



Yüksek Binaların Depreme Yönelik Tasarım Kriterleri: İstanbul Metropolü Örneği

Muammer YAMAN ^{1*}, Zeynep Yeşim İLERİSOY ²

ORCID 1: 0000-0002-8767-4811 ORCID 2: 0000-0003-1903-9119

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 55100, Samsun, Türkiye.

² Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06570, Ankara, Türkiye.

* e-mail: muammer.yaman@omu.edu.tr

Öz

Çalışmada, depremin yüksek yapılar üzerindeki etkileri araştırılmış, bu etkilerin yüksek bina tarafından sönümlenmesini destekleyen tasarım ilkeleri üzerinde durulmuştur. Yüksek binalarda deprem dayanımını belirleyen ilkeler temel, strüktürel, mimari parametreler ve sismik yalıtım parametreleri olarak sınıflandırılmış, detaylı araştırmaları yapılmıştır. Alan çalışmasında, aktif fay hatları üzerinde bulunan İstanbul'daki yüksek binalarda incelemeler yapılmıştır. Ölçüt örnekleme yöntemi ile İstanbul kentindeki on beş yüksek bina belirlenmiştir. İstanbul'daki yüksek bina örnekleri üzerinden iz sürme ve gözlem yöntemiyle binaların nitel özelliği olarak depreme dayanıklılık esasları ortaya konulmuştur. Çalışmada nitel veriler sonrası yüzdelik derecelendirmelere aktarılarak nicel veriler elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, yüksek binaların deprem yükleri altında yeterli dayanım göstermesinde etkili olan parametrelerin uygulanmasına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Teknolojik gelişmeler ve yüksek dayanımlı beton kullanımı gibi deprem dayanımını güçlendiren etmenlerin ve etkili strüktürel ve mimari sistem tasarımlarının, incelenen İstanbul yüksek binalarında kullanıldığı ve uygulandığı tespit edilmiştir. Performansa dayalı sismik tasarım yöntemlerinin teknoloji ile geliştirilmesinin ve deprem mimarlığı alanının yaygınlaştırılmasının önemi açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, sismik tasarım, deprem mimarlığı, yüksek binalar, İstanbul.

Seismic Design Criteria for High-Rise Buildings: The Case of İstanbul Metropolis

Abstract

In this paper, the effects of the earthquake on high-rise buildings were investigated. The principles that determine earthquake resistance in high-rise buildings are classified as basic, structural, architectural parameters and seismic isolation parameters. In the case study, high-rise buildings in İstanbul, located on active fault lines, were investigated. With the criterion sampling method, fifteen high-rise buildings in the city of İstanbul were determined. The principles of earthquake resistance as a qualitative property of the buildings have been revealed with the method of tracing and observation on the samples in İstanbul metropolis. Quantitative data were obtained by transferring the qualitative data to the percentage ratings. In conclusion, evaluations were made for the application of parameters that are effective in the sufficient strength of high-rise buildings under earthquake loads. It has been determined that factors that increased earthquake resistance, such as technological developments and the use of high-performance concrete, and effective structural and architectural systems are used and constructed in the İstanbul high-rise buildings examined. Moreover, the importance of developing performance-based seismic design methods with technology and expanding the field of earthquake architecture has been demonstrated.

Keywords: Earthquake, seismic design, earthquake architecture, high-rise buildings, İstanbul.

Citation: Yaman, M. & İlerisoy, Z. Y. (2024). Seismic design criteria for high-rise buildings: The case of İstanbul Metropolis. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 9 (Special Issue), 84-105.

DOI: <https://doi.org/10.30785/mbud.1327743>



1. Giriş

Son yıllarda kentsel yaşamının getirdiği yoğunluk, kentsel bölgelerde nüfusun hızlı bir şekilde artması, kent merkezlerinde bina yapılabilecek alanların azalması sonucunda arsa fiyatlarının artması, büyük şirketlerin güç ve prestij simgesi olarak yönelimleri gibi nedenlerle yüksek binalar gün geçtikçe çoğalmaktadır (Mahmoud, 2019). Aynı zamanda, yapı alanında geliştirilen yeni malzemeler ve yapım teknolojileri sayesinde de yüksek bina sayısı hızla artmaktadır (Bungale, 1988). Temel gerekçeler doğrultusunda özellikle büyük yerleşimlerde yüksek yapıya olan ihtiyaç ve yönelim ile yüksek bina kavramı, mimar ve mühendislerin ilgi odağında olmuştur. Ancak yüksek binalar, tasarım ve uygulama süreçleri kapsamında diğer yapılardan farklılaşmaktadır. Yükselmekle birlikte gerekli olan yapı tasarım parametrelerinin zorlaşması tasarımcı ve uygulayıcı için dikkat edilmesi gereken bir proje süreç yönetimini gerektirmektedir. Yüksek bina tasarım ve uygulama bilgisinin özümserenek proje ve yapım sürecine aktarılması ile binalardan vazgeçilmez beklenti, kendi bütüncül mukavemetlerinin devamlılığının sağlanması yönünde olmaktadır. Yüksek binalarda en tahmin edilemez koşullarda zorlayan risklerle birlikte, belirli dönemlerde değişen yer kabuğu hareketlerine cevap verme süreçlerinde büyük riskler ile karşı karşıya gelmektedir (Kwon ve Kim 2004; Omrany ve diğerleri, 2023).

Mimari programlamada kullanılabilirlik koşullarını sağlamalarının yanı sıra yapısal taşıyıcı sistemlerin mevzuat tarafından belirlenen can güvenliği ve göçme güvenliği koşullarının sağlanması gerekliliği deprem felaketleri sonrasında yapılan gözlemler sonucunda ortaya çıkmıştır. Deprem hareketleri sonucunda oluşan hasarlar nedeniyle, yapı kullanımının kesintiye uğraması ve/veya hasar onarım maliyetlerinin oldukça yüksek olması, yapıların farklı deprem etkileri altında farklı davranış ölçütlerine göre tasarımı ve değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Son dönemlerde artan depremler sonucunda oluşan yapısal hasarların ve hasarlara bağlı olarak gözlemlenen büyük, ekonomik ve sosyal kayıpların engellenmesinin yapı tasarım ve uygulama bilgisi sayesinde önlenebileceği bilinmektedir. Statik ve dinamik yüklerden bağımsız olarak yatay yüklerin yüksek binalara etkisi bilinmeli, oluşabilecek ek atalet yüklerine karşı önlemler alınmalıdır (Aly ve Abburu, 2015; Fan ve diğerleri, 2009; Willford ve diğerleri, 2008).

Yüksek bina tasarımında deprem dayanımının belirlenmesinde mevzuat tarafından belirlenen kriterlere uygunluk ve gerekli denetimlerin yapılması önemli kriterdir. Gelişmekte olan ülkelerde yapım aşamasındaki denetim sorunlarının önüne geçebilmek amacıyla birtakım denetim mekanizmaları oluşturulmuşsa da bu denetim mekanizmaları yeterli olmaktan çok uzak seviyede kalmaktadır. En yaygın olarak gözlemlenmesi gereken denetim sorunlarının başında mimari tasarım süreci gelmektedir. Yüksek bina tasarımlarının artması, bu tip binalarda deprem güvenliğinin sorgulanmasına neden olmuştur. Deprem riski bulunan, fay hatları üzerinde konumlanan bölgelerde inşa edilen yüksek binalar büyük riskler taşımaktadır. Taranath, Reinforced Concrete Design of Tall Buildings başlıklı mühendislik kitabında yüksek binaların sismik tasarımında aşağıdaki hedeflerin oluşturulması gerekliliğini vurgulamaktadır (Taranath, 2010):

- Yaşamsal tehlikenin en aza indirilmesini ve can güvenliğini sağlamak,
- Kullanım ve yoğunluk bakımından büyük risk taşıması nedeniyle yapıların deprem dayanım performansının artırılmasını sağlamak,
- Depremden sonra yaşamın sürekliliğini sağlamak, yaşamsal kaliteyi devam ettirmek.

Depreme dayanıklı tasarım hedefleri doğrultusunda, yüksek bina tasarımlarında özellikle son dönemlerde performans dayalı sismik tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Performansa dayalı sismik tasarımda; alan analizlerinin uygun ve doğru kaynaklardan temin edilmesi, yaratıcı ve farklı çözümlerin geliştirilmesi, malzeme ve mekanik olarak gelişmiş çözümlerin üretilmesi, yapısal ve yapısal olmayan elemanların sismik davranışlarının ortak analiz edilmesi ve değerlendirilmesi yaklaşımları/kriterleri bulunmaktadır (Golesorkhi ve diğerleri, 2017). Ayrıca ülkelerin deprem mevzuatının yetersiz kalması durumu ve yükselen her binanın kendine özgü performans değerlerinin ortaya konulması gerekliliği performans dayalı sismik tasarımların önünü açmış (Aydınoglu, 2013), ilgili mevcut deprem mevzuatının revize edilmesi ile gerçeğe en uygun senaryoların kurgulanması zorunlu hale gelmiştir. Bu noktada Türkiye’de son dönemde ulusal deprem mevzuatında ciddi bir

değişikliğe gidilmiş, mevzuata büyük risk barındıran yüksek binalarda deprem güvenliği tasarımlarına yönelik bir bölüm eklenmiştir.

Mühendislik alanındaki olumlu gelişmelerin yanında, binalar kapsamında deprem dayanımının sağlanmasına yönelik mimarlık alanında da bilinçlenmeye büyük ihtiyaç duyulmaktadır. Bu iki alanın ortak olarak çalışması ve bina tasarımına büyük girdi vermesi ile deprem mimarlığı alanı ortaya çıkmaktadır. Deprem mimarlığı disiplininde temel olan, bina tasarım sürecinde yatay bir yük olan deprem kuvveti etkisinin düşünülmesi ve uygun performansı sağlayabilecek mimari tasarımların kurgulanmasıdır. Performansa dayalı sistemlerin uygulanması, mimari tasarım sürecinde deprem kuvvetlerinin etkilediği sistem kurgusunun düşünülmesi ve tüm bu aşamaların projeye aktarılması deprem mimarlığının özünü oluşturmaktadır (Arnold, 1996; Garcia, 2000).

Türkiye geneline baktığımızda İstanbul, Ankara, İzmir gibi metropol kentlerde yüksek binaların sayısı başlangıç aşamasından bu yana büyük sayılara ulaşmıştır. Özellikle son yıllarda yapılan yüksek binalarla İstanbul metropol kenti ön plana çıkmaktadır. Nüfus artışına bağlı olarak yapılaşma alanlarının artması yüksek yapılara yönelimi hızlandırmıştır. Gelişen teknolojik imkânlar neticesinde artan ve en yükseğe ulaşma arzusuyla yapılan yüksek yapılar aktif fay hattı üzerinde bulunan bölgelerde risk oluşturmaktadır. İstanbul ve bulunduğu bölge aktif fay hatları üzerinde yer almaktadır. İstanbul'da bulunan yüksek binaları deprem güvenliği çerçevesinde incelemek için İstanbul'un tektonik yapısının ortaya konulması ve güncel deprem fay haritası üzerinden incelemelerin yapılması gerekmektedir. Bu anlamda İstanbul, Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde bulunduğu için Türkiye genelinde deprem riski en yüksek olan yerleşimler arasında yer almaktadır. Deprem riski bulunan bir alanda yüksek bina yapmak büyük risk teşkil etmektedir. Yüksek bina projesinin depreme dayanıklı olması için; bölgenin sismotektonik yapısı, bölgede geçmişte yaşanmış tarihsel deprem kayıtları, bölgenin yerel jeoloji yapısı ve zemin koşulları dikkate alınmalıdır (Özşahin, 2022). Deprem gerçekleşme ihtimali yüksek olan bir bölgede yapı tasarlamak, mimarların ve mühendislerin depreme dayanıklı yapı tasarımı yapmasında etkili olmaktadır. Aktif fay hattı üzerinde konumlanan İstanbul'da gelecekte depremler yaşanabileceği unutulmamalıdır. Önümüzdeki 30 yıllık dönem içerisinde, Marmara Bölgesi'nde büyük bir deprem yaşanması %62 olasılığa sahiptir (Barka, 2000). Burton ve diğerleri, önümüzdeki 50 yıllık süre içerisinde, Marmara Bölgesi'nde MW=8.0 dolaylarında bir depremin olma ihtimalinin %90 seviyelerinde olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma çerçevesinde, MW=7.9 büyüklüğündeki depremin oluşum periyodunun ise 550 yıllık süreç dâhilinde olduğunu açıklamışlardır (Burton ve diğerleri, 2004). Araştırmada İstanbul'da bulunan yüksek binaların yer kabuğu hareketlerine cevap verebilmeleri için gerekli olan temel, strüktürel, mimari ve sismik yalıtım parametrelerinin tespiti ile performans esaslarının oluşturulması ve analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Tüm bu amaçlar doğrultusunda, İstanbul'da beklenen deprem ve etkilerinin yüksek binalar üzerindeki yansımalarının çözümlenmesi ile deprem mimarlığı alanının ve gerekliliğinin önemi ortaya konulmuştur.

