

Sismik İzolasyon ile Güçlendirilen Eski Tip Betonarme Bir Binanın Deprem Tepkisi

^{*1}Deniz Birlik Kayı, ²Beyhan Bayhan ve ³Gökhan Özdemir

^{*1} Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye

² Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye

³ Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Türkiye

Özet:

Bu çalışmanın amacı, sismik izolasyon yöntemi ile güçlendirilen eski tip betonarme bir binanın sismik taleplerindeki değişimin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, Türkiye yapı stokunda yer alan, eski tip betonarme binaların özelliklerini taşıyan, 8 katlı bir konut binası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bina, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerden oluşan bir taban izolasyon sistemi ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme öncesini ve sonrasını temsilen betonarme konut binasının iki farklı sayısal modeli oluşturulmuştur. Modellerin ilkinde, bina güçlendirmeden önceki hali ile ankastre mesnetli olarak modellenmiştir. İkinci sayısal modelde ise güçlendirilmiş, sismik taban izolasyonlu yapı modeli oluşturulmuştur. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin modellenmesinde, kurşun çekirdekteki sıcaklık artışına bağlı olarak gelişen dayanım kaybı dikkate alınmıştır. Sayısal modellerin doğrusal olmayan dinamik analizleri seçilen yakın saha ivme kayıtları etkisinde, modellerin her iki yatay doğrultusunda eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Betonarme konut binasının sismik izolasyon yöntemi ile güçlendirilmesi sonrasında sismik taleplerinin ne ölçüde değiştiğini gösterebilmek için, sayısal modellerden elde edilen göreceli kat ötelemesi, kat kesme kuvveti ve kat ivmesi talepleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, sismik izolasyon yöntemi ile güçlendirilen eski tip betonarme konut binasının sismik taleplerinin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sismik izolasyon, kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, eski tip betonarme bina, sismik talep.

1. Giriş

Eski tip betonarme binalarda tercih edilen geleneksel güçlendirme yöntemleri, taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinin artırılması, mevcut sisteme ilave perde duvarlar veya çelik çaprazlar eklenmesidir. Bu geleneksel yöntemlerin amacı taşıyıcı sisteme ilave rijitlik ve süneklik kazandırarak binanın deprem güvenliğini artırmaktır. Ancak, son yıllarda sismik izolasyon gibi modern sistemlerin daha ulaşılabilir ve uygulanabilir olması ile birlikte betonarme binaların güçlendirilmesinde bu yeni yöntemlerin kullanımına ilişkin çalışmaların sayısı da artış göstermiştir. Sismik izolasyon sistemleri üstyapıyı temelden ayırarak depremin neden olduğu yıkıcı etkilerin azaltılmasında kullanılan pasif kontrol sistemleridir. Bu sistemde temel ve üstyapı arasında, düşük yatay rijitliğe sahip, sismik izolatör adı verilen yapısal elemanlar yerleştirilmektedir. Bu sayede, deprem kuvvetleri izolatör seviyesinde meydana gelen hareket ile sönümlenmekte, üstyapıya aktarılan kuvvetler ise azalmaktadır.

Literatürde, eski tip betonarme binaların sismik izolasyon yöntemi ile güçlendirilmesi üzerine

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Bursa Technical University, 16310, Bursa TÜRKİYE. E-mail address: deniz.birlik@btu.edu.tr, Telefon: +902243003428

