

Farklı ölçeklendirme yöntemlerinin sismik izolatör davranışına etkisi

*¹Hakan Öztürk ve ²Gökhan Özdemir

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Sismik İzolatör Test Laboratuvarı, Türkiye

Özet:

Bu çalışmada, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü yapılarda, izolasyon seviyesinde meydana gelen en büyük deplasman, kuvvet ve ivme değerleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Dinamik analizlerde kullanılan deprem kayıtları dört farklı yöntem ile ölçeklendirilmiştir. Çift doğrultulu analizler gerçekleştirmek amacıyla, deprem kayıtlarına ait her iki yatay bileşen aynı zamanda yalıtım birimlerine uygulanmıştır. Analizlerde çevrimsel hareket nedeniyle kurşun çekirdekte oluşan ısınma sonucu meydana gelen dayanım kaybı dikkate alınmıştır. Ayrıca sismik izolasyonlu yapılarda, izolasyon periyodunu temsil eden beş periyot ($T_{iso}=2.5s, 2.75s, 3.0s, 3.25s$ ve $3.5s$) ile yalıtım birimi için dayanımı temsil eden dört karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.75, 0.90, 0.105$ ve 0.120) dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda izolasyon seviyesinde meydana gelen en büyük ivme ve deplasman değerlerinde, farklı ölçeklendirme yöntemleri nedeniyle %10-13 oranında değişim gözlenmiştir. Ayrıca izolatör kuvvetlerinde %3 civarında değişim olup kayda değer bir farklılık meydana gelmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, ölçeklendirme yöntemleri, sismik izolasyon, OpenSees.

Abstract:

In this study, the maximum displacement, force, and acceleration values occurring at the isolation level in structures with lead rubber bearings were investigated by using nonlinear response history analyses. Earthquake records used in the dynamic analysis were scaled with four different methods. In order to perform bidirectional analysis, both horizontal components of the earthquake records were applied to the isolation units simultaneously. In the analysis, the loss of strength (deterioration) due to the heating in the lead core due to the cyclical motion has been taken into account. In addition, in seismic isolated structures, five periods ($T_{iso}=2.5s, 2.75s, 3.0s, 3.25s, \text{ and } 3.5s$) representing the isolation period, and four characteristic strength ratios ($Q/W=0.75, 0.90, 0.105$ and 0.120) representing the strength of the isolation unit were taken into account. As a result of the study, 10-13% change was observed in the maximum acceleration and displacement values at the isolation level due to different scaling methods. In addition, there was a 3% change in force results, and no significant difference occurred.

Key words: Lead rubber bearing, scaling methods, seismic isolation, OpenSees.

1. Giriş

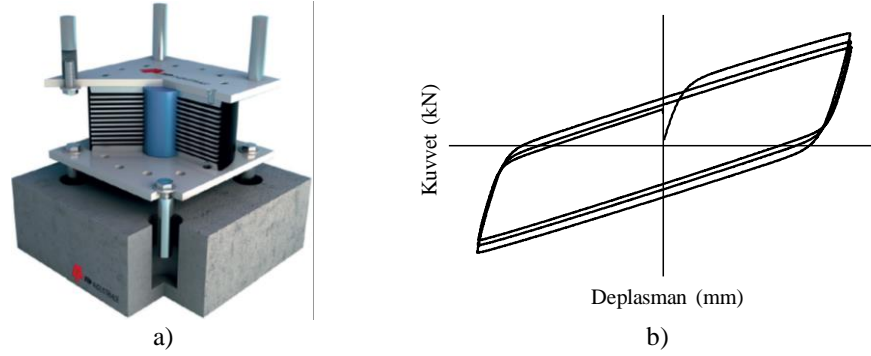
Sismik izolasyon uygulamasının temel prensibi, yapının periyodunu artırarak olası deprem yüklerini azaltmak ve yapıları depremlerin yıkıcı etkilerinden korumaktır. Yalıtım birimlerinin

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: hakanozturk@sakarya.edu.tr, Phone: +902642957037

