

Çok Katlı Hastane Binalarında Uygulanabilecek Taban İzolasyon Sistemleri

Elif BAKKALOĞLU* ve Necdet TORUNBALCI**

* İstanbul Teknik Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-2317-3831
bakkaloglu@itu.edu.tr

** İstanbul Teknik Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-3298-8127
necdet@itu.edu.tr

Derleme Makalesi

Geliş: 27/12/2023

Son düzenleme sonrası geliş: 09/04/2024

Kabul: 15/04/2024

Yayımlanma: 31/07/2024

Öz

Deprem gerçeği ülkemiz coğrafyasında kaçınılmayan bir doğal afettir. Özellikle afet sonrası ilk başvurulacak yerlerden biri olan hastane binalarının deprem dayanımı büyük önem arz etmektedir. Her ne kadar hastane binaları yatay mimariye daha uygun olsa da aşırı kentleşme sonucunda uygun yer bulmada karşılaşılan zorluklar, uygun büyüklükteki arsa teminindeki zorluklar ile uygun yerlerin azalması ve dolayısıyla arsa değerlerinin artması nedeniyle çok katlı hastane binalarının inşa edilmesi ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Yüksek binalarda sismik izolatör kullanımı Japonya'da yaygın olmakla birlikte Türkiye'de sismik izolatör kullanılan yüksek bina sayısı neredeyse yok denecek kadar azdır. Bilindiği üzere taban izolasyon sistemleri her ne kadar en etkili depremi izole etme yöntemi olsa da çok katlı binalarda kat sayısı arttıkça ağırlık merkezinin tabandan uzaklaşması devrilme etkisini arttırmakta ve bu sistemlerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu bağlamda dünyada taban izolasyon yöntemleri uygulanarak inşa edilmiş olan çok katlı binaların yapısal sistemlerinin incelenmesi yanında bu tarz binalarda, taban izolasyon sistemleri haricinde diğer sismik yöntemlerin kullanılması veya her ikisinin beraberce kullanım olanaklarının araştırılması da amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Deprem, taban izolasyon sistemleri, enerji soğuran sistemler, yüksek binalar, hastane binaları

Applicable Base Isolation Systems in Multi-Storey Hospital Buildings

Elif BAKKALOĞLU* and Necdet TORUNBALCI**

* *Istanbul Technical University
İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-2317-3831
bakkalogue@itu.edu.tr*

** *Istanbul Technical University
İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-3298-8127
necdet@itu.edu.tr*

Review Article

Received: 27/12/2023
Received in final revised form: 09/04/2024
Accepted: 15/04/2024
Published online: 31/07/2024

Abstract

The reality of earthquakes is an inevitable natural disaster in Turkey. Especially in hospital buildings earthquake resistance is an essential point because hospitals are one of the first places where people come after earthquake. Although hospital buildings are more suitable for horizontal architecture, it is necessary to construct and expand multi-storey hospital buildings due to difficulties in finding suitable places as a result of excessive urbanization, difficulties in obtaining appropriate size land and decrease in suitable places and increase in land values. Although widespread use of seismic isolators in Japan, there are few multi-storey buildings which seismic isolators are used in Turkey. As it is known, base isolation systems are the most effective methods of earthquake resistance, as number of floors increases, center of gravity moves away from base in multi-storey buildings, increasing overturning effect and limiting use of these systems. In this context, it is aimed that not only multistorey building which is constructed with base isolation system, but also using other seismic isolation system (except base isolation system) and together using of them opportunity are investigated.

Keywords: Earthquake, base isolation systems, energy absorbing systems, tall buildings, hospital buildings

1. GİRİŞ

Deprem sonrası dünyanın birçok yerinde olduğu gibi ülkemizde de can ve mal kayıpları yaşanabilmektedir. Deprem sonrası insanların ilk başvurduğu yerlerin başında hastaneler gelmektedir. Son zamanlarda yaygınlaşan salgın hastalıklarla birlikte hem hastane yapılarının önemi hem de kapasite gereksinimi artmıştır. Bu sebeple özellikle şehir merkezlerinde hastane inşasına uygun arazilerin yetersizliği yanında pahalı olması ve özellikle büyük kentlerde nüfus/kapasite gereksiniminin de fazla olması nedeniyle hastane binalarının yüksek bina şeklinde yapılması gerekebilmektedir. Ayrıca hastane binalarının deprem anında kesintisiz hizmet verebilmesi için depreme dayanıklı olarak inşa edilmesi, hatta sismik izolasyon sistemlerinin kullanılması büyük önem arz etmektedir. Sismik izolasyon sistemleri, aktif veya pasif yöntemler olarak ikiye ayrılır. Pasif yöntemlerden biri olarak alınan önlemler, temel seviyesi, orta seviye veya çatı seviyesinde olabilir. En yaygın sistem temel seviyesinde uygulanan taban izolasyon sistemidir (Bakkaloğlu, 2018). Bu kapsamda Sağlık Bakanlığı 2013 yılında yayınladığı genelgede taban yalıtım tanımı yapılmış olmakla birlikte 100 yataklı ve üzeri 1. derece deprem bölgesindeki (deprenselliği yüksek bölgelerdeki) hastanelerde sismik izolasyon zorunlu tutulmuştur. Genelgede taban izolasyon sisteminin de tanımı yapılmıştır. Şüphesiz çok katlı yapıların sismik yalıtım sistemi yerine sismik izolatörlü / enerji yutucu sistemlerle inşa edilmesi de mümkündür. Son zamanlarda Türkiye’de birçok hastane binasında taban izolasyon kullanımı gerçekleştirilmiş olsa da bu binaların genelde yatay mimari anlayışına uygun yapılmış hastane binaları olduğu görülmektedir. Ayrıca dünyada ve Türkiye’de şimdiye kadar yapılmış uygulamalara bakıldığında yüksek binalarda taban izolasyon sistemi kullanılmış binaların yeterince yaygınlaşmadığı görülmektedir. Taban izolasyon yönteminin yaygın olarak uygulandığı yapılara bakıldığında bu binaların çoğunlukla yatay mimariye sahip binalar olduğu ve sismik taban izolasyon sisteminin çok daha yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu kapsamda çoğunluğu Japonya’da olmak üzere dünyadaki yüksek binalardaki sismik izolasyon uygulamaları incelenmiştir. Çalışmada hastane binalarına yoğunlaşılmasının nedeni hastane binalarının birçok kullanıcıyı barındırması, deprem anında kullanımın kesintisiz devam etmesi noktasında performans gereksinimi, içinde ileri teknolojik cihazlar barındırması, arazilerin pahalı olması ve nüfusun artmasıyla yüksek bina ihtiyacının artması, koronavirüs gibi pandemi şeklindeki salgınlarla birlikte kapasitenin artırılması gereksinimidir. Bu bağlamda Türkiye’de inşa edilen taban yalıtımlı hastane binaları ile dünyadaki yüksek binalar incelenmiş olup taban izolasyon uygulama sistemleri detaylıca irdelenmiştir. Bu doğrultuda hibrit sismik kontrol yöntemleri ve yüksek binalarda sismik kontrol uygulaması yapılırken dikkat edilen hususlar, sınırlamalar incelenmiştir.

