



**YÜKSEK YAPILARDA ÇEKİRDEK TASARIMI VE DESTEK SİSTEM
İLİŞKİSİ**

İsmet Serhan GÜNEŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İsmet Serhan GÜNEŞ

28/04/2023

YÜKSEK YAPILARDA ÇEKİRDEK TASARIMI VE DESTEK SİSTEM İLİŞKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

İsmet Serhan GÜNEŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2023

ÖZET

Yapı ve yapım teknolojileri ülke ekonomilerinde önemli bir yere sahiptir. Bu duruma bağlı olarak kentlerde yapılaşma alanları azaldıkça küçük arazi kullanımına sahip yüksek yapılar önem kazanmaktadır. Belirli yüksekliklerden sonra ise geleneksel taşıyıcı sistemler deprem, rüzgar gibi yanal yüklerle karşı yeterli dayanım sağlayamadığı için farklı taşıyıcı sistem alternatifleri aranmaktadır. Bu taşıyıcı sistemler içerisinde destek sistemler, şu anda dünyanın en yüksek yapılarında Türkiye'nin en yüksek yapılarında uygulanan bir taşıyıcı sistem çözümleridir. Bu çalışmada mimari tasarım sürecinde karar verilen bina çekirdek çözümlerine göre farklılık gösterecek olan destek sistem kullanımı bütüncül bir davranış sergilemeyi hedefleyen destek sistemlerin yapısal davranış incelemesi yapılmıştır. Çalışmada bina üretiminde hakim role sahip mimarlar için çekirdek kararları ile destek sistemlerin kullanımına dair bilinç oluşturmak amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında ilk etapta nitel araştırma yöntemlerinden veri toplama ve iz sürme metotları kullanılarak dünyadan ve ülkemizden 10 adet destek sistem ile tasarlanmış yüksek yapı örneği değerlendirilmiştir. Ardından farklı çekirdek tiplerinde destek sistem kullanımına dair 6 model oluşturulmuştur. Özellikle risk teşkil eden dinamik yükleri de dikkate almak için projelerin İstanbul'un Şişli ilçesinde olduğu varsayılarak sonlu elemanlar modellenmesi yapılmıştır. İdecad programı ile sismik performans doğrulaması yapılarak modeller güvenlik sınırları içerisinde en optimum sonuçlar elde edecek şekilde tamamlanmıştır. Ardından modellere dair yapısal davranış, yapım maliyet ve kiralanabilir alan verilerinin hangi mertebelerde değiştiği karşılaştırılarak ön tasarım sürecine katkı sağlayacak çıkarım elde edilmiştir. Her ne kadar kiralanabilir alan olarak merkezi çekirdek+destek sistem modeli diğer modellere göre daha düşük değerde kalsa da taşıyıcı sistem etkisiyle kazandırdığı yapısal avantajlar, toplam yapım maliyetinde diğerlerine göre daha düşük maliyete sahip olması ve çekirdeğin merkezde konumlanmasının getirdiği özgür cephe tasarımı ve cephe manzara avantajı ile en verimli model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bilim Kodu : 80115

Anahtar Kelimeler : Yüksek yapılar, destek sistemler, deprem, mimari tasarım, servis çekirdeği

Sayfa Adedi : 91

Danışman : Doç. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY

CORE DESIGN AND OUTRIGGER SYSTEMS RELATIONSHIP IN HIGH RISE
BUILDINGS

(M. Sc. Thesis)

İsmet Serhan GÜNEŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2023

ABSTRACT

Building and construction technologies have an important place in national economies. Depending on this situation, high-rise buildings with small land use gain importance over time as the areas in cities decrease. After certain heights, different structural system alternatives are sought since conventional structural systems cannot provide sufficient resistance against lateral loads such as earthquakes and winds. Among these systems, outrigger systems are a structural solution currently applied in the tallest buildings in the world and Turkey. In this study, it is expected that the use of outriggers, which will differ according to the building core solutions decided in the architectural design process, aiming to exhibit a holistic behavior has been made. Therefore, in this study, it is aimed to reveal the extent to which the core decisions and the use of outrigger have changed for the architects who have a dominant role in building production. Within the scope of the study, firstly 10 high-rise buildings designed with outrigger systems from the world and our country were evaluated by using data collection and tracing methods, which are qualitative research methods. Then, 6 models were created for the use of outrigger in different core types. Finite element modeling was carried out assuming that the projects are in Şişli district of Istanbul to consider especially the dynamic loads that pose a risk. Seismic performance verification was made with the İdecad program, and the models were completed within the safety limits to obtain the most optimum results. Then, the structural behavior, construction cost and leasable area data of the models were compared, and an inference was obtained that would contribute to the preliminary design process. Although the central core+outrigger model remains at a lower value compared to other models as a leasable area, the structural advantages it brings with the effect of the structural system, its lower cost in total construction cost than the others, and the free facade design and view advantage brought by the central location of the core. It was concluded that it was the most efficient model.

Science Code : 80115

Key Words : High-rise buildings, outrigger, earthquake, architectural design,
service core

Page Number : 91

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez alıőmamın her aşamasında değerli katkılarıyla bana yol gösteren, her zaman büyük bir sabır ve özveri ile beni yönlendiren ve destek olan, çalışma azminden ve insaniyetinden çok Şey öğrendiğim değerli hocam Doç. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Tez çalıőmam sürecinde her türlü desteklerini ve sevgilerini yanımda hissettiğim değerli eőim Nevin GÜNEŞ, değerli annem Nalan GÜNEŞ, değerli babam Dr.Ahmet GÜNEŞ ve her zaman yol gösterici olan değerli ablam Dr.iur.Biset Sena GÜNEŞ'e teőekkürü borç bilirim. Son olarak tez çalışması sürecimdeki kıymetli desteklerinden dolayı İnşaat Mühendisi Yusuf ERTUğRUL'a ve değerli iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. YÜKSEK YAPILAR VE GÜNCEL TAŞIYICI SİSTEMLER.....	9
2.1. Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistemleri	9
2.2. Destek Sistemler (Outrigger Frame Systems)	10
2.2.1. Destek sistemlerin tipi.....	11
2.3. Destek Sistemlere Yönelik Literatür Taraması	13
3. YÜKSEK YAPI TASARIMINDA SERVİS ÇEKİRDEĞİ VE KİRALANABİLİR ALAN.....	17
3.1. Servis Çekirdeğinin Sınıflandırılması	18
3.2. Yüksek Yapılarda Planlama ve Kiralanabilir Alan	19
3.3. Servis Çekirdeğine Yönelik Literatür Taraması.....	20
2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ	25
4.1. Yüksek Yapı Modellerinin Yapısal Tasarım Aşamasındaki Adımları	27
4.2. Alan Çalışmasının Sınırları.....	34
4.2.1. Yüksek yapıların sayısal modellemesi; idecad statik yazılımı ile modelleme	36
4.2.2. Modellerde kullanılan malzeme özellikleri.....	37

	Sayfa
4.2.3. Yüksek yapı modellerinin deprem parametreleri	38
4.2.4. Modellerin ön tasarımında alınacak yükler	39
4.2.5. Yapım maliyeti hesaplama esasları	39
5. ALAN ÇALIŞMASI	43
5.1. Örnekler Aracılığı ile Mevcut Durum Analizi	43
5.2. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları	55
5.2.1. Birinci araştırma grubu; farklı çekirdek konumuna sahip yapılar	55
5.2.2. İkinci araştırma grubu; destek sistem kullanılan farklı çekirdek konuma sahip yapılar	60
6. BULGULAR VE KARŞILAŞTIRMALAR	65
6.1. Çekirdek Konumunun Yapısal Performans Bulgularına Etkisi.....	65
6.2. Çekirdek Konumunun Bina Yapım Maliyet ve Kiralanabilir Kat Alanı Bulgularına Etkisi.....	67
6.3. Destek Sistem Kullanılan Farklı Çekirdek Konumlarının Yapısal Performans Bulgularına Etkisi.....	68
6.4. Destek Sistem Kullanılan Farklı Çekirdek Konumlarının Bina Yapım Maliyet ve Kiralanabilir Kat Alanı Bulgularına Etkisi	70
6.5. Destek Sistemlerin Eklenmesinin Yapısal Performans Bakımından Karşılaştırılması.....	72
6.6. Destek Sistemlerin Eklenmesinin Bina Yapım Maliyet ve Kiralanabilir Kat Alanı Bulguları	77
7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	83
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ	90

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. İncelenen örnek yapılar	25
Çizelge 4.2. Yüksek yapı tasarımında dikkate alınacak yönetmelik ve standartlar	28
Çizelge 4.3. Deprem yer hareketi düzeyleri.....	29
Çizelge 4.4. Tasarım aşamaları	29
Çizelge 4.5. Bina önem katsayısı.....	32
Çizelge 4.6. Deprem tasarım sınıfları.....	32
Çizelge 4.7. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları.....	33
Çizelge 4.8. Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar	34
Çizelge 4.9. Seçilen bölgeye ait spektral ivme değerleri	38
Çizelge 5.1. Destek sistemlerin kullanıldığı örnek yüksek yapılar	53
Çizelge 6.1. Farklı çekirdek konumlarına sahip modellerin metraj ve yapım maliyetleri sonuçları	67
Çizelge 6.2. Farklı çekirdek konumlarına sahip modellerin kiralanabilir kat alanı.....	68
Çizelge 6.3. Farklı çekirdek konumlarına ve destek sisteme sahip modellerin metraj ve yapım maliyetleri sonuçları	71
Çizelge 6.4. Farklı çekirdek konumlarına ve destek sisteme sahip modellerin kiralanabilir kat alanı	71
Çizelge 6.5. Farklı çekirdek tiplerine ve destek sisteme sahip modellerin metraj ve yapım maliyetleri sonuçları.....	79
Çizelge 6.6. Farklı çekirdek tiplerine ve destek sisteme sahip modellerin kiralanabilir kat alanı	80

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Bina yüksekliğine bağlı taşıyıcı sistem tipleri	2
Şekil 1.2. Shanghai Tower, Şangay, Çin,2015, Lotte Tower, Seul, G. Kore,2017, Folkart Towers, İzmir, Türkiye, 2014.....	2
Şekil 1.3. Kanolarda destek sistem benzeşmesi, Yüksek yapıda destek sistem	3
Şekil 1.4. Farklı konumlardaki çekirdek tasarımlarına ait plan çözümleri	6
Şekil 1.5. Farklı konumlardaki çekirdek tasarımlarına eklenen destek sistemli plan çözümleri.....	6
Şekil 1.6. Tez akış şeması	7
Şekil 2.1. Yüksek yapılarda güncel taşıyıcı sistemler.....	10
Şekil 2.2. Çelik sistem, betonarme sistem, hibrit sistem	11
Şekil 2.3. Geleneksel destek sistem, offset destek sistem.....	12
Şekil 2.4. Sanal destek sistem	13
Şekil 2.5. Kat planı ve yüksek betonarme yapılar farklı taşıyıcı sistem tasarımları	13
Şekil 3.1. Servis çekirdeği örneği	17
Şekil 3.2. Çekirdek tipleri	18
Şekil 3.3. En yüksek 500 yapı çekirdek kullanım oranları	18
Şekil 3.4. Kiralanabilir alan ve kiralanabilir açıklık	20
Şekil 3.5. Farklı çekirdek tipleri modeli	22
Şekil 3.6. 2008 yılı Dünya ve Türkiye de en yüksek 10 yapı çekirdek analizi.....	23
Şekil 3.7. 2012 yılı Dünya en yüksek 20 yapı çekirdek analizi	24
Şekil 4.1. Çalışmanın aşamaları.....	27
Şekil 4.2. Yüksek yapı modellerinin özellikleri.....	35
Şekil 4.3. Model-1 (MÇ), Model-3 (YÇ), Model-5 (KÇ)	36

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. İdecad programına ait plan ve 3 boyutlu modelleme görünümü	37
Şekil 4.5. Seçilen noktaya ait en büyük yer ivmesi (PGA) değeri.....	38
Şekil 5.1. Aston apartments	45
Şekil 5.2. Tower palace three.....	45
Şekil 5.3. Dubai tower	46
Şekil 5.4. Nanjing greenland financial centre	47
Şekil 5.5. Rönesans tower.....	48
Şekil 5.6. Folkart tower.....	49
Şekil 5.7. 432 Park avenue.....	50
Şekil 5.8. Torre KOI	51
Şekil 5.9. İstanbul 205 tower	51
Şekil 5.10. 111 West 57th Street.....	52
Şekil 5.11. Analiz sonuçlarının değerlendirildiği kriterler	55
Şekil 5.12. Modal analiz sonuçları.....	56
Şekil 5.13. Farklı çekirdek konumuna sahip yapıların kat deplasmanları; a) X yönü, b)Y yönü	57
Şekil 5.14. Farklı çekirdek konumuna sahip yapıların görelî kat ötelenmesi sonuçları; a) X yönü, b)Y yönü	58
Şekil 5.15. Farklı çekirdek konumuna sahip yapıların beton ve kalıp metrajı sonuçları	59
Şekil 5.16. Farklı çekirdek konumuna sahip yapıların donatı metrajı sonuçları	59
Şekil 5.17. Modal analiz sonuçları.....	60
Şekil 5.18. Destek sistemler kullanılan farklı çekirdek konumuna sahip yapılar kat deplasmanları; a) X yönü, b)Y yönü.....	61
Şekil 5.19. Destek sistemler kullanılan farklı çekirdek konumuna sahip yapıların görelî kat ötelenmesi sonuçları; a) X yönü, b)Y yönü.....	62
Şekil 5.20. Destek sistemler kullanılan farklı çekirdek konumuna sahip yapıların beton ve kalıp metrajı sonuçları.....	63

Şekil	Sayfa
Şekil 5.21. Destek sistemler kullanılan farklı çekirdek konumuna sahip yapıların donatı metrajı sonuçları.....	63
Şekil 6.1. Merkezi çekirdekte destek sistem eklenme durumundaki kat deplasman değişimi; a) X yönü, b)Y yönü	73
Şekil 6.2. İki kenar çekirdekte destek sistem eklenme durumundaki kat deplasman değişimi; a) X yönü, b)Y yönü	74
Şekil 6.3. Dört köşe çekirdek destek sistem eklenme durumundaki kat deplasman değişimi; a) X yönü, b)Y yönü	74
Şekil 6.4. Merkezi çekirdekli yapıda destek sistem kullanımı ile görelî kat öteleme değişimi; a) X yönü, b)Y yönü	75
Şekil 6.5. İki kenar çekirdekli yapıda destek sistem kullanımı ile görelî kat öteleme değişimi; a) X yönü, b)Y yönü	76
Şekil 6.6. Dört köşe çekirdekli yapıda destek sistem kullanımı ile görelî kat öteleme değişimi; a) X yönü, b)Y yönü	76
Şekil 6.7. Tüm yapılara ait beton metrajı sonuçları	78
Şekil 6.8. Tüm yapılara ait kalıp metrajı sonuçları	78
Şekil 6.9. Tüm yapılara ait donatı metrajı sonuçları	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

kg	Kilogram
kN	Kilo Newton
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
mm	Milimetre
s	Saniye
t	Ton

Kısaltmalar

Açıklamalar

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BRB	Buckling Restrained Brace
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
DS	Destek Sistem
DTS	Deprem Tasarım Sınıfları
GFA	Gross Floor Area
GÖ	Göçmenin Önlenmesi
KH	Kontrollü Hasar
KK	Kesintisiz Kullanım
NFA	Net Floor Area
SH	Sınırlı Hasar
ŞDGT	Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TL	Türk lirası
Y.Y.	Yüzyıl

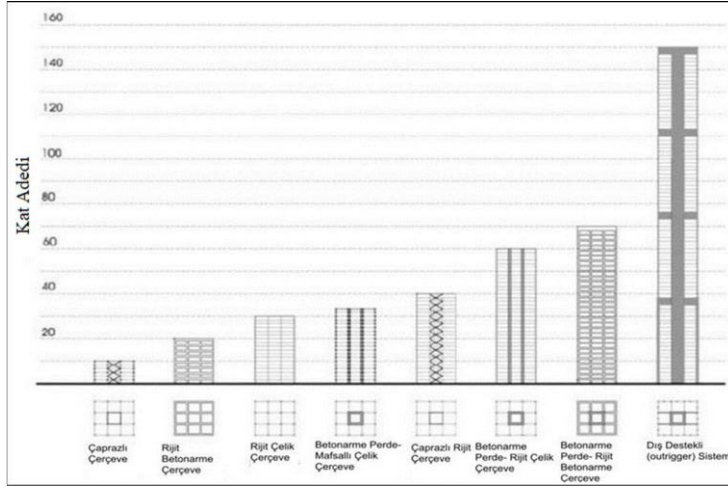
1. GİRİŞ

Kentlerde yapılaşma alanları azaldıkça küçük arazi kullanımına sahip yüksek yapılar her geçen gün önem kazanmıştır. Sanayi devrimiyle beraber; demir, çelik, çimento ve cam kullanımı yaygınlaşmıştır. 1890 dan sonra ise betonarme ve çelik başta olmak üzere yeni malzemeler geliştirilmiştir. Yeni malzemelerin, ileri yapım teknikleri ve yüksek katlara erişimi kolaylaştıran asansörün keşfi ile yüksek katlı yapıların gelişimi hızlanmıştır.

Dünya yüksek yapılara olan talebin artması ve daralan kent alanlarındaki ihtiyaçlardan kaynaklı, yüksek yapıların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Yüksek yapılar şehirciler, makine mühendisleri, inşaat mühendisleri ve mimarlar için farklı disiplinleri barındırdığından uzmanlık gerektiren özel bir konudur. Yüksek yapılar, her ne kadar şehirleşmenin bir ihtiyacı olarak karşımıza çıksa da günümüzde simgesel yapılar olup; güç, zenginlik, prestij, gurur ve ulusal tanınma simgesi olarak inşa edilmektedir (İlgin, 2018). Tarihsel olarak Dünya’da ilk kez 1880’li yıllarda Amerika’da kent merkezlerinde “skyscraper” (gökdelin) olarak adlandırılan çok işlevli ve çok katlı yapılar yapılmaya başlanmış, tüm dünyada yayılmıştır. Ülkemizde de buna paralel olarak 1960’larda Ulus İşhanı ile yüksek yapılar yapılmaya başlanmıştır (Harmankaya ve Soyluk, 2010; İlerisoy ve Başgöl, 2019).

Yüksek yapılar güç, itibar göstergesi olarak karşımıza çıktığı için her geçen gün daha yükseklere ulaşmak malzeme ve yapı mühendisliği alanlarında önemli gelişmeler gözlemlenmiş ve bu gelişmelerin doğal bir sonucu olarak da 5-6 katlı çerçeve sistemlerden oluşan yapısal taşıyıcı sistemlerden, günümüzün devasa kolonlu, farklı taşıyıcı sistem çözümleriyle sahip yüksek yapılara ulaşılmıştır (Gözütok, 2011). Yapılar yatay yüklerle dair tasarımları kısıtlayan önemli bir etken haline gelmiştir. Çünkü yüksek yapı davranışı, zemine ankastre olarak mesnetlenmiş bir konsolun olası yanal yükler altında sergilediği davranışa benzetilmektedir. Bu konsolda, yanal etkiler altında mesnet bölgesinde, moment ve kesme tesiri kaynaklı etkiler oluşurken, serbest ucunda büyük deplasmanlar meydana gelir. Bu deplasmanları sınırlamak için yatay yüklerle karşı yeterli yanal rijitliğin sağlanması; bu rijitliğin sağlanması için de yapı eleman boyutlarını artırmak yerine, taşıyıcı sistem etkinliğini artırılması en uygun çözüm olmaktadır.