tasarımında en önemli parametreler yalıtım seviyesinde meydana gelen en büyük deplasman (MID) ve üst yapıya aktarılan en büyük kuvvet (MIF) ve en büyük ivme (MA) değerleridir [1]. Bu parametrelerin belirlenebilmesi amacıyla yönetmeliklerde zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi (ZTADO) önerilmektedir [2–4]. Bu yöntemde kullanılan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi oldukça önemlidir [5]. Deprem kayıtlarının seçilmesi kapsamında yönetmeliklerde bazı kriterler tanımlanmaktadır. Ancak ölçeklendirme ile ilgili “seçilen deprem kayıtlarına ait bileşke yatay spektrum değerlerinin ortalamasının ilgili periyot aralığında tasarım spektrumununun 1.3 katından daha küçük olmaması” kriteri dışında detaylı bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle ölçeklendirme aşamasında kullanılan yöntem tasarım mühendisi tarafından seçilmektedir. Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi ile ilgili farklı ölçeklendirme yöntemlerin incelendiği çok sayıda çalışma literatürde yer almaktadır [6–14]. Kalkan ve Chopra, MPS olarak kısaltılan modal pushover-based scaling yöntemini geliştirerek ASCE/SEI 7-05’de verilen yöntemler ile karşılaştırmışlardır [15]. Benzer şekilde Huang vd. tarafından önerilen D-scaling yöntemi literatürde bulunan yöntemler ile karşılaştırılmıştır [16]. Pant ve Maharjan, sismik izolasyonlu yapılarda kullandıkları farklı ölçeklendirme yöntemleri ile izolatör deplasmanını incelemişlerdir [17]. Michaud ve Leger tarafından, ankastre mesnetli yapılar için dokuz ayrı ölçeklendirme yöntemini incelenmiş ve elde edilen yapısal tepkiler karşılaştırılmıştır [18]. Pant, sismik izolatörlü yapılar üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada genlik ölçekleme ve spektral eşleştirme yöntemlerini yapısal tepkileri belirlemek amacıyla kullanmıştır [19]. Literatürde deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda genellikle ankastre mesnetli yapılar dikkate alınmıştır. Ancak sismik izolatörlü yapılar için çok az sayıda çalışma gerçekleştirilmiş olup bu çalışmalarda kurşun çekirdeğin ısınması nedeniyle oluşan dayanım kaybı göz önüne alınmamıştır. Bu çalışma kapsamında, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde (KÇKİ), çevrimsel hareket nedeniyle meydana gelen sıcaklık artışına bağlı olarak oluşan dayanım kaybı dikkate alınarak, farklı ölçeklendirme yöntemlerinin yalıtım birimi davranışı üzerindeki etkileri, en büyük deplasman (MID), en büyük kuvvet (MIF) ve en büyük ivme (MA) değerleri açısından incelenmiştir. Dinamik analizler için seçilen deprem kayıtları dört farklı yöntem ile ölçeklendirilmiş ve tüm kayıtlar çift doğrultulu analizler gerçekleştirebilmek amacıyla yalıtım birimi modeline eş zamanlı olarak uygulanmıştır. Ayrıca yalıtım biriminde oluşan yapısal tepkilerin (MID, MIF ve MA) belirlenmesi amacıyla izolasyon periyodu (T_{iso}) ve karakteristik dayanım oranı (Q/W) değerleri de birer parametre olarak seçilmiştir. Böylece izolasyon periyodunu temsil eden beş periyot ($T_{iso}=2.5s, 2.75s, 3.0s, 3.25s$ ve $3.5s$) ile dayanımı temsil eden dört karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.75, 0.90, 0.105$ ve 0.120) analizlerde dikkate alınmıştır.

2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Modeli

Çalışma kapsamında incelenen yalıtım birimi tek serbestlik dereceli sistem olarak modellenmiştir. Sismik yalıtım birimi analizleri için OpenSees [20] yapısal analiz programı kullanılmıştır. Üst yapıyı temsil eden ağırlık 1308 kN olarak belirlenmiş ve yalıtım birimine uygulanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan KÇKİ’e ait temsili görsel Şekil 1a’da sunulmuştur. Kurşun çekirdekte meydana gelen sıcaklık artışı nedeniyle oluşan dayanım kaybı her bir döngüde kademeli olarak ortaya çıkmaktadır [21–23]. Şekil 1b’de sunulan bu davranış KÇKİ üzerinde gerçekleştirilen test sonuçlarından elde edilmektedir. Analizlerde kurşun çekirdeğin kayma gerilmesi (σ_{YLO}) 10 MPa, kauçuğun kayma gerilmesi (G) ise 0.5 MPa olarak seçilmiştir.



Şekil 1. a) Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör [24] ve b) kuvvet-deplasman davranışı [25]

3. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

Çalışmada kullanılan deprem kayıtlarının seçiminde yönetmeliklerde tanımlanan kriterler göz önüne alınmıştır. Bu kriterler; moment büyüklüğü (M_w) 6.5 ile 7.6, fay kırığına olan mesafe (R) 20 km'den az, ilk 30m'lik zeminde kayma dalgası hızı (V_s) değeri 180m/s ile 360m/s şeklindedir. Özellikleri Tablo 1'de verilen deprem kayıtları Pasific Earthquake Engineering Research Center (PEER) veri tabanından indirilmiştir [26]. Tablo 1'de sunulan PGA, PGV, PGD sırasıyla en büyük yer ivmesi, hızı ve deplasmanı ifade etmektedir.

Tablo 1. Deprem kayıtlarına ait bilgiler

EQ Numara	EQ İsim	İstasyon	Büyükklük (M_w)	R (km)	Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
1	Kocaeli	Duzce	7,5	15,4	180	0,31	58,9	44,2
					270	0,36	46,4	17,6
2	Kocaeli	Yarimca	7,5	4,8	060	0,27	65,7	57,2
					330	0,35	62,2	51,1
3	Erzincan	Erzincan	6,7	4,4	NS	0,52	84,0	27,7
					EW	0,50	64,3	21,9
4	Imperial Valley	El Centro Array #4	6,5	7,1	230	0,36	76,5	58,9
					140	0,49	37,4	19,7
5	Imperial Valley	El Centro Array #5	6,5	4,0	230	0,38	90,5	63,0
					140	0,52	46,9	35,3
6	Duzce	Duzce	7,1	6,6	270	0,54	83,5	51,8
					180	0,35	60,0	41,8
7	Imperial Valley	El Centro Array #10	6,5	6,2	050	0,17	47,5	31,1
					320	0,22	41,2	18,0
8	Chi-Chi	CHY024	7,6	9,6	W	0,28	52,9	43,6
					N	0,18	49,0	31,1
9	Duzce	Bolu	7,1	12,0	090	0,82	62,1	13,6
					000	0,73	56,4	23,1
10	Chi-Chi	TCU109	7,6	13,1	N	0,16	53,1	34,8
					W	0,16	50,8	46,5
11	Kobe	KJM	6,9	1,0	000	0,82	81,3	17,7
					090	0,60	74,4	20,0

