

## KURUN ÇEKİRDEKTEKİ ISINMANIN SİSMİK TABAN ZOLASYONLU BİR BİNA NIN ÜST YAPI DAVRANI NA ETKİSİ

S. Arguç<sup>1</sup>, Ö. Avsar<sup>2</sup> ve G. Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mühendis, Yapısal Tasarım Bölümü, Nisan Proje Mühendislik, Ankara

<sup>2</sup> Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir  
Email: sedararguc@nisanproje.com.tr

### ÖZET:

Kurun çekirdekli kauçuk izolatörler (KÇK) kullanılarak sismik taban izolasyonu gerçekleştirilen yapıların tasarımı için yürütülen analizler, izolatörün gerçekte dayanım kaybı ya da aşınma riski olarak genel olarak dayanım kaybı göstermeyen malzeme modelleri ile yürütülmektedir. Bu çalışmada, KÇK için geliştirilen ve kurun çekirdeğin tersinir tekrarlanır yükler altında ısınması sonucunda izolatörde meydana gelen dayanım kaybını anlamlı olarak hesaplayabilen malzeme modeli kullanılarak 3 katlı çelik bir yapının üst yapı davranışı incelenmiştir. Ayrıca, sismik taban izolasyonlu yapılar için mevcut modelleme yöntemi olarak kullanılan ve dayanım kaybı göstermeyen kuvvet-deplasman eğrileri ile yürütülen limit analizlerinin sonuçları, izolatörün dayanım kaybını göz önüne alan analizlerden elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Bu sayede, limit analizler yaklaşımının üst yapı davranışını belirleme açısından ne derecede güvenilir olduğu tespit edilmiştir. İncelemeye konu olan üst yapı tepkileri kat seviyelerindeki ivme ve göreceli kat ötelemeleri olarak seçilmiştir. Üst yapı sonuçlarının genel bir kanıya varılabilmesini sağlamak adına yürütülen çok sayıda parametrik analizlerde sismik taban izolasyonlu yapı davranışında belirleyici rol oynayan izolasyon periyodu (T) ve izolatörün üzerindeki eksenel yük seviyesi (Q/W) de incelenmiştir. Analiz edilen sismik taban izolasyonlu yapı modelleri, seçilen yakın saha deprem kayıtlarına maruz bırakılarak incelemeye konu olan yapısal tepkiler kaydedilmiştir. Zaman tanım alanında yürütülen dinamik olmayan analizlerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde limit analizler yaklaşımı için varsayılan yapısal tepkiler için güvenli bir zarf aralığı tanımlama kabulünün her zaman geçerli olmadığı tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER :** sismik izolatör, kurun çekirdek, dinamik analiz, deprem, limit analizi

### 1. GİRİŞ

Bir yapıda sismik izolatör kullanmanın en önemli amaçlarından biri deprem etkisi altında yapının göreceli kat ötelemelerini ve katlara gelen ivmeleri sınırlamaktır. Yapıda meydana gelebilecek göreceli kat ötelemesini sınırlamak, iki ardıllık kat arasındaki yapısal veya yapısal olmayan elemanların hasarlarını asgari düzeye indirmek için önemlidir. Öte yandan, katlara gelen ivmelerin sınırlandırılması ise yapının içinde bulunan hasas ekipmanların şiddetli yer hareketleri sonucunda zarar görmemesi için önemlidir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan sismik izolatörlerden biri de kurun çekirdekli kauçuk izolatördür. Bu denli yaygın olarak kullanılmasının nedeni tek bir cihazda istenilen yatay esneklik, dikey rijitlik ve ilave sönüm mekanizmasını toplamı olmasıdır. Bu özellikler sırasıyla kauçuk katmanlar, çelik katmanlar ve izolatörün ortasında bulunan kurun çekirdek ile sağlanmıştır.

Kurun çekirdekli kauçuk izolatörler yaygın kullanımının neticesinde pek çok ara tırmanın konusu olmuştur. Yürütülen bu ara tırmaların büyük çoğunluğunda kurun çekirdekli kauçuk izolatörü modellemek için tersinir tekrarlanır yükler altında dayanım kaybı göstermeyen iki doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi kullanılmıştır. Fakat, yapılan deneysel çalışmalar açıkça göstermiştir ki döngüsel yüklere maruz kalan kurun çekirdekli kauçuk izolatörlere ait kuvvet-deplasman eğrilerinde kademeli bir dayanım kaybı olmaktadır (Robinson 1982). Meydana gelen bu dayanım kaybını hesaplara yansıtmak için kuvvet-deplasman eğrisi azalımı göstermeyen alt limit ve üst limit analizleri kullanılmaktadır (AASHTO, 1999, ASCE, 2010). Bu malzeme modelleri hesap sonucunda kesin değer vermek yerine alt ve üst sınır değerleri ile tanımlanmış bir deplasman aralığı sunmaktadır. Yakın bir tarihe kadar, izolatör dayanımındaki bu kademeli deşimin nedenleri olarak izolatörün yük geçmişi, kauçukun yaşlanması, kirlenmesi ve kurun çekirdeğin ısınmasının neden olduğu düşünülmekteydi. Yapılan çalışmalar izolatördeki dayanım kaybının büyük ölçüde kurun çekirdeğin ısınmasından kaynaklandığını ispatlamıştır (Constantinou vd., 2007; Kalpakidis ve Constantinou, 2008). Kalpakidis ve Constantinou (2009a) döngüsel yükler altında kurun çekirdeğin ısınmasından dolayı izolatörde meydana gelen dayanım kaybını anlık olarak hesaplayabilme kabiliyetine sahip bir malzeme modelinin teorik esaslarını oluşturmuştur. Bu çalışmanın ardından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar teorik çalışmadan elde edilen sonuçları doğrulamıştır (Kalpakidis ve Constantinou, 2009b). Öte yandan, Benzoni ve Casarotti (2009) yapılmış oldukları çalışmalar neticesinde kurun çekirdekli kauçuk izolatörde meydana gelen dayanım kaybının izolatöre yüklenen hareketin döngü sayısı ve hareketin hızıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Alt limit ve üst limit analizleri ile yürütülen çalışmalar hareketin özelliklerini analize yansıtmadığı için gerçek davranış bazı durumlarda bu analizlerden elde edilen sınır değerler dışında çıkmaktadır (Kalpakidis vd., 2010; Özdemir vd., 2011).