Yüksek binaların tasarım sürecinde depreme dayanıklı özellikleri ile donatılması çeşitli parametrelerin kapsamlı ve detaylı olarak analiz edilmesi sonucunda mümkün olmaktadır. Bu parametreler temel, strüktürel, mimari ve sismik yalıtım parametreleri olarak sınıflandırılmıştır. Tasarım sürecinin başlangıcında temel parametrelerin analizi etkili olurken, tasarım sürecinde doğrudan strüktürel ve mimari parametreler etkili olmaktadır. Sismik yalıtım parametreleri ise teknolojinin üst seviyelerde kullanılması ile karşılanabilmektedir.

1.1. Depreme Yönelik Tasarım Kriterlerinde Temel Parametreler

Yüksek binalarda deprem dayanımının sağlanmasında tasarım süreci başlatılmadan önce dikkat edilmesi gereken, yapıdan bağımsız olarak makro ölçekte deprem dayanımına etki eden temel parametreler bulunmaktadır. Yüksek yapı inşa etmeye yönelik fikir aşamasında temel parametrelerin ortaya konulması, rasyonel ve sistematik kurgunun oluşturulması için ciddi bir bilinçlenme ve yol haritası çizme niteliğindedir (Rist ve Svensson, 2016; Slak ve Kilar, 2008). Çalışmada yüksek binalarda deprem dayanımı için belirlenen temel parametreler dört başlık olarak özetlenmiştir:

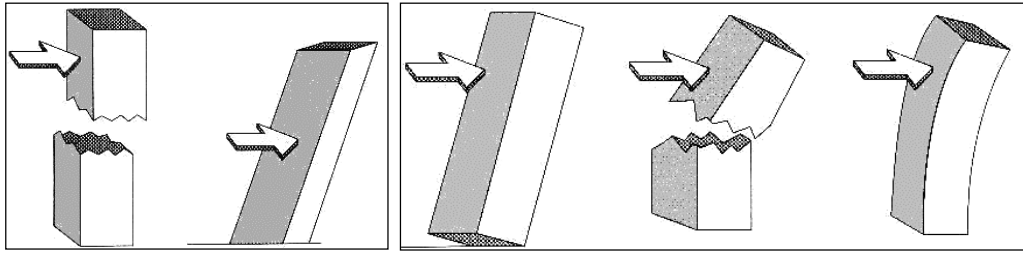
- Saha analizlerinin yapılması sırasında bölgenin sismik verilerinin incelenmesi gerekmektedir. Zemin koşulları, zeminin tektonik yapısı, deprem fay hatlarının bina ile ilişkisi ve deprem risk

analizinin yapılması bu süreçte dikkat edilmesi gereken noktalardandır. Bu bilgiler ile yüksek binaların uygulanacağı alanın deprem risk analizi ortaya konulmuş olacaktır.

- Mevcut deprem mevzuatının ve standartlarının analiz edilmesi ve depreme dayanıklılık hususunda gerekliliklerin belirlenmesi önemlidir. Yüksek bina tasarımına girdi sağlayacak kurallar ortaya konulmalı ve sınır değerler analiz edilmelidir.
- Finansman olanaklarının belirlenmesi rasyonel ve gerçekçi çözümlerin kurgulanmasında önemli bir parametredir. Hem kaynak kullanımı hem de sürdürülebilirlik açısından önemli bir kavram olan maliyet, yapı üretim sürecinin her adımında önemli bir tasarım girdisidir.
- Binanın yapıldığı dönemde teknik imkânların ortaya konulması ve projede görev alan her meslek insanı tarafından benimsenmesi gerekmektedir. Doğru bilgilere dayandırılarak, doğru yöntemler kullanılarak ve günün ekonomik koşulları düşünülerek bu bilgilerin tasarım evrenine aktarılması, yüksek binaların deprem dayanımındaki başarısını arttıracaktır.

1.2. Depreme Yönelik Tasarım Kriterlerinde Strüktürel Parametreler

Yüksek binalar yatay yüklerin ortaya çıkması (deprem ve rüzgâr yükleri) ile eğilme etkilerine ve kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu nedenle yüksek binalar eğilme etkileri kadar kesme kuvvetlerine de karşı koyabilecek taşıyıcı sistem ile kurgulanmalıdır. Yüksek binalarda taşıyıcı sistemin bu çerçevede kurgulanmasında; yüksek binalar yatay ve düşey yük etkisi altında devrilmemeli, bina kapasitesinin üzerinde çekme kuvvetleri veya kırılmayla karşılaşan kolon deformasyonlarıyla çökmemeli, eğilme deformasyon elastik davranış sınırları içerisinde kalmalıdır (Şekil 1). Yüksek bir yapının depreme dayanıklılığının sağlanması için yapının yanal deformasyonlarına bağlı bu sorunların bir arada çözüm sistematiği içerisinde değerlendirilebilmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Yüksek binanın yatay yük etkisi altındaki davranışları (Taranath, 1997)

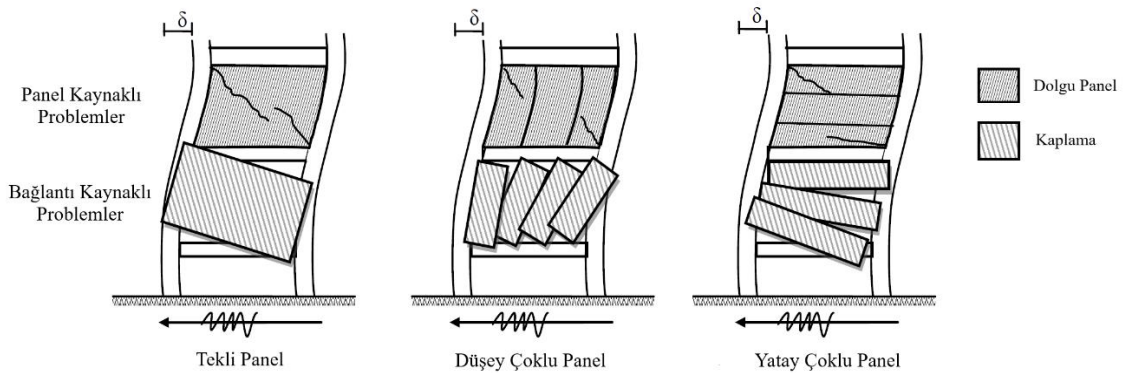
Performans kriterleri kapsamında yüksek bina tasarımında deprem dayanımının sağlanmasında dikkat edilmesi gereken en önemli durumlardan biri yapının sünekliğinin sağlanmasıdır. Deprem sırasında zeminden yapıya iletilen enerjinin büyük bir kısmının tüketilmesiyle taşıyıcı sistemde sünek davranış elde edilmesinde taşıyıcı sistem malzemeleri kritik rol üstlenmektedir. Taşıyıcı sistemde kullanılan malzeme binanın taşıyıcı sistem kurgusuna uygun olmalı, yatay ve düşey yükler doğrultusunda sünekliğini ve rijitliğini korumalıdır. Yüksek binalarda deprem sırasında düşey yüklerin ikinci derece etkilerini sınırlı tutmak için yer değiştirmelerin sınırlandırılması amacıyla rijitliğin artırılması gerekmektedir (Aly ve Galal, 2019; Romano ve diğerleri, 2018). Bu gereklilikler doğrultusunda; saha koşulları, imalat aşamaları, şantiye koşulları, nakliye ve depolama olanakları, bina kullanım ömrü gibi kriterler neticesinde malzemeler seçilmeli, her malzeme özelinde birleşim noktalarında deprem kuvvetlerine karşı önlemler alınmalı ve taşıyıcı sistem kurgusunun gereklerine uygun çözüm önerileri geliştirilmelidir.

Geçmişten günümüze kadar olan süreçte uygulanmış olan yüksek binalarda betonarme ve çelik kullanımının ön plana çıktığı, hatta son dönemlerde bu iki malzemenin ortak kullanımı (kompozit malzeme) ile yüksek bina üretiminin gerçekleştiği birçok örnek bulunmaktadır. Taşıyıcı sistem malzemesi olarak betonarme; basınç ve çekme gerilmelerine karşı en çok tercih edilen yapı malzemelerindedir. Beton teknolojilerinin gelişimi sonucu iç hacimlerin verimli olmasını sağlayan küçük kesit alanına sahip ve daha az sayıda kolon ihtiyacı; süper akışkanların gelişmesi ile beton dayanımının ve işlenebilirlik özelliğinin artması; dış cephedeki perde, kolon ve yüksek kirişlerin ek önlemler gereksiz mimari amaçlara uygunluk göstermesi gibi özellikler, betonun yüksek yapı sistemleri içerisinde kullanımını arttırmıştır (Koç ve diğerleri, 2009). Yüksek binalarda betonarme

taşıyıcı sistemin deprem dayanıklılığı için perdelerle güçlendirilmiş çerçeve sistemler, ana çekirdek taşıyıcı sistemler, tübüler sistemler ve tüp içinde tübüler sistemler gibi çeşitli taşıyıcı sistem alternatifleri kullanılmaktadır. Yüksek bina tasarımı ele alındığında taşıyıcı sistem çeşitlerinde kütle faktörü önemli bir parametre olmaktadır. Depremde yapılarda oluşan kuvvetler eylemsizlik kuvvetleridir ve bu kuvvetler deprem titreşimiyle oluşan toplam ivme ve yapı kütlelerine bağlı olarak şekillenmektedir (Charleson, 2007). Yapının maruz kalacağı herhangi büyüklükte bir depremde yapıya etkiyecek olan yatay yükler direkt olarak yapının ağırlığı ile orantılıdır. Bu durumda yapı ne kadar hafif ise olası bir depremde üzerine o kadar az yük etmektedir Betonarme binalar, diğer malzemelerdeki binalara oranla taşıyıcı sistem açısından kesitleri büyük elemanlar ortaya çıkarmaktadır (İlerisoy, 2019a).

Dünyada yüksek bina üretiminde tercih edilen diğer taşıyıcı sistem malzemesi olan çelik, kendi ağırlığına oranla taşıyabildiği yük miktarı çok fazla olduğu için daha hafif taşıyıcı sistemli bir yapı elde edilme imkanı sağlamaktadır. Ayrıca kimyasal yapısı gereği sünek bir malzeme olup birleşim noktalarının doğru detaylandırılması neticesinde yatay yüklerin bu noktalarda sönmülenebilmesi sağlanmaktadır. Ancak çerçeve sistemli çelik yapıların yükselmesi sırasında elastik davranış kabiliyetinin de artması farklı elemanlar kullanılarak rijitleştirilmiş çerçeve sistemlerin geliştirilmesini sağlamıştır. Yakın geçmiş dönem ile birlikte yapı teknolojisi imkanları paralelinde beton ve çeliğin ortak kullanıldığı kompozit binalar da tercih edilmeye başlanmıştır. Çelik elemanların hızlı yapım süreci ve mukavemeti, beton elemanların yangın dayanımı ve ekonomik oluşu ile birleştiğinde uygun performans değerlerine sahip yapılar ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda deprem etkisi göz önüne alındığında farklı mekanik özellikleri ile birbirini tamamlayan malzemeler, şiddet ve doğrultuları tahmin edilemeyen depremleri sönmülemeye faydalı olmaktadır. Beton elemanların içinde değişken kesitli çelik donatıların kullanılması, çelik taşıyıcı binalarda ise bükümlü sac üzerine beton dökülerek döşemelerin oluşturulması Türkiye'deki kompozit malzeme kullanım örneklerini oluşturmaktadır (İlgin ve Günel, 2008).