2. PASİF SİSMİK KONTROL SİSTEMLERİNİN İRDELENMESİ / KARMA (HİBRİT) SİSTEMLER

Pasif kontrol yöntemleri, yapıyı dış etkilere karşı tepkisinde azalma meydana getirmek suretiyle, yapının dayanma kapasitesinin artmasını sağlamaktadır (Çağlar, 2002). Uygulama aşamasında hesabı kolay ve maliyeti düşük olması gibi avantajların yanında çalışırken dışardan hiçbir enerjiye ihtiyaç duymamaktadırlar (Naeim ve Kelly, 1999; Komodromos, 2002). Kauçuk esaslı (elastomerik), kauçuk-kayıcı karma sistemler ve kayıcı sistemler olarak genel olarak 3 başlık altında toplanabilir (Masi vd., 2014; Skinner vd., 1993). Bunların yanı sıra pasif enerji sönümleyici sistemler olarak eğilmeli metal sönümleyiciler, sürtünmeli sönümleyiciler, viskoelastik sönümleyiciler, viskoz sönümleyiciler de kullanılmaktadır (Celep ve Kumbasar, 2004; Gökhan, 2009; Köseadağ, 2002).

Bu sistemlerden günümüzde en çok kullanılanları kauçuk sistemler, yay tipi sistemler ve kayıcı sistemlerdir. Kauçuk sistemler; düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk mesnetler (Low Damping Rubber Bearings-LDRB), yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetler (High Damping Natural Rubber-HDNR) ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler (Lead Plug Rubber Bearing-LRB) olarak 3 başlıkta toplanır. Kayıcı sistemlerden en yaygını ise sürtünmeli sarkaç sistemdir (Friction Pendulum System- FPS) (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005). Bu sistemlerin birlikte kullanıldığı sistemlere ise karma (hibrit) sistem adı verilmektedir.

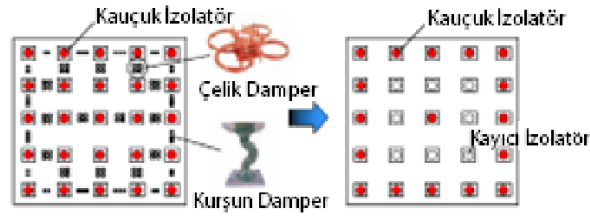
Enerji sönümleyici sistemler ile taban izolasyon sistemleri beraber kullanılabildiği gibi, taban izolasyon sistemleri de kendi içinde farklı tipler kullanılarak karma kullanım gerçekleştirilebilmektedir (Torunbalcı, 2004). Taban izolasyon sisteminin yüksek binalarda uygulaması iki şekilde olabilmektedir. Bu yöntemlerden ilki kayıcı ve kauçuk izolatörlerin birlikte kullanıldığı TASS (TAISEI Shake Suppression System) iken diğeri damperlerin de destek amaçlı tercih edildiği sistemler olarak değerlendirilebilir. Örneğin kauçuk esaslı sistemlerin burkulma etkisine zafiyeti nedeniyle yay tipi sistemle birlikte kullanılabildiği görülmektedir.

Genelde yüksek binalarda hem yatay yüklerin etkisini hem yatay ötelenmeyi ve hem de devrilme etkisini azaltmak için enerji soğuran sistemler ile sismik taban izolasyon sistemleri beraber kullanılmaktadır. Yüksek olmayan ancak farklı yüksekliklerde kısımlardan oluşan binalarda ise farklı sismik taban izolasyon sistemleri bir arada kullanılmaktadır.

Dinamik performanstaki gelişme, taban izolasyon katındaki kuvvet-yer değiştirme ilişkisine bağlıdır. Dinamik tepkiyi üst yapının doğal periyodundan bağımsız olarak azaltmak için Hibrit sistem (Hybrid TAISEI Shake Suppression System) adı verilen yenilikçi taban izolasyon sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde iki çeşit mekanizma beraber kullanılabilmektedir. Kauçuk ve kayıcı sistemlerin bir arada kullanılabildiği sistemle doğal periyodu uzun olan yüksek binaların depreme karşı daha iyi bir performans sergileyebileceği görülmüştür.

Hibrit TASS ekonomik olarak da avantajlı bir sistemdir. Araştırmalarda çelik damper, kurşun damper ve kauçuk izolatör kullanımı (Hibrit TASS) ile kayar ve kauçuk izolatör kullanımı (TASS) maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Şekil 1'de Hibrit TASS ile taban izolasyon sisteminin başka bir tipik örneğinin karşılaştırması gösterilmektedir. Hibrit sistemde kauçuk izolatörler kolonların altına yerleştirilirken enerji sönümlenme için çelik ve kurşun damperler birlikte kullanılmaktadır. Diğer sistemde ise kayıcı ve kauçuk izolatörlerin kolonlar altında kullanılması tek başına yeterli gelmektedir. Bu sayede güçlü sismik performansa sahip yüksek binalar, inşaat maliyetlerinde büyük bir artış olmadan elde edilebilir.

Özet olarak kauçuk izolatörler yüksek binalarda tek başına kullanılamamaktadır. Çözüm olarak başka sistemlerle birlikte kullanımında iki alternatif ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi kurşun ve çelik gibi damperlerle, ikincisi de kayıcı izolatörlerle birlikte kullanımdır. Yapılan bir araştırma sonucunda kauçuk izolatörlerin kayıcı izolatörlerle birlikte kullanımının, çelik ve kurşun gibi damperlerle kullanımından daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak ilave damperler yerine kolonların altındaki bazı izolatörlerin tipi kauçuk mesnetten kayıcı mesnete çevrilerek çözüm daha ekonomik hale getirilebilmektedir (Komuro vd., 2005).