Kalpakidis vd. (2010) yapılmış olduğu çalışmada farklı yer hareketleri ile kurun çekirdekli kauçuk izolatörün davranışındaki deşimi incelemiştir. Yazarlar tarafından ortaya konulan sonuçlar izolatör davranışında ciddi deşimler olduğunu göstermiştir. Özdemir vd. (2011) farklı zemin koşullarında kurun çekirdekli kauçuk izolatörlerin davranışını dayanım kaybı gösteren ve göstermeyen malzeme modelleri ile incelemiştir. Özdemir ve Dicleli (2012) döngüsel yüklere maruz kalan izolatörün kurun çekirdeğinde meydana gelen ısınmanın izolatöre etki eden yer hareketinin döngü sayısından önemli ölçüde etkilendiğini belirtmiştir. Özdemir (2015) izolatördeki dayanım kaybını hesaba dahil eden malzeme modeli ile dayanım kaybı göstermeyen malzeme modelleri kullanılarak yapılan analizlerin neticesinde bu iki modelin enerji sönümlenme kapasiteleri açısından farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bahsedildiği gibi kurun çekirdekli kauçuk izolatörlerle ilgili bugüne kadar birçok çalışma yürütülmüştür fakat bu çalışmalar içinde kurun çekirdeğin dayanım kaybını hesaba katan malzeme modeli ile yapılan çalışmalar yukarıda verilen çalışmalar ile sınırlıdır.

Matsagar ve Jangid (2004) yapılmış oldukları çalışmanın neticesinde farklı kuvvet yer deşirme eğrisine sahip izolatörlerle gerçekleştirilen analizlerde üst yapı davranışının büyük ölçüde deşimini belirtmişlerdir. Alhan ve Gavin (2005) sismik izolasyon sisteminin titreşime duyarlı ekipmanların korunmasındaki performansını incelemiştir. Kelly ve Tsai (2006) sismik izolasyon sisteminin üst yapıya ve yapının içindeki hasas ekipmanlara gelebilecek zararı azalttığını vurgulamıştır. Providakis (2008) ve Providakis (2009) farklı izolatör periyotları ve farklı sönüm oranlarına sahip izolatörler kullanarak üst yapı göreceli kat ötelemelerindeki deşimi incelemiştir. Yang vd. (2010) izolatör özelliklerindeki deşimin üst yapıda bulunan titreşime duyarlı ekipmanların performansına etkilerini araştırmıştır ve üst yapı rijitliğinin bu performans önemli etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur. İzolatörlü bir yapıda üst yapı davranışını yapıdan beklenen performans kriterleri çerçevesinde önem kazanmaktadır. Katlara etki eden ivmeler ve göreceli kat deplasmanları hassas ekipmanların korunması ve yapının zarar görmemesi adına belirli bir limit içinde tutulması gerekmektedir. Yukarıda izolatörlü bir yapının üst yapı davranışını ile ilgilenen çalışmalardan örnekler verilmiştir fakat bu çalışmaların hiçbirinde dayanım kaybını göz önüne alan malzeme modeli kullanılmamıştır.

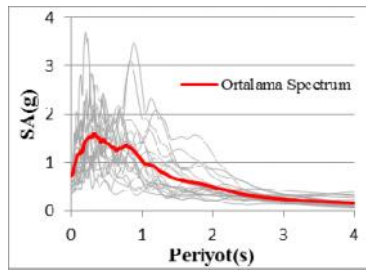
Kurun çekirdekli kauçuk izolatörler ile bugüne kadar gerçekleştirilen çalımlara bakıldığında kurun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılarak döngüsel yükler altında meydana gelen dayanım kaybını anlık olarak hesap edebilen malzeme modeli ile yapılan çalımlarda genellikle izolatör performansı üzerine çalımlar yürütülmüştür. Bu çalımda ise dayanım kaybını hesaba katan malzeme modeli kullanılarak gerçekçi bir bina tipi üst yapı modeli incelenmiştir.

