

## Yumuşak kat düzensizliğinin sismik izolatörlü yapı davranışına etkisi

\*<sup>1</sup>Hakan Öztürk ve <sup>2</sup>Gökhan Özdemir

\*<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

<sup>2</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Sismik İzolatör Test Laboratuvarı, Türkiye

### Özet:

Bu çalışmada, sismik izolasyonlu betonarme yapılarda yumuşak kat düzensizliğinin üst yapı davranışına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla zemin kat yüksekliği üç ve beş metre olacak şekilde üç katlı betonarme yapılar oluşturulmuştur. Çalışmada yalıtım birimi olarak kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler seçilmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için dayanım kaybının dikkate alındığı ve alınmadığı iki durum incelenmiştir. Yönetmeliklerde verilen yalıtım birimi davranış modeli dayanım kaybının dikkate alınmadığı durumu temsil etmektedir. Dayanım kaybının dikkate alındığı durum ise gerçek izolatör davranışını temsil etmektedir. Ölçeklendirilmiş farklı deprem kayıtları kullanılarak çift doğrultulu analizler, eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada izolasyon periyodu ( $T_{iso}$ ) ve karakteristik dayanım oranını ( $Q/W$ ) temsilen üçer parametre dikkate alınmıştır. Bu parametreler sırasıyla  $T_{iso}$  için 2.5s, 3.0s, ve 3.5s ve  $Q/W$  için 0.75, 0.100 ve 0.125 şeklindedir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda incelenen yapılara ait görelî kat ötelemeleri, yönetmelikler tarafından önerilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yumuşak kat düzensizliği bulunan sismik izolasyonlu yapılardan elde edilen görelî kat ötelemesi değerlerinin yönetmeliklerde verilen 0.005 sınır değerlerinden daha küçük olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, yumuşak kat, ısınma etkisi, OpenSees

### Abstract:

In this study, the effect of soft story irregularity on the superstructure behavior of reinforced concrete structures with seismic isolation was investigated. For this purpose, three-story reinforced concrete structures with a ground floor height of three and five meters were created. In the study, lead rubber bearings were chosen as isolation unit. For lead rubber bearings, two cases were investigated where strength loss was taken into account and not. The isolation unit behavior model given in the codes represents the situation where the strength loss is not considered. The case where the strength loss is taken into account represents the actual isolator behavior. Bidirectional analyzes were performed simultaneously using different scaled earthquake records. In addition, three parameters representing the isolation period ( $T_{iso}$ ) and characteristic strength ratio ( $Q/W$ ) were taken into account in the study. These parameters are 2.5s, 3.0s, and 3.5s for  $T_{iso}$  and 0.75, 0.100, and 0.125 for  $Q/W$ , respectively. As a result of the analysis, the relative story drifts of the structures examined were compared with the limit values recommended by the codes. As a result, it has been determined that the relative story drift values obtained from seismic isolated structures with soft story irregularities are smaller than the 0.005 limit values given in the codes.

**Key words:** Lead rubber bearing, soft story, heating effect, OpenSees

## 1. Giriş

Sismik yalıtımın amacı, düşük rijitliğe sahip malzemeler aracılığı ile yapı periyodunun artırılması ve yapıya etkiyecek ivme ve kuvvetlerin azaltılmasıdır. Bu sayede üst yapının rijit bir kütle hareketi yaparak, elastik sınırlar içerisinde kalması ve doğrusal olmayan davranışın ise yalıtım seviyesinde oluşması beklenmektedir [1]. Böylece oluşması beklenen yerdeğiştirmenin neredeyse tamamı yalıtım birimi seviyesinde meydana gelmektedir. Bunun sonucunda ise üst yapıda herhangi bir hasar oluşmayacak ve deprem sonrasında bile yapı işlevini sürdürmeye devam edecektir. Bu özellik hastane, nükleer santral, veri merkezi gibi yapılarda önem arz etmektedir. Bu nedenle sismik izolasyonlu yapılar üzerinde çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir [2–9].

