



## Zemin Kat Yüksekliği ve Kat Adedi Farklı Olan Betonarme Binalarda Sismik İzolatör Kullanımının Bina Davranışına Etkisinin İncelenmesi

### Investigation of the Effect of Seismic Isolator Use on Building Behaviour in Reinforced Concrete Buildings with Different Ground Storey Height and Number of Storey

Ali Mert ÖZKAN<sup>1</sup>, Şenol GÜRSOY<sup>2\*</sup>, Zehra Şule GARİP<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, 78050 Karabük, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 78050 Karabük, TÜRKİYE

**Başyuru/Received:** 19/02/2023

**Kabul/Accepted:** 05/02/2023

**Son Versiyon/Final Version:** 30/06/2023

**Son Versiyon/Final Version:** 30/06/2023

#### Öz

Türkiye’de binaların zemin katları genellikle dükkân, otopark, otomobil galerisi, banka, otel lobileri, depo vb. gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Bu durumda da zemin katların yükseklikleri, normal katlara göre daha yüksek olmakta dolayısıyla zemin katın rijitliği üst katlara göre azalmaktadır. Rijitliği zayıf olan bu katlarda depremler sırasında ağır hasarlar oluşmaktadır. Bu çalışmada üç farklı bina formuna sahip ankastre mesnetli ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü betonarme binaların zemin kat yüksekliğindeki artışın yapısal davranışlarına etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla önce toplam kat alanları sabit tutularak üç farklı bina formuna ve farklı kat adedine sahip ankastre mesnetli betonarme bina modelleri oluşturulmuş ve söz konusu modellerin zemin kat yüksekliğinin farklı oranlardaki artışının yapısal davranışlarına etkileri araştırılmıştır. Daha sonra söz konusu bina modellerinin temeli ile kolonları arasına kurşun çekirdekli kauçuk izolatör yerleştirilerek sismik izolasyonlu bina modellerinin davranışları ankastre mesnetli bina modelleri ile karşılaştırmaktadır. Yapısal çözümlerden elde edilen bulgular sismik izolatörlü bina modellerinde zemin kat yüksekliğinin artması ile taban kesme kuvveti değerlerinin ve üst katlardaki görelî kat ötelenmelerinin ankastre mesnetli bina modellerine göre önemli ölçüde azaldığını ve periyot değerlerinin ve kat yer değiştirmelerinin önemli ölçüde arttırmadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular deprem tehlikesinin yüksek olduğu bölgelerde inşa edilecek betonarme binaların emniyeti ve deprem performansı bakımından sismik izolatörlerin alternatif olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

#### Anahtar Kelimeler

“Betonarme yapılar, bina periyodu, sismik izolasyon, yumuşak kat düzensizliği, zemin kat yüksekliği”

#### Abstract

Ground storeys of buildings in Turkey are usually used for purposes such as shops, car parks, car dealerships, banks, hotel lobbies, warehouses, etc. In this case, the heights of the ground storeys are higher than the normal storeys, so the stiffness of the ground storey decreases compared to the upper storeys. These storeys, which have weak rigidity, are heavily damaged during earthquakes. This study investigated the effects of the increase in ground storey height on the structural behaviours of reinforced concrete buildings with fixed support and lead core rubber insulators with three different building forms. To that end, firstly fixed support reinforced concrete building models with three different building forms and three different number of storeys by keeping the total storey areas constant was created. The effects on the structural behaviours of the increase at different rates of the ground storey height of these models were researched. Then, a lead-core rubber insulator is placed between the foundation and the columns of the aforementioned building models, and the behaviours of the seismic isolated building models is compared with the fixed support building models. The findings from the structural analyses reveal that with the increase in the ground storey height in seismic isolator building models, the base shear force values and the relative storey drifts on the upper storeys decreased significantly compared to the fixed support building models and, the period values and storey displacements did not increase significantly. These findings show that seismic isolators can be used as an alternative in terms of the safety and earthquake performance of reinforced concrete buildings to be constructed in areas with high earthquake hazard.

#### Key Words

“Reinforced concrete structures, building period, seismic isolation, soft storey irregularity, ground storey height”

## 1. Giriş

Depreme dayanıklı yapı tasarımında taşıyıcı sistemi oluşturan yapısal elemanların, deprem yüklerini temel zeminine kesintisiz ve güvenli olarak aktaracak yeterli rijitlik, dayanım ve süneklik koşullarına sahip olmaları gerekmektedir. Ancak Türkiye’deki mevcut yapı stoğunu oluşturan az ve orta katlı betonarme binalarda, ticari ve estetik kaygılar, imar durumu, mal sahibinin istekleri ve alan yetersizliği vb. gibi etmenler nedeniyle zemin katların yüksekliği genellikle normal katlara göre daha fazla olabilmektedir. Bu husus da komşu katlar arasında düzensiz bir rijitlik dağılımına neden olmaktadır (Korkmaz ve Uçar, 2006; Kirac, et al. 2011; İnan et al. 2014; Gürsoy et al. 2015; Gürsoy ve Öz, 2016; Çağlar et al. 2016; Garip ve Dibekoğlu, 2023). Diğer bir ifadeyle zemin kat düşey taşıyıcı elemanlarının, üst katlara göre daha düşük rijitliğe sahip olması nedeniyle depremler sırasında zemin katlar, üst katlara göre daha fazla yerdeğiştirme yapmaktadır. Bu durum Ocak 2019’da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) *yumuşak kat (rijitlik) düzensizliği* olarak ifade edilmektedir (TBDY, 2019).

Günümüzde depreme dayanıklı tasarım yaklaşımında yapının, zeminden gelen dinamik etkileri dolayısıyla şekil değiştirme enerjisini, elastik ötesi davranış göstererek sönmülediği kabul edilmektedir. Buna göre, taşıyıcı sistemde plastik mafsallar oluşmakta dolayısıyla da söz konusu yapıda kalıcı hasarların oluşmasına izin verilmektedir (Komodromos, 2000). Ancak depremler sonrası kesintisiz hizmet vermesi gereken yapıların tasarımında (hastaneler, telekomünikasyon merkezleri, nükleer santraller, afet koordinasyon merkezleri vb. gibi) plastik mafsalların oluşumuna izin verilmemektedir. Bu durum söz konusu yapıların ekonomiklikten uzaklaşılmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan teknolojinin gelişimiyle birlikte geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımına alternatif olarak *sismik izolasyon sistemleri* geliştirilmiştir. Günümüzde dünyanın birçok bölgesinde sismik izolasyon sistemleri dolayısıyla da bunlara ilişkin tasarım yöntemleri başarıyla uygulanmaktadır (bkz. Çizelge 1). Bunlardan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, yüksek sönmümlü kauçuk izolatörler ve sürtünmeli sarkaç izolatörler en yaygın olarak kullanılanlardır. 1994 Ocak ayı itibariyle ABD’de kullanılan izolatörlerin %69’u kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerden, %23’ü yüksek sönmümlü kauçuk izolatörlerden ve %8’i de sürtünmeli sarkaç izolatörlerden oluşmaktadır (Komodromos, 2000). Sismik izolasyon uygulamasında LRB’nin kullanıldığı binalar, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde iyi performans gösterdikleri ifade edilmiştir (Özpalanlar, 2004). Deprem performansı, kolay montajı ve yapım maliyetleri göz önüne alındığında bu çalışma kapsamında sismik izolasyonlu oluşturulan bina modellerinde kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** Sismik izolasyon sistemlerinin sınıflandırılması

Kauçuk Esaslı Sistemler	Kayma Esaslı Sistemler	Yay Esaslı Sistemler
1) Düşük sönmümlü kauçuk izolatörler (LDRB-Low damping rubber bearing)	1) Sürtünmeli sarkaç izolatörler (FPS-Friction pendulum system)	
2) Yüksek sönmümlü kauçuk izolatörler (HDRB-High damping rubber bearing)	2) Esnek sürtünmeli taban izolatör sistemi (R-FBI-Resilient friction base isolation)	
3) Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB-Lead rubber bearing)	3) Fransız elektrik kurumu sistemi	
	4) TASS sistemi	
	5) EERC birleşik sistem	

Sismik izolasyon sistemlerinin çalışma mantığı, yapıların dinamik davranışlarını değiştirerek depremler sırasında yapıya etkileyen yüklerin, özellikle spektral ivmelerin, azaltılması ilkesine dayanmaktadır. Bu sistemlerle yapıların periyod, yer değiştirme ve sönmüm gibi dinamik özellikleri değiştirilerek depremlerin yıkıcı etkileri azaltılabilmektedir (Yücesoy, 2005; Şengel et al. 2009).

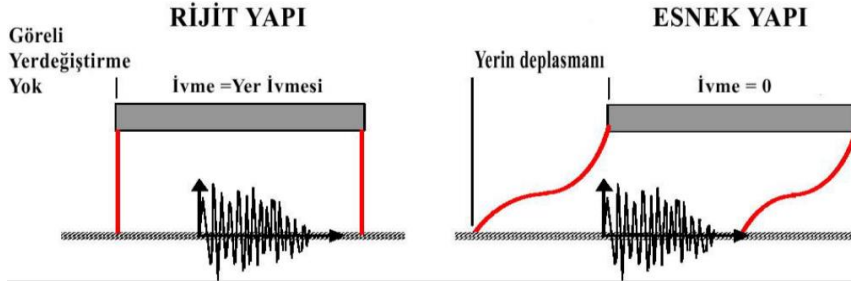
Bu çalışmada, farklı kat adedi ve kat alanları dikkate alınarak oluşturulan üç farklı forma sahip ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu betonarme binalarda, zemin kat yüksekliğindeki artış miktarının yapısal davranışa etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmektedir.

## 2. Sismik İzolasyon Sistemleri

Artan nüfusun, yaşam ve barınma ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla çok katlı komplike yapılara talep her geçen gün artmaktadır. Bu durum yapı mühendisliği açısından bazı problemlerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Çünkü geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımının en büyük problemi, katlar arası ötelenmelerin ve kat ivmelerinin nasıl azaltılacağıdır. Bu amaçla geleneksel yöntemlerde yapının rijitliğinin artırılmasıyla görel kat ötelenmelerinin azaltılması sağlanmaktadır. Ancak bu durum depremlerin yapılar üzerindeki etkilerini daha da artırmakta dolayısıyla buna bağlı olarak kat ivmelerinin artmasına neden olmaktadır (bkz. Şekil 1). Diğer taraftan yapının sünek tasarlanmasıyla kat ivmeleri azaltılabilmekte, ancak bu durum da söz konusu yapıdaki görel kat ötelenmelerini arttırmaktadır (Naeim and Kelly, 1999).