Şekil 1. Hibrit TASS sistem ile diğer taban izolasyon sisteminin karşılaştırılması (Komuro vd., 2005: 235)

Çizelge 1’de görüldüğü üzere kauçuk ve kayıcı izolatörlerin birlikte kullanılabilirdiği gibi damperlerle kauçuk izolatörler birlikte de kullanılabilmiştir. Buradaki temel nokta kauçuk izolatörlerin ya kayıcı izolatörlerle ya da damperlerle desteklenmesidir.

Çizelge 1. İzolasyon sistemlerinin birlikte kullanım örnekleri (Yazarlar tarafından üretilmiştir, 2024)

Bina Adı	Tip 1	Tip 2	Tip 3
Thousand Tower	Kauçuk İzolatör	Kayıcı İzolatör	-
Sendai MT Building	Kauçuk İzolatör	Kayıcı İzolatör	-
Iidebashi First Building	Doğal Kauçuk İzolatör (40)	Kurşun Damper (40)	-
Nakanoshima Festival Tower	Kurşun Kauçuk İzolatör	Yağ Damperi Sönümleyici	-
Shiodome Sumitomo Building	Kurşun Damper (100)	LRB (41)	Çelik Damper (14)
Shimizu Building	Kurşun Kauçuk İzolatör (32)	Kauçuk İzolatör (10)	Yağ Damperi Sönümleyici(10)

3. YÜKSEK BINALARDA TABAN İZOLASYON UYGULANMASI

Sismik izolatörlerin etkinliğinin daha az olduğu yani bina hâkim periyodunun 1,5 sn ve üzeri olduğu binalarda ve planda kısa kenarın uzun kenara oranının düşük olduğu narin binalarda sismik izolatörlerin tek başına kullanılması yeterli olmayabilir (Çelik vd., 2015). Bu nedenle üst yapıda ilave sönümleyiciler veya farklı çözümlerin bir arada kullanılması gerekebilir. Bilindiği üzere taban izolasyonlu yapılarda deprem kaynaklı büyük miktardaki enerji girdisi, taban izolatörleri tarafından sönümlenmektedir (Çelik, 2019). Bu doğrultuda, taban izolasyon sistemleri üst yapının hasarını en aza indirmek için en etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmiştir, bu sayede şiddetli bir depremden sonra bile yalnızca kısmi onarım gerekebilir (Dicleli ve Milani, 2015; Doğru, 2014). Sismik izolasyon uygulaması yapılacak olan binanın taban oturumunun geniş dolayısıyla açıklık sayısının fazla olması her bir izolatöre etkiyecek düşey yükü azaltır ve böylece izolatörlerin ankrajı ile bakım onarım faaliyetlerini daha kolay hale getirir (Sağlam, 2017).

Yüksek binalarda sismik izolasyon uygulamasının zorlukları kapsamında, taban izolasyon sistemlerinin yüksek binalarda yetersiz kaldıkları şeklinde genel bir kanı bulunmakla birlikte yine de narin davranış sergileyebilecek bazı yüksek binalarda kullanılmıştır. Ancak genelde periyodu bir saniyeden az olan az katlı binalarda tercih edilmektedir. Yüksek binalarda etkin bir sismik performans sağlanabilmesi için bazı sorunların aşılması gerekmektedir.

Bu sorunlar;

- Yüksek binalardaki taban izolasyonunun belirsiz tepki azaltma etkisi,

- Yüksek binalarda taban izolasyon sisteminin kullanılmasının kuvvetli rüzgâr etkisi altında kullanıcının yaşanabilirlik konforunu azaltabilmesi etkisi,
- Taban izolasyon sisteminin yatay ötelenmelerinin yetersiz kalması halinde üst yapının stabilitesinin kararsız denge konumuna evrilmesi yani üst yapının devrilmeye eğilim göstermesi hali,
- Üst yapının rijitliğinin artırılması gereksinimi,
- Taban izolasyon sisteminin bina maliyetinde önemli artışlara sebep olması ihtimali,
- Çekme kuvvetlerine maruz kalan büyük boyutlu kauçuk izolatörlerin bilinmeyen tepki özellikleri ve stabilitesi olarak belirlenmiştir.

Bu problemlerin nasıl aşılacağı ve çözüm önerilerinin neler olabileceği bağlamında konuya bakıldığında özellikle yüksek binalardaki taban izolasyonunun belirsiz tepki azaltma etkisinin (response reduction effect), bir binanın yüksek veya az katlı olmasına bakılmaksızın tespit edilebildiği görülmüştür. Ogura ve ekibinin çalışması (1997) taban izolasyon sistemi kullanılarak parametrik analizlerle belirsiz tepki azaltma etkisinin elde edilebileceğini göstermektedir. Bir binanın doğal periyodunun uzun olup olmaması önemli olmayıp taban izolasyon uygulamasında parametrik analizlerle tepki azaltma etkisi bulunabilmektedir. Ogura ve ekibi birçok parametrik analizle geçmeden sonra üst yapı ve taban izolasyon katının kesme tükenme katsayısını, üst yapının doğal periyodunu, taban izolasyonunun doğal periyodunu, sismik dalgaların çeşitleri ve yoğunluğunu, taban izolasyon sisteminin üstyapı ağırlığına oranını hesaplamıştır (Ogura vd., 1997).

Yüksek binalarda sismik izolatör kullanımı binanın içinde yaşayanlar tarafından yaşam konforunun azalması yönünde bir şikâyete neden olabilmekte, güçlü rüzgârların neden olduğu binadaki salınım etkisi kullanıcıları tedirgin edebilmektedir. Ancak hibrit sistem ile bu problemin de önüne geçilmesi hedeflenmektedir (Becker vd., 2015).

Üst yapının stabilitesinin kararsız denge konumuna evrilmesi yani üst yapının devrilmeye eğilim göstermesi hali özellikle yüksek binalarda sismik taban izolasyon yönteminin kullanımını sınırlayan en önemli sorunlardan biridir. İzolatör testlerine bakıldığında küçük ebatlardaki numunelerde izolatörlerin testi geçtiği görülürken gerçek ebatlarındaki izolatöre bu test uygulandığında testi geçemeyebildiği görülmüştür. Bu kapsamda izolatörlerin sınır değerlerinin küçük ölçekli testteki değerden düşük çıkması öngörülebilmektedir. Devrilme eğiliminin önlenmesi, köşelerde bulunan kolonlarda mesnet yükseltmesi yaparak ve planda dar kenarda bulunan izolatörlerin üzerindeki ölü yükün, deprem nedeniyle oluşan çekme kuvvetine göre hesaplanmasıyla çözülmektedir.