Yumuşak kat düzensizliği (komşu katlar arası rijitlik düzensizliği), herhangi bir katın bir alt veya üst kata göre aşırı öteleme yapması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Genellikle ticari amaçlarla binaların zemin katında, kat yüksekliğinin diğer katlara oranla artırılması ve dolgu duvar bulunmaması sonucunda bu tür düzensizliklerle karşılaşmaktadır. Depremler nedeniyle bu tür yapılarda yumuşak kat oluşmakta ve yapılarda hasar meydana gelmektedir [10]. Literatürde, yapılarda yumuşak kat düzensizliğinin incelendiği çok sayıda çalışma yer almaktadır [11–18]. Bu çalışmaların yanı sıra sismik izolasyonlu yapılarda yumuşak kat etkisinin incelendiği çalışmalarda yer almakta olup bu çalışmalarda KÇKİ için geliştirilmiş olan, izolatörün gerçek davranışını temsil eden, çevrimsel hareket nedeniyle meydana gelen ısınma sonucu dayanım kaybını dikkate alan analitik model kullanılmamıştır [5,6,19–22].

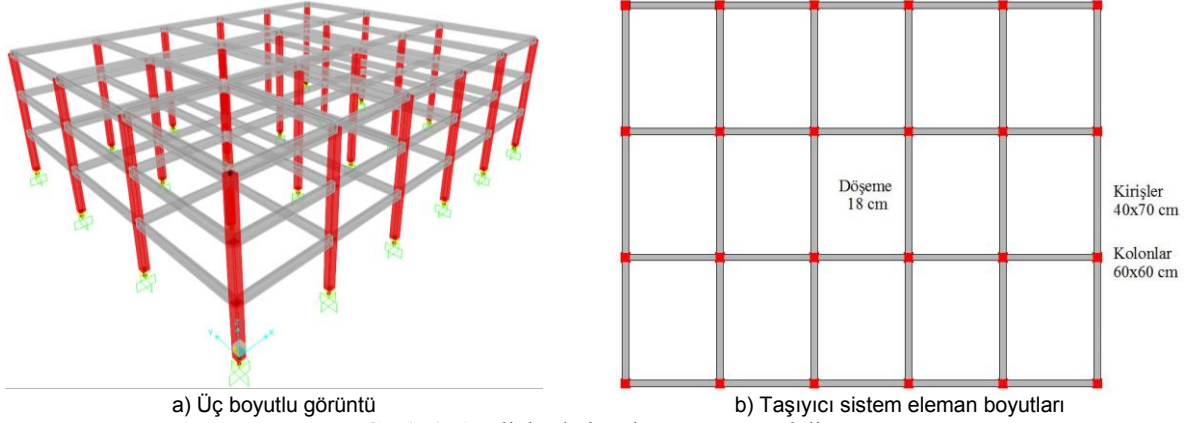
Sismik izolasyonlu yapılarda, yalıtım birimi seviyesinde meydana gelen yerdeğiştirme ile üst yapıya aktarılan kuvvet ve ivme değerlerinin belirlenmesi amacıyla yönetmeliklerde sınır analizler önerilmektedir [23–25]. Alt sınır analizleri ile yalıtım seviyesinde meydana gelen en büyük yerdeğiştirme, üst sınır analizler kullanılarak ise üst yapıya aktarılan en büyük kuvvet ve ivme değerleri belirlenmektedir. Ancak bu analizlerin yanı sıra kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (KÇKİ) için gerçek davranışı temsil eden ve çevrimsel hareket nedeniyle oluşan dayanım kaybını dikkate alan analitik model kullanılarak da analizler gerçekleştirilmektedir [26].

Bu çalışmada, yumuşak kat düzensizliğine sahip, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü, üç katlı betonarme bir yapıda üst yapıda meydana gelen kat deplasmanları belirlenerek görel kat öteleme oranları incelenmiştir. Analizlerde yönetmelikler tarafından önerilen üst sınır analizi ile deprem hareketi gibi çevrimsel hareket nedeniyle kurşun çekirdekte meydana gelen sıcaklık artışına bağlı olarak oluşan dayanım kaybı dikkate alınmıştır. Eş zamanlı olarak çift doğrultulu analizler gerçekleştirmek amacıyla seçilen deprem kayıtları geometrik ortalama yöntemi ile ölçeklendirilmiştir. Çalışmada izolasyon periyodu ( $T_{iso}=2.5s, 3.0s$  ve  $3.5s$ ) ve karakteristik dayanım oranı ( $Q/W=0.75, 0.100$  ve  $0.125$ ) etkilerini belirleyebilmek amacıyla üçer farklı parametre incelenmiştir.