Taşıyıcı sistem malzeme kararları sonrasında taşıyıcı sistem davranışı ve bunun getirdiği biçimsel zorunluluklar cephe biçimlenişini etkilemektedir (Harmankaya ve Soyluk, 2010). Yüksek binaların yüksekliklerinin ve kütlelerinin belirlenmesinde cephe tasarımlarının yapısal elemanlara etkisi oldukça fazladır. Bina cephelerinde cephe panel tipleri, modülleri, bağlantı tipleri, diyagonal elemanlar, çelik sönmüleyici elemanlar gibi tasarım kararları, deprem dayanımında binanın verdiği deprem reaksiyonunda değişken davranışlara neden olmaktadır (Baird ve diğerleri, 2011) (Şekil 2). Yüksek bina tasarımlarında kurgulanan taşıyıcı sistemin açıkta görülebilir olması veya kapalı gizli olması binanın depreme karşı davranışlarını farklılaştırır.



Şekil 2. Farklı cephe sistemlerinin deprem anındaki davranışları (Baird ve diğerleri, 2011)

Taşıyıcı sistemin kurgulanmasında bina yükseklikleri arttıkça önem kazanan bir kavram da yapıya gelen düşey ve yatay yüklerin artışı sebebiyle uygun bir temel tasarımının gerekliliğidir. Yapıların yüksekliği ile temel derinliği arasında yapının rijitliği bakımından yüksek bir korelasyon bulunmaktadır. Temel tasarımı düşünüldüğünde mimariye etkiyecek olan bodrum katlar; yapının zeminin altında bulunan katlarıdır. Bu doğrultuda yüksek binanın yapılacağı bölgedeki zemin incelemesi ve mimariye etki edecek zemin altı kat (bodrum kat) sayısı dikkate alınmalıdır.

Yatay yüklerin yüksek binalar tarafından karşılanması ve sönmülmesinde taşıyıcı sistem tasarımı ve malzeme dayanımlarına önemli görevler düşmektedir (Charleson, 2008; Slak ve Kilar, 2007; Taranath, 2017). Deprem dayanımı olarak yüksek bina taşıyıcı sistem tasarımından beklenen parametreler aşağıda özetlenmiştir:

- Yapının uygulanacağı ülke imkânları göz önünde bulundurularak malzeme tercihi bölgeye uygun olacak şekilde yapılmalıdır.
- Tercih edilen malzeme ile uyumlu olan taşıyıcı sistem türüne karar verilmelidir.
- Taşıyıcı sistem elemanları bina yüklerini en üst noktadan zemine kadar kesintisiz olarak aktarmalıdır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının birleşim noktalarının doğru detaylar ile kurgulanması önemsenmelidir. Özellikle esnek bağlantı elemanlarının kullanılması ve kritik noktalarda deformasyonların oluşması engellenmelidir.
- Sünekliğin, rijitliğin ve dayanımın yapı elemanı ve bina ölçeğinde sağlanması esas olmalıdır.
- Taşıyıcı sistem kurgusunun gizli ya da açıkta kurgulanmasına bağlı olarak bina taşıyıcı sisteminin yatay yük karşılayabilme performansı kontrol edilmelidir.
- Yapının rijitliği bakımından bina yüksekliği ile temel derinliği arasındaki ilişki kapsamında; yapının toprak altı derinliğinin ve temel sistemlerinin binanın yatay ve düşey yönlere dinamik yüklerini karşılayabilecek şekilde kurgulanmasına dikkat edilmelidir.

1.3. Depreme Yönelik Tasarım Kriterlerinde Mimari Parametreler

Mimari tasarım; salt olarak fonksiyonellik ve/veya estetik arayışların karşılandığı bir düzenlemeden ibaret değildir. Bir binanın mimari tasarımı ile deprem sırasındaki yapısal davranışları arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Tasarım sürecinde işlevsel/tasarımsal gereklilikler ile birlikte deprem dayanımının oluşturulmasına yönelik plan ve kesit düzlemlerinde birtakım önlemlerin alınması gerekmektedir. Tasarımcı, proje kapsamında oluşabilecek zorlanmaları tespit ederek, problem oluşturan kararların ortadan kaldırılmasında etkin rol oynamalıdır. En temelde taşıyıcı sistem elemanlarının rasyonel ve uygun yük aktarım prensiplerine göre tasarım sürecine dâhil edilmesi beklenmektedir.

Mimari tasarım sürecinde ilgili mevzuatın sunduğu belirleyici ve geçerli hükümler unutulmamalı, bir tasarım girdisi olarak değerlendirilmelidir. En tartışılmayacak kaynak olan deprem mevzuatı sismik olarak güvenli binaların üretimi için asgari koşulları belirleyen yasal belgelerdir ve uygulandığı bölgelerin sismik geçmişine, ülkelerin ekonomik durumuna, yapı tasarımındaki tutumlarına bağlı olarak farklı alt başlıklar altında farklı kısıtlamalar ile uygulanmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde mimarlara yönelik mimari tasarım konusuna en büyük katkı “yapısal düzensizlik” başlığı altında irdelenmektedir. Bu başlık plan düzleminde; burulma düzensizliği, döşeme süreksizlikleri ve planda çıkıntılar bulunması durumlarına (İlerisoy, 2019b); düşey doğrultudaki kesit düzleminde, komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat), komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat), taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği durumlarına açıklık getirmektedir (İlerisoy, 2019a). Özellikle burulma düzensizliği bakımından dikkatli tasarlanması gereken yüksek yapılar kapsamında, mimari tasarımı yönlendiren düzensizliklere hâkim olunmalı ve proje kapsamında mümkün olduğunca düzensizliklerden kaçınılmalıdır.

Deprem dayanımında mimari parametreler tasarımcının mimarlık disiplini üzerinde tasarım kurgusunun deprem dayanımı ile ilişkilendirilmesini kapsamaktadır. Günümüzde deprem dayanımı ele alındığında mimari parametrelerin kısıtlayıcı özelliklerinden daha çok tasarıma bir girdi olacak şekilde konsept kurgunun oluşturulmasında etkili rol oynadığı görülmektedir.

Çok değişkenli birçok tanıma sahip olan mimari tasarım kavramı içerdiği özgünlük ve estetik bileşenlerinden kaynaklı yapılması gerekenler kesin çizgiler ile ortaya konulamamaktadır. Bu süreçte tasarımcıya bağlı olarak, tasarımı destekleyecek olan mühendisler göre farklı alternatifler ortaya çıkarılabilmektedir. Yapısal sistemlerin bütünlüğünün ve yatay yüklerle karşı dayanıklılıklarının değerlendirilmesi için geliştirilen kriterler aşağıdaki gibi ele alınmıştır (Ali ve Moon, 2007; Hussain ve Hussain, 2017; Mezzi ve diğerleri, 2004; Slak ve Kilar, 2012):

- Mimaride bütünlük kavramının ele alınması gerekmektedir. Mimari kompozisyon, taşıyıcı sistem, malzeme ve detay bileşenlerinin sanatsal izlenim ve estetik değerlere uygun olarak tasarlanması beklenmelidir.
- Yüksek bina için sismik hareketlere uygun form kurgusunun yapılması gerekmektedir. Temel geometrik formların kullanılması önerilmektedir. Formların simetrik olarak tasarlanması yapıda homojen yük dağılımının sağlanmasında büyük bir etkidir. Bina formunda simetrik olma durumu, maruz kalınan yükler altında yapının davranışına etkiyen bir düzen şekli olarak düşünülmektedir. Asal geometrik ve simetrik formların tercih edilmesi deprem dayanımının sağlanmasını kolaylaştırmaktadır.
- Bina ölçeğinde kurgulanan iki düzlem için de (plan ve kesit) yapısal düzensizliklerin ortadan kaldırılması gerekmektedir:
 - Bina taşıyıcı sisteminin form ile ilişkilendirilmesi ve kütle merkezi ile rijitlik merkezinin yakın bölgelerde kurgulanması,
 - Geometrik düzensizliklerden kaçınılması,
 - Plan düzleminde döşeme sürekliliğinin sağlanması,
 - Bina akslarının mesafeleri ve düzenlemesinin mevzuat gereklerine uygun planlanması,
 - Zayıf ve yumuşak kat oluşumunun engellenmesi,
 - Düşey taşıyıcıların kesintisiz olması, kolonların ve kirişlerin uygun kesitlerde tanımlanması.
- Yapısal olmayan elemanların uygun bağlantı sistemleri ile kurgulanması gerekmekte olup, yük analizleri doğru şekilde yapılmalıdır.
- Planlama nedeniyle sirkülasyon ve bina donatılarının servisini sağlayan çekirdek bölgelerinde perde duvarların yoğunlaşması ve bunun sonucunda yapısal davranışlarda farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Mimari tasarım sırasında servis çekirdeği tasarımı ve biçimlenişi deprem davranışları kapsamında ele alınmalıdır. Çekirdekler, planda simetrik ve homojen yapıyı bozmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Çekirdek formu ise yapı formu ile benzerlik göstermelidir.
- Plan geometrisi ve bina yüksekliği arasında en önemli noktalardan biri de binaların narınlığıdır. Bu kavram bir binanın yüksekliğinin kısa kenarına oranı olarak tanımlanabilir ve yüksek yapılarda deprem dayanımında önemli bir ölçüttür.
- Yapılarda kat adedinin artması ile tesisat sistemi planlaması da değişmektedir. Bina donatılarında oluşacak basınç, yapının kullanımına uygun olarak zonlama ile kontrol altına alınmakta ve tesisat katı tasarımları oluşturulmalıdır. Bu katlarda deprem dayanımı konusunda ekstra olarak taşıyıcı sistemi destekleyici ek elemanlar da kullanılabilir.

1.4. Depreme Yönelik Tasarım Kriterlerinde Sismik Yalıtım Parametreleri

Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi, yapı sektöründe çok büyük atılımların gerçekleşmesinde öncü olmuştur. Yapı tasarım aşamasında alınacak önlemler simülasyonlarla test edilmekte, ortaya çıkabilecek olumsuz etkiler kolay bir şekilde saptanmaktadır. Deprem kuşağında yer alan bölgeler göz önünde bulundurulduğunda bu tür teknik gelişmeler önem teşkil etmektedir. Deprem mühendisliğinde son yıllarda geliştirilen sismik izolasyon sistemleri yüksek binalar için hayat kurtarıcı olabilmektedir. Sismik izolasyon yöntemleri şiddetli depremlerde yüksek hasarların önlenmesinin gerekli olduğu binalarda (ulaşım yapıları, sağlık yapıları, yoğun kullanımlı binalar vb.) sıklıkla tercih edilmekte ve kullanılmaktadır.

Bina strüktürü ile doğrudan bağlantılı ek tasarımlar ile binanın yatay yük karşısındaki davranışları sönümlenmekte, bina hasar görmeden kullanımına devam edilmektedir. Yapılar yatay yük karşısında etkiyen kuvvete paralel olarak tepki kuvveti vermektedir. Yapı, deprem kuvveti doğrultusunda uygulanan sismik tasarım sisteminin izin verdiği ölçülerde esneyebilmektedir. Deprem kuvvetleri ortadan kalktığında ise yapı tekrar eski konumuna gelmektedir. Sismik kontrol sistemlerinin yüksek binalarda kullanılmasında çalışma mekanizmasına bağlı olarak alternatif kullanımları bulunmaktadır. Çalışma mekanizmalarına bağlı olarak pasif, yarı aktif, aktif ve hibrit sistemler tercih edilmektedir.

