

Gökdelenlerde Alınan Deprem Önlemleri ve Sisam Depremi Bağlamında Folkart Kuleleri'nin İncelenmesi

Esra ÖZTÜRK*¹, Kutluğ SAVAŞIR²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, 35410, İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 35410, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 18.05.2021, Kabul / Accepted: 21.01.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Gökdelenler,
Deprem Yüğü,
30 Ekim 2020 Sisam
Depremi,
Sönümleyiciler,
Folkart Kuleleri

Özet: 30 Ekim 2020 tarihinde yaşanan, merkez üssü Sisam Adası olan 6,6 büyüklüğündeki depremin, yaklaşık 70 km mesafedeki Bayraklı ilçesinde neden olduğu hasar oldukça büyüktür. Buna karşın, depremde yıkılan binalara yaklaşık 500 metre mesafede bulunan Folkart Kuleleri depremi hasarsız atlattır. Araştırmanın amacı, bu depremi hasarsız atlatan Folkart Kuleleri'nde depreme karşı alınan önlemleri araştırmak ve dünya genelindeki yüksek yapılarda depreme karşı alınan önlemleri de örnekler üzerinden incelemektir. Aynı zamanda bu çalışma Bayraklı bölgesinde ileride yapılması planlanan gökdelenlerde depreme karşı alınması gereken önlemlere yönelik, mimarlık camiasında bir farkındalık yaratması amacıyla hazırlanmıştır. Çalışmada yer alan Folkart Kuleleri'nde yerinde yapılan incelemeler ile bilgiler toplanmış ayrıca belirlenen 6 gökdelenle ilgili literatürden elde edilen bilgiler analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Folkart'ta alınan deprem önlemlerinden bazılarının aktif deprem kuşağında bulunan diğer ülkelerdeki gökdelenlerde de alındığı saptanmıştır. Bu çerçevede Sisam Depremi'nden etkilenen Bayraklı, gökdelenler bölgesi olduğu için inşa edilmesi planlanan gökdelenlerde yanıl yüklerle karşı alınacak tasarım önlemleri oldukça önemlidir. Hazırlanan makale içerdiği tüm bu bilgilerle özgün değer taşımaktadır.

Earthquake Measures in Skyscrapers and Folkart Towers Analysis in the Context of Sisam Earthquake

Keywords

Skyscrapers,
Earthquake Loads,
30 October 2020 Sisam
Earthquake,
Dampers,
Folkart Towers

Abstract: An earthquake, its epicentre is approximately 70 km away from İzmir, damaged many buildings in the Adliye, Manavkuyu and Mansuroğlu neighbourhoods in Bayraklı district. However, Folkart Towers that is within the borders of the Adliye District survived this earthquake without any damage. In this research, the reasons why Folkart Towers survived this earthquake without damage were examined. The purpose is to search the earthquake measures taken in Folkart Towers that were not damaged in the Sisam Earthquake and to examine the earthquake measures taken in high-rise buildings around the world. Besides, this research was prepared in order to create an awareness in the architectural community for the measures to be taken against earthquakes in skyscrapers planned to be built in the future in the Bayraklı region. Interviews were held with the engineers of the Folkart Towers that is in the scope of the study and the findings obtained through on-site investigations were analysed and evaluated. The data collected by interview, observation and literature review were presented in a descriptive approach and tabulated in a conceptual framework. These data were interpreted and results were obtained. Some of the earthquake measures taken at Folkart Towers were also taken in skyscrapers in other active earthquake zones. So, design measures to be taken against lateral loads are very important in the skyscrapers planned to be built since Bayraklı is a skyscrapers region. This article has original value with all this information it contains.

*İlgili yazar: esra.ozt.94@gmail.com

1. Giriş

Türkiye, aktif deprem kuşağında bulunduğu için geçmişten günümüze kadar farklı büyüklüklerde birçok depremi yaşamıştır. Bunlardan biri de 30 Ekim 2020 tarihinde (Türkiye saati ile 14.51) merkez üssü Sisam Adası (İzmir Seferihisar Açıkları) olan AFAD verilerine göre 6,6; Kandilli Rasathanesi verilerine göre 6,9 büyüklüğündeki Sisam Depremi'dir. Deprem, merkez üssüne yaklaşık 70 km uzaklıktaki Bayraklı ilçesinin özellikle alüvyonlu zeminde gelişmiş olan üç mahallesinde (Adliye, Manavkuyu ve Mansuroğlu Mahallesi) hasara, can ve mal kayıplarına neden olmuştur [1]. Adalet Mahallesi genelinde Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü tarafından yaptırılan ilk hasar tespitine göre; bir yıkık, on bir acil yıkılacak, dokuz ağır hasarlı ve yirmi üç adet de orta hasar görmüş yapı mevcuttur, Folkart Kulelerinin hiç hasar görmediği belirlenmiştir [2].

Bayraklı ilçesinin Adalet Mahallesi, gökdelenler bölgesi olarak belirlendiği için bu alanda inşa edilmiş ve inşa aşamasında olan çok sayıda yüksek yapı mevcuttur. Yüksek yapıların tasarım aşamasında, yanal yükler olan rüzgâr ve deprem yükleri önemli birer kriterdir. Her ikisi için de yükseklik arttıkça artan bir yanal yük karşımıza çıkar ki bu da yüksek yapıların konforunu etkilemektedir. Özellikle rüzgâr yüklerinin, yüksek yapılara sürekli etki ettiği durumda üst katlardaki kişiler için dalgalı bir denizde yolculuk yapan bir gemi hissi yaratabilir ve bu durum mide bulantılarına neden olabilir. Bu durumun yaşanmaması için çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu kapsamda Bayraklı'da inşa edilmiş en eski ikiz kuleler olan Folkart Kuleleri incelenmiş ve 30 Ekim 2020 Depremi'nde neden hasar almamış olabileceğine yönelik çıkarımlarda bulunulmuştur. Dünya genelinde literatür taraması da yapılarak, mega gökdelenlerde alınan deprem önlemleri irdelenmiştir.

Merkez üssü Sisam Adası olan deprem, İzmir'in Bayraklı ilçesinde birçok binada hasara, can ve mal kaybına neden olmuştur. Bu bölgedeki 7 ila 10 katlı betonarme binalarda ağır hasarlar ve yıkımlar olmasına rağmen, yıkılan Rıza Bey Apartmanı'na yaklaşık 500 metre, ağır hasar alan Adliye Ek Binalarına yaklaşık 250 metre mesafede bulunan Folkart Kuleleri depremi hasarsız atlattır. Folkart

Kuleleri'nin depremi hasarsız atlattırmasını sağlayan nedenlerin araştırılması, makalenin problemini oluşturmaktadır.