## 2. Sismik İzolasyonlu Betonarme Yapı Modeli

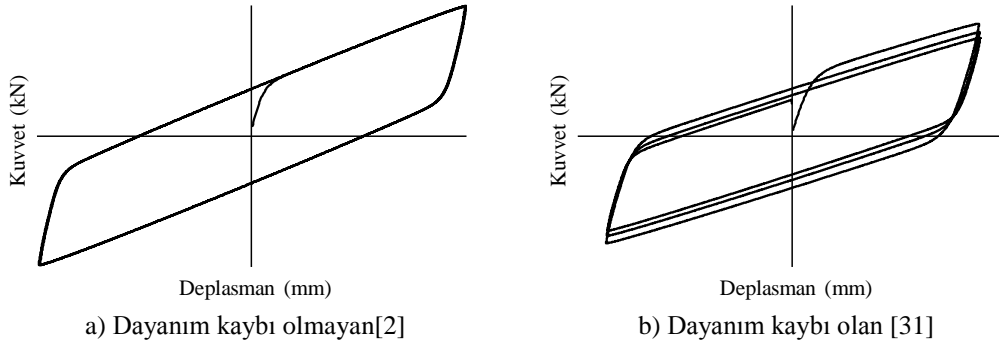
Çalışma kapsamında incelenen 3 katlı betonarme yapı, x yönünde 6m açıklıkta olup 6 akstan, y yönünde ise 8m açıklıkta olup 4 akstan oluşmaktadır. Yumuşak kat düzensizliği oluşturabilmek

amacıyla zemin kat yüksekliği 3m ve 5m olarak seçilmiştir. Döşeme kalınlığı 18cm seçilerek, kat seviyesinde rijit diyafram davranışı oluşturulması amaçlanmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018)'e [23] uygun olacak şekilde kolon ve kiriş boyutları sırasıyla 60x60cm ve 40x70cm olarak seçilmiştir. Analizlerde incelenen yapı modeli Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Analizlerde incelenen yapı modeli

Sismik izolasyonlu betonarme yapı modellerinin analizleri için OpenSees [27] yapısal analiz programı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan dayanım kaybının dikkate alınmadığı ve alındığı durumlar için kullanılan, KÇKİ'e ait davranış modeli sırasıyla Şekil 2a ve 2b'de sunulmuştur. Şekil 2a'da sunulan modelde her bir döngü sonucunda dayanım kaybı oluşmamaktadır. Şekil 2b'de sunulan modelde ise çevrimsel hareket nedeniyle kurşun çekirdekte meydana gelen sıcaklık artışına bağlı olarak dayanım kaybı kademeli olarak ortaya çıkmaktadır [28–30]. Dinamik analizlerde kurşun çekirdek ( $\sigma_{YL0}$ ) ve kauçuk (G) için kayma gerilmesi değerleri sırasıyla 10 ve 0.5 MPa olarak seçilmiştir.



Şekil 2. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör için kuvvet-deplasman ilişkisi

### 3. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

Dinamik analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi aşamasında TBDY-2018 [23] tarafından önerilen ve aşağıda verilen kriterler dikkate alınmıştır;

- Moment büyüklüğü ( $M_w$ ): 6.5 - 7.6
- Fay kırığına olan mesafe (R): 0 - 20 km
- İlk 30m'lik zeminde kayma dalgası hızı ( $V_s$ ): 180m/s - 360m/s

Pasific Earthquake Engineering Research Center (PEER) [32] veri tabanından elde edilen deprem kayıtlarına ait özellikler, Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de verilen PGD, PGV, PGA sırasıyla en büyük yerdeğiştirme, hız ve ivmeyi belirtmektedir.

**Tablo 1.** Deprem kayıtlarına ait bilgiler

EQ Numara	EQ İsim	İstasyon	Büyüklik ( $M_w$ )	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