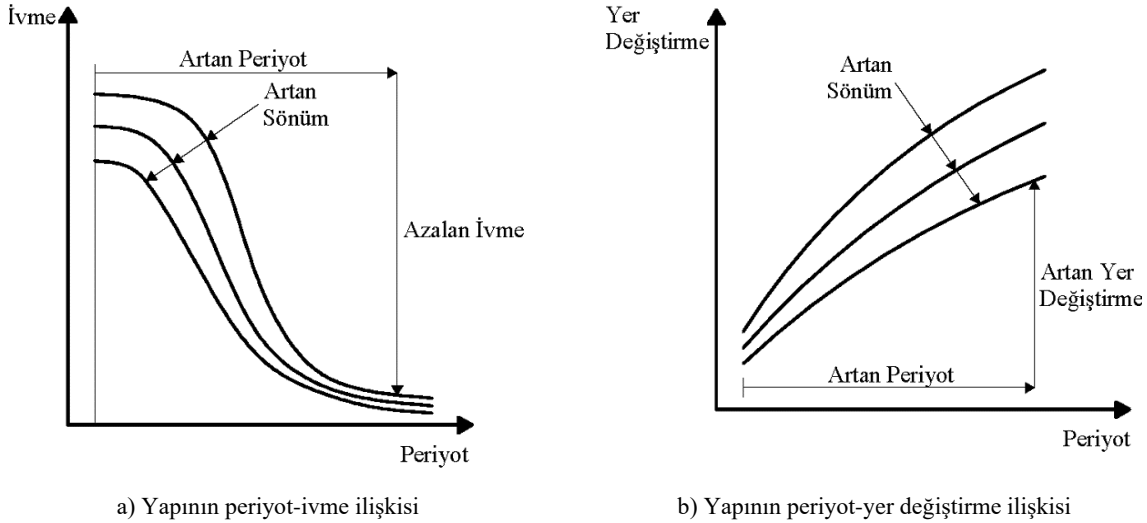
Teknolojinin gelişmesiyle birlikte geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımına alternatif olarak hem görel kat ötelenmelerini hem de kat ivmelerini eş zamanlı olarak azaltmayı amaçlayan yapısal kontrol sistemleri olarak adlandırılan mekanizmalar geliştirilmiştir. Teknik literatürde yapısal kontrol sistemleri, aktif ve pasif kontrol sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan pasif kontrol sistemlerinden biri olan sismik izolasyon sistemleri, genellikle yapı ile temel arasına yerleştirilmektedir. Bunlar, düşey doğrultudaki rijitliği yüksek ve yatay doğrultuda ise yer değiştirme yapmasına izin verilen sismik izolatörler vasıtasıyla yapı ile zemin arasındaki etkileşimi sınırlandıran yapısal sistemlerdir. İzolatörler, yapının temeline yerleştirilebileceği gibi yapının farklı bölgelerine de (katlar arası, kolon ortası, çatı vb.) yerleştirilebilmektedir. Sismik izolasyon sistemleri, yapının depreme karşı koyma kapasitesini arttırmak yerine izolatörler vasıtasıyla yapının doğal periyodunu arttırmayı dolayısıyla üst yapıya gelen deprem

yüklerini azaltmayı amaçlayan yapısal sistemlerdir. Diğer bir ifadeyle sismik izolasyon sistemleri, yapıların titreşim frekansını aynı taşıyıcı sistem özelliklerine sahip ankastre mesnetli yapıların titreşim frekansına ve depremin hakim frekansına göre azaltmaktadırlar. Ayrıca ankastre mesnetli yapılarda hakim periyot düşük olduğundan, söz konusu yapının yüksek frekanslı yer hareketi sırasında rezonansa girme olasılığı da yüksek olmaktadır. Diğer bir ifadeyle bu tür yapılar genellikle deprem sırasında zeminden aktarılan ivmeleri yükseklikleri boyunca arttırmaktadır. Bu durum, görelî kat ötelenmelerinin ve kat ivmelerinin artmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan sismik izolasyonlu yapıların toplam kütle katılım modunda (hakim modlarda) söz konusu yapı salınım yaparken hemen hemen tüm yer değiştirmeler izolasyon seviyesinde gerçekleşmekte ve üst yapı rijit bir kütle olarak hareket etmektedir. Böylece ankastre mesnetli yapılarda karşılaşılan problemler ortadan kaldırılmış olmaktadır (Zayas et al. 1999; Ryan ve Chopra, 2004; Soyluk ve Tuna, 2011; Toprak, 2012; Çavdar ve Özdemir, 2018; Güneş ve Ulucan, 2020; Özer ve İnel, 2021; Alasaf ve Öztürk, 2022; Öztürk, 2022;).



Şekil 1. Rijit ve esnek yapıların deprem yükleri altında davranışları (Özpalanlar, 2004)

Sismik izolasyon uygulanan yapılarda, katlar arası yer değiştirme oranı minimum seviyelere düştüğünden yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki şekil değişimlerin minimum seviyede kaldığı dolayısıyla da yapısal elemanların depremlerin yatay kuvvetinden ve ivmelenmeden minimum seviyede etkilendikleri gözlenmiştir (Yücesoy, 2005). Sonuç olarak yapının periyodunun artması nedeniyle yüksek titreşim periyotlarında söz konusu yapıya etkiyen ivmeler azalmaktadır (bkz. Şekil 2). Böylece yapı daha fazla yer değiştire yapabilmekte dolayısıyla yapının enerji yutma kapasitesini arttırmaktadır.



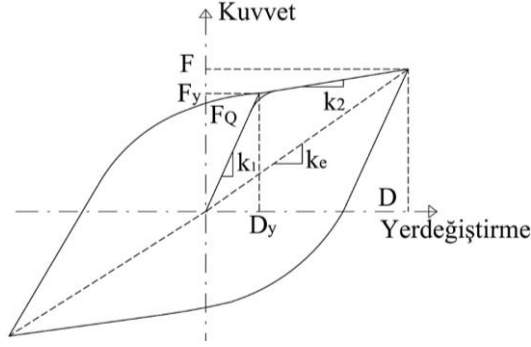
Şekil 2. Sönüme bağlı olarak yapının periyot-ivme ve periyot-yer değiştirme ilişkileri (Batur, 2005).

## 2.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, ilk olarak 1975 yılında Yeni Zelanda'da icat edilmiş olup, günümüzde birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır (Naeim and Kelly, 1999). Bu izolatörler kauçuk ve çelik tabakaların birbirleri ile birleştirilmesiyle üretilmektedir. Ayrıca bu izolatörlerde, enerji dağılımında ek rijitlik sağlanması amacıyla merkezinde en az bir adet kurşun çekirdek bulunmaktadır (bkz. Şekil 3). Söz konusu kurşun çekirdeğin çapı da, taşıyıcı sistemin sismik ihtiyaçlarına göre belirlenmektedir. LRB'lerde sönüm gereksinimi büyük oranda kurşun çekirdekle karşılandığından, kauçuğun kayma modülü düşük tutulmaktadır. Bu sayede yatay doğrultuda oldukça sünek ve doğrusal bir davranış elde edilebilmektedir (Komodromos, 2000). Diğer taraftan merkezde bulunan kurşun çekirdek, söz konusu izolatör sistemine yaklaşık 10 MPa'lık bir akma dayanımı kazandırmaktadır. Ancak bu değerin aşılması durumunda kurşun çekirdekte akma meydana gelmekte ve plastik şekil değiştirmeler başlamaktadır (bkz. Şekil 4). Ayrıca kurşun ve kauçuğun birlikte çalışmasından dolayı, başlangıçta küçük bir bölgede elastik davranış görülmekte, daha sonra pekleşen plastik davranış durumu gösteren şekil değiştirmeler ortaya çıkmaktadır (Celep, 2019; Komodromos, 2000).



Şekil 3. Tipik LRB kesitinden bir görünüm (Özpalanlar, 2004)



Şekil 4. LRB kuvvet-yer değiştirme eğrisi (TBDY, 2019)

Şekil 4’te  $F_Q$  LRB’nin karakteristik dayanımını,  $k_1$  LRB’nin başlangıç (elastik) rijitliğini,  $k_2$  LRB’nin elastik ötesi rijitlik rijitliğini,  $k_e$  D yer değiştirmesine karşılık gelen etkin rijitliği,  $F$  D yer değiştirmesine karşılık gelen yatay kuvveti,  $F_y$  etkin akma dayanımını ve  $D_y$  LRB’nin etkin akma yer değiştirmesini göstermektedir.

### 3. Yapısal Modeller ve Analiz

Bu çalışmada, farklı bina formuna sahip betonarme binalarda zemin kat yüksekliğindeki çeşitli oranlarda artış miktarının yapısal davranışa etkileri, ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu bina modelleri çerçevesinde karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda, önce toplam kat alanları sabit tutularak elde edilen üç farklı bina formuna sahip betonarme bina modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra söz konusu betonarme bina modellerinin temeli ile zemin kat kolonları arasına kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler yerleştirilerek, binaların yapısal davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu incelemede, izolatörlerin mekanik tasarımında TBDY-2019’da önerilen tasarım koşulları dikkate alınmıştır. Oluşturulan bina modellerinin yapısal çözümlenmeleri ise TBDY-2019’daki kurallara uygun olarak mod birleştirme yöntemine göre Sta4-Cad programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Sta4-Cad, 2021).

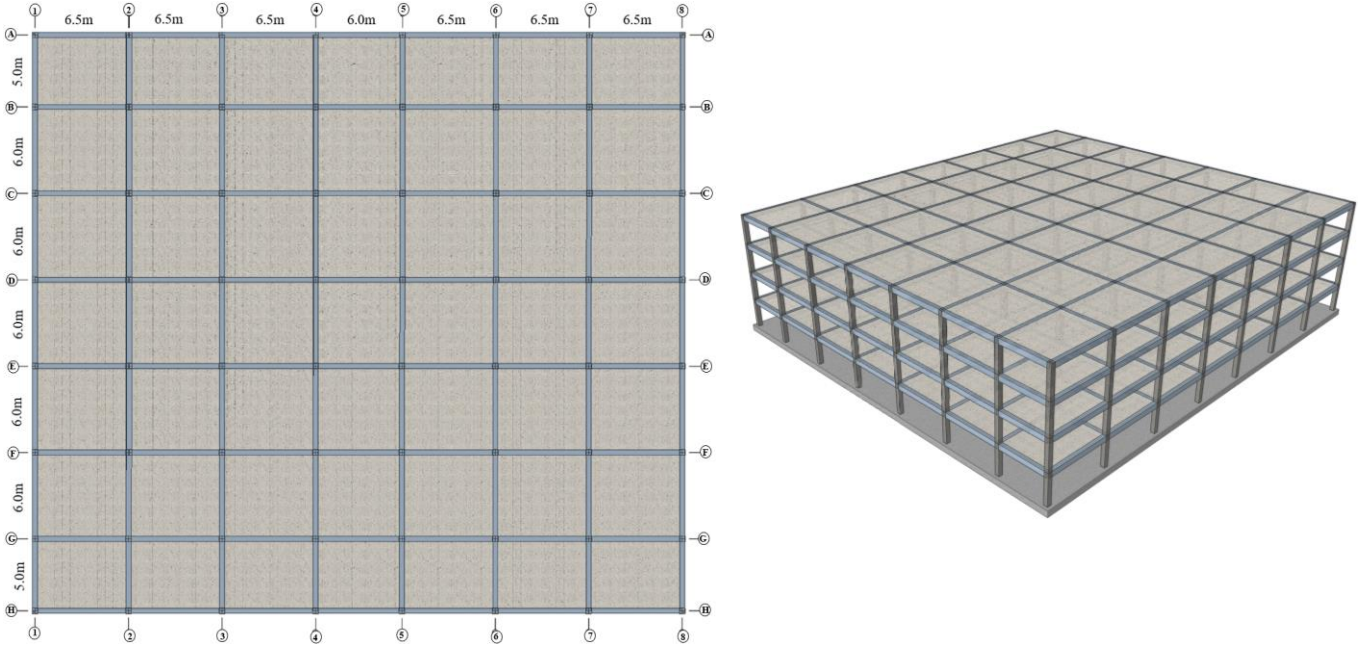
#### 3.1. Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu Bina Modellerinin Oluşturulması