Bir diğer sorun olan üst yapının rijitliğinin artırılması gereksinimi sorunu, üst yapı çevresinde oluşturulacak büyük çaprazlarla (mega brace) çözülebilir, bu yolla bina yatay rijitliği artırılabilir. Bu çaprazlar viskoz, çelik veya başka türlü damperler şeklinde olabileceği gibi çelik çaprazlarla da bina stabil hale getirilebilir. Alternatif olarak bina kolonlarının betonarme dolgu çelik profillerle yapılması yine bir iyileştirme önerisi olarak planlanabilir. Uygulamaya bakıldığında ise bu iki sistemin birbirine uyarlanarak kullanıldığı da görülmektedir. Tokyo Institute of Technology binasına bakıldığında binada betonarme dolgu çelik kolonlar ile üst yapının bina cephesi çevresinde büyük çapraz sistem (mega brace system) birlikte kullanılarak üst yapının rijitleştirildiği görülmektedir (Kikuchi vd., 2014).

Taban izolasyon sisteminin günümüz koşullarında bina maliyetinde önemli artışlara sebep olması ihtimaline karşı doğru izolatör seçimleri yapılarak bu maliyet artışı optimum seviyede tutulabilir. Hibrit sistem kapsamında kauçuk izolatörlerin yanında çelik ve kurşun damperler kullanmak yerine kayıcı izolatörler/sarkaç sistemler kullanarak yatay yükü ve devrilme etkisini azaltmak daha ekonomik bir çözümler olacaktır.

Çekme kuvvetlerine maruz kalan büyük boyutlu kauçuk izolatörlerin bilinmeyen tepki özellikleri ve stabilitesi açısından bakıldığında çözüm, çekme ve kesme şekil değiştirme sınır değerlerinin tasarım kriterlerinin belirlenmesi ile sağlanabilmektedir. Sismik izolatörlü bina uygulaması öncesinde, planlanan izolatörlerin küçük modelleri yapılabilmekte ve teste tabi tutulmaktadır. Ancak yapılan araştırmalarda küçük ölçekte yapılan numunelerin testi geçemediği ancak birebir ölçekli örneklerin testi geçemediği görülmektedir. Bu sebeple çekme kuvvetlerinin bulunmaya çalışılması yerine çekme şekil değiştirme ve kesme şekil değiştirme sınır değerlerinde tasarım kriterleri belirlenmektedir. Bu tasarım kriterleri ile tepki gerilme şekil değiştirme, göçme sınırından yeterince düşük seviyede tutulabilmektedir (Muramatsu vd., 2001).

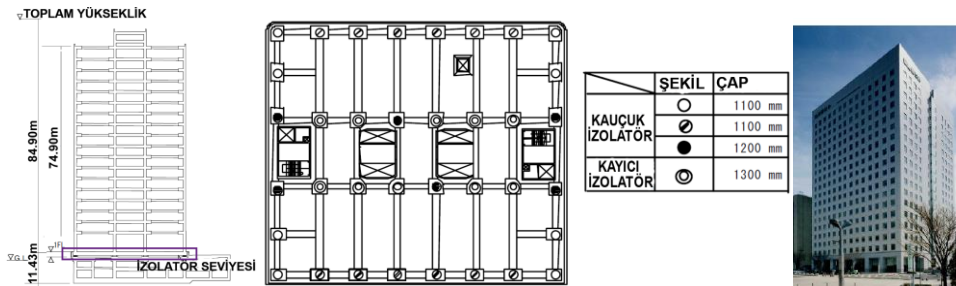
Bu kapsamda yüksek binalarda sismik izolatör uygulamalarında karşılaşılan zorluklar altı ana başlık altında toplanmış olup, bunlara yönelik iyileştirme yöntemleri de açıklanmıştır. (Komuro vd., 2005).

4. DÜNYADAKİ YÜKSEK BINALARDA TABAN İZOLASYON UYGULAMALARI

Sismik izolatörlü binaların uygulanması gün geçtikçe artarken yüksek binalarda uygulamaların başta Japonya olmak üzere Rusya, Amerika ve Çin'de çalışmaların devam ettiği görülmektedir (Kazama ve Noda, 2012). Bu kapsamda Japonya'dan sismik taban izolatörleriyle donatılmış beş yüksek bina, özellikle devrilme başta olmak üzere yukarıda değinilen sorunlara karşı aldıkları önlemler bağlamında incelenmiştir.

Sendai MT Binası, Japonya'nın sismik izolatörlü ilk yüksek binasıdır. Sendai MT binası Off-Miyagi, 2003 depremini geçirdikten sonra sismograflar tarafından yapılan ölçümlere göre iyi bir performans sergilemiş olup diğer binalar için de örnek bir bina olmuştur. Yukarıda belirtilen sınırlamaların çözüm yolu olarak aşağıdaki uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

- Yüksek dayanıklılıkta malzemeler (60N/mm² sınıfında yüksek dayanımlı beton ve SD490 donatılar boyuna donatı olarak) kolon ve kirişlerde kullanılmıştır.
- Hibrit yapının kirişleri 15m açıklık geçmekte, kirişlerin orta kısmı yoğun çelik içermektedirken, yüksek dayanımlı beton kirişin mesnet kesitlerine yakın kısımlarda daha yoğun olarak kullanılmaktadır.
- Yüksek bina taban izolasyon yöntemiyle güçlü sismik performans ve sürdürülebilirlik sergilemektedir.



Şekil 2. Sendai MT binası plan, kesit ve fotoğrafı (Becker vd., 2015: 1451-1470)

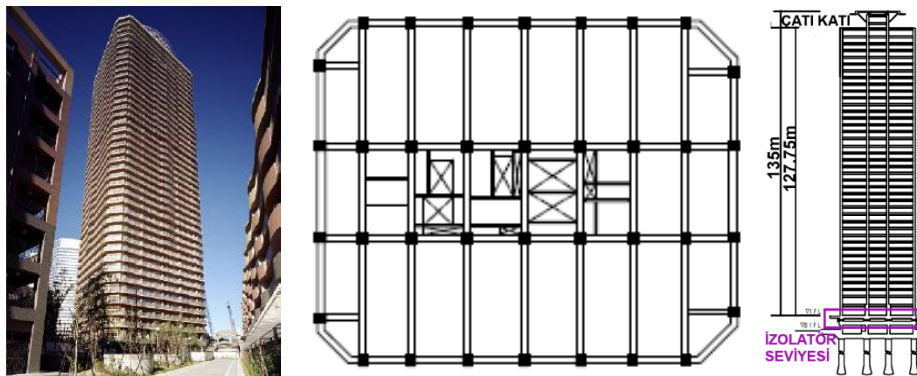
Şekil 2'de görüldüğü üzere izolatörler zemin altı kotta yer almakta olup kolonlardaki kayıcı izolatörlerin tüm izolatörlere oranı akma kuvveti rüzgâr kuvvetinden büyük olabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kayıcı izolatörler daha çok içteki kolonların altına yerleştirilmiş olup bu kolonlar daha çok sismik kuvvetler nedeniyle eksenel kuvvetin dalgalanmasının nispeten küçük olduğu yerlerdedir. Bu geniş açıklık geçme sisteminin adaptasyonu konut alanındaki kolon sayısının azalmasını da sağlamaktadır (Nakagawa vd., 2015). Bu binanın Off-Miyagi, 26 Mayıs 2003 depreminde maksimum ivmeleri ölçülmüş olup datalar ve analizler, sistemin yüksek binadaki uygulamasının etkili olduğunu, tasarım analiz modelinin yeterli olduğunu göstermiştir (Becker vd., 2015).