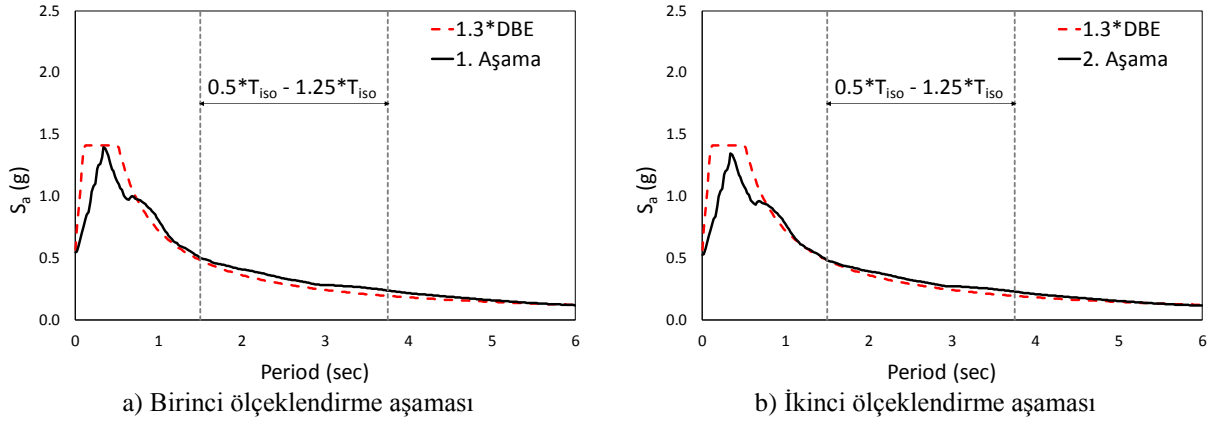
Seçilen deprem kayıtları geometrik ortalama ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirmede aşamasında 50 yılda aşılma olasılıkları %2 (DD-1) ve %10 (DD-2) olan deprem yer hareketi düzeyleri kullanılmıştır. Böylece tasarım spektrum eğrilerine ait 1s tasarım spektral ivme katsayıları ( $S_{D1}$ ), DD-1 ve DD-2 için sırasıyla 0.87 ve 0.56 belirlenmiştir.

Geometrik ortalama ölçeklendirme yönteminde, deprem kayıtlarına ait her iki yatay bileşenin geometrik ortalaması alınır. Elde edilen spektral değerler ile tasarım spektrumu arasındaki fark belirlenerek hata miktarı bulunur ve ilk ölçek katsayısı belirlenir. Burada amaç bu hata miktarlarının karelerinin toplamını minimum düzeye getirerek, deprem kayıtlarını tasarım spektrumu ile uyumlu hale getirmektir. Daha sonra şartname kurallarını yerine getirmek amacıyla  $0.5T_{iso}-1.25T_{iso}$  periyot aralığında, deprem kayıtlarına ait bileşke spektrum eğrilerinin kareleri toplamının karekökü (SRSS) alınarak, ortalama bileşke spektrum eğrisi ile tasarım spektrumunun uyumunu belirleyebilmek için ikinci ölçek katsayısı belirlenir. Nihai ölçek katsayısı birinci ve ikinci ölçek katsayısının çarpımı olarak belirlenir. Geometrik ölçeklendirme yöntemi sonucunda elde edilen ölçek katsayıları her bir deprem ve her bir periyot değeri için Tablo 2'de sunulmuştur.

Bu katsayılar kullanılarak oluşturulan spektrum eğrileri ile DD-2 (DBE) spektrum eğrisinin uyumu  $T=3.0s$  için Şekil 3a ve 3b’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Ölçek Katsayıları

Periyot	Deprem Kaydı										
	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7	EQ8	EQ9	EQ10	EQ11
$T=2,5 s$	1,40	1,26	1,03	1,48	1,21	1,33	1,88	1,83	1,80	1,30	1,19
$T=3,0 s$	1,38	1,24	1,02	1,46	1,20	1,32	1,85	1,81	1,77	1,29	1,17
$T=3,5 s$	1,34	1,20	0,99	1,42	1,16	1,28	1,80	1,76	1,73	1,25	1,14



