ÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / OHU J. Eng. Sci.

ISSN: 2564-6605
doi: 10.28948/ngumuh.598230
Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, (2019), 922-935
Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, Volume 8, Issue 2, (2019), 922-935

Araştırma / Research

SİSMİK İZOLATÖRLÜ BİNALARDA KAT ADEDİ ETKİSİ

Metin Hakan SEVERCAN[1] (ORCID:0000-0001-7320-8409)[*]
Pınar ŞEN[2] (ORCID:0000-0002-1514-8169)

[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye
[2]Ulaştırma ve Trafik Hizmetleri Bölümü, Taşova Yüksel Akın MYO, Amasya Üniversitesi, Amasya, Türkiye

Geliş / Received: *26.09.2018*
Kabul / Accepted: *15.05.2019*

ÖZ

Bu çalışmada, sismik izolatör kullanımının bina kat adedine bağlı olarak yapısal davranışa ve maliyete olan etkisi araştırılmıştır. Kat adedinin etkisini belirlemek üzere 5, 10 ve 15 katlı binalar tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörler yerleştirilerek modellenmiştir. Sarkaç yerleşim yerleri en alt kat kolonlarının üstü olarak seçilmiştir. Oluşturulan sismik izolatörlü bina modellerinde 24 adet 6 farklı tipte efektif rijitlik değerlerine sahip sürtünmeli sarkaç kullanılmıştır. Sismik izolatörlü ve ankastre mesnetli oluşturulan 5,10 ve 15 katlı bina modelleri 1. Derece deprem bölgesinde inşa edildikleri göz önüne alınarak bilgisayar programı ile analiz edilmiştir. Analizler sonucunda tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlerin kullanıldığı 5 ve 10 katlı binaların deprem esnasında çok iyi performans sergilediği ancak yüksek katlı yapılarda hem bina performansı hem de maliyet bakımından tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlerin kullanımının uygun olmadığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sismik izolatörlü yapılar, sürtünmeli sarkaç sistemleri, sismik izolatörlü yapı tasarımı

THE EFFECT OF THE NUMBER OF STORY ON SEISMIC ISOLATED BUILDINGS

ABSTRACT

In this study, the effect of seismic isolators on the structural behavior and cost depending on the number of building storeys are investigated. 5, 10 and 15-storey buildings were modelled by placing the surface friction pendulum systems for determining the effect of number of building storeys. The top of the lowest floor column was chosen as the pendulum settlements. Twenty-four and six different types of friction pendulum with the effective stiffness were used in the seismic isolated building models. 5, 10 and 15-storey building models which generated by isolators and fixed base were analyzed with the computer program considering that they were built in the first seismic zone. The analysis results indicated that 5 and 10-storey isolated buildings performs very well during earthquakes, however, the use of friction pendulum system was not appropriate in high-rise buildings in terms of structural performance and cost.

Keywords: Seismic isolated structures, friction pendulum systems, design of seismic isolated structures

1. GİRİŞ

Yapıların deprem enerjisini karşılamasında ve üst yapıda hasar oluşturmadan enerjinin sönümlenmesinde sismik izolatör sistemleri kullanılabilmektedir. Sismik izolatörler sayesinde yapının yatay hareket etmesi sonucunda yatay deprem yükleri ve titreşim enerjisi sönümlenmektedir. Mevcut yapıların deprem yüklerine karşı

[*]Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 23 09; e-mail / e-posta: msever@ohu.edu.tr

güçlendirilmesi yanında tasarım aşamasında da yapıların deprem enerjisine karşı izole edilmesi amacıyla sismik izolatörler kullanılması günümüz teknolojisi ve çalışmalarıyla gündeme gelmiş bir çözüm yoludur.

Yapılarda sismik izolatör uygulanması ile birçok fayda sağlanabilmektedir. Bunlardan biri, sismik izolatör kullanımının yapının hâkim frekansını azaltabilmesidir. Dolayısıyla üst yapı rölatif olarak rijit kalmaktadır. Şekil değiştirmeler daha çok sismik izolatörlerde meydana geldiğinden dolayı yapının deprem hareketine karşı direncinde artış sağlanmaktadır. Bir diğer faydası; deprem hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler azalmakta ve izolatör sistemi yapının kullanımında olumsuz değerlendirmelere sebep olmadan yapıya esneklik kazandırabilmektedir.

Zemin hâkim periyotlarının düşük olduğu bölgelerde yapı periyodu düşük olan tasarımların yapılması durumunda alçak ve orta yükseklikteki yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımında problem yaşanmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için binaların esnek olması gerekmekte ancak esnek binalarda yapısal olmayan elemanların hasar görmesinden dolayı yapısal olmayan elemanlarda kat ivmelenme değerlerini düşüren en etkin sistemin sismik izolatör kullanımı olduğundan Amerika'da hem yeni binalarda hem de tarihi yapıların güçlendirilmesinde sismik izolatörler kullanılmaktadır [1].

Sismik izolatör türlerinden olan sürtünmeli sarkaç izolatörlerin fiziksel özellikleri ve dayanıklılıkları nedeniyle binalar, köprüler, endüstriyel yapılarda hem yapım aşamasında hem de güçlendirme yöntemleri için kullanılabilecek bir teknik olduğu belirtilmektedir. Sürtünmeli sarkaç kullanılarak taban izole edilen bir yapının sismik güvenirliği değerlendirildiğinde yapılarda izolatör sistem tasarımının yapılması uygun olmaktadır [2].

2. SİSMİK KONTROL SİSTEMLERİ

Deprem veya rüzgârın sebep olduğu titreşimlere karşı yapıların kontrolü için farklı yollar izlenmektedir. Bunlar; rijitliklerin, sönümün, kütlelerin modifikasyonu veya pasif ve aktif kuvvet uygulanması ile mümkündür. İnşaat mühendisliği alanında bu konuda son yıllarda pek çok deney, yayın ve uygulama yapılmıştır. Bu tecrübelerin ortak sonucunda yapıların kontrolünün gerek yeni yapılacak binalarda, gerekse mevcut binaların rehabilitasyonu veya güçlendirilmesinde oldukça önemli olduğu görülmüştür [3].

Yapısal kontrol sistemleri ile yapının kendisi yerine, yapıya kurulan cihazlar sayesinde dinamik kuvvetlere karşı koyulmaya başlanmıştır. Bu cihazlar dinamik kuvvetlerden meydana gelen yer değiştirme ve kesit zorlarını belli değerde tutarak yapının ve iç donanımın korunmasını sağlamaktadır [4].

Kontrol sistemleri; aktif kontrol, pasif kontrol ve karma kontrol sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır.

2.1. Pasif Kontrol Sistemleri

Yapıya yatay yönde gelen kuvvetlerin yapıya en çok zarar veren kuvvetler olduğu bilindiğinden yapıların yatayda esnek davranması gerekliliği doğrultusunda tasarımlar yapılmaktadır. Pasif kontrol sistemleriyle de yapının enerji sönümleme kapasitesinin artırılması amaçlanmaktadır.