ldebashi First binası, ofis ve konut binaları olarak kullanılmakta olup izolatörler ara bir katta konumlandırılmıştır (Şekil 3). Bina yüksekliği 63,20m olup izolatör katının altındaki kısım betonarme ve çelik karma yapılmışken, izolatör üstü katlar betonarme olarak inşa edilmiştir. İzolatörün ara katta kullanılması üst yapının kütle damper etkisi oluşturmasını sağlamıştır. İzolatör katı, 800 mm çapında doğal kauçuk lamine kauçuk izolatörler ve kurşun damperden oluşmuştur. Tüm katlarda, yapısal çerçevedeki gerilmeler, elastik sınırlar dahilinde tutulmuş, böylece yüksek bir sismik performans oluşturulmuştur (Tasaka vd., 2008; Tsuneki vd., 2008).



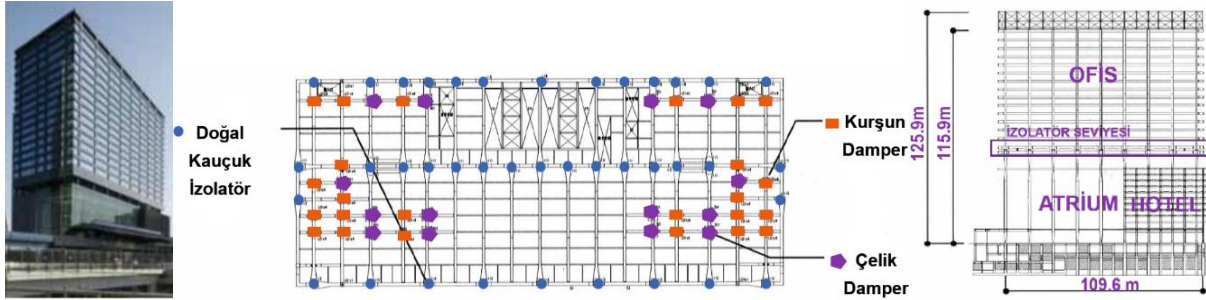
Şekil 3. ldebashi First binası plan, kesit ve fotoğrafı (Tasaka vd., 2008; Tsuneki vd., 2008)

Thousand Tower, Kawasaki şehrinde bir konut binası olup 41 katlı bir betonarme yapıdır (Şekil 4). Taban izolatörler, giriş katın üst kısmına yerleştirilmiş olup bina yüksekliği 135m'dir. Ön üretimli ve ön gerilmeli betonarme kirişler 12m açıklığı geçmek için kullanılmaktadır. Yüksek dayanımlı malzemeler kullanılarak strüktürel elemanların kesitleri azaltılmış ve mimari planlama için daha geniş mekânlar sağlanmıştır.



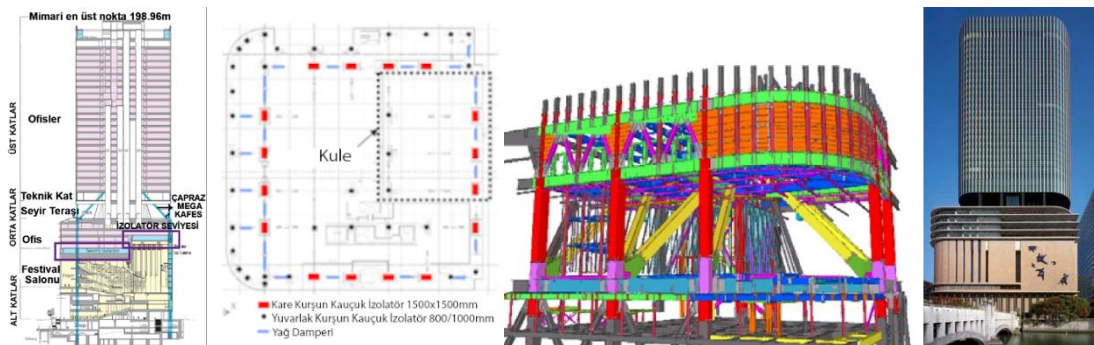
Şekil 4. Thousand Tower binası plan, kesit ve fotoğrafı (Komuro vd., 2005)

Shiodome Sumitomo Binası, 120m yükseklikte olup 3 bodrum, 25 normal kata sahiptir (Şekil 5). İzolatör seviyesinin altında 11 otel katı ve 3 bodrum kat, üstünde ise 14 ofis katı bulunmaktadır. İzolatör seviyesinin alt kısmında girişin de bulunduğu büyük bir atriyum yer almaktadır. Statik yeterliliği sağlamak için çelik boru kolonlar betonarme ile doldurularak kompozit kolonlar oluşturulmuştur. Binada 100 kurşun damper, 14 çelik damper, 41 kurşun kauçuk izolatör kullanılmıştır. Bu damperlerin 500 yılda bir oluşabilecek rüzgâr etkisi göz önünde bulundurularak hesaplama yapılmıştır (Sueoka vd., 2004).