Yaşanan deprem, Bayraklı bölgesindeki 7-10 kat arasındaki birçok binayı yıkıp, birçoğuna da ağır ve orta hasar vermişken, Folkart Kuleleri'nin depremi hasarsız olarak atlattırmasının arkasındaki nedenlerin araştırılması; dünyada genelinde deprem kuşağında bulunan diğer gökdelenlerde alınan önlemlerin literatürden taranıp analiz edilmesi ve elde edilen bulguların Bayraklı'da yapılması planlanan yeni gökdelenlerin tasarım aşamasında mimarlara yol gösterici nitelikte olması çalışmanın asıl amacıdır.

Araştırmanın kapsamı Bayraklı'da bulunan en yüksek ve en eski gökdelen olan Folkart Kuleleri ile deprem kuşağında bulunan ülkelerde tasarlanmış altı adet mega gökdelen örneğiyle sınırlandırılmıştır. Bu kapsamda Folkart Kuleleri'nde depreme karşı alınan teknolojik önlemler ile dünyanın farklı yerlerinde inşa edilmiş olan mega gökdelenlerde alınan deprem önlemleri araştırılmış ve bu yöntemler analiz edilerek değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Gökdelenler ve maruz kaldıkları yanal yükler (deprem ve rüzgâr yükleri), yüksek yapıların varoluşundan beri üzerinde düşünülen ve çözüm bulmaya çalışılan konulardır. Bu kapsamda gökdelenlerin maruz kaldıkları yanal yüklere karşı tasarım aşamasından itibaren alınan önlemlere dair yapılan çalışmalar araştırılmış ve dünyanın farklı yerlerinde hazırlanan yayınlara ulaşılmıştır [3-20]. Tablo 1'de verilen yayınlar arasında İzmir'de inşa edilen gökdelenlerin sürdürülebilirlik ya da cephe tasarımları kapsamında çalışmalar mevcuttur. Folkart Kuleleri özelinde ise temel betonu uygulaması ve jeofizik yöntemlerle risk belirlenmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Sisam Depremi ya da yanal yüklerden biri olan deprem yüklerine karşı alınan önlemler özelinde bir çalışma mevcut değildir. Bu açıdan bakıldığında da tarafımızdan hazırlanan makale, özgün bir değere sahiptir. Tablo 2'de kronolojik olarak verilen yayınlar arasında Folkart Kuleleri ve Sisam Depremi ile ilgili bir çalışma mevcut değildir. Bu açıdan yazılan makale özgün bir değere sahiptir.

Tablo 1. Gökdelenler ve Folkart Kuleleri Konularıyla İlgili Yapılan Yayınlar

Yazar	Tarih	Çalışma Konusunun Başlığı
[3]-Öner, A.C. & Pasin, B.	2015	Emerging Towers in Bayraklı: Sustainability as a Branding Strategy or a Tool for Local Development?
[4]-Öziçer, S.	2016	Jeofizik Yöntemlerle Riskli Yapıların Belirlenmesi ve İzmir Örneği
[5]-Demircan, M.M.	2016	Sustainability in Office Environments
[6]-Karakız, C.	2017	The "Manhattan" Of İzmir? Folkart Towers And Urban Transformation
[7]-Fidan, S.Ö. & Güven, S.S.	2019	Yüksek Yapılarda Cephelerin Taşıyıcı Sistemle Olan İlişkisinin İncelenmesi ve İzmir Yüksek Yapıları Üzerine Bir Araştırma
[8]-Gündüz, A. & Savaşır, K.	2019	Criticising (Un)Sustainable Skyscrapers:The Case Of Folkart Towers
[9]-Kadiroğlu, İ. Öz, E. Ramyar, K. Ute A.	-	Folkart Towers İnşaatı Temel Betonu İmalatı ve Uygulaması

Tablo 2. Gökdelenler, Yanal Yükler ve Sönümleyiciler Konularıyla İlgili Yapılan Yayınlar

Yazar	Tarih	Çalışma Konusunun Başlığı
[10]-Higashino, M. Aizawa, S. Yamamoto, M. & Toyama K.	1998	Application of Active Mass Damper System and Earthquake and Wind Observation Results
[11]-Sev A.	2001	Türkiye ve Dünya'daki Yüksek Binaların Mimari Tasarım ve Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi
[12]-Mir M.A.	2001	Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jinmao
[13]-Akıncıtürk, N.	2003	Yapı Tasarımında Mimarın Deprem Bilinci
[14]-Aldemir, Ü. & Aydın, E.	2005	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar
[15]-Kourakis, I.	2007	Structural Systems and Tuned Mass Dampers of Super-Tall Buildings: Case Study of Taipei 101
[16]-Günel, M.H. & Ilgın H.E.	2010	Yüksek Binalar: Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form
[17]-Pramod, S.D.	2018	Use of Dampers in Vertical cities: Effective Method to Control Seismic Vibrations
[18]-Lago, A. Trabucco, D. & Wood, A.	2019	Damping Considerations in Tall Buildings
[19]-Özcan, U. Duran, G. & Erol I.	2019	Çok Katlı Yapılarda Betonarme Döşeme Sistemleri / İstanbul Örneği
[20]-Alhaddad, W. Halabi, Y. Xu, H. & Lei, H.G.	2020	A comprehensive introduction to outrigger and belt-truss system in skyscrapers

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, nitel araştırmada veri analizi yöntemlerinden betimsel analiz ve içerik analizi yöntemleri kullanılmıştır. Betimsel analiz, toplanan verilerin doğrudan açıklanması ya da kavramsallaştırılarak bu kavramlar arasında neden-sonuç ilişkisi kurulması şeklinde açıklanmaktadır. İçerik analizi ise betimsel analizin bir adım ötesine geçilerek bu neden-sonuç ilişkisinin araştırmacı tarafından yorumlanması ilkesine dayanmaktadır [21].

Araştırma için yerinde incelemeler yapılmış, ilgili inşaat mühendisiyle görüşmeler yapılmış ve teknik detaylar hakkında bilgiler alınmıştır. Görüşme, gözlem ve literatür taranması ile toplanan veriler betimsel bir yaklaşımla sunulmuş ve kavramsal çerçevede tablo haline getirilmiştir. Tabloda araştırma kapsamındaki gökdelenlerde depremlere karşı alınan önlemler bir arada bulunmaktadır. Daha sonra bu veriler yorumlanarak gelecekte Bayraklı'da yapılması planlanan gökdelenlere öneriler geliştirilmiştir.