Pasif yapı kontrolü, sismik yalıtım veya yapının sismik kontrolü anlamına gelmektedir. Bu kontrol belirli noktalara yerleştirilmiş özel elemanlarla sağlanmakta ve pasif kontrol denildiğinde akla ilk olarak taban yalıtımı gelmektedir. Çoğunlukla yapının tabanına yerleştirilen yalıtım elemanları üst yapının ivmesini, ötelenmeleri ve dolayısıyla depremsel kuvvetleri azaltmaktadır [5].

Pasif kontrol sistemlerinin hesapları karmaşık olmamakla birlikte sistemin çalışması için de enerji gerekli değildir. Bu sebeplerden dolayı diğer kontrol sistemlerine göre maliyeti daha azdır. Pasif kontrol elemanlarının boyutlandırılması deprem şiddetine göre yapıldığından dolayı beklenenin üzerinde bir depreme maruz kalan yapıda büyük deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Yani deprem şiddeti bu kontrol elemanlarının projelendirilmesinde en büyük etken olmaktadır.

Pasif enerji sönümleyiciler ve sismik taban izolatör sistemleri olmak üzere pasif kontrol sistemleri ikiye ayrılmaktadır.

2.1.1. Pasif enerji sönümleyiciler

Pasif enerji sönümleyiciler; yapıda deprem ve şiddetli rüzgâr gibi dış etkilerin oluşturduğu yer değiştirmeleri, kesit zorlarını kabul edilebilir sınırlarda tutmak için yapıya yerleştirilen mekanik elemanlardır. Enerji sönümleme özelliğinin artırılması amacıyla kullanılabilmektedirler.

Pasif enerji sönümleyiciler enerji dönüşüm sistemlerine göre sınıflara ayrılabilir:

- Kinetik Enerjiyi Isı Enerjisine Dönüştüren Sistemler
- Histerik Sistemler

- Visko-elastik Sistemler
- Otomatik Merkezleşen Sistemler
  - Kinetik Enerjiyi Titreşim Moduna Dönüştüren Sistemler
- Dinamik Titreşim Sönümleyiciler

2.1.2. Sismik taban izolatör sistemleri

Son yıllarda taban izolatör sistemleri depreme karşı etkili bir güçlendirme sistemi olarak dikkat çekmektedir. Yapı ile temel arasına taban izolatör sistemi olarak esnek bir tabaka yerleştirilmektedir. Böylece bu bölgede rölatif deplasmanlara izin verilmektedir. İzolatörler esnek bir yapıya sahip olduğu için binanın hâkim periyodunu ankastre mesnetli sistemlere göre önemli ölçüde arttırmaktadırlar. Kayan tabaka içeren izolatör sistemleri depremin enerjisini bina hareketi sırasında oluşan sürtünme kuvvetleriyle dağıtmaktadırlar. Bu tip sistemler, depreme bağlı olarak oluşan titreşimlerin kontrol altına alınması ve binaya gelen etkilerin büyük yer hareketlerinden izole edilmesi yönüyle önem kazanmaktadır [6].

İzolatör kullanımının yararları kabul görmeye başladığından beri teknolojik ilerlemelerden ve gelişmelerden faydalanarak çeşitli sismik izolatörler tasarlanmaya başlanmıştır. Çoğunun çalışma prensibi aynı olmasına karşılık bazı özellikleriyle birbirlerinden ayrılırlar.

Taban izolasyon sistemleri, temelde esneklik ve enerji tüketimi sağlama yöntemlerine göre gruplandırılabilir. Kauçuk ve elastik malzemelerden yapılmış olan izolasyon mesnetleri esneklik sağlayarak deprem kuvvetlerinin yapıya indirgenerek aktarılmasını sağlarlar. Genelde düşey eksende rijit ve yatay eksende esnektirler [7].

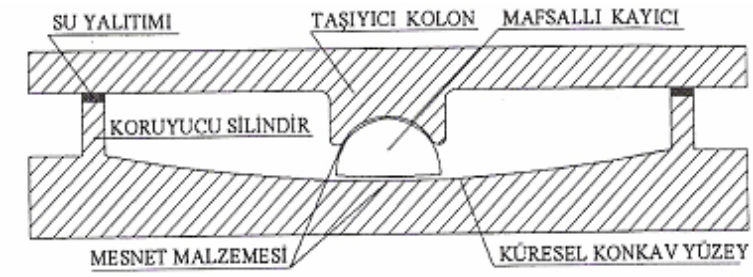
Sismik taban izolatör sistemleri; elastomerik izolatörler, yay tipi izolatörler ve kaymaya dayalı izolatörler olmak üzere 3 ana başlık altında incelenebilmektedirler.

- Elastomerik İzolatörler
- Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler
- Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler
- Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler
  - Yay Tipi İzolatörler
- GERB İzolatörleri
  - Kaymaya Dayalı İzolatörler
- Elastik sürtünmeli taban izolatör sistemi
- Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler (FPS)
- Fransız elektrik kurumu sistemi
- TASS sistemi
- EERC birleşik sistem

3. SÜRTÜNMELİ SARKAÇ İZOLATÖRLER

Sürtünmeli sarkaç izolatörler yapının taşıyıcı sistemleri arasına yerleştirilen izolatör sistemleridir. Bu sistemlerle yapının salınım periyodu artırılarak yapının yıkıcı özellik taşıyan kritik bölgeden uzaklaşması ve yatay deprem kuvvetlerinden minimum şekilde etkilenmesi sağlanmaktadır. İzolatöre gelen yatay kuvvetler statik sürtünme kuvvetini aştığında alt ve üst plakalar arasında yer alan çelik küre konkav şekilde üretilmiş olan alt plakanın üzerinde kaymaya başlamaktadır. Aktif hale geçen sürtünmeli sarkaç izolatör, üzerindeki yapının sarkaç misali küçük salınımlar yapmasını sağlamaktadır. Oluşan dinamik sürtünme kuvveti ile izolatörün konkav geometrisi deprem enerjisinin sönümlenmesini sağlamaktadır.

Sürtünmeli sarkaç sistemin salınım periyodu kütleden bağımsız olup sadece içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Yapının izolatörlü periyodu sadece bu parametreye bağlı olduğundan deprem sırasında yapıya etkiyebilecek burulma etkileri de engellenmiş olmaktadır. Bu özellik diğer alternatif izolatörlerde bulunmayıp sürtünmeli sarkaç izolatörleri teknik açıdan çok üstün kılmaktadır. İzolatörlerin statik sürtünme kuvveti aşıldığında izolatörlü periyot aktif hale gelmektedir.



Şekil 1. Sürtünmeli sarkaç mesnedin kesiti ve elemanları [8]

3.1. Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlerin Tasarım Kriterleri

Uygulama yerindeki zemin özellikleri, deprem büyüklükleri ve üst yapının özellikleri dikkate alınarak sürtünmeli sarkaç izolatörün;

- Periyot
- Düşey yük taşıma kapasitesi
- Deplasman kapasitesi
- Enerji sönümleme kapasitesi
- Rijitlik katsayısı
- Sürtünme değerleri gibi teknik özellikleri belirlenmekte ve üretimi takiben her izolatör gerçek yük ve deprem büyüklüğü tatbik edilerek ilgili standartlara göre test edilmektedir.