Yüksek yapı tasarımında yapıların taşıyıcı sistemi belirlenirken gerek depreme karşı dayanıklılık gerekse rüzgar konforu ilk olarak göz önünde bulundurulur. Bunun sonucunda yapıda yükseklik arttıkça geleneksel taşıyıcı sistemler iş göremez hale gelmiş ve taşıyıcı sistem tasarımı yıllar içerisinde birçok değişime uğramış, malzemenin de gelişmesiyle bazı güncel taşıyıcı sistemler ortaya çıkmıştır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Bina yüksekliğine bağlı taşıyıcı sistem tipleri (Ali ve Moon, 2007).

Bu sistemler içerisinde ise destek sistemler (outrigger) şu anda dünyanın (Şekil 1.2.a-b), hatta Türkiye'nin en yüksek yapılarında (Şekil 1.2.c) uygulanan bir taşıyıcı sistem çözümüdür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.2. (a) Shanghai tower, Şangay, Çin, 2015 (b) Lotte tower, Seul, G. Kore, 2017, (c) Folkart towers, İzmir, Türkiye, 2014

Prensip olarak açık denizlerde seyahat için kullanılan kano ya da sandalların dalgalara karşı yatay stabilitesini arttırmak amacıyla geliştirilen bu prensip, yüksek yapılarda da kolay tercih edilebilir bir uygulamadır. Destek sistemlerin (outrigger) çalışma mantığı yapının yüksekliği boyunca bazı noktalarda rijit katlar oluşturulmasıdır (Şekil 1.2.a-b).



(a)



(b)

Şekil 1.3. a) Kanolarda destek sistem benzeşmesi b) Yüksek yapıda destek sistem

Destek sistemler çekirdeği çevredeki kolonlara bağlayan yatay perdelerden oluşmaktadır. Destek sistemleri genellikle yapıların tesisat katlarında yer alır. Bu sistemin yeterli etkinliğinin sağlanabilmesi için en az bir kat yüksekliğinde olmalı ve eğilme rijitliği yüksek olan yatay perdeler, normal katlarda kullanımına engel teşkil etmemek amacıyla, genellikle yapı yüksekliği boyunca bir veya daha çok seviyede yer alan mekanik katlara yerleştirilir (Günel ve Ilgın, 2014).

Destek sistemler süper yüksek yapılarda yaygınlaşmadan önce tüp sistemler 1980'li yıllara kadar en çok tercih edilen taşıyıcı sistem türü olmuştur. Ancak tüp sistemlerde derin kirişler ve sık kolon aralığı bulunması, bu sistemin yapıların mimari esnekliğini kısıtlaması zamanla terk edilme sebebi olmuştur (Ali ve Moon, 2007). Zamanla kolon aralıklarının açılması gerekliliği ile yeni arayışlar denenmiştir.

Yüksek yapıların yatay yüklere karşı davranışında taşıyıcı sistem kararı çok önemlidir. Dünyadaki yüksek yapı yapma süreçleri ve taşıyıcı sistem kararları ele alınırsa Türkiye'de farklı kombinasyonlar oluşturulabileceği bir gerçektir. Türkiye'de yüksek yapılar 1960 yıllardan bugüne birçok değişime uğramış, farklı tip taşıyıcı sistemler denenmiştir. Son yıllarda artan kat yükseklikleri nedeniyle destek sistemlerin de kullanımında bir artış gözlemlenmektedir. Destek sistemlerin katı sınırlar sunmadan, mevcut taşıyıcı sistem

kararlarına katkı sağlayarak mimari esneklik ve yapısal verimlilik sunması, tercih edilmesindeki en önemli sebepler olmuştur. Bu çalışmada yüksek yapılarda taşıyıcı sistem bağlamında destek sistemlerin kullanımı odak noktası alınmıştır. Özellikle inşaat sektörü aktörlerinin yüksek yapı tasarımında bilinçli olması çok girdili bir süreç sonucunda elde edilen bu yapıların üretimini daha sağlıklı hale getirecektir. Mimarlar da yüksek yapı üretiminde önemli aktörler olup, mimari tasarım ve taşıyıcı sistem konusundaki akılcı yaklaşımları ile tasarım alternatiflerini arttırmalı, ülkelerin gelişimine katkı sağlamalıdır. Özellikle mimari tasarım ile bütünleşen, tasarım evresinde verilen kararlar gerek performans gerekse ekonomik yönden sürdürülebilir üretimi destekleyecektir.

Problem tanımı

Yüksek yapılarda göğe yükselişin zamanla artması ile yüksek yapıların statik ve dinamik yükler altındaki davranışlarının iyileştirilmesi için geliştirilen ve kullanılan destek sistemler farklı uygulamalar ile literatürde yer almaktadır. Ayrıca çekirdek konumu bu tip ileri inşaat teknikleri ile üretilen yapıların tasarımını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Çekirdek tasarımına bağlı olarak yüksek yapılarda taşıyıcı sistem performanslarının değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında yüksek yapılarda önem teşkil eden taşıyıcı sistemlerin mimari tasarımı sürecinde şekillendiğini göz önüne alınırsa, tasarım yapı performansı, kiralanabilir alan ve yapım maliyet üzerinde önemli etkileri olduğu tahmin edilebilir. Tez kapsamında ele alınan alan çalışması ile cevaplandırılması amaçlanan araştırma soruları şu şekildedir;

- 1) Mevcut yüksek yapılarda farklı çekirdek tipleriyle uygulanmış destek sistem (outrigger) uygulamaları nelerdir?
- 2) Aynı nitelikteki taşıyıcı sistem tasarımında farklı çekirdek tipleri ve bu sistemlere destek sistem eklenip eklenmeme durumunun yapısal performanslara etkisi nasıldır?
- 3) Aynı nitelikteki taşıyıcı sistem tasarımında farklı çekirdek tipleri ve bu sistemlere destek sistem eklenip eklenmeme durumunu yapım maliyetini hangi mertebelerde etkilemektedir?
- 4) Aynı nitelikteki taşıyıcı sistem tasarımında farklı çekirdek tipleri ve bu sistemlere destek sistem eklenip eklenmeme durumunun kiralanabilir alana etkisi nasıldır?

Çalışmanın amacı

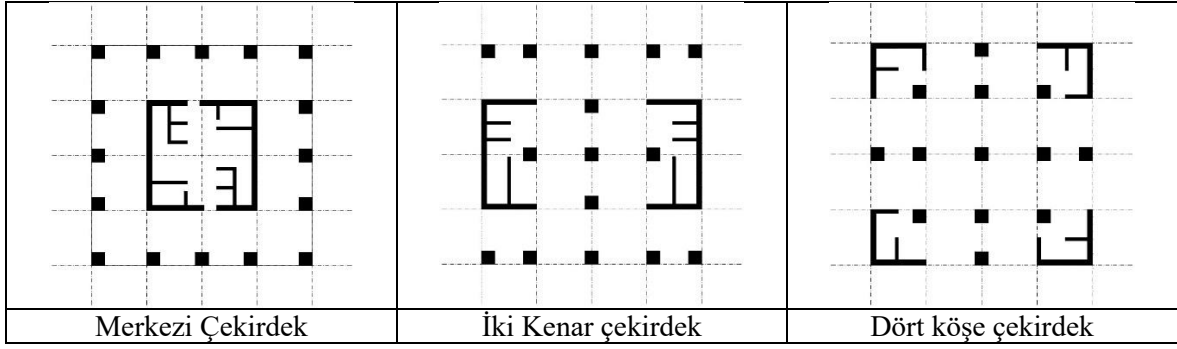
Taşıyıcı sistem kararları mühendislerin sorumluluğu gibi algılansa da ana kararlar mimarlar tarafından şekilleneceği için bilinçli bir mimari tasarım önem teşkil etmektedir. Bu sebeple tez çalışmasında Türkiye koşullarına alternatif sunacak bir taşıyıcı sistem planlanması hedeflenmektedir. Yüksek yapılarda taşıyıcı sistem bağlamında destek sistemlerin kullanımı odak noktası alınmıştır. Çekirdek tipolojisinin değişmesi ile taşıyıcı sistem tasarımı arasındaki ilişkinin irdelenmesi ile başlayan alan çalışmasında destek sistemlerin eklenme durumu da araştırılarak, Türkiye koşullarında bu değişkenlerin bina yapım maliyetine olan etkisinin incelenmesi en temel amaçlardandır. Ayrıca bina üretiminde en hakim role sahip olan mimarlarda taşıyıcı sistem türü olan destek sistemlerin kullanımına yönelik bilinç oluşturmak da önemsenen hedeflerdendir.

Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi

Belirlenen hedefler doğrultusunda öncelikle literatür taraması yapılmıştır. Güncel taşıyıcı sistemler, destek sistemler, servis çekirdeği ve çekirdek tipolojisi hakkında bilgiler derlenmiş, sonrasında veri toplama ve iz sürme metotları kullanılarak destek sistemlerin uygulandığı, dünyadan ve Türkiye'den seçilmiş örnek yüksek yapılar belirlenen kriterlere göre değerlendirilmiştir.

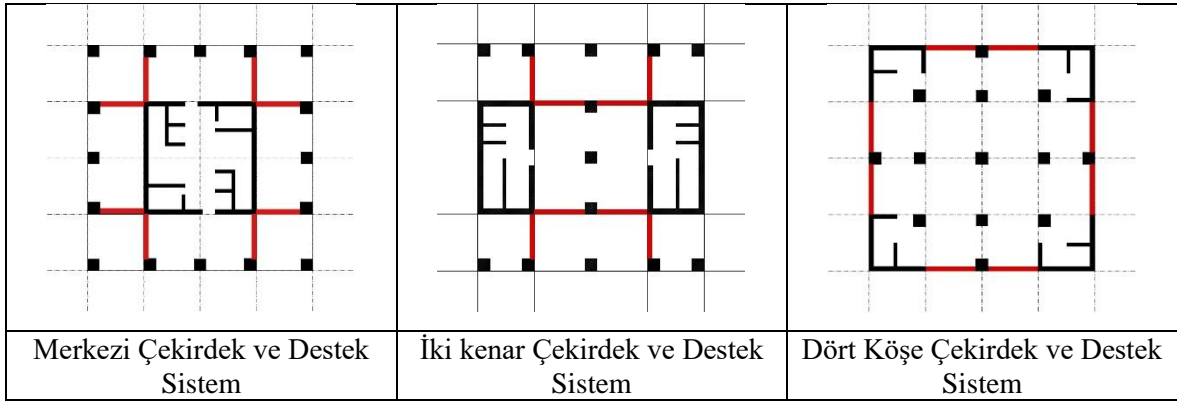
Ardından araştırma sorularının cevaplanması için sayısal modellemeler yapılmıştır. İncelenen yüksek yapılardan elde edilen veriler çekirdek konumu, taşıyıcı sistem planlaması, kolon boyutları, döşeme kalınlıkları vb. gibi başlıklar alan çalışmasında tasarlanan sayısal modellere ışık tutmuştur.

Sayısal modelleme sürecinde bir örnek yapı üzerinde çekirdek konumları değiştirilerek merkezi, iki kenar ve dört köşe şeklinde farklı tip çekirdek konumlarına sahip 3 plan çözümü yapılmıştır. (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Farklı konumlardaki çekirdek tasarımlarına ait plan çözümleri

Türkiye’de betonarme yapı stoku fazla olduğu için Türkiye’de yüksek yapılarla ilgili yapılan bu çalışmada tasarlanan modellerin de taşıyıcı sistem malzemesi betonarme olarak seçilmiştir. 212 metre yüksekliğinde, 30x30 metre boyutlarında ve sabit taban alanına sahip plan ile üretilen binalarda ikinci değişken olarak ise destek sistem uygulanması araştırılmıştır (Şekil 1.5). Böylece tez çalışmasının hedefi doğrultusunda, aynı mimari plan çözümünde iki bağımlı değişkenin inceleneceği 6 farklı taşıyıcı sistem çözümü elde edilmiştir.



Şekil 1.5. Farklı konumlardaki çekirdek tasarımlarına eklenen destek sistemli plan çözümleri

Mimari tasarım ile değişebilecek en temel iki karar aracılığı ile elde edilen yapılar sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal olarak modellenerek uygulanabilir nitelik kazandırılmıştır. Bu süreçte Idecad programı kullanılarak TBDY-2019 şartlarını sağlayan yapıların karşılaştırması yapılmıştır. En temelde yapısal performansı karşılaştırılarak mimari kararların etkisi ortaya çıkartılmıştır. Sonrasında ise hem yapım maliyeti hem de kiralanabilir alan kapsamında karşılaştırmalar yapılmış, uygulama aşamasında tasarımcıları

yönlendirecek verilerin elde edilmesi sağlanmıştır. Tez çalışmasındaki aşamalar şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.6. Tez akış şeması

Elde edilen analiz verileri ilk etapta çekirdek konumunun etkisine bakmak amacıyla sadece çekirdek konumlarının değiştiği yapı grupları içerisinde kıyaslanmıştır. Sonrasında da destek sistem eklenmemiş ve eklenmiş modeller bir araya getirilerek ortak paydada değerlendirilmiştir. Bu çaprazlayarak yapılan karşılaştırmalar der bir bağımsız değişkenin değerlendirme kriterlerini hangi mertebelerde etkilediğini göstermiştir.

Sınırlılıklar

Bu çalışmada mimari tasarıma müdahale gerektirmeyen ek bir eleman ile performansının iyileştirilmesinin maliyet ve toplam alan etkisine bakılmaktadır. Özellikle ön tasarım aşamasında alınan taşıyıcı sistem tasarım kararlarının etkisinin hangi mertebelerde olacağına odaklanıldığı için ileri mühendislik hesaplarına girilmemiştir. Yeni deprem yönetmeliği ışığında DD-2 ye göre ön tasarım ve boyutlama yapılmıştır. Modellerde canlı yükler, tesisat yükleri, rüzgar yükleri ve cephe yükleri ihmal edilmiştir. Çalışmada zemin hesabı ihmal edilmiştir.

Mimari tasarım özgürlüğü tanıyan destek sistem uygulamasını mimarlar için irdelemeyi hedefleyen tez kapsamında çekirdek konum ve boyutları rastgele seçilmemiştir. Yapılan literatür taramaları doğrultusunda Türkiye’deki yapıların çekirdek/kat alanı oranları incelenerek, çekirdek alanı uygulanabilir boyutlarda %25 olarak seçilerek çekirdek tasarımı ortak bir paydada karşılaştırma yapılması için ise narinlik oranları, kat planı geometrileri,

yapı tasarım temel kararları, taşıyıcı sistem malzemeleri sabit tutulmuştur. Son olarak tez çalışmasında yapılmıştır.

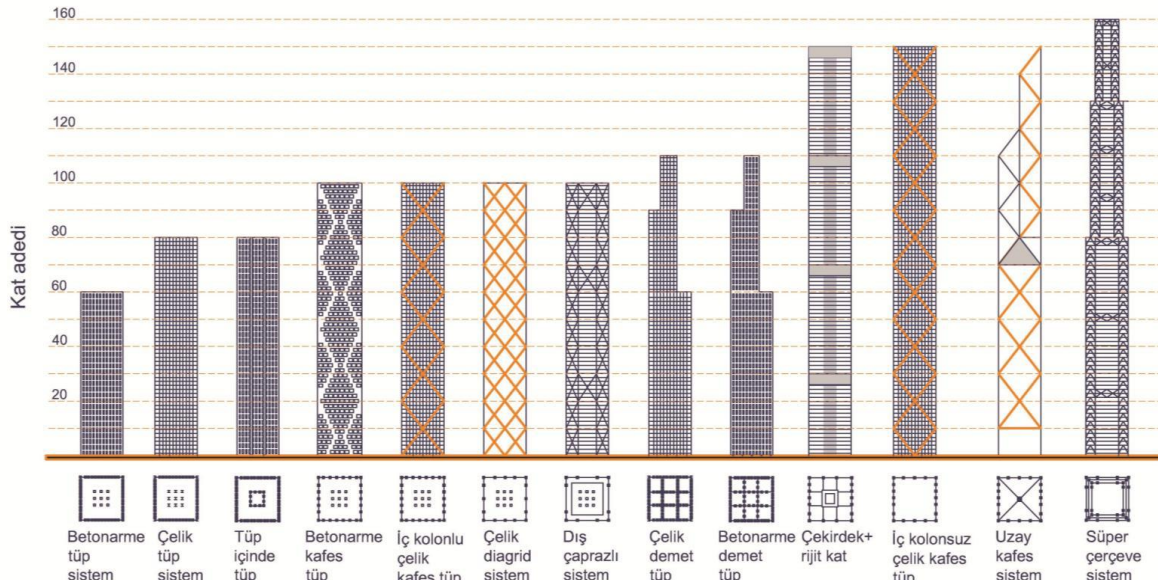
2. YÜKSEK YAPILAR VE GÜNCEL TAŞIYICI SİSTEMLER

Yüksek yapı kavramı dönemsel ve ülkesel olarak farklılık göstermekte olup genel olarak tanımı; yapının yüksekliğinin taban alanına göre çok fazla olduğu yapılardır. Yani tasarlanan bir hacmin dikey olarak büyüüp gelişmesiyle oluşmuş yapı türüdür. Yüksek yapılar ilk olarak bir bina türü olmayan yapılar olup 19.yy. sonlarına doğru bina türü olarak tanımlanmıştır.

Yüksek yapılarda mimari tasarım ve katta kullanılan alana etkileyen en önemli durum taşıyıcı sistem kararıdır. Binanın taşıyıcı sistemine bağlı olarak kat kiralanabilir alanı, çekirdek-kat alanı, taşıyıcı sistem -kat alanı arasındaki oranı etkilemektedir. İlk zamanların yüksek yapı taşıyıcı sistem tasarımlarında büyük emniyet faktörleri kullanarak, çok yaklaşık hesaplarla dış yüklere karşı dayanımı sağlamak yeterli iken; günümüzde bilgisayarlı hesap yöntemleri ile sadece dış yükleri değil, aynı zamanda estetik görünümü de dikkate alarak tasarım gerçekleştirilmektedir (Atasoy, 2014). Bu gelişim sadece üretim teknolojileri ile değil, sistem tasarımındaki yenilikçi tasarımlar ile daha uygulanabilir olmaktadır. Bu sürecin en önemli bileşeni ise taşıyıcı sistemlerdir.

2.1. Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistemleri

Yüksek yapılarda yapı yükseklikleri arttıkça düşey yüklere dayalı tasarımlardan ziyade yatay yüklerin etkisine dayalı tasarımlara geçilmiştir. Geçmişte yaşanan depremler ve yıkımlara göre hasar gören yapılar incelenmiş ve hasar nedenleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Taşıyıcı sistem kararlarının yapının deprem davranışı üzerinde etkisi ortaya konulmuştur. Yıllar içerisinde yükseklikler daha da arttıkça depreme dayalı tasarımın etkisi azalmış, diğer bir yatay yük olan rüzgara karşı tasarımlar geliştirilmeye başlanmıştır. Bu duruma bağlı olarak yapı formları ve taşıyıcı sistem formlarında değişime neden olmuştur. Belirli yüksekliklerden sonra kat ötelenmelerini sınırlamak ve yapısal konforu arttırmak için yapılara sönümleyiciler ya da rijit katlar eklenmeye başlamıştır (Aslan, 2019).



Şekil 2.1. Yüksek yapılarda güncel taşıyıcı sistemler (Ali, M. ve Moon, 2007).