2.1. Deprem Yüklerine Karşı Alınan Önlemler

Bir yapının inşası için, deprem yüklerine karşı alınabilecek önlemler yapının oturduğu zeminin etüdü ile başlamaktadır. Zeminin yapının ağırlığını emniyetli bir şekilde karşılayamadığı durumda, zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmalıdır. Nasıl ki bir ağacın kökü, neredeyse toprağın üstündeki gövdesi kadar toprağın altında da devam ediyorsa, bir gökdelenin de temel sistemi zeminin derinliklerine doğru sağlam zemine ulaşana kadar devam etmelidir. Bayraklı'nın alüvyonlu bölgelerinde olduğu gibi sağlam zemine ulaşamıyorsa sürtünme kazıkları çakılarak ya da farklı yöntemlerle zemin dayanımı artırılmalıdır. Aksi takdirde zeminde sıvılaşmanın gerçekleştiği durumda yapıda farklı oturmalarından kaynaklı hasarlar veya bir yana doğru eğilme durumu gerçekleşebilir.

Yapıların yüksekliği, kat sayısı ve hacmiyle yüksek binalarda uygulanan plan şemasında simetri önemli bir faktördür. Kütleli simetrinin yanında taşıyıcı elemanların yerleşimi bakımından da simetri tercih edilmelidir [22]. Simetrinin önemli son deprem yönetmeliklerinde de vurgulanmaktadır. Dünya genelinde uygulanmış olan birçok gökdelen de simetrinin uygulandığını görmekteyiz.

Yüksek bir binanın depremde ayakta kalabilmesi, binanın deprem enerjisini tüketim yeteneğine, yani sünekliliğe (düktilite) bağlıdır. Deprem enerjisinin yapı elemanlarının sünek davranışı, plastik deformasyonu ile tüketilmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesidir. Yüksek yapılarda sünekliliği desteklemek için çelik malzeme kullanılmaktadır. Fakat bazı yüksek yapılarda gelen sismik yük tam olarak emilemez ve yapının taşıyıcı sistemine zarar verebilir. Bu duruma engel olup deprem enerjisinin tüketilmesi için kullanılan bazı yöntemler vardır. Bunlar;

- Sismik taban izolatör sistemleri,
 - Pasif sönümleme sistemleri ve
 - Aktif sönümleme sistemleri
- şeklinde sıralanabilir.

2.1.1. Sismik Taban İzolatör Sistemleri

Yapıların tabanına yerleştirilen izolatör çeşididir. Yapı sistemine ulaşan deprem enerjisinin büyük bir kısmının emilmesini sağlayıp, taşıyıcı sistemin hasar görmesini engellemektedir. İzolatörlerde büyük oranda, yapıda küçük oranda yer değiştirmeler görülmektedir. Genellikle kamusal yapılarda tercih edilen ve pahalı olan bir sistemdir.

2.1.2. Pasif Sönümleme Sistemleri

Yapıların üst kısmına yerleştirilen, herhangi bir enerji kaynağı tarafından aktive edilmeden sismik etkilerle hareket eden sönümleme sistemleridir. Üst yapıya ulaşan deprem enerjisi teknolojik aletlerle tüketilmektedir [23]. En çok tercih edilen pasif sönümleme sistemleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Ayarlı Kütle Sönümleyici
- Ayarlı Likit Sönümleyici
 - Ayarlı Akışkan Sönümleyici
 - Ayarlı Likit Kolon Sönümleyici [18].

2.1.3. Aktif Sönümlenme Sistemleri

Bu sistem, yapıya yerleştirilmiş sönümleyicilerin kullanımında enerji kaynağı ve bilgisayar kontrollü uyarıcı gerektirdiği için aktif olarak kabul edilmektedir. Yapının üst kısmına yerleştirilen aktif sönümleyiciler, yapıya gelen deprem enerjisini sönümleyip binanın salınımlarını azaltmaktadır.

- Aktif Kütle Sönümleyici
- Aktif Çeşitli Sertlik Sönümleyicileri [18].

3. Bulgular

Makale kapsamında, dünya genelinde aktif deprem kuşağında bulunan ülkelerdeki mega gökdelenlerde alınan deprem önlemlerine yönelik araştırma yapılmıştır. Sismik bölgelerde ve yakın çevrelerinde inşa edilmiş olan 6 adet mega gökdelen deprem yüklerine karşı alınan önlemler kapsamında değerlendirilmiştir. Bu gökdelenler Malezya'daki Petronas Kuleleri, Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki Burj al Arab, Çin'deki Jin Mao Kulesi, Tayvan'daki Taipei 101, Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki Princess Kulesi ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki 432 Park Avenue'dur. Ayrıca Sisam Depremi sırasında hasar almayan Folkart Kuleleri'nin deprem önlemleri açısından da değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.1. Petronas Kuleleri

Tablo 3. Petronas Kuleleri'nin Künyesi

Mimarı	: Cesar Pelli Ass.
Yapım Yılı	: 1997
Yapım Yeri	: Kuala Lumpur, Malezya
Yüksekliği	: 452 metre
Yapım Sistemi	: Betonarme Karkas
Deprem Önlemi:	Ayarlı Kütle Sönümleyici

Petronas Kuleleri, Mimar Cesar Pelli tarafından tasarlanıp, 1997 yılında Malezya'da inşa edilmiş olan 452 metre yüksekliğiyle günümüzde dünyanın en yüksek ikiz kuleleridir [Tablo 3]. Betonarme karkas taşıyıcı sisteme sahip olan Petronas Kuleleri, iki kule ve aralarındaki bir çelik köprüden oluşmaktadır. 41. ve 42. katlar arasında bulunan ve her iki kuleye de rijit bir şekilde bağlanmayan bu köprü, yoğun rüzgâr ve deprem durumlarında iki kuleden de ayrı hareket edebilmektedir. Köprü ayaklarının altında, yerden yaklaşık 150 metre yukarıda ayarlı kütle sönümleyici mevcuttur. Yanal yükün etkisinde kaldığı zaman köprünün hareket edebilmesi enerjinin soğurulmasını sağlayıp yapıdaki salınımları kontrol altında tutulmaktadır [Şekil 1].