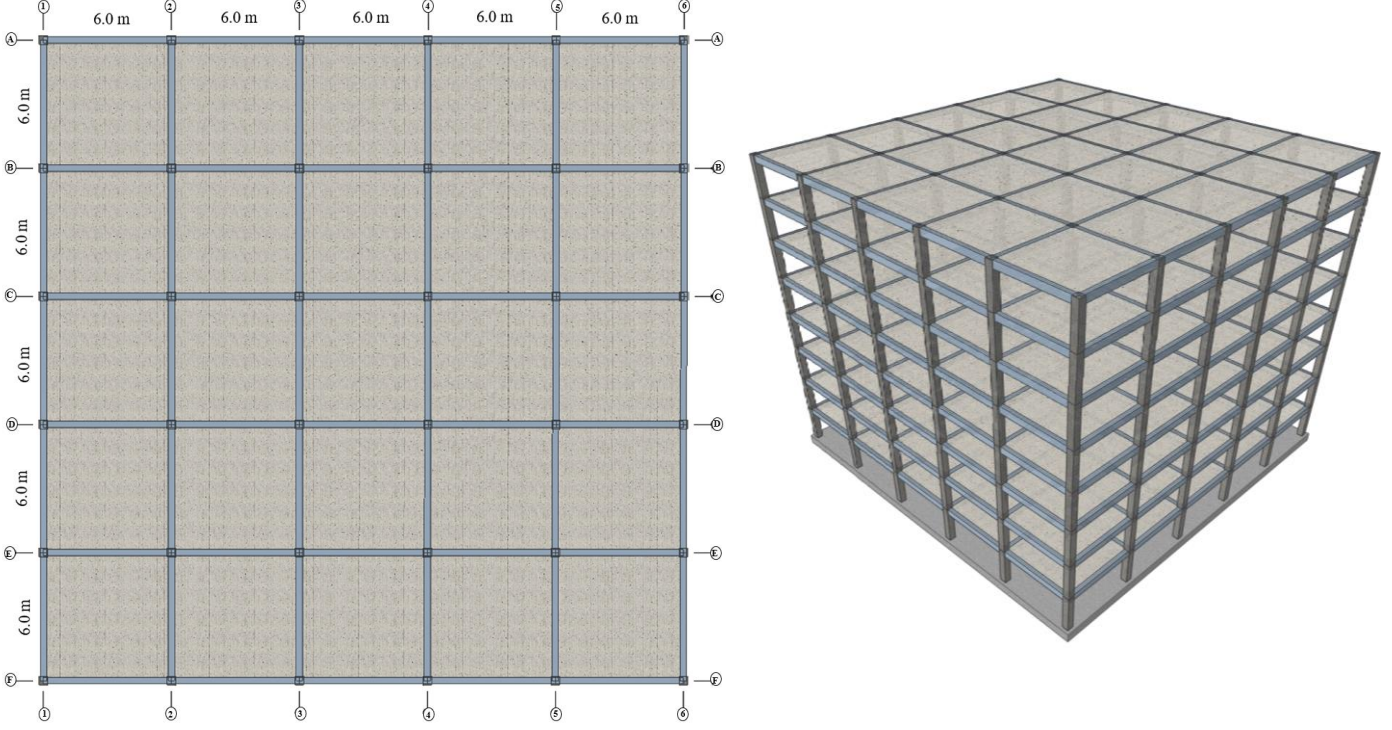
Çalışma kapsamında, toplam kat alanları sabit tutularak farklı yapı formları elde edilmiştir. Bu amaçla 4, 8 ve 12 kattan oluşan ve kat alanları sırasıyla 1800, 900 ve 600 m<sup>2</sup> (toplam kat alanları 7200 m<sup>2</sup>) olan betonarme bina modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bina modellerinin yapısal davranışa etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla tüm bina modellerinde taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları aynı seçilmiştir. Söz konusu bina modellerinde, beton sınıfı C30, çelik sınıfı B420C, kolon boyutları 50x50 cm, kiriş boyutları 30x50 cm ve döşeme kalınlıkları 15 cm ve döşeme kaplama yükü 5,87 kN/m<sup>2</sup> olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca bina modellerinin bulunduğu (41.2060° enlem ve 32.6598° boylam) bölgenin zemin sınıfı (ZA), zemin yatak katsayısı 1000000 kN/m<sup>3</sup> ve zemin taşıma gücü gerilmesi ise 2800 kN/m<sup>2</sup> seçilmiştir (Özkan, 2022). Diğer taraftan bina modellerinin yumuşak kat düzensizliği etkilerini ortaya koymak amacıyla, normal katlarında kat yüksekliği 3m olan modellerin, zemin kat yükseklikleri sırasıyla 3m’den 4, 5 ve 6m’ye kadar artırılmıştır. Bugün yürürlükteki TBDY, betonarme yapıların yapım ve yük yönetmelikleri de dikkate alınarak (TS498, 1997; TS500, 2000) oluşturulan bina modellerin özellikleri Çizelge 2’de özetlenmektedir. Bu çizelgede bina modelleri isimlerindeki ilk harf, binanın hangi kat planına sahip olduğunu, harf sonrasında gelen sayı binanın kat adedini, ondan sonraki sayı zemin kat yüksekliğini ifade etmektedir. Ayrıca bina model isimlerinde bulunan ‘İ’ harfi ise binanın sismik izolasyonlu olduğunu göstermektedir. Söz konusu bina modellerine ilişkin kalıp planları ve 3 boyutlu görünüşleri sırasıyla Şekil 5~Şekil 7’de verilmektedir.

Burada az katlı, orta yükseklikli ve çok katlı farklı bina formlarını ortak payda da buluşturabilmek amacıyla toplam kat alanlarının sabit tutulduğunu ve kat adetlerinin buna göre belirlendiğini belirtmek yararlı olacaktır.

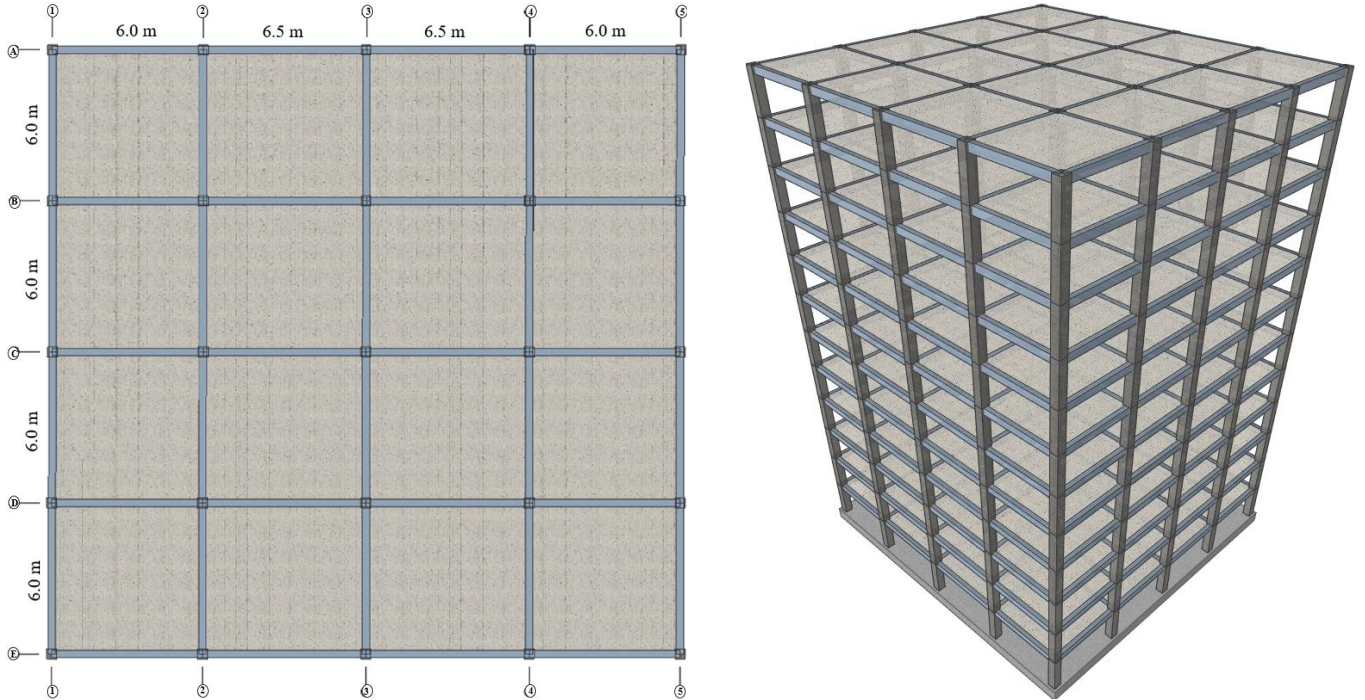
**Çizelge 2.** Oluşturulan Bina Modellerinin Listesi

Model Adı	Kat Adedi	H <sub>zemin</sub> (m)	H <sub>normal</sub> (m)	Kat Alanı (m <sup>2</sup> )	Toplam Kat Alanı (m <sup>2</sup> )	Mesnet Tipi
A4-3	4	3	3	1800	7200	Ankastre
A4-4	4	4	3	1800	7200	
A4-5	4	5	3	1800	7200	
A4-6	4	6	3	1800	7200	
A4-3-İ	4	3	3	1800	7200	İzolatörlü
A4-4-İ	4	4	3	1800	7200	
A4-5-İ	4	5	3	1800	7200	
A4-6-İ	4	6	3	1800	7200	
B8-3	8	3	3	900	7200	Ankastre
B8-4	8	4	3	900	7200	
B8-5	8	5	3	900	7200	
B8-6	8	6	3	900	7200	
B8-3-İ	8	3	3	900	7200	İzolatörlü
B8-4-İ	8	4	3	900	7200	
B8-5-İ	8	5	3	900	7200	
B8-6-İ	8	6	3	900	7200	
C12-3	12	3	3	600	7200	Ankastre
C12-4	12	4	3	600	7200	
C12-5	12	5	3	600	7200	
C12-6	12	6	3	600	7200	
C12-3-İ	12	3	3	600	7200	İzolatörlü
C12-4-İ	12	4	3	600	7200	
C12-5-İ	12	5	3	600	7200	
C12-6-İ	12	6	3	600	7200	

**Şekil 5.** A4 Bina Modellerine İlişkin Kalıp Planı ve 3 Boyutlu Görünüm



Şekil 6. B8 Bina Modellerine İlişkin Kalıp Planı ve 3 Boyutlu Görünüm



Şekil 7. C12 Bina Modellerine İlişkin Kalıp Planı ve 3 Boyutlu Görünüm

Ankastre mesnetli olarak modellenen 4, 8 ve 12 katlı bina modellerinde kullanılacak sismik izolatörlerin tasarımı TBDY’de ve uluslararası standartlarda belirtilen tasarım esasları dikkate alınarak yapılmıştır (bkz. Çizelge 3). İzolatörlerin tasarımları, izolasyonlu binaların hedeflenen periyot değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, 4 katlı bina modelleri için hedeflenen izolasyon periyodu 2s, 8 katlı bina modelleri için hedeflenen izolasyon periyodu 3s ve 12 katlı bina modelleri için hedeflenen izolasyon periyodu ise 4s alınarak sayısal işlemler gerçekleştirilmiş ve söz konusu bina modellerinde kullanılacak kurşun çekirdekli izolatörlerin tasarımları yapılmıştır (Özkan, 2022). Ön tasarımı yapılan bina modellerinde kullanılacak izolatörlerin üzerine gelen eksenel yük olarak bina ağırlığı ( $G+0,3Q$ ) dikkate alınmıştır. Ayrıca DD1 deprem düzeyi etkileri dikkate alınarak tasarlanan izolatörlerin depremlili ve depremsiz durumlar için kararlılık hesapları da yapılmıştır. Oluşturulan bina modellerinde izolatörler söz

konusu binaların temeli ile zemin kat kolonları arasına yerleştirilmiş ve DD1 ve DD2 deprem düzeyleri etkileri dikkate alınarak mod birleştirme yöntemine göre yapısal çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir.

**Çizelge 3.** Tasarımı Yapılan İzolatörlere İlişkin Mekanik Özellikleri

İzolatör Özellikleri	Sembol	Birim	Bina Modelleri		
			A4	B8	C12
İzolatör adedi	n	-	64	36	25
Hedeflenen etkin titreşim periyodu (DD1)	$T_M$	s	2	3	4
Hedeflenen etkin sönüm oranı	$\beta_e$	-	0,2	0,2	0,2
Maksimum izolatör yer değiştirmesi (DD1)	$D_M$	m	0,1467	0,2188	0,2942
Kurşun çekirdek çapı	$B_L$	m	0,08	0,087	0,09
Kauçuk kayma modülü	$G_v$	kN/m <sup>2</sup>	500	500	500
Çelik plaka ile yapışmış kauçuğun çapı	B	m	0,42	0,46	0,48
Tek bir kauçuk katmanının yüzey alanı toplamı	$A_r$	m <sup>2</sup>	0,1335	0,16025	0,174594
Toplam kauçuk tabaka kalınlığı	$T_r$	m	0,1	0,15	0,2
Bir adet kauçuk tabaka kalınlığı	t	m	0,005	0,005	0,005
İzolatör karakteristik dayanım	$F_Q$	kN	50,266	59,444	63,616
Etkin akma yer değiştirmesi	$D_y$	m	0,00821	0,0123	0,01641
İzolatör etkin akma dayanımı	$F_v$	kN	55,747	66,014	70,779
İzolatör elastik ötesi rijitliği	$k_2$	kN/m	667,588	534,167	436,485
Elastik ötesi rijitlik / elastik rijitlik	$k_2/k_1$	-	0,1	0,1	0,1
Elastik rijitlik	$k_1$	kN/m	6675,88	5341,67	4364,85
Etkin rijitlik	$k_e$	kN/m	1010,23	805,849	652,719
Toplam etkin rijitlik	$\sum k_e$	kN/m	64654,74	29010,56	16317,971
Şekil faktörü	S	-	20,238	22,177	23,156
Düşey rijitlik	$K_v$	kN/m	881045,66	793850,407	684217,121
Toplam düşey rijitlik	$\sum K_v$	kN/m	56386922,2	28578614,7	17105428,03

#### 4. Bulgular ve İrdelemeler

##### 4.1. Periyot Değerleri

Toplam kat alanları sabit tutularak oluşturulan sismik izolatörlü ve ankastre mesnetli bina modellerinin gerçekleştirilen yapısal çözümlenmelerinden elde edilen 1. doğal titreşim periyodu değerleri Çizelge 4'te verilmektedir. Bu çizelgeden ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliği arttıkça söz konusu binanın periyodunun da arttığı görülmektedir. Sismik izolatörlü bina modellerinde ise zemin kat yüksekliğindeki artış miktarının yapı periyodunu çok etkilemediği görülmüştür. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılarak oluşturulan A4 ve B8 bina modellerine ilişkin doğal titreşim periyodu değerlerinin, hedeflenen tasarım periyot değerlerine ulaştığı, ancak 12 katlı olan C12 bina modellerine ilişkin doğal titreşim periyodu değerinin hedeflenen periyot değeri olan 4 s'yi az da olsa aştığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle sismik izolasyonlu bina modellerinde kat adedinin artmasıyla taşıyıcı sistemin periyodu hedeflenen periyot değerinden uzaklaşmaktadır.