Bu çalışmada yönetmelikler tarafından önerilen basit ölçeklendirme yöntemi referans olarak alınmış ve toplam dört farklı ölçeklendirme yönteminin yalıtım biriminde meydana gelen tepkileri

ne ölçüde etkilediği incelenmiştir. Ölçeklendirme için 50 yılda aşılma olasılıkları %2 (DD-1) ve %10 (DD-2) olan deprem yer hareketi düzeyleri dikkate alınmıştır. Bu yer hareketi düzeyleri için spektrum eğrilerine ait 1s tasarım spektral ivme katsayıları (S_{D1}) sırasıyla 0.87 ve 0.56 olarak belirlenmiştir. Her bir deprem kaydı, çalışmada göz önüne alınan beş izolasyon periyodu için ayrı ayrı ölçeklendirilmiştir. Tablo2’de çalışma kapsamında kullanılan dört farklı ölçeklendirme yöntemine (M1, M2, M3 ve M4) ait işlem adımları sunulmuştur.

Tablo 2. Ölçeklendirme yöntemlerine ait işlem adımları

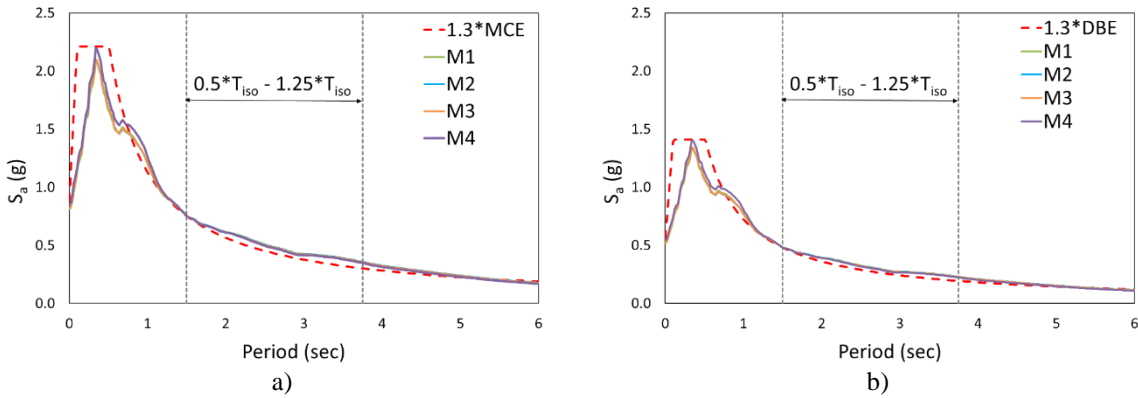
Yöntem \ Adım	1	2	3	4	5
Method_1 (M1)	Her bir depreme ait yatay bileşenlerin kareleri toplamının karekökü (SRSS) alınarak bileşke spektrum elde edilir	Tüm kayıtlara ait ortalama bileşke yatay spektrum elde edilir	Tasarım spektrumu ile ortalama bileşke yatay spektrum uyumu için ölçek katsayısı belirlenir	-	-
Method_2 (M2)	Her bir depreme ait yatay bileşenlerin kareleri toplamının karekökü (SRSS) alınarak bileşke spektrum elde edilir	Tasarım spektrumu ile her bir bileşke spektrumun uyumunu sağlamak için hata miktarı hesaplanarak birinci ölçek katsayısı belirlenir	Birinci ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş olan tüm bileşke spektrum eğrilerinin ortalaması alınır	Bileşke spektrumların ortalamasının tasarım spektrumu ile uyumunu belirleyebilmek için ikinci ölçek katsayısı belirlenir	Nihai ölçek katsayısı birinci ve ikinci ölçek katsayısının çarpımına eşittir
Method_3 (M3)	Her bir depreme ait yatay bileşenlerin kareleri toplamının karekökü (SRSS) alınarak bileşke spektrum elde edilir	Tasarım spektrumu ile her bir bileşke spektrumun uyumunu sağlamak için birinci ölçek katsayısı belirlenir	Birinci ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş olan tüm bileşke spektrum eğrilerinin ortalaması alınır	Bileşke spektrumların ortalamasının tasarım spektrumu ile uyumunu belirleyebilmek için ikinci ölçek katsayısı belirlenir	Nihai ölçek katsayısı birinci ve ikinci ölçek katsayısının çarpımına eşittir
Method_4 (M4)	Her bir depreme ait yatay bileşenlerin geometrik ortalaması alınarak bileşke spektrum elde edilir	Tasarım spektrumu ile her bir bileşke spektrumun uyumunu sağlamak için hata miktarı hesaplanarak birinci ölçek katsayısı belirlenir	Birinci ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş olan tüm bileşke spektrum eğrilerinin, kareleri toplamının kareköklerinin (SRSS) ortalaması alınır	Bileşke spektrumların ortalamasının tasarım spektrumu ile uyumunu belirleyebilmek için ikinci ölçek katsayısı belirlenir	Nihai ölçek katsayısı birinci ve ikinci ölçek katsayısının çarpımına eşittir

İncelenen ölçeklendirme yöntemleri aracılığı ile elde edilen ölçek katsayıları her bir deprem ve her bir periyot değeri için Tablo 3’de verilmiştir. Ayrıca bu yöntemler kullanılarak oluşturulan

spektrum eğrilerinin, DD-1 (MCE) ve DD-2 (DBE) spektrumlar eğrileri ile uyumu Şekil 2a ve Şekil 2b'de sunulmuştur.

