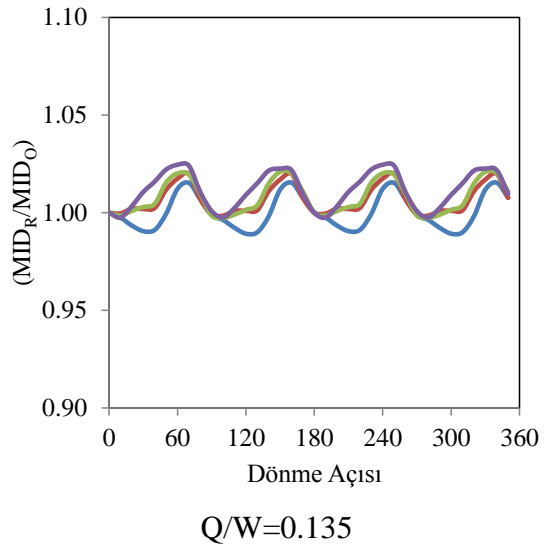
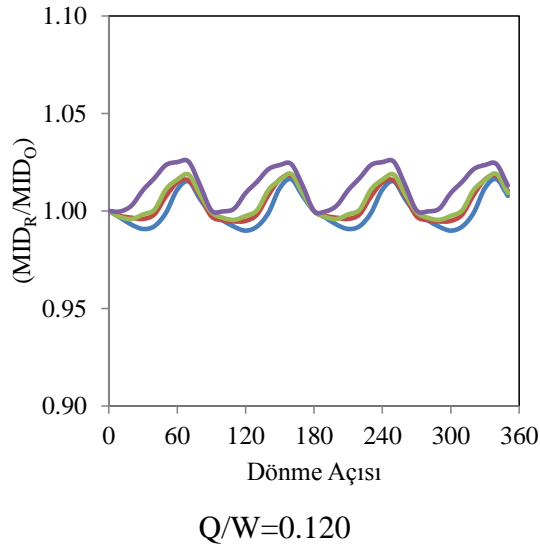
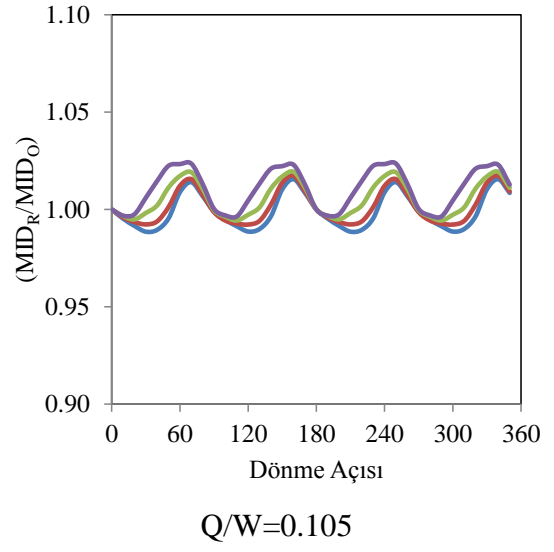
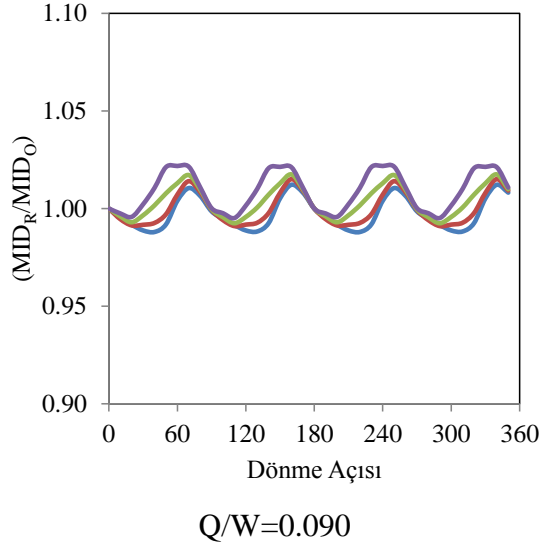
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 52. Grup 3 Deprem 6- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)