Sürtünme esaslı kayma yalıtım sistemleri yapıya, depremde oluşan taban kesme kuvvetinin belirli bir seviyede iletilmesine olanak veren ve bunun ötesinde kayarak kuvvet iletimini önleyen sistemlerdir. Bu tür sistemler küçük sürtünme katsayıları kullanılarak, çok küçük kesme kuvvetlerini iletebilecek şekilde tasarlanabilmektedir. Çok yaygın olarak kullanılan kayma yalıtım sistemlerindeki kayma yüzeyi paslanmaz çelik veya teflondur. Şiddetli depremler sırasında yapıya aktarılan kuvvet, sürtünme katsayısına bağlı olduğundan, aktarılan kesme kuvvetinin büyüklüğü depremin şiddetinden bağımsız olarak oluşmaktadır. Bu nedenle bu tür sistemler şiddetli depremlerin yapı üzerindeki etkilerinin azaltılmasında çok etkilidir [9].

3.2. Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlerin Yapı Davranışına Olan Etkisi

Sürtünmeli sarkaç izolatörü, sarkaç karakterleri kullanılarak yapının doğal periyodunun uzamasına ve dolayısıyla güçlü deprem kuvvetlerinden kaçınılmasını sağlar [8].

Sürtünmeli sarkaç sistemi kullanılarak yapı ile zemin arasında yatay yönde esnek, düşey yönde ise rijit bir izolasyon sistemi oluşturularak, binaların deprem ve diğer dinamik yüklerden etkilenmesini minimuma indirmek amaçlanmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sistemleriyle yapıya yatay yönde esneklik kazandırmak, düşey yönde ise rijit bir sistem oluşturmak hedeflenmektedir. Bu sayede yapı periyodu artarken ivmeler azalmakta, yatay esneklik sağlandığından dolayı da deplasmanlarda artış gözlenmektedir. İvme değerlerinin azalması yapı içindeki iç kuvvetlerin azalması anlamına gelmektedir. İzolatör seviyesinde maksimum deplasman meydana geleceği için göreli kat ötelemeleri bu sayede azalmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sistem kullanılmayan bir yapı esnek olarak tasarlanırsa göreli kat ötelemelerinde, rijit olarak tasarlanırsa kat ivmelerinde artış gözlenmektedir. Bu iki zıt faktörün aynı anda yapılarda istenilen duruma getirilmesi sürtünmeli sarkaç izolatör kullanılarak mümkün hale getirilmektedir. Depremden dolayı yapıya gelen yıkıcı etkiler izolatör seviyesinde önlenerek yapılar korunmuş olmaktadır.

Yapıya gelen deprem kuvveti sürtünme kuvvetinden küçük ise izolatörde herhangi bir hareket gerçekleşmemektedir. Yapı sismik izolasyonsuz gibi tepki verir ve periyodu sismik izolasyonsuz yapının periyodu ile aynı olmaktadır. Depremden gelen yatay kuvvetin değeri sürtünme kuvvetinden daha fazla olduğunda izolatör harekete geçer ve yapı sismik izolasyonlu bir yapı olarak davranış gösterir [10].

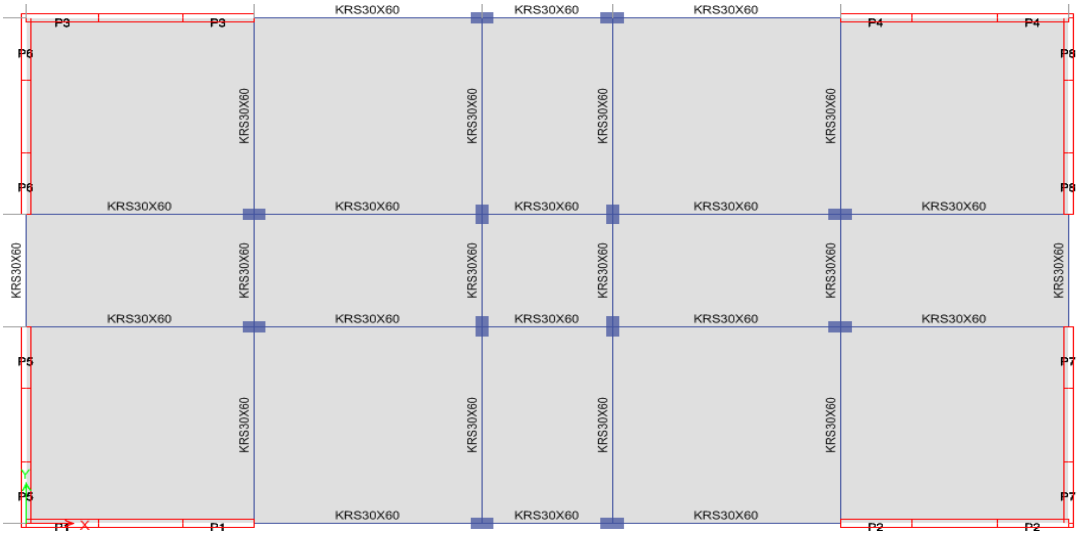
4. SİSMİK İZOLASYON UYGULAMALARI

Kat adedinin izolatör kullanımı durumunda bina davranışında ve maliyetinde meydana getireceği değişiklikleri belirlemek üzere farklı deplasman kapasitelerine sahip izolatörler farklı kat sayısına sahip binalara uygulanmıştır. Böylelikle aynı model izolatör kullanımının farklı kat sayısına sahip binalarda meydana getirdiği

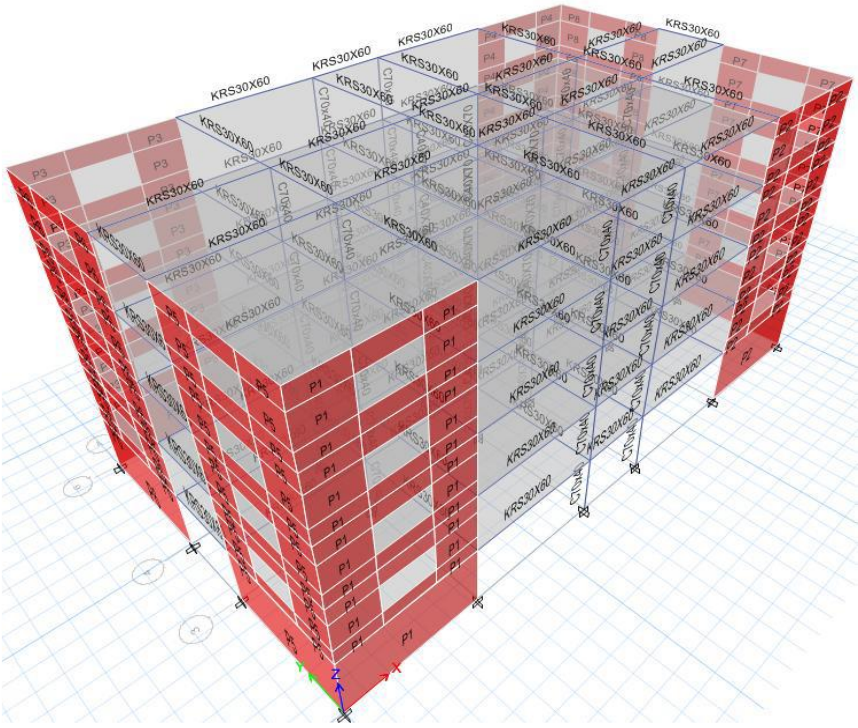
değişiklikler karşılaştırılmıştır. Kat sayısının ve kesit özelliklerinin değişmesiyle farklılaşan kat kütleleri izolatörlerin üzerine farklı miktarda kuvvet uyguladığından dolayı her binada kullanılan izolatörlerin rijitlik değerleri ile izolatör katının altı ve üstündeki yapı elemanlarının tasarımında kullanılan V_b, V_s kesme kuvveti değerleri her binada kat adedine göre artarak farklılık göstermiştir.