Pasif kontrol sistemleri; yapının belirli noktalarına yerleştirilen özel elemanlar sayesinde yapının depremden izole edilmesini ve etkiyen titreşimi en aza indirerek yapıya etkimesini sağlayan araçlarla yapılan kontrol sistemleridir. Bu sistemler genellikle yapının tabanına yerleştirilmekte ve sismik izolatörler adı altında incelenmektedir. Ancak yüksek yapılarda periyodu büyük oranda arttırabileceği

düşüncesi ile sismik izolatörlerin tabanda kullanılması risk teşkil etmektedir. Bu nedenle pasif kontrol sistemleri yüksek yapıların cephelerinde ve ara katlarında tercih edilebilmektedir. Yapıya daha sonra gelecek farklı yüklere karşı adapte olamaması sistemin dezavantajlarından. Bu durumun yanı sıra sistemde ek enerjiye ihtiyaç duyulmadan uygulanması ve maliyetlerinin diğer sitemlere oranla oldukça uygun olması da tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır (Rahmani ve Könke, 2018). Ayarlı Kütle Damperleri (TMD), Çoklu Ayarlanmış Kütle Damperleri (MTMD) ve Ayarlı Sıvı Damperleri (TLD) yüksek binalarda kullanılan pasif kontrol sistemleri örneklerindedir.

Yarı aktif kontrol sistemleri; Yarı aktif ve aktif sistemler arasındaki fark, yarı aktif kontrolörlerin pratikte çalışabilmeleri için çok daha düşük enerji gerektirmesinden kaynaklanmaktadır. Enerji sisteme dahil edilemediği/edilmediği durumlarda pasif kontrol sistemlerine benzer çalışma prensibi göstermektedir. Yarı aktif kontrol sistemlerine örnek olarak Manyetoreolojik (MR) Sıvı Damperleri ve Yarı Aktif Sertlik Sönümleyiciler (SASD) örnek verilmektedir (Rahmani, 2019).

Aktif kontrol sistemleri; Dış titreşimleri, yapısal cevaptaki değişimleri veya her ikisini birden ölçmeye yarayan sismik alıcılar, ölçülen bilgileri geliştiren, kontrol algoritmasında kullanılan gerekli kontrol kuvvetlerini hesaplayan araçlar, genellikle bir dış enerji kaynağı kullanarak gerekli kontrol kuvvetlerini harekete geçiren tetikleyicilerdir. Aktif kontrol sistemlerini pasif kontrol sistemlerinden ayıran en önemli özellik ise, aktif kontrol sistemlerinin dışarıdan gelen her büyüklükteki yüke cevap verebilmesidir. Bunu gerçekleştirebilmek için çok fazla miktarda kesintisiz enerji kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle uygulama ve işletme maliyetleri oldukça yüksektir (Casciati ve diğerleri, 2011). Aktif Ayarlı Kütle Damperleri (ATMD) ve Aktif Tendon Sistemleri yaygın olarak kullanılan örneklerindedir. Aktif kontrol sistemleri yapıda pasif kontrol sistemleri kadar alana gereksinim duymadan çalışabilmektedir.

Hibrit kontrol sistemleri; yapı titreşimlerinin kontrol altına alınması yüksek binaya uygulanabilecek pasif ve aktif kontrol sistemleri ile kurgulanmaktadır. Ancak uygulanacak sistemin gerekleri, zemin durumu, bina taşıyıcı sistemi, binada uygulanacak bölüm gibi değişkenler farklı iki veya daha fazla sistemi bir arada bulundurabilmektedir. Hibrit sistemler pasif ve aktif kontrol sistemlerinin bir arada kullanıldığı sistemlerdir. Yüksek bina için konumlandırılmalarında ve titreşim sönümlenmelerinde özel hesapların yapılması gerekmektedir (Djedoui ve diğerleri, 2017). Pasif kontrol sistemlerine göre performans açısından; aktif kontrol sistemlere göre enerji kullanımı açısından oldukça başarılı çözümler sergilemektedir.

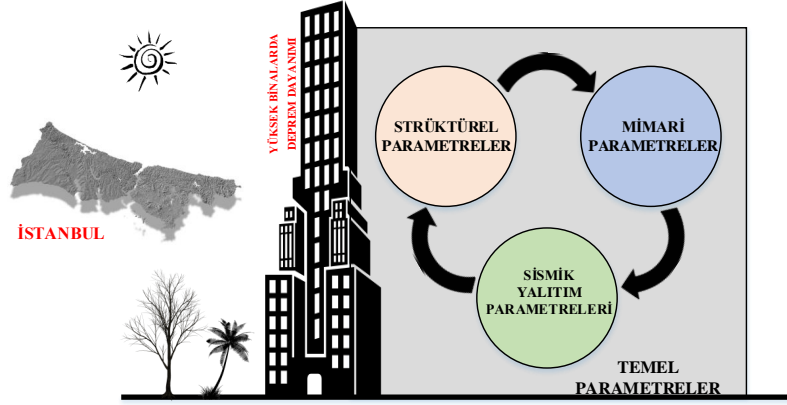
Deprem dayanımının sağlanmasında sismik kontrol sistemleri tercihlerinde göz önüne alınması gereken parametreler aşağıda belirtilmiştir:

- Yüksek binanın konumlanacağı bölgenin sismik tehlikesine göre sismik kontrol sistemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir.
- Binanın yaşam döngüsüne ve ekonomik veriler ışığında katma değer araştırılmasının yapılması gerekli olmaktadır.
- Yüksek binanın mimari projesi ve strüktür tasarımına uygun olacak şekilde planlaması yapılmalıdır. Özellikle strüktür tasarımı ile bütünleşik olarak kurgulanması beklenmektedir.
- Pasif kontrol sistemlerinin cephede kullanılmasında mimari etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.
- Sismik yalıtımlardan pasif kontrol sistemleri yüksek binalarda bina periyodunu arttırabilmektedir. Performansa dayalı gerekli önlemlerin alınması ve deprem sırasında güvenli bir salınım hareketine izin verebilecek şekilde planlanmalarının yapılması gerekmektedir.
- Aktif kontrol sistemlerinde sistemin sürekliliği için kesintisiz güç kaynağı oluşturulmalıdır.

2. Materyal ve Yöntem

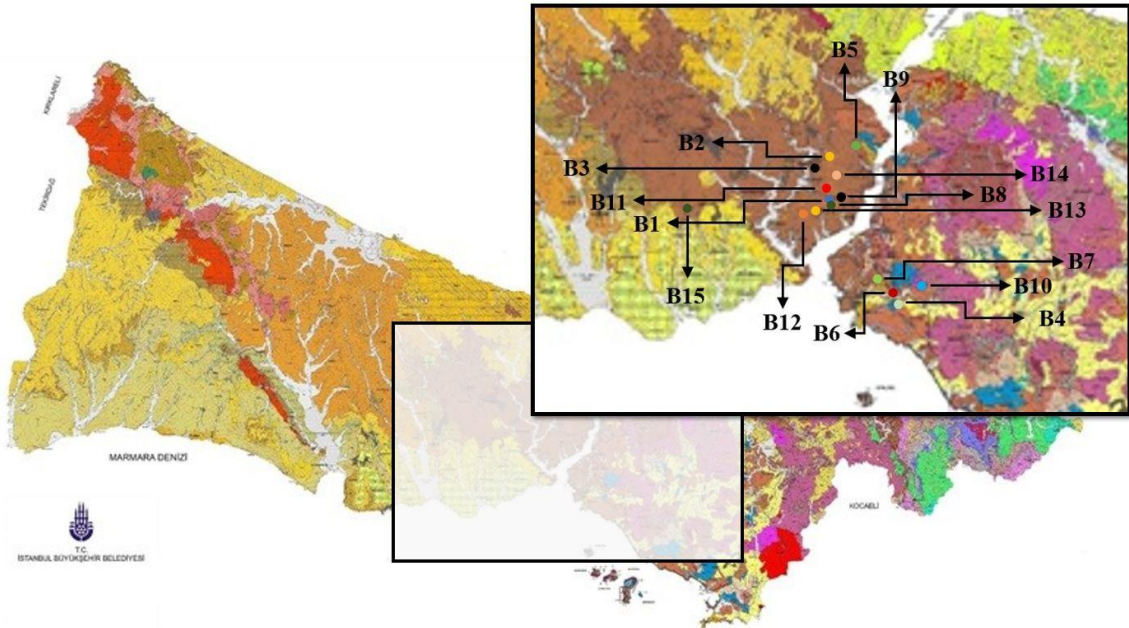
Çalışma kapsamında, performansa dayalı sismik tasarım ilkeleri yüksek binalar ölçeğinde ele alınarak kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatür araştırması sonucunda önem teşkil eden tasarım kriterleri ve önlemler; strüktürel sistemler (taşıyıcı sistem ve malzeme), mimari kurgu (bina tasarımı ve geometri) ve sismik yalıtım kullanımına yönelik yaygın tasarım kararları, binaların yükselmesi ile gelecek zorlanmalar ve bu zorluklara karşı alınmış önlemler ortaya konulmuştur. Performansa dayalı sistem bileşenleri olarak ortaya konulan ilkeler alan çalışması olarak seçilmiş olan

İstanbul'daki mevcut yapı stoku içerisindeki yüksek binalar çerçevesinde irdelenmiştir. Türkiye'de İstanbul, yüksek bina sayısının en fazla olduğu şehir olarak ön plana çıkmaktadır. Son zamanlarda yapılmış ve yapılacak olan yüksek binalar ve İstanbul'un geçmişte yaşadığı/yaşayacağı depremler düşünüldüğünde, şehrin ve yüksek binaların büyük bir risk altında olduğu öngörülmektedir. İstanbul'da bulunan yüksek binaların depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerine yönelik incelemeleri yapılmıştır. İncelemelerde, ölçüt örnekleme yöntemi ile örneklem olarak 15 yüksek bina ele alınmış, gözlem yöntemi ile deprem dayanımı (strüktürel parametreler, mimari parametreler ve sismik yalıtım parametreleri) analizleri yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Yüksek bina deprem dayanımına yönelik parametreler ve İstanbul örneği

Çalışma kapsamında aktif fay hattı üzerinde bulunan İstanbul metropol kenti için, projelendirilmiş ve uygulanmış yüksek binalarda deprem dayanımının sağlanması amacıyla alınan önlemlere yer verilmiştir. Yüksek binaların deprem dayanımının incelenmesinde, İstanbul kentinde bulunan yükseklik sıralamasına göre ilgili literatürden elde edilen bilgiler ve güvenilir kaynaklardan elde edilen veriler doğrultusunda yüksek binalar ele alınmış ve detaylı olarak incelenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. İstanbul'un jeoloji haritası üzerinde incelenen yüksek binaların konumları (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2017; 2023)

Çalışmanın evreni, amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme yöntemi ile belirlenmiştir. Ölçüt örnekleme, çalışılan problemle ilgili olarak belirlenen niteliklere sahip ve bilgi açısından zenginlik sağlayacak kişiler, nesnelere ya da olaylardan oluşturulmaktadır. Bu doğrultuda yüksek bina uygulamalarını yeterli düzeyde temsil edebilmek amacıyla farklı yapı tiplerini barındıran örneklem grubu oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında incelenen İstanbul'da bulunan yüksek binalara ait bina yükseklikleri, yapım yılları, kat sayısı, bodrum kat sayısı, plan şemaları ve cephe perspektifleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Örneklem olarak ele alınan yüksek binaların mimari özellikleri*

Bina Adı (Kodu)	Istanbul Tower 205 (B1)	Nurul Life (B2)	Skyland Office Tower (B3)	Allianz Tower (B4)	Maslak Spine Tower (B5)
Yüksekliği (m)	225	220	284	185.5	202
Yapım Yılı	2019	2018	2017	2015	2014
Kat Sayısı / Bodrum Kat Sayısı	52 / 5	60 / N/A	65 / N/A	40 / 4	47 / 9
Plan Şeması					
Cephe Perspektifi					
Bina Adı (Kodu)	Palladium Tower (B6)	Ak-Asya Shopping Centre Tower (B7)	Özdilek River Plaza (B8)	Soyak K.K.F. Headquarters (B9)	Andromeda Gold (B10)
Yüksekliği (m)	180	172.6	170	169	181
Yapım Yılı	2014	2014	2014	2014	2013
Kat Sayısı / Bodrum Kat Sayısı	42 / 4	55 / N/A	38 / 7	32 / 8	52 / N/A
Plan Şeması					
Cephe Perspektifi					
Bina Adı (Kodu)	Sapphire Tower (B11)	Anthill Residence (B12)	Şişli Plaza (B13)	İş Bankası Tower (B14)	Tekstilkent Plaza (B15)
Yüksekliği (m)	261	194.5	170.1	181.5	168
Yapım Yılı	2010	2010	2007	2000	2000
Kat Sayısı / Bodrum Kat Sayısı	56 / 10	54 / 5	46 / 4	52 / 5	44 / N/A
Plan Şeması					
Cephe Perspektifi					

*Sıralama, yüksek binaların yapım yılları esas alınarak yapılmıştır.