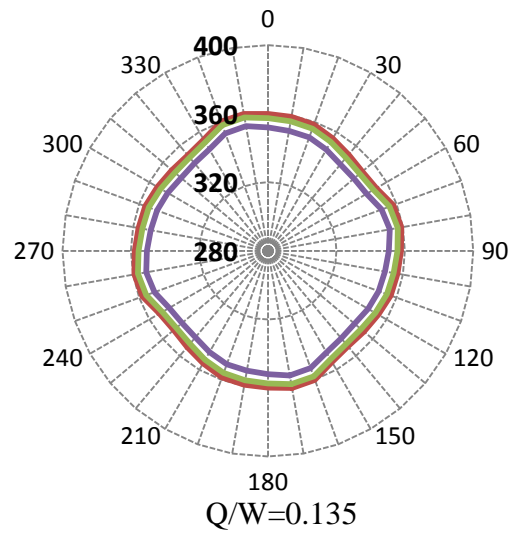
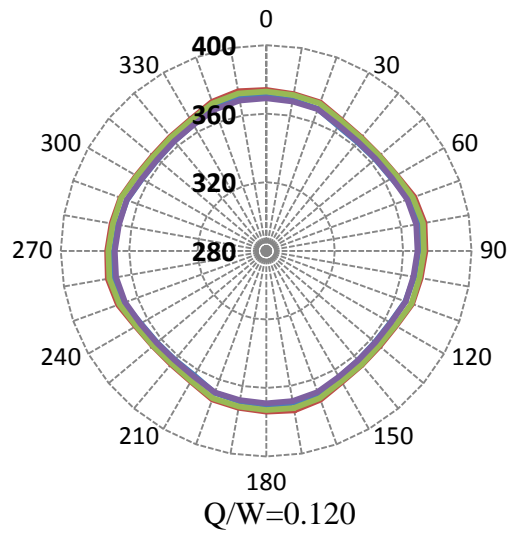
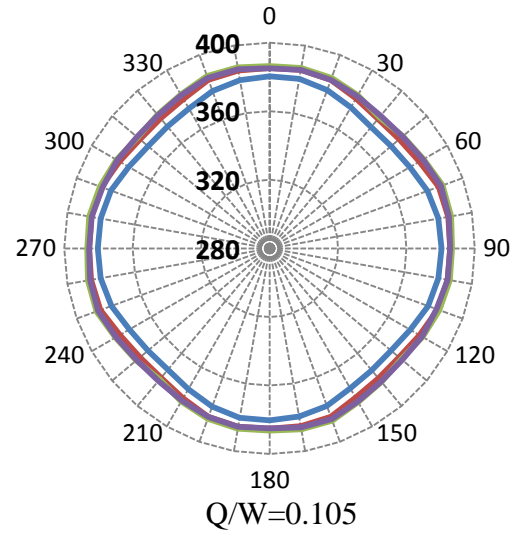
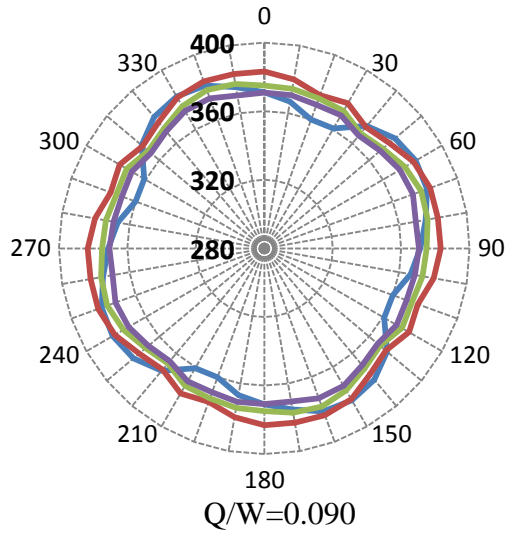
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 53. Grup 3 Deprem 7- Maksimum İzolatör Deplasmanı