4.1. Ankastre Mesnetli Binaların Tasarımı

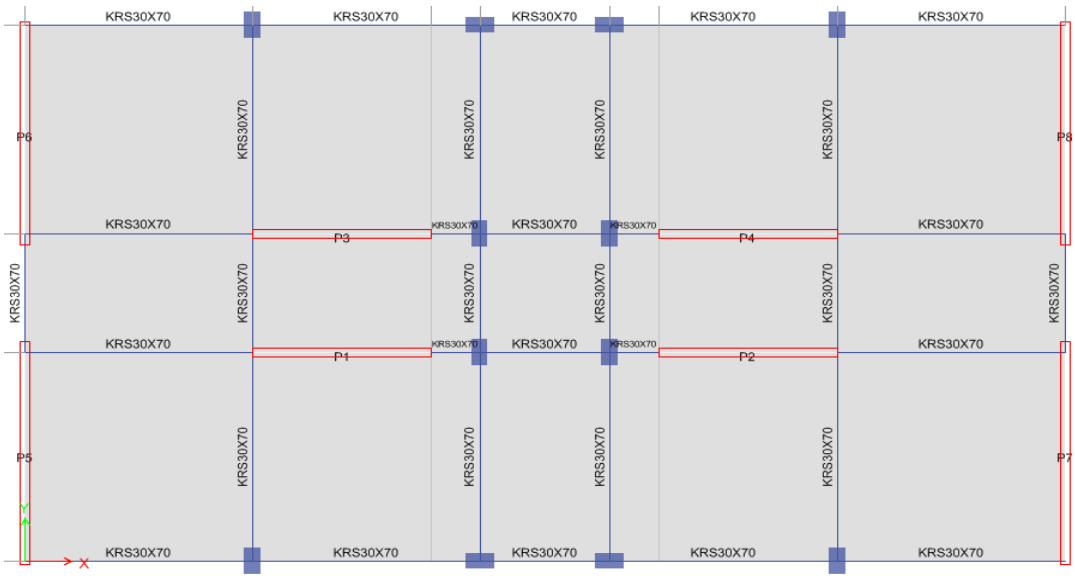
5, 10 ve 15 katlı olarak tasarlanan hastane binaları ilk olarak ankastre mesnetli olarak klasik bina şeklinde modellenmiştir. Plan görünümleri aynı olan binalarda döşeme sistemleri rijit, temel ankastre mesnetli yapılmasının yanında kat adedinin artmasına bağlı olarak kolon, kiriş, perde kesitleri tüm binalarda değişiklik göstermiştir.



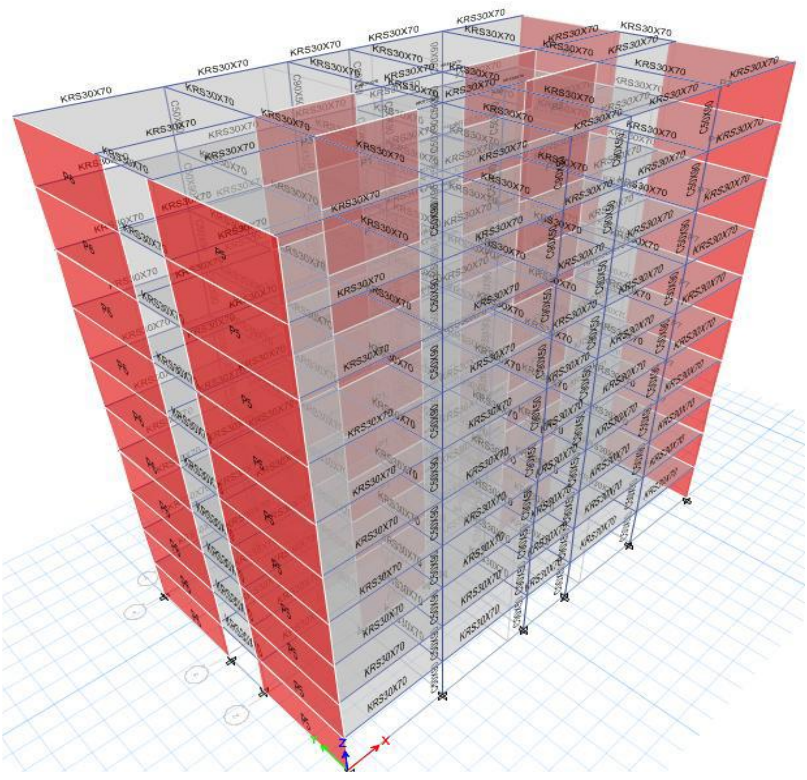
Şekil 2. 5 katlı ankastre mesnetli bina kat planı



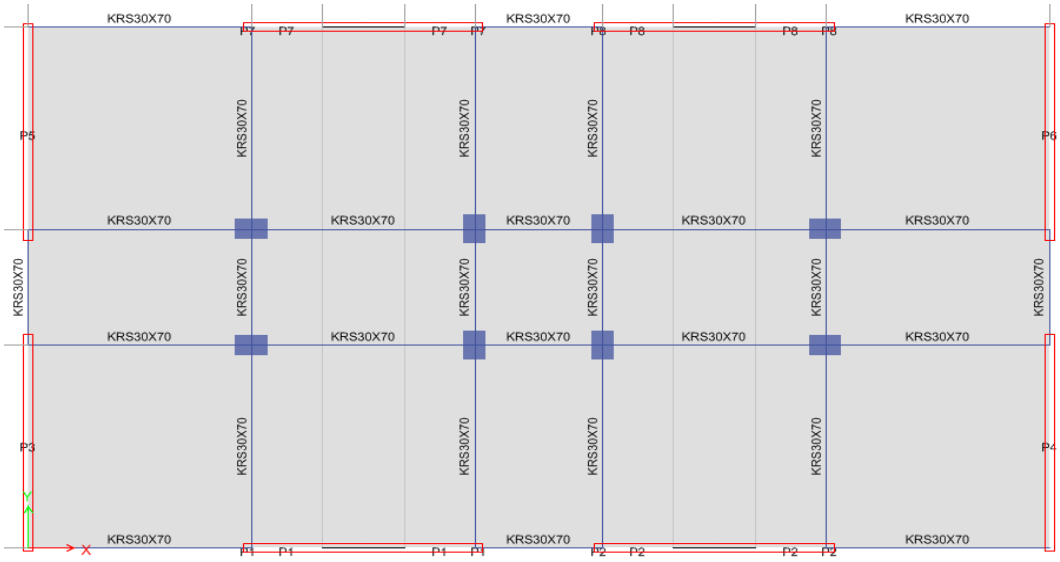
Şekil 3. 5 katlı ankastre mesnetli bina 3 boyutlu görünümü