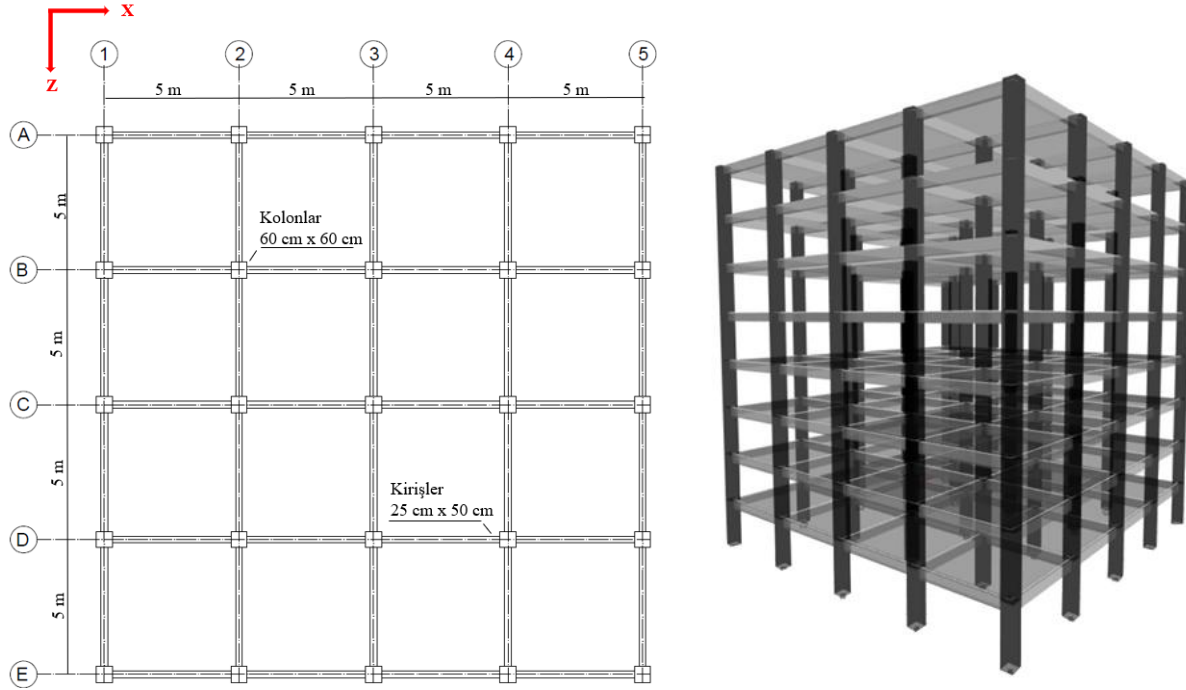
gerçekleştirilen çalışmalarda, genellikle güçlendirilen binaların sismik taleplerindeki değişim incelenmektedir. Cardone ve diğ. [1] sismik izolasyon yöntemi ile güçlendirilmiş 72 adet eski tip betonarme bina ile gerçekleştirdikleri parametrik çalışmada, sismik izolasyonlu yapıların ankastre mesnetli yapılara kıyasla daha az doğrusal olmayan çevrime maruz kaldığını ortaya koymuşlardır. Mazza ve diğ. [2] 6 katlı betonarme bir binanın, 3 farklı tip ve kombinasyonda sismik izolatör ile güçlendirildiği çalışmada, sismik izolasyon sistemlerinin görelî kat ötelemesi taleplerini azalttığı ve aynı zamanda kat ötelenmelerinin düzgün dağılımını sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Murota ve diğ. [3] Türkiye'deki mevcut betonarme binaların sismik izolasyon ile güçlendirilmesinde yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin uygulanabilirliğini araştırdıkları çalışmalarında, sismik izolasyonun sismik talepleri azaltmak için etkili bir yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ancak yazarlar, etkili bir sismik izolasyon uygulaması elde etmenin nispeten hafif yapılar için daha zor olduğuna dikkat çekmişlerdir. Cardone ve diğ. [4] sismik izolasyon yöntemi ile güçlendirilmiş eski tip betonarme konut binalarının sismik performanslarını inceledikleri çalışmada, sismik izolasyonun tasarım sınır durum seviyesinin çok ötesinde hasarı sınırlamada etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, yüksek deprem riski taşıyan bölgelerde, göçmenin önlenmesi performans düzeyi açısından sınırlı bir etkinlik gösterdiğine değinilmiştir.

Türkiye'deki yapı stokunun çoğunluğu eski tip betonarme binalardan oluşmaktadır. Yaşanan yıkıcı depremler (2023 Kahramanmaraş, 2020 Elazığ-Sivrice, 2020 Sisam, 2003 Bingöl, 1999 Kocaeli ve Düzce) söz konusu bu yapıların güçlü yer hareketleri etkisi altında hasar aldığını ve hatta yıkıldığını göstermiştir. Bu sonuçlar, mevcut yapı stokunun depreme dayanıklı hale getirilmesi için acil önlemler alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yapı stokumuzdaki eski tip betonarme binaların hızlı ve etkili bir şekilde güçlendirilmesinde sismik izolasyon yöntemi kullanılabilir. Bu nedenle, bu çalışmada, sismik izolasyon teknolojisinin Türkiye yapı stokuna ait özellikleri taşıyan bir konut binasının güçlendirilmesi amacıyla kullanılması durumunda, binaya ait sismik taleplerinin ne ölçüde değişeceği araştırılmıştır. Bu amaçla, eski tip binalara ait özellikleri taşıyan bir konut binasının tasarımı 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) [6] hükümlerine göre gerçekleştirilmiştir. Çalışma konusu betonarme bina, daha sonra, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılarak güçlendirilmiştir. Çalışmada, betonarme konut binasının i. ankastre mesnetli ve ii. sismik taban izolasyonlu iki sayısal modeli oluşturulmuştur. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin modellenmesinde, depremin tersinir tekrarlanır hareketi esnasında, kurşun çekirdekteki ısınmaya bağlı olarak gelişen dayanım kaybı dikkate alınmıştır. Sayısal modellerin doğrusal olmayan dinamik analizleri, seçilen üç adet yakın saha ivme kaydı etkisinde, her iki yatay doğrultuda, eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, sayısal modellerden elde edilen, üstyapı görelî kat ötelemesi, kat kesme kuvveti ve kat ivmesi talepleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. Çalışma Konusu Betonarme Bina

Çalışmada, mevcut yapı stokumuzda yer alan eski tip betonarme binaların genel özelliklerini taşıyan 8 katlı betonarme bir konut binası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan binanın plan genişlikleri her iki yatay doğrultuda 20 m'dir. Kat yükseklikleri tüm katlarda eşit ve 2.8 m'dir. Taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapıda, 0.6 m x 0.6 m boyutlarında kare kolonlar kullanılmıştır. Kolon kesitleri ilk kattan son kata kadar değiştirilmemiştir. Sürekli kirişlerin

boyutları 0.25 m x 0.50 m ve döşeme kalınlığı 12 cm'dir. Tasarımı gerçekleştirilen betonarme konut binasının plan ve 3 boyutlu görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