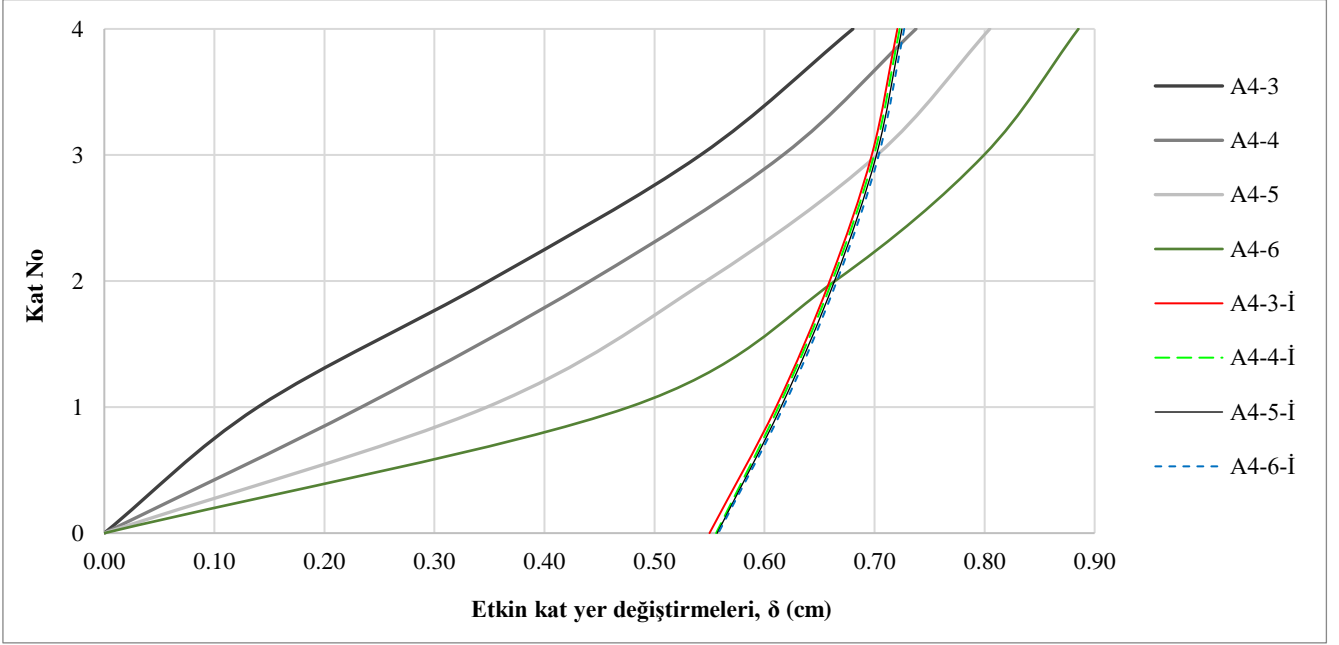
**Çizelge 4.** Toplam Kat Alanı Sabit Tutularak Oluşturulan Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolatörlü Bina Modellerine İlişkin Periyot Değerleri

Ankastre mesnetli bina modelleri periyotları (s)			Sismik izolatörlü bina modelleri periyotları (s)		
Bina modelleri	x doğrultusu	y doğrultusu	Bina modelleri	x doğrultusu	y doğrultusu
A4-3	0,7881	0,7393	A4-3-İ	1,957	1,9406
A4-4	0,894	0,843	A4-4-İ	1,9621	1,9459
A4-5	1,029	0,977	A4-5-İ	1,9673	1,9511
A4-6	1,1922	1,1398	A4-6-İ	1,9724	1,9563
B8-3	1,5481	1,5481	B8-3-İ	3,0788	3,0788
B8-4	1,6516	1,6516	B8-4-İ	3,0825	3,0825
B8-5	1,7872	1,7872	B8-5-İ	3,0861	3,0861
B8-6	1,9584	1,9584	B8-6-İ	3,0898	3,0898
C12-3	2,3898	2,3646	C12-3-İ	4,2843	4,2712
C12-4	2,4931	2,4674	C12-4-İ	4,2873	4,2742
C12-5	2,6283	2,6024	C12-5-İ	4,2903	4,2772
C12-6	2,8007	2,7749	C12-6-İ	4,2933	4,2802

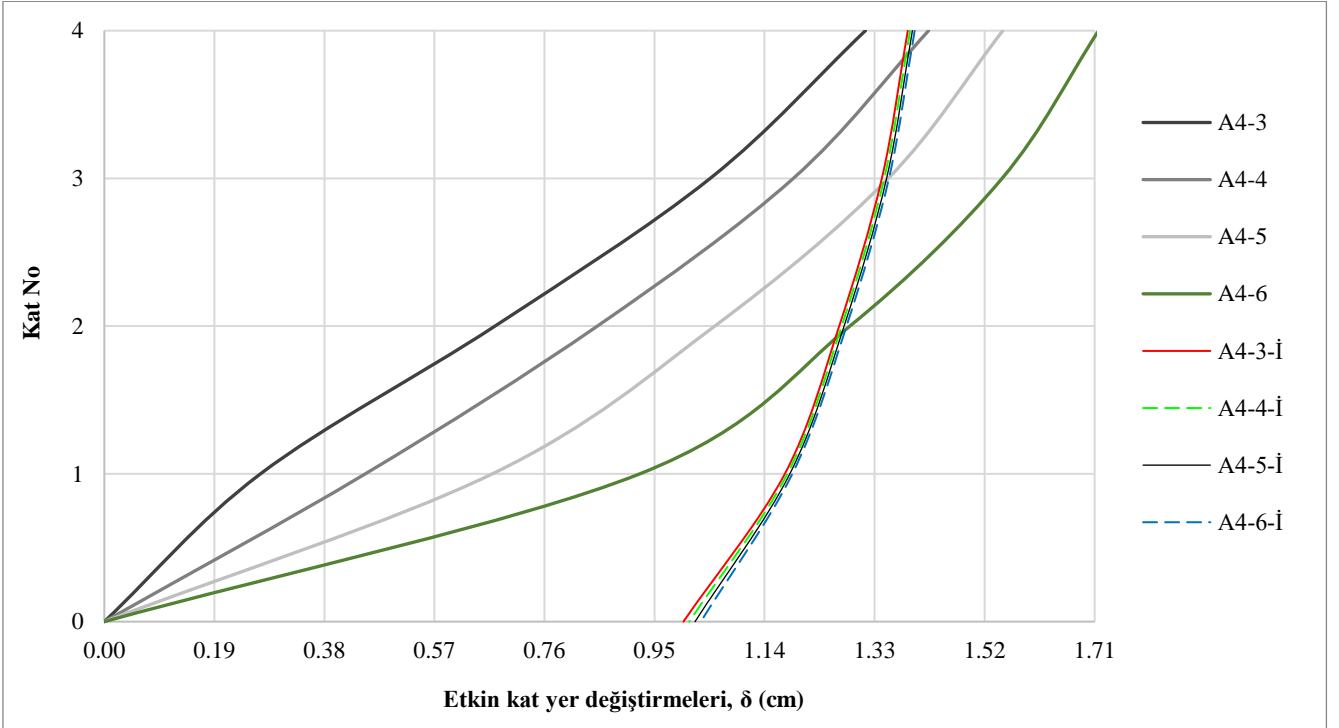
##### 4.2. Kat Yer Değiştirmeleri

Bu makalede dikkate alınan deprem düzeyleri için söz konusu bina modellerinin etkin kat yer değiştirmeleri sırasıyla Şekil 8~Şekil 13'te verilmektedir. Bu şekillerden 3 farklı bina formuna sahip ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliğinin artmasıyla oluşan etkin kat yer değiştirmelerinin arttığı görülmektedir. Buna karşın sismik izolasyonlu bina modellerinde ise,

söz konusu bina modelleri rijit olarak hareket ettiğinden, katlar arası yer değişme farkı ankastre mesnetli bina modellerine göre önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca sismik izolasyonlu bina modellerinde tepe noktası yer değiştirmeleri, özellikle zemin kat yüksekliğinin artmasıyla, ankastre bina modellerine kıyasla daha az olmaktadır. Diğer taraftan kat adedinin arttığı sismik izolasyonlu bina modellerinde tepe noktası yer değiştirmeleri daha az olduğu görölmektedir. Kat yer değiştirmeleri bakımından elde edilen bu bulgu artan kat adetlerinde sismik izolasyonlu bina modellerinin daha iyi davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

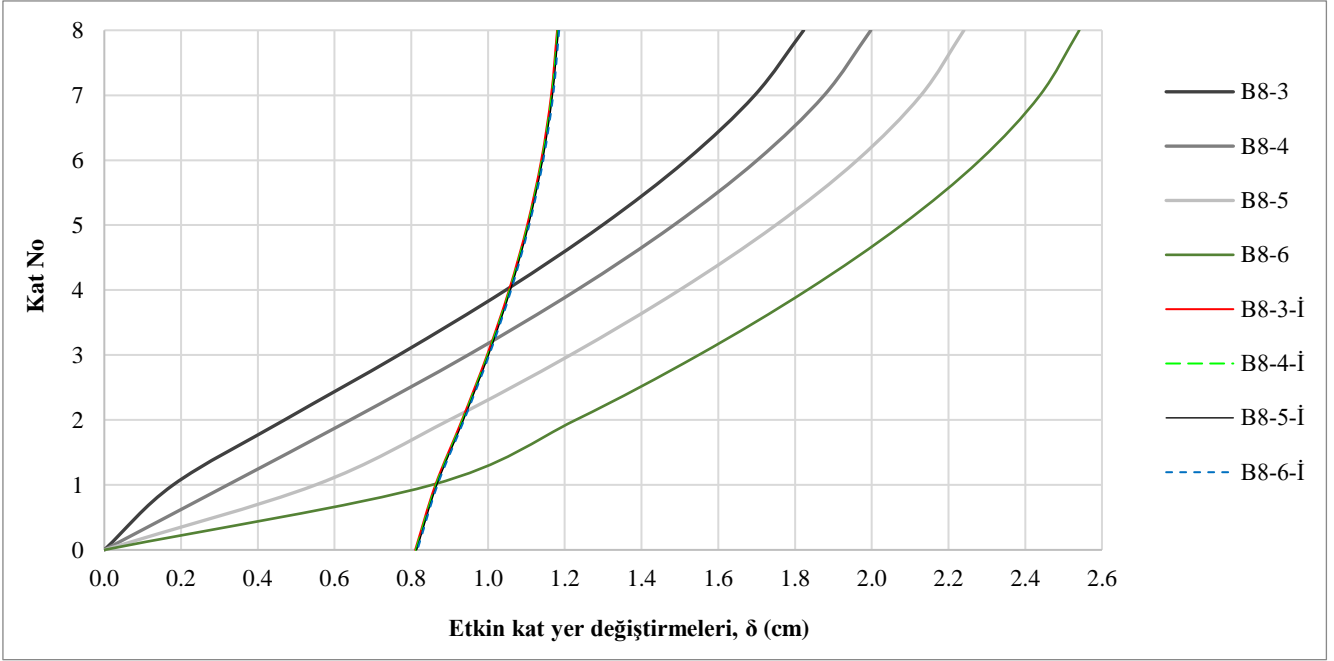


Şekil 8. DD2 Deprem Düzeyinde A4 Bina Modellerinin Maksimum Kat Yer Değiştirmeleri