Şekil 1. Petronas Kuleleri ve Çelik Köprüsü [24]

3.2. Burj Al Arab

Tablo 4. Burj Al Arab'ın Künyesi

Mimarı	: Tom Wright
Yapım Yılı	: 1999
Yapım Yeri	: Dubai, BAE
Yüksekliği	: 321 metre
Yapım Sistemi	: Betonarme Karkas
Deprem Önlemi:	Ayarlı Kütle Sönümleyici

Burj al Arab, Mimar Tom Wright tarafından tasarlanıp, 1999 yılında BAE'nde inşa edilmiş olan 321 metre yüksekliğindeki, günümüzde dünyanın en lüks otellerinden birisidir [Tablo 4]. Burj Al Arab, kıydan 280 metre açıkta yapay bir ada üzerine inşa edilen bir oteldir. Basra Körfezi'nin ağır rüzgâr yüklerinin etkileri ve hareketli fay hattına yakınlığıyla birçok yanal yüke maruz kalmaktadır. Çelik diyagonallerle güçlendirilen dış iskelet, taşıyıcı sisteme dayanıklılık kazandırmaktadır. Dış iskelette 11 adet ayarlı kütle sönümleyici mevcuttur [Şekil 2 ve Şekil 3]. Bu önlem sayesinde yapıya gelen yanal yükler sönümlenmekte ve salınımlar azaltılmaktadır.



Şekil 2. Burj Al Arab [25]



Şekil 3. Yapının Dış İskeletindeki Sönümleyiciler [26]

3.3. Jin Mao Kulesi

Tablo 5. Jin Mao Kulesi'nin Künyesi

Mimarı	: Adrian Smith
Yapım Yılı	: 1998
Yapım Yeri	: Pudong, Çin
Yüksekliği	: 348 metre
Yapım Sistemi	: Karma
Deprem Önlemi:	Ayarlı Akışkan Sönümleyici

Jin Mao Kulesi, Mimar Adrian Smith tarafından tasarlanıp, 1998 yılında Çin'de inşa edilmiş olan 348 metre yüksekliğinde yapıldığı dönemde Çin'in en yüksek gökdelenidir [Şekil 4]. Jin Mao Kulesi, betonarme bir öz sistemi ve çelik kolonlardan oluşmaktadır. Yapıda çelik kullanımı binanın yanal yüklere karşı dayanımının artmasını sağlamaktadır. Deprem yüklerine karşı ise 57. katında bulunan, pasif enerji sönümleyici gibi çalışan bir havuz bulunmaktadır. Havuz, pasif enerji sistemlerinden ayarlı akışkan sönümleyici sınıfına dahildir [Tablo 5].



Şekil 4. Jin Mao Kulesi [27]

3.4. Taipei 101

Tablo 6. Taipei 101'in Künyesi

Mimarı	: C.Y. Lee & C.P. Wang
Yapım Yılı	: 2004
Yapım Yeri	: Taipei, Tayvan
Yüksekliği	: 509 metre
Yapım Sistemi	: Karma
Deprem Önlemi:	Esnek Kirişler ve Ayarlı Kütle Sönümleyici

Taipei 101, Mimar Chu-Yuan Lee ve C. P. Wang tarafından tasarlanıp, 2004 yılında Tayvan'da inşa edilmiş olan 509 metre yüksekliğinde, yapıldığı dönemde dünyanın en yüksek gökdelenidir [Tablo 6]. Taipei 101'de, deprem yüklerine karşı taşıyıcı sistem tasarımında önlemler alınmış; esnek bir taşıyıcıyla inşa edilmiştir. Rijit 36 adet kolonun etrafını saran esnek kiriş elemanların oluşturduğu taşıyıcı sistem, yapının inşası sırasında meydana gelen 7,3 büyüklüğünde depremle sarsılmıştır. Yapısal bir hasar almayan yapının depreme dayanıklılığı 1999 Depremi ile görülmüştür. Yapı sürekli hareketli olan bir sismik bölgede bulunduğundan ek deprem

önlemleri de alınmıştır [Şekil 5]. Yapının 87. kat ile 92. katları arasına konumlandırılmış dev küre şeklindeki bir ayarlı kütle sönümleyici bulunmaktadır [Şekil 6]. Yanal yüklere karşı salınım yaparak enerjinin sönümlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5. Taipei 101 [28]



Şekil 6. Taipei 101'deki Sönümleyici [29]

3.5. Princess Kulesi

Tablo 7. Princess Kulesi'nin Künyesi

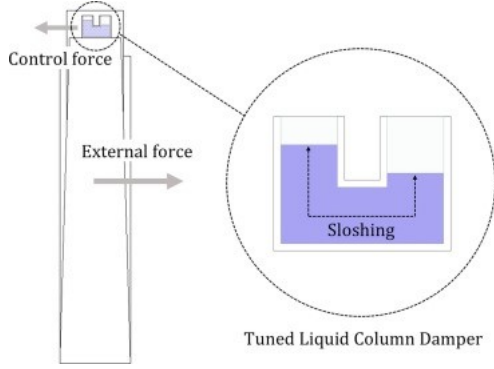
Mimarı	: Adnan Saffarini
Yapım Yılı	: 2012
Yapım Yeri	: Dubai, BAE
Yüksekliği	: 413 metre
Yapım Sistemi	: Karma
Deprem Önlemi:	Esnek Kirişler ve Ayarlı Likit Kolon Sönümleyici



Şekil 7. Princess Kulesi [30]

Princess Kulesi, Mimar Adnan Saffarini tarafından tasarlanıp, 2012 yılında BAE'nde inşa edilmiş olan

413 metre yüksekliğinde, yapıldığı dönemde dünyanın en yüksek konutu unvanını elde eden bir gökdelenidir [Tablo 7]. Princess Kulesi'nde ağırlığı azaltmak için betonarmenin yanında çelik sistem de kullanılmıştır. Karma sistemle inşa edilen bu yapıda, taşıyıcı sisteminde kullanılan çelik nedeniyle binada esneklik sağlanmıştır. Yanal yüklere karşı da pasif sönümleyici sistem kullanılmıştır [Şekil 7]. Yapının 98. katına yerleştirilen ayarlı likit kolon sönümleyici, salınımı azaltıp enerjiyi sönümlemektedir. [Şekil 8].