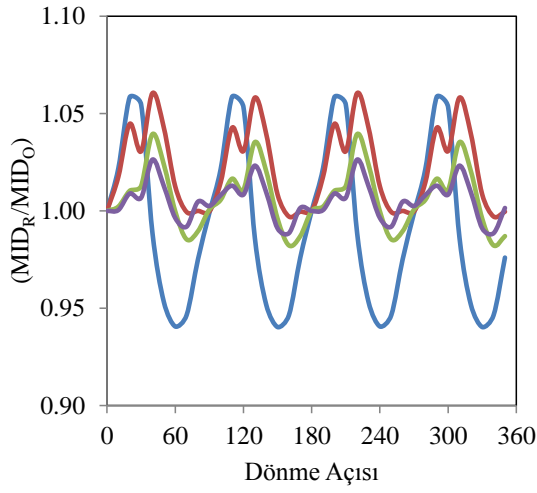
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 54. Grup 3 Deprem 7- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

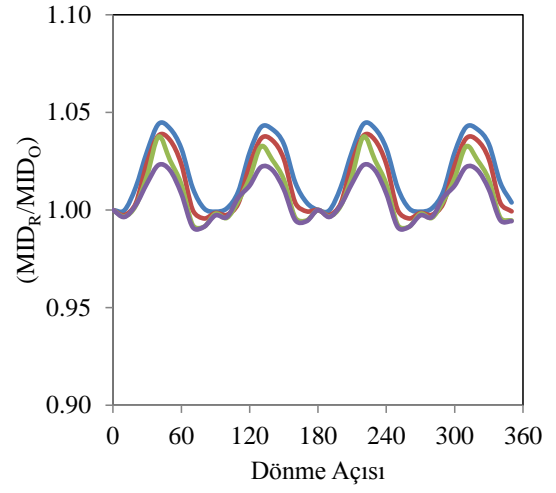


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

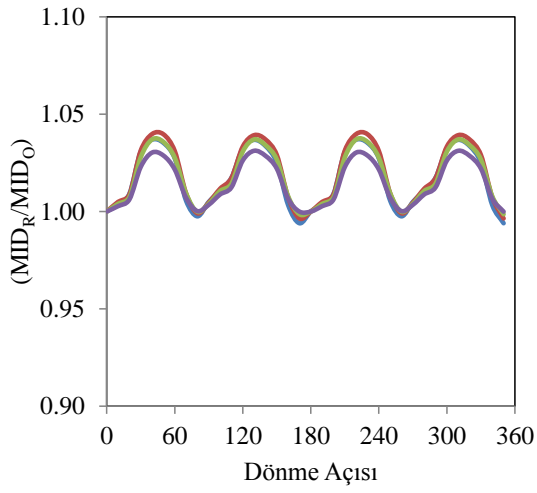
Şekil 55. Grup 3 Deprem 8- Maksimum İzolatör Deplasmanı