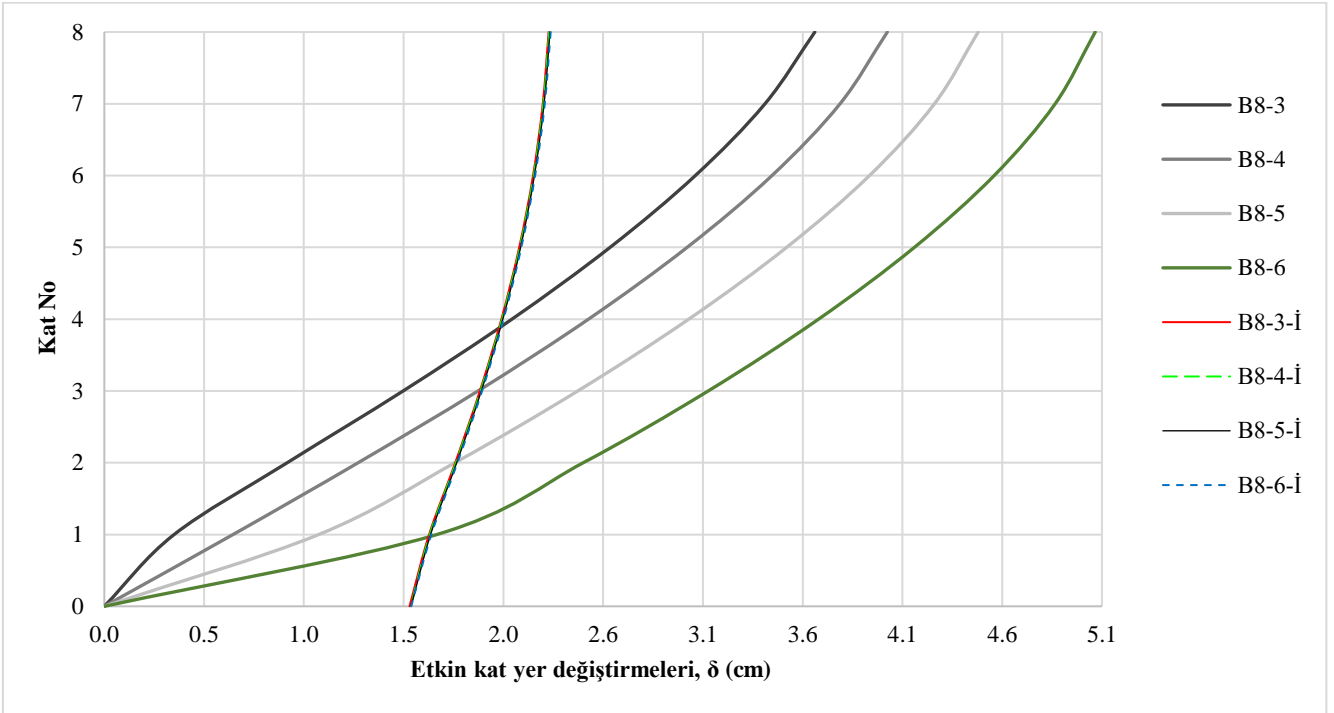


Şekil 9. DD1 Deprem Düzeyinde A4 Bina Modellerinin Maksimum Kat Yer Değiştirmeleri

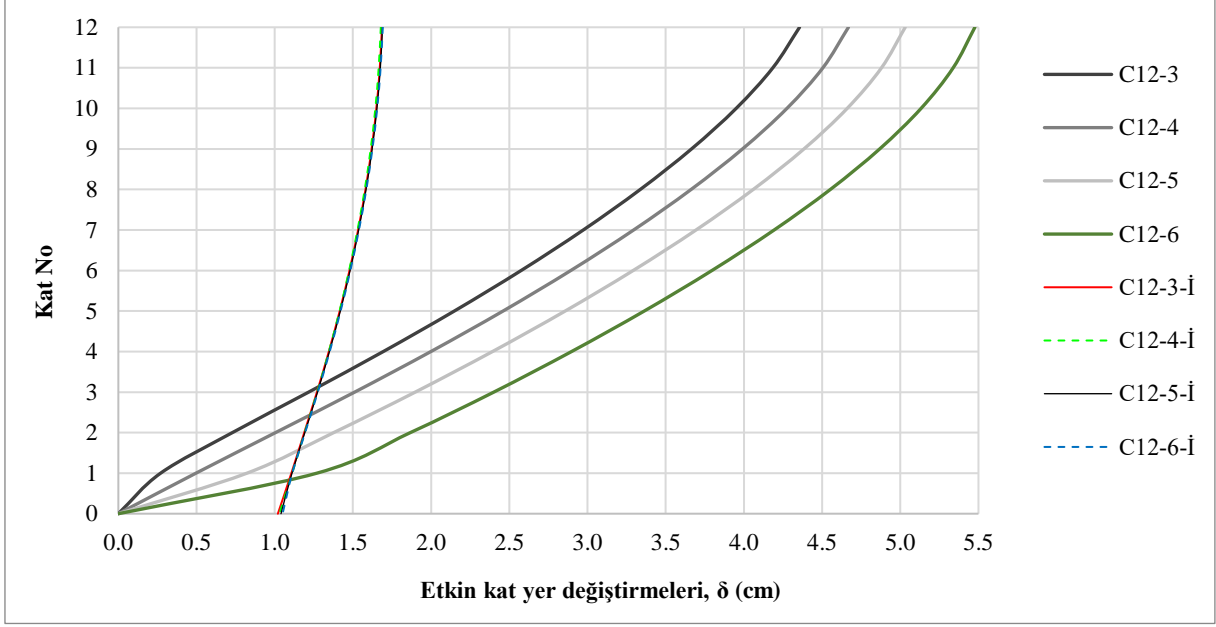




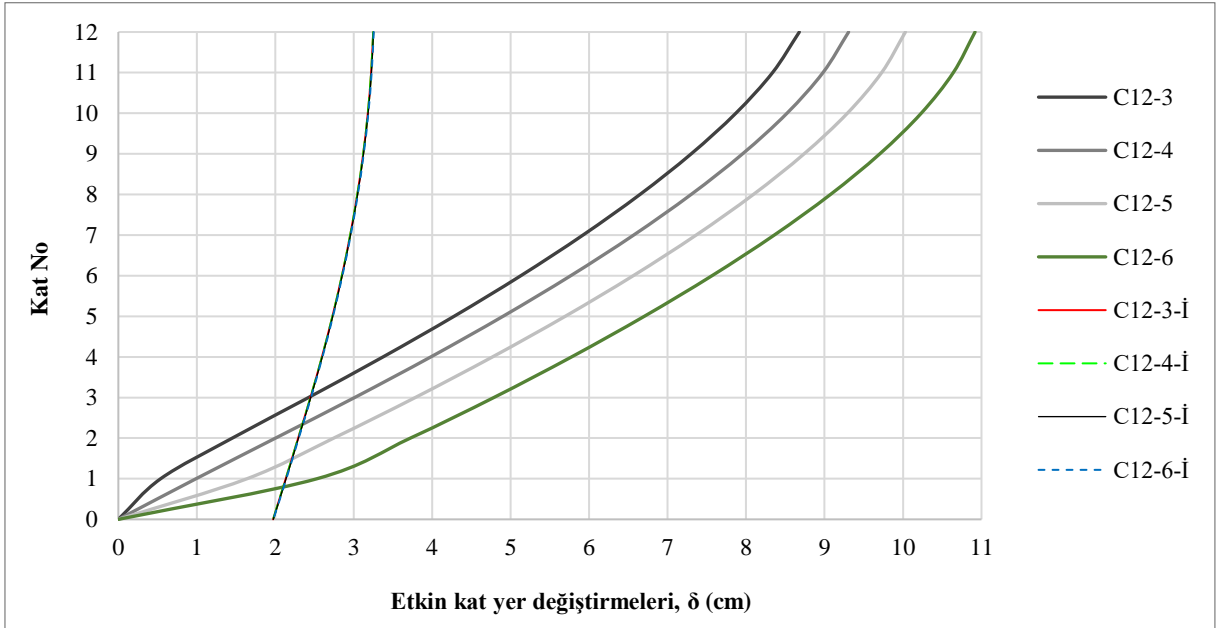
Şekil 10. DD2 Deprem Düzeyinde B8 Bina Modellerinin Maksimum Kat Yer Değişimleri



Şekil 11. DD1 Deprem Düzeyinde B8 Bina Modellerinin Maksimum Kat Yer Değişimleri



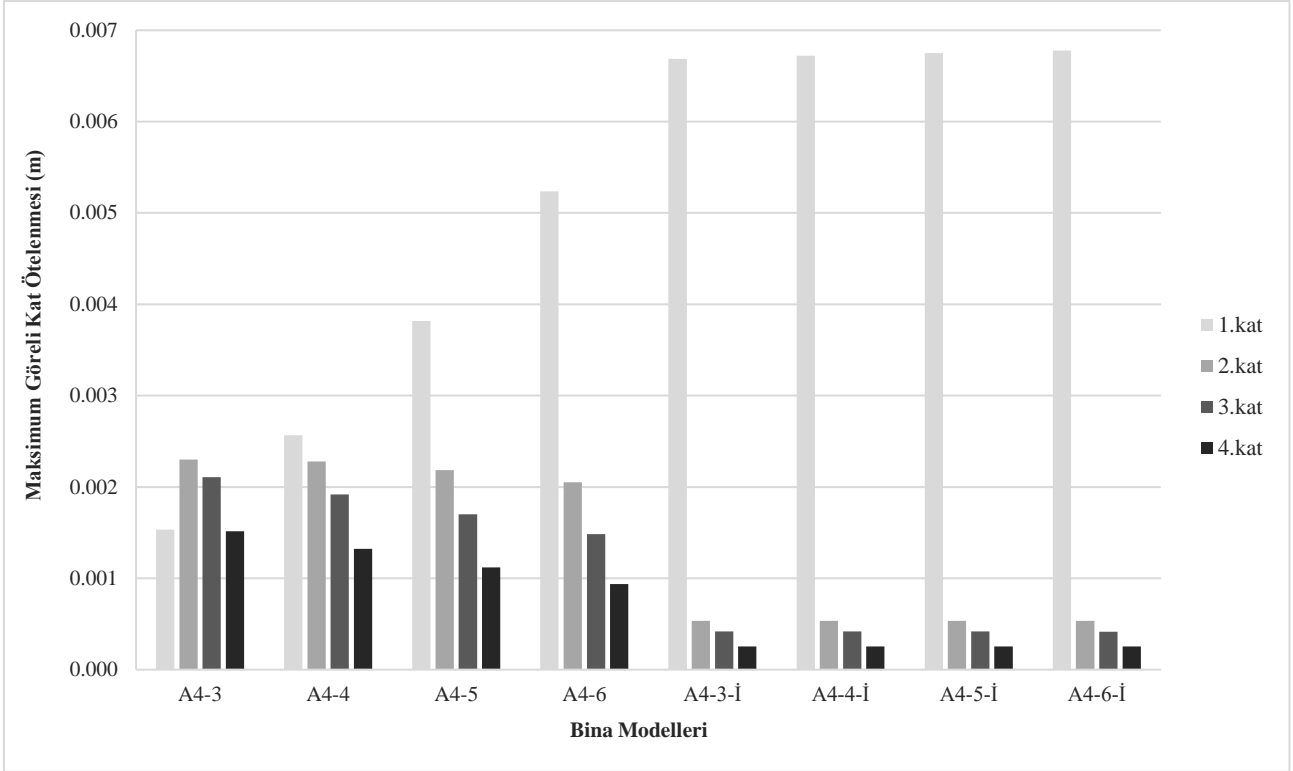
Şekil 12. DD2 Deprem Düzeyinde C12 Bina Modellerinin Maksimum Kat Yer Değişimleri