3. Araştırmanın Bulguları ve Tartışma

Araştırılan yüksek binalarda deprem dayanımı hakkında detaylı bilgi sahibi olmak amacıyla gözlem yöntemi tercih edilmiştir. Kriterlerin incelenmesinde ilk bilgi kaynağı olan gözlem yöntemi, sistematik olarak önceden hazırlanan, neyin arandığı bilinen, çizelgeler ve/veya ölçekler kullanılarak bir oluşumu, duyular da dâhil olarak izleyen bir veri toplama tekniği olarak kullanılmaktadır. Araştırma çerçevesinde, öncelikle İstanbul'dan 15 adet yüksek bina üzerinden deprem dayanımının strüktürel parametreler, mimari parametreler ve sismik yalıtım parametreleri üzerinden incelemeleri yapılmıştır (Çizelge 2). Aynı kent ortamında bulunması ve dönemsel farklılıklar (yapım yılı) taşımalarının bir sonucu olarak yüksek binaların deprem dayanımındaki temel parametrelerin rolü inceleme kapsamı dışında tutulmuştur. Alan çalışmasının sonucu da yüksek binaların mimari projeleri üzerinde literatürden elde edilen bilgiler ve güvenilir kaynaklardan elde edilen veriler ışığında binaların yükseklikleri, yapım yılı, kat sayısı, bodrum kat sayısı, taşıyıcı sistem malzemesi, taşıyıcı sistem türü,

çekirdek konumu, çekirdek oranı ve uyumu, strüktürel bileşenler, mimari parametreler ve sismik yalıtım kullanımı üzerinden analizleri çıkarılmıştır.

Çizelge 2. İstanbul metropolünde bulunan yüksek binaların deprem dayanımı analizleri

		B1	B2	B3	B4	B5
		Malzeme	Betonarme	Betonarme	Betonarme	Betonarme
Strüktürel Parametreler	Tür	Çekirdek ve Rijit Çerçeve	Çekirdek ve Rijit Çerçeve	Çekirdek ve Rijit Çerçeve	Tübüler ve Çekirdek Sistem	Tübüler ve Çekirdek Sistem
	Çekirdek Konumu	Merkezi Çekirdek Sistemi	Merkezi Çekirdek Sistemi	Merkezi Çekirdek Sistemi	Merkezi Çekirdek Sistemi	Merkezi Çekirdek Sistemi
	Çekirdek Oranı ve Uyum	25% Bina formu ile uyumlu	23% Bina formu ile uyumlu	24% Bina formu ile uyumlu	21% Bina formu ile uyumlu	33% Bina formu ile uyumlu
	Strüktürel Bileşenler	<ul style="list-style-type: none"> • Tek yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmamaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çift yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tek yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Simetrik olmayan taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çift yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır.
	Mimari Parametreler	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Simetrik plan • Prizmatik form • Orta yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal geometri (dikdörtgen) • Simetrik plan • Prizmatik form • Orta yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal geometri (üçgen) • Simetrik plan • Tapered form • Orta yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Asimetrik plan • Serbest form • Orta yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal geometri (daire) • Simetrik plan • Silindirik form • Orta yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı
	Sismik Yalıtım Parametreleri	Sismik yalıtım kontrolü bulunmamaktadır		Pasif kontrol vardır.		Sismik yalıtım kontrolü bulunmamaktadır.
		B6	B7	B8	B9	B10
		Malzeme	Betonarme	Betonarme	Betonarme	Betonarme
Strüktürel Parametreler	Tür	Çekirdek ve Rijit Çerçeve	Çekirdek ve Rijit Çerçeve	Çekirdek ve Rijit Çerçeve	Mega Kolon ve Perde Duvar Taşıyıcı	Perde Duvar Taşıyıcılı
	Çekirdek Konumu	Merkezi Çekirdek Sistemi	Merkezi Çekirdek Sistemi	Merkezi Çekirdek Sistemi	Merkezi Çekirdek Sistemi	-
	Çekirdek Oranı ve Uyum	26% Bina formu ile uyumlu	22% Bina formu ile uyumsuz	15% Bina formu ile uyumlu	19% Bina formu ile uyumsuz	-
	Strüktürel Bileşenler	<ul style="list-style-type: none"> • Çift yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tek yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Simetrik olmayan taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Simetrik olmayan taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çift yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır.
	Mimari Parametreler	<ul style="list-style-type: none"> • Asal geometri (dikdörtgen) • Simetrik plan • Setback form • Az yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Simetrik plan • Silindirik form • Orta yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Asimetrik plan • Setback form • Az yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Asimetrik plan • Serbest form • Orta yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Simetrik plan • Prizmatik form • Orta yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı
	Sismik Yalıtım Parametreleri	Sismik yalıtım kontrolü bulunmamaktadır.				
		B11	B12	B13	B14	B15
		Malzeme	Betonarme	Betonarme	Betonarme	Betonarme
Strüktürel Parametreler	Tür	Çekirdek ve Rijit Çerçeve	Perde Duvar Taşıyıcılı	Çekirdek ve Perde Duvar Taşıyıcılı	Çekirdek ve Rijit Çerçeve	Mega Kolon ve Perde Duvar
	Çekirdek Konumu	Dış Çekirdek Sistemi	-	Merkezi Çekirdek Sistemi	Merkezi Çekirdek Sistemi	Merkezi Çekirdek Sistemi
	Çekirdek Oranı ve Uyum	16% Bina formu ile uyumlu	-	N/A Bina formu ile uyumsuz	22% Bina formu ile uyumlu	13% Bina formu ile uyumlu
	Strüktürel Bileşenler	<ul style="list-style-type: none"> • Çift yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tek yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tek yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmamaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çift yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çift yönlü simetrik taşıyıcı sistem • Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır.
	Mimari Parametreler	<ul style="list-style-type: none"> • Asal geometri (dikdörtgen) • Simetrik plan • Prizmatik form • Orta yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Simetrik plan • Setback form • Yüksek yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Simetrik plan • Setback form • Az yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Simetrik plan • Setback form • Az yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı 	<ul style="list-style-type: none"> • Asal olmayan geometri • Simetrik plan • Prizmatik form • Az yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımı
	Sismik Yalıtım Parametreleri	Sismik yalıtım kontrolü bulunmamaktadır.				

Yüksek binaların deprem dayanımlarının incelenmesinde İstanbul metropolünde bulunan mevcut 15 yüksek bina ele alınmış ve bilgi erişimi sağlanan parametreler çerçevesinde değerlendirmeleri yapılmıştır:

- İstanbul'da inşa edilen yüksek binaların yüksekliklerinin genellikle giderek arttığı gözlemlenmiştir. Yükseklikle artan kat sayısı ile yapı elemanlarının kesit boyutlarının azaldığı tespit edilmiştir. Yapı malzeme bilgisinin artması ile yüksek yapılarda tasarım ve uygulama açısından çeşitlilikler/varyasyonlar ile birlikte farklı geometrik formların oluşturulduğu gözlemlenmiştir (Sev ve Başarır, 2015). Yüksek bina plan düzlemlerinde farklı form arayışları tercih edilmiştir.
- Toprak altında kalan bodrum kat ve temel sistemleri, yükselen bina katsayılarının uygun taşıma kapasitelerinde ve statik yüklerin zemine uygun şekilde aktarılmasında etkili olacak biçimde çözümlenmiştir. Yükselmeye bağlı olarak ortaya çıkan zemin sorunlarında artan bodrum kat sayıları deprem yüklerine karşı performans açısından olumlu sonuçlar göstermektedir.
- İstanbul, Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde olmasından dolayı deprem riski en yüksek olan yerleşimler arasında yer almaktadır. İstanbul'un Avrupa yakasında başlıca Karbonifer, Eosen, Oligosen, Miyosen ve Kuvaterner yaşlı çökel kayaları ile kıyı şeridinde yakın alanlarda dolgu malzemesi bulunmaktadır (Dalgıç ve diğerleri, 2009). Bununla birlikte, yüksek binaların bulunduğu bölgeler jeoloji haritasında Trakya Formasyonu (kumtaşı, miltası, şeyil, çakıltası) ve Denizli Köyü Formasyonu (kireç taşı) bünyesinde yer almaktadır. Zeminlerin ve zemine uygun temel çözümleri analizlerinin jeoloji mühendisleri ile birlikte yapılması gerekmektedir. Bunun nedeni zeminlerin kendi içlerinde deprem kuvvetlerine karşı farklı dinamik tepki göstermesidir.
- Taşıyıcı sistem malzemesi ele alındığında yaklaşık tüm binalarda betonarmenin kullanımı dikkat çekmektedir. Türkiye koşulları çerçevesinde betonarme erişiminin kolay ve ekonomik olması en belirgin özelliği ile basınç ve çekme gerilmelerine karşı yüksek mukavemet gösteren bir taşıyıcı sistem malzemesi olarak betonarme çoğunlukla tercih edilmiştir (Odabasi ve diğerleri, 2021). İncelenen yüksek bina örnekleri üzerinden %93'e yakın bir değerde bina betonarme olarak inşa edilmiştir. %7'lik kısımda ise sadece İstanbul Tower (B1) betonarme ve çelik birlikteliği olarak kompozit taşıyıcı sistem malzemeleri ile inşa edilmiştir.
- İncelenen yüksek bina örneklerinde kullanılan taşıyıcı sistem türlerinde; %60'ında rijit çerçeve sistem, %20'sinde perde duvar sistem ve %20'sinde tübüler sistem ve mega kolon kullanımı belirlenmiştir. Taşıyıcı sistem türlerinin seçimlerinde; İstanbul Tower 205 (B1), Nurool Life (B2), Skyland Office Tower (B3), Allianz Tower (B4), Palladium Tower (B6), Ak-Asya Shopping Center Tower (B7), Özdilek River Plaza (B8), Sapphire Tower (B11), İş Bankası Tower (B14) yüksek binalarında çekirdek kurgusu oluşturularak rijit çerçeve sistemlerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Yatay yüklerin kontrol edilmesinde kullanılan perde duvarlı taşıyıcı sistemler de Andromeda Gold (B10), Anthill Residence (B12), Şişli Plaza (B13) yüksek binalarında tercih edilmiştir. Tübüler sistem ve mega kolonlar ise Maslak Spine Tower (B5), Soyak Kristal Kule-Finansbank Headquarters (B9), Tekstilkent Plaza (B15) yüksek binalarında bina taşıyıcı sistem türleri arasında tercih edilmiştir. Yüksek bina taşıyıcı sistem türlerinde en çok rijit çerçeve sistemler ve perde duvarlı sistemlerin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Yüksek binalarda kullanılan taşıyıcı sistemlerin yapılarda sünekliliği yüksek oranlarda sağlaması nedeniyle tercih edilmeleri depreme dayanıklılık açısından uygun bulunmuştur.
- Yüksek binalarda çekirdeğin konumu, formu ve planda kapladığı alan deprem dayanımında büyük rol oynamaktadır. Düşey sirkülasyon elemanlarının çekirdekte kurgulanması bina-kütle dağılımını etkilemektedir (Willford ve diğerleri, 2008; Maffei ve Yuen, 2007). Çalışma kapsamında ele alınan yüksek binalar incelendiğinde, cephelerden maksimum düzeyde faydalanmak amacıyla yaklaşık %80 oranında merkezi çekirdek sisteminin kullanıldığı tespit edilmiştir. İncelenen örnekler kapsamında dış çekirdek sisteminin sadece Sapphire Tower (B11) binasında kullanıldığı belirlenmiştir. Dış çekirdek sistemi tercih edilen örnekte simetrik konumlandırılmış çekirdek kurgusu oluşturulmuş ve planda ortaya çıkması olası düzensizlikler önlenmeye çalışılmıştır. İncelenen yüksek yapı örnekleri üzerinden yaklaşık %13'ünde çekirdek kurgusu bulunmamaktadır. Çekirdeği bulunan yüksek yapı örneklerinden bina formu ve çekirdek kurgusu uyumu sağlayan

yapıların ise yaklaşık %77 olduğu tespit edilmiştir. Yüksek bina taşıyıcı sistem tasarımlarında önem arz eden çekirdek alanlarının kat planına oranının özellikle son yıllarda artış gösterdiği belirlenmiştir.