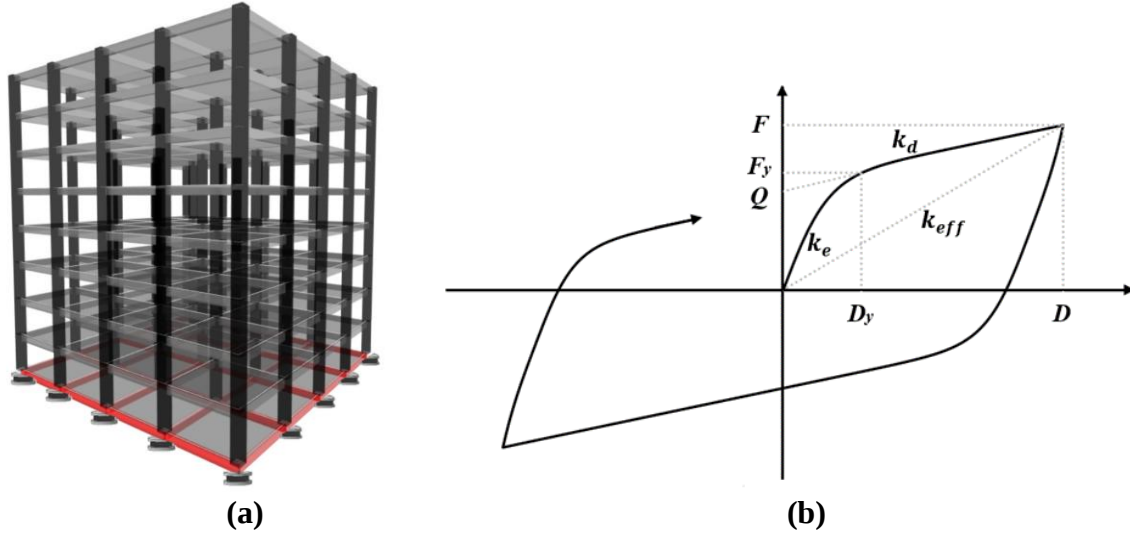
Şekil 1. Tasarımı gerçekleştirilen betonarme konut binasının genel ve 3 boyutlu görünümü

Tasarım aşamasında dikkate alınan döşeme üzerindeki ölü ve hareketli yükler sırasıyla 1.7 kN/m^2 ve 2.0 kN/m^2 'dir. Yalnızca dış çerçeve kirişleri üzerinde yer alan dolgu duvarların ağırlığı kirişler üzerinde yayılı yük olarak dikkate alınmıştır. Dolgu duvarların kirişler üzerindeki yayılı yük değeri 4.3 kN/m 'dir. Tasarımda kullanılan betonun basınç dayanımı 20 MPa ve çelik malzemelerin akma dayanımı 420 MPa 'dır. Genel özellikleri ve malzeme özellikleri verilen betonarme konut binasının tasarımı ABYYHY [6] hükümlerine göre *Süneklik Süzeyi Yüksek Sistemler* olarak gerçekleştirilmiştir. Kolon ve kiriş elemanlar için minimum donatı gereksinimleri dikkate alınmıştır.

3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerin Tasarımı

Tasarımı gerçekleştirilen betonarme konut binasının sismik izolasyon ile güçlendirilmesinde kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmıştır. Oluşturulan izolasyon sisteminde, her biri kolon elemanın altında yer alan 25 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve üst yapıyı izolatörlerden ayıran, eksenel yükleri üst yapıdan izolatörlere düzgün bir şekilde ileten, rijit bir diyafram bulunmaktadır (Şekil 2.a). Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin doğrusal olmayan davranışı Şekil 2.b'de verilen bi-lineer kuvvet-deplasman ilişkisi kullanılarak idealize edilmektedir. Şekil 2.b'de yer alan Q , karakteristik dayanım; k_e , akma öncesi rijitlik; k_d , akma

sonrası rijitlik; D_y , akma deplasmanı ve F_y , akma kuvveti olarak tanımlanmaktadır. D ve F sırasıyla maksimum yanal izolatör deplasmanını ve izolatör tarafından taşınan maksimum yanal kuvveti temsil etmektedir. K_{eff} ise izolatöre ait etkin rijitlik olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2. a) Güçlendirilen binanın 3 boyutlu görünümü ve b) Bi-lineer kuvvet-deplasman ilişkisi

Betonarme konut binasının güçlendirilmesinde kullanılacak kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin karakteristik dayanımının, Q ve periyodunun, T belirlenmesi için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile ön tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu iki parametre (Q ve T) belirlenirken, literatürdeki öneriler [6-8] ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) [9] hükümleri dikkate alınarak, izolatörlerin maksimum deplasmanı ve etkin sönüm oranı ile üstyapıya etki edecek maksimum taban kesme kuvvetinin sınırlandırılması amaçlanmaktadır. Buna göre, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlere ait periyotun, T 3.0 s ve karakteristik dayanımın izolatör üzerindeki eksenel yüke oranının, Q/W 0.10 olmasına karar verilmiştir. Tasarım parametreleri (T ve Q/W) belirlendikten sonra, Constantinou ve diğ. [8]'e ait çalışmada tariflenen tasarım prosedürü takip edilerek, izolatörlere ait kurşun çekirdek çapı, D_i ; izolatör çapı, D_B ; kauçuk tabaka sayısı, n ve kauçuk tabaka kalınlığı, t_r gibi geometrik özellikler belirlenmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin geometrik ve mekanik özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Tasarımı gerçekleştirilen kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin geometrik ve mekanik özellikleri