Şekil 5. Shiodome Sumitomo binası plan, kesit ve fotoğrafı (Sueoka vd., 2004)

Nakanoshima Festival Tower, 1958 yılında inşa edilmiş olup 2008 yılına kadar yine festival salonu görevi görmüştür. Ancak yeniden yapım ile bina yıkılıp yerine yaklaşık 200m yüksekliğinde 146.000m² inşaat alanına sahip 39 normal kat, 3 bodrum kattan oluşan yeni bir festival binası yapılmıştır (Şekil 6). Bina giriş kısmında büyük bir atriyum bulunmakta olup izolatörler de onun hemen üstünde konumlanmıştır. Dev çelik makas sistemin üst kısmında viskoz damperler bulunurken, alt kısmında kauçuk kurşun çekirdekli izolatörler yer almaktadır. Salon ile ofis katları arasındaki orta kat seviyesinde sismik izolasyon sistemi yer almakta olup bu sistem 16 adet kare, 34 adet dairesel kurşun-kauçuk kayıcı izolatör ve 24 adet de yağ damperi sönmüleyici kullanılarak oluşturulmuştur. Devrilme etkisi çerçevedeki LRB'lerin mekanik özellikleri sayesinde minimize edilmiştir. Yatay yüklere karşı ekstra bir dayanım sağlamıştır. Bina ağırlığı, üst seviyedeki katların çevre çizgisi boyunca yerleştirilmiş büyük kare LRB'lere yoğunlaştığından, devrilme momentinin neden olduğu kaldırma kuvveti teknik olarak en aza indirilmektedir (Kumano vd., 2017; Okada ve Yoshida, 2014).

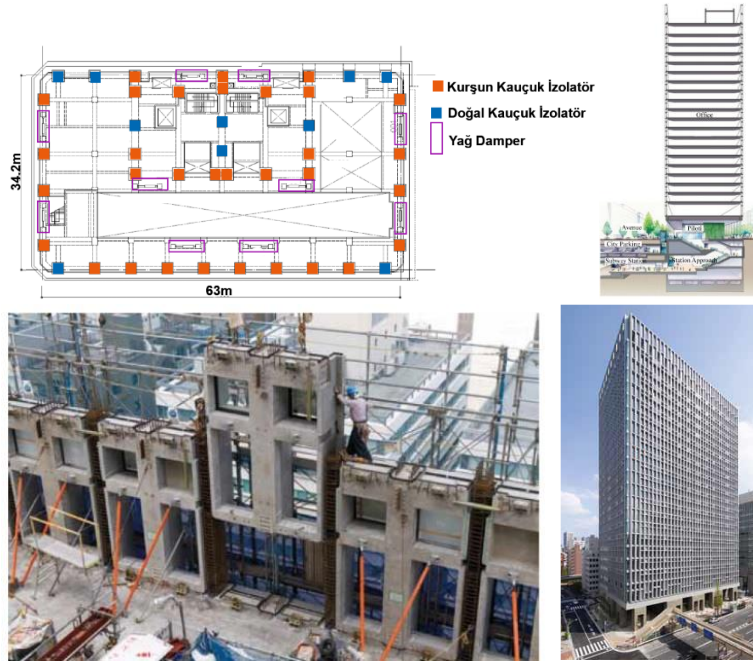


Şekil 6. Nakanoshima Festival Tower binası plan, kesit ve detay modeli (Kumano vd., 2017; Okada ve Yoshida, 2014).

Shimizu Corporation Tokyo Headquarters, bina 106m yüksekliğinde ofis yapısı olarak 51.356m² inşaat alanına sahip olacak şekilde yapılmıştır (Şekil 7). 3 bodrum, 22 normal kat ve 1 çatı katına sahip binada taşıyıcı sistem betonarme, çelik+betonarme ve çelik çerçeve sistem olmak üzere karma olarak tasarlanmıştır. İç kompozit çekirdek betonarme, kolonlar prekast beton, döşeme açıklığı çelik olarak yapılmıştır. Ayrıca binada 32 adet kurşun kauçuk

izolatör, 10 adet kauçuk izolatör, 10 adet yağ damperi sönümleyici kullanılmıştır. İzolatörler zeminin hemen altına konumlandırılmıştır.

42 adet izolatör, binanın 1. bodrum ve 2. bodrum katları arasına yerleştirilmiştir. Şekil 7'de görülen dış cephe çerçevesinde kullanılan prekast sistem perde duvarlar ve tüp sistem yatay yük etkisini azaltarak binanın devrilme riskini azaltmıştır (Shimazaki ve Nakagawa, 2015).



Şekil 7. Shimizu Corporation Tokyo Headquarters binası plan, kesit ve fotoğrafı (Shimazaki ve Nakagawa, 2015)

Çizelge 2. Dünyadaki sismik izolasyonlu yüksek bina uygulama örneklerinin karşılaştırma tablosu (Yazarlar tarafından üretilmiştir, 2024)

Proje Adı	Sendai Mt Binası	Iidebashi First Binası	Thousand Tower	Shiodome Sumitomo Binası	Nakanoshima Festival Tower	Shimizu Corporation Tokyo Headquarters
İnşaat Yılı	1999	2010	2001	2004	2012	2012
Taşıyıcı Sistem Malzemesi	Betonarme	Çelik+Betona rme	Betonarme	Çelik+ Betonarme	Çelik	Betonarme çellik kompozit
Fonksiyon	Ofis	Ofis ve Konut	Konut	Hotel	Ofis ve Kültür Merkezi	Ofis
Yüksekliği Ve Alanı	85m, 18 kat	63,20 12 kat	135m, 41 kat	126,4m, 25 kat	199m, 39 kat	106m, 26 kat
İzolatör Tipi Ve Alanı	Kauçuk izolatör, Kayıcı izolatör	Kauçuk izolatör ve kurşun damper sönümleyici	Kayar mesnet, Kayıcı mesnet	100 kurşun damper, 14 elik damper, 41 kurşun kauçuk izolatör	16 kare kurşun-kauçuk kayıcı izolatör 24 yağ damperi sönümleyici	32kurşun kauçuk kayıcı izolatör, 10kauçuk izolatör, 10 yağ damperi sönümleyici

Yüksek binalarda sismik izolasyon uygulamaları örnekleri verilen binaların özellikleri Çizelge 2'de özet olarak verilmiştir. Çizelgede yapım yılları, taşıyıcı sistem malzemeleri, yapı fonksiyonu, bina yüksekliği ve inşaat alanı, kullanılan izolatör tipi ve adetleri gibi bilgilere yer verilmiştir.