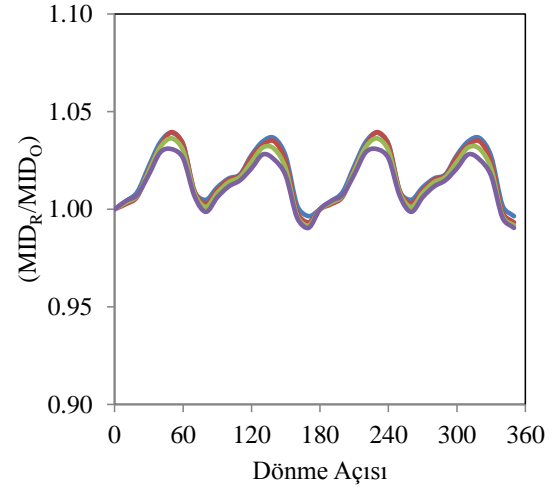
Q/W=0.090



Q/W=0.105



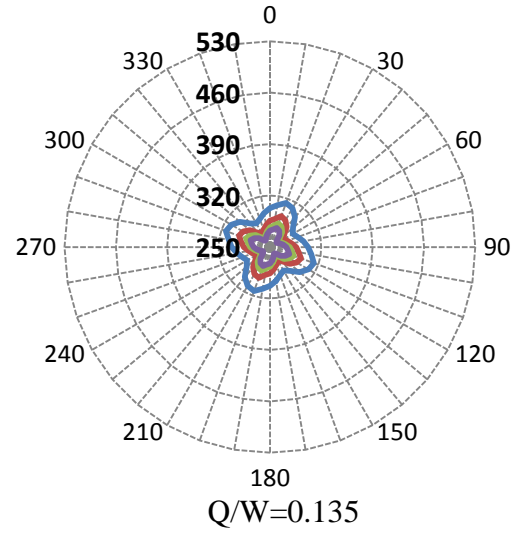
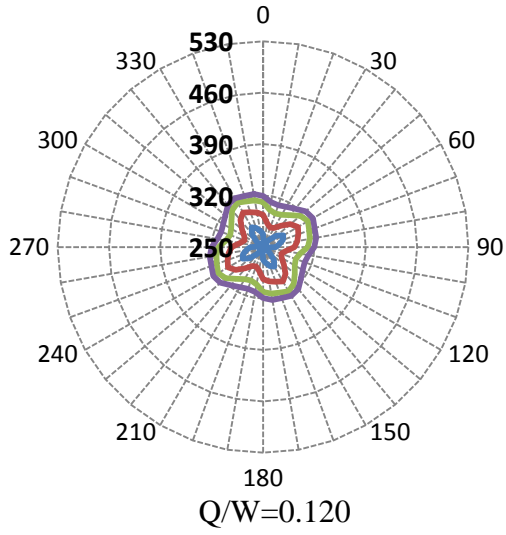
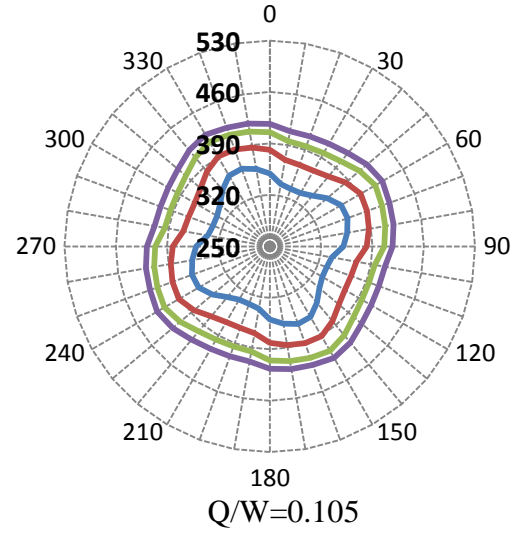
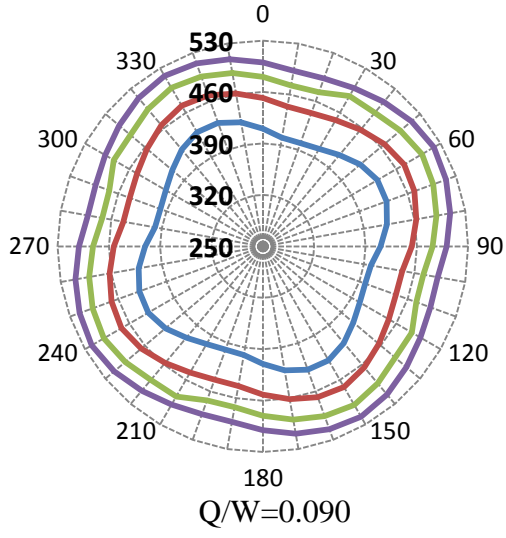
Q/W=0.120