- Strüktürel parametrelerin genel kurgusunu oluşturan strüktürel bileşenler incelendiğinde taşıyıcı sistemlerde tek ve çift yönlü simetrik yerleşimler ve simetrik olmayan yerleşimler kullanılmıştır. İncelenen yüksek bina örneklerinde yaklaşık %33 düzeyinde tek yönlü simetrik, %47 düzeyinde çift yönlü simetrik ve %20 düzeyinde simetrik olmayan taşıyıcı sistem kurgusu bulunmaktadır. Yüksek bina örneklerinde özellikle taşıyıcı sistem kurgusunda simetrik yaklaşımların kullanılması yüksek bina deprem dayanımında olumlu bulunmuştur.
- Mimari parametreler çerçevesinde incelenen İstanbul yüksek binalarında asal geometriler (dikdörtgen, üçgen, daire) ve asal olmayan geometri formları kullanılmıştır. İncelenen yüksek binalarda %33 düzeyinde asal formlar, %67 düzeyinde asal olmayan formlar tercih edilmiştir. Mimari planlamalarda ise %80 oranında simetrik plan, %20 oranında simetrik olmayan planlar kullanılmıştır. Bina form geometrisi ve planlama anlayışları arasında mimari ve estetik kaygılardan kaynaklı farklılıklar gözlemlenmiştir. Yüksek binaların mimari plan düzlemlerinde çoğunlukla simetri tercih edilmiş ve kullanılmıştır.
- İncelenen yüksek binaların genel kütle formları incelendiğinde; yaklaşık %33 düzeyinde prizmatik, %33 düzeyinde kademeli-geri çekilmeli (setback), %14 düzeyinde silindirik, %14 düzeyinde serbest (free) ve %6 düzeyinde konik (tapered) form kullanılmıştır. Farklı kütle formlarının kullanıldığı, plan geometrisinden bağımsız kütle formlarının üretildiği gözlemlenmiştir. İncelenen bazı yüksek binalarda asal geometriden uzaklaşmış ve yükseldikçe planları farklılaşan tiplerde yüksek bina tasarımları ortaya çıkmıştır; bunlara örnek olarak Allianz Tower (B4); Soyak Kristal Kule-Finansbank Headquarters (B9) örnek verilebilir. Yüksek bina deprem dayanımlarında özellikle kütle-form kararları ve plan düzenlemelerinin esnek tasarımlarla ve dinamik formlarla da yapılabileceği gözlemlenmiştir.
- Yüksek binalarda mimari bileşenler olarak yapısal olmayan eleman kullanımlarının orta yoğunlukta olduğu tespit edilmiştir. Yapısal olmayan elemanların büyük ölçüde taşıyıcı aks sistemleri üzerinde kurgulandığı veya açık ofis, kat terasları gibi döşeme üstlerinde yapısal olmayan eleman yüklerinin azaltıldığı belirlenmiştir. Yüksek binalarda yapısal olmayan elemanların fazla yoğunlukta kullanılması binanın deprem kuvvetlerinden daha çok etkilenmesine neden olacaktır. İstanbul metropolünde bulunan mevcut yüksek binalarda bu duruma dikkat edildiği ve yüksek yoğunlukta yapısal olmayan eleman kullanımının olmadığı gözlemlenmiştir.
- İncelenen yüksek binalarda yaklaşık %87 düzeyinde kütle merkezi ve rijitlik merkezinin çakıştırıldığı taşıyıcı sistem kurguları tespit edilmiştir. Asal olmayan geometri kullanımları bulunan bazı yüksek bina örneklerinde kütle merkezi ve rijitlik merkezinin çakıştırılmadığı gözlemlenmiştir (İstanbul Tower 205, B1; Şişli Plaza, B13).
- İncelenen yüksek binalarda taşıyıcı sistem kurguları genel olarak incelendiğinde plan ve kesit düzleminde, düzensizliklerden kaçınıldığı tespit edilmiştir. Her bir yüksek bina ölçeğinde, açıklık geçme oranlarının yaklaşık benzer mesafelerde olduğu ve döşeme kurgularının döşemelerde düzensizlik oluşturmayacak biçimde tasarlandığı belirlenmiştir.
- İstanbul yüksek bina örneklerinde sismik kontrol sistemlerinin kullanılması oldukça sınırlı kalmıştır. Aktif kontrol sistemlerinin yüksek maliyetlerde olması ve teknik eleman yetersizliği gibi durumlardan kaynaklı tercih edilmediği düşünülmektedir. Ancak, pasif kontrol sistemi kullanımına ait tek örnek olarak Allianz Tower (B4) dikkat çekmektedir.

Teknolojik gelişmeler ve yüksek dayanımlı beton kullanımı gibi deprem dayanımını güçlendiren etmenler ve etkili strüktürel ve mimari sistem tasarımları incelenen İstanbul yüksek binalarında kullanılmış ve uygulanmıştır. Çekirdek konumuna göre mimari tasarım ve iç mekân çözüm önerileri geliştirilmiştir. Yüksek bina tasarımlarında çekirdek kurgularının bina karakteristiğini büyük ölçüde etkilediği ve özellikle deprem yükleri için bir parametre olarak değerlendirildiği saptanmıştır (Binzet ve diğerleri, 2014; Sarı, 2017; Sev ve diğerleri, 2011). Mimari tasarım yaklaşımlarında İstanbul'da

bulunan yüksek binaların tasarım süreçlerine yönelik bir inceleme yapılamamıştır. Ancak kent ölçeğinde ele alındığında yüksek binaların belirli bölgelerde (Gayrettepe-Maslak arasında, Bomonti'de, Ataşehir ve Kozyatağı'nda) toplandığı, kentsel ölçekte nirengi noktaları oluşturduğu tespit edilmiştir (Ölgen ve Özker, 2020).

Analizler sonucunda İstanbul'da bulunan yüksek binaların deprem dayanımına yönelik genel çıkarımlar ve değerlendirmeler yapılarak, tartışmalar sunulmuştur. Çalışmanın hedef kitlesi olarak mühendisler, mimarlar, sektör paydaşları ve kullanıcılar için yüksek binalarda depreme dayanıklılık bilinci oluşturulmaya çalışılmıştır. Yapılan araştırmanın deprem mimarlığına, deprem dayanımının mimari tasarım sürecine entegrasyonuna ve yüksek binalar ara kesitine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Deprem üst yapıyı, yapının temelinden başlayarak etkilemektedir. Özellikle bu durum yüksek binalar genelinde düşünüldüğünde, deprem ve periyot ilişkisi açısından büyük sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda deprem şiddeti ile bina kütlesi etkileşimi bakımından yüksek binalar büyük riskler taşımaktadır. Bu doğrultuda yüksek binaların depreme dayanıklılıkları kapsamında performans dayalı sismik tasarım yöntemlerinin ele alınması ve değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu veriler çerçevesinde deprem dayanımında temel parametrelerin analizine, strüktürel bileşenlerin (taşıyıcı sistem ve malzeme) seçimine, mimari (bina tasarım ve geometri) kurgunun belirlenmesine ve sismik yalıtım kararlarının alınmasına yönelik parametrelerin mimari tasarım aşamasında oluşturularak değerlendirilmesi gerekmektedir. Önlemlerin alınması olası bir deprem anında deprem şiddetine bağlı olarak binadan beklenen performans değerlerinin sağlanması konusunda önemlidir. Yüksek binalarda deprem dayanımında kullanıcıların deprem sonrasında yaşamsal faaliyetlerini uygun bir şekilde devam ettirebilmesi esası sağlanmalıdır.

Yüksek binalarda deprem dayanımının oluşturulmasına tasarım aşamasında başlanmalıdır. Tasarım, uygulama ve yapım sürecinde deprem faktörü dikkate alınmalı ve proje yaşam döngüsü sürecinde değerlendirmesi yapılmalıdır. Bölgenin sismotektonik yapısı, bölgede geçmişte yaşanmış tarihsel deprem kayıtları, bölgenin jeoloji yapısı ve zemin koşulları incelenmelidir. Özellikle, zamanla sismotektonik yapısının değişim geçirebileceği unutulmamalıdır. Tüm bu veriler ışığında, yüksek bina tasarım sürecinde temel parametreler, strüktürel ve mimari parametreler ve sismik kontrol parametreleri kapsamlı olarak ele alınmalıdır. Deprem dayanımı kapsamında özellikle strüktürel bileşenler üzerinden doğru malzeme seçimi yapılmalıdır. Doğru malzeme ile malzemeye uygun taşıyıcı sistem seçimi kurgulanmalı, simetrik taşıyıcı sistem kurgusu ve simetrik mimari planlama benimsenmelidir. Yüksek bina taşıyıcı sistemi ve birleşim detayları deprem etkisi altında deprem kuvvetlerini sönmüleyebilecek şekilde kurgulanmalıdır. Mevcut binaların yapısal analizleri ortaya konularak depreme karşı güçlendirilmesi strüktürel elemanlar aracılığı ile olmaktadır. Çekirdeğin konumu, formu ve planda kapladığı alan yüksek binalarda deprem dayanımında önemli rol oynamaktadır. Deprem dayanımında strüktürel bileşen parametrelerinin sağlanmasında; modern teknolojilerin kullanılması, taşıyıcı sistem kurgusu, esnek ve sünek malzemelerin seçilmesi gerekmektedir. Gerekli durumlarda mimari tasarım ve bileşenler yeterli olamıyorsa alternatif olarak sismik kontrol yöntemleri tercih edilebilmektedir. Strüktürel elemanların deprem dayanımında tasarımcı olan mimar, çeşitli konularda mühendis aracılığı ile bina taşıyıcı sistemini denetlemeli ve kontrol etmelidir. Aksi takdirde tasarım aşamasında verilmiş olan strüktürel kararlar için uygulama sonrasında değişim söz konusu olduğunda olası sorunların çözülmesinde büyük problemler yaşanmaktadır. Deprem dayanımında belirlenen parametreler tespit edilirken, parametrelerin birbiri ile olan ilişkisi de uygun şekilde kurgulanmalı ve mimari projeye aktarılmalıdır.

Yüksek binalarda deprem dayanımının oluşturulmasında ülke deprem mevzuatları, yönetmelikleri ve standartları incelenmeli ve çağa uygun olarak geliştirilmelidir. Son dönemlerde gelişmiş ülkelerin deprem mevzuatları kapsamında performans dayalı sismik tasarım yöntemleri benimsenerek bilgisayar benzetim programları aracılığı ile binaya özgü tasarımlar oluşturulmaktadır. Türkiye genelinde İstanbul gibi yüksek binaların çok olduğu yerleşimlerde bu tür teknik elemanların yetiştirilmesi ve teknik kontrol ve uygulama sistemlerinin geliştirilmesi amaçlanmalıdır. Deprem

mevzuat sistemlerinde yüksek binalar bölümü detaylı olarak ele alınmalı ve ilgili mevzuatın mimari projeye entegre olması çerçevesinde çalışmalar yürütülmelidir.