## 2. AMAÇ ve YÖNTEM

Bu çalımanın amacı, günümüzde kurun çekirdekli kauçuk izolatörlerin analizinde yaygın olarak kullanılan gerçek davranışın aksine dayanım kaybı göstermeyen malzeme modeli kullanılarak gerçekleştirilen limit analizleri yönteminden elde edilen sonuçlar ile izolatörün tersinir tekrarlanır yükler altında dayanım kaybını anlık olarak hesaplayabilen malzeme modeli kullanılarak gerçekleştirilen ısınma analizlerinden elde edilen sonuçları üst yapı davranışını açısından karşılaştırmaktır. Bu çalımanın neticesinde alt ve üst limit analizleri kullanılarak yaklaşık bir şekilde yapının davranışını tayin eden limit analizleri yönteminin ne derece güvenilir olduğu görece kat ötelemeleri ve kat ivmeleri açısından değerlendirilmiştir.

Araştırmanın yürütülmesi için, 3 katlı çelik bir bina ele alınmış ve 16 farklı tipte kurun çekirdekli kauçuk izolatör ayrı ayrı uygulanarak matematik modelleri hazırlanmıştır. Oluşturulan 16 farklı sismik taban izolasyonlu yapı, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizler, günümüzde yaygın olarak kullanılan ve kuvvet yerdesi azalım göstermeyen limit analizleri yöntemi ve teorik esasları son zamanlarda ortaya koyulan ve kuvvet yerdesi azalım gösteren ısınma analizleri yöntemi ayrı ayrı kullanılarak yürütülmüştür. Maksimum mutlak kat ivmeleri ve maksimum görece kat ötelemeleri oranı açısından elde edilen analiz sonuçları limit analizleri ve ısınma analizlerini karşılaştırmak için kullanılmıştır.

Bu çalımda iki farklı izolatör parametresi üzerinden analizler yürütülmüştür. Bu parametreler geçmiş çalımlarda sıkça bahsi geçen izolasyon periyodu (T) ve izolatörün üzerindeki eksenel yük seviyesidir (Q/W). Burada, "Q" izolatörün karakteristik dayanımı, "W" ise izolatörün üzerindeki eksenel yüküdür. Yürütülen analizlerde üst yapı özellikleri göz önüne alınarak 4 farklı izolatör periyodu (2.25s, 2.50s, 2.75s, 3.00s) seçilmiştir. Benzer olarak 4 farklı eksenel yük seviyesi (0.090, 0.105, 0.120, 0.135) kullanılarak izolatörler oluşturulmuştur. Bu çalımda bahsedilen 4 farklı izolatör periyodu ve 4 farklı eksenel yük seviyesi ile modellenen 16 farklı izolatör ve bir üst yapı modeli ile oluşturulan 16 farklı sismik taban izolasyonlu yapı incelenmiştir. Yapılan çalımlar izolatörlü bir yapıya etkiyen deprem kaydının maksimum yer hızı degerinin (PGV) kurun çekirdekli ısınmasında direkt olarak etkili olduğu ortaya koymuştur (Benzoni ve Casarotti; 2009). Bu sebeple analizlerin yürütülmesi için seçilen 20 adet deprem kaydı maksimum yer hızı degeri 70cm/s'den büyük depremler arasından seçilmiştir. Bu deprem kayıtları Tablo 1'de liste halinde verilmiştir ayrıca bu depremlerin tepki spektrumları ve bunların ortalama degerleri ekil 1'de gösterilmiştir.



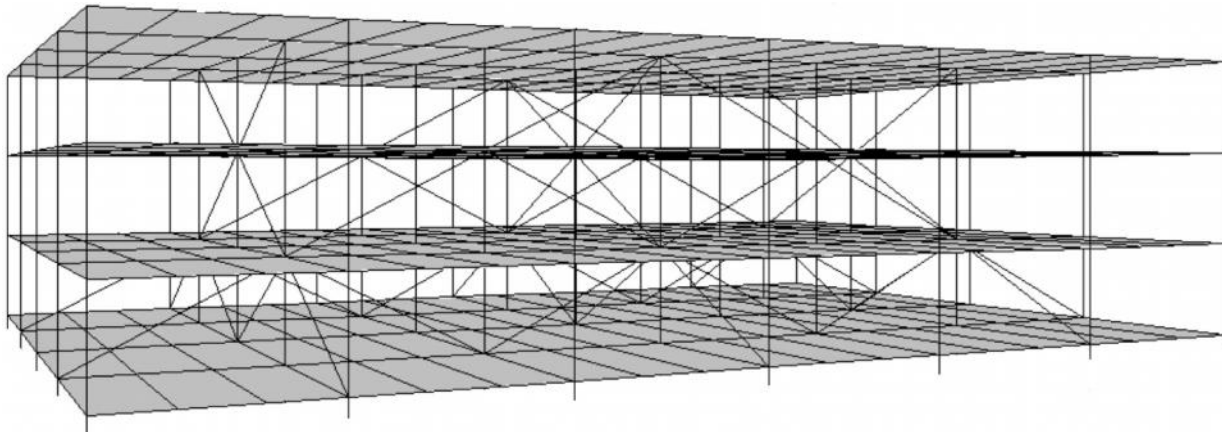
Ekil 1. Maksimum yer hızı degeri 70cm/s'den büyük olan 20 adet ivme kaydının %5 sönüm oranına sahip ivme spektrumu