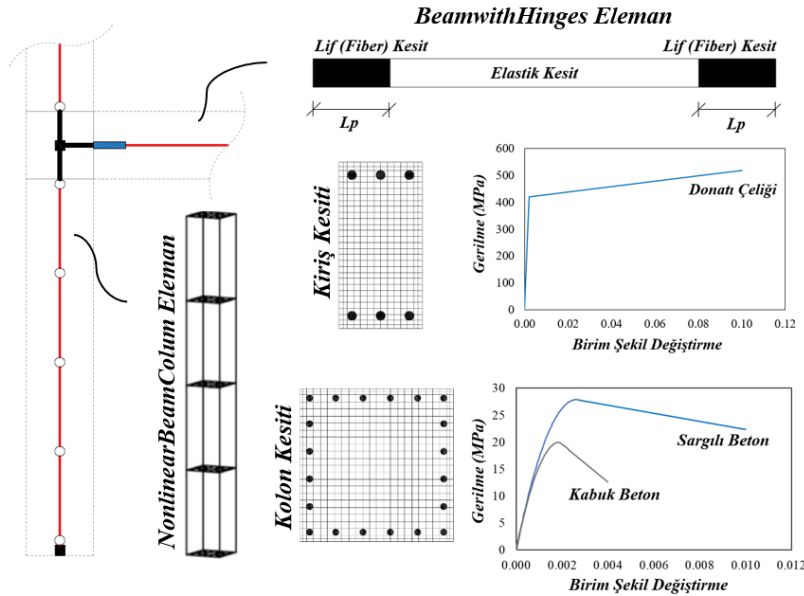
İzolatöre ait Özellikler	
İzolatör üzerindeki eksenel yük, W (kN)	1286.5
İzolatör çapı, D_B (mm)	700
Kurşun çekirdek çapı, D_L (mm)	128
Kauçuk tabak sayısı, n	32
Kauçuk tabaka kalınlığı, t_r (mm)	10
Çelik plaka kalınlığı, t_s (mm)	3
Akma sonrası rijitliğin elastik rijitliğe oranı, k_d/k_e	0.1
Kauçuğun kesme modülü, G (MPa)	0.5
Kurşunun akma gerilmesi, σ_l (MPa)	13.5

4. Sayısal Modeller

Sekiz katlı betonarme konut binasının iki farklı sayısal modeli oluşturulmuştur. İlk sayısal modelde bina ankastre mesnetli olarak modellenmiştir. İkinci sayısal modelde ise kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile güçlendirilmiş sismik izolasyonlu bina modeli oluşturulmuştur. *OpenSees* [11] yazılımı ile oluşturulan sayısal modeller, aşağıda, üstyapının ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin modellenmesi başlıkları altında incelenmiştir.

4.1. Üstyapının modellenmesi

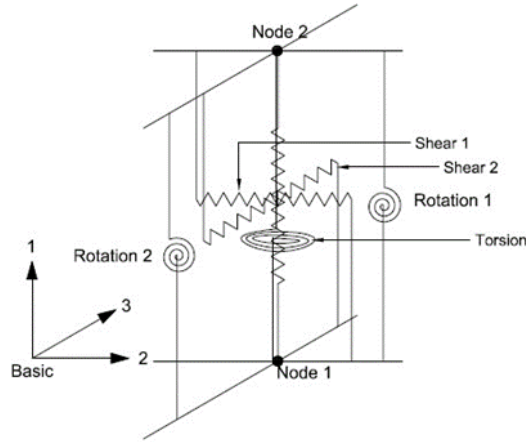
Üstyapı düşey taşıyıcı sistemini oluşturan kolon elemanlar, her iki yönde eksenel yük moment ilişkisini dikkate alan, lif (fiber) kesitlere sahip doğrusal olmayan elemanlar (*nonlinearBeamColumn element*) olarak modellenmiştir (Şekil 3). Kullanılan bu eleman modelinde, elemanın tamamında doğrusal moment dağılımının olduğu varsayılmaktadır. Deformasyonlar ise eleman üzerinde birden fazla noktada tanımlanan eğrilikler aracılığı ile dikkate alınmaktadır [12]. Burada, Gauss-Loabatto integrasyonu yöntemine göre, eleman boyunca 5 integrasyon noktası tanımlaması yapılmıştır. Bu integrasyon yönteminin seçilmesinin nedeni, tanımlanan integrasyon noktaları ile eleman uçlarında oluşacak maksimum momentlerin hesaplara dahil edilebiliyor olmasıdır [13]. Kolon elemanların tanımında ikinci mertebe etkileri dikkate alınmıştır. Kirişler ise doğrusal olmayan *beamwithhinges* elemanlar ile modellenmiştir (Şekil 3). Söz konusu eleman modelinde kiriş elemanlar 3 parçaya ayrılmaktadır. Eleman uçlarında yer alan, doğrusal olmayan deformasyonların oluşmasının beklendiği plastik mafsal bölgelerinde lif (fiber) kesitler tanımlanırken, kirişin orta bölgesinde doğrusal elastik kesit tanımı yapılmaktadır. Kirişlerin plastik mafsal uzunluğu, L_p Paulay ve Priestley [14] tarafından yapılan tanıma göre kiriş yüksekliğinin yarısı olarak alınmıştır. Kolon ve kiriş elemanların birleşim bölgelerinde denk gelen eleman uçlarında rijit uç bölgeleri tanımlanmıştır.