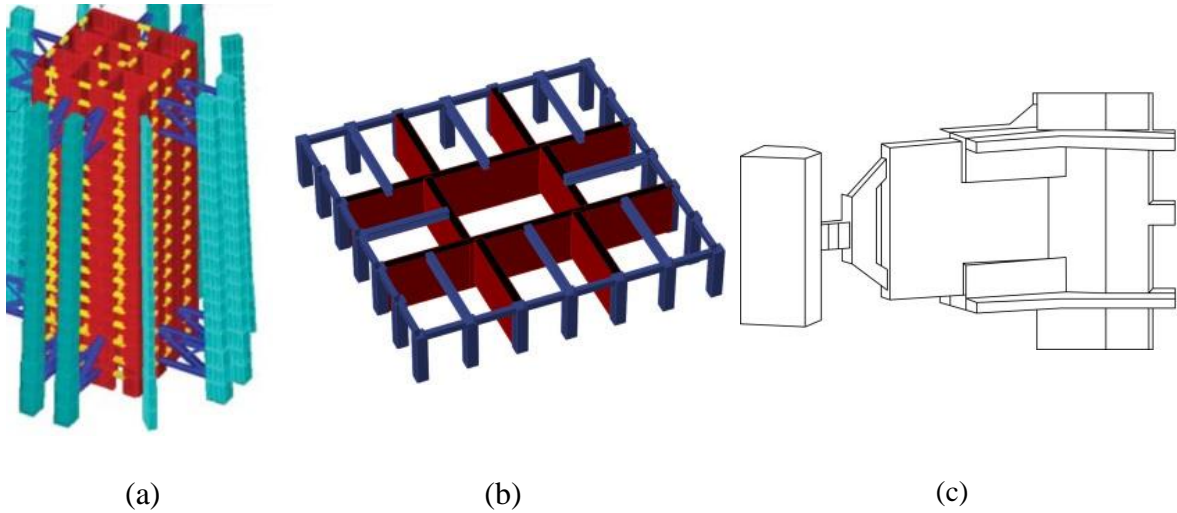
Özellikle 60 kat ve üzeri yapılarda Şekil 2.1.' de görülen gelişkin taşıyıcı sistem teknolojileri kullanılmaktadır. Tüp sistem iç kolonların minimum düzeyde olduğu genellikle çeperde çok sık aralıklı kolonlardan oluşan sistemdir. Diagrid sistem yapının dış kabuğunda eğik kolonlar ve kirişlerin üçgen birimler oluşturacak biçimde dış yüzeye yerleştirilmesi ile oluşan sistemdir (Atasoy,2014). Strüktürel elemanların konfigürasyonlarının değiştiği bu taşıyıcı sistemler içerisinde mevcut sistemleri desteklemek amacıyla sistemlere destek perdelerin eklenmesi son dönem yapılarında sık rastlanılmaktadır.

2.2. Destek Sistemler (Outrigger Frame Systems)

Destek sistem ilk olarak 1967 yılında Kanada'da Tour de la Bourse (Alanazi, 2019) yapısında kullanılmış olup, yıllar içerisinde de yaygınlaşarak 150 kata kadar olan yapılarda sıkça tercih edilmiştir. Çekirdeği ve çevre kolonları birbirine bağlayarak yüksek katlı yapıların sorunlarına çözümler sunan destek sistemlerin yapılara kazandırdığı başlıca avantajlar aşağıdaki maddelerde özetlenebilir.

1. Bir binada devrilme momentini azaltabilmesi.
2. Yanal yük etkisi sırasında yapının genel deplasmanlarını azaltabilmesi.
3. Devrilme yüklerinin temele etkin bir şekilde dağıtılmasına yardımcı olması.
4. Yapının tepe deplasmanlarını ve görece kat ötelenmelerini azaltması şeklinde özetlenebilir (www.statikistanbul.com).

Destek sistemlerde Şekil 2.2 de gösterildiği gibi çelik, betonarme ve hibrit (hem beton hem çelik kullanılan) olmak üzere birçok farklı malzeme kullanılmaktadır. Betonarme destek sistemlerin çeliğe göre en önemli avantajı yüksek rijitlik ve düşük maliyetidir (Szołomicki ve Szołomicka ,2020). Yapım teknolojisinin gelişmesiyle birlikte projelerde hibrit sistemler gibi yeni türler ortaya çıkmıştır. Çelik, beton kadar rijit değildir. Ancak, saf beton destek sistemi çok kırılmandır. Hem çelik kafes hem de beton destek perde duvarı, aşırı yükler altında kule yapılarının genel yapısal performansını artırmak için kompozit olarak çalışır.



Şekil 2.2. a) Çelik sistem, b) Betonarme sistem, c) Hibrit sistem (Fu,2018).

2.2.1. Destek sistemlerin tipi

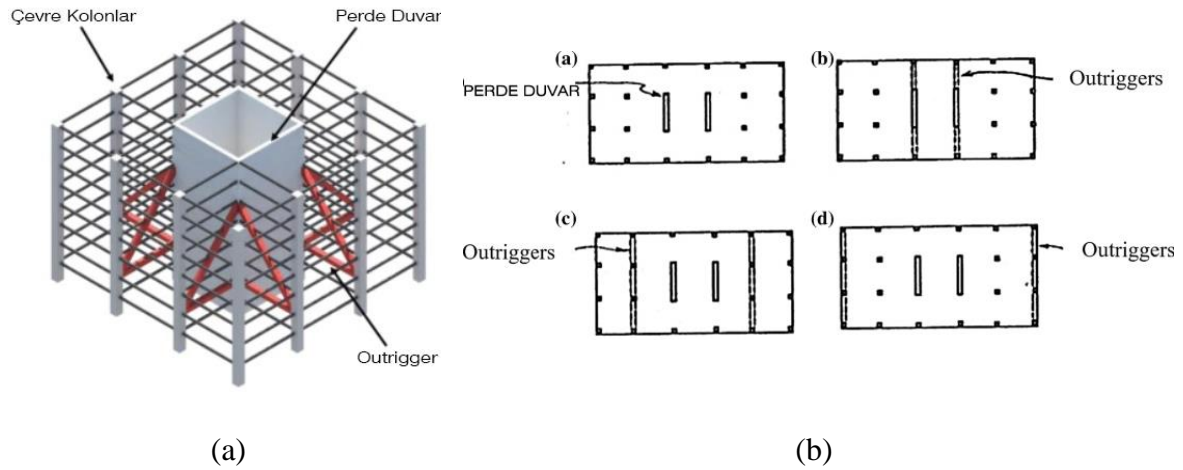
Yüksek yapılarda kullanılan destek sistemler mesnetlenme ve sistem davranışına etkisi bakımından literatürde üç ayrı tipte sınıflandırılır. Bunlar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

Geleneksel destek sistemi

Bu sistemde, çekirdekteki perde duvarlar veya çaprazlı çelik çerçeveler, makaslar veya betonarme kirişler yardımı ile yapının çevresinde bulunan kolonlara doğrudan bağlanır (Gore ve Mhatre ,2018).

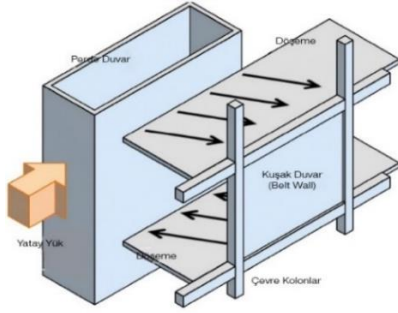
Offset destek sistemi

Bu sistemde, destek sistemler geleneksel sistemler gibi çekirdekteki perde duvarları ile yapının çevresinden bulunan kolonları birbirine bağlamaz (Şekil-2.3'a). Çekirdek duvarlarının düzlemleri dışındaki kolonları birbirine bağlar (Şekil-2.3'b). Bu sistemde geleneksel sistemin sağladığı bütün avantajlar korunurken, yanıl yer değiştirmelerin azaldığı gözlemlenmektedir (Gore ve Mhatre, 2018).



Sanal destek sistemi

Bu sistemde, çekirdek ve çevresel kolonlar arasında doğrudan bir bağlantı yoktur. Ancak devrilme momenti çekirdekten çevresel kolonlara aktırılır. Bu sistemde çekirdek ile çevresel kolonlar arasına tesisat katlarında iki çift döşeme eklenir. Bu döşemeler sayesinde çekirdek ile çevresel kolonlar arasında yük aktarımı gerçekleşir (Şekil 2.4). Bulunduğu katı olduğu gibi çevreleyen bir kuşakta (belt truss) genellikle eklenir. Bu sistem geleneksel sistemde meydana gelen bağlantılardaki problemleri doğrudan ortadan kaldırır (Gore ve Mhatre, 2018).

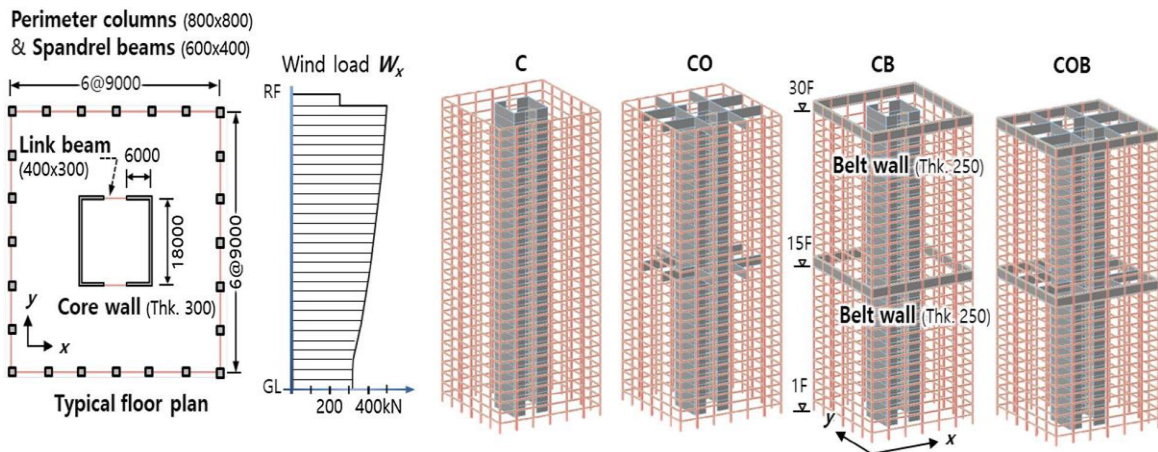


Şekil 2.4. Sanal destek sistem (Eom, Murmu ve Yi, 2019).

2.3. Destek Sistemlere Yönelik Literatür Taraması

Bu bölümde taşıyıcı sistem kararları bağlamında destek sistemlere yönelik güncel akademik çalışmalar ele alınmıştır.

Eom, Murmu ve Yi (2019) çalışmasında betonarme yüksek yapılarda yeni bir yanal kuvvete dayanıklı sistem, kuşak sistemi incelenmiştir. Çalışma sistemin sanal bir destek sistem gibi davranarak binanın yanal kuvvet direncine katkıda bulunduğu bahsetmektedir. Parametrik bir çalışma yapılarak, sanal bir destek sistem gibi işlev gören kuşak sistemin kuvvet aktarım mekanizması ve yanal ötelenmeyi azaltıcı performansı incelenmiştir. Kat yüksekliği 4 m ve kat plan kenar uzunluğu 54 m uzunluğu olan bir kare plan şeması ile 30 katlı prototip beton binalar oluşturulmuştur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Kat planı ve yüksek betonarme yapılar farklı taşıyıcı sistem tasarımları (Eom, Murmu ve Yi, 2019).

Kat planının merkezinde her biri 18 m uzunluğunda ve 6 m genişliğinde (300 mm kalınlığında) iki adet C şeklinde çekirdek kullanılmıştır. Yanal kuvvete dirençli sistem olarak, dört geleneksel yapı sistemi dikkate alınmıştır. C 'sadece çekirdek duvar' sistemidir, CO 'çekirdek duvar +outrigger sistemidir, CB 'çekirdek duvar + kuşak duvar' sistemidir ve COB 'çekirdek duvar + outrigger + kuşak duvarı' sistemidir. Bu çalışmanın amacı, farklı yapısal sistemler arasındaki yanal direncin karşılaştırmalı bir çalışmasını yapmak olduğundan, yalnızca x-yönlü rüzgar yükleri (W_x) dikkate alınmıştır.

Yalnızca çekirdek duvar sistemi ile karşılaştırıldığında, yanal yer değiştirmeler, outrigger ve /veya kuşak duvarları (yani CO, CB ve COB) olan tüm geleneksel sistemlerde önemli ölçüde azaltılır. İlginç olan şey, CB'deki yanal yer değiştirmelerin dağılımının COB'ninkine neredeyse eşdeğer olmasıdır. Bu, gerçek outrigger kullanılsa bile, sanal outrigger olarak hareket eden kuşak duvarlarının yanal yer değiştirmeyi azaltmada etkili olduğunu görülmektedir.

Calayır ve Dedeoğlu (2017) çalışmasında kat planları aynı 45 katlı iki ayrı model üzerinden birinin taşıyıcı sistemi perde çerçeve, diğerinde ise outrigger sistemi kullanılmıştır. Outrigger sistemi kullanılarak oluşturulan yapı modeli, perde-çerçeve taşıyıcı sisteme x doğrultusunda 2 aks, y doğrultusunda 3 aks üzerinde iki seviyede eklenerek çevre kolonlara bağlanmıştır. Çalışmada perde-çerçeve ve outrigger-perde-çerçeve sistemlerin deprem etkisindeki yapısal davranışlarının incelendiğinde, İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğinde tanımlı D2 düzeyi tasarım spektrumu ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilen gerçek deprem kayıtları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda outrigger sistemi eklenerek oluşturulan model-2, model-1 göre her iki doğrultuda da daha az yatay öteleme yapmıştır. Dolayısıyla, taşıyıcı sisteme belirli seviyelerde outrigger sisteminin eklenmesi, perde-çerçeve arasındaki etkileşimi güçlendirerek, taşıyıcı sistemin yanal rijitliğini arttırmış ve buna bağlı olarak yanal ötelemeyi azaltmıştır.

Nadh, Sumanth, Vasugi ve Shirwadkar (2020) çalışmasında destek sistemin yapıda olması gereken en iyi pozisyonunu belirlemek için Hindistan Mumbai de 30 kat yüksekliğinde simetrik olmayan plana sahip 6 farklı model tasarlanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda destek sistemin optimum konumu, binanın yanal kuvvetlere karşı direnmesinde hayati bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Grafikler üzerinden farklı modeller kıyaslandığında destek sisteminin en iyi konumunun biri tepe noktası ve diğerinde yapının

2/4 yüksekliğinde olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca outrigger sistem kullanıldığında iç kolonlardan bazılarının azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Destek sistemi kullanılarak yanal yer değiştirme yaklaşık %26,69 düşürülebilir. Böylelikle, simetrik olmayan yüksek bir binada destek sistemi kullanılarak binanın verimliliği ve rijitliği artırılır. Bu çalışma, tasarlanan modellerde destek sistemin kat alanını ve taşıyıcı sistem boyutlarını nasıl etkileyeceği konusunda referans olmuştur.

Sohail, Ahmed ve Abdulla (2016) çalışmasında 25 katlı 49x49 metre kat alanına sahip 11 ayrı model hazırlanmıştır. Çalışmanın sonucunda 5. 25 katlı yapı modelinde, yanal yüke maruz kalan destek sistemleri, maksimum yanal deplasmanda yaklaşık %10,5, kat kaymasında da %15 azalma olmaktadır. Destek sistem kullanılmış yapılarda en üstte yanal yer değiştirme minimum olduğu görülmektedir. Çalışma tez için tasarlanan modellerde destek sistemin hangi katlarda yerleştirilebileceği ve en ideal konumun hangi katlar olacağı konusunda referans olmuştur. Model-9 destek sistemin sık seviyelerde kullanılması rijitliği arttırdığı görülmektedir. Ayrıca düşeyde kullanılacak çapraz kuşaklardan ziyade yataydaki perdeli çerçevelerin daha rijit olduğu gözlemlenmiştir.

Thejas, Laxmi ve Abhilash (2020) çalışmasında 60 katlı, 216 metre yüksekliğinde 3 farklı model tasarlanmıştır. Model 1 (M1) sadece çekirdeğe sahiptir. Model 2 (M2) bir seviyede outrigger eklenerek, model 3 (M3) iki seviye de outrigger eklenerek yatay yükler altında analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda modeller yanal yer değiştirmeler ve kat kaymaları gibi parametreler ele alınmıştır. Yapının destek sistemlerle performansı, yatay yüklerin etkilerini büyük ölçüde ve verimli bir şekilde azaltır. Ayrıca, destek sistemlerin seviyelerinin sayısının artırılmasının genel dinamik performansı iyileştirdiği görülmektedir. Tek seviyeli için, yanal yer değiştirmeler maksimum %68,51, kat kayması için %60,71 oranında azalmıştır. İki seviyeli için yanal yer değiştirmeler maksimum %87,49, kat kayması için ise %80,81 oranında azalmıştır. Bu çalışmada destek perdelerin yüksek yapılarda olması gereken optimal konumları belirlenerek tez kapsamında tasarlanan modellerde destek sistemin yapıdaki konumu konusunda referans olmuştur.

Yapılan araştırmalar sonucunda; destek sistemlere yönelik değerli çalışmalar incelenmiş, ancak tez kapsamındaki İstanbul'da destek sistem, çekirdek konumu ve maliyet analizlerinin bütünlük olarak ele alındığı çalışmalara mevcut olanaklar doğrultusunda ulaşılamamıştır.

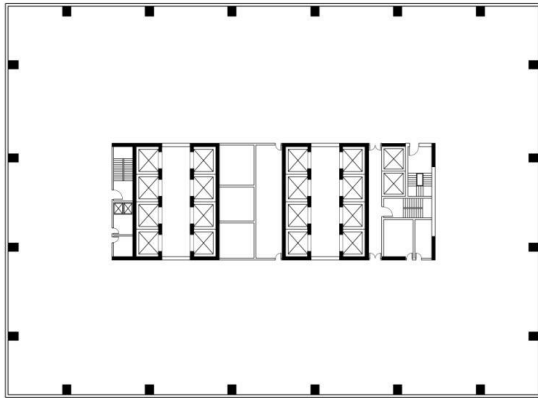
Bu nedenle tez çalışmasının literatürde Türkiye'ye yönelik eksikliği kapatması konusunda önemli olduğu düşünülmektedir.

3. YÜKSEK YAPI TASARIMINDA SERVİS ÇEKİRDEĞİ VE KİRALANABİLİR ALAN

Yüksek katlı bir yapının her metrekaresinin, inşa edilen binanın işlevi için kullanılması mümkün değildir. Bir yüksek yapının brüt kat alanı (GFA), binanın işlevi için kiralanabilir alan ve birinciye hizmet eden alan olan servis çekirdeği olarak iki bölüme ayrılabilir (Trabucco, 2008).

Temel olarak servis çekirdeği, asansörler, asansör lobileri, yangın güvenlik holleri, merdivenler, tesisat alanları, tuvaletler, klima santralleri vb. 'den oluşan kompakt bir alandır. Ayrıca servis çekirdeği perde duvarlar ile çevrili olduğu için hem dikey hem de yatay (rüzgar, deprem) yüklerine karşı yapısal dayanım sağlar (Yeang, 2000). Bu özellikleri nedeniyle çekirdekler yüksek yapıların en önemli bileşenlerinden biridir. Yapıların yüksekliği arttıkça dikey taşıma ihtiyacı ve gerekliliği arttığı için yüksek yapılarda servis çekirdeği daha da önem kazanmaktadır.