Tablo 1. Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri

Deprem Kaydı	stasyon	M <sub>w</sub>	d (km)	Comp.	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Gazli	Karakyr	6.8	12.82	90	0.718	71.6	23.71
Chi-Chi, Taiwan	TCU072	7.6	7.36	W	0.489	71.7	38.64
Chi-Chi, Taiwan	CHY028	7.6	7.31	W	0.653	72.8	14.68
Superstition Hills(B)	Parachute Test Site	6.7	0.70	225	0.455	73.1	52.80
Chi-Chi, Taiwan	TCU074	7.6	13.67	W	0.597	73.3	20.44
Duzce, Turkey	Duzce	7.1	8.20	270	0.535	73.3	51.59
Northridge	Sepulveda VA	6.69	8.48	360	0.939	76.6	14.95
Imperial Valley	El Centro Array #4	6.5	4.20	230	0.360	76.6	59.02
Imperial Valley	El Centro Array #5	6.5	1.00	230	0.379	78.2	63.03
Chi-Chi, Taiwan	TCU067	7.6	0.33	W	0.503	79.5	93.09
Kobe	KJMA	6.9	0.60	0	0.821	81.3	17.68
Landers	Lucerne	7.3	1.10	275	0.721	83.5	70.31
Northridge	Newhall - Fire Sta	6.7	7.10	360	0.590	97.2	38.05
Northridge	Sylmar - Converter Sta	6.7	6.20	142	0.897	97.6	46.99
Northridge	Sylmar - Olive V. M. FF	6.7	6.40	90	0.604	102.8	16.05
Chi-Chi, Taiwan	CHY080	7.6	6.95	W	0.968	107.5	18.60
Kobe	0 Takatori	6.9	0.30	90	0.616	112.0	32.72
Northridge	Tarzana, Cedar Hill	6.7	17.50	90	1.779	113.6	33.22
Chi-Chi, Taiwan	TCU084	7.6	10.39	W	1.157	114.7	31.43
Tabas, Iran	Tabas	7.4	2.10	TR	0.852	121.4	94.58

Bu çalışmada kapsamında uygulamada sıkça rastlanabilecek bina tipi 3 katlı çelik bir üst yapı modeli, izolatör periyodu ve eksenel yük seviyesi de i tirilerek olu turulmu 16 farklı izolatör tipi, 20 adet deprem kaydı, limit analizleri ve ısınma analizini temsil eden 3 tane farklı malzeme modeli kullanılarak toplamda 960 adet zaman tanım alanında do rsal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir.

### 3. GÖZÖNÜNE ALINAN ÜST YAPI MODELİ

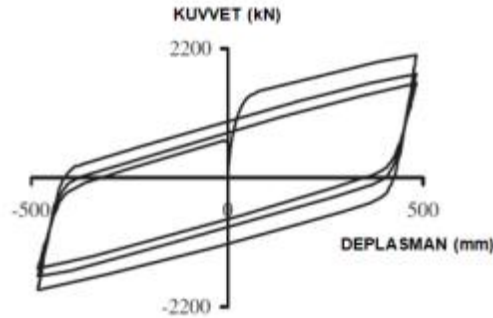


ekil 2. 3 katlı çelik üst yapı modelinin 3 boyutlu görünümü

Şekil 2’de çalınması için seçilen 3 katlı çelik yapının 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Yapı X ve Y yönünde uzunlukları 9m olan sırası ile 6 ve 4 açıklığa sahiptir. Bir katta toplamda 35 kolon bulunmaktadır. Kolonlar birbirlerine kirişlerle bağlantılıdır. Yapının yatay stabilitesini arttırmak için çelik çapraz elemanlar kullanılmıştır. İzolatörlü binalar deprem esnasında rijit bir kütle olarak salınım yaptıkları için kolonlar, kirişler ve çapraz elemanlar elastik malzeme modelleri ile teklif edilmiştir. Yapı planı ve yüksekliği boyunca düzenlidir. Toplam yapı yüksekliği 9m’dir. Ağırlığı 73000 kN olan bu yapının kütlesi efektif olarak her bir düğüm noktasına dağıtılmıştır. Yapının matematik modelinde rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Kurun çekirdeğinin ısınması ile anlık olarak izolatör dayanımını güncelleyen malzeme modeli Opensees (2009) yapısal analiz programında mevcut olduğu için bütün analizler bu program aracılığı ile yürütülmüştür.

#### 4. KURUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK İZOLATÖRLERDE ISINMA ETKİSİNİN MODELLENMESİ

Yürütülen parametrik analizlerde kullanılmak üzere 4 farklı izolasyon periyodu (T): 2.25s, 2.50s, 2.75s, 3.00s ve 4 farklı eksenel yük seviyesi (Q/W): 0.090, 0.105, 0.120, 0.135 olmak üzere toplamda 16 farklı tipte izolatör oluşturulmuştur.