Şekil 3. Doğrusal olmayan kolon ve kiriş eleman modelleri

4.2. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin modellenmesi

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin modellenmesinde halihazırda OpenSees [11]'de tanımlı olan *LeadRubberX* eleman modeli kullanılmıştır. Kumar ve diğ. [15] tarafından geliştirilen bu eleman modelinde, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler iki düğüm noktası ve 12 serbestlik derecesi olan 3 boyutlu ayırık elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Eleman modelinde yer alan iki düğüm noktası, her iki yatay doğrultuda kesme ve dönme davranışını, düşey yönde ise eksenel yük ve burulma davranışını temsil eden toplam altı adet yay ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. *LeadRubberX* element modeli [15]

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, tersinir tekrarlanır hareketler altında izolatörlerin dayanımlarında kademeli olarak azalım gerçekleştiğini göstermiştir [16]. Kalpakidis ve Constantinou [17-18] tarafından yürütülen çalışmalarda, söz konusu dayanım kaybının nedeninin sismik izolatöre uygulanan tersinir tekrarlanır hareketler esnasında kurşun çekirdekte meydana gelen sıcaklık artışı olduğu saptanmıştır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin dayanım kaybı, Kalpakidis ve Constantinou [17-18] tarafından geliştirilen ve deneysel çalışmalar ile doğrulanan matematiksel model ile (Denklem 1) anlık olarak hesap edilebilmektedir.

$$\sigma_l(T_L) = \sigma_{l0} \cdot \exp(-E_2 \cdot T_L) \quad (1)$$

Eşitlikte yer alan $\sigma_l(T_L)$, kurşunun sıcaklığa bağlı değişen akma gerilmesini; σ_{l0} , kurşunun ilk akma gerilmesini; T_L , kurşun çekirdekteki toplam sıcaklığı temsil etmektedir. E_2 ise değeri 0.0069 olan sabit bir sayıdır. Yürütülen bu çalışmada, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin dayanımındaki sıcaklığa bağlı değişim dikkate alınmıştır.

5. Deprem İvme Kayıtlarının Seçimi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik

analizlerde kullanılmak üzere 3 adet deprem ivme kaydı seçilmiştir. İvme kayıtlarının seçiminde; (i) depremin moment büyüklüğünün, M_w 6.5'den büyük olmasına, (ii) kaydın alındığı istasyonun kırılmanın gerçekleştiği faya olan uzaklığının, R , Somerville ve diğ. [19] tarafından yapılan yakın saha tanımına uygun olarak, 20 km'den az olmasına ve (iii) kayıt istasyonunun bulunduğu konumda zemine ait kayma dalgası hızının, V_{s30} ZD zemin koşullarına uygun olarak 180 m/s ile 360 m/s arasında olmasına dikkat edilmiştir. Seçilen ivme kayıtlarına ait özellikler Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'de verilen PGA, PGV ve PGD sırasıyla maksimum yer ivmesini, maksimum yer hızını ve maksimum yer deplasmanını temsil etmektedir.

Tablo 2. Seçilen deprem ivme kayıtları

#	Deprem	İstasyon	M_w	R (km)	V_{s30} (m/s)	Bileşen	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
1	Düzce	Bolu	7.14	12.04	293.57	0	0.739	55.934	25.587
						90	0.806	65.883	13.099
2	Kocaeli	Düzce	7.51	15.37	281.86	180	0.312	58.867	44.061
						270	0.364	55.662	24.957
3	Imperial Valley	ElCentroArray#4	6.53	7.05	208.91	140	0.484	39.645	25.137
						230	0.37	80.415	74.268

6. Doğrusal Olmayan Dinamik Analizler

Çalışma konusu betonarme konut binasına ait ankastre mesnetli ve sismik taban izolasyonlu sayısal modellerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri, seçilen ivme kayıtlarının etkisinde, her iki yatay doğrultuda eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizler sonucunda, sismik izolasyon yöntemi ile güçlendirilen betonarme konut binasının sismik taleplerinin ne ölçüde değiştiğini ortaya koyabilmek için sayısal modellere ait maksimum görelî kat ötelemesi, maksimum kat kesme kuvveti ve maksimum kat ivmesi talepleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sayısal modellerin her iki yatay doğrultusunda (x ve z), her bir kat seviyesi için hesap edilen maksimum görelî kat ötelemesi talepleri Şekil 5'te sunulmuştur. İlgili grafiklerde yatay eksenler sayısal modellerden elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi taleplerini, düşey eksenler ise binadaki katları temsil etmektedir.