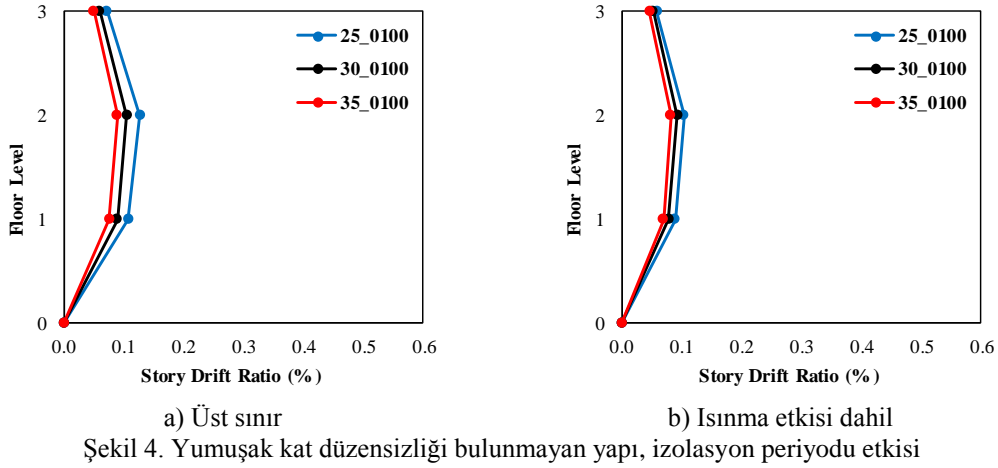
**Şekil 3.** Geometrik ortalama ölçeklendirme yöntemi

#### 4. Analiz Sonuçları

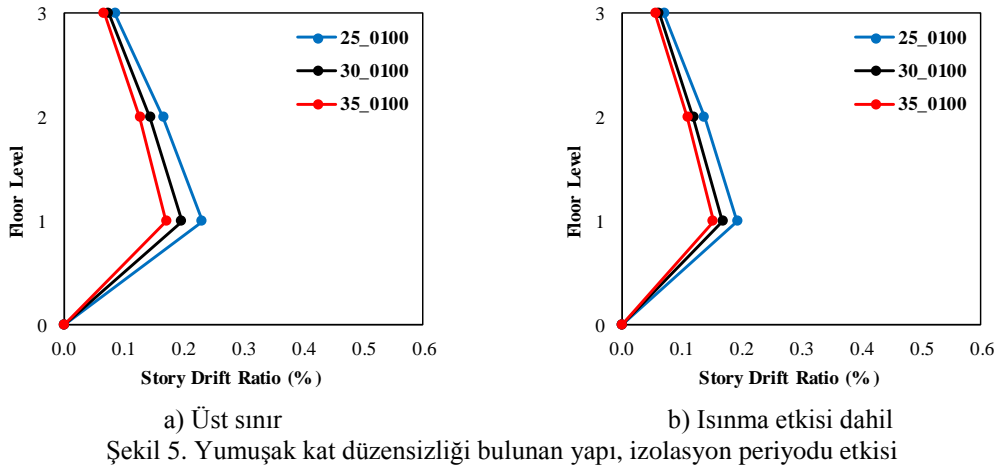
Dinamik analizler sonucunda üst yapıda oluşan yerdeğiştirmelere bağlı olarak elde edilen görel kat ötelemesi (story drift ratio) sonuçları DD-2 deprem yer hareketi düzeyi kullanılarak elde edilmiştir. Her bir kat seviyesinde elde edilen yerdeğiştirmeler için her iki doğrultudan elde edilen verilerin kritik olanı (görel kat ötelemesi büyük olan) göz önüne alınmıştır. Daha sonra elde edilen yerdeğiştirme farklarının kat yüksekliğine bölünmesi ile görel kat öteleme oranları elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, yumuşak kat düzensizliği bulunan ve bulunmayan yapı için izolasyon periyodu etkisi (Şekil 3-5) ve karakteristik dayanım oranı etkisi (Şekil 6-8) şeklinde aşağıda sunulmuştur.

##### 4.1. İzolasyon periyodunun etkisi

Bu bölümde yumuşak kat düzensizliği bulunan ve bulunmayan yapılar için görel kat öteleme oranlarının izolasyon periyoduna bağlı değişim sonuçları sunulmuştur. Bu amaçla karakteristik dayanım oranı ( $Q/W=0.100$ ) sabit tutulmuştur. Şekil 4’de yumuşak kat düzensizliği bulunmayan yapıya, Şekil 5’de ise yumuşak kat düzensizliği bulunan yapıya ait görel kat ötelemesi sonuçları verilmiştir.