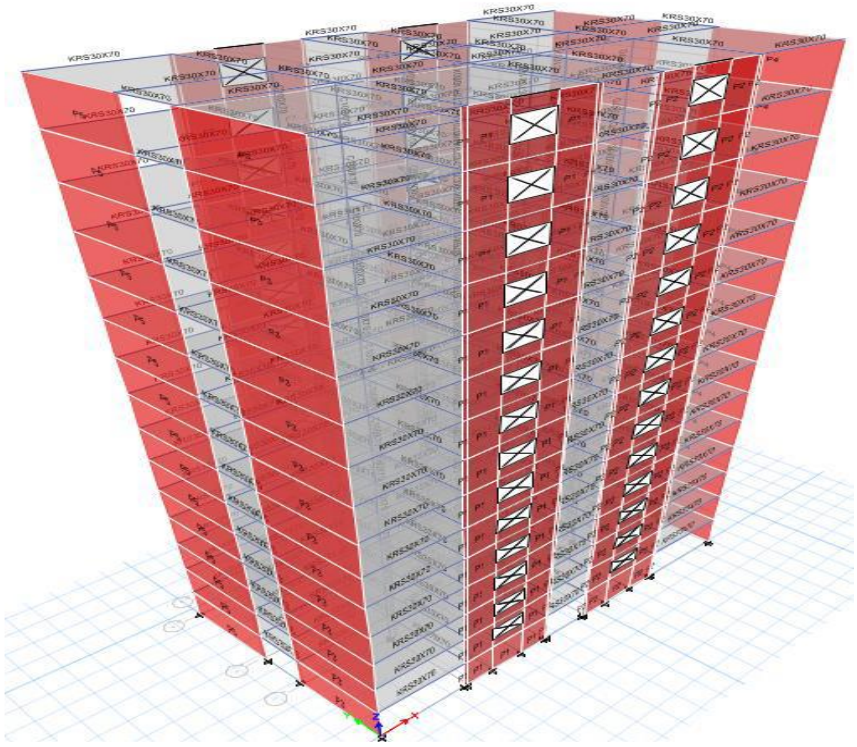
Şekil 4. 10 katlı ankastre mesnetli bina kat planı



Şekil 5. 10 katlı ankastre mesnetli bina 3 boyutlu görünümü



Şekil 6. 15 katlı ankastre mesnetli bina kat planı



Şekil 7. 15 katlı ankastre mesnetli bina 3 boyutlu görünümü

4.2. İzolatörlü Binaların Tasarımı

Sismik izolatörlü olarak tasarlanan binalarda uluslararası yönetmelikler doğrultusunda tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatör tasarlanmış ve sisteme eklenmiştir. 5, 10 ve 15 katlı hastane binalarında 1. kat kolonlarının üst bölgesine izolatörler yerleştirilmiştir. İzolatörlü yapıların tasarımında 6 çeşit sürtünmeli sarkaç sistem mevcut olup toplam 24 adet izolatör kullanılmıştır. Sürtünmeli sarkaç yüksekliği 20 cm ve eğrilik yarıçapı (R) 2 m alınarak tasarım yapılmıştır.

Tablo 1. 5 katlı binada izolatör efektif rijitlik değerleri

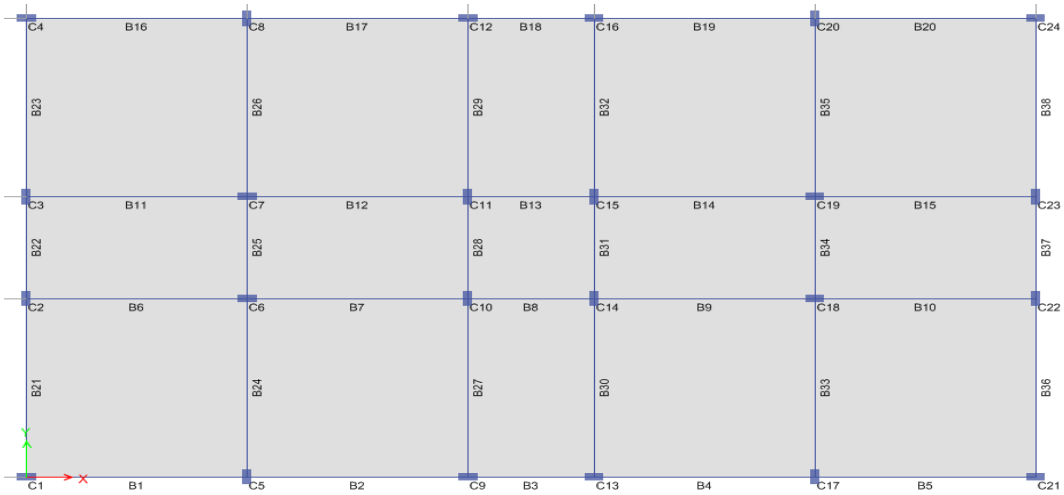
	FPS-1	FPS-2	FPS-3	FPS-4	FPS-5	FPS-6
k_{eff} (kN/m)	682.01	957.27	1187.48	1645.69	942.16	1370.51

Tablo 2. 10 katlı binada izolatör efektif rijitlik değerleri

	FPS-1	FPS-2	FPS-3	FPS-4	FPS-5	FPS-6
k_{eff} (kN/m)	1741.53	2184.05	2486.65	3117.73	2237.18	2848.47

Tablo 3. 15 katlı binada izolatör efektif rijitlik değerleri

	FPS-1	FPS-2	FPS-3	FPS-4	FPS-5	FPS-6
k_{eff} (kN/m)	3089.65	3645.05	3982.52	4678.89	3772.42	4438.12



Şekil 8. İzolatörlü binaların kat planı

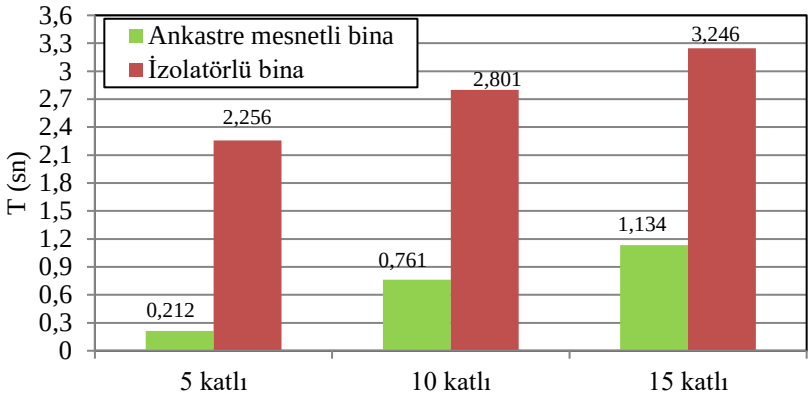
5.ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışmada 5, 10 ve 15 katlı hastane binaları tasarlanmış ve Etabs-2000 bilgisayar programı kullanılarak bina analizi, elemanların boyutlandırılması yapılmıştır. DBYBHY-2007, TS 498-500 yönetmelik ve standartları esas alınarak kesitler boyutlandırılmış ve deprem yükleri DBYBHY-2007 de belirtilen mod birleştirme yöntemine göre belirlenerek yapılara etki ettirilmiştir. Bina önem katsayısı (I) 1.5, zemin sınıfı Z2, zemin grubu B (sıkı kum, çakıl), spektrum karakteristik periyotları TA (sn)= 0.15 TB (sn)= 0.40, 1. Derece deprem bölgesi, etkin yer ivme katsayısı (A0) 0.40, taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 8, hareketli yük katılım katsayısı (n) 0.30, beton sınıfı C25, donatı sınıfı S420 programa veri şeklinde girilerek çözümlemede kullanılmıştır.