5. TÜRKİYE'DEKİ YÜKSEK BİNALARDA TABAN İZOLASYON UYGULAMALARININ DURUMU VE HASTANE UYGULAMALARININ İNCELENMESİ

Türkiye'de de sismik izolatörlü binalar Sağlık Bakanlığının yayınladığı genelgeyle hızla artmaktadır. Türkiye'deki sismik izolatörlü hastanelere bakıldığında yeni inşa edilen Okmeydanı, Göztepe, Başakşehir ve Kartal Şehir Hastanelerinde projede FPS sarkaç sistem kullanılmıştır. Geleneksel yöntemle inşa edilmiş olan Marmara Üniversitesi Başbüyük Hastanesine ise sonradan taban yalıtım sistemi uygulanmış ve bu uygulamada LRB ve NRB (Natural Rubber Bearing) izolatörler tercih edilmiştir. Hastane binaları genellikle yatay mimariye sahip olduğundan narin bir davranış sergilememektedirler (Erdik, 2007; Özpalanlar, 2005). Türkiye'de hastane yapılarında özellikle şehir hastanelerinin son yıllarda hızla artan bir şekilde sismik taban yalıtımlı olarak inşa edilmesine karşın kule tarzı yüksek hastane

binalarına henüz rastlanmamaktadır ancak daha önce de belirtildiği üzere şehir merkezlerindeki hastane inşasına uygun yerlerin azlığı ve yüksek arsa değerleri bu tür yüksek hastane binalarının sismik taban yalıtımlı olarak yapılmasını yakın gelecekte zorunlu hale getirecektir (Doğru, 2014; Guisasola, 2012).

Çizelge 3. İstanbul'daki sismik izolatörlü hastane uygulamaları karşılaştırma tablosu (Yazarlar tarafından üretilmiştir, 2024)

Proje Adı	Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi	Prof. Dr. Cemil Taşcıoğlu Şehir Hastanesi	Prof. Dr. Süeyman Yalçın Şehir Hastanesi	Dr. Lütfi Kırdar Şehir Hastanesi	Marmara Başbüyük Eğitim ve Araştırma Hastanesi
Açılış Yılı	2020	2020	2020	2020	2019
Yatak Sayısı	2862 yatak	1000 yatak	1000 yatak	920 yatak	-
İnşaat Alanı	1.000.000m ²	250.400m ²	257.696m ²	323.000m ²	112.400m ²
İzolatör Sayısı ve Tipi	2071 adet FPS	506adet FPS	503 adet FPS	855 adet FPS	360 adet LRB

Türkiye'deki yeni tasarım uygulamalarının çoğunda FPS izolatörleri kullandığı görülmekte olup mevcut binalara çeşitli kauçuk izolatörlerin karma olarak uygulandığı da görülmektedir. İnşa edilenlerden hiçbirinin yüksek bina kabul edilebilecek tarzda olmadığı, narin bina davranışı sergilemediği bilinmektedir. Türkiye'de sismik izolatörlü hastane binalarının sayısının gün geçtikçe arttığı ve bunun da bu konuda uzmanlaşmayı beraberinde getirdiği aşikârdır. Bu konudaki uzmanlaşma, özellikle yeni inşa edilecek yüksek hastane binalarında sismik taban yalıtımlı kule tarzı yapılaşma ihtiyacına uygun çözümler bulunmasını ve dolayısıyla yeni arayışları da beraberinde getirecektir.

6. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Bu çalışmada çok katlı hastane binaları özelinde olmak üzere genel olarak yüksek binalarda özellikle taban izolatörlerinin kullanımının yaygınlaştırılması amacıyla mevcut uygulama örnekleri araştırılmıştır. Şimdiye kadar taban sismik izolasyonlu olarak inşa edilmiş olan yüksek binalarda, sismik taban izolatörleri uygulamalarında dikkat edilen hususların başında özellikle devrilmeyi engellemek adına farklı tip taban izolatörlerinin birlikte kullanılması ve ayrıca da deprem enerjisinin taşıyıcı sistem tarafından soğurulması adına üst yapıda diğer tip sismik izolatörlerin özellikle de çapraz tarzı damperlerin kullanılması gelmektedir. Ayrıca çevre aks çerçevelerindeki ve bina köşelerindeki kolonların ölü yükünün deprem çekme kuvveti dikkate alınarak hesaplandığı yine yapılan incelemelerde tespit edilmiştir. Bu hususlar çerçevesinde genel olarak taban izolatörü seçiminde kayıcı ve kurşun izolatörlerin birlikte kullanıldığı görülmektedir. Taban izolatörlerinin kayıcı ve yağlı damperlerle desteklenmiş

olduğu uygulamalar da vardır. Araştırmalar ve uygulamalar sismik izolasyonun ara katlarda da etkili olarak kullanılabilirdiği ve geniş açıklıkların geçilebildiğini göstermektedir.

Bu kapsamda izolatör ve damperlerin birlikte kullanımlarının geliştirilmesi, devrilmeyi önleyecek şekilde yüksek binalarda sismik izolasyon sistemlerinin kullanımı geliştirilebilecek, mimar ve mühendisler tasarımda kolaylık ve esneklik sağlanabilecektir. Alternatif kullanımların çoğaltılması halinde yüksek binalarda özellikle hastanelerde taban izolasyon sistemlerinin yaygınlaştırılabilmesi mümkün olabilecektir.

Bilgilendirme / Teşekkür

Bu çalışma Elif Bakkaloğlu tarafından İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Bilgisi Programı'nda Prof. Dr. Necdet Torunbalcı danışmanlığında hazırlanacak olan "Yüksek Binalarda Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanımı ve Yeni bir Sistem Önerisi" başlıklı tezinden üretilmiştir. Aksi belirtilmediği takdirde makalede kullanılan şekiller ve çizelgeler belirtilen yazarlar tarafından, belirtilen tarihte üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Bildirimi ve Sorumluluk Bildirimi

Bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur, olası bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Makalede belirtilen tüm görüş ve düşünceler yazarların sorumluluğundadır, bu konuda derginin sorumluluğu bulunmamaktadır.

Makalede yer alan görsellerin kullanımına dair yasal izinlerin alınması yazarların sorumluluğundadır, bu konuda derginin sorumluluğu bulunmamaktadır.

Yazar Katkı Bildirimi

Araştırmanın konusu ve yöntemi Elif Bakkaloğlu ve Prof. Dr. Necdet Torunbalcı tarafından tasarlanmış, içerik ve seçilen örneklere birlikte karar verilmiştir. Elde edilen bilgiler Prof. Dr. Necdet Torunbalcı danışmanlığı ile Elif Bakkaloğlu tarafından derlenip makale çalışması haline getirilmiştir.

KAYNAKLAR

Kitap

KOMODROMOS, P., 2000. *Seismic isolation for earthquake resistant structures*. UK: WIT Press.

NAEIM, F. ve KELLY, J., 1999. *Design of seismic isolated structures-from theory to practice*. New York: John Wiley.

SKINNER, R. I., ROBINSON, W. H. ve MCVERY, G. H., 1993. *An introduction to seismic isolation*. UK: Wiley.

CELEP, Z. ve KUMBASAR, N., 2004. *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. İstanbul: Kişisel Yayınlar.

Konferansta bildiri

ERDİK, M., 2007. Binalarda deprem yalıtımı ve ülkemizdeki uygulamalar. İçinde: 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, Beyoğlu. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi. s. 181-205.