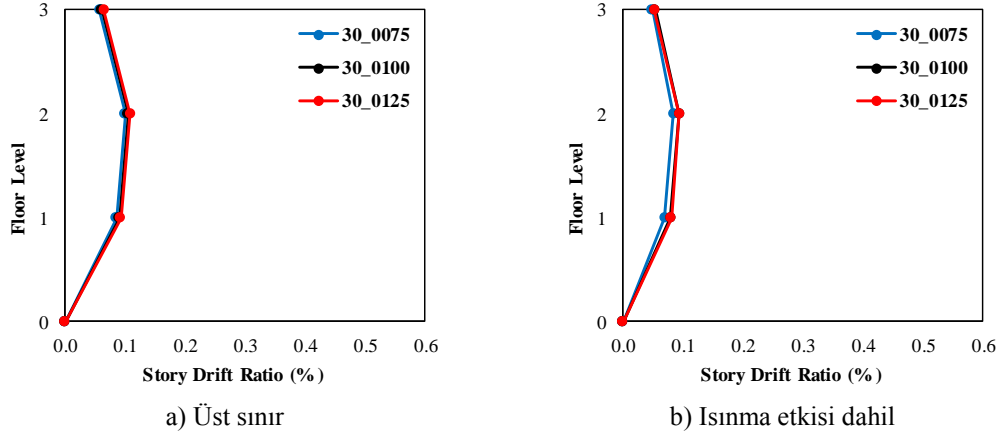
Yumuşak kat düzensizliği bulunmayan yapıda sabit karakteristik dayanım oranı ( $Q/W=0.100$ ) incelendiğinde üst sınır ve ısınma etkisinin dahil edildiği analizlerde en büyük görel kat öteleme değeri 2.5s izolasyon periyodunda ve ikinci kat seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu değerler üst sınır analizlerinde (%0.13), ısınma etkisinin dahil edildiği analizlerde (%0.10) olup, üst sınır analizlerinde %18 oranında daha fazla görel kat ötelemesi elde edilmiştir.



Yumuşak kat düzensizliği bulunan yapıda sabit karakteristik dayanım oranı ( $Q/W=0.100$ ) incelendiğinde üst sınır ve ısınma etkisinin dahil edildiği analizlerde en büyük görel kat öteleme değeri 2.5s izolasyon periyodunda ve birinci kat seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu değerler üst sınır analizlerinde (%0.23), ısınma etkisinin dahil edildiği analizlerde (%0.19) olup, üst sınır analizlerinde %16 oranında daha fazla görel kat ötelemesi elde edilmiştir.

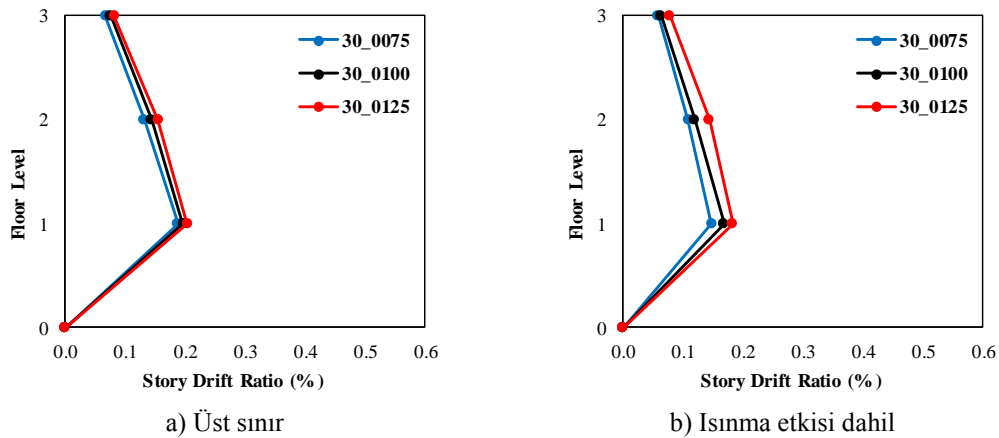
#### 4.2. Karakteristik dayanım oranı etkisi

Bu bölümde yumuşak kat düzensizliği bulunan ve bulunmayan yapılar için görel kat öteleme oranlarının karakteristik dayanım oranlarına bağlı değişim sonuçları sunulmuştur. Bu amaçla izolasyon periyodu ( $T_{iso}=3.0s$ ) sabit tutulmuştur. Şekil 6'da yumuşak kat düzensizliği bulunmayan yapı, Şekil 7'de ise yumuşak kat düzensizliği bulunan yapıya ait görel kat öteleme sonuçları verilmiştir.