Şekil 8. Yapıdaki Ayarlı Likit Kolon Sönümleyici [31]

3.6. 432 Park Avenue

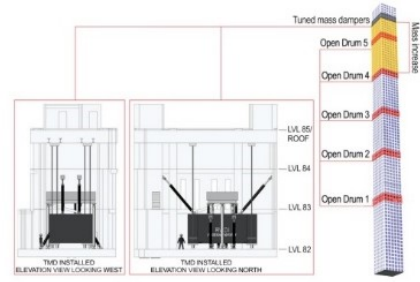
Tablo 8. 432 Park Avenue Kulesi'nin Künyesi

Mimarı	: Rafael Vinoly & SLCE
Yapım Yılı	: 2015
Yapım Yeri	: New York, ABD
Yüksekliği	: 426 metre
Yapım Sistemi	: Betonarme Karkas
Deprem Önlemi:	Esnek Kirişler ve Ayarlı Kütle Sönümleyici

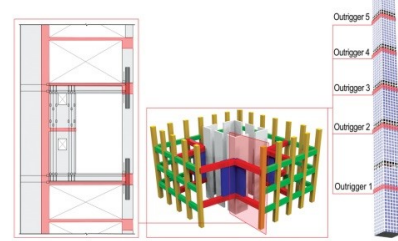
432 Park Avenue Kulesi, Mimar Rafael Vinoly & SLCE tarafından tasarlanıp, 2015 yılında ABD'nde inşa edilmiş olan 426 metre yüksekliğinde, günümüzde dünyanın en yüksek konutu unvanını elde eden bir gökdelenidir [Tablo 8]. 432 Park Avenue, betonarme malzemeden inşa edilmiştir [Şekil 9]. Yanal yüklere karşı, yapının 82. ve 85. katları arasında ayarlı kütle sönümleyici yerleştirilmiştir. Aynı zamanda outrigger sistemle desteklenmiş yapı, depreme karşı da dayanıklı hale getirilmiştir. Bu sistemler yapıda salınımın azaltılıp taşıyıcı sisteme zarar gelmeden yüklerin sönümlemesi sağlar [Şekil 10 ve Şekil 11].



Şekil 9. 432 Park Avenue [32]



Şekil 10. Yapıdaki Ayarlı Kütle Sönümleyici [33]



Şekil 11. Yapıdaki Outrigger Sistem [33]

3.7. Folkart Kuleleri

Tablo 9. Folkart Kuleleri'nin Künyesi

Mimarı	: Yağcıoğlu Mimarlık
Yapım Yılı	: 2014
Yapım Yeri	: Bayraklı-İzmir, Türkiye
Yüksekliği	: 200 metre
Yapım Sistemi	: Betonarme Karkas
Deprem Önlemi:	Esnek Kirişler

Folkart Kuleleri, Yağcıoğlu Mimarlık tarafından tasarlanıp, 2014 yılında İzmir, Türkiye'de inşa edilmiş olan 200 metre yüksekliğinde, İzmir'in en yüksek ikiz kuleleridir [Tablo 9] [Şekil 12 ve Şekil 13].

30 Ekim 2020'de yaşanan ve merkez üssü Sisam Adası olan deprem, İzmir'in Bayraklı ilçesinde birçok hasara neden olmuştur. Birçok yapıda yıkımın yanı sıra ağır, orta ve az olmak üzere hasar tespit edilmiştir. Ağır hasarlı ya da yıkık 124, orta hasarlı da 119 bina bulunmaktadır [1]. Yapılan incelemelerde hasarın 7-10 katlı betonarme karkas yapılar da yoğunlukla görüldüğü tespit edilmiştir. Bu durumun birçok nedeninden birisi rezonans olayıdır. Rezonans, sallanan bir cismin doğal periyoduna uygun kuvvetlerle zorlanması sonucu cismin ivmesini 4 - 5 katına çıkarır. [34].



Şekil 12. Folkart Kuleleri [Yazar Arşivi]



Şekil 13. Yapının İnşaat Aşaması [35]

Folkart Kuleleri'nin inşası sırasında Bayraklı bölgesinde yüksek yapı tasarımı daha yeni başladığı için, yönetmeliğe depremin etkisi altında yapı-zemin etkileşimiyle ilgili ek maddelerin (teknik önermeler) yazılması gerekmiştir [36]. Bayraklı bölgesi dolgu, balçık ve alüvyondan oluşan yumuşak zemin yapısına sahiptir. Deprem dalgaları (S dalgaları) genellikle yukarı doğru zayıflayan zemin tabakalarının içinden geçerek ilerlerken genlikleri de değişime uğrar. Sağlam zeminlerde bu değişim önemli olmaz fakat zayıf zeminlerde ivmelerin genlikleri artar ve zemin büyütmesi oluşmuş olur [37]. Bu bölgede oluşan zemin büyütmesiyle 7-10 katlı yapılar rezonans etkisine girmiştir ve ağır hasarlar almıştır. Rıza Bey Apartmanı çevresindeki yıkımın olduğu bölge ile Folkart Kuleleri arasındaki mesafe en fazla 500 metre olup kuleler bu depremi hasarsız atlattır. Bu kapsamda Folkart Kuleleri'nde alınan deprem önlemleri 8 Ocak 2021 tarihinde yerinde incelenmiştir.

Folkart Kuleleri, her biri 44 katlı olan iki kuleden oluşmaktadır. Tasarım aşamasında göz önüne alınan en önemli etken zemin olmuştur. Bayraklı'nın denize çok yakın olan yumuşak zemininde yüksek yapı inşa edilebilmesi için öncelikle zemin iyileştirmesi yapılmıştır. Yapıya etki eden yanal kuvvetlere karşı yapı-zemin etkileşimi çerçevesinde kazık temel uygulaması yapılmıştır. Folkart Kuleleri'nde yer altında 60 metre derinliğe inen sürtünme kazıkları, 3 metre yüksekliğinde radye temel ve iki adet bodrum katı bulunmaktadır. Kule 1 ve Kule 2'de, sürtünme kazığı işlevinde baret kazık ve fore kazık kullanılmıştır. Folkart Kuleleri'nde baret kazıkların tercih edilmesinin nedeni, dikdörtgen yapısından dolayı sürtünme alanının daha fazla olmasıdır. Kule 1 ve Kule 2'nin temelinde kullanılan derin temellere ilişkin bilgi Tablo 10'de verilmektedir.

Yapı, kazık temel ve zemin etkileşimi kapsamında ek olarak baret ve fore kazıkların çevresinde jet-grout uygulaması da yapılmıştır. Jet-grout uygulaması,

yapının radye temel seviyesinden açılan silindirik delginin yüksek basınçlı çimento şerbetiyle doldurulması işlemidir [38]. Oluşan jet-grout kolonlarının amacı oturmayı kontrol etmek, sıvılaşma potansiyelini azaltmak, taşıma ve dayanım gücünü artırmaktır. Kazıkların çevresine yapılan bu uygulama ile 80 cm çapında jet-grout kolonları oluşturulmuştur. Çakılan baret temellerden birisi üzerinde yükleme deneyi yapılmış, statik hesapta en fazla 1800 ton yük gelmesi öngörülürken, yapılan yükleme deneyi sonucunda (O'cell Deneyi) 3900 ton yüke karşı dayanımı olduğu saptanmıştır. Taşıyıcı sistem, yeterli rijitlikte perdelerden oluşan bir çekirdek perde grubu ile perde grubunun etrafında betonarme kiriş ve kolonlardan oluşan bir çerçeve sistemi şeklindedir. Yapının batı cephesindeki bombeli kısım ise çelik profillerle oluşturulmuştur. Yapıda, kayar kalıp teknolojisi kullanılmıştır. Yapının kolonlarında ek olarak çelik I profiller bulunmaktadır ve bu, esneklik ve dayanıklılık kriterlerini desteklemektedir [39].