Tablo 3. Ölçek Katsayıları

Periyot	Ölçeklendirme		Deprem Kaydı									
	Yöntemi		EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7	EQ8	EQ9	EQ10
T=2,5 s	M1		1,38									
	M2	1,40	1,26	1,03	1,48	1,21	1,33	1,88	1,83	1,80	1,30	1,19
	M3	1,64	1,32	0,86	1,30	1,53	1,08	1,44	1,92	1,69	1,84	1,30
	M4	1,44	1,22	1,02	1,57	1,22	1,30	1,88	1,73	1,68	1,23	1,30
T=2,75 s	M1		1,38									
	M2	1,40	1,26	1,03	1,48	1,21	1,33	1,88	1,83	1,80	1,30	1,19
	M3	1,64	1,32	0,93	1,30	1,52	1,08	1,35	1,73	1,68	1,68	1,40
	M4	1,44	1,22	1,02	1,57	1,22	1,30	1,88	1,73	1,68	1,23	1,30
T=3,0 s	M1		1,38									
	M2	1,40	1,26	1,03	1,48	1,21	1,33	1,88	1,83	1,80	1,30	1,19
	M3	1,56	1,26	1,00	1,22	1,40	1,03	1,29	1,51	2,13	1,40	1,57
	M4	1,44	1,22	1,02	1,57	1,22	1,30	1,88	1,73	1,68	1,23	1,30
T=3,25 s	M1		1,36									
	M2	1,37	1,23	1,01	1,45	1,18	1,31	1,84	1,79	1,76	1,27	1,17
	M3	1,54	1,24	1,18	1,05	1,26	1,02	1,34	1,40	2,26	1,08	1,69
	M4	1,41	1,20	1,00	1,54	1,20	1,28	1,84	1,69	1,65	1,21	1,27
T=3,5 s	M1		1,33									
	M2	1,34	1,20	0,99	1,42	1,16	1,28	1,80	1,76	1,73	1,25	1,14
	M3	1,49	1,20	1,30	0,96	1,12	0,98	1,37	1,35	2,18	1,00	1,82
	M4	1,38	1,17	0,99	1,51	1,18	1,25	1,81	1,66	1,62	1,19	1,25



Şekil 2. a) T=3.0 (sec) için DD-1 (MCE) spektrumu ve ölçeklendirme yöntemleri b) T=3.0 (sec) için DD-2 (DBE) spektrumu ve ölçeklendirme yöntemleri

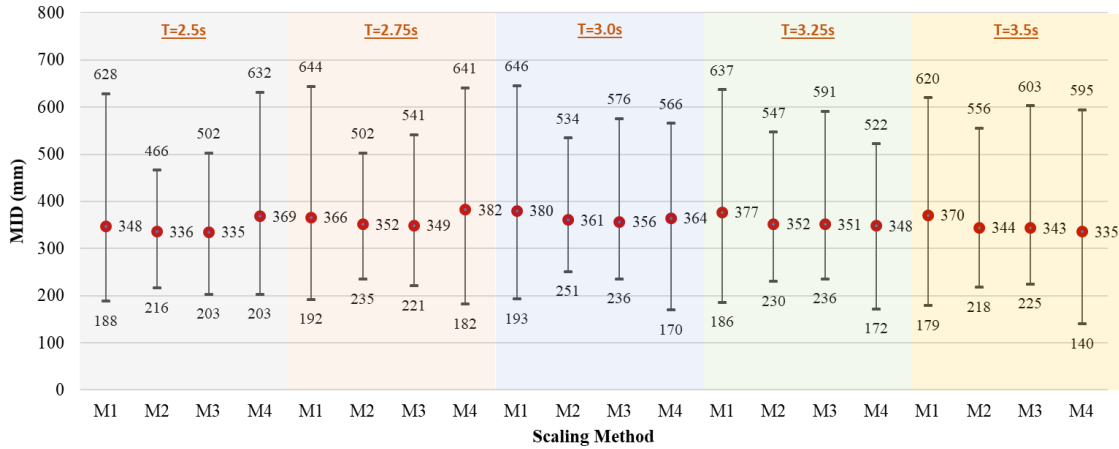
4. Analiz Sonuçları

Dinamik analizlerden elde edilen MID değerleri için DD-1 deprem yer hareketi düzeyi sonuçları, MIF ve MA için ise DD-2 deprem yer hareketi düzeyi sonuçları dikkate alınmıştır. Yalıtım birimi deplasman ve ivme değerleri belirlenirken her iki doğrultudan elde edilen verilerin karelerinin toplamının karekökü ($\sqrt{x^2 + y^2}$) kuralı uygulanmıştır. En büyük kuvvet değeri ise iki doğrultudan elde edilen değerlerin en büyüğü olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, izolasyon periyodu

etkisi (Şekil 3-5) ve karakteristik dayanım oranı etkisi (Şekil 6-8) şeklinde aşağıda sunulmuştur. Sunulan grafiklerde dikey eksen sırasıyla MID, MIF ve MA gösterirken yatay eksen çalışmada kullanılan ölçeklendirme yöntemlerini ifade etmektedir. Verilen sayısal değerler her bir ölçeklendirme yöntemi için 11 deprem kaydına ait sonuçların en büyük, ortalama ve en küçük değerlerini göstermektedir.