Şekil 3. Kurun çekirdekli kauçuk izolatörün kuvvet-deplasman ilişkisi (Özdemir, 2015)

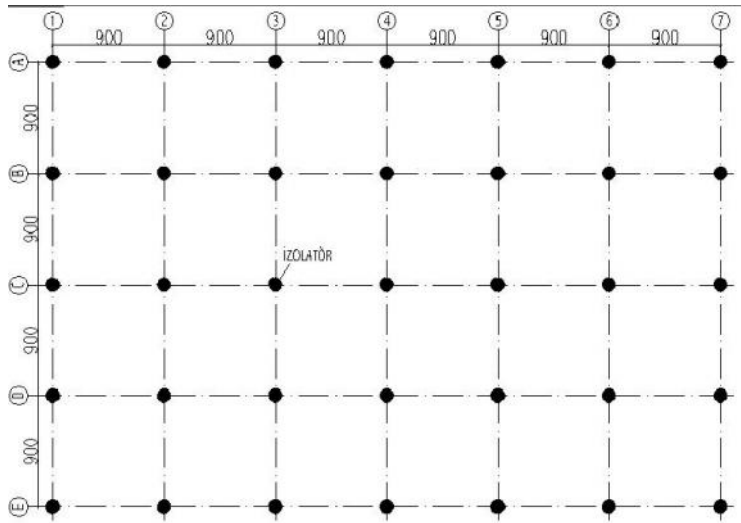
Kurun çekirdekli kauçuk izolatör tersinir tekrarlanır yükler altında ısınır. Meydana gelen bu ısınma, izolatörün dayanımının düşmesine sebep olur. Bu şekilde izolatör, hareketin her anında Şekil 3’te görüldüğü gibi farklı dayanıma sahiptir. Bu çalışmada bahsedilen davranışı hesaplara yansıtmak için Kalpakidis ve Constantinou (2009a, b)’nin oluşturduğu ve kuvvet yerdesi tirmesi gerçek davranışa çok yakın çıkan malzeme modeli kullanılmıştır. Kurun çekirdeğinin ısınması ile dayanım kaybı gösteren bu doğrusal olmayan malzeme modelinin oluşturulması için gereken bağılç deşerleri olarak dayanım kaybı göstermeyen malzeme modellerinin iterasyon sonucu bulunan deşerleri kullanılır. Analiz esnasında hareketin bağılaması ile kurun çekirdeğinin sıcaklığının bağılı olarak izolatör dayanımı Denklem (1-4) yardımıyla anlık olarak güncellenir. Bu hesapta esas olan Denklem (1)’de “ $T_L$ ” ile gösterilen kurunun anlık sıcaklığını belirlemektir. Burada  $\sigma_{yLO}$ : kurunun bağılç kayma gerilmesi,  $\sigma_{yL}(T_L)$ : kurunun sıcaklığa bağılı olarak kendini güncelleyen kayma gerilmesi,  $E_2$ : sabit olarak belirtilmiştir. Tersinir tekrarlanır yükler altındaki kurun çekirdeğinin anlık sıcaklığı ise Denklem (1)-(4)’de sunulmuştur. Burada  $\alpha$ : kurun çekirdeğinin yarıçapı,  $t_s$ : çelik katmanların toplam yüksekliği,  $h_L$ : izolatörün yüksekliği,  $Z$ : boyutsuz histeretik deşer,  $U$ : izolatörün göreceli hızı,  $\rho_L$ : kurunun yoğunluğu,  $c_L$ : kurunun özgül ısı,  $t^+$ : birimsiz zaman,  $\alpha_s$ : çeliğin ısıl yayınma katsayısı,  $k_s$ : çeliğin ısıl iletkenlik katsayısı,  $t$ : hareketin bağılamasından itibaren geçen zamanı ifade eder.

$$\dagger_{YL}(T_L) = \dagger_{YD} \cdot \exp(-E_2 T_L) \quad (1)$$

$$\dot{T}_L = \frac{\dagger_{YL}(T_L) \cdot \sqrt{Z_x^2 + Z_y^2} \sqrt{\dot{U}_x^2 + \dot{U}_y^2}}{\dots_L c_L h_L} - \frac{k_S \cdot T_L}{a \dots_L c_L h_L} \cdot \left( \frac{1}{F} + 1.274 \cdot \left( \frac{t_s}{a} \right) \cdot (t^+)^{-1/3} \right) \quad (2)$$

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

$$\dagger = \frac{r_S t}{a^2} \quad (4)$$



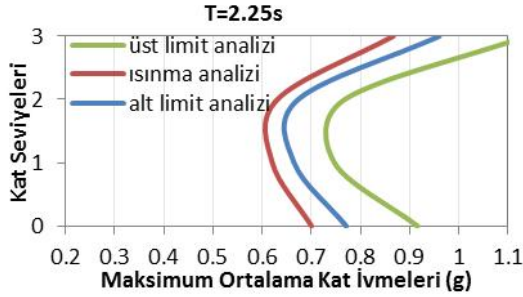
ekil 4. Kur un çekirdekli kauçuk izolatörün yerle imi

Kur un çekirdekli kauçuk izolatörler yapı modeline ekil 4'te oldu u gibi kolonların altına gelecek ekilde uygulanmı tır.