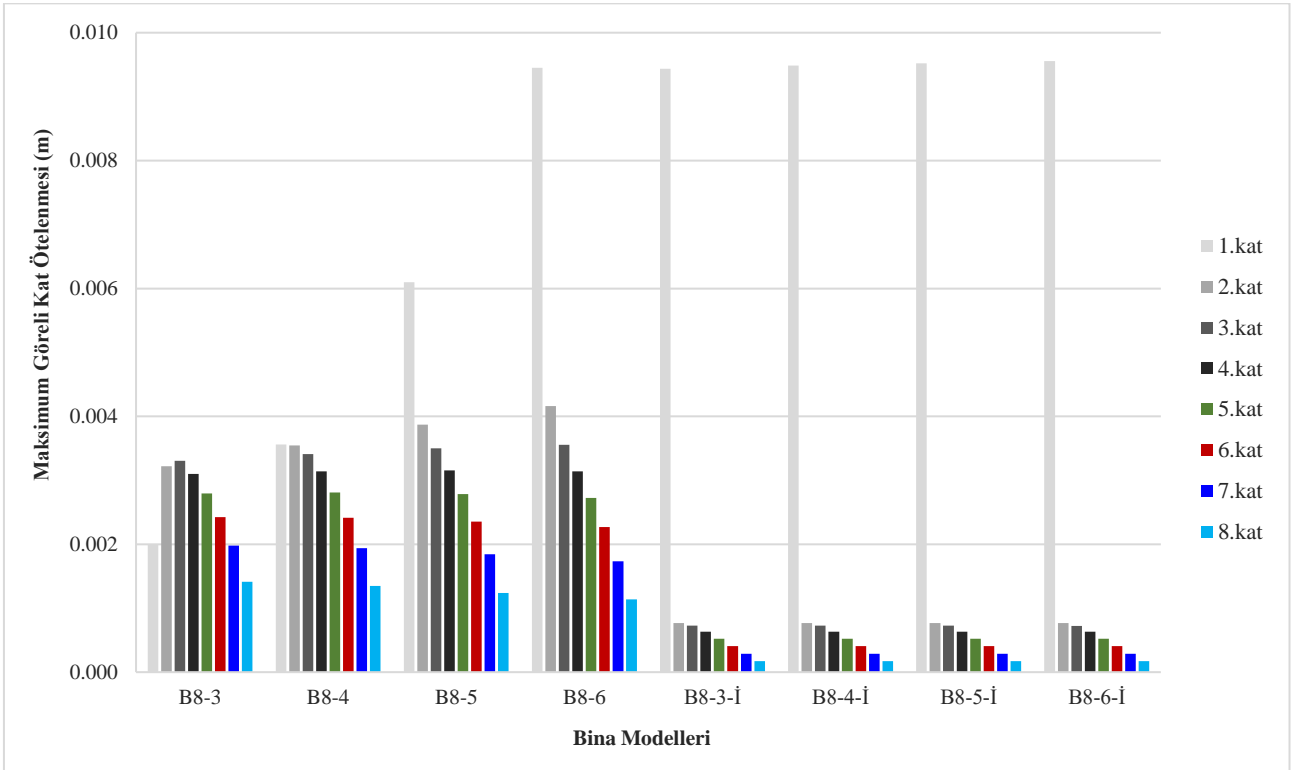
Şekil 13. DD1 Deprem Düzeyinde C12 Bina Modellerinin Maksimum Kat Yer Değişimleri

#### 4.3. Görelî Kat Ötelenmeleri ve Yumuşak Kat Düzensizlik Katsayıları

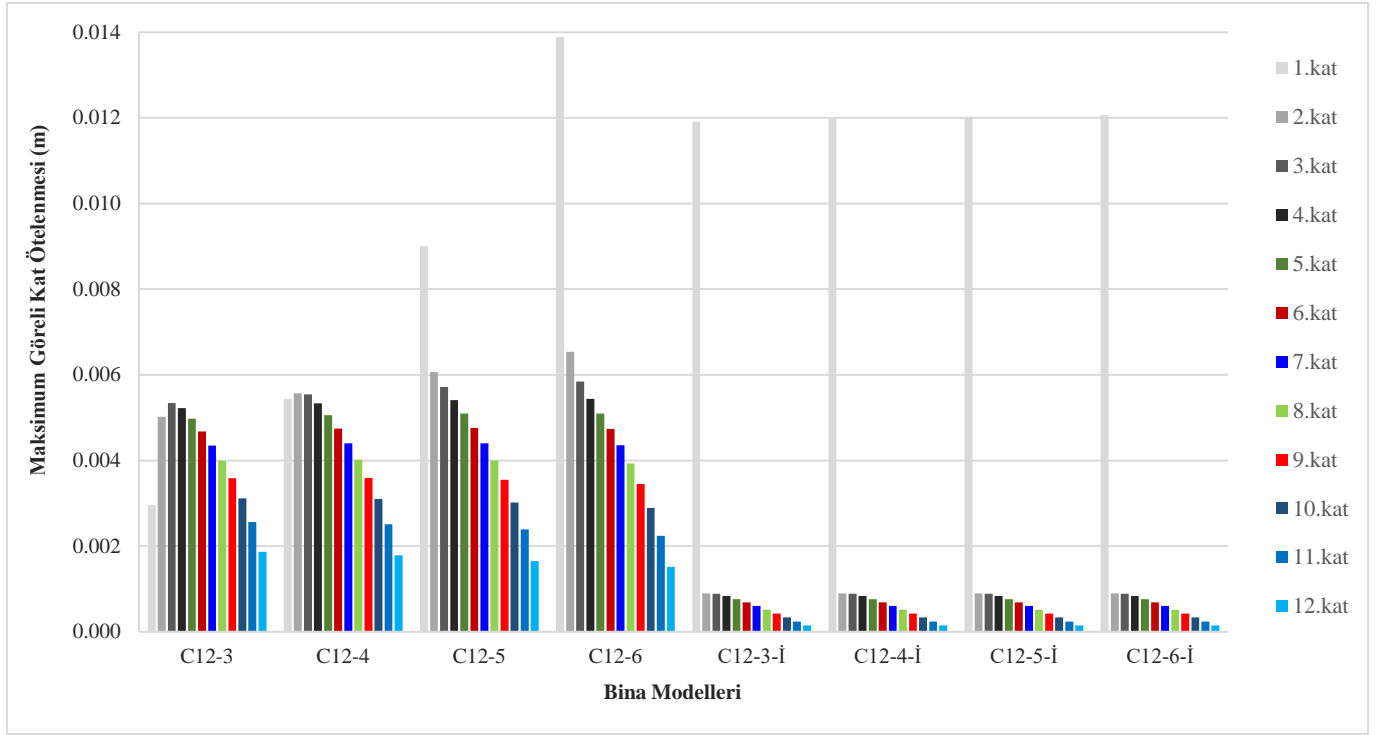
Yapısal çözümler sonucu ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu betonarme bina modellerinin,  $\pm 5\%$  ek dışmerkezlik etkileri de hesaba katılarak, her iki doğrultudaki görelî kat ötelenmeleri zemin kat yüksekliğindeki artışa bağlı olarak sırasıyla Şekil 14~Şekil 16'da verilmektedir. Bu şekillerden, ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliğinin artmasıyla zemin kattaki görelî kat ötelenmelerinin arttığı ve üst katlardaki görelî kat ötelenmelerinin ise bir miktar azaldığı görülmektedir. Buna karşın sismik izolasyonlu bina modellerinde en büyük görelî kat ötelenmesi, izolatör yer değiştirmesinde dolayı söz konusu binanın tabanında görülürken, üst katlardaki görelî kat ötelenmelerinin değerleri, ankastre mesnetli bina modellerine göre önemli ölçüde azalmaktadır. Diğer bir ifadeyle DD2 deprem düzeyinde ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliğinin 3m'den 6m'ye artmasıyla 1. kattaki görelî kat ötelenmesi değeri 4 katlı bina modelinde % 241.8, 8 katlı bina modelinde % 375.48 ve 12 katlı bina modelinde ise % 368.92 artmakta, buna karşın izolasyonlu bina modellerinde 1. kattaki görelî kat ötelenmesi değeri 4 katlı bina modelinde yaklaşık % 1.35, 8 katlı bina modelinde yaklaşık % 1.26 ve 12 katlı bina modelinde ise % 1,28 kadar artmaktadır. Ayrıca ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yükseliğinin artmasıyla yumuşak kat düzensizliği katsayısı ( $\eta_{ki}$ ) artmakta buna karşın sismik izolasyonlu bina modellerinde ise zemin kat yükseliği değişiminin  $\eta_{ki}$ 'yi çok fazla etkilemediği görülmektedir (bkz. Çizelge 5~Çizelge 7). Diğer taraftan kat adedinin artmasıyla hem ankastre mesnetli bina modellerinde hem de sismik izolasyonlu bina modellerinde zemin kattaki  $\eta_{ki}$  değerleri azalmaktadır.



Şekil 14. DD2 Deprem Düzeyinde Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu 4 Katlı Bina Modellerinin Maksimum Görelî Kat Ötelenmeleri



Şekil 15. DD2 Deprem Düzeyinde Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu 8 Katlı Bina Modellerinin Maksimum Görelî Kat Ötelenme Değerleri.



Şekil 16. DD2 Deprem Düzeyinde Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu 12 Katlı Bina Modellerinin Maksimum Görevli Kat Ötelenmeleri

Çizelge 5. DD-1 ve DD-2 Deprem Düzeylerinde 4 Katlı Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu Bina Modellerinin  $\eta_{ki}$  Düzensizlik Katsayıları

	Katlar	Ankastre mesnetli bina modeli								Sismik izolasyonlu bina modeli								
		A4-3		A4-4		A4-5		A4-6		A4-3-İ		A4-4-İ		A4-5-İ		A4-6-İ		
		DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	
Deprem doğrultusu	X	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	1,39	1,39	1,45	1,45	1,52	1,52	1,58	1,58	1,64	1,64	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
		2	1,09	1,09	1,19	1,19	1,28	1,28	1,38	1,38	1,27	1,27	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
		1	0,67	0,67	0,84	0,84	1,05	1,05	1,27	1,27	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	1,41	1,41	1,48	1,48	1,55	1,55	1,61	1,61	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
		2	1,13	1,13	1,23	1,23	1,33	1,33	1,44	1,44	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
		1	0,68	0,68	0,88	0,88	1,12	1,12	1,38	1,38	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 6. DD1 ve DD-2 Deprem Düzeylerinde 8 Katlı Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu Bina Modellerinin  $\eta_{ki}$  Düzensizlik Katsayıları

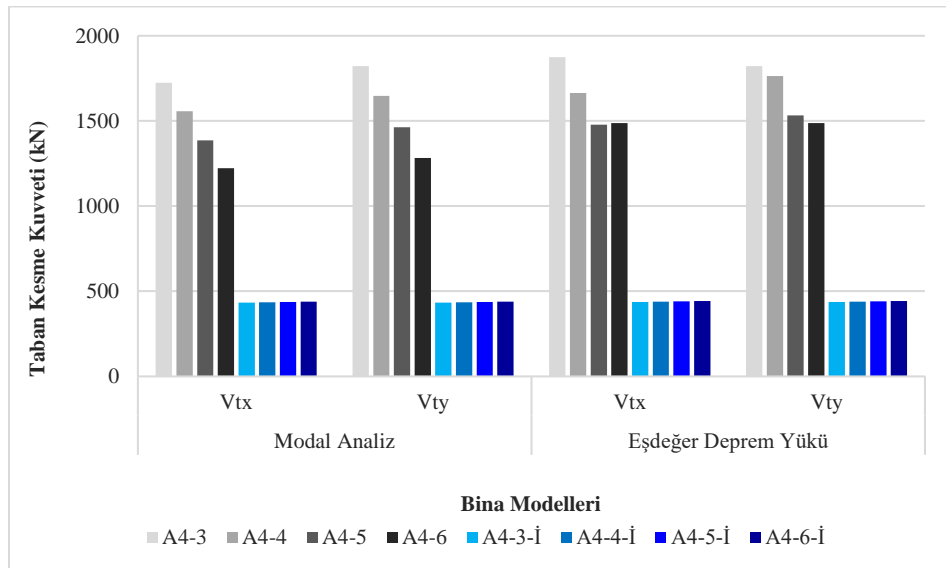
	Katlar	Ankastre mesnetli bina modeli								Sismik izolasyonlu bina modeli							
		B8-3		B8-4		B8-5		B8-6		B8-3-İ		B8-4-İ		B8-5-İ		B8-6-İ	
		DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2
x ve y deprem doğrultusu	8	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	7	1,4	1,4	1,44	1,44	1,49	1,49	1,52	1,52	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
	6	1,23	1,23	1,25	1,25	1,28	1,28	1,31	1,31	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
	5	1,15	1,15	1,16	1,16	1,18	1,18	1,20	1,20	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29
	4	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,15	1,15	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
	3	1,07	1,07	1,09	1,09	1,11	1,11	1,13	1,13	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
	2	0,98	0,98	1,04	1,04	1,11	1,11	1,17	1,17	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
	1	0,62	0,62	0,75	0,75	0,95	0,95	1,14	1,14	-	-	-	-	-	-	-	-