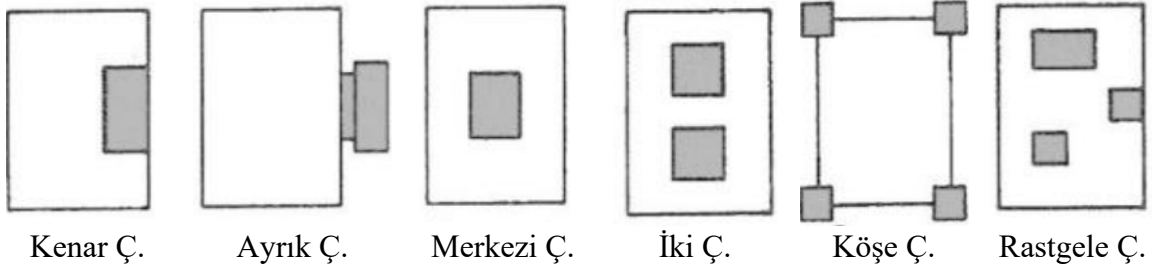
Ekonomik olarak bakacak olursak bina yüksekliği arttıkça servis çekirdeği inşaat maliyeti önem kazanmakta ve ölçeğinin büyük olması nedeniyle toplam bina yapım maliyetinin büyük bir yüzdesini kapsamaktadır. Servis çekirdeğinin boyutu bina maliyetinin belirlenmesinde temel bir faktör olduğu için, gerekli işlevleri etkin bir şekilde yerine getirmesi için mümkün olan en küçük boyutlarda olmalıdır. Bu nedenle, tasarımcıların sadece servis çekirdeği için verimli bir planı oluşturmaya değil, aynı zamanda yapı için ekonomik bir yerleşim planı elde etmek için boyutunu optimal boyutlarda düzenlenmesi için tasarım belirlenmelidir.



Şekil.3.1. Servis çekirdeği örneği

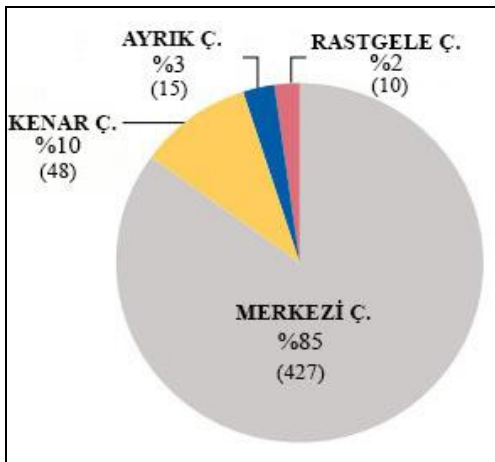
3.1. Servis Çekirdeğinin Sınıflandırılması

Servis çekirdeği konfigürasyonunun belirlenmesi, konumu, şekli, sayısı ve düzenine ilişkin farklı olasılıkların varlığından dolayı, muhtemelen bir yüksek bina tasarımının en zorlu yönüdür. Literatürde servis çekirdek konfigürasyonlarının sınıflandırılması için birçok alternatif yerleşim vardır. En kapsamlı sınıflandırma Grondzik Kwok, Stein ve Reynolds (2000) tarafından yapılmıştır. Servis çekirdeği olarak da bahsedilen yapılandırma için altı alternatif “kenar çekirdek, ayrık çekirdek, merkezi çekirdek, iki çekirdek, köşe çekirdek ve rastgele çekirdek” şeklinde tanımlamıştır (Şekil 3.2) (Grondzik ve diğerleri, 2000).



Şekil.3.2. Çekirdek tipleri (Grondzik, ve diğerleri, 2000).

Kenar ve ayrık çekirdekler, çekirdek alanlarının ışık almasını sağlar ve kiralanabilir kat alanına büyük esneklik sağlar. Merkezi çekirdek, çatıda ve zemin katta kolayca genişler. Ayrıca sirkülasyona ve esnek kiralanabilir kat alanına sahiptir. İki çekirdekli, popüler, uygulanabilir bir düzenlemedir. Köşe çekirdek kiralanabilir kat alanına büyük esneklik sağlar ama çatı ve zemin katta zor çözümler sunar. Rastgele çekirdekler genellikle az katlı yapılarda kullanılır. Tekrarlanan planlarda fayda sağlar.



Şekil.3.3. En yüksek 500 yapı çekirdek kullanım oranları (Oldfield ve Doherty, 2019).

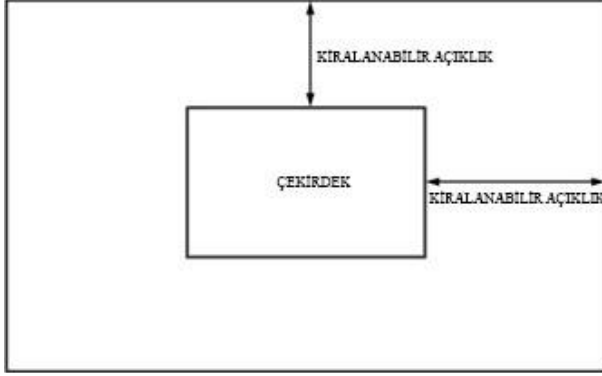
Şekil 3.3. e göre; Merkezi çekirdek yüksek yapılarda en çok kullanılan çekirdek türü olarak karşımıza çıkmaktadır. En yüksek 500 yapıya baktığımızda kullanım oranı %85 dir. Kenar çekirdek ise ikinci en yaygın çekirdek olarak karşımıza çıkmaktadır ve kullanım oranı %10 dur. Ayrık çekirdek ise kullanım oranına %3 dür. Rastgele çekirdek kullanım oranı ise %2 dir. (Oldfield ve Doherty, 2019). Genel olarak, çekirdek binanın merkezine yerleştirilmiştir. Ancak bina teknolojisi ve tasarımındaki çeşitli yenilikler sayesinde merkezi çekirdekten uzaklaşılabilir. Çekirdek konumunun binanın farklı bölümlerine yerleştirilmesi ile potansiyel olarak verimlilik artabilir ve bina kalitesini iyileştirebileceği anlamına gelir. Örneğin, çekirdek binanın dış çevresine konumlandırıldığında, daha geniş zemin alanlarının yanı sıra daha esnek yerleşim planları ortaya çıkabilir (Oldfield ve Doherty, 2019). Son birkaç yılda, tasarıma hizmet eden yeni bir inovasyon dalgası ve sürdürülebilirlik konularıyla ilgili olarak servis çekirdeğinin bina geleneksel merkezi konumundan çıkmaya başlamıştır. Son yıllarda servis çekirdekleri sıcak iklim bölgelerinde yapının çok fazla güneş alan cephelerine yerleştirilmeye başlanmıştır. Örnek olarak ADNOC genel merkezi binası (Dubai) ve Estate genel merkezi binası (Guangzhou) gösterilebilir (Oldfield ve Doherty, 2019).

3.2. Yüksek Yapılarda Planlama ve Kiralanabilir Alan

Yüksek yapı tasarımı, yüksek yapıların kullanım performansı için uygun bir tasarım metodolojisinin oluşturulmasını sağlar. Bu da plan modülasyonu ile mümkündür. Plan modülasyonu, belirli bir uzunluk ve genişlikte, yapının işlevine bağlı olarak çeşitli şekillerde düzenlenebilen veya birleştirilebilen standart bir alan birimi olarak tanımlanabilir (Keskin,2012). Plan modülasyonu sadece fonksiyonel gereksinime bağlı olmayıp, cephe tasarımı, mekanik sistem ve yapısal sistem modülasyonu gibi diğer faktörler de önemli rol oynamaktadır ve bu nedenle plan modülasyonu bu faktörlerle birlikte düzenlenmesi önemlidir.

Modülasyon uygulamasında temel kavramlar gündeme gelmektedir. İlk etapta kiralanabilir açıklık, çekirdek ile dış cephe arasında kalan mesafe olarak tanımlanır. En basit denklem olarak alan verimliliği Net Kat Alanının (NFA) /Brüt Kat Alanına (GFA) oranı olarak tanımlanır (Sev ve Özgen, 2009).

Yüksek bina tasarımı ve geliştirilmesinde önemli bir alanı ifade eden diğer kavram ise kiralanabilir alandır (Şekil 3.4). Dış cephe ile çekirdek arasında kalan alan kiralanabilir alan olarak tanımlanır. Kiralanabilir açıklığın iç planlama üzerinde önemli bir etkisi vardır, bu nedenle verimlilik ve esneklik düşünüldüğünde, yüksek yapı tasarımında bu açıklığa odaklanılması gerekmektedir (Keskin, 2012).



Şekil.3.4. Kiralanabilir alan ve kiralanabilir açıklık

Yapının işlevi kiralanabilir açıklığı doğrudan etkiler. Ofis, konut veya ticari gibi farklı işlevlere göre değişir ve tasarımcının her işlev için gerekli talepleri etkin bir şekilde yerine getirmesi esastır. Yapı tek işlevli olduğunda, hizmet gereksinimi ve çekirdek alanı azalır. Çok işlevli yapılar; ayrı girişler, asansörler, tesisat çözümleri ister böylece çekirdek alan genişler. Öte yandan yapının formu da kiralanabilir alanı etkiler.

Kiralanabilir açıklık, farklı hususlara bağlı olmakla birlikte, temel olarak çekirdek alanı kabul edilebilir sınırlar içinde azaltılarak artırılabilir.

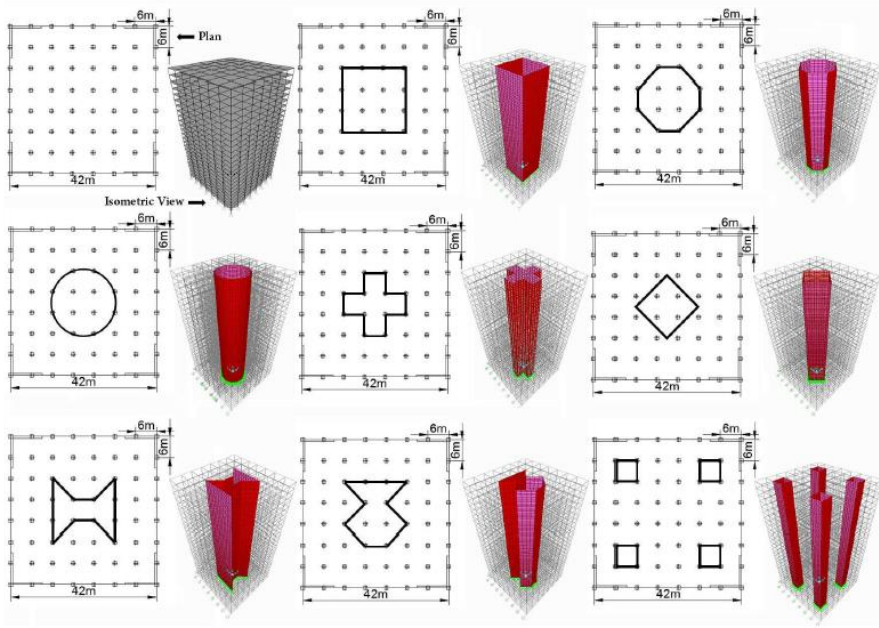
3.3. Servis Çekirdeğine Yönelik Literatür Taraması

Yüksek yapılar tasarlanırken üç önemli kritere göre tasarlanırlar. Bunlar kiralanabilirlik, sağlamlık ve insan konforudur. İnsan konforu ve kiralanabilirlik için ise maksimum geniş alanlara ihtiyaç duyulur. Tez çalışmasında taşıyıcı sistem tasarımında başlangıç noktası kabul edilen, verimliliği etkileyen çekirdek konumları ilk bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Bu bölümde çekirdek konumlarına ait güncel akademik çalışmalar incelenmiş, ilgili literatürdeki veriler derlenmiştir.

Fakıoğlu ve Ay (2019), yüksek bina tasarımında dikey ulaşım, bina hizmetleri, tesisat elemanlarının vb. donatıların konumlandırıldığı servis çekirdeğinin optimum tasarımı araştırılmıştır. Çekirdek tasarımı ile ilgili çalışmada, asansör alanını azaltmanın sonucu oluşan çekirdeğin küçülmesini destek sistemler ve çerçeveli tüp sistemli yüksek binalardaki etkileri belirli başlıklar altında incelenmiştir. Bu başlıklar servis çekirdeğinin konfigürasyonu, servis çekirdeğinin işlevi ve dikey sirkülasyon elemanları gibi başlıklar üzerinden ele alınmıştır. Çalışmada, yeni gelişen asansör teknolojisi ile asansör alanı değiştiği için çekirdek alanındaki küçülme ele alınmıştır. Ancak çekirdek sadece servis çekirdeği değil aynı zamanda bina içerisinde bir yapısal eleman olduğundan bahsetmektedir. Dolayısıyla çekirdekte meydana gelecek bir küçülme, binanın tüm yapısal sistemini ve dolayısıyla yapısal performansını etkileyecektir (Fakıoğlu ve Ay, 2019). Destek sisteme sahip model ve çerçeve tüp sisteme sahip modelde asansör alanındaki azalmaya bağlı olarak servis çekirdeğinde meydana gelen küçülme durumunda, yüksek binaların rüzgara ve depreme karşı daha duyarlı hale geldiği görülmektedir. Bu nedenle, çekirdeğin küçültülmesi ile daha fazla kiralanabilir alan elde edilebilmesine rağmen, rüzgâr ve deprem yüklerine dayanmak için çevre kolonlar ve çekirdeğin yapısal sistemi güçlenmelidir. Bu durum kiralanabilir alanı bir miktar arttırmasına rağmen çevre kolonları büyüyeceği için doğal ışığa erişim azalacaktır. Bu durumda yüksek yapılarda çok fazla istenen bir durum değildir.

Bu çalışmada asansör teknolojilerinin gelişmesi ile asansör sayılarındaki azalmalar ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte çekirdek alanında da küçülme olmaktadır. Ancak çekirdek alanındaki küçülme ile azalacak yanal rijitlik çevredeki kolonlar büyütülerek karşılanacağı için aslında kat alanına çok fazla bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bu çalışma ile de çekirdeğin optimal bir alanı olması gerektiği kendi çalışmamıza referans olmuştur.

Paknahad, Hejazi, Al-Attar, Shahbazian ve Ostovar (2019) çalışmasında farklı çekirdek tiplerinin yapının uygulanan yüklere karşı performansı üzerindeki etkinliğini değerlendirmek için bir çalışmada bulunulmuştur. Bu amaçla 25 katlı 80 metre yüksekliğinde ve kat alanı 42x42 metre olan çelik bir bina modeli tasarlanmış, çekirdeksiz, dikdörtgen çekirdek, sekizgen çekirdek, daire çekirdek, çapraz çekirdek, baklava çekirdek, sekizgen çekirdek, düzensiz çekirdek 1 ve düzensiz çekirdek 2 olmak üzere dokuz farklı çekirdek konfigürasyonu tasarlanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, 25 katlı bir binada farklı çekirdek şekillerini modelleyerek, sismik kuvvetleri azaltmadaki etkilerini değerlendirmektir.



Şekil 3.5. Farklı çekirdek tipleri modeli (Paknahad, ve diğerleri, 2019).

Farklı çekirdek tiplerinin deprem yükleri altında yatay yer değiştirmeleri çekirdeksiz yapıya göre büyük oranda azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak 25 katlı bir binada, X (yatay) ve Y (dikey) yönlerinde dikdörtgen çekirdekli binaların izin verilen yanıl deplasmanlara sahip olabileceğini göstermektedir. Aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Dokuz modelin sayısal sonuçları, bu düzlemdeki düzensiz çekirdek 1'in binanın sismik tepkisini etkili bir şekilde azalttığını açıkça göstermektedir.
2. Düzensiz çekirdek 1 ile donatılmış yapı, bu düzlemdeki yapısal sismik tepkinin azaltılmasında en etkili çekirdektir. Düzensiz çekirdek 1 kullanıldığında, yer değiştirme oranı %72,5'tir. Düzensiz çekirdek 1 ile donatılmış yapının, binanın sismik tepkisini etkin bir şekilde azalttığını ve şiddetli deprem sırasında yapısal veya yapısal olmayan hasarı en aza indirerek, hatta ortadan kaldırarak binayı koruyabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada farklı çekirdek tipleri yapısal davranışı nasıl etkilediği ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın sonuçları tez çalışmasına referans olmuştur.

Sev ve Özgen (2009) yüksek yapılarda alan verimliği isimli makalesinde çekirdeğin tasarımı, binaların genel alan verimliğini, dikey sirkülasyonu ve tesisat shaftlarının dağılımını önemli ölçüde etkiler. Makalede yer alan 2008 yılında Dünyanın ve Türkiye'nin en yüksek

10 yapısında çekirdek tipi, çekirdek bütünlüğü ve çekirdek alanı /brüt kat alanı içeren tabloda incelenmiştir (Şekil 3.6.).

	Name of Building	Number of cores	Location of core		Core integrity		Core Area (m ²)	Core/GFA (%)
			Center	Outside	Yes	No		
WORLD	Taipei 101 Tower	Single	X			X	665	25
	Shanghai WFC	Single	X		X		750	30
	Petronas T. 1-2	Single	X			X	530	25
	Sears Tower	Single	X			X	1113	22
	Jin Mao Tower	Single	X			X	800	29
	Two International Finance Center	Single	X		X		740	26
	CITIC Plaza	Single	X			X	480	22
	Shun Hing Square	Single	X			X	570	26
	Central Plaza	Single	X		X		560	25
	Bank of China	Double	X			X	800	30
TURKEY	İşbank Tower 1	Single	X			X	450	32
	Mertim	Single	X		X		240	19
	Tekstilkent P. 1-2	Single	X		X		280	20
	Sabancı Center 1	Single	X			X**	225	32
	Süzer Plaza	Single	X		X		362	26
	Tat Tower 1-2	Single	X		X		318	32
	Metrocity Tower 1	Single	X*		X		262	32
	Sabancı Center 2	Single	X			X**	225	31
	Beybi Giz Plaza	Single	X		X		200	25
	Garanti Bank Headquarters	Single		X			300	20

Şekil 3.6. 2008 yılı Dünya ve Türkiye de en yüksek 10 yapı çekirdek analizi (Sev ve Özgen, 2009).

Dünyanın ve Türkiye'nin en yüksek on ofis binası incelendiğinde tabloya göre tek ve merkezi çekirdeklerin yaygın olduğu ortaya çıkmıştır. Sadece Çin Bankası yükseldikçe boyutu azalan bölünmüş bir çekirdeğe sahiptir. Çekirdek-brüt yüzölçümü oranları %22 ile%30 arasında değişmekte olup ortalama oran%26'dır. Türkiye'nin en yüksek ofis binalarından dokuzu tek ve merkezi çekirdekli olup, Garanti Bankası Genel Merkezi, zemin döşemesinin çevresinin dışında yer alan bölünmüş bir çekirdeğe sahip. Çekirdek-brüt taban oranları tabloda görüldüğü gibi %19 ile%32 arasında geniş bir aralığa sahiptir ve ortalama%30'dur. Makalede sonuç olarak merkezi çekirdek dünyada ve Türkiye 'de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Keskin (2012) yüksek lisans tezinde yüksek yapı tasarımında servis çekirdeklerinin mimari, yapısal tasarımlar üzerine etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda servis çekirdeklerinin mimari tasarımda konumlarına göre bir sınıflandırma yapılmıştır. Çalışmada 2012 yılında dünyanın en yüksek 20 yapısı incelendiğinde aşağıdaki tablolar oluşturulmuştur (Şekil 3.7.).

Building Name	Height (m)	Service Core	Configuration (ground floor)	Core/Floor Area (ground floor)
1. Burj Khalifa	828	Central Core		% 22
2. Taipei 101	508	Central Core		% 25
3. Shanghai World Financial Center	492	Central Core		% 28
4. International Commerce Centre	484	Central Core		% 30
5. Petronas Tower	452	Central Core		% 21
6. Willis Tower	442	Central Core		% 19
7. Trump International Hotel&Tower	423	Central Core		% 24
8. Jin Mao Building	421	Central Core		% 26
9. Two International Finance Centre	412	Central Core		% 24
10. CITIC Plaza	390	Central Core		% 26
11. Shun Hing Square	384	Central Core		% 30
12. Empire State Building	381	Central Core		% 27
13. Central Plaza	374	Central Core		% 20
14. Bank of China Tower	367	Central Split Core		% 30
15. The Center	346	Central Core		% 27
16. John Hancock Center	344	Central Core		% 22
17. Chrysler Building	319	Central Core		% 20
18. Aspire Tower	300	Central Core		% 16
19. Plaza 66	288	Central Core		% 24
20. Cheung Kong Centre	283	Central Core		% 26

Şekil 3.7. 2012 yılı Dünya en yüksek 20 yapı çekirdek analizi (Keskin, 2012).