4.1. İzolasyon periyodunun etkisi

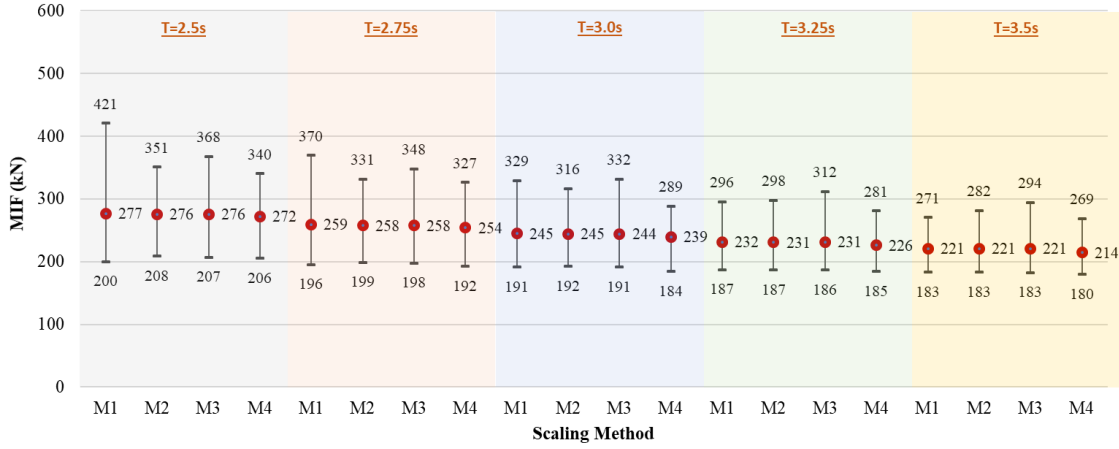
Bu bölümde MID, MIF ve MA değerlerinin izolasyon periyoduna bağlı değişimi incelenmiştir. Bu amaçla karakteristik dayanım oranı sabit tutulmuştur ($Q/W=0.105$). Analizlerden elde edilen MID, MIF ve MA sonuçları sırasıyla Şekil 3-5'de sunulmuştur. Şekil 3 incelendiğinde her bir periyot için elde edilen MID, referans olarak seçilen M1 ölçeklendirme yöntemi ile kullanılan diğer ölçeklendirme yöntemleri kıyaslandığında %3 ile %10 arasında değişen farklılıklar elde edilmiştir. Bu değişimin periyot artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Sabit Q/W (0.105) için her bir ölçeklendirme yönteminden elde edilen MID değeri farklı periyot değerleri için değişkenlik göstermektedir. Örneğin 2.5s ve 2.75s periyot için en büyük MID değerleri M4 yönteminden elde edilirken 3.0s, 3.25s ve 3.5s periyot için en büyük MID değerleri M1 yönteminden elde edilmiştir. Her bir periyot değerinde ölçeklendirme yöntemlerinden elde edilen MID içerisindeki en büyük ve en küçük değerler arasında %6.3 ile % 9.5 arasında değişen değerler bulunmuştur (% 9.2, 8.6, 6.3, 7.7, 9.5). Ölçeklendirme yöntemleri arasında en fazla saçılım M1 ve M4 yöntemlerinde meydana gelirken en az saçılım M2 yönteminde ortaya çıkmıştır.



Şekil 3. MID periyot ve ölçeklendirme yöntemlerine göre değişimi ($Q/W=0.105$)

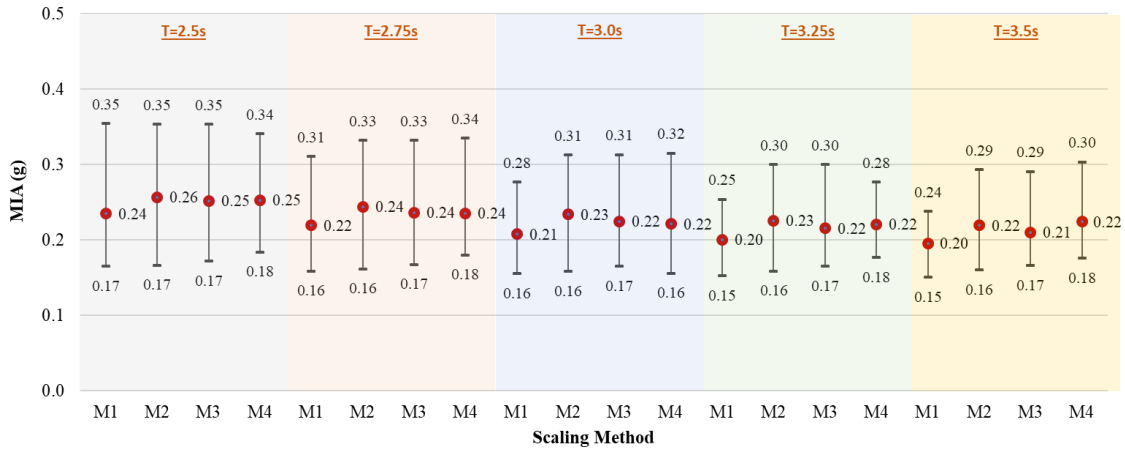
MIF değerlerinin izolasyon periyodu ve ölçeklendirme yöntemlerine bağlı olarak değişimi Şekil 4'de sunulmuştur. Her bir periyot için elde edilen MIF, farklı ölçeklendirme yöntemleri kullanılarak kıyaslandığında birbirine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Referans olarak seçilen M1 ölçeklendirme yöntemine göre kıyaslama yapıldığında diğer ölçeklendirme yöntemlerinden elde edilen MIF sonuçlarının farkı en fazla %3 mertebesinde dir. M1 ölçeklendirme yönteminden en büyük, M4 ölçeklendirme yönteminden ise en küçük MIF değerleri elde edilmiştir. Sabit Q/W oranı (0.105) için MIF değerlerinin periyodun artışına bağlı olarak azaldığı

görülmektedir. Ancak her bir izolasyon periyodu için ölçeklendirme yöntemleri arasındaki MIF değişimi oldukça küçük olup ihmal edilebilecek bir seviyededir.