**Çizelge 7.** DD1 ve DD-2 Deprem Düzeylerinde 12 Katlı Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu Bina Modellerinin  $\eta_{ki}$  Düzensizlik Katsayıları

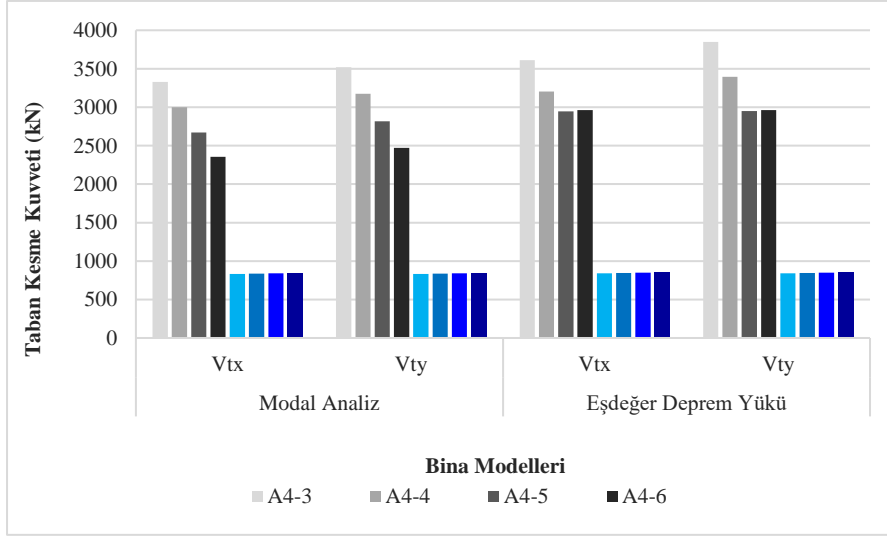
	Katlar	Ankastre mesnetli bina modeli								Sismik izolasyonlu bina modeli								
		C12-3		C12-4		C12-5		A4-6		C12-3-İ		C12-4-İ		C12-5-İ		A4-6-İ		
		DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	
Deprem Doğrultusu	x doğrultusu	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		11	1,37	1,37	1,41	1,41	1,44	1,44	1,48	1,48	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
		10	1,22	1,22	1,24	1,24	1,26	1,26	1,29	1,29	1,39	1,39	1,40	1,40	1,39	1,39	1,40	1,40
		9	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17	1,19	1,19	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
		8	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
		7	1,09	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
		6	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
		5	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
		4	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
		3	1,02	1,02	1,04	1,04	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
		2	0,94	0,94	1,00	1,00	1,06	1,06	1,12	1,12	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	1	0,59	0,59	0,73	0,73	0,89	0,89	1,06	1,06	-	-	-	-	-	-	-	-	
	y doğrultusu	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		11	1,38	1,38	1,41	1,41	1,45	1,45	1,48	1,48	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
		10	1,22	1,22	1,24	1,24	1,27	1,27	1,29	1,29	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
		9	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17	1,19	1,19	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
		8	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
		7	1,09	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
		6	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
		5	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
		4	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,07	1,07	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
		3	1,02	1,02	1,04	1,04	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
2		0,94	0,94	1,01	1,01	1,06	1,06	1,12	1,12	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	
1	0,59	0,59	0,74	0,74	0,90	0,90	1,06	1,06	-	-	-	-	-	-	-	-		

#### 4.4. Taban Kesme Kuvvetleri

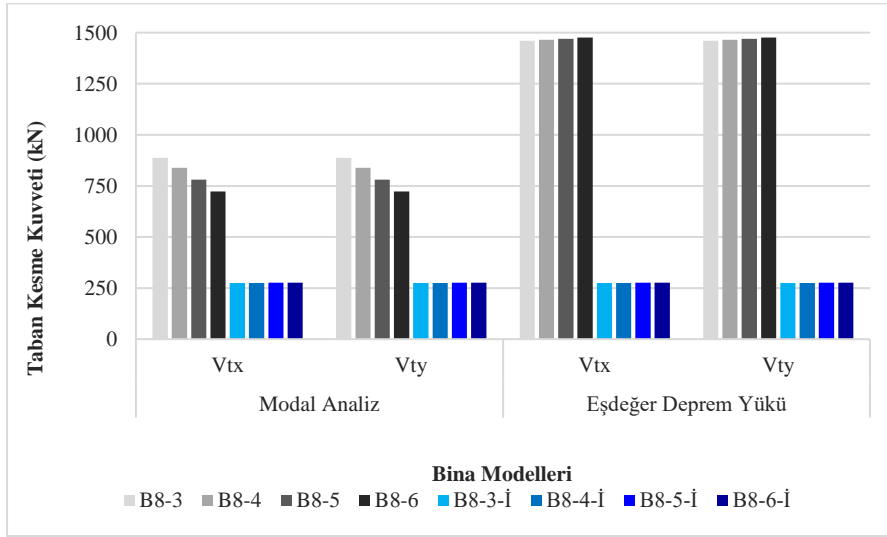
Bu çalışmada dikkate alınan ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu bina modellerinin DD1 ve DD2 deprem düzeylerine göre ve zemin kat yüksekliğinin artmasına bağlı olarak gerçekleştirilen yapısal çözümlenmeleri sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırmalı değişimleri sırasıyla Şekil 17-Şekil 22’de verilmektedir. Bu şekillerden hem sismik izolasyonlu hem de ankastre mesnetli bina modellerinin eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin modal analiz yöntemiyle elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca sismik izolatörlü bina modellerinden elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin ankastre mesnetli bina modellerine göre büyük ölçüde azaldığı görülmektedir. Elde edilen bu bulgu sismik izolatör uygulamasının avantajını belirgin bir şekilde ortaya koymaktadır.



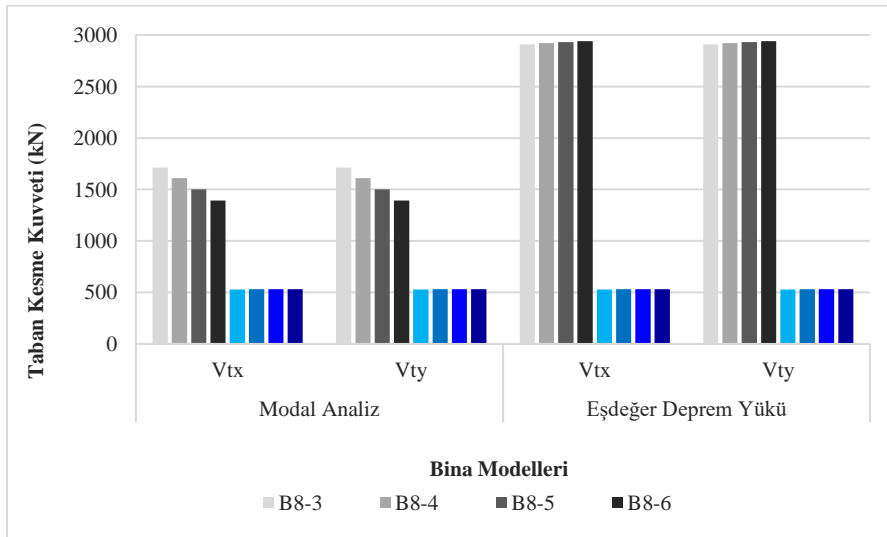
**Şekil 17.** DD2 Deprem Etkisi İçin Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu A4 Bina Modellerinin Modal Analiz ve Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemlerine Göre Taban Kesme Kuvveti Değerleri



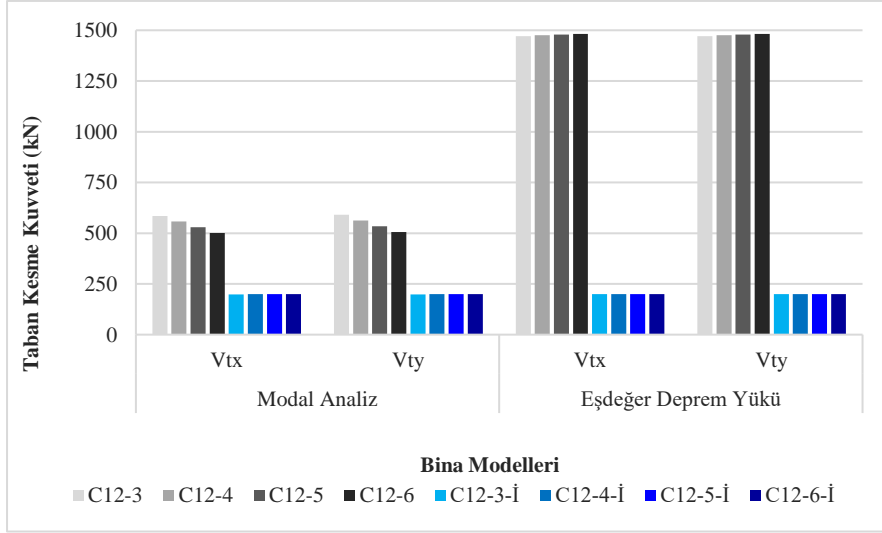
Şekil 18. DD1 Deprem Etkisi İçin Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu A4 Bina Modellerinin Modal Analiz ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemlerine Göre Taban Kesme Kuvveti Değerleri



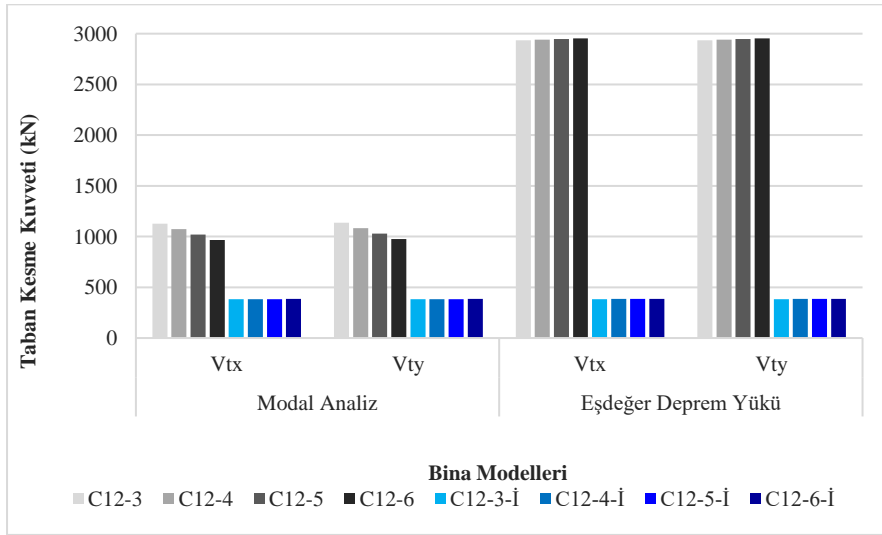
Şekil 19. DD2 Deprem Etkisi İçin Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu B8 Bina Modellerinin Modal Analiz ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemlerine Göre Taban Kesme Kuvveti Değerleri



Şekil 20. DD1 Deprem Etkisi İçin Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu B8 Bina Modellerinin Modal Analiz ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemlerine Göre Taban Kesme Kuvveti Değerleri



Şekil 21. DD2 Deprem Etkisi İçin Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu C12 Bina Modellerinin Modal Analiz ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemlerine Göre Taban Kesme Kuvveti Değerleri



Şekil 22. DD1 Deprem Etkisi İçin Ankastre Mesnetli ve Sismik İzolasyonlu C12 Bina Modellerinin Modal Analiz ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemlerine Göre Taban Kesme Kuvveti Değerleri

DD2 deprem etkisi için kat adedinin yumuşak kat düzensizliğine etkisini incelemek amacıyla B tipi kalıp planına sahip 4, 8 ve 12 kattan oluşan ankastre mesnetli bina modellerinin,  $\pm 5\%$  ek dışmerkezlik etkileri de hesaba katılarak, zemin kat yüksekliğinin ve kat adedinin artışına bağlı olarak her iki doğrultudaki görel kat ötelemeleri ve düzensizlik katsayıları Çizelge 8 ve Çizelge 9'da verilmektedir. Bu çizelgelerden ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliği ve kat adedinin artmasıyla zemin kattaki görel kat ötelenmesinin arttığı görülmektedir. Ayrıca  $\eta_{ki}$  zemin kat yükseliğinin artmasıyla artmakta buna karşın kat adedinin artmasıyla azalmaktadır. Ancak kat adedinin artırıldığı bina modellerinde de zemin kat yüksekliğinin artmasıyla  $\eta_{ki}$  artmaktadır.