Dünyanın en yüksek yirmi yapısı incelendiğinde tabloya göre tamamının merkezi çekirdek kullandığı ortaya çıkarılmıştır. Çekirdek-brüt yüzölçümü oranları %16 ile %30 arasında değişmekte olup ortalama oran %24'tür.

Yapılan araştırmalar sonucunda; servis çekirdeğine yönelik değerli çalışmalar incelenmiş, ancak tez kapsamındaki çekirdek konumunun ele alındığı çalışmalara mevcut olanaklar doğrultusunda ulaşılamamıştır. Bu nedenle tez çalışmasının literatüre yönelik eksikliği kapatması konusunda önemli olduğu düşünülmektedir.

4. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Tez kapsamında bina üretiminde en hakim role sahip olan mimarlarda yüksek yapılarda destek sistemlerin kullanıma yönelik bilinç oluşturmak hedeflenmiştir. Bu doğrultuda alan çalışmasında iki aşamalı bir araştırma gerçekleştirilmiştir.

İlk aşamada yüksek yapılarda taşıyıcı sistem çözümlerindeki çekirdek planlaması ve destek sistem uygulamalarının tercih edilme durumları analiz edilmiştir. Nitel araştırma yöntemlerinden veri toplama ve iz sürme metotları kullanılarak dünyadan ve ülkemizden destek sistemlerin kullanıldığı 10 adet yüksek bina yapım yılına göre kronolojik olarak detaylandırılmış, çalışmanın odağındaki iki temel tasarım aşamasının mevcut durum analizi yapılmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. İncelenen örnek yapılar

Yapı ismi	Yapım yılı	Bina yüksekliği	Kat adedi	Bulunduğu ülke
Aston Apartments	1998	90 m	30	Avustralya
Tower Palace Three	2004	263,7 m	73	Güney Kore
Dubai Tower	2007	438 m	90	Katar
Greenland Centre	2010	450 m	89	Çin
Rönesans Tower	2014	185,5 m	40	Türkiye
Folkart Tower	2014	200 m	40	Türkiye
432 Park Avenue	2015	425,7 m	85	ABD
Torre KOI	2017	279 m	69	Meksika
İstanbul 205 Tower	2019	220 m	54	Türkiye
111 West 57th Street	2021	435,3 m	84	ABD

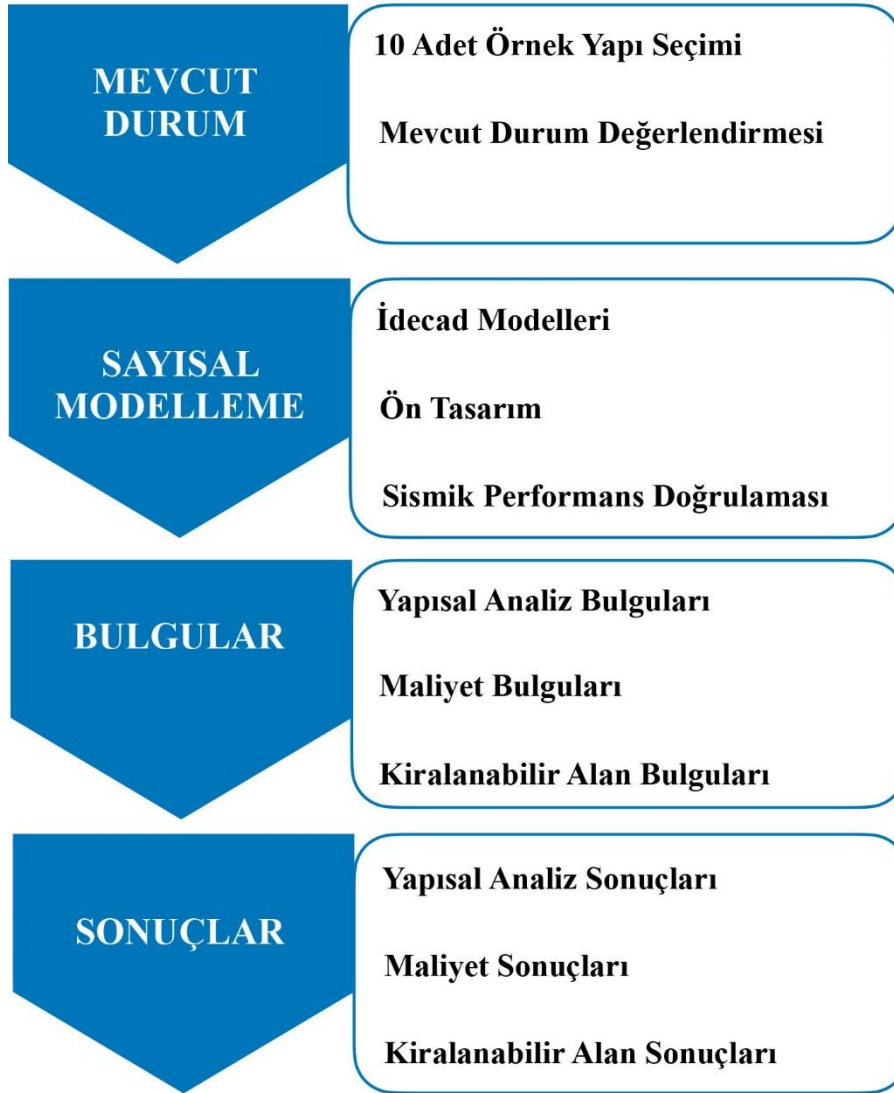
Destek sistemlerin kullanıma göre detaylandırılan örneklem grubunda, yapılar plan tipi, cephe malzemesi, çekirdek konumu, taşıyıcı sistem malzemesi, destek sistemin boyutu, malzemesi, tipi ve kaç adet kullanıldığı şeklindeki kriterler ışığında incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

İkinci aşama ise nicel bir araştırma yöntemi olan sonlu elemanlar analizi ile belirlenen farklı çekirdek tipine sahip yüksek yapıların 3 boyutlu matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Literatürden alınan bilgilere dayanarak merkezi konumlanan (Model-1 MÇ), iki kenar yüzeyde konumlanan (Model-2 YÇ) ve dört köşede konumlanan (Model-5 KÇ) üç farklı

çekirdek planlamasına sahip referans binalar modellenmiş ve yatay yüklere karşı simülasyonunu gerçekleştirilerek ön tasarımı yapılmıştır. Karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılması hedeflen tasarım aşamasında Türkiye Deprem Bina Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018)'de yüksek yapıların ön tasarım aşamasında kullanılması tariflenen deprem analizi uygulanmıştır. Bu noktada idecad 10 programı ile sismik performans doğrulaması yapıp modeller güvenlik sınırları içerisinde en optimum sonuçlar elde edecek şekilde tamamlanmıştır. Çekirdek konumlarının değişmesi ile farklı sonuçlar elde edildikten sonra, çalışmanın diğer bağımsız değişkeni olarak yapılara betonarme destek sistemler eklenerek binalardaki değişimler izlenmiştir.

Binaların yatay davranışlarında katkı sağlayan, tekil katlarda kullanılan destek sistemler bina yüksekliğinde yerleştirilirken Nadh ve diğerleri (2020) çalışmasında ortaya konulan sonuçlar dikkate alınarak (h/2) ve (h) mertebesindeki katlara eklenmiş ve sistemler tekrar çözümlenmiştir. Bu adımda da güvenlik sınırları içerisinde en optimum sonuçlar elde edilerek; aynı kat planına sahip bir yapı üzerinden değerlendirme imkanı sağlanmıştır.

Yüksek yapılarda çekirdeklerin konumu ve destek perdelerin eklenmesiyle elde edilen taşıyıcı sistemlerin yatay yükler karşısındaki davranışı irdelendikten sonra ise binaların yapım maliyetleri de bir değerlendirme parametresi olarak ele alınarak karşılaştırmalara eklenmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmanın aşamaları

4.1. Yüksek Yapı Modellerinin Yapısal Tasarım Aşamasındaki Adımları

Yüksek yapı tasarımında deprem dayanımının oluşturulmasında mevzuatların ve uygulama denetimlerinin yapılması önemli kriter olmaktadır. Yüksek yapılar uygulanmasında önceki yıllarda İstanbul Yüksek Yapı Yönetmeliği ve İzmir Yüksek Yapı Yönetmeliği kullanılmaktaydı. Ancak 2018 yılında yüksek yapılar tüm bölgeler için deprem yönetmeliğine girdi. Ülkemizde, yüksek yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan tasarımında dikkate alınacak hesap esaslarını içeren ve uluslararası standartlarda olan ve 2018 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) kullanılmaktadır. TBDY'nin 13. bölümünde deprem etkileri altında yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için uyulması gereken hesap kuralları ve özel kuralları içermektedir.

Tasarlanan yüksek yapı modellerinde değişken parametrelere göre esas alınan yönetmelik ve standartlar çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yüksek yapı tasarımında dikkate alınacak yönetmelik ve standartlar

Yönetmelikler	Standartlar
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)-2018	EN 1991-1-4(2005) (English): Eurocode 1: Actions on structures-Part 1-4: General Actions-Wind Actions
	TS-500: Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları
	TS-498: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği -2018 Yüksek Yapı Bölümü (Bölüm-13) yönetmeliğin bu bölümü, deprem etkisi altında betonarme ve çelik yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için uygulanacak özel kuralları kapsamaktadır. 2018 itibari ile yeni yapılacak yüksek yapılar için yönetmeliğe uyulması kanunen zorunludur.

Deprem yer hareketi düzeyleri

Yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi;

- DD-4 düzeyinde şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,
- DD-3 ve DD-2 düzeyindeki şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabılır düzeyde kalması.
- DD-1 düzeyindeki depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlanmasıdır.

Bahsi geçen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi ise 2018 TBDY kapsamında ise çizelge 4. 3’teki şekilde tanımlanmıştır.

Çizelge 4.3. Deprem yer hareketi düzeyleri (AFAD, 2018).

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	50 Yılda Aşılma Olasılığı (%)	Tekrarlanma Periyodu (Yıl)	Deprem Yer Hareketi Niteliği
DD-1	2%	2475	Çok Seyrek
DD-2	10%	475	Seyrek
DD-3	50%	72	Sık
DD-4	68%	43	Çok Sık

Performans hedefleri ve tasarım aşamaları

Yüksek binaların tasarımında ise Performans hedefleri ve tasarım aşamaları için yönetmelik üç aşamada değerlendirme istemektedir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Tasarım aşamaları (AFAD, 2018).

Tasarım Aşaması I	Tasarım Aşaması II	Tasarım Aşaması III
Ön Tasarım	İyileştirme	Son Tasarım
DD-2 Deprem Yer Hareketi Altında Boyutlandırma	DD-4 veya DD-3 Deprem Yer Hareketi Altında Kesintisiz Kullanım veya Sınırlı Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme	DD-1 Deprem Yer Hareketi Altında Göçmenin Önlenmesi veya Kontrollü Hasar Performans Hedefi İçin Değerlendirme İyileştirme

Tasarım aşaması I, TBDY-2018 Bölüm 13.4'te bahsedilmiştir. Bu tasarım aşaması boyutlandırma amacıyla yapılmaktadır. Bu aşamada, tasarım deprem yer hareketi etkisi olarak nitelendirilen DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında, TBDY-2018 Bölüm 4'te ve Bölüm 13'te verilen kurallara göre dayanıma göre tasarım yapılır, bu kısım yüksek bina için ön tasarım olarak nitelendirilir.

DD-2 depremi altında Kontrollü Hasar (KH) performans seviyesini sağlamak üzere Dayanıma Göre Tasarım (DGT) ilkeleri ile doğrusal hesap yapılmalıdır. Doğrusal hesaplarda, mod birleştirme yöntemi kullanılır. Kesitlerin etkin rijitlikleri ise TBDY'de verilen değerler kullanılarak elde edilmelidir. Bu tez çalışmasında, ön tasarım aşaması doğrultusunda analiz yapılmıştır.

Tasarım aşaması II, ön tasarımı yapılmış olan yüksek yapının, DD-4 depremi altında Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesini sağlaması gerekmektedir. Bu değerlendirme dayanıma göre tasarım kabulleri altında yapılacaktır. Ardından Sınırlı Hasar

(SH) performans seviyesini sağlamak üzere DD3 depremi altında, Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞDGT) yaklaşımı ile hesap yapılacaktır.

Tasarım aşaması III, DD-1 depremi altında normal performans seviyesi için Göçmenin Önlenmesi (GÖ), ileri performans seviyesi için Kontrollü Hasar (KH) performans seviyelerinin sağlanması hedeflenmiştir. Bu noktada mimari tasarımı değerlendirmek istenildiği için sonlu elemanlar modelinin dinamik tasarımı tasarım aşaması III'e göre yapılmıştır.

TBDY-2018'e göre iki tasarım yaklaşımı bulunmaktadır. Bunlar; doğrusal hesap yöntemleri ve doğrusal olmayan hesap yöntemleridir. Çalışma kapsamında doğrusal hesap yöntemleri kullanılmıştır.

Doğrusal Hesap Yöntemlerinde belirlenen performans hedefi için taşıyıcı sistem süneklik kapasitesine karşı gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenir. Azaltılmış deprem yükleri etkisi altında taşıyıcı sistemin doğrusal deprem hesabı yapılır. Seçilen bina modeli için dayanım fazlalığı katsayıları da dikkate alınarak bina taşıyıcı sistem ebatları belirlenir. Görelî kat ötelemeleri, izin verilen sınırlarla karşılaştırılır. Yönetmelikte belirtilen düzensizlik kontrolleri yapılır ve sağlamayan düzensizlik durumlarında model taşıyıcı eleman kesitleri ve/veya bina modeli değiştirilerek yeniden hesaplar yapılır.

Yüksek Binaların Dayanıma Göre Tasarım Hesap Esasları sürecinde ise Deprem etkisi altında yüksek binaların tasarımı için Bölüm 13, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi ön boyutlandırma için Bölüm 4'ün ele alınması gerekmektedir.

Bina taşıyıcı minimum malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistem ebatları için Bölüm 13 ve Bölüm 7'e bakılır. Tasarlanan bina için hedeflenen performans düzeyi ve yapının süneklik düzeyine göre azaltılmış deprem yükleri belirlenir. Analiz sırasında binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi düzeyi; yapının önemine, zemin durumuna, haritadaki koordinatlara yapı yüksekline bağlı katsayılarla belirlenecektir. Azaltılmış deprem yükleri altında TBDY-2018'e göre binanın doğrusal hesabı yapılır ve elemanların iç kuvvetleri elde edilir.

Taşıyıcı sistem içi elde edilen iç kuvvetler elemanların dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılır ve deprem hesabından elde edilen görelî kat ötelemeleri izin verilen sınırlarla karşılaştırılır. Yapılan tahkiklerde dayanım talepleri dayanım kapasitesinin üzerinde ise kesitler değiştirilerek hesaplar tekrarlanacaktır.

İlk olarak bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı belirlenir. Ardından önceki bölümde hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre deprem tasarım sınıfı belirlenir. Belirlenen deprem tasarım sınıfı ve bina yüksekliğine göre binanın yükseklik sınıfı belirlenir. Bina yükseklik sınıfı taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve deprem fazlalığı katsayısının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Daha sonrasında deprem tasarım sınıfına göre bina performans hedefi ve uygulanacak tasarım yaklaşımı belirlenir. Ek olarak binadaki düzensizlikler belirlenir. Binadaki düzensizlikler, yapının davranışını olumsuz yönde etkileyebileceği için ilgili bu düzensizliklerle ilgili koşullar ve sınırlamalar getirilmiştir. Bu düzensizlikler hesap yönteminin belirlenmesinde de etkili olmaktadır.

Binalara etkiyen deprem yüklerinin belirlenmesi için, Spektral İvme Katsayısı ve Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı esas alınacaktır. Deprem yüklerinin sadece yatay düzlemde ve binanın birbirine dik iki eksenî doğrultusunda ayrı ayrı etkidikleri varsayılacaktır. Deprem yükleri ile rüzgâr yüklerinin binaya aynı zamanda etkilediği varsayılacak ve her bir yapı elemanının boyutlandırılmasında deprem ya da rüzgâr etkisi için hesaplanan büyüklüklerin elverişsiz olanı göz önüne alınacaktır (AFAD, 2018).

Bina önem katsayısı

Geçmişten günümüze deprem faktörünün mimari tasarım üzerindeki etkisi incelendiğinde yapı fonksiyonlarının deprem hesaplarında önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Yapılardaki mühendislik hesaplarının elde edilmesi sürecinde mimari tasarımın şekillenmesi ile sınırları çizilen yapı fonksiyonlarına göre bina önem katsayıları belirlenmektedir. Deprem sırasında ve sonrasında binanın kullanım amacı veya türüne bağılı olarak öngörülen performans hedeflerine yönelik olan bu katsayı sınıflandırması çizelge 4.5' de belirtilmiştir. Çalışma kapsamındaki bina kullanım amacı ofistir.

Çizelge 4.5. Bina önem katsayısı (AFAD ,2018).

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1,2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1,0

Deprem tasarım sınıfları

Bina Kullanım Sınıflarına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısına bağlı olarak, deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), çizelge 4.6' da belirtilmiştir. Buradaki S_{DS} değeri yapının uygulanacağı koordinasyonlara göre AFAD deprem haritası sisteminden elde edilmektedir.

Çizelge 4.6. Deprem tasarım sınıfları (DTS) (AFAD, 2018).

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2,3
$SDS < 0,3$	DTS = 4a	DTS = 4
$0,33 \leq SDS < 0,50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0,50 \leq SDS < 0,75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0,75 \leq SDS$	DTS = 1a	DTS = 1

Bina yükseklik sınıfı

Deprem etkisi altında tasarımda binalar yükseklikleri bakımından sekiz Bina Yükseklik Sınıfı'na (BYS) ayrılmıştır. Bu sınıflara giren binalar için tanımlanan yükseklik aralıkları, çizelge 4.7'da Deprem Tasarım Sınıflarına bağlı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (AFAD, 2018).

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$HN > 70$	$HN > 91$	$HN > 105$
BYS = 2	$56 < HN \leq 70$	$70 < HN \leq 91$	$91 < HN \leq 105$
BYS = 3	$42 < HN \leq 56$	$56 < HN \leq 70$	$56 < HN \leq 91$
BYS = 4	$28 < HN \leq 42$	$42 < HN \leq 56$	
BYS = 5	$17,5 < HN \leq 28$	$28 < HN \leq 42$	
BYS = 6	$10,5 < HN \leq 17,5$	$17,5 < HN \leq 28$	
BYS = 7	$7 < HN \leq 10,5$	$10,5 < HN \leq 17,5$	
BYS = 8	$HN \leq 7$	$HN \leq 10,5$	

Çizelge 4.7.de göre aktif deprem bölgelerinde 70 m ve üstü yapılar yüksek yapı olarak tasarlanmaktadır. Ancak deprem riski az olan bölgelerde de bu üst sınır 105 m 'ye çıkmaktadır.