Şekil 6. Yumuşak kat düzensizliği bulunmayan yapı, karakteristik dayanım oranı etkisi

Yumuşak kat düzensizliği bulunmayan yapıda sabit izolasyon periyodu etkisi ( $T_{iso}=3.0s$ ) incelendiğinde üst sınır ve ısınma etkisinin dahil edildiği analizlerde en büyük görel kat öteleme değeri 0.125 karakteristik dayanım oranı ve ikinci kat seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu değerler üst sınır analizlerinde (%0.11), ısınma etkisinin dahil edildiği analizlerde (%0.09) olup, üst sınır analizlerinde %13 oranında daha az görel kat öteleme elde edilmiştir.



Şekil 7. Yumuşak kat düzensizliği bulunan yapı, karakteristik dayanım oranı etkisi

Yumuşak kat düzensizliği bulunan yapıda sabit izolasyon periyodu etkisi ( $T_{iso}=3.0s$ ) incelendiğinde üst sınır ve ısınma etkisinin dahil edildiği analizlerde en büyük görel kat öteleme

değeri 0.125 karakteristik dayanım oranı ve birinci kat seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu değerler üst sınır analizlerinde (%0.18), ısınma etkisinin dahil edildiği analizlerde (%0.20) olup, üst sınır analizlerinde %10 oranında daha az görelî kat ötelemesi elde edilmiştir.

## Sonuçlar

Bu çalışmada, 3 katlı, yumuşak kat düzensizliği bulunan ve bulunmayan, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü, betonarme yapı modelleri için dayanım kaybının dikkate alındığı (ısınma etkisi analizleri) ve alınmadığı (sınır analizleri) analizler kullanılarak, her bir kat seviyesinde meydana gelen yerdeğiştirme değerleri belirlenerek görelî kat öteleme oranları hesaplanmış ve yönetmelik sınır değeri ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla ölçeklendirilmiş deprem kayıtları kullanılarak çift doğrultulu analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde izolasyon periyodu ve karakteristik dayanım oranı parametreleri dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- İzolasyon periyodunun etkisi incelendiğinde görelî kat ötelemesi oranının en büyük değeri  $T_{iso}=2.5s$ 'de düzensizlik bulunan yapı için birinci katta, düzensizlik bulunmayan yapı için ikinci katta meydana gelmiştir.
- Karakteristik dayanım oranının etkisi incelendiğinde görelî kat ötelemesi oranının en büyük değeri  $Q/W=0.125$ 'de düzensizlik bulunan yapı için birinci katta, düzensizlik bulunmayan yapı için ikinci katta meydana gelmiştir.
- İzolasyon periyodu etkisinde üst sınır analizlerinde daha büyük görelî kat ötelemesi oranları elde edilirken, karakteristik dayanım oranı etkisinde ısınma etkisi dahil edilen analizlerde daha büyük görelî kat ötelemesi oranları elde edilmiştir.

Sonuç olarak yumuşak kat düzensizliği bulunan ve bulunmayan her iki yapı için elde edilen görelî kat öteleme oranlarının, TBDY-2018 tarafından verilen, Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesi sınırı olan %0.5 değerinden daha küçük olduğu ve üst yapının elastik sınırlar içerisinde kaldığı tespit edilmiştir.

## Teşekkür

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

## References

- [1] Naeim F, Kelly JM. Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice. John Wiley; 1999.
- [2] Kelly, J. M. 1981. "A seismic base isolation: history and prospects", Proc. 1st World