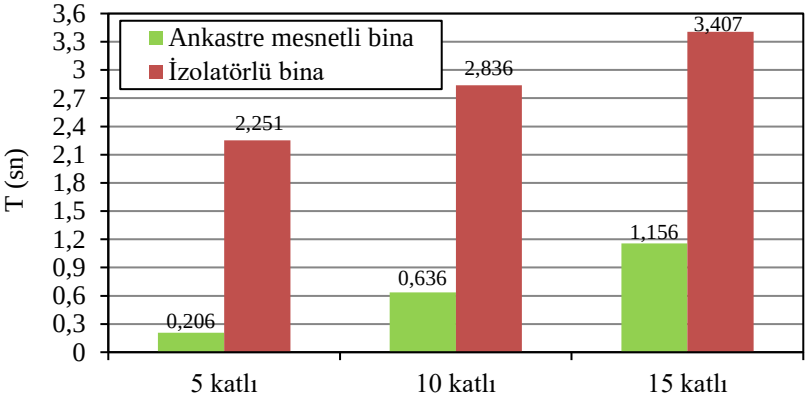
5.1. Periyot Değerleri

Analiz sonuçlarından elde edilen 1. doğal titreşim periyot değerleri, bina kat adedinin doğal titreşim periyot değeri değişimine etkisini belirlemek üzere karşılaştırılmıştır. Ankastre mesnetli binalarda izolatörlü binalara kıyasla doğal titreşim periyot değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Periyodun küçük olması binanın deprem kuvveti etkisinde daha fazla salınım yapması ve yapı güvenliğinin tehlikeye girmesi anlamına gelmektedir.

Ancak sismik izolatör uygulanan binalarda doğal titreşim periyot değerleri çok büyük rakamlara ulaştığından deprem kuvvetlerine karşı daha emniyetli hale gelmektedirler. Çünkü binanın salınımını tamamlaması esnasında binaya gelen enerjinin büyük bir kısmı izolatörler tarafından sönümlenirken katlar arası deplasman da minimuma inmektedir.



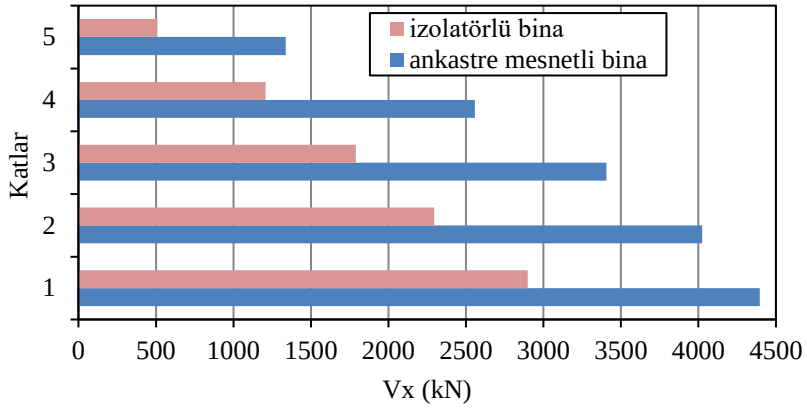
Şekil 9. Binaların X yönünde periyot değerleri



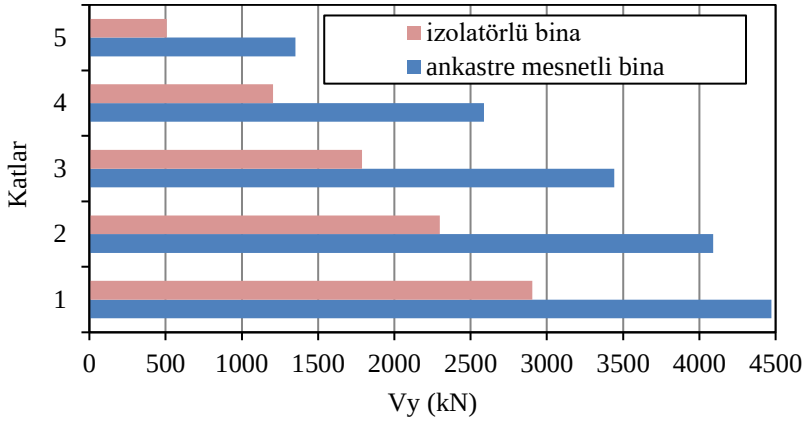
Şekil 10. Binaların Y yönünde periyot değerleri

5.2. Kat Kesme Kuvvetleri

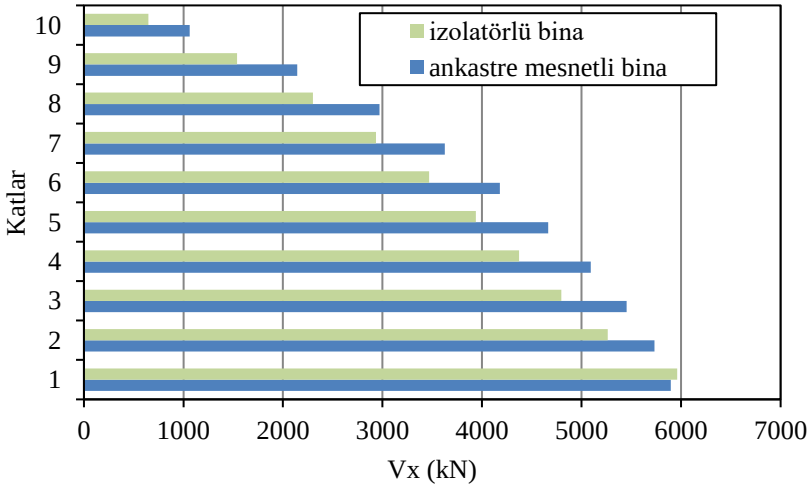
Şekil 11. ve Şekil 12. incelendiğinde 5 katlı izolatörlü hastane binası ile ankastre mesnetli binanın kat kesme kuvvetleri arasındaki farkın çok fazla olduğu ve izolatörlü binalarda deprem kuvvetlerinin binaya daha az etkidiği görülmektedir. Şekil 13. ve Şekil 14. de 10 katlı izolatörlü hastane binalarında kat kesme kuvveti değerleri ankastre mesnetli binaya göre az olmasına karşılık değerler arasındaki fark azdır. Ancak Şekil 15. ve Şekil 16. da verilen 15 katlı izolatörlü hastane binasında kat kesme kuvveti değerlerinin izolatörün bulunduğu katta ve 7. kat ve üzerindeki katlarda ankastre mesnetli binaya göre fazla olduğu görülmektedir. 15 katlı binada izolatörlü sistemde ankastre mesnetli sisteme kıyasla görülen kat kesme kuvvetindeki artış sürtünmeli sarkaç izolatör kullanımının çok yüksek katlı binalarda uygun olmadığını göstermiştir.