Son söz olarak gelişen ve ilerleyen teknolojik imkânlar neticesinde yüksek binalarda deprem dayanımının sağlanmasına yönelik tasarımlar, kurgular ve öneriler geliştirilmelidir. Yaşanmış ve yaşanmakta olan depremlerin arkada bıraktığı etkiler bilinmeli ve olası depremlerde bina davranışları düşünülerek mimari proje süreci başlatılmalıdır. Çalışmanın hedef kitlesi olarak mühendisler, mimarlar ve iki disiplinin öğrencileri için deprem riski olan bölgelerde belirleyici faktör olan depreme dayanıklılık konusu yüksek yapılar kapsamında ele alınmış, konunun hassasiyeti üzerinde durulmuştur. Deprem mühendisliği bilim alanı ile birlikte deprem mimarlığı alanının oluşturulması ve bu hususta öncü çalışmaların yapılması gerekmektedir. Teknolojinin etkin kullanılarak, rasyonel ve ekonomik çözümlerin üretilmesi çerçevesinde mimarların ve mühendislerin ortak çalışması ile depreme dayanıklı yüksek binaların tasarlanması gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca gelecek çalışmalar için İstanbul'da bulunan farklı yüksek binalar ve aktif fay hatları üzerinde bulunan farklı yerleşimlere ait yüksek binaların benzetim araçları yardımıyla daha detaylı araştırılması ve değerlendirilmesi; sonuçlarının detaylandırılması ve çeşitlendirilmesi açısından önemli görülmektedir.

Teşekkür ve Bilgi Notu

Makalede ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada etik kurul izni gerekmemiştir.

Yazar Katkısı ve Çıkar Çatışması Beyan Bilgisi

Makalede tüm yazarlar aynı oranda katkıda bulunmuştur. Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Ali, M. M. ve Moon, K. S. (2007). Structural developments in tall buildings: Current trends and future prospects. *Architectural Science Review*, 50(3), 205-223. doi: 10.3763/asre.2007.5027
- Aly, A. M. ve Abburu, S. (2015). On the design of high-rise buildings for multihazard: Fundamental differences between wind and earthquake demand. *Shock and Vibration*, Volume 2015. doi: 10.1155/2015/148681
- Aly, N. ve Galal, K. (2019). Seismic performance and height limits of ductile reinforced masonry shear wall buildings with boundary elements. *Engineering Structures*, 190, 171-188. doi: 10.1016/j.engstruct.2019.03.090
- Arnold, C. (1996). *Architectural aspects of seismic resistant design*. 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico.
- Aydinoğlu, M. N. (2013). *Deprem etkisi altında yüksek binalarda tasarım sorunları*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Etkinlikleri, İzmir, Türkiye.
- Baird, A., Palermo, A., Pampanin, S., Riccio, P. ve Tasligedik, A. S. (2011). Focusing on reducing the earthquake damage to facade systems. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 44(2), 108-120. doi: 10.5459/bnzsee.44.2.108-120
- Barka, A. (2000). *The next expected Marmara earthquake*. International Istanbul Earthquake Meeting, TUYAP Fuarçılık, İstanbul, Türkiye.
- Binzet, S., Tüzün, C. ve Erdik, M. (2014). *Performance based design of a high rise building based on İstanbul tall building seismic code*. 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, İstanbul, Türkiye.
- Bungale, S. T. (1988). *Structural Analysis and Design of Tall Building*. New York: The William Byrd Press. USA.
- Burton, P. W., Qin, C., Akis Tselentis, G. ve Sokos, E. (2004). Extreme earthquake and earthquake perceptibility study in Greece and its surrounding area. *Natural Hazards*, 32, 277-312. doi: 10.1023/B: NHAZ.0000035545.89097.0d

- Casciati, F., Rodellar, J. ve Yıldırım, U. (2011). *Active and semi-active control of structures: A review of recent advances*. 8th International Conference on Structural Dynamics, (EURODYN), Leuven, Belgium. doi: 10.1177/1045389X12445029
- Charleson, A. (2007). *Architectural Design for Earthquake; A Guide to the Design of Non-Structural Elements*. New Zealand: Society for Earthquake Engineering.
- Charleson, A. (2008). *Seismic Design for Architects Outwitting the Quake*. Oxford: Architectural Press, Elsevier. UK.
- Dalgıç, S., Turgut, M., Kuşku, İ., Coşkun, Ç. ve Coşgun, T. (2009). İstanbul'un Avrupa yakasındaki zemin ve kaya koşullarının bina temellerine etkisi. *Uygulamalı Yerbilimleri*, 2, 47-70.
- Djedoui, N., Ounis, A., Pinelli, J. P. ve Abdeddaim M. (2017). Hybrid control systems for rigid buildings structures under strong earthquake. *Asian Journal of Civil Engineering*, 18(6), 893-909.
- Fan, H., Li, Q.S., Tuan, A.Y. ve Lihua, X. (2009). Seismic analysis of the world's tallest building. *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 1206-1215. doi: 10.1016/j.jcsr.2008.10.005
- Garcia, B. (2000). *Earthquake Architecture: New Construction Techniques for Earthquake Prevention*. Barcelona: Loft Publications, Spain.
- Golesorkhi, R., Joseph, L., Klemencic, R., Shook, D. ve Vilse, J. (2017). *Performance-based seismic design for tall buildings*. CTBUH Performance-Based Seismic Design Working Group Technical Guides, USA.
- Harmankaya, Z. Y. ve Soyluk, A. (2010). Yüksek yapılarda taşıyıcı sistem ve cephe etkileşimi. 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Hussain, S. H. ve Hussain, M. S. (2017). The strategies of architectural design resisting earthquake in tall buildings. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences (NJES)*, 20(2), 436-445.
- Ilgın, H. E. ve Günel, M. H. (2008). Yüksek binalarda yanal kuvvetlere karşı strüktürel yaklaşımlar. *Dosya*, 20-25.
- İlerisoy, Z. Y. (2019a). Vertical structural irregularities in earthquake codes within the scope of architectural design. *Online Journal of Art and Design (OJAD)*, 7(1), 231-253.
- İlerisoy, Z. Y. (2019b). Discussion of the structural irregularities in the plan for architectural design within the scope of earthquake codes. *Periodica Polytechnica Architecture*, 50(1), 50-62. doi: 10.3311/PPar.13040
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2017). İstanbul ili, 1/25.000 ölçekli arazi kullanımına esas jeolojik etüt raporu. İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2023). <http://www.ibb.gov.tr/>. (Available at: 10.07.2023).
- Koç, Y., Gültekin, A.B., Durmuş, G. ve Dikmen Ç.B. (2009). *Yüksek yapı tasarımının malzeme ve taşıyıcı sistem kapsamında incelenmesi* (Examination of high-rise building design in the context of material and carrier system). 5th International Advanced Technologies Symposium, Karabük, Turkey.
- Kwon, O. ve Kim, J. (2004). *The roles of construction management in super high-rise building projects*. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, CTBUH Conference Proceeding, Seoul, Korea.
- Maffei, J. ve Yuen, N. (2007). Seismic performance and design requirements for high-rise concrete buildings. *Structure*, April 2007, 28-31.
- Mahmoud, S. (2019). Horizontally connected high-rise buildings under earthquake loadings. *Ain Shams Engineering Journal*, 10, 227-241. doi: 10.1016/j.asej.2018.12.007
- Mezzi, M., Parducci, A. ve Verducci, P. (2004). *Architectural and structural configurations of buildings with innovative a seismic system*. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.

- Odabasi, O., Kohrangi, M. ve Bazzurro, P. (2021). Seismic collapse risk of reinforced concrete tall buildings in Istanbul. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 6545-6571. doi.org/10.1007/s10518-021-01188-9
- Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Chang, R., Ghaffarianhoseini, A. ve Rahimian, F. P. (2023). Applications of building information modelling in the early design stage of high-rise buildings. *Automation in Construction*, 152, 104934, doi: 10.1016/j.autcon.2023.104934
- Ölgen, B. ve Özker, S. (2020). *High-rise buildings in cultural code of İstanbul: Büyükdere Avenue example*. 6th International E-Conference on New Trends in Architecture and Interior Design, İstanbul, Türkiye.
- Özşahin, B. (2022). An assessment of the relation between architectural and structural systems in the design of tall buildings in Turkey. *Buildings*, 12, 1649. doi: 10.3390/buildings12101649
- Rahmani, H. R. (2019). *Artificial Intelligence Approach for Seismic Control of Structures*. PhD Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, Germany.
- Rahmani, H. R. ve Könke, C. (2018). *Distributed multiple tuned mass dampers approach for vibration control of high-rise buildings in earthquake*. 10th Conference of Engineering Computational Technology, Spain.
- Rist, V. C. ve Svensson, S. (2016). *Methodology for Preliminary Design of High-Rise Buildings*. Master's Dissertation, Lund University, Sweden.
- Romano, F., Faggella, M., Gigliotti, R., Zucconi, M. ve Ferracuti, B. (2018). Comparative seismic loss analysis of an existing non-ductile RC building based on element fragility functions proposals. *Engineering Structures*, 177, 707-723. doi: 10.1016/j.engstruct.2018.08.005
- Sarı, T. (2017). Review on high-rise housing projects in Istanbul: Toward a sustainable architecture. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 1(18), 39-39. doi: 10.5755/j01.sace.18.1.16598
- Sev, A. ve Başarır, B. (2015). Design criteria for high-rise buildings in historical cities: The case of Istanbul. *Council on Tall Buildings and Urban Habitat, CTBUH, History, Theory & Criticism*, Issue III. 32-37.
- Sev, A. Özgen, A. ve Başarır, B. (2011). *Istanbul: Impact of high-rise buildings on a historic, yet contemporary, city*. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, CTBUH Conference Proceeding, Seoul, Korea.
- Slak, T. ve Kilar, V. (2007). *Earthquake Architecture as an Expression of a Stronger Architectural Identity in Seismic Areas*. Earthquake Resistant Engineering Structures VI. Southampton; Boston: WIT Press. 93, 73-82.
- Slak, T. ve Kilar, V. (2008). Assessment of earthquake architecture as a link between architecture and earthquake engineering, *Prostor (Zagreb)*, 2(36), 155-167.
- Slak, T. ve Kilar, V. (2012). Parameterization and evaluation of seismic resistance within the context of architectural design. *Modern Applied Science*, 6(7). doi: 10.5539/mas.v6n7p17
- Taranath, B. S. (1997). *Steel, Concrete, and Composite Design of Tall Buildings*. McGraw Hill Companies, 2nd Edition, 1-9.
- Taranath, B. S. (2010). *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*. CRC Press Taylor & Francis Group, 347-348.
- Taranath, B.S. (2017). *Tall Buildings Design Steel, Concrete and Composite Systems*. CRC Press Taylor & Francis Group, 171-173.
- Wilford, M., Whittaker, A. ve Klemencic, R. (2008). *Recommendations for the seismic design of high-rise buildings*. A Consensus Document, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Seismic Design Working Group, Illinois Institute of Technology, Chicago, USA.

Seismic Design Criteria for High-Rise Buildings: The Case of Istanbul Metropolis

Summary

Introduction

High-rise buildings are increasing day by day due to the density brought by urban life, the rapid increase in the population in urban areas, the increase in land prices, and the orientation of large companies as symbols of power and prestige. Moreover, the number of high-rise buildings is increasing rapidly thanks to the new materials and construction technologies developing in the construction sector. The increase in the stock of high-rise buildings necessitates the creation of architectural solutions and proposals that differ from other buildings. Therefore, special design and construction requirements should be established for high-rise buildings.

In the design of high-rise buildings, it is an important criterion to carry out the regulations and application inspections for earthquake resistance. Although control mechanisms have been established in developing countries to prevent the control problems under construction, these control mechanisms remain far from being sufficient. The architectural design process is one of the most common control problems to be observed. Seismic isolation controls should also be provided in the architectural design process of high-rise buildings. Additionally, with the positive developments in the field of engineering, there is a great need to raise awareness in architecture to ensure earthquake resistance. Earthquake architecture emerges as these two fields work together and give great input to the building design. The basis in the discipline of earthquake architecture is to consider the effect of earthquakes in the building design process and construct architectural designs that can provide appropriate performance. The performance-based systems, considering the system setup affected by earthquake forces in the architectural design process and transferring all these stages to the project create the essence of earthquake architecture.

This paper includes the analysis of seismic designs of high-rise buildings against earthquakes, starting from an architectural design approach. Analyzes were investigated and detailed from an architectural perspective. Fifteen high-rise buildings in the Istanbul metropolis were examined as a case study and evaluations were made about seismic design solutions.