- Congress on Joints and Bearings, ACI-SP-70 1: 549–586.
- [3] Matsagar VA, Jangid RS. Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures. *Eng Struct* 2004;26:1735–49.
- [4] Kömür, M.A., Karabork, T., Deneme, I. O. 2011. “Nonlinear dynamic analysis of isolated and fixed-base reinforced concrete structures”, *Gazi University Journal of Science*, 24(3), 463-475.
- [5] Fakhouri, M.Y., Igarashi, A. 2012. “Dynamic response control of multi-story structures by isolators with multiple plane sliding surfaces: A parametric study”, *Engineering structures*, 34, 81-94.
- [6] Kömür, M.A. 2016. “Soft-story effects on the behavior of fixed-base and LRB base-isolated reinforced concrete buildings”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(2), 381-391.
- [7] Mazza, F., Mazza, M., Vulcano, A. 2017. “Nonlinear response of RC framed buildings retrofitted by different base-isolation systems under horizontal and vertical components of near-fault earthquakes”, *Earthq Struct*, 12(1), 135-144.
- [8] Kanbir Z, Alhan C, Özdemir G. Influence of superstructure modeling approach on the response prediction of buildings with LRBs considering heating effects. *Structures* 2020;28:1756–73.
- [9] Erdoğdu H, Çavdar E, Özdemir G. Comparison of design spectra in turkish earthquake codes (tec and tbec) in terms of seismic isolator design. *Tek Dergi/Technical J Turkish Chamb Civ Eng* 2021;32:11127–52.
- [10] Doğangün, A. 2018. *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı (15. Baskı)*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- [11] Kelly, J. M., Eiding, J. M., Derham, C. J. 1977. “A practical soft story earthquake isolation system”, *Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California*.
- [12] Todorovska, M. I. 1999. “Base Isolation by a Soft First Story with Inclined Columns”, *Journal of Engineering Mechanics*, 124(4): 448-457.
- [13] Sahoo, D. R., Rai, D. C. 2013. “Design and evaluation of seismic strengthening techniques for reinforced concrete frames with soft ground story”, *Engineering structures*, 56, 1933-1944.
- [14] Dubal, R., Neha, G., Patil, G. R., Vasanwala, S., Modhera C. 2014. “Application of performance based seismic design method to reinforced concrete moment resistant frame with vertical geometric irregularity with soft storey”, *American Journal of Engineering*.
- [15] Takahashi, S., Halim, S., Ichinose, T., Kotani, G., Teshigawara, M., Kamiyaa, T., Fukuyama, H. 2014. “Strength of Beam-column Joint in Soft First Story RC Buildings Part 1: Experiment”, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 12(5), 138-145.
- [16] Benavent-Climent, A., Mota-Páez, S., 2017. “Earthquake retrofitting of R/C frames with soft first story using hysteretic dampers: Energy-based design method and evaluation”, *Engineering Structures*, 137, 19-32.
- [17] Oinam, R. M., Sahoo, D. R. 2018. “Numerical evaluation of seismic response of soft-story RC frames retrofitted with passive devices”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(2), 983-1006.
- [18] Özyürek, K., Beyen, K. 2019. “Farklı özellikleri olan depremler altında zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliklerinin incelenmesi”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri dergisi*,

- cilt.1, no.1, ss.1-12.
- [19] M Saiful Islam AB, Jameel M, Ishtiaq Ahmad S, Zamin Jumaat M. Study on corollary of seismic base isolation system on buildings with soft storey. vol. 6. 2011.
- [20] Fakhouri, M. Y., Igarashi, A. 2013. “Multiple- slider surfaces bearing for seismic retrofitting of frame structures with soft first stories”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42(1), 145-161.
- [21] Mazza F. Residual seismic load capacity of fire-damaged rubber bearings of r.c. base-isolated buildings. *Eng Fail Anal* 2017;79:951–70.
- [22] Mazza, F., Mazza, M., Vulcano, A. 2018. Base-isolation systems for the seismic retrofitting of RC framed buildings with soft-storey subjected to near-fault earthquakes”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 109, 209-221.
- [23] TBDY. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (TBDY), 2018. Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, Türkiye 2018.
- [24] Eurocode8: Design of Structures for Earthquake Resistance- Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, EN 1998-1, 2004.
- [25] American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute, 2016. “Minimum Design Loads For Buildings And Other Structures”, ASCE/SEI 7-16, Reston, VA.
- [26] Cavdar E, Ozdemir G, Bayhan B. Significance of ground motion scaling parameters on amplitude of scale factors and seismic response of short- And long-period structures. *Earthq Spectra* 2019;35:1663–88.
- [27] 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/>.
- [28] Robinson WH. Lead-Rubber Hysteretic Bearings Suitable for Protecting Structures During Earthquakes. *Earthq Eng Struct Dyn* 1982;10:593–604.
- [29] Alhan C, Şahin F. Protecting vibration-sensitive contents: An investigation of floor accelerations in seismically isolated buildings. *Bull Earthq Eng* 2011;9:1203–26.
- [30] 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.
- [31] Ozdemir G, Constantinou MC. Evaluation of equivalent lateral force procedure in estimating seismic isolator displacements. *Soil Dyn Earthq Eng* 2010;30:1036–42.
- [32] PEER Ground Motion Database-Beta Version With special thanks to: Technical Report for the PEER Ground Motion Database Web Application. 2010.