Q/W=0.135

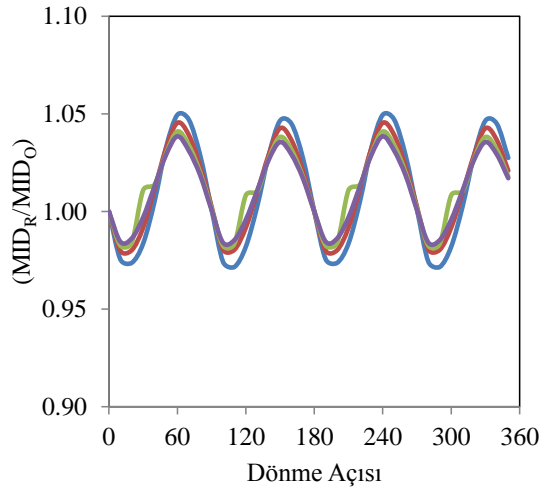
— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 56. Grup 3 Deprem 8- Maks. İzolator Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolator Dep.(Orijinal)

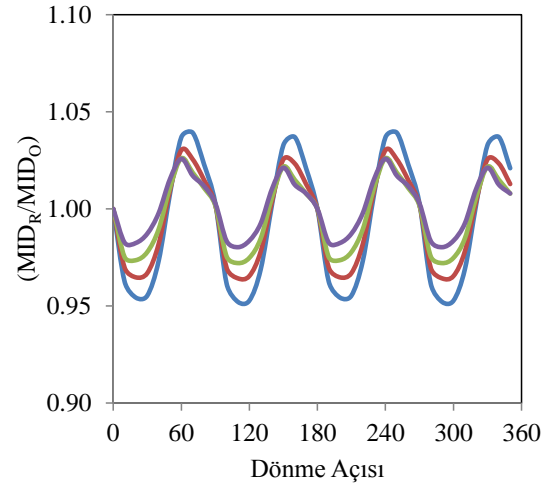


— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

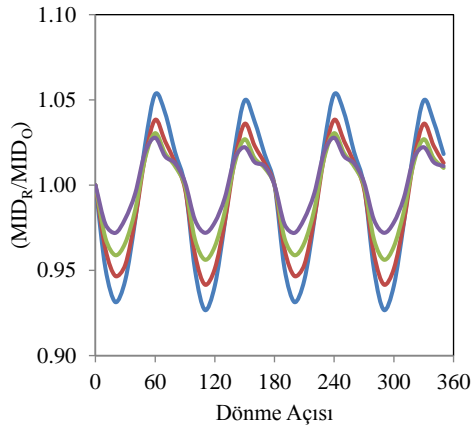
Şekil 57. Grup 3 Deprem 9- Maksimum İzolatör Deplasmanı