SUEOKA, T., TORİİ, S. ve TSUNEKİ, Y., 2004. The application of response control design using middle-story isolation system to high-rise building. İçinde: 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1-6 Ağustos 2004, Vancouver.

TASAKA, M., MORİ, N., YAMAMOTO, H., MURAKAMİ, K. ve SUEOKA, T., 2008. Applying seismic isolation to buildings in Japan-retrofitting and middle-story isolation. İçinde: Bhatti, M. A., Foley, C. M., & Charney, F. A., 18th Analysis and Computation Specialty Conference, 24-25-26 Nisan 2008, Vancouver. Kanada: Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu. s. 1-11.

TSUNEKİ, Y., TORİ, S., MURAKAMİ, K. ve SUEOKA, T., 2008. Middle-story isolated structural system of high-rise building. İçinde: The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-18 Ekim 2008, Beijing. Çin: Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı. s. 1-8.

Dergide makale

BECKER, T. C., YAMAMOTO, S., HAMAGUCHİ, H., HİGASHİNO, M. ve NAKASHİMA, M., 2015. Application of isolation to high-rise buildings: a Japanese design case study through a US design code lens. *Earthquake Spectra*. 31 (3), s. 1451-1470.

ÇELİK, O. C., SUCUOĞLU, H. ve AKYÜZ, U., 2015. Forced vibration testing and finite element modeling of a nine-story reinforced concrete flat plate-wall building. *Earthquake Spectra*. 31 (2), s. 1069-1081.

DICLELİ, M. ve MILANI, A. S., 2015. MARTI and MRSD: newly developed isolation damping devices with adaptive hardening for seismic protection of structures. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*. 9 (6), s. 702-706.

KAZAMA, M. ve NODA, T., 2012. Damage statistics (Summary of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake damage). *Soils and Foundations*. 52 (5), s. 780- 792.

KİKUCHİ, T., TAKEUCHİ, T., FUJİMORİ, S. ve WADA, A., 2014. Design of seismic isolated tall building with high aspect-ratio. *International Journal of High-Rise Buildings*. 3 (1), s. 1-8.

KOMURO, T., NİSHİKAWA, Y., KİMURA, Y. ve İSSHİKİ, Y., 2005. Development and realization of base isolation system for high-rise buildings. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 3 (2), s. 233-239.

KUMANO, T., YOSHİDA, S. ve SABURİ, K., 2017. Structural design of Nakanoshima festival tower west that achieved high-grade seismic performance. *International Journal of High-Rise Buildings*. 6 (3), s. 217-226.

MASI, A., SANTARSİERO, G. ve CHIAUZZI, L., 2014. Development of a seismic risk mitigation methodology for public buildings applied to the hospitals of Basilicata region (Southern Italy). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 65, s. 30-42.

MURAMATSU, Y., NİSHİKAWA, I. KAWABATA, I., TAKAYAMA ve KİMURA, Y., 2001. Tensile property of large-sized natural rubber bearing. *AIJ Journal of Technology and Design*. (12), s. 53-56.

NAKAGAWA, K., SHİMAZAKİ D., YOSHİDA, S. ve OKADA, K., 2015. Application of seismic isolation systems in Japanese high-rise buildings. *CBUTH Journal*. 2, s. 36-40.

OGURA, K., KAWABATA, I., KOMURO, T., SOYA, K. ve TERASHIMA, T., 1997. Seismic response characteristics of high-rise buildings with base isolation system. *AIJ Journal of Technology and Design*. 3 (5), s. 47-51.

OKADA, K. ve YOSHIDA, S. 2014. Structural design of Nakanoshima festival tower. *International Journal of High-Rise Buildings*. 3 (3), s. 173-183.

PINARBAŞI, S. ve AKYÜZ, U., 2005. Sismik izolasyon ve elastomerik yastık deneyleri. *İMO Teknik Dergi*. 237, s. 3581-3598.

SHİMAZAKİ, D. ve NAKAGAWA, K., 2015. Seismic isolation systems incorporating with RC core walls and precast concrete perimeter frames-Shimizu Corporation Tokyo Headquarter. *International Journal of High-Rise Buildings*. 4 (3), s. 181-189.

İnternet kaynağı

GUİSASOLA, A., 2012. *How base isolation benefits the architectural design of hospital buildings* [çevrimiçi]. Erişim adresi: www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_3322.pdf [Erişim tarihi 11 Ekim 2017].

TORUNBALCI, N., 2004. *Seismic isolation and energy dissipating systems in earthquake resistant design* [çevrimiçi]. Erişim adresi: www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_3273.pdf [Erişim tarihi 12 Ekim 2017].

Tez

BAKKALOĞLU, E., 2018. *Hastane binalarında sismik izolasyon sistemlerinin kullanım kararının bina üretim sürecine etkileri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.

ÇAĞLAR, M. C., 2002. *Yapılarda taban izolasyonu sistemleri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.

ÇELİK, M., 2019. *Sismik taban yalıtımlı binaların modellenmesi, tasarımında karşılaşılan problemler ve pratik mühendislik çözümleri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gebze Teknik Üniversitesi.

DOĞRU, A., 2014. *Hastane binasının sismik izolatörlerle depreme dayanıklı tasarımı*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.

GÖKHAN, E., 2009. *Betonarme yapılarda izolatör kullanımının taşıyıcı sistem davranışına etkileri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.

KÖSEDAĞ, S. B., 2002. *Yapılarda sismik izolasyon*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi.

ÖZPALANLAR, C. G., 2005. *Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolasyon ve enerji sönmüleyici sistemler*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.

SAĞLAM, D., 2017. *Sismik izolatörlerin yüksek binalarda deprem davranışına etkisi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Biyografiler

Elif BAKKALOĞLU

2011-2015 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ)' Mimarlık Bölümünü tamamlamıştır. Ardından 2015-2018 yılları arasında İTÜ'de Proje ve Yapım Yönetimi alanında yüksek lisansını tamamladı. Master Tezi çalışmasını Hastane Binalarında Sismik İzolatör kullanımı üzerine yapmıştır. Doktorasını yine İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Yapı Bilimleri programında yapmaya devam etmektedir. Sismik izolasyon sistemleri ana çalışma alanı olup, İstanbul Medipol Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığında mimar olarak iş hayatına devam etmektedir.

Necdet TORUNBALCI

İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık bölümünde Profesörlük görevini yürütmektedir. Çalışma alanları kagir ve ahşap yapılar, betonarme yapılar ve deprem ile ilgilidir.