Şekil 5'te yer alan grafikler, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile güçlendirilmiş betonarme bina modeline ait görelî kat ötelemesi taleplerinin, ankastre mesnetli betonarme bina modelinden elde edilen taleplere kıyasla önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Örneğin, Kocaeli (Düzce) ivme kaydı etkisinde gerçekleştirilen dinamik analizlerde, ankastre mesnetli bina modelinin z doğrultusundaki maksimum görelî kat ötelemesi talebi %2.5 olarak elde edilirken, sismik izolasyonlu bina modelinin aynı doğrultudaki maksimum görelî kat ötelemesi talebi %0.7'dir. Sayısal modellerin maksimum görelî kat ötelemesi talepleri arasındaki en büyük fark %85 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, maksimum görelî kat ötelemesi talepleri arasındaki farkların görece daha az olduğu son katlarda bile (6-8 kat), talepler arasındaki farklar tüm depremler için yaklaşık %15-59 mertebelerinde değişmektedir.

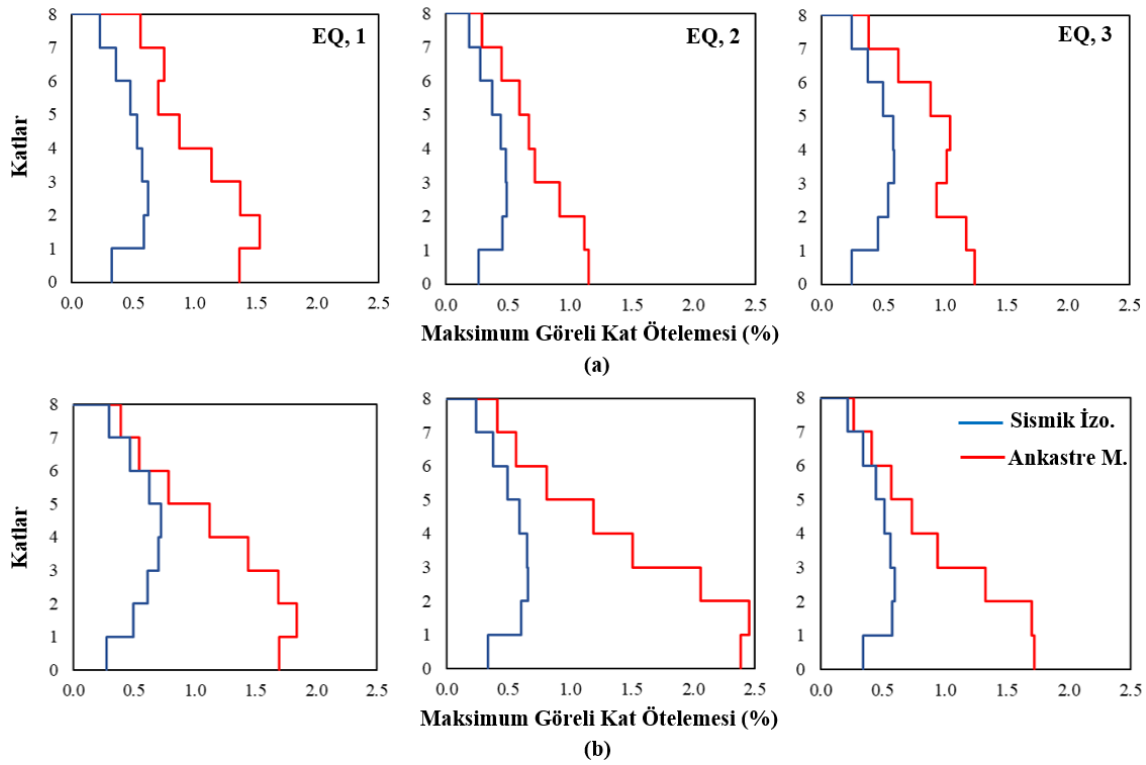
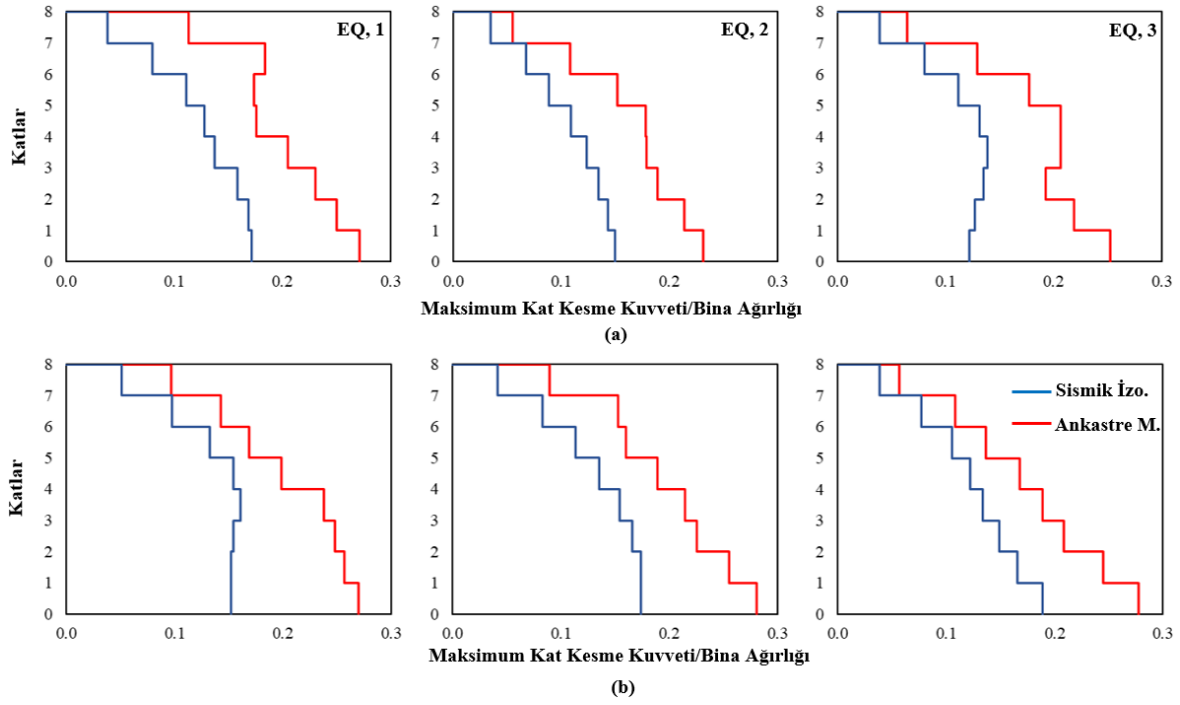