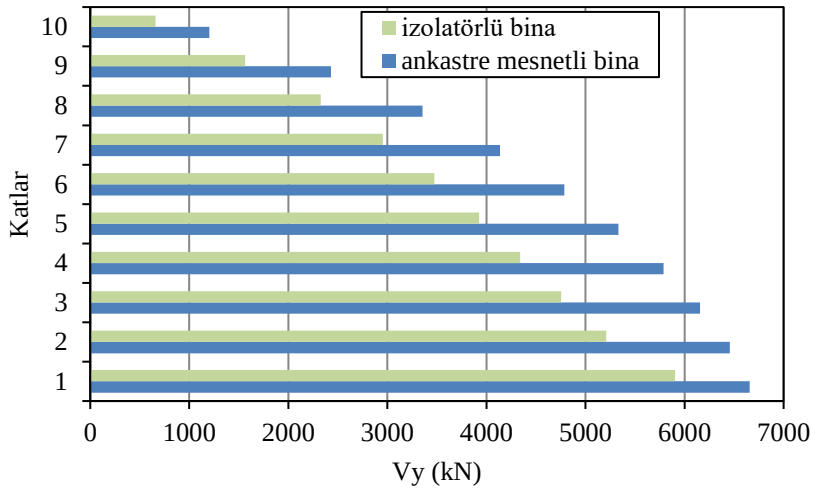
Şekil 11. 5 katlı binalarda X yönünde kat kesme kuvvetleri



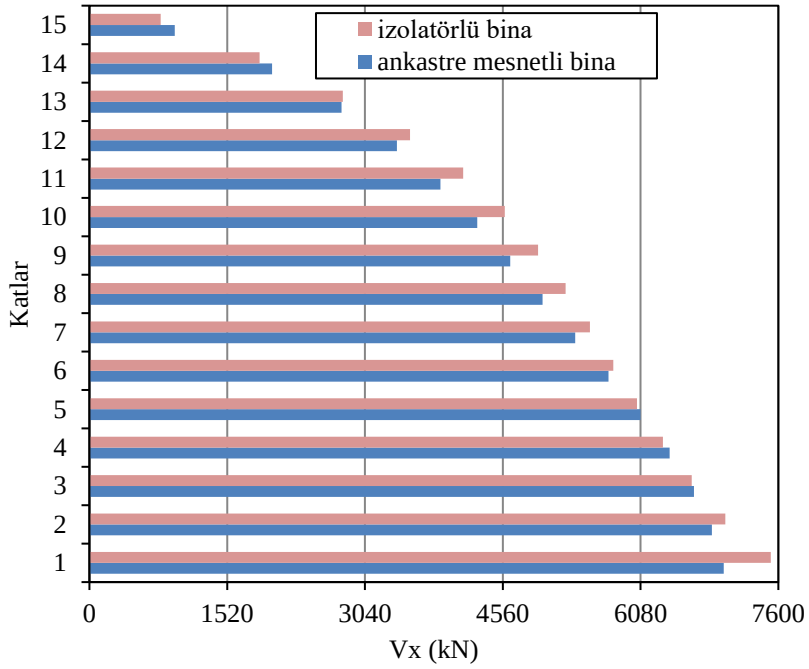
Şekil 12. 5 katlı binalarda Y yönünde kat kesme kuvvetleri



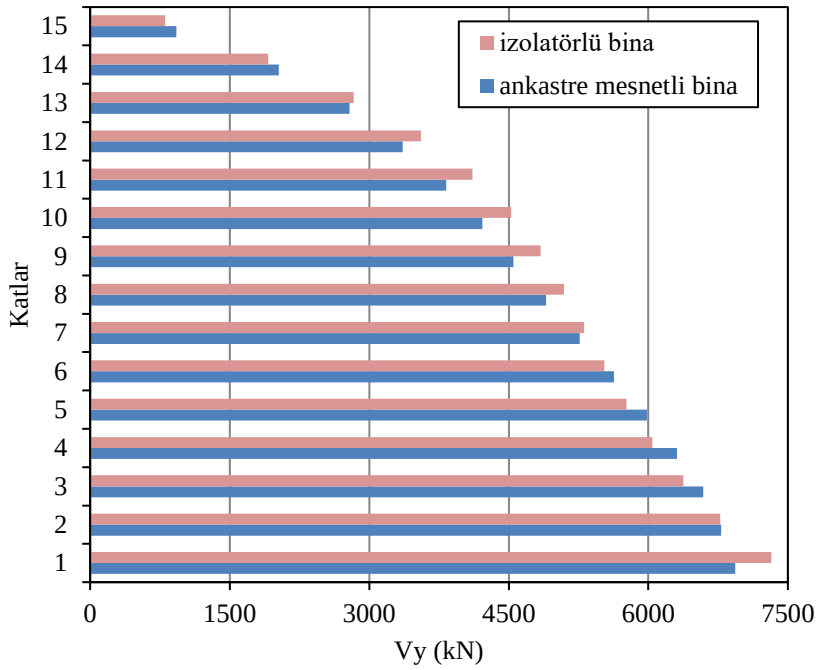
Şekil 13. 10 katlı binalarda X yönünde kat kesme kuvvetleri



Şekil 14.10 katlı binalarda Y yönünde kat kesme kuvvetleri



Şekil 15. 15 katlı binalarda X yönünde kat kesme kuvvetleri



Şekil 16. 15 katlı binalarda Y yönünde kat kesme kuvvetleri

5.3. Göreli Kat Ötelemeleri

Ankastre mesnetli binalar perdeli-çerçeveli ve sürtünmeli sarkaç izolatörlü binalar ise çerçeveli olarak depreme dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır. Ankastre mesnetli binalarda perde elemanlarının kullanılmasından ötürü bu binalar rijit davranış sergilemektedir. İzolatörlü binalar ise çerçeve sistemden oluştuğundan ve sürtünmeli sarkaç kullanıldığından dolayı daha sünek özelliğe sahiptir. Tüm bu koşullardan dolayı ankastre mesnetli binaların göreli kat öteleme miktarları izolatörlü binalara göre daha az elde edilmiştir.