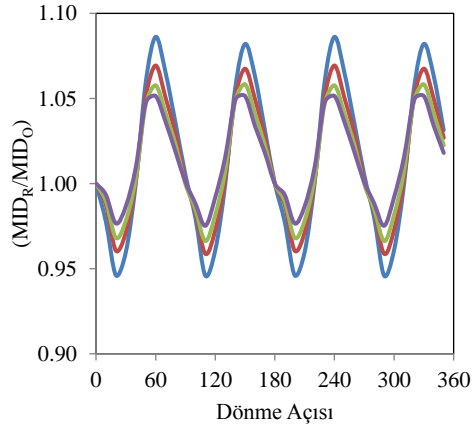
Q/W=0.090



Q/W=0.105



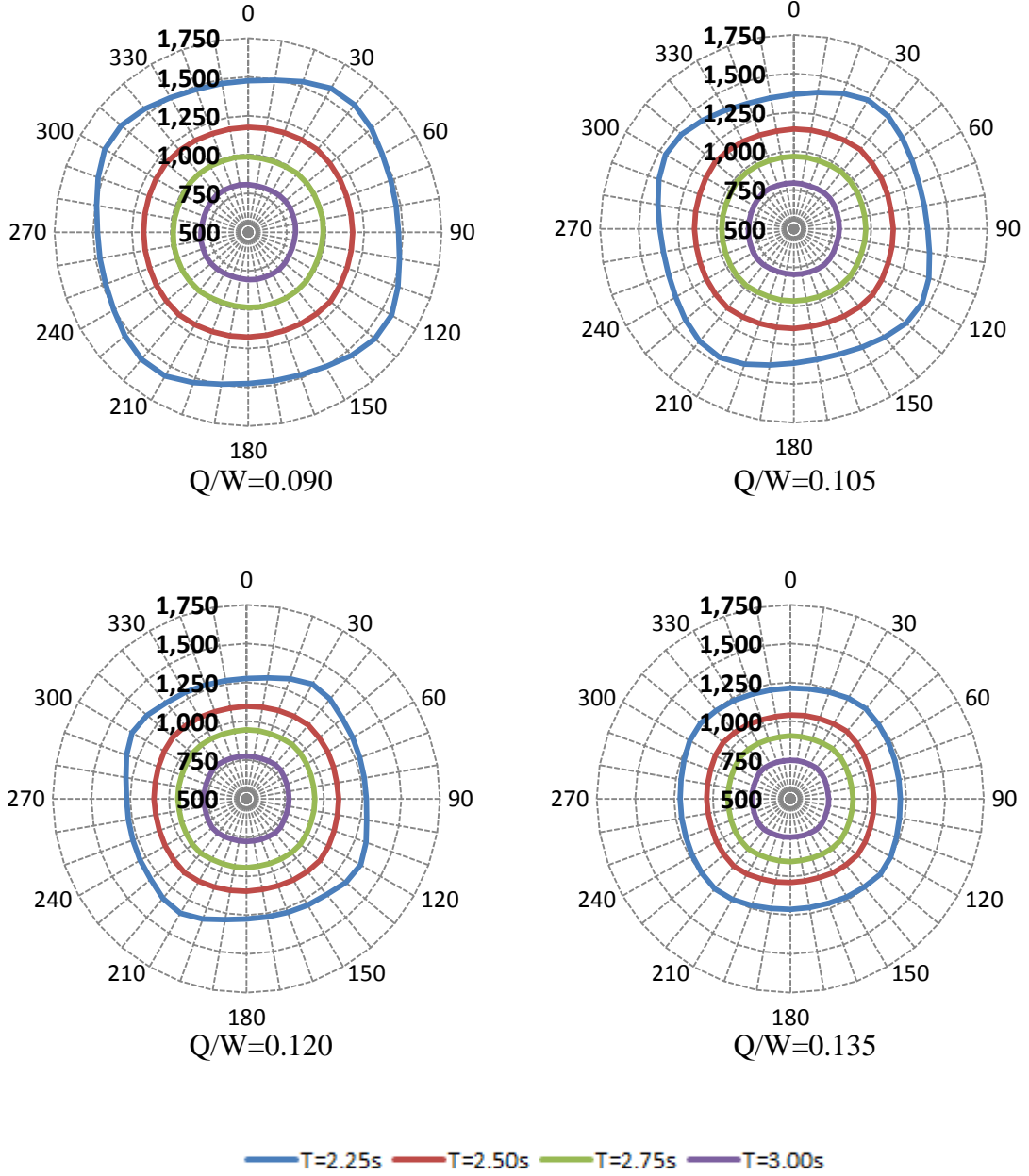
Q/W=0.120



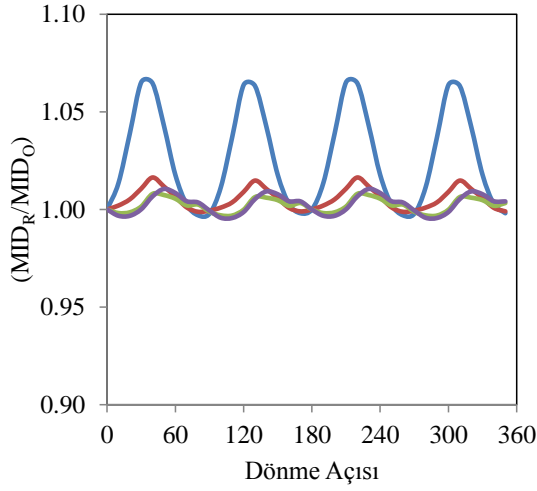
Q/W=0.135

— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

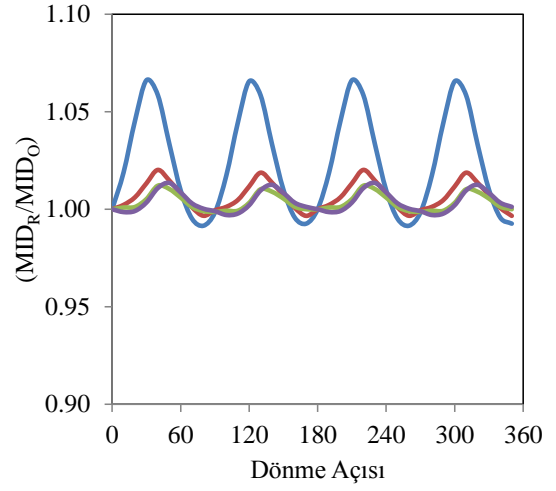
Şekil 58. Grup 3 Deprem 9- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)