Şekil 4. MIF periyot ve ölçeklendirme yöntemlerine göre değişimi (Q/W=0.105)

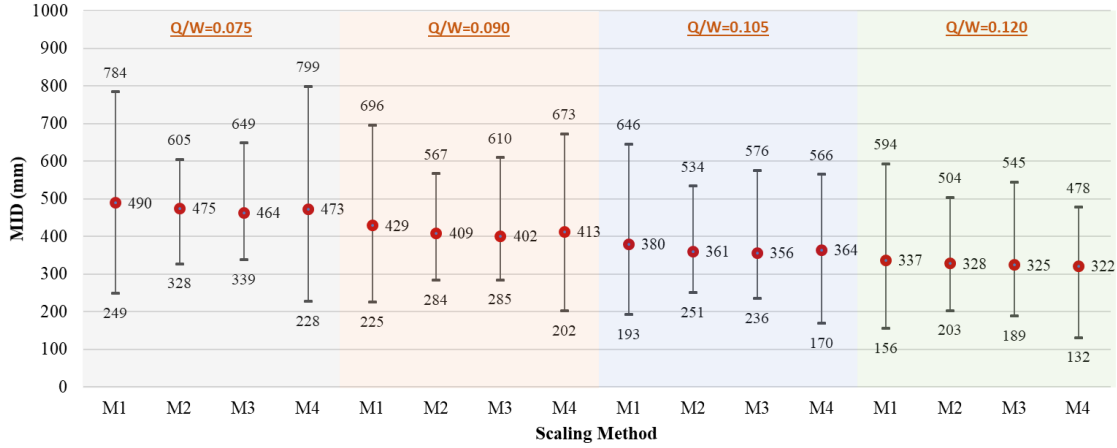
MA değerlerinin izolasyon periyodu ve ölçeklendirme yöntemlerine bağlı olarak değişimi Şekil 5’de sunulmuştur. Her bir periyot değeri için elde edilen MA, farklı ölçeklendirme yöntemleri kullanılarak kıyaslandığında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Referans olarak seçilen M1 ölçeklendirme yöntemine göre kıyaslama yapıldığında diğer ölçeklendirme yöntemlerinden elde edilen MA sonuçları %6.2 ile %12.8 arasında değişim göstermektedir. M2 ölçeklendirme yönteminden en büyük, M1 ölçeklendirme yönteminden ise en küçük MA değerleri elde edilmiştir. Sabit Q/W oranı (0.105) için MA değerlerinin periyodun artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir.



Şekil 5. MA periyot ve ölçeklendirme yöntemlerine göre değişimi (Q/W=0.105)