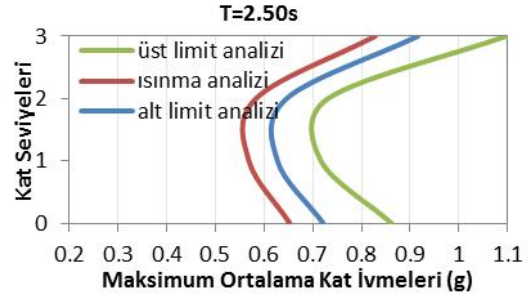
#### 4. ANAL ZLERDEN ELDE ED LEN SONUÇLAR

Bu çalı mada 3 katlı çelik üst yapı modelinin izolasyon periyodu ve eksenel yük seviyesi belirli oranda de i tirilmi 16 farklı tipte kur un çekirdekli kauçuk izolatör ile sismik taban izolasyonu gerçekte tirilmi tir. Meydana gelen bu izolatörlü yapılar 20 adet deprem kaydı altında do rusal olmayan analizlere maruz

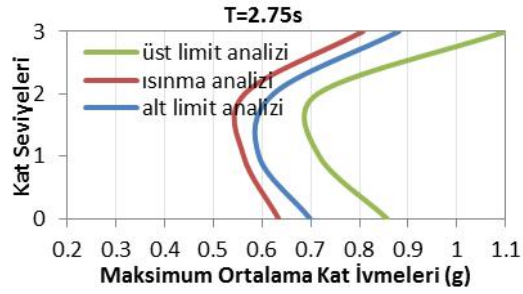
bırakılmıştır. Bu analizler 3 farklı malzeme (alt limit, üst limit, ısınma) modeli ile tekrarlanarak toplamda 960 adet analiz sonucu elde edilmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar maksimum kat ivmesi ve maksimum göreceli yer deplasmanı oranları cinsinden ekil 5-8’de verilmiştir. Sayfa sınırlaması nedeniyle elde edilen tüm sonuçlar sunulamadığından temsili olarak 0.135 eksenel yük seviyesi ve 3.00s izolatör periyoduna sahip yapılar üzerinden yapılan parametrik çalışmaların sonuçlarına yer verilmiştir.



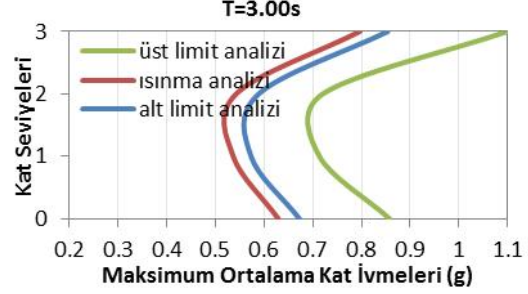
(a)



(b)

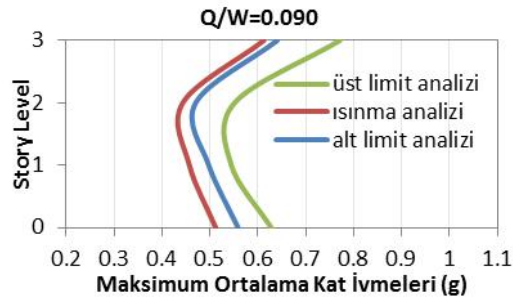


(c)

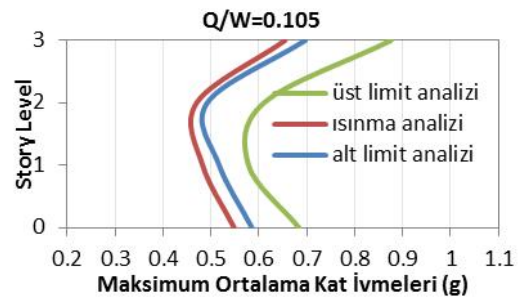


(d)

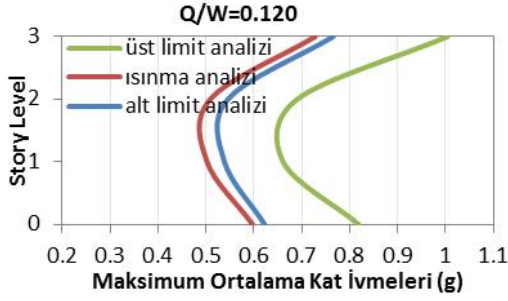
ekil 5. Farklı izolatör periyotlarına ve aynı izolatör eksenel yük seviyesine ( $Q/W=0.135$ ) sahip yapıların maksimum ortalama kat ivmeleri: a)  $T=2.25s$ , b)  $T=2.50$ , c)  $T=2.75$ , d)  $T=3.00s$



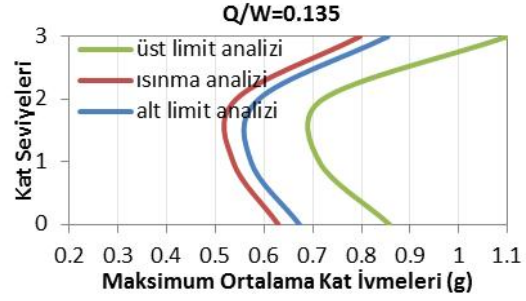
(a)



(b)