Tablo 4. 5 katlı binalarda göreli kat ötelemeleri

	Ankastre mesnetli bina		İzolatörlü bina	
Katlar	Δx (m)	Δy (m)	Δx (m)	Δy (m)
1	0.000246	0.000243	0.108496	0.108724
2	0.000585	0.000568	0.010689	0.010258
3	0.000720	0.000686	0.010789	0.010509
4	0.000726	0.000680	0.007333	0.007213
5	0.000662	0.000609	0.003698	0.003716

Tablo 5. 10 katlı binalarda göreli kat ötelemeleri

	Ankastre mesnetli bina		İzolatörlü bina	
Katlar	Δx (m)	Δy (m)	Δx (m)	Δy (m)
1	0.000752	0.000556	0.105211	0.104270
2	0.001654	0.001214	0.01386	0.014168
3	0.002249	0.001694	0.015232	0.015667
4	0.002621	0.002031	0.014348	0.014901
5	0.002817	0.002242	0.012838	0.013529
6	0.002879	0.002350	0.011132	0.011961
7	0.002840	0.002375	0.009294	0.010252
8	0.002730	0.002338	0.007334	0.008402
9	0.002588	0.002265	0.005303	0.006457
10	0.002446	0.002176	0.003507	0.004694

Tablo 6. 15 katlı binalarda göreli kat ötelemeleri

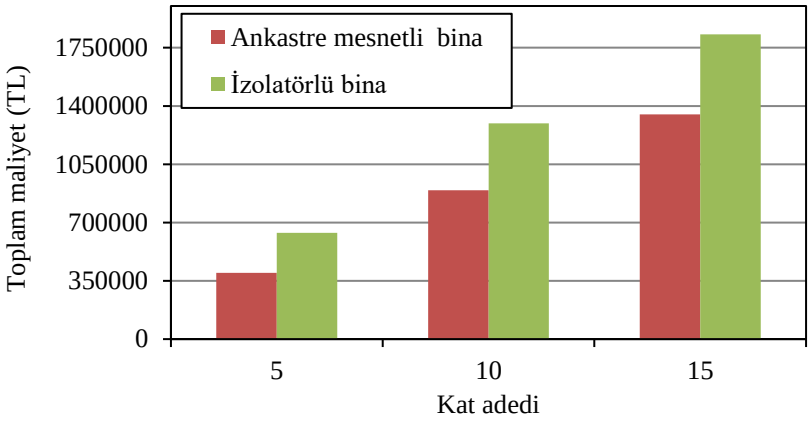
	Ankastre mesnetli bina		İzolatörlü bina	
Katlar	Δx (m)	Δy (m)	Δx (m)	Δy (m)
1	0.000625	0.000625	0.082436	0.080355
2	0.001510	0.001409	0.015804	0.016778
3	0.002103	0.002014	0.017175	0.018206
4	0.002526	0.002474	0.017034	0.018157
5	0.002824	0.002810	0.016350	0.017590
6	0.003020	0.003039	0.015477	0.016859
7	0.003129	0.003184	0.014537	0.016073
8	0.003168	0.003255	0.013552	0.015254
9	0.003151	0.003270	0.012513	0.014382
10	0.003108	0.003306	0.011395	0.013424
11	0.002992	0.003201	0.010169	0.012342
12	0.002868	0.003087	0.008816	0.011111
13	0.002732	0.002985	0.007342	0.009731
14	0.002615	0.002879	0.005830	0.008282
15	0.002419	0.002624	0.004522	0.00700

5.4. Maliyet Analizi

Binaların maliyetinin hesaplanmasında beton, donatı, kalıp ve sürtünmeli sarkaç izolatörün kurulumu ve test işlemleri dahil fiyatı serbest piyasa rakamlarına göre göz önüne alınmıştır.

Kullanılan tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin maksimum deplasman kapasitesi ve efektif rijitlik değerlerine göre piyasa değerleri A ve B firmalarından alınan fiyatlar doğrultusunda yaklaşık olarak 5 katlı bina için 13750 TL, 10 katlı bina için 22000 TL, 15 katlı bina için 27500 TL olarak belirlenmiştir. Piyasadan alınan güncel fiyatlar doğrultusunda C25 beton sınıfının m^3 fiyatı 165 TL, 1 ton donatı fiyatı 3100 TL ve kalıbın m^2 fiyatı 35 TL olarak maliyet hesabına dâhil edilmiştir. Ankastre mesnetli ve izolatörlü binalar kendi içinde çözümlendiğinden yapı elemanları kesitleri farklılık göstermiş olup hesaplarda bu farklılıklar dikkate alınarak yapılmıştır.

Tasarımı yapılan izolatörlü hastane binalarında 24 adet sürtünmeli sarkaç izolatör kullanıldığından dolayı; 13750*24=330000 TL, 22000*24=528000, 27500*24=660000 TL sırasıyla 5, 10, 15 katlı binalarda kullanılan izolatör maliyetidir. Binalara ilişkin maliyet karşılaştırmaları Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Binaların toplam maliyetleri

6. SONUÇLAR

Yapılan analizler sonucunda binalarda kullanılan tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörler sayesinde 10 ve daha düşük kat adedine sahip binalarda binanın deprem esnasında çok iyi performans sergilediği belirlenmiş ve dolayısıyla binada oluşabilecek hasarların önlenmesi ve can güvenliğinin sağlanması konusunda büyük faydaları olacağı görülmüştür. Kat adedine bağlı olarak maliyet değerlendirmesi yapıldığı zaman 10 katlı binada izolatörlü bina ile ankastre mesnetli bina arasındaki maliyet farkının 5 katlı binaya göre azaldığı ancak 15 katlı binada maliyet farkının 10 katlı binaya göre tekrar artışa geçtiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] KELLY, J.M., "Seismic isolation of civil buildings in the USA", Progress In Structural Engineering And Materials, America, 1(3), 279-285, 1998.

[2] CASTALDO, P., PALAZZO, B., VECCIHA, P.D., "Seismic reliability of base-isolated structures with friction pendulum bearings", Dept.of Civil Engineering University of Salernovia Giovanni PaoloII, 80-93, 2015.

[3] DÜZEL, E., "Düşeyde rijitlik düzensizliği bulunan çerçevelerin sönüm elemanları ve çelik çaprazlar ile rehabilitasyonu", Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Niğde, 2010.

[4] KOÇAN, H., "Düşeyde düzensiz bina türü yapıların deprem performanslarının pasif enerji sönümleyiciler ile iyileştirilmesi", Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Uşak, 2017.

[5] DERDİMAN, M.K., "Düzensiz çok katlı betonarme yapıların davranışının taban izolatörleri, enerji sönümleyici ve dağıtıcılarla iyileştirilmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Isparta, 2006.

[6] AKGÖNEN, A.R.İ., "Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve onarım-güçlendirme tekniklerinin incelenmesi", Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 2005.

[7] ÖZDAŞ, H.İ., "Depreme dayanıklı yapı tasarımında pasif sismik kontrol yöntemleri", Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 2008.

[8] AYHAN, O., "Binaların depreme karşı güçlendirilmesinde klasik yöntem ile sürtünmeli sarkaç sistemlerinin karşılaştırılması", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006.

[9] SOYLUK, A., "Sismik taban izolatörü kullanımının mimari tasarıma etkisi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, 2010.

[10] YURDAKUL, M., "Üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi ile sismik izolasyonu yapılan karayolu köprüsünün değişerek yayılan yer hareketi altında stokastik analizi", Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon, 2016.