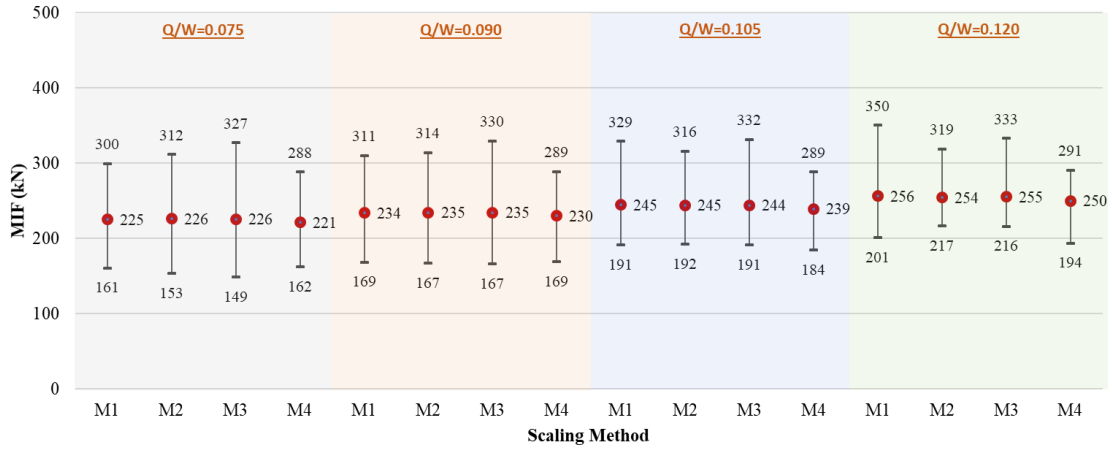
4.2. Karakteristik dayanım oranı etkisi

Bu bölümde MID, MIF ve MA değerlerinin karakteristik dayanım oranlarına bağlı değişimi incelenmiştir. Bu amaçla izolasyon periyodu ($T_{iso}=3.0s$) sabit tutulmuştur. Analizlerden elde edilen MID, MIF ve MA sonuçları sırasıyla Şekil 6-8'de sunulmuştur. Şekil 6 incelendiğinde her bir karakteristik dayanım oranı için elde edilen MID, referans olarak seçilen M1 ölçeklendirme yöntemi ile kullanılan diğer ölçeklendirme yöntemleri kıyaslandığında %2.7 ile %6.9 arasında değişen farklılıklar elde edilmiştir. Karakteristik dayanım oranının artışı ile MID azalmaktadır. Sabit izolasyon periyodu (3.0s) için her bir ölçeklendirme yönteminden elde edilen MID değeri farklı karakteristik dayanım oranı değerleri için değişkenlik göstermektedir. En büyük MID değerleri M1 yönteminden elde edilirken, en küçük MID değerleri M3 yönteminden elde edilmiştir. Yalnızca karakteristik dayanım oranı 0.120 için en küçük MID değeri M4 yönteminde meydana gelmiştir. Her bir karakteristik dayanım oranı değerinde ölçeklendirme yöntemlerinden elde edilen MID içerisindeki en büyük ve en küçük değerler arasında % 4.5 ile % 6.3 arasında değişen değerler bulunmuştur (% 5.3 6.3 6.3 4.5). Ölçeklendirme yöntemleri arasında en fazla saçılım M1 ve M4 yöntemlerinde meydana gelirken en az saçılım M2 yönteminde ortaya çıkmıştır.



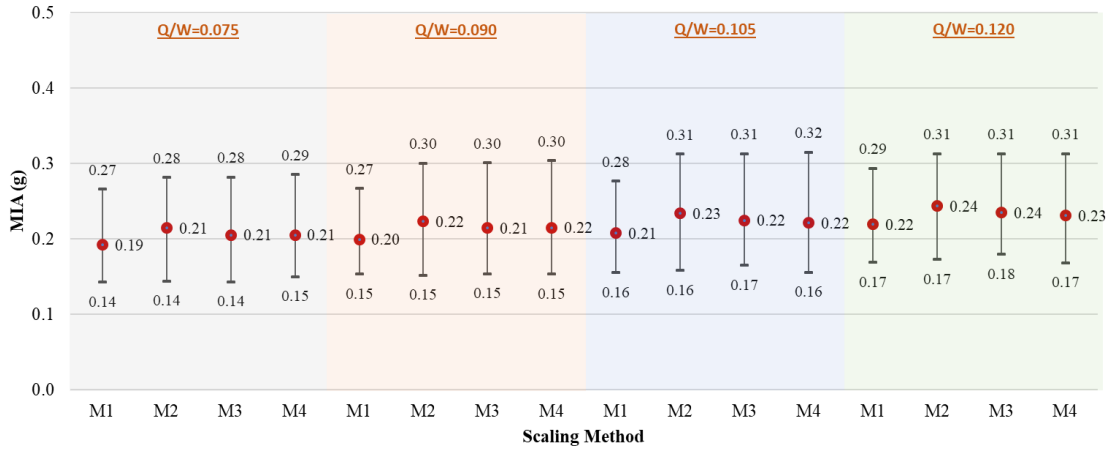
Şekil 6. MID karakteristik dayanım ve ölçeklendirme yöntemlerine göre değişimi (T=3.0 sec)

MIF değerlerinin karakteristik dayanım oranı ve ölçeklendirme yöntemlerine bağlı olarak değişimi Şekil 7'de sunulmuştur. Her bir karakteristik dayanım oranı için elde edilen MIF değerleri, farklı ölçeklendirme yöntemleri kullanılarak kıyaslandığında birbirine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Referans olarak seçilen M1 ölçeklendirme yöntemine göre kıyaslama yapıldığında diğer ölçeklendirme yöntemlerinden elde edilen MIF sonuçları %0.16 ile %2.54 arasında değişim göstermektedir. Sabit izolasyon periyodu (3.0s) için karakteristik dayanım oranının artışına bağlı olarak MIF değerlerinin arttığı görülmektedir. Ancak her bir karakteristik dayanım oranı için ölçeklendirme yöntemleri arasındaki değişim oldukça küçük olup ihmal edilebilecek bir seviyededir.



Şekil 7. MIF karakteristik dayanım ve ölçeklendirme yöntemlerine göre değişimi (T=3.0 sec)

MA değerlerinin karakteristik dayanım oranı ve ölçeklendirme yöntemlerine bağlı olarak değişimi Şekil 8'de sunulmuştur. Her bir karakteristik dayanım oranı için elde edilen MA, farklı ölçeklendirme yöntemleri kullanılarak kıyaslandığında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Referans olarak seçilen M1 ölçeklendirme yöntemine göre kıyaslama yapıldığında diğer ölçeklendirme yöntemlerinden elde edilen MA sonuçları %5.1 ile %11.2 arasında değişim göstermektedir. Sabit izolasyon periyodu (3.0s) için karakteristik dayanım oranının artışıyla bağlı olarak MA değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 8. MA karakteristik dayanım ve ölçeklendirme yöntemlerine göre değişimi (T=3.0 sec)

Sonuçlar

Bu çalışmada, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde, dayanım kaybı dikkate alınarak, en büyük deplasman (MID), kuvvet (MIF) ve ivme (MA) değerleri farklı ölçeklendirme yöntemleri dikkate alınarak incelenmiştir. Çift doğrultulu analizler gerçekleştirebilmek amacıyla ölçeklendirilmiş deprem kayıtları yalıtım birimine eş zamanlı olarak uygulanmıştır. Bahsi geçen yapısal tepkilerin (MID, MIF ve MA) belirlenmesi amacıyla beş farklı izolasyon periyodu ($T_{iso}=2.5s, 2.75s, 3.0s,$

3.25s ve 3.5s) ve dört farklı karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.75, 0.90, 0.105$ ve 0.120) birer parametre olarak seçilmiş ve karşılaştırmalar bu parametrelere göre yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- Farklı ölçeklendirme yöntemleri sonucunda her bir deprem için farklı ölçek katsayıları elde edilmiştir.
- İzolasyon periyodunun artışına paralel olarak deplasmanlar artarken, karakteristik dayanım oranı artışına bağlı olarak deplasmanlar azalmaktadır.
- Kuvvet verileri incelendiğinde, izolasyon periyodunun artışına paralel olarak azalırken, karakteristik dayanım oranı artışına bağlı olarak artmaktadır.
- İvme değerleri izolasyon periyodunun artışına paralel olarak azalırken, karakteristik dayanım oranı artışına bağlı olarak artmaktadır.