Bina performans hedefleri

Dört deprem yer hareketi düzeyi için binalara uygulanmak üzere, deprem tasarım sınıfı DTS =1, 2, 3, 3'a, 4, 4'a için tanımlanan normal performans hedefleri ile deprem tasarım sınıfı DTS =1'a, 2'a için tanımlanan ileri performans hedefleri çizelge 4.8 'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS=1) (AFAD, 2018).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	--	--
DD-3	--	--	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

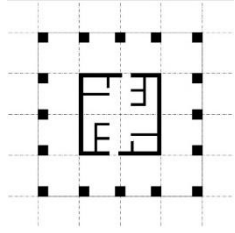
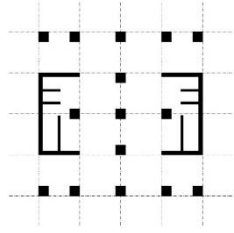
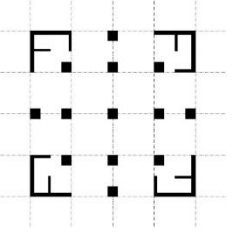
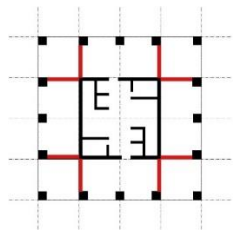
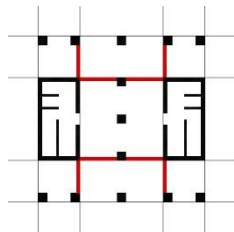
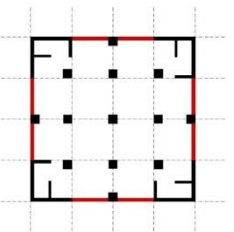
KH: Kontrollü hasar
KK: Kesintisiz kullanım
GÖ: Göçmenin önlenmesi
DGT: Dayanıma göre tasarım
ŞGDT: Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım
SH: Sınırlı hasar
⁽³⁾ Ön tasarım olarak yapılacaktır.
⁽⁴⁾ $I = 1.5$ alınarak uygulanacaktır.

Yapı zemin etkileşimi

TBDY kapsamında yüksek yapılarda yapı zemin etkileşimine göre hesap yapılması zorunludur. Ancak bu çalışma kapsamında, incelenen konunun dışına çıkmamak adına bu hesap ihmal edilmiştir.

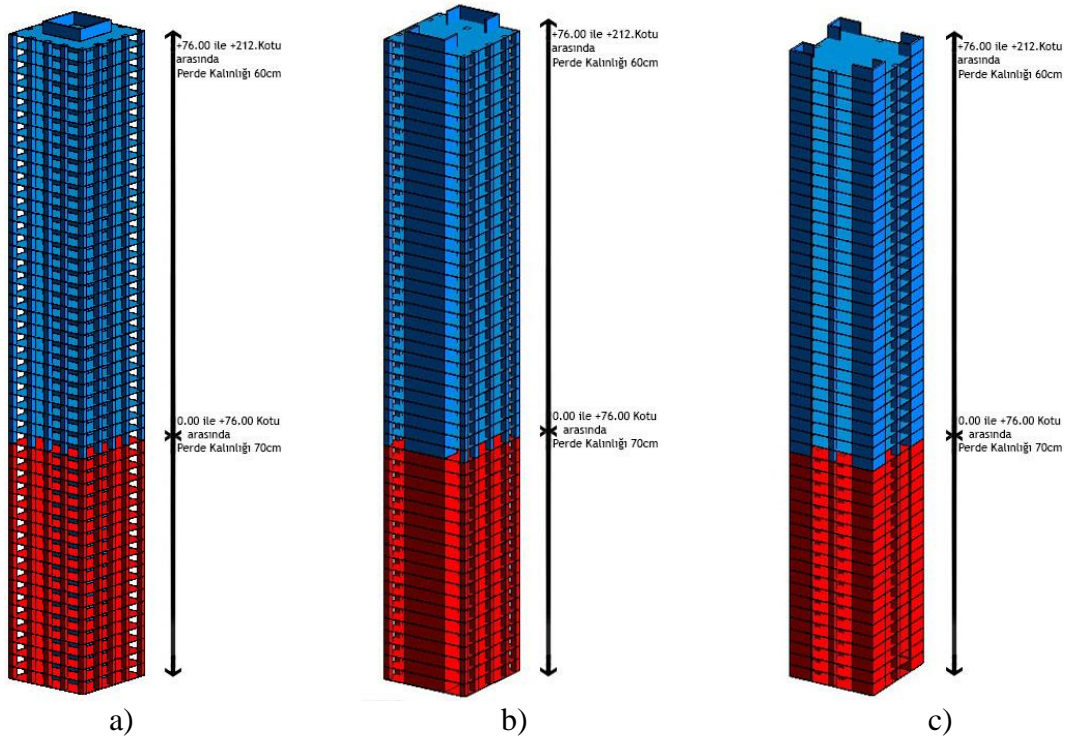
4.2. Alan Çalışmasının Sınırları

Türkiye betonarme yapı stoğu fazla olduğu için bu tutum yüksek yapılarda da kendini gösteriyor. Bu nedenle tasarlanan modellerde taşıyıcı sistem malzemesi betonarme olarak seçilmiştir. Seçilen yapının kullanım amacı ofis olarak düşünülmüştür. Sadece değişkenlerin etkisinin incelenebilmesi adına homojen bir biçim olan kare plan şemasında, prizmatik bir bina tasarlanmıştır. 900 m² kat alanına sahip olan plan şemasında çekirdek alanları da sabit tutularak bir yerleşim uygulanmıştır. Çekirdek alanlarının sınırlandırılması ise Türkiye’de uygulanmış yüksek yapılar üzerinden yapılan araştırma ile belirlenmiştir. %25 oranında bir çekirdek alanı hedefiyle 225 m² çekirdek alanına sahip planlamalar yapılmıştır. Bu noktada da kat plan çözümlerinde gerçeğe yakın olmak istenerek servis çekirdeklerinin fonksiyonel dağılımlar, asansör ve merdiven sayıları ilişkilendirilerek çözülmüştür. Modeller kodlanırken çekirdek konumu ve destek sistemi olup/olmama durumuna göre isimlendirilmiştir (Şekil 4.2).

	Model-1MÇ	Model-3YÇ	Model-5 KÇ
	Merkezi Çekirdek	İki kenar çekirdek	Dört köşe çekirdek
			
Kolon X	51,84 m ²	48,6 m ²	42,12 m ²
Kolon Y	51,84 m ²	48,6 m ²	42,12 m ²
Perde X	27,46 m ²	27,52 m ²	27,66 m ²
Perde Y	27,76 m ²	27,72 m ²	27,61 m ²
Ix/Iy	1,0117	1,4950	1
	Model-2MÇ+DS	Model-4 YÇ+DS	Model-6 KÇ+DS
	Merkezi Çekirdek ve Destek Sistem	İki kenar Çekirdek ve Destek Sistem	Dört Köşe Çekirdek ve Destek Sistem
			
Kolon X	38,48 m ²	35,92 m ²	31,73 m ²
Kolon Y	38,48 m ²	35,92 m ²	31,73 m ²
Perde X	24,6 m ²	24,52 m ²	24,66 m ²
Perde Y	24,86 m ²	24,72 m ²	24,61 m ²
Ix/Iy	1,0126	1,6167	1

Şekil 4.2. Yüksek yapı modellerinin özellikleri

Modelleme sürecinde DD-2 ye göre ön tasarım ve boyutlama yapılmıştır. Hesaplarda mümkün olduğunca sadelik adına kule kısmı tek başına modellenmiştir. Kule tasarımında önem teşkil eden narinlik oranı tüm modeller için tek değerde tutulmuştur. Bina yüksekliklerinde Türkiye ortalaması alınarak 1:7 narinlik oranına sahip olacak yükseklikte çözümler yapılmıştır. Yüksek yapı modelleri 53 kattan oluşmakta ve kat yüksekliği 4 metre olarak seçilmiştir. Modellerin toplam yüksekliği 212 metredir. Tasarımda eklenecek destek sistemler de betonarme olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.3.).

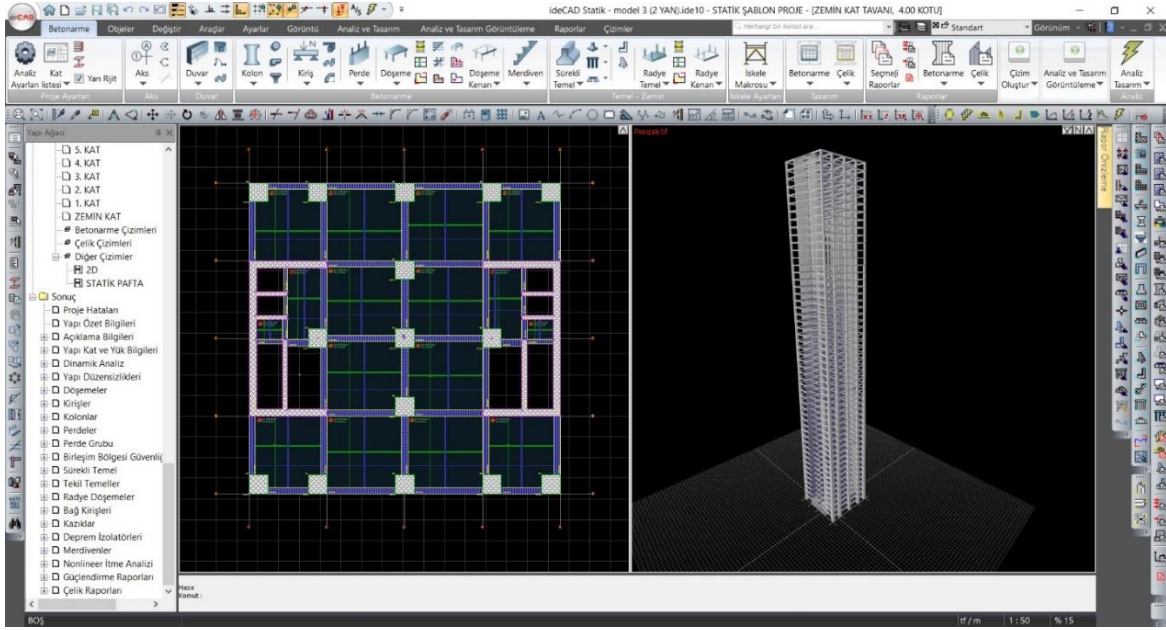


Şekil 4.3 a) Model-1 (MÇ) b) Model-3 (YÇ) c) Model-5 (KÇ)

4.2.1. Yüksek yapıların sayısal modellemesi; idecad statik yazılımı ile modelleme

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği yapı tasarımında üç boyutlu analiz yapılması gerekmektedir. Bu nedenle herhangi bir yapı tasarlarken; tasarımın güvenilir, etkin, hızlı ve ekonomik olarak gerçekleşmesi için bilgisayar destekli programlar kullanılmaktadır. Bu tez kapsamındaki analiz sonuçları da özel amaçlı yapısal analiz yapan paket programlardan olan İdecad programı ile elde edilmiştir.

İdecad betonarme yapıların statik, deprem, rüzgar ve betonarme analizini yapabilen bir programdır. Statik ve betonarme analizleri, farklı yönetmelikleri esas alacak şekilde uygulayabilmekte ve çok katlı betonarme yapılarda da kullanılabilir. Bu tez çalışmasında TS500 ve 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği esas alınmıştır. Analiz sonrası; eleman optimizasyonu, metraj ve deprem yönetmeliği kontrolleri yapılabilmektedir. Program otomatik olarak 3B modelleme yapabilmektedir. Veri girişinde, akıllı menülerle; yük, boyut ve malzeme ile ilgili bilgiler düzenlenebilmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Idecad programına ait plan ve 3 boyutlu modelleme görünümü

Yapısal analiz paket programları kullanımında en önemli ve tasarımcının en aktif olduğu bölüm analiz parametrelerini doğru oluşturabilmektir.

Kullanılan programda;

- i) yapı elemanları modellenmesi
- ii) yapının tüm genel bilgileri
- ii) kullanılacak malzeme bilgileri
- iv) analiz opsiyonları

Sırayla istenmekte ve kullanıcı tarafında belirlendikten sonra yönetmelikler doğrultusunda analizler tamamlanmaktadır.

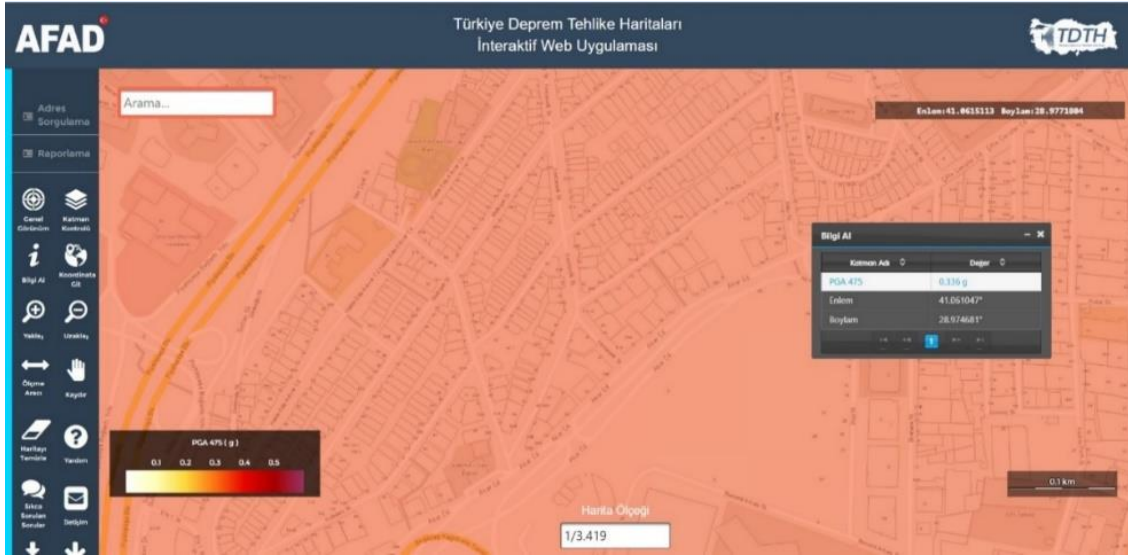
4.2.2. Modellerde kullanılan malzeme özellikleri

Uygulama sahasında malzemenin doğru tercihi ile ilgili yönetmeliklerden esas alınarak tasarımlar kapsamında revize edilmektedir. Yüksek yapı modelleme sürecine sınırlama getirmek için malzemeler sabit tutulmuştur. Çalışmada yapıların malzeme özelliklerine karar verilirken TBDY-2018'e uygun olarak C25 ile C80 dayanım sınıfı arasındaki betonlar kullanılması öngörülmektedir. TS 500'de ise verilen elastisite modülü hesabı C50'ye kadar olan beton sınıflarını kapsamaktadır. Bu sebeple betonarme malzeme seçiminde C50 olarak

belirlenmiştir. Ayrıca deprem yönetmeliğinde donatı çeliği olarak ise betonarme Yüksek Binalar için sadece B420C veya B500C kalitesindeki nervürlü donatı çeliği kullanılmasını öngörmüştür.

4.2.3. Yüksek yapı modellerinin deprem parametreleri

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketleri için tasarım spektrumları 2018 TBDY'ye göre hazırlanmıştır. Ss ve S1 değerleri Türkiye Sismik Tehlike Haritaları web sitesinden İstanbul, Şişli ilçesi için alınmıştır. Modellerin bina önem katsayısı 1 olarak alınmıştır. Bina kullanım sınıfı 3 olarak seçilmiştir.



Şekil 4.5. Seçilen noktaya ait en büyük yer ivmesi (PGA) değeri.

Seçilen bölgedeki tasarım spektral değerleri Çizelge.4.9.'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Seçilen bölgeye ait spektral ivme değerleri.

Harita Sp. İvme Katsayıları			
Ss	0.824	S1	0.239
Sds	0.989	Sd1	0.359
PGA	0.340	PGV	21.946

Yüksek yapılarda deprem davranışı

Bir dalganın frekansı, bir saniyede bir noktadan geçen dalga sayısını ifade eder. Periyot ise bir dalga döngüsünün verilen noktayı geçmesi için geçen süreyi ifade eder. Rezonans ise, bir sistemin bazı frekanslarda diğerlerinden daha büyük genlikle salınma eğilimidir. Tüm binaların doğal bir periyodu veya rezonansı vardır; bu, binanın doğal olarak ileri geri titreşmesi için geçen saniye sayısıdır. Depremi etkisi yönü ile yapının salınım yönü aynı olması durumunda yapıya daha fazla ivme geleceği için hasar alması da o oranda artacaktır. Rezonans sonucu yapılara büyük kuvvetler etki ettiğinden dolayı yapı hasar alacaktır. Yüksek binalar, uzun süreli veya yavaş sarsıntıdan daha fazla etkilenir. Yüksek bir yapı tasarlanırken doğal frekansına göre tasarlanmalıdır.

4.2.4. Modellerin ön tasarımında alınacak yükler

Günümüzde, yapıların projelendirilmesinde alınan yükler tecrübe, gözlem ve ölçülerden (veya hesaplardan) oluşan, genellikle emniyetli tarafta, maksimum değerlerdir. Bu yük değerleri, çoğunlukla, yük şartnamelerinde yer alırlar (Atımtay, 2001).

Çalışmadaki yapı elemanlarının modellenmesi sırasında tüm modellerde ortak olan durum yükleme durumudur. Her modelde ortak olarak; döşeme yükü Fayans kaplama verilmiştir, Fayans kaplama yükü 173 kg/m^2 olarak hesaplanmıştır. Tüm modellerde duvar yükleri 20 cm gaz beton olarak, yükü $209,30 \text{ kg/m}$ yükleme yapılmıştır. Hareketli yük her yerde 200 kg/m^2 seçilmiştir.

Çalışmada canlı yükler, tesisat yükleri, rüzgar yükleri ve cephe yükleri ihmal edilmiştir. Bunun nedeni, bu çalışmanın temel amacı sadece farklı çekirdek tipleri ve taşıyıcı sistemlerin temel düzeyde birbirleriyle karşılaştırılmasıdır. Aynı yüklere maruz kalmaları durumunda sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilir.

4.2.5. Yapım maliyeti hesaplama esasları

Yapım maliyeti; bir binanın inşa edilene kadar mal olduğu para miktarıdır. Bir yapıyı meydana getiren bütün bölümlerin uzunluklarının, alanlarının, hacimlerinin toplam miktarlarının bulunması ile yapıya ait metrajlar çıkarılmakta, metrajlar elde edildikten sonra

da her bir imalatın birim fiyatı ile çarpılması sonucunda yaklaşık yapım maliyeti elde edilmektedir. Bu tez çalışmasının amacı, taşıyıcı sistem yapım maliyetlerinin farklı çekirdek tipleri ve destek sisteme sahip yapıların birbirlerine oranları olmasından dolayı bina maliyeti esas alınmıştır. Tesisat ve ince yapı maliyetleri kapsam dışında bırakılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan Idecad 10 programı hem statik analiz hem de betonarme tasarım programı olduğu için yapı elemanlarının boyutuna göre donatı yerleşimlerini de yapmaktadır. Çözümü yapılan modellerin taşıyıcı sistemine ait kalıp, demir ve beton metrajları, elemanlara (perde duvarlar, döşemeler, kirişler) ait uygulama çizimlerinden elde edilmiştir.

Çalışmadaki maliyet hesaplamalarında, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yayınladığı “İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik -Araç ve Gereç Rayiç Listeleri” 2023 yılı için verilen birim fiyatlar ve analizleri esas alınmıştır. Kullanılan maliyet kalemleri ayrıntıları ile aşağıda verilmiştir.

Kullanılacak ince donatılar için; 15.160.1003 no'lu poz “Ø8- Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması” esas alınmıştır. 2023 yılı için birim fiyatı 19.696,93 TL dir.

Kullanılacak kalın donatılar için; 15.160.1004 no'lu poz “Ø14- Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması” esas alınmıştır. 2023 yılı için birim fiyatı 19.448,18 TL dir.

Kullanılacak beton için; 15.150.1010 no'lu poz C50 beton tercih edilmiştir. “Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 50/60 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)” esas alınmıştır. 2023 yılı için birim fiyatı 1903,51 TL dir.

Kullanılacak kalıp işçiliği için; 15.180.1007 no'lu poz “Tünel kalıp sistemi ile betonarme kalıp yapılması” esas alınmıştır. 2023 yılı için birim fiyatı 297,86 TL dir.