Figure 5. Maksimum göreli kat ötelemesi talepleri a) x-doğrultusu b) z-doğrultusu

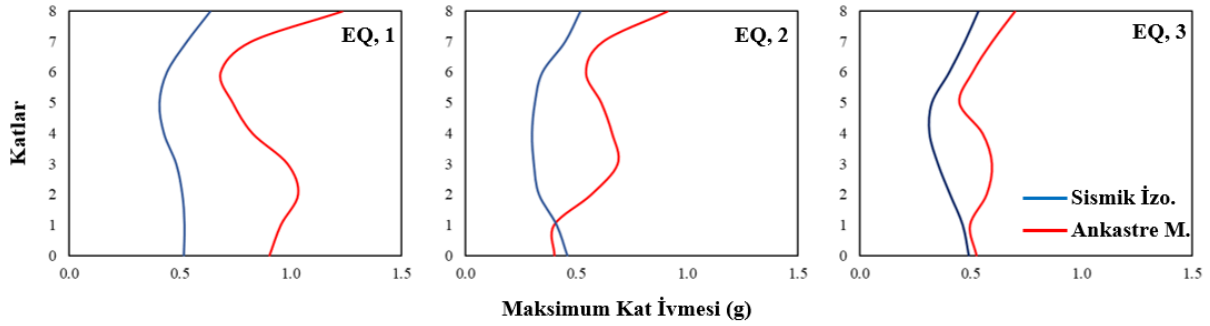
Sayısal modellerin her iki yatay doğrultusunda (x ve z) ve her bir kat seviyesi için hesap edilen maksimum kat kesme kuvveti talepleri Şekil 6’da yer alan grafikler aracılığı ile sunulmuştur. Grafiklerde sonuçlar, maksimum kat kesme kuvvetlerinin bina ağırlığına oranı ile hesaplanan kat kesme oranları ile ifade edilmiştir. İlgili grafiklerde yatay eksenler analitik modellerden elde edilen maksimum kat kesme oranlarını, dikey eksenler ise binadaki katları temsil etmektedir.

Şekil 6’da verilen grafikler, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile güçlendirilmiş betonarme bina modeline ait maksimum kat kesme kuvveti taleplerinin, ankastre mesnetli betonarme bina modelinden elde edilen taleplere kıyasla daha az olduğunu göstermektedir. Imperial Valley (El Centro Array #4) ivme kaydı etkisinde gerçekleştirilen dinamik analizlerde, sayısal modellerin maksimum kat kesme kuvveti talepleri arasındaki en büyük fark %52 olarak hesaplanmıştır. Ankastre mesnetli sayısal modelden elde edilen sonuçlar, taban kesme kuvveti taleplerinin statik itme analizleri ile hesaplanan bina taban kesme kuvveti kapasitesi değeri olan %28’e neredeyse ulaştığını göstermektedir. Bununla birlikte, sismik taban izolasyonlu sayısal modelde bu değer en fazla bina ağırlığının %20’si mertebesindedir.

Sayısal modellerden elde edilen maksimum kat ivmesi talepleri Şekil 7’de yer alan grafiklerde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Maksimum kat ivmesi talepleri, her bir yatay doğrultuda elde edilen kat ivmelerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak hesaplanan bileşke ivmelerin maksimumu alınarak elde edilmiştir. Grafiklerde yatay eksenler her bir katta elde edilen en büyük kat ivmesi taleplerini, dikey eksenler ise binadaki katları temsil etmektedir.