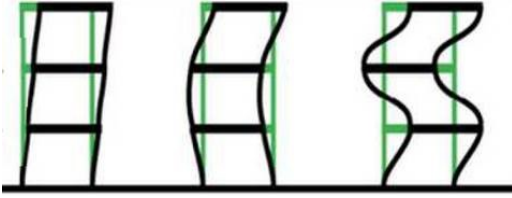
Folkart Kuleleri kullanıcıların konforunun desteklenmesi, bunun yanında rüzgâr ve deprem yüklerine dayanım sağlanması prensipleri çerçevesinde tasarlanmıştır. Yanal yüklerin etkisinin azaltılabilmesi için zemin iyileştirme ve esnek taşıyıcı sistemin yanında ek önlemler de alınmıştır. Yapıya etki eden rüzgâr yükleri, yerden yükseldikçe artmaktadır. Bu durum, üst katlarda rüzgâr kaynaklı salınım etkisi oluşması riskini doğurmaktadır. Bu kapsamda Folkart Kuleleri, tasarım aşamasında rüzgâr testlerine tabi tutularak projelendirilmiştir [35]. Aynı zamanda 44. katta dahi gündelik hayatı etkileyecek bir salınım etkisinin olmadığı saptanmıştır.

Yapıda, rüzgârın yanında deprem yüklerinin de sönümlenmesi için 'Outrigger Sistem' kullanılmıştır. Outrigger sistem merkezdeki perde ile dış çeperdeki kolonlar arasında etkileşimi sağlayan, kafes çelik çubuklardan oluşan yapısal elemanlardır. Özellikle yapılarda, yanal yüklere karşı eğilme rijitliğini artırmaktadır. [40].

Yanal yükler altında gökdelenlerde bir salınım oluşmaya başlar. Teorik olarak gökdelenin yüksekliği arttıkça gökdelenin farklı katlarında zıt yönlü deplasman hareketi görülmeye başlar [Şekil 14]. Folkart Kuleleri'nde bu deplasmanların 18. ve 29. katlarda olması öngörüldüğü için bu katlar tesisat katı olarak düzenlenmiş ve her kulede 8 adet outrigger sönümlenme sistemi kurulmuştur [Şekil 15 ve Şekil 16].

Tablo 10. Folkart Kuleleri'nin Temelinde Kullanılan Kazık Çeşitleri [35]

Açıklama	Birim	Kule-1		Kule-2	
		Baret Kazık	Fore Kazık	Baret Kazık	Fore Kazık
Ebat	cm	80x280	100	80x280	100
Adet	adet	86	60	86	57
Ortalama Derinlik	metre	50,68	52,55	51,36	51,49



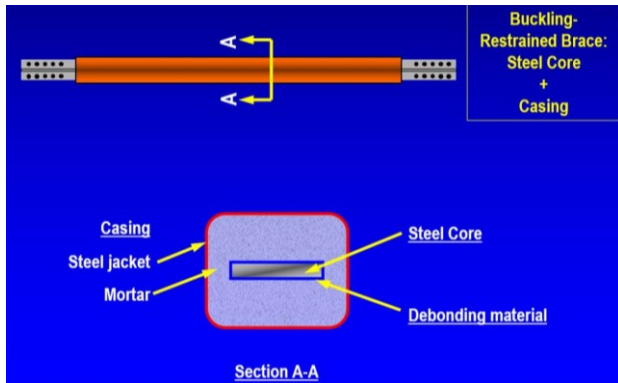
Şekil 14. Yanal Yüklerin Etkisiyle Oluşan Deplasmanlar [35]



Şekil 15. Outrigger Sönümlenme Sistemi [35]



Şekil 16. Kule1 Outrigger Sönümlenme Sistemi [Yazar Arşivi]



Şekil 17. Outrigger Sönümlenme Çapraz Kiriş Detayı [35]

Outrigger sönümlenme sistemi, dıştan çelik kaplamalı beton dolgusu olan, içinde ise sönümlenmeyi sağlayan çelik özün bir sistemdir. Dolgu ile çelik öz arasında ayırıcı bir katman da bulunmaktadır [Şekil 17]. Deprem anında gelen yan yük, çelik öz tarafından sönümlenir ve bu sırada çelik özde gerçekleşen yer değiştirme ile beton dolgu malzemede deformasyon oluşur ve enerji sönümlenir. Bu şekilde yan yük yapı elemanlarına zarar vermeden sönümlenmiş olur.

Deformasyondan sonra kirişte dolgu malzemenin bulunduğu parça çıkarılıp değiştirilebilir. 30 Ekim 2020'de gerçekleşen 6,6 büyüklüğündeki depremde - outrigger sönümlenme sistemini harekete geçirecek bir büyüklükte deprem olmadığı için- çapraz kirişlerde herhangi bir deformasyon saptanmamıştır.

4. Değerlendirme

Tablo 11'de belirtildiği üzere gökdelenlerde deprem yüklerine karşı alınan önlemler çeşitlilik göstermektedir. Her gökdelende birden fazla deprem önlemi alındığı görülmektedir. Folkart Kuleleri'nin tasarımında da önem verilen bir kriter olan esnek taşıyıcı sistemin, incelenen tüm gökdelenlerde de uygulandığı Tablo 11'de görülmektedir. Özellikle gökdelenlerde yapıya gelebilecek yan yüklerin sönümlenebilmesi için esnek bir tasarım önemlidir. Bayraklı bölgesinde bundan sonra yapılması planlanan gökdelenlerde de kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Taban izolatörlerinin, incelenen hiçbir gökdelende uygulanmadığı saptanmıştır. Yapılan literatür taramalarında, taban izolatörlerinin kamusal, geniş taban alanına sahip ve yüksek olmayan yapılarda tercih edildiği görülmektedir. Bu nedenle de gelecekte yapılması planlanan gökdelenlerde de uygulanması gerekli görülmemiştir.

Deprem yüklerine karşı alınan önlemlerden olan outrigger sistem, Jin Mao Kulesi, Taipei 101 ve 432 Park Avenue Kuleleri'nde tercih edilirken Folkart Kuleleri'nde de uygulaması yapılmış bir sistemdir. Outrigger sistem yan yük olan deprem yüklerine karşı etkili olduğu gibi bir diğer yan yük olan rüzgâr yüklerine karşı da etkili bir sistemdir.