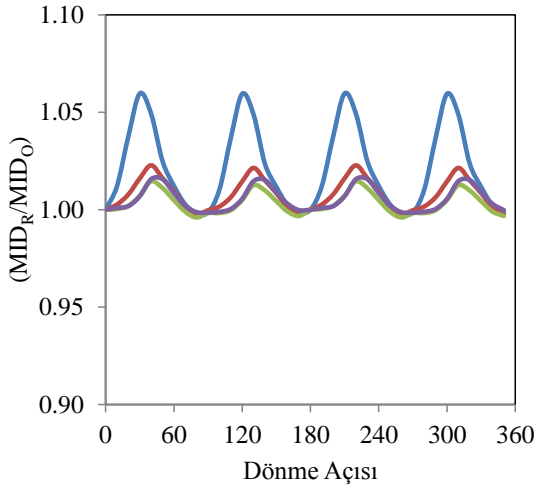
Şekil 59. Grup 3 Deprem 10- Maksimum İzolatör Deplasmanı



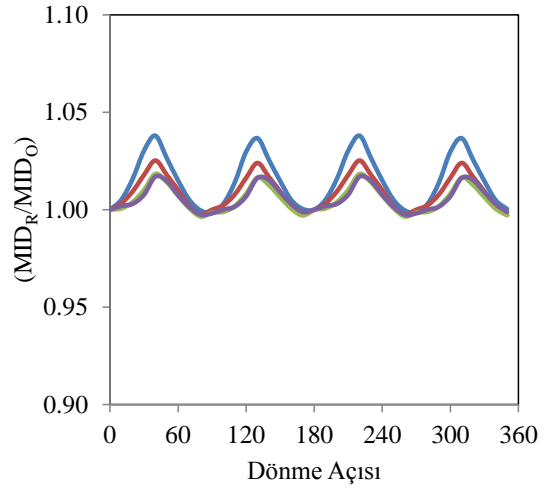
Q/W=0.090



Q/W=0.105



Q/W=0.120



Q/W=0.135

— T=2.25s — T=2.50s — T=2.75s — T=3.00s

Şekil 60. Grup 3 Deprem 10- Maks. İzolatör Dep.(Döndürülmüş)/ Maks. İzolatör Dep.(Orijinal)