Her modelin çözümü sonucunda modellerin taşıyıcı sistem elemanlarına (perde, döşeme) ait; beton, kalıp ve donatı metrajları çıkarılmıştır. Ana yapısal maliyet parametreleri kapsamında

maliyet hesabı yapılmıştır. Yapı ofis yapısı olduğu için literatürde ikincil yapı maliyetleri olarak karşılaşılan duvar, cephe ve yalıtım maliyetleri hesaba katılmamıştır. Karar verilen birim fiyatlar doğrultusunda metrajları yapılan modellerin toplam bina yapım maliyetleri elde edilmiştir.

5. ALAN ÇALIŞMASI

Yüksek yapılarda taşıyıcı sistem kararlarındaki güncel arayışlar yapılan literatür taraması ile farklı çekirdek kararlarının ve dış destek sistemlerin çözümlerinin olduğu tespit edilmiştir. Bu noktada bütünlük bir karşılaştırma yapılması hedeflenmiş ve iki aşamalı bir yöntem ile yüksek yapılarda çekirdek ve destek sistem ilişkisi incelenmiştir.

İlk alt başlıkta mevcut durum analiz sonuçları ile elde edilen tasarım tutumları, İkinci alt başlıkta sonlu elemanlar analiz sonuçları verilmiştir. Bu sayısal modellemede bağımsız değişkenler çekirdek konumu ve destek sistem eklenme durumudur bağımlı değişkenlerimiz ise kat toplam alanı, çekirdek toplam alanı, kat sayısı ve kat yüksekliğidir. İlk etapta çekirdek konumuna göre değişimler, sonrasında destek sisteme etkileri aktarılmıştır.

5.1. Örnekler Aracılığı ile Mevcut Durum Analizi

Yüksek yapıların yatay yüklere karşı davranışında taşıyıcı sistem çok önemlidir. Yüksek bina tasarımında öncelikli hedeflerden biri, dikey ulaşım, bina servisleri, tesisat elemanları vb.'nin yer aldığı servis çekirdeğinin optimum tasarımıdır. Özellikle çok yüksek bina tasarımlarında planlanan çekirdek yanal yüklere karşı taşıyıcı sistemin bir parçasıdır; yani yapının mukavemetine etkileyen yapısal bir elemandır. Bu doğrultuda farklı çekirdek konumuna sahip yapılarda taşıyıcı sistem davranışı ciddi farklılıklar göstermektedir (Fakıoğlu ve Ay, 2019).

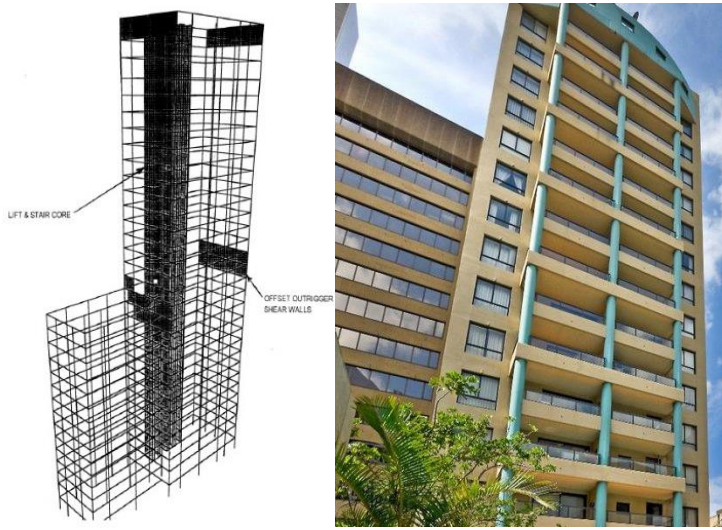
Yükselme arzusunun itici gücüyle bu isteği karşılayabilmek için taşıyıcı sistem arayışları kararlı şekilde ivme göstermiş, hala da göstermektedir. Bu noktada mevcut taşıyıcı sistemi desteklemek amacıyla tekil katlarda kullanılan destek sistem eklenmesi son yıllarda sık başvurulan çözümlerdendir. Artan kat yükseklikleri nedeniyle oluşacak zayıflıkların önüne geçebilmek için perde elemanlarla destek sağlanması en temel adımlardandır. Literatürde bu uygulamalara örnek olarak destek sistem (outrigger) ve kuşaklama (belt truss, belt wall) uygulamaları gibi farklı teknikler ve terminolojiler vardır. Aynı elemanın konumlandırılması ile farklılaşan tüm bu uygulamalarda en temel hedef yapısal rijitliktir.

Yüksek yapılarda destek sistemlerin uygulanması ve geliştirilmesinde önemli noktalar ve kilometre taşları bulunmaktadır (Güneş, Takva ve İlerisoy, 2022). Yüksek yapılarda yükseklik arttıkça geleneksel taşıyıcı sistemler iş göremez hale gelmiş ve bunun sonucunda yeni taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Bu doğrultuda tez araştırmasının İlk aşamasındaki durum ile amaçlanan, seçilen örnek yüksek yapılar üzerinden kullanılan destek sistemlere yönelik tutumu incelemek, analiz etmek, değerlendirmek ve sonuç olarak gerek mimari gerekse yapısal tasarım açısından etkilerini ortaya koymaktır. Öncelikle örnekler üzerinden destek sistemler ve yapısal tasarımlarına yönelik kısa bilgiler aktarılmıştır.

Aston apartments binası (Avustralya,1998)

90 metre yüksekliğinde ve 1998 yılında tamamlanan 30 katlı yapı konut kullanımı için tasarlanmıştır. Betonarme çerçeve olarak tasarlanmış, 13 metre cephe genişliği vardır bu sayede ince uzun bir forma sahiptir (Dean, Martin, Emery ve Chancellor, 2001). 7:1 narinlik oranına sahiptir. Dikdörtgen plan ve merkezi çekirdeğe sahiptir. Cam ve kompozit panel dış cephede kullanılmıştır.

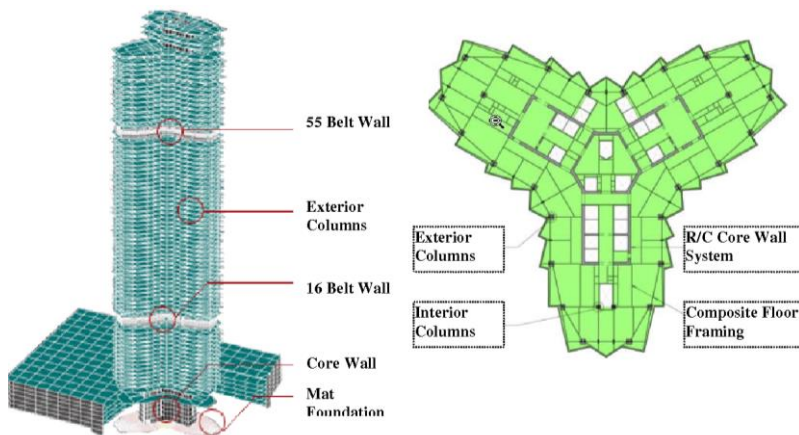
H/2 ve tepe noktasında yüksekliğinde iki adet offset destek sistemi vardır. Binanın dış çeperinde konumlandırılan offset destek sistem (Şekil 5.1), geleneksel destek sistemin bazı dezavantajlarını azaltır. Geleneksel sistemde çekirdek ve çevre kolonlar doğrudan birleştirilir.20 cm kalınlığında iki kat yüksekliğinde cephede duvardan oluşan offset destek sistemi vardır. Bu yenilikçi yanal yük dayanımı sisteminin avantajlarından biri, binanın kat planında üzerinde neredeyse hiçbir olumsuz etkisi olmamıştır. Bu sayede mimarın işlevsel ve estetik tasarım gereksinimlerini karşılaması için daha fazla esneklik sağlamıştır. Offset destek sistemi son derece ekonomik ve verimlidir; çünkü sistem çevre kolonlara etkiyen eksenel yüke karşı maksimum kuvvet kolunu kullanır (Gore ve Mhatre, 2018).



Şekil 5.1. Aston apartments (Gore ve Mhatre, 2018)

Tower palace three binası (Güney Kore,2004)

263,7 metre yükseklikte, 2004 yılında tamamlanan yapı konut kullanım olarak tasarlanmış ve 73 kat yüksekliğindedir. 3 yapraklı yonca şeklinde planda ve merkezi betonarme üçgen çekirdeğe sahiptir. Dış cephesinde cam kullanılmıştır. Kompozit taşıyıcı sistem kullanılmıştır.16. ve 55. katta tek kat yüksekliğinde sanal destek sistem kullanılmıştır (Şekil 5.2.). Destek sistem betonarme olarak tasarlanmıştır. Sanal destek (Belt Wall) 80 cm kalınlıktadır ve döşeme kalınlığı 30 cm dir. Bu sistem sayesinde çelik makaslar ile oluşacak zor bağlantı detaylarının önüne geçilmiştir. Bu yapıda kullanılan sistem daha sonraki yıllarda yapı yüksekliklerinin artması ile “Buttressed core” sistemine dönüşecektir (Abdelrazaq ve diğerleri, 2004).

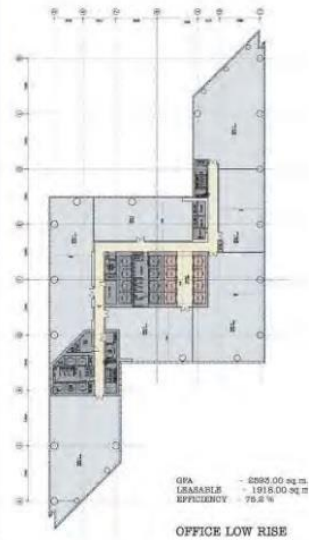
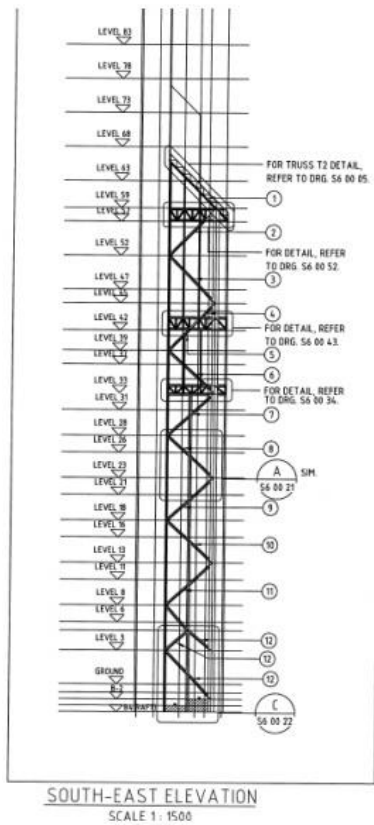


Şekil 5.2. Tower palace three (Abdelrazaq ve diğerleri, 2004).

Dubai tower binası (Katar,2007)

110 bin metrekare toplam inşaat alanına sahip yapı, 438 metre yüksekliğinde ve 90 katlı karma kullanımlı olarak tasarlanmıştır. İnşaatı 2007 yılında başlamış ve inşaatı devam etmektedir. Z şeklinde bir plana sahiptir. Dikdörtgen bir plan etrafında iki ayrı kol ile bağlanmıştır. Merkezi dikdörtgen bir çekirdek vardır. Kompozit taşıyıcı sistem olarak tasarlanmıştır. Dış cephede cam paneller kullanılmıştır. Prekast döşeme kullanılmıştır. C80 beton sınıfı kullanılmıştır.

1 adet geleneksel destek sistem ve 2 adet offset destek sistem kullanılmıştır ve merkezi betonarme çekirdek bulunmaktadır (Şekil 5.3.). Çevredeki kompozit kolonlar merkezdeki çekirdeğe betonarme kompozit destek ile tesisat katlarında bağlanmıştır. Üç seviye de destek sistem kullanılmıştır. Ayrıca tesisat katlarında binayı çevreleyecek şekilde çelik kuşaklama (belt truss) bulunmaktadır. Geleneksel destek sistem ve çevresel kuşaklama, 2 ayrı dış cephede betonarme ve çelik bağlantı (bracing) ile güçlendirilmiştir (Davids, Wongso, Popovic ve McFarlane, 2008).

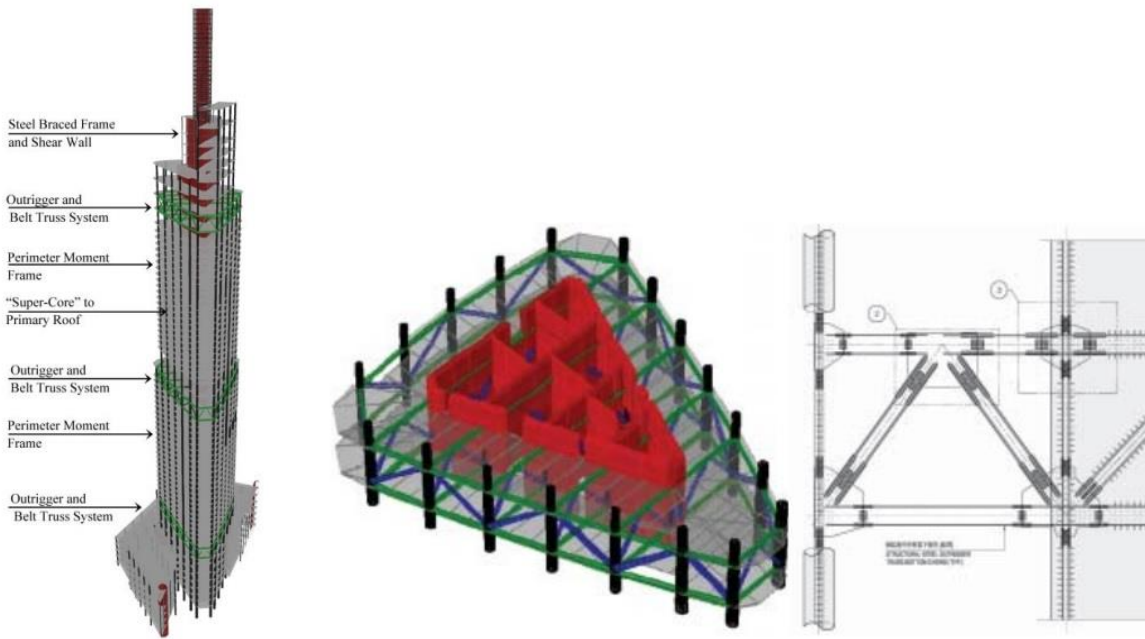


Şekil 5.3. Dubai tower (Davids, Wongso, Popovic ve McFarlane, 2008).

Greenland centre binası (Çin,2010)

197 bin metrekare toplam inşaat alanına sahip yapı, 2010 yılında tamamlanmıştır (www.skyscraperpage.com). 450 metre yüksekliğinde ve 89 katlı karma kullanımlı olarak tasarlanmıştır. Üçgen bir plana sahiptir ve merkezi çekirdek kullanılmıştır. Kompozit taşıyıcı sistem olarak tasarlanmıştır (Şekil 5.4.). Normal kat yüksekliği 4.2 metredir. Tesisat katları 2 kat yüksekliğinde tasarlanmıştır. Dış cephede cam paneller kullanılmıştır.

Üçgen şeklinde betonarme perde duvar bulunmaktadır. Üçgenin dayanıklılığı ve dönmeye karşı olan rijitliği sebebiyle perde duvar kalınlıkları optimal seviyede kullanılmıştır. Geleneksel destek sistem kullanılmıştır. Çevredeki kompozit kolonlar merkezdeki süper çekirdeğe çelik destek makaslar ile 8,4 metre ve 2 kat yüksekliğinde bağlanmıştır. 10,35 ve 60.kat seviyelerinde olmak üzere üç seviye de destek perde kullanılmıştır. Ayrıca tesisat katlarında binayı çevreleyecek şekilde kuşaklama (belt truss) bulunmaktadır (Besjak, McElhatten ve Biswas, 2009).

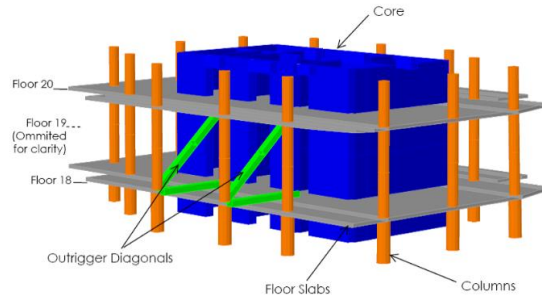


Şekil 5.4. Nanjing greenland financial centre (Besjak, McElhatten ve Biswas, 2009).

Rönesans tower binası, (Türkiye,2014)

185,5 metre yükseklikteki 2014 yılında tamamlanan yapı karma kullanım olarak tasarlanmış ve 40 kat yüksekliğindedir. Yamuk şeklinde plana sahiptir ve merkezi çekirdeğe sahiptir. Dış cephesinde cam kullanılmıştır. Kompozit taşıyıcı sistem kullanılmıştır. Yapıda 30 cm kalınlığında betonarme döşeme kullanılmıştır (Kaplan, DeSimone ve Anlar, 2015). Merkezi betonarme çekirdek bulunmaktadır.

Tek seviyede yapının yarı yüksekliğinde 18. ve 19. katta 2 kat yüksekliğinde geleneksel destek sistem kullanılmıştır. Destek sistem çelik olarak tasarlanmıştır. Çevredeki kolonlar merkezdeki çekirdeğe kompozit çelik çubuklar ile tesisat katlarında bağlanmıştır. Destek sistem tek yönde betonarme perdenin kuzey-güney aksı boyunca çevredeki 4 adet kompozit kolonlara bağlanmıştır (Şekil 5.5). Bu yapıda kullanılan destek sistemi, çelik bağlantı elemanları, Burulma Kısıtlı Destek (Buckling Restrained Brace, BRB) olarak adlandırılmaktadır. Sismik yükler için önemli miktarda enerji kaybı sağlarken, rüzgar yüklerine karşıda önemli statik rijitlik sağlayarak iki duruma da optimum düzeyde fayda sağlar. BRB sistemleri, çeliğin saf aksenal gerilim ve sıkıştırma histeretik davranışı yoluyla enerji dağılımı sağlar.



Şekil 5.5. Rönesans tower (Kaplan, DeSimone ve Anlar, 2015).

Folkart tower binası (Türkiye,2014)

200 metre yükseklikte, 2014 yılında tamamlanan yapı ofis ve konut kullanım olarak tasarlanmış ve 40 kat yüksekliğindedir. Dikdörtgen şeklinde plana sahiptir ve merkezi çekirdeğe sahiptir. Dış cephesinde cam kullanılmıştır. Yapıda kompozit taşıyıcı sistem kullanılmıştır. Çevresel betonarme çekirdek bulunmaktadır.