Deprem yüklerine karşı en çok kullanılan sistem pasif sönümlenicilerdir. Ayarlı kütle sönümlenici Petronas Kuleleri, Burj al Arab, Taipei 101 ve 432 Park Avenue Kuleleri'nde uygulanırken, ayarlı akışkan sönümlenici Jin Mao Kulesi'nde ve ayarlı likit kolon sönümlenici Princess Kulesi'nde uygulanmıştır. Ayarlı kütle sönümleniciler, özellikle 2000 yılından sonra yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış olan bir yöntemdir. Asya Kıtası'nda yaygın olarak kullanılan bu yöntem, deprem yükleri için tasarlanmış olsa da rüzgâr yükleri için de etkilidir. Tablo 11'de pasif sönümlenici sistemlerin mega gökdelenlerde kullanımının yaygın olduğu görülmesine karşın, yüksekliği görece az olan Bayraklı bölgesinde yapılacak yeni gökdelenler için kullanımı gerekli görülmemektedir.

İncelenen yedi gökdelen arasında aktif sönümlenme sistemlerinin uygulanmadığı saptanmıştır [Tablo 11]. Bu sistemin alternatifi olan deprem önlemlerinin uygulandığı saptanmıştır. Aktif sönümlenme sistemlerinin üretim ve bakım maliyetinin yüksek olması tercih edilmeme nedeni olarak görülmektedir.

Tablo 11. Gökdelenlerde Deprem Yüklerine Karşı Alınan Önlem Türleri

Gökdelenler	Deprem Yüklerine Karşı Alınan Önlemler						
	Esnek Taşıyıcı Sistem	Taban İzolatörleri	Outrigger Sistem	Pasif Sönümleyici Sistem			Aktif S. S.
				Ayarlı Kütle Sönümleyici	Ayarlı Likit S.		Aktif K. S./ Aktif Ç. S. S.
				A. A. S.	A. L. K. S.		
Petronas Kuleleri,	x			x			
Burj Al Arab,	x			x			
Jin Mao Kulesi,	x		x		x		
Taipei 101,	x		x	x			
Princess Kulesi	x					x	
432 Park Avenue,	x		x	x			
Folkart Kuleleri	x		x				

5. Sonuç

30 Ekim 2020'de yaşanan AFAD verilerine göre 6,6; Kandilli Rasathanesi verilerine göre 6,9 büyüklüğündeki deprem Bayraklı'da 7-10 kat arası konutlarda yıkıcı etkilere neden olmuş, buna karşın bölgede bulunan 44 katlı Folkart Kuleleri'ne yapısal hasar vermemiştir. Yapılan incelemeler sonucu, gerçekleşen deprem ile yapının maruz kaldığı yanal yükün Folkart Kuleleri'nde uygulanmış olan outrigger sistemi harekete geçirecek kadar etkili olmadığı saptanmıştır. Bu bölge, gökdelenler bölgesi olduğundan dolayı gelecekte inşa edilecek olan gökdelenlerde yanal yüklere karşı alınacak tasarım önlemleri oldukça önemlidir.

2014 yılında tamamlanan Folkart Kuleleri 2018'de yayınlanıp 2019'da yürürlüğe giren 'Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uymaktadır. Aydınoglu'nun da belirttiği gibi Folkart Kuleleri inşa edildiği dönemde Bayraklı bölgesinde yüksek yapı tasarımı yeni başladığı için, yönetmeliğe depremin etkisi altında yapı-zemin etkileşimiyle ilgili ek maddelerin (teknik önermeler) yazılması gerekmiştir.

Folkart Kuleleri'nde yanal yüklere karşı alınan önlemler zeminin iyileştirilmesi ile başlamıştır. Folkart Kuleleri Bayraklı'da 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre zemin grubu D, yerel zemin sınıfı da Z4 olan zemin yapısına ait bir bölgede inşa edilmiştir. Zemin incelemeleri sonucu elde edilen verilere göre statik veriler değerlendirilip ön tasarımı yapılmıştır. Zemin iyileştirilmesi kapsamında baret ve fore kazık temel uygulamaları ile birlikte jet-grout uygulaması da yapılmıştır. 2018 Bina Deprem Yönetmeliği'nde yer alan kazık temellerin boyutlandırılması ve taşıma gücünün hesaplanması kapsamında baret kazıklara kazık yükleme deneyi uygulanmıştır. Yanal yüklere karşı alınan diğer bir önlem ise 18. ve 29. katlarda uygulanan outrigger sistemdir. Dünya'da inşa edilen gökdelenlerdeki outrigger sistem uygulamaları, rüzgâr yüklerine daha fazla maruz kalınan yükseklikteki yapılarda uygulanmaktadır. Sistemin tercih edilmesi, beklenen performans verimliliğini karşıladığını göstermektedir. Bundan dolayı Bayraklı bölgesinde ileride inşa edilecek yüksek yapılarda, outrigger sistem ya da araştırma kapsamında incelenen farklı

yanal kuvvet önlemlerinin birisinin uygulamasının yapılması önerilmektedir.

Yanal yüklerden olan deprem yükünün yapıya etkisi uzun zaman aralıklarında gerçekleşmekte olsa da önlemler alınmalıdır. Aynı zamanda bir diğer yanal yük olan rüzgâr yükleri yapılara sürekli etki ettiği için ve yapının yüksekliği arttıkça maruz kaldığı yük de arttığı için önlemler alınması gerekir. Yüksek yapı tasarımında, yapıda yaşayan kişilerin başta konforunun sağlanması için; sonra da yapının rüzgâr ve deprem yüklerine karşı dayanımının sağlanması için yanal yüklere karşı alınması gereken önlemlerin değeri büyüktür.

Teşekkür

Çalışma için sahada yapılan incelemeler sırasında teknik bilgiler veren ve Folkart arşivinden önemli notları bizimle paylaşan İnş. Y. Mühendisi Atacan Üte'ye teşekkürlerimizi sunarız.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] AFAD. 2020. 30 Ekim 2020 Sisam Adası (İzmir Seferihisar Açıkları) Mw 6,6 Deprem Raporu. <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=2065>. (Erişim Tarihi: 10.12.2020).
- [2] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2020. Hasar Tespit Sorgulama. <https://hasartespit.csb.gov.tr/#/>. (Erişim Tarihi: 03.01.2021).
- [3] Öner, C. A., Pasin, B. 2015. Emerging Towers in Bayraklı: Sustainability as a Branding Strategy or a Tool for Local Development?" Buildings, 5(3), 834-859.
- [4] Öziçer, S. 2016. Jeofizik Yöntemlerle Riskli Yapıların Belirlenmesi ve İzmir Örneği.

- Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Isparta.
- [5] Demircan, M. M., Insel, M. 2016. Sustainability in Office Environments. (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- [6] Karakız, C. 2017. The 'Manhattan' Of İzmir? Folkart Towers And Urban Transformation. Yaşar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, İzmir.
- [7] Fidan, S. Ö., Güven, S. S. 2019. Yüksek Yapılarda Cephelelerin Taşıyıcı Sistemle Olan İlişkisinin İncelenmesi Ve İzmir Yüksek Yapıları Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 38(2), 15-26.
- [8] Gündüz, A., Savaşır, K. 2019 Criticising (Un)Sustainable Skyscrapers:The Case Of Folkart Towers. 5th International Conference on New Trends in Architecture and Interior Design, 26-28 Nisan, İstanbul, 178-188.
- [9] Kadiroğlu, İ., Öz, E., Ramyar, K., Ute, A. t.y. Folkart Towers İnşaatı Temel Betonunu İmalatı ve Uygulaması.<https://www.thbbakademi.org/wp-content/uploads/2020/12/382-395.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- [10] Higashino, M., Aizawa, S., Yamamoto, M., Toyama, K. 1998. Application of Active Mass Damper System and Earthquake and Wind Observation Results. 2nd World Conference on Structural Control, Haziran, Kyoto, Japonya.
- [11] Sev, A. 2001. Türkiye ve Dünya'daki Yüksek Binaların Mimari Tasarım ve Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [12] Mir, M. A. 2001. Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jinmao. Electronic Journal of Structural Engineering, 1.
- [13] Akıncıtürk, N. 2003. Yapı Tasarımında Mimarın Deprem Bilinci. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8(1), 189-200.
- [14] Aldemir, Ü., Aydın, E. 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar. Türkiye Mühendis Haberleri, 435, 81-89.
- [15] Kourakis, I. 2005. Structural systems and tuned mass dampers of super-tall buildings : case study of Taipei 101. Massachusetts Teknoloji Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Massachusetts, ABD.
- [16] Günel, M.H., Ilgın H.E. 2010. Yüksek Binalar Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği, Ankara, 225s.
- [17] Pramod, S. D. 2018. Use of Dampers in Vertical cities: Effective Method to Control Seismic Vibrations. International Journal of Engineering Research, 7(1), 80-82.
- [18] Lago, A., Trabucco, D., Wood, A. 2018. Damping Technologies for Tall Buildings: Theory, Design Guidance and Case Studies. ss 55-57. Butterworth-Heinemann Publishing, Birleşik Krallık, 1067s.
- [19] Özcan, U., Duran, G., Erol, İ. 2019. Çok Katlı Yapılarda Betonarme Döşeme Sistemleri / İstanbul Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 161-175.
- [20] Alhaddad, W., Halabi, Y., Xu, H., Lei, H, G. 2020. A comprehensive introduction to outrigger and belt-truss system in skyscrapers. Structures, 27, 989-998.
- [21] Yıldırım, A., Şimşek, H. 2003. Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri. 3. Baskı. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 241s.
- [22] Sesigür, H, Y. 1999. Deprem Güvenliği Açısından Malzeme Seçimi, Yangın ve Deprem Güvenliği Açısında Malzeme ve Taşıyıcı Sistem Seçimi Semineri. TMMOB Mimarlar Odası, İstanbul Büyükkent Şubesi, 8-45.
- [23] Düzgün, M., Bozdağ, Ö. t.y. Betonarme Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi. http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler. (Erişim Tarihi: 31.12.2020).
- [24] Unsplash Petronas Tower. t.y. <https://unsplash.com/photos/zZd6Oqgu2-c>. (Erişim Tarihi: 15.01.2021).
- [25] Unsplash Burj al Arab. t.y. https://unsplash.com/photos/0IV1o4_otKA. (Erişim Tarihi: 11.02.2021).
- [26] Real Truth Science Documentaries. t.y. Mega Structures:Building the Burj Al Arab. <https://www.youtube.com/watch?v=yI0DpG8uiNc>. (Erişim Tarihi: 05.05.2021).
- [27] Wikipedia Jin Mao Tower. t.y. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shag_hai_Jin_Mao.JPG. (Erişim Tarihi: 11.02.2021).
- [28] Unsplash Taipei 101. t.y. <https://unsplash.com/photos/qQj8lcyZ8Fw>. (Erişim Tarihi: 09.02.2021).
- [29] Wikimedia Commons Taipei 101 Damper. t.y. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taip_ei_101_Tuned_Mass_Damper.png. (Erişim Tarihi: 09.02.2021).
- [30] Wikipedia Princess Tower. t.y. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Princess_Tower.jpg. (Erişim Tarihi: 11.02.2021).
- [31] Park, B, J., Lee, Y, J., Park, M, J., Young, K, J. 2018. Vibration Control of a Structure by a Tuned Liquid Column Damper with Embossments. Engineering Structures Journal, 168, 290-292.

- [32] Unsplash 432 Park Avenue. t.y. https://unsplash.com/photos/fB_qJwduGYw. (Erişim Tarihi: 11.02.2021).
- [33] Marcus, S., Mena, H., Yalnız, F., Shirley, C. 2018. 432 Park. Structure Magazine, 32-33.
- [34] Düzgünoğlu, C, O. t.y. Depremin Yapılar Üzerinde Etkileri. http://www.csproje.com/gal/dos/DEPREMIN_YAPILAR_UZERINDE_ETKILERI.pdf. (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- [35] Folkart Arşivi. 2017. Folkart Towers Teknik Sunum. (Kişisel Görüşme ile Erişim Tarihi: 08.01.2021).
- [36] Aydınöğlu, M, N. 2020. İzmir Depremi Ortak Akıl Buluşması: Dayanıklı Yapılar, İzmir'de Yapı Güvenliği ve Yapı Stoğu. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=KXxOFaEqtOU&t=3s>. (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- [37] Aydınöğlu, M, N. 2012. Zayıf Zeminlerde Yapılan Binalarda Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi. https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler. (Erişim Tarihi: 05.05.2021).
- [38] Gökalp, A. t.y. Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri Ve Uygulama Örnekleri. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=tl0gyRh2SjI&t=1809s>. (Erişim Tarihi: 05.02.2021).
- [39] Üte, A. Folkart Yapı (Kişisel Görüşme Tarihi: 08.01.2021).
- [40] Folkart. 2020. Deprem ve İzmir Webinarı 1-12. <https://www.youtube.com/watch?v=xRmm9gPjMxs>. (Erişim Tarihi: 30.04.2021).