Sonuç olarak farklı ölçeklendirme yöntemlerinden elde edilen ölçek katsayıları, her bir deprem için birbirine yakın olsa da yalıtım birimi deplasman ve ivme değerlerinde belirgin farklılaşmalar ortaya çıkmaktadır. Çalışmada elde edilen kuvvet verileri için bu farklılaşma ihmal edilebilir seviyededir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2218 programı kapsamında 118C510 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

References

- [1] Naeim, F., and Kelly, J. M. (1999). Design of seismic isolated structures : from theory to practice. John Wiley.
- [2] Turkish Building Earthquake Code (TBEC), Principles for the design of buildings under earthquake, Ankara, Turkey, 2018.
- [3] Eurocode8: Design of Structures for Earthquake Resistance- Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, EN 1998-1, 2004.
- [4] American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute, 2016. “Minimum Design Loads For Buildings And Other Structures”, ASCE/SEI 7-16, Reston, V.A.
- [5] Bommer JJ, Acevedo AB. The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis. J Earthq Eng 2004;8:43–91.
- [6] Nau JM, Hall WJ. Scaling Methods for Earthquake Response Spectra. J Struct Eng 1984;110:1533–48.
- [7] Shome N, Cornell CA, Bazzurro P, Carballo JE. Earthquakes, records, and nonlinear responses. Earthq Spectra 1998;14:469–500.
- [8] Malhotra PK. Strong-motion records for site-specific analysis. Earthq Spectra 2003;19:557–78.
- [9] Weng Y.T., Tsai K.C., Chan Y.R. A ground motion scaling method considering highermode effects and structural characteristics. Earthq Spectra 2010;26:841–786.

- [10] Kwong NS, Chopra AK, Mcguire RK. A framework for the evaluation of ground motion selection and modification procedures. *Earthq Eng Struct Dyn* 2015;44:795–815.
- [11] Marasco S, Cimellaro GP. A new energy-based ground motion selection and modification method limiting the dynamic response dispersion and preserving the median demand. *Bull Earthq Eng* 2018;16:561–81.
- [12] Kottke A, Rathje EM. A Semi-Automated Procedure for Selecting and Scaling Recorded Earthquake Motions for Dynamic Analysis. *Earthq Spectra* 2019;24:911–32.
- [13] Zhang R, Wang D, Chen X, Li H. Weighted and Unweighted Scaling Methods for Ground Motion Selection in Time-history Analysis of Structures. *J Earthq Eng* 2020:1–36.
- [14] Eren N, Sucuoğlu H, Pinho R. Interstory drift based scaling of earthquake ground motions. *Earthq Eng Struct Dyn* 2021;50:3814–30.
- [15] Kalkan E, Chopra AK. Modal-Pushover-Based Ground-Motion Scaling Procedure. *J Struct Eng* 2011;137:298–310.
- [16] Huang Y-N, Whittaker AS, Luco N, Hamburger RO. Scaling Earthquake Ground Motions for Performance-Based Assessment of Buildings. *J Struct Eng* 2011;137:311–21.
- [17] Pant DR, Maharjan M. On selection and scaling of ground motions for analysis of seismically isolated structures. *Earthq Eng Eng Vib* 2016;15:633–48.
- [18] Michaud D, Léger P. Ground motions selection and scaling for nonlinear dynamic analysis of structures located in Eastern North America. *Can J Civ Eng* 2014;41:232–44.
- [19] Pant DR. Influence of scaling of different types of ground motions on analysis of code-compliant four-story reinforced concrete buildings isolated with elastomeric bearings. *Eng Struct* 2017;135:53–67.
- [20] Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees), 2021. Version: 3.3.0, Software, University of California, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California, 2021. <http://opensees.berkeley.edu>.
- [21] Alhan C, Şahin F. Protecting vibration-sensitive contents: An investigation of floor accelerations in seismically isolated buildings. *Bull Earthq Eng* 2011;9:1203–26.
- [22] Robinson WH. Lead-Rubber Hysteretic Bearings Suitable for Protecting Structures During Earthquakes. *Earthq Eng Struct Dyn* 1982;10:593–604.
- [23] Ozdemir G, Dicleli M. Effect of lead core heating on the seismic performance of bridges isolated with LRB in near-fault zones. *Earthq Eng Struct Dyn* 2012;41:1989–2007.
- [24] *Seismic Isolation for Architects*.
- [25] Ozdemir G, Constantinou MC. Evaluation of equivalent lateral force procedure in estimating seismic isolator displacements. *Soil Dyn Earthq Eng* 2010;30:1036–42.
- [26] PEER Ground Motion Database-Beta Version With special thanks to: Technical Report for the PEER Ground Motion Database Web Application. 2010.