Şekil 6. Maksimum kat kesme kuvveti talepleri a) x-doğrultusu b) z-doğrultusu



Şekil 7. Maksimum kat ivmesi talepleri

Şekil 7’de verilen grafikler, sismik izolasyon ile güçlendirilmiş betonarme bina modelinin, ankastre mesnetli betonarme bina modeline kıyasla daha küçük kat ivmesi taleplerine maruz kaldığını göstermektedir. Sayısal modellerin maksimum kat ivmesi talepleri arasındaki en büyük farklar Kocaeli (Düzce) depremi ivme kaydı etkisinde gerçekleştirilen dinamik analizlerde %55 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, ankastre mesnetli betonarme konut binasına ait sayısal modelden elde edilen maksimum kat ivmesi taleplerinin katlar arası dağılımı düzensizdir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, sismik izolasyon yöntemi ile güçlendirilen eski tip betonarme bir konut binasının

güçlü yer hareketi etkileri altında, sismik taleplerindeki değişim araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, tasarımı ABYYHY (1998) hükümlerine göre *Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemlere* ait koşullar dikkate alınarak gerçekleştirilen 8 katlı betonarme bir konut binası ele alınmıştır. Söz konusu betonarme konut binasının sismik izolasyon yöntemi ile güçlendirilmesinde kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmıştır. Güçlendirmeden önce ve sonra betonarme konut binasını temsil etmek üzere, ankastre mesnetli ve sismik taban izolasyonlu iki farklı sayısal model oluşturulmuştur. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin modellenmesinde, kurşun çekirdekteki ısınmaya bağlı olarak izolatörlerin dayanımında meydana gelmesi muhtemel azalış dikkate alınmıştır. Sayısal modellerin doğrusal olmayan dinamik analizleri 3 adet yakın saha ivme kaydı etkisinde, her iki yatay doğrultuda eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizler sonucunda, sayısal modellere ait görelî kat ötelemesi, kat kesme kuvveti ve kat ivmesi talepleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile güçlendirilen betonarme konut binasının sismik taleplerinin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Sayısal modellerin sismik talepleri arasındaki en büyük farklar, görelî kat ötelemesi taleplerinden elde edilmiştir ve yaklaşık %85 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, sayısal modellerin kat kesme kuvveti ve kat ivmesi talepleri arasındaki en büyük farkların sırasıyla %52 ve %55 olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Cardone D, Flora A, Gesualdi G. Inelastic response of RC frame buildings with seismic isolation. *Earthquake engineering & Structural Dynamics* 2013; 42(6):871-889.
- [2] Mazza F, Mazza M, Vulcano AJES. Nonlinear response of rc framed buildings retrofitted by different base-isolation systems under horizontal and vertical components of near-fault earthquakes. *Earthquakes and Structures* 2017;12(1):135-144.
- [3] Murota N, Suzuki S, Mori T, Wakishima K, Sadan B, Tuzun C, ... & Erdik M. Performance of high-damping rubber bearings for seismic isolation of residential buildings in Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2021;143:106620.
- [4] Cardone D, Viggiani LRS, Perrone G, Telesca A, Di Cesare A, Ponzo FC, ... & Pavese A. Modelling and seismic response analysis of existing Italian residential RC buildings retrofitted by seismic isolation. *Journal of Earthquake Engineering* 2023;27(4):1069-1093.
- [5] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-ABYYHY. Afet ve Acil Durum Baskanlığı, 1998, Ankara, Türkiye.
- [6] Dicleli M. Performance of seismic-isolated bridges in relation to near-fault ground-motion and isolator characteristics. *Eartquake Spectra* 2006;22(4):887–907.
- [7] Constantinou MC. Lecture notes of Aseismic Base Isolation at State University of New York at Buffalo, 2009.

- [8] Ozdemir G, Constantinou MC. Evaluation of equivalent lateral force procedure in estimating seismic isolator displacements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2010;30(10): 1036-1042.
- [9] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-TBDY. Afet ve Acil Durum Başkanlığı, 2018, Ankara, Türkiye.
- [10] Constantinou MC, Whittaker AS, Fenz DM, Apostolakis G. Seismic isolation of bridges, Report to the State of California Department of Transportation, Report No:65A0174, 2007 University at Buffalo, NY.
- [11] Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees). Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley; 2022.
- [12] Paspuleti C. Seismic Analysis of an Older Reinforced Concrete Frame Structure. MSc Thesis, University of Washington, Washington; 2002.
- [13] Monti G, Spacone E. Reinforced concrete fiber beam element with bond-slip. *J Struct Engineering* 2000;126(6):654–61.
- [14] Paulay T, Priestley MN. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. New York: Wiley, 1992:Vol.768).
- [15] Kumar M, Whittaker AS, Constantinou MC. An advanced numerical model of elastomeric seismic isolation bearings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 2014;43(13):1955-1974.
- [16] Robinson WH. Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 1982;10(4): 593-604.
- [17] Kalpakidis IV, Constantinou MC. Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearing. I: Theory. *Journal of Structural Engineering* 2009;135(12):1440-1449.
- [18] Kalpakidis IV, Constantinou MC. Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearings. II: Verification of theory. *Journal of Structural Engineering* 2009;135(12):1450-1461.
- [19] Somerville PG, Smith NF, Graves RW, Abrahamson NA. Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismol Res Lett* 1997;68(1):199–222.