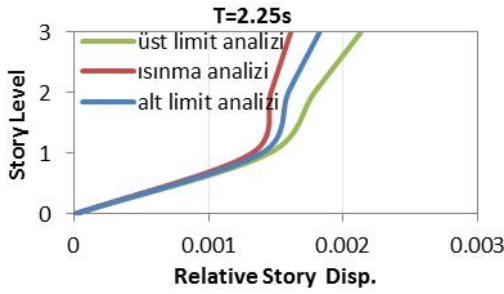


(c)

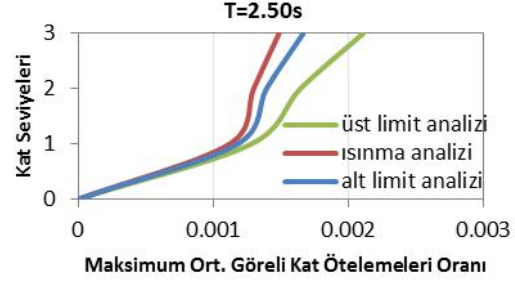


(d)

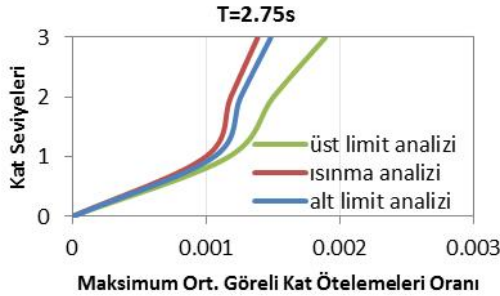
ekil 6. Farklı izolatör eksenel yük seviyelerine ve aynı izolatör periyoduna ( $T=3.00s$ ) sahip yapıların maksimum ortalama kat ivmeleri: a)  $Q/W=0.090$ , a)  $Q/W=0.105$ , a)  $Q/W=0.120$ , a)  $Q/W=0.135$



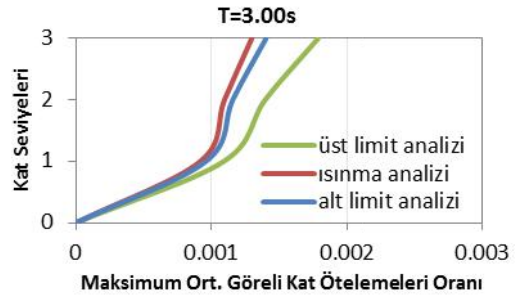
(a)



(b)

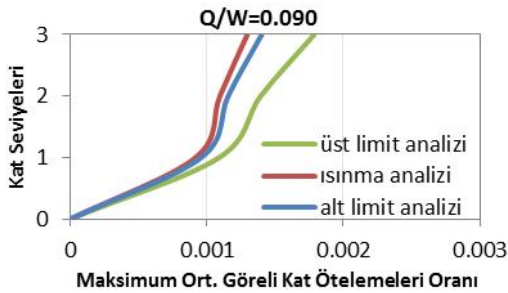


(c)

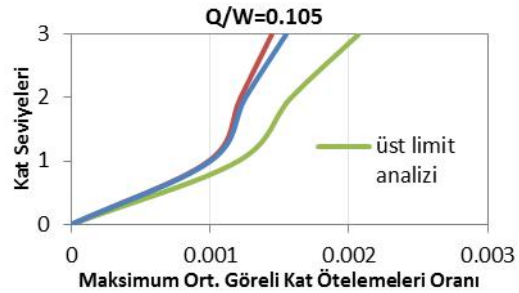


(d)

ekil 7. Farklı izolatör periyotlarına ve aynı izolatör eksenel yük seviyesine ( $Q/W=0.135$ ) sahip yapıların maksimum ortalama görelî kat deplasmanları oranı: a)  $T=2.25s$ , b)  $T=2.50$ , b)  $T=2.75$ , b)  $T=3.00s$

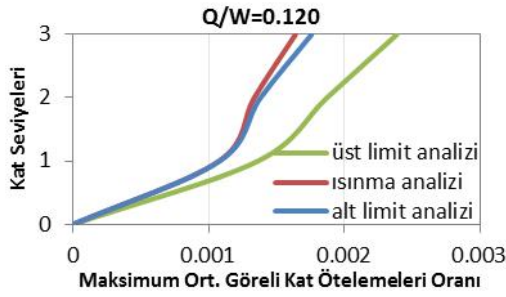


(a)

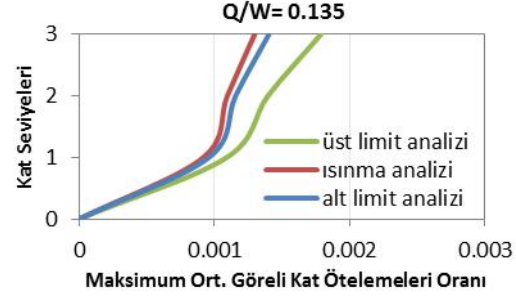


(b)





(c)



(d)

ekil 8. Farklı izolatör eksenel yük seviyelerine ve aynı izolatör periyoduna ( $T=3.00s$ ) sahip yapıların maksimum ortalama göreli kat deplasmanları oranı: a)  $Q/W=0.090$ , a)  $Q/W=0.105$ , a)  $Q/W=0.120$ , a)  $Q/W=0.135$