Material and Method

In this paper, comprehensive literature research was conducted by considering performance-based seismic design principles on high-rise buildings. Design criteria and precautions, design decisions regarding the use of structural systems, architectural design, seismic isolation, the challenges that will come with the rise of buildings, and the precautions taken against these difficulties are presented. The principles created as performance-based system components are examined within the framework of high-rise buildings in the existing building stock in Istanbul, which has been selected as a case study. In Turkey, Istanbul stands out as the city with the highest number of high-rise buildings. Considering the high-rise buildings that have been or will be built recently and the earthquakes that Istanbul has experienced/will experience, it is predicted that the city and high-rise buildings are at great risk. The earthquake-resistant building design principles of high-rise buildings in Istanbul were examined. In the examinations, 15 high-rise buildings were taken as samples by criterion sampling method, and earthquake resistance (structural parameters, architectural parameters, and seismic isolation parameters) analyses were made by observation method (Figure 1). As a result of the analyses, evaluations regarding the earthquake resistance of high-rise buildings in Istanbul were made, and suggestions were presented. As the target group of the paper, it was tried to create an awareness of earthquake resistance in high-rise buildings for engineers, architects, and building users, and its integration into the architectural design process was transferred.

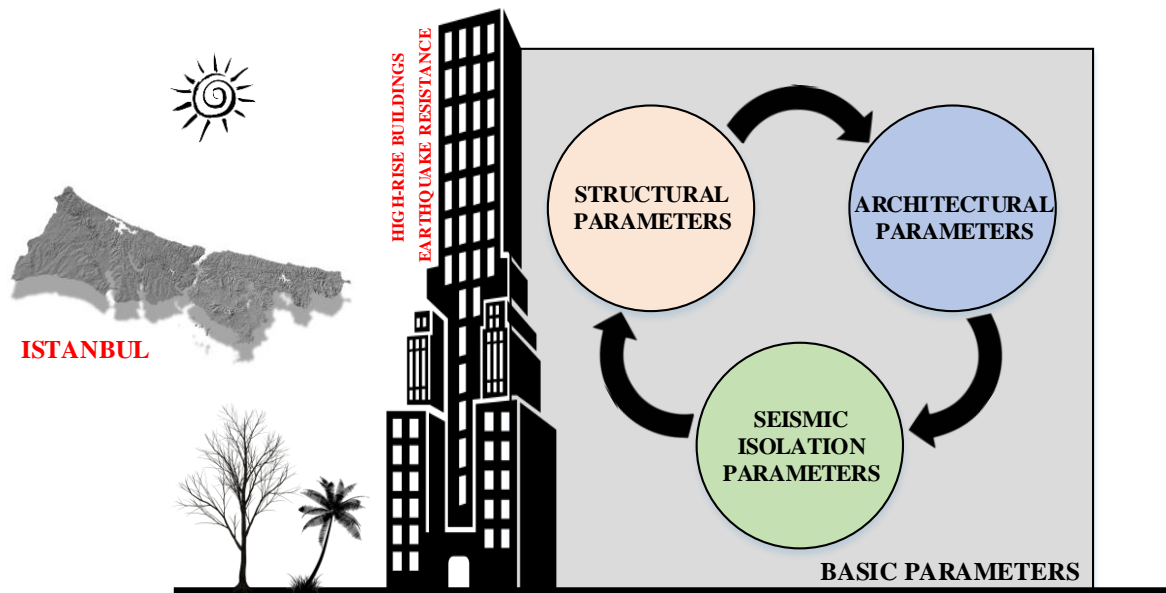


Figure 1. Seismic design criteria for high-rise buildings and the Istanbul Metropolis

In this research, the earthquake resistance of 15 high-rise buildings in Istanbul was examined through structural parameters, architectural parameters, and seismic isolation parameters. The role of basic parameters in the earthquake resistance of high-rise buildings as a result of being in the same urban environment and carrying periodic differences (year of construction) has been excluded from the scope of the research. As a result of the case study, in the light of the information obtained from the literature on the architectural projects of high-rise buildings, the height of the buildings, the year of construction, the number of floors, the number of basement floors, the structural system material, the type of construction system, building core location, building core ratio and harmony, structural components, architectural parameters, and the use of seismic isolation were analyzed.

Findings and Discussion

In the analysis of the earthquake resistance of high-rise buildings, 15 high-rise buildings in Istanbul were taken into consideration, and their evaluations were made within the framework of the parameters for which information access was provided:

- It has been observed that the heights of high-rise buildings constructed in different periods in Istanbul generally increase gradually. It has been determined that the cross-sectional dimensions of the building elements decrease with the increase in the number of floors. With the increase in the know-how of building materials, it has been observed that different geometric forms are created with variations in terms of design and application in high-rise buildings. Different forms were investigated in high-rise building plans.
- Basement floor and foundation systems have been resolved in such a way that the rising building coefficients have appropriate bearing capacities and are effective in transferring static loads to the ground. The increasing number of basement floors shows positive results in terms of performance against earthquake loads.
- When structural material is considered, the use of reinforced concrete in almost all buildings draws attention. Reinforced concrete is mostly preferred as a construction system material that shows high resistance to compressive and tensile stresses, although it is the most prominent properties of reinforced concrete being easy and economical to access within the framework of Turkish conditions. The building with a value close to 93% over the high-rise building samples examined was constructed as reinforced concrete. In the 7% parts, only Istanbul Tower (B1) was built with composite construction system materials as a combination of reinforced concrete and steel.
- In the types of construction systems used in the high-rise building samples, rigid frame system at 60%, shear wall system at 20%, and tubular system and mega column at 20% were determined.

The use of rigid frame systems and shear wall systems is the most prominent in the types of high-rise construction systems. The construction systems used in high-rise buildings are preferred in terms of earthquake resistance since they provide high ductility in structures.

- The location, form, and area of the core in high-rise buildings play a major role in earthquake resistance. The arrangement of vertical circulation elements in the building core affects the building-mass distribution. When the high-rise buildings considered within the scope of the study are examined, it has been determined that the central core system is used at a rate of 80% to make maximum use of the facades. When the outer core system is preferred, a symmetrically positioned core setup was created and possible irregularities in the plan were tried to be prevented. There are no cores in approximately 13% of the examined high-rise buildings. Among the high-rise buildings with a core, it was determined that the building form and core configuration matched with a value of approximately 77%. It has been determined that the ratio of core areas to floor plans, which is important in high-rise structural system designs, has increased especially in recent years.
- When the structural components that make up the general setup of the structural parameters are examined, one-way and two-way symmetrical layouts and non-symmetrical layouts are used in the construction systems. In the examples of examined high-rise buildings, there are unidirectional symmetrical structures at the level of 33%, bidirectional symmetrical structures at the level of 47%, and non-symmetrical structural systems at the level of 20%. The use of symmetrical approaches in high-rise building samples, especially in the design of the structural system, has been found to be positive in the earthquake resistance of high-rise buildings.
- Prime geometries (rectangle, triangle, and circle) and non-prime geometry forms were used in Istanbul high-rise buildings, which were examined within the framework of architectural parameters. Prime forms at the level of 33% and non-prime forms at the level of 67% were preferred in the examined high-rise buildings. In architectural planning, 80% symmetrical plans and 20% non-symmetrical plans were used. Differences have been observed between building form geometry and planning approaches due to architectural and aesthetic concerns. In the plan, especially symmetry is mostly preferred and used.
- When the general mass forms of the high-rise buildings are examined; approximately 33% prismatic, 33% setback, 14% cylindrical, 14% free, and 6% tapered form were used. It has been observed that different mass forms are used, and mass forms independent from the plan geometry are produced. In some of the examined high-rise buildings, the original geometry has been moved away, and the designs of high-rise buildings with different plans as they rise have emerged. It has been observed that mass form decisions and plan arrangements can be made with flexible designs and dynamic forms in the earthquake resistance of high-rise buildings.
- It has been determined that the use of non-structural elements as architectural components in high-rise buildings is moderate. It has been determined that non-structural elements are mostly built on construction axle systems or non-structural element loads are reduced on floor tops such as open offices and floor terraces. The use of non-structural elements in high-rise buildings will cause the building to be more affected by earthquake forces. It has been observed that attention is paid to this situation in the existing high-rise buildings in the city of Istanbul and that high-density non-structural elements are not used.
- Construction system configurations in which the center of mass and center of rigidity overlap at a level of 87% in the examined high-rise buildings. It has been observed that the center of mass and center of rigidity are not overlapped in some high-rise buildings with non-prime geometry uses.
- When the construction system setups are examined in general, it has been determined that irregularities are avoided in the plan and section plane. It has been determined that at each high-rise building scale, the span penetration rates are approximately the same, and the floor setups are formed in this way.

- The use of seismic isolation systems in Istanbul's high-rise buildings has been very limited. It is thought that active isolation systems are not preferred due to high costs and lack of technical personnel.

Factors that strengthen earthquake resistance, such as technological developments and the use of high-strength concrete, were used and applied in the high-rise buildings of the Istanbul metropolis area. Architectural design and interior solution proposals have been developed according to the building's core location. It has been determined that building core configurations greatly affect the building characteristics in high-rise building designs and are considered a parameter for earthquake loads. A review of the design processes of high-rise buildings in Istanbul could not be made. However, when considered at the urban scale, it has been determined that high-rise buildings gather in certain regions (between Gayrettepe-Maslak, Bomonti, Ataşehir, and Kozyatağı) and form landmarks at the urban scale.

Conclusion

Design decisions on earthquake resistance in high-rise buildings should begin during the design process. The earthquake should be taken into account during the design, implementation, and construction process and should be evaluated during the project life cycle. The seismotectonic structure of the region, the historical earthquake records in the region, and the geological structure and ground conditions of the region should be examined. It should not be forgotten that the seismotectonic structure may change over time. In light of all these data, basic parameters, structural and architectural parameters, and seismic isolation parameters should be considered comprehensively in the design phase of high-rise buildings. Within the scope of earthquake resistance, the appropriate material selection should be made, especially over structural components. Appropriate construction system selection should be constructed with the appropriate material, symmetrical construction system design, and symmetrical architectural planning should be adopted. The appropriately resolved construction system and connection details should be constructed in such a way as to dampen the earthquake. Structural analyzes of existing buildings are presented, and strengthening against earthquakes is done through structural elements. The location, form, and area of the building core play an important role in earthquake resistance in high-rise buildings. In providing structural component parameters in earthquake resistance, it is necessary to use modern technologies, construct a construction system, and choose light-weight and durable materials. If the architectural design and components are not sufficient, when necessary, seismic control methods can be preferred as an alternative. The architect, who is the designer in the earthquake resistance of structural elements, should supervise and control the building construction system through the engineer in various subjects. Otherwise, there are big problems in solving possible problems when it comes to the change after implementation for the structural decisions made at the design stage. While the parameters determined in earthquake resistance are found, the relationship of the parameters with each other should be properly constructed and transferred to the architectural project.

In the establishment of earthquake resistance in high-rise buildings, the earthquake legislation, regulations, and standards of the country should be examined and developed in accordance with technological developments. Recently, within the scope of earthquake regulation in developed countries, performance-based seismic design methods are adopted, and building-specific designs are created through computer simulation programs. It should be aimed to train such technical personnel and develop systems in the metropolis areas of Turkey, especially in settlements such as Istanbul where there are many high-rise buildings. In earthquake regulation systems, the section of high-rise buildings should be discussed in detail, and studies should be carried out within the framework of integrating the relevant regulation into the architectural project.

In conclusion, as a result of developing and advancing technological opportunities, designs, constructions, and suggestions should be developed to ensure earthquake resistance in high-rise buildings. The effects left behind by the earthquakes that have been and are being experienced should be known and the architectural project process should be started by considering building behavior in possible earthquakes. For engineers, architects, and students of both disciplines as the

target group of the research, the topic of earthquake resistance, which is the determining factor in earthquake-prone regions, has been addressed within the scope of high-rise buildings, and the sensitivity of the issue has been emphasized. It is necessary to establish the topic of earthquake architecture together with the topic of earthquake engineering and to carry out pioneering studies in this regard. The necessity of designing earthquake-resistant high-rise buildings with the connection work of architects and engineers within the framework of producing reliable and economical solutions by using technology effectively was emphasized. Additionally, for future research, it is important to investigate and evaluate different high-rise buildings in Istanbul metropolis and high-rise buildings belonging to different settlements on active fault lines to elaborate and diversify the results.