Çizelge 8. DD2 Depreminde 4 ve 8 Katlı Ankastre Mesnetli Bina Modellerinin Görel Kat Ötelemeleri ve Düzensizlik Katsayıları.

x ve y deprem doğrultusu	Katlar	B4 bina modelleri								B8 bina modelleri							
		B4-3		B4-4		B4-5		B4-6		B8-3		B8-4		B8-5		B8-6	
		$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$
	8									0,0012748	0	0,0012145	0,00	0,0011184	0,00	0,0010253	0,00
	7									0,0017840	1,4	0,0017461	1,44	0,0016624	1,49	0,0015634	1,52
	6									0,0021865	1,23	0,0021759	1,25	0,0021239	1,28	0,0020448	1,31
	5									0,0025178	1,15	0,0025301	1,16	0,0025089	1,18	0,0024579	1,20
	4	0,0013195	0,00	0,0011551	0,00	0,0009819	0,00	0,0008257	0,00	0,0027915	1,11	0,0028307	1,12	0,0028446	1,13	0,0028292	1,15
	3	0,0018100	1,37	0,0016543	1,43	0,0014711	1,50	0,0012878	1,56	0,0029770	1,07	0,0030721	1,09	0,0031529	1,11	0,0032053	1,13
	2	0,0020052	1,11	0,0019925	1,20	0,0019162	1,30	0,0018041	1,40	0,0029027	0,98	0,0031940	1,04	0,0034901	1,11	0,0037509	1,17
	1	0,0013220	0,66	0,0022141	0,83	0,0032955	1,03	0,0045201	1,25	0,0017915	0,62	0,0032128	0,75	0,0055009	0,95	0,0085318	1,14

**Çizelge 9.** DD2 Deprem Düzeyinde 12 Katlı Ankastre Mesnetli Bina Modelinin Görelî Kat Ötelenmeleri ve Düzensizlik Katsayıları.

x ve y deprem doğrultusu	Katlar	B12 bina modelleri							
		B12-3		B12-4		B12-5		B12-6	
		$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$\eta_{ki}$
	12	0,0016005	0,00	0,0015218	0,00	0,0014020	0,00	0,0012771	0,00
	11	0,0022278	1,39	0,0021748	1,43	0,0020629	1,47	0,0019228	1,51
	10	0,0027265	1,22	0,0027060	1,24	0,0026264	1,27	0,0025045	1,30
	9	0,0031409	1,15	0,0031446	1,16	0,0030950	1,18	0,0030000	1,20
	8	0,0035026	1,12	0,0035248	1,12	0,0034989	1,13	0,0034293	1,14
	7	0,0038254	1,09	0,0038619	1,10	0,0038551	1,10	0,0038080	1,11
	6	0,0041192	1,08	0,0041675	1,08	0,0041767	1,08	0,0041494	1,09
	5	0,0043867	1,06	0,0044489	1,07	0,0044746	1,07	0,0044670	1,08
	4	0,0046133	1,05	0,0047022	1,06	0,0047570	1,06	0,0047806	1,07
	3	0,0047375	1,03	0,0049041	1,04	0,0050393	1,06	0,0051459	1,08
	2	0,0044934	0,95	0,0049636	1,01	0,0053964	1,07	0,0058004	1,13
	1	0,0027237	0,61	0,0050052	0,76	0,0083126	0,92	0,0128621	1,11

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, farklı kat adedi ve kat alanına sahip üç farklı formdaki ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu betonarme binalarda zemin kat yüksekliğindeki artışın yapısal davranışa etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

- Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliği arttıkça söz konusu bina modellerinin doğal titreşim periyotlarının arttığı görülmektedir. Sismik izolatörlü bina modellerinde ise, hedeflenen izolasyon periyotlarına bağlı olarak, binaların doğal titreşim periyotlarının ankastre mesnetli bina modellerine göre daha büyük olmaktadır. Ayrıca sismik izolatörlü bina modellerinde zemin kat yüksekliğinin artmasıyla periyot değerlerinin önemli ölçüde arttırmadığı görülmektedir.
- Yapısal çözümlerden, sismik izolasyonlu A4 ve B8 bina modellerinde hedeflenen etkin periyot değerlerine ulaşıırken, C12 modellerinin titreşim periyodunun hedeflenen periyot değerinden fazla olduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle sismik izolasyonlu bina modellerinde kat adedi arttıkça taşıyıcı sistemin titreşim periyodunun hedeflenen periyottan uzaklaştığı görülmüştür. Bu sonuç çok katlı binaların dinamik davranışını kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılarak kontrol altına alınmasını zorlaştıracak dolayısıyla kat adedi fazla olan binalarda kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanımının uygun olmadığını ortaya koymaktadır.
- Toplam kat alanları sabit tutularak oluşturulan 3 farklı bina formuna sahip ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliğinin artmasıyla kat yer değiştirmelerinin arttığı buna karşın sismik izolasyonlu bina modellerinde ise kat yer değişme değerlerinin büyük kısmının izolatör seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca sismik izolasyonlu bina modellerinde zemin kat yüksekliğindeki artış miktarının kat yer değiştirmelerini ankastre mesnetli bina modellerine göre çok etkilemediği görülmüştür. Bu sonuç sismik izolasyonlu bina modellerinin kat yer değiştirmelerinin ankastre mesnetli bina modellerine göre önemli ölçüde azaldığını ortaya koymaktadır.
- Toplam kat alanları sabit tutularak oluşturulan 3 farklı bina formuna sahip ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliğinin artmasıyla görelî kat ötelenme değerlerinin arttığı görülmektedir. Sismik izolasyonlu bina modellerinde ise en büyük görelî kat ötelenmeleri izolatör yer değiştirmesine bağlı olarak zemin katlarda meydana gelmekte, üst katlarda ise görelî kat ötelenmeleri ankastre mesnetli bina modellerine göre önemli ölçüde azalmaktadır.
- Toplam kat alanları sabit tutularak oluşturulan 3 farklı bina formuna sahip ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliğinin artmasıyla modal analizle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri azalırken, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri B8 ve C12 bina modellerinde bir miktar artış göstermektedir. Buna karşın sismik izolasyonlu bina modellerinde ise taban kesme kuvveti değerleri ankastre mesnetli bina modellerine göre önemli ölçüde azalmakta ve zemin kat yüksekliğinin artmasıyla taban kesme kuvveti değerleri çok fazla değişmemektedir. Elde edilen bu sonuç sismik izolatörlerin söz konusu binanın davranışına olumlu katkı sağladığını göstermektedir.
- Yapısal çözümlerinden elde edilen bulgular ankastre mesnetli bina modellerinde zemin kat yüksekliğinin artmasıyla oluşan yumuşak kat düzensizliğinin kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılarak oluşturulan bina modellerinde oluşmadığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bu sonuç çeşitli nedenlerle binaların özellikle zemin katında oluşan yumuşak kat düzensizliğinin sismik izolatörlerin kullanılarak ortadan kaldırılabileceğini göstermektedir.
- Bu çalışmanın bulguları irdelendiğinde Türkiye’de özellikle deprem tehlikesi yüksek olan bölgelerde inşa edilecek betonarme binaların emniyeti ve performansı bakımından sismik izolatörlerin alternatif olarak kullanılabilirliği kanaatine ulaşılmıştır.



## Referanslar

- Alasaf, E. & Öztürk, H. (2022). Sismik izolatörlü yapıların tasarımına etki eden faktörlerin incelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10 (4): 2155-2164. doi: 10.29130/dubited.1089421
- Batur, M. E. (2005). Standart yapılarda sismik izolasyon, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze/Türkiye.
- Celep, Z. (2019). Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, 7. Baskı, Beta Basım Yayın, 506-538, İstanbul/Türkiye.
- Çağlar, N., Garip, Z.Ş. & Ala, N.T. (2016). Investigation of the contribution of soil conditions to damage and failure of RC structures in Adapazarı, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 4(2), 1-12.
- Çavdar, E. & Özdemir, G. (2018). Change in maximum isolator displacements due to change in orientation of scaled near field ground motion records, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (2): 585-598. doi: 10.17341/gazimmfd.416367
- Garip, Z.Ş. & Dibekoğlu, Ş. (2023). Deprem etkisindeki betonarme binalarda dolgu duvarların davranışa etkilerinin incelenmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi (UMAGD)*, 15(2): 344-360. doi.org/10.29137/umagd.1178219
- Güneş, N. & Ulucan, Z.Ç. (2020). Farklı tasarlanmış iki sismik yalıtımlı binanın karşılaştırılması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32 (1): 37-46. doi: 10.35234/fumbd.569792
- Gürsoy, Ş. & Öz, R., (2016). Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışına ve kaba inşaat maliyetine etkisinin incelenmesi, *Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16)*, 2-4 Mart, Karabük Üniversitesi, Bildiriler CD'si, 243-250, Karabük/TÜRKİYE.
- Gürsoy, Ş., Öz, R. & Baş, S. (2015). Investigation of the effect of weak-story on earthquake behavior and rough construction costs of RC buildings, *Computers and Concrete*, 16(1), 141-161. doi:10.12989/cac.2015.16.1.141
- İnan, T., Korkmaz, K. and Cagatay, I.H. (2014). The effect of architectural form on the earthquake behavior of symmetric RC frame systems, *Computers and Concrete*, 13(2), 271-290. doi:10.12989/cac.2014.13.2.271
- Kirac, N., Dogan, M. & Ozbasaran, H. (2011). Failure of weak-storey during earthquakes, *Engineering Failure Analysis*, 18(2), 572-581. doi:10.1016/j.engfailanal.2010.09.021
- Komodromos, P. (2000). Seismic isolation for earthquake resistant structures, *WIT Press*, Southampton, UK.
- Korkmaz, A. & Uçar, T. (2006). Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışında etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(2): 65-76.
- Naeim, F. & Kelly, J. M. (1999). Design of seismic isolated structures: From theory to practice, *John Wiley And Sons, Inc*, New York.
- Özer, E. & İnel, M. (2021). Sismik izolatörlerin betonarme konut binasının performansı üzerindeki etkileri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27 (3): 303-311.
- Özkan, A.M. (2022). Farklı zemin kat yüksekliğine sahip betonarme binalarda sismik izolatör kullanımının bina davranışına ve kaba inşaat maliyetine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük/Türkiye.
- Özpalanlar, C. G. (2004). Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolasyon ve enerji sönmüleyici sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul/Türkiye.
- Öztürk, H. (2022). Sismik izolasyonlu yapıların tasarımında kullanılan analiz yöntemlerinin karşılaştırılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38 (1): 117-127.
- Ryan, K. L. & Chopra, A. K. (2004). Estimation of seismic demands on isolators in asymmetric buildings using non-linear analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (33): 395-418. doi.org/10.1002/eqe.355
- Soyluk, A. & Tuna, M. E. (2011). Düzensiz binalarda sismik taban izolatörü uygulamasının mimari tasarıma etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik & Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (3): 635-642.

Sta4-Cad, (2021). Structural analysis for computer aided design, ver.14.1. www.sta.com.tr

Şengel, H. S., Erol, H. & Yavuz, E. (2009). Sismik izolasyon tekniği ve kullanımına ilişkin örnek uygulama, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (2): 165-178.

TBDY, (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliđi, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, 30364 Sayılı Resmi Gazete, Türkiye.

Toprak, T. (2012). Burulma düzensizliği olan yapılarda sismik izolasyon kullanımının deprem yükleri altındaki davranışa olan etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul/Türkiye.

TS 498, (1997). Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara/Türkiye.

TS-500, (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara/Türkiye.

Yücesoy, A. (2005). Sismik izolatörler ile depreme dayanıklı yapı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya/Türkiye.

Zayas, V.A., Low, S.S., & Mahin, S.A. (1990). A simple pendulum technique for achieving seismic isolation, *Earthquake Spectra*, 6(2): 317-333. <https://doi.org/10.1193/1.1585573>