#### 4. SONUÇLAR

Kur un çekirdekli kauçuk izolatlara ilave sönüm mekanizması kazandıran kur un çekirdek izolatörün deprem kuvvetleri altında harekete geçmesi ile tekrarlanan yükler altında ısınır. Kur unda çekirdekte olu ansıcaklık artı neticesinde izolatörün dayanımında bir dü ü meydana gelir. Bu çalı mada, sismik taban izolasyonlu yapı tasarımında kullanılan limit analizler yakla ımından elde edilen sonuçlar gerçek izolatör davranı ndan elde edilenlerle kıyaslanmı tır. Bu kar ıla tırmalarda maksimum kat ivmeleri ve maksimum göreli kat deplasmanı oranları dikkate alınmı tır. Sonuçlar ayrıca kur un çekirdekli kauçuk izolatör tasarımında öneme sahip olan izolasyon periyoduna ve izolatörün eksenel yük seviyesine ba lı olarak gruplandırılmı tır.

Elde edilen sonuçlar maksimum kat ivmeleri cinsinden incelendi inde ısınma analizinden elde edilen sonuçların limit analizlerinden elde edilen tepki aralı ının dı na çıktı nı ortaya koymu tur. Kur un çekirdekteki ısınmaya ba lı dayanım kaybının hesaplamalara katıldı ı durumdan elde edilen ivmelerin tüm kat seviyelerinde limit analizlerden elde edilen de erlerden daha dü ük oldu u belirlenmi tir. Bu gözlem her ne kadar izolasyon periyodundaki de i imden etkilenmiyor gibi gözükse de  $Q/W$  oranı arttıkça iki analiz yöntemi arasındaki fark artı göstermektedir.

Sonuçlar maksimum göreli kat deplasmanları cinsinden incelendi inde ısınma analizinden elde edilen sonuçların alt ve üst limit sonuçlarının çizdi i aralı ın dı nda kaldı ı görülmü tür ve genel itibari ile ısınma analizinden elde edilen sonuçlar alt limit analizine yakın çıkmı tır. Artan izolasyon periyodu ile iki analiz arasındaki farkın azaldı ı gözlenmi tir. zolatörün eksenel yük seviyesindeki de i imin iki analiz arasındaki farkı önemli ölçüde de i tirmed i tespit edilmi tir.

Özetlemek gerekirse;

- 1) Limit analizleri yakla ımından elde edilen veriler ile gerçek izolatör davranı na dayanan sonuçlar kar ıla tırıldı ında, sınır analizleri yönteminin amacına uygun olarak yapısal tepkinin de i im gösterdi i bir zarf aralı ını sa lamadı ı görülmü tür.
- 2) Gerçek izolatör davranı na dayalı üst yapı tepki de erlerinin limit analizlerden elde edilen de erlerin dı na çıkması limit analizleri yönteminin sorgulanmasına sebep olmu tur.
- 3) Bu durumda, limit analizleri yönteminin mutlaka bahsi geçen gerçek izolatör davranı na dayanan analiz (ısınma analizi) sonuçlarıyla da desteklenmesi gerekti i dü ünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Alhan, C., Gavin, H. (2005). Reliability of base isolation for the protection of critical equipment from earthquake hazards. *Engineering Structures*, 27, 1435-1449.
- 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.
- 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.
- Constantinou, M., Whittaker, A., Kalpakidis, I., Fenz, D., Warn, G. (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.
- Kalpakidis, I., Constantinou, M. (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, V., Constantinou, M. (2009a). Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearing I:Theory. *Journal of Structural Engineering* (ASCE), 135, 1440-1449.
- Kalpakidis, I., Constantinou, M. (2009b). Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearing II:Verification of theory. *Journal of Structural Engineering* (ASCE), 135,1450-1461.
- Kalpakidis, V., Constantinou, M., Whittaker, A. (2010). Modeling strength degradation in lead-rubber bearings under earthquake shaking. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39, 1533-1549.
- Kelly, M., Tsai, H. (2006). Seismic response of light internal equipment in base-isolated structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 13, 711-732.
- Matsagar, A., Jangid, S. (2004). Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures. *Engineering Structures*, 26, 1735-1749.
- OpenSees (2009). Open system for earthquake engineering simulation, OpenSees version: 2.4.4. University of California, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California.
- Özdemir, G. (2015). Formulations for equivalent linearization of LRBs in order to incorporate effect of lead core heating. *Earthquake Spectra* 31:1, 317-337.”
- Özdemir, G. (2013). Formulations for Equivalent Linearization of LRBs in order to Incorporate Effect of Lead Core Heating. *Earthquake Spectra*, DOI: 10.1193/041913EQS107M.
- 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., Av ar, 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.

Providakis, P. (2008). Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations. *Engineering Structures*, 30, 1187-1198.

Providakis, P. (2009). Effect of supplemental damping on LRB and FPS seismic isolators under near-fault ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29, 80-90.

Robinson, W. (1982). Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10, 593-604.

Yang, T., Konstantinidis, D., Kelly, M. (2010). The influence of isolator hysteresis on equipment performance in seismic isolated buildings. *Earthquake Spectra*, 26, 275-293.