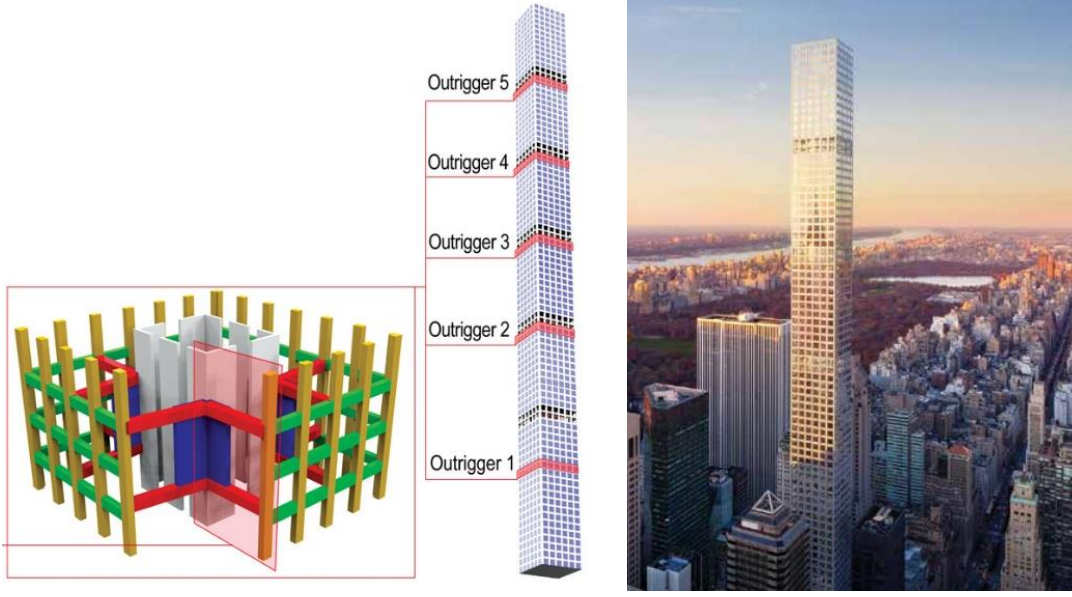
18. ve 29. katta tek kat yüksekliğinde geleneksel destek sistem kullanılmıştır. Destek sistem çelik olarak tasarlanmıştır. Çevredeki kolonlar merkezdeki çekirdeğe kompozit çelik çubuklar ile tesisat katlarında bağlanmıştır. Destek sistem iki yönde betonarme perde çevredeki kolonlara bağlanmıştır (Şekil 5.6). 8 adet destek sistem kullanılmıştır. Destek sistemi, dıştan çelik kaplamalı beton dolgusu olan, içinde ise sönümlemeyi sağlayan çelik özü olan bir sistemdir (Fidan ve Güven, 2019).



Şekil 5.6. Folkart tower (Fidan ve Güven, 2019).

432 Park avenue binası, (ABD,2015)

425,7 metre yükseklikte, 2015 yılında tamamlanan yapı konut kullanım olarak tasarlanmış ve 85 kat yüksekliğindedir. Kare şeklinde plana sahiptir ve merkezi çekirdeğe sahiptir. Yapının dış cephesinde cam ve beton kullanılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistem kullanılmıştır. 1:15 narinlik oranına sahiptir. Merkezi betonarme çekirdek bulunmaktadır. Destek sistem betonarme olarak tasarlanmıştır. Geleneksel destek sistemi bulunmaktadır. 18,32,46,60 ve 74.katlarda 2 kat yüksekliğinde 5 seviyede destek sistem bulunmaktadır (Şekil 5.7). Çevredeki kolonlar merkezdeki çekirdeğe betonarme destek sistemler ile merkezi çekirdeğe bağlanmıştır (Szołomicki ve Szołomicka, 2020).

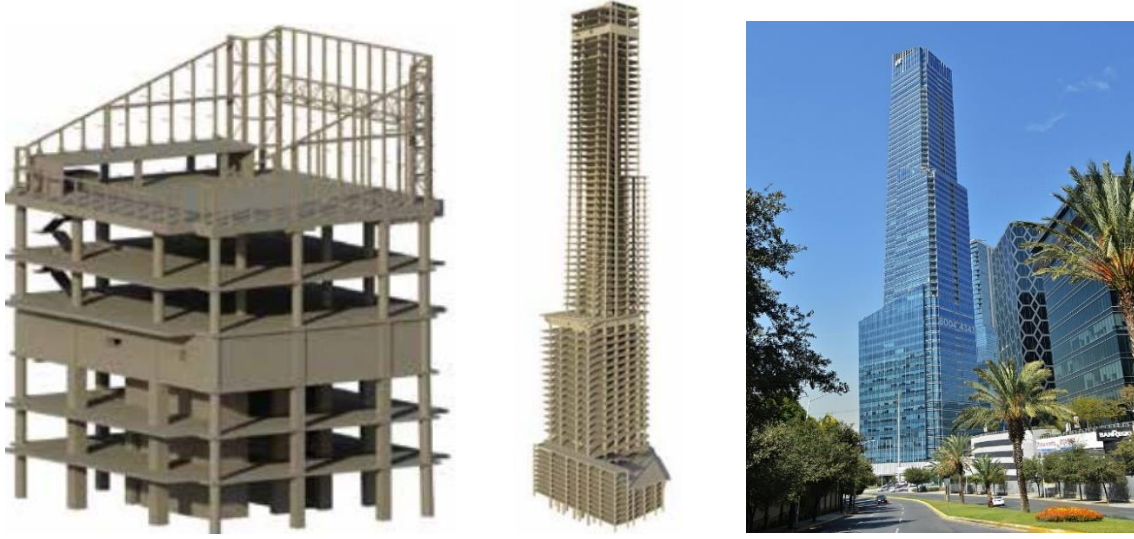


Şekil 5.7. 432 Park avenue (Szołomicki ve Szołomicka, 2020),

Torre Koi binası (Meksika,2017)

31 bin 530 metrekare toplam inşaat alanına sahip yapı, 279 metre yüksekliğinde ve 69 katlı yapı karma kullanımlı olarak tasarlanmıştır. İnşaatı 2013 yılında başlamış ve 2017 yılında tamamlanmıştır. Dikdörtgen plana sahiptir. Aşağıdan yukarı katlara doğru plan boyutları küçülerek devam eder. Merkezi çekirdek vardır. Dış cephesi cam panel ile kaplıdır. Yapıda 8.7:1 narinlik oranı vardır.

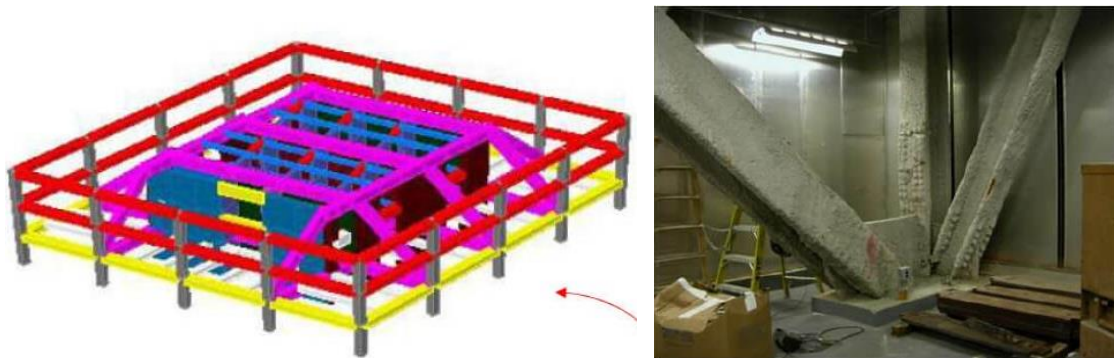
Sanal destek sistem vardır. Betonarme çekirdek, betonarme kuşak duvarı ve kompozit kirişler bulunmaktadır. İki seviyede 21. ve 62.katlarda sanal destek sistem kullanılmıştır (Şekil 5.8.). Ayrıca bu seviyelerde dışarda betonarme duvarlar (Belt Wall) kullanılmıştır. Belt Wall yatay yük altında, merkezi çekirdekteki dönme kuvvetine ters yönde bir güç uygular. Merkezi çekirdekteki yük, tesisat katlarındaki çelik diyafram döşeme levhaları ile çevredeki kolon ve betonarme duvarlara yük aktarımı sağlanır. Çekirdeğin kalınlığı alt katlarda 105 cm'den başlayıp yukarı doğru 45 cm'ye kadar düşmektedir. Çevredeki kuşak betonarme duvarların kalınlığı ise 60 cm ile 160 cm arasında değişerek, diyafram döşeme levhaları tarafından taşınan yatay kesme kuvvetine karşı direnç gösterir. Betonarme kuşak duvarlarından C50, C60 ve C70 beton sınıfı kullanılmıştır. 21. ve 22. Kat seviyelerindeki diyafram döşeme levhaları 30 cm kalınlığındayken, 62. ve 63. Kat seviyelerindeki diyafram döşeme levhaları ise 40 cm kalınlığındadır (Crilly, Tamaro ve Stark, 2018).



Şekil 5.8. Torre KOI (Crilly, Tamaro ve Stark, 2018).

İstanbul 205 tower binası (Türkiye,2019)

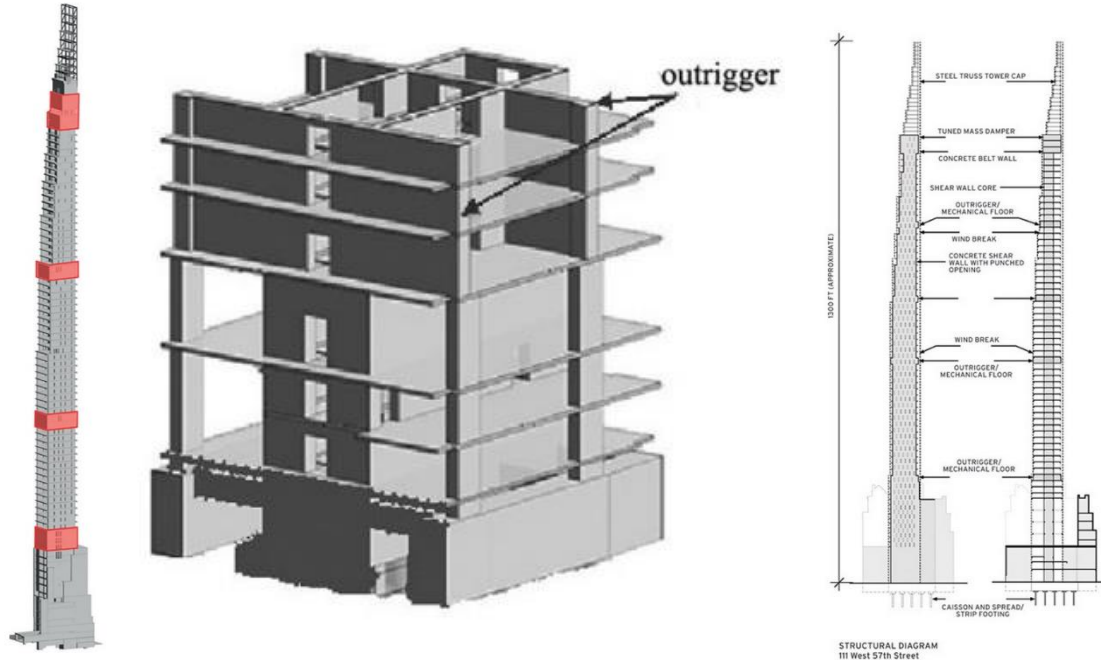
220 metre yükseklikte 2019 yılında tamamlanan yapı ofis yapısı olarak tasarlanmıştır ve 54 kat yüksekliğindedir. Kare plana sahiptir ve merkezi çekirdek vardır. Dış cephede cam panel kullanılmıştır (www.skyscrapercenter.com). Betonarme perde kullanılmış olup, kompozit taşıyıcı sistem kullanılmıştır. Tek seviyede, yapının yaklaşık yarı yüksekliğinde 29. ve 30. katta 2 kat yüksekliğinde geleneksel destek sistem kullanılmıştır. Destek sistem çelik makaslar olarak tasarlanmıştır. Merkezi betonarme çekirdek dört yönde 10 adet çelik makaslarla çevre kompozit kolonlara bağlanmıştır (Şekil5.9.). Yapıya eklenen çelik makaslar sayesinde, rüzgar ve deprem yüklerine karşı dirençli hale gelmiştir (www.theplan.it).



Şekil 5.9. İstanbul 205 Tower

111 West 57th street binası (ABD,2021)

435,3 metre yükseklikte ,2021 yılında tamamlanan yapı konut kullanım olarak tasarlanmış ve 84 kattan oluşmaktadır. Dikdörtgen planlı ve üst katlara doğru küçülmektedir. Dış cephede cam kullanılmıştır. Kompozit taşıyıcı sistem kullanılmıştır ve son 48 metresi tamamen çelik taşıyıcı sistem olarak tasarlanmıştır (www.skyscrapercenter.com). Çevresel çekirdekli olup, çekirdek cepheye yaslanmış şekildedir (Şekil 5.10). 1:24 narinlik oranına sahiptir. Döşeme kalınlığı 30.5 cm'dir .6,19,32,36. kat yüksekliklerinde, 4 ayrı seviyede betonarme geleneksel destek sistemi bulunmaktadır (Yalnız, 2020).



Şekil 5.10. 111 West 57th Street (Yalnız, 2020).

Örnekler üzerinden destek sistem tasarımı esasları

Farklı bölgelerde uygulanan 10 farklı yüksek yapının incelenmesi ile dünyadaki ve ülkemizdeki destek sistem(outriggers) uygulamalarındaki tutum ortaya konmuştur. Yapılar plan tipi, cephe malzemesi, çekirdek konumu, taşıyıcı sistem malzemesi, destek sistemin boyutu, malzemesi, tipi ve kaç adet kullanıldığı şeklindeki kriterler ışığında değerlendirilmiştir (Çizelge 5.1).

Yapılan analizler ışığında oluşturulan Çizelge 5.1 incelendiğinde, öncelikle destek sistemlerin kullanıldığı yüksek binaların fonksiyonlarının karma ve konut kullanım sınıfında hizmet verdiği görülmektedir. Bu durum seçilen örnekler sebebiyle bu çerçevede çıkmış olsa da destek sistemlerin tüm fonksiyon tipleri için uygun olduğu bilinmelidir. Zaten uygulamada tesisat katında konumlandırılan bu elemanlar yapının normal katlardaki mimari işleyişine etki etmemektedir.

İncelenen örnekleme Plan çözümlerine bakıldığında ise farklı formlarda kullanım imkanı olduğu, özgün formlarda dahi tercih edildiği görülmekte, kısıtlama içermediği anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.1. Destek sistemlerin kullanıldığı örnek yüksek yapılar (Güneş, Takva ve İlerisoy, 2022).

Yapı	Kullanım	Plan Tipi	Çekirdek Konumu	Taşıyıcı Sistem Malzemesi	Cephe Malzemesi	Destek Tipi	Destek Malzemesi	Destek Boyutu	Destek Sayısı	Destek Konumu
1	Konut	Dikdörtgen	Merkezi	Betonarme	Cam, Kompozit	Offset	Betonarme	2 Kat	2	15 ve 30.Kat
2	Konut	Yonca	Merkezi	Betonarme, Kompozit	Cam	Sanal	Betonarme	1 Kat	2	16,55.Kat
3	Karma	Z Formu	Merkezi	Kompozit	Cam	Geleneksel, Offset	Çelik, Betonarme	2 Kat	3	34,43,52. Kat
4	Karma	Üçgen-sel	Merkezi	Kompozit	Cam	Geleneksel	Çelik	2 Kat	3	10,35 60.Kat
5	Karma	Yamuk	Merkezi	Betonarme, Kompozit	Cam, Kompozit	Geleneksel	Çelik	2 Kat	1	18.Kat
6	Karma	Dikdörtgen	Kenar	Betonarme, Kompozit	Cam	Geleneksel	Çelik	1 Kat	2	18,29.Kat
7	Konut	Kare	Merkezi	Betonarme	Cam, Beton	Geleneksel	Betonarme	2 Kat	5	18,32,46, 60. 74.Kat
8	Karma	Dikdörtgen	Merkezi	Betonarme, Kompozit	Cam	Sanal	Betonarme, Kompozit	2 Kat	2	21 ve 62.Kat
9	Ofis	Kare	Merkezi	Betonarme, Kompozit	Cam	Geleneksel	Çelik	2 Kat	1	29.Kat
10	Konut	Dikdörtgen	Kenar	Kompozit, Çelik	Cam	Geleneksel	Betonarme	2 Kat	4	6,19,32, 46.Kat

Çizelge 5.1'e göre bu sistemin uygulandığı yapılarda çekirdek konumu olarak en çok merkezi çekirdek tercih edilmiştir. Bu noktada yüksek yapılarda şeffaflık ve özgür cephe tasarımı ön planda olduğu için merkezi çekirdek en çok tercih edilen olması gündemde iken bu sistemin merkezi çekirdeklerde yaygın kullanımını öne çıkarmaktadır. Taşıyıcı sistem malzemesi olarak ise betonarme ve kompozit kullanım ön plandadır. Destek sistemleri

kullanılan ve yapılan çalışmada incelenen 10 bina özelinde cephe malzemesi olarak genel olarak şeffaflık ön planda olup cam malzeme kullanılmıştır.

Destek tipi olarak geleneksel tip kullanımı ön planda olup, incelenen iki yapıda sanal ve offset destek sistem kullanılmıştır. Destek sistem malzeme olarak betonarme, çelik ve kompozit destekler tercih edilmektedir. Ancak çelik ve betonarme ön plana çıkmaktadır. Yapı yüksekliği ile orantılı olarak, destek sistemlerin kullanım sayısı artmaktadır. Dünyadaki örneklerde birkaç farklı seviyede destek sistem tercih edilirken, Türkiye'deki örneklerde tek seviyede tercih edilmiştir. İncelemeler neticesinde destek sistemlerin konumu, yapının yüksekliğine bağlı olarak değişmek ile birlikte genellikle yapının tepe noktalarına ve yarı yüksekliklerine daha yakın olarak konumlandırıldığı gözlemlenmiştir. Yapının tepe noktasına daha yakın olmasının en önemli nedeni tepe deplasmanlarının önüne geçmektir. Türkiye'de incelenen örneklerde ise $h/2$ yüksekliğe daha yakın olacak şekilde konumlandırılmıştır.

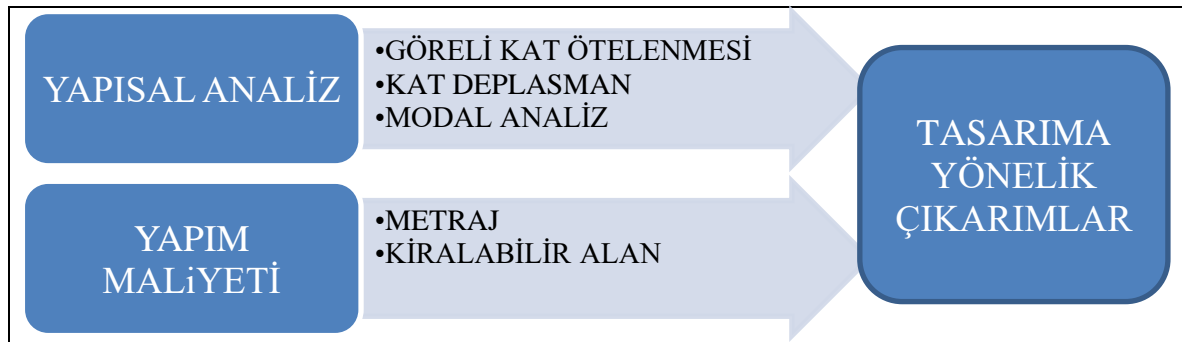
Destek sistemler incelenen 10 örnekten ikisi dışında 2 kat yüksekliği olarak tasarlanmıştır. Destek sistemler yapıların tesisat katlarında yer aldığı için mimari tasarıma herhangi bir olumsuz etkisi bulunmamaktadır. Ayrıca taşıyıcı sistem boyutlarında küçültme sağlayarak cephede daha özgürlük ve daha az taşıyıcı sistem yansıması sağlamaktadır.

İncelemeler neticesinde ilk olarak yüksek yapılarda kullanılan destek sistemlerin boyutu en az bir kat yüksekliğinde olması gerekirken incelenen örneklerden sekizinde iki kat yüksekliğinde tasarlanmıştır (Çizelge 5.1). Bu durumda destek sistemler tasarlanırken "minimum iki kat yüksekliğinde tasarlanması daha optimal bir çözüm olacaktır" sonucu çıkartılabilir. İncelemeler neticesinde destek sistemlerin malzeme kullanımı yapılarda çelik makaslar ve çelik bağlantılar ile betonarme eşit olarak tercih edilmiştir. Yüksek yapılarda kullanılan destek sistemler yapı yüksekliği arttıkça kullanım sayısı artmaktadır. Dünyadaki örneklerde birkaç farklı seviyede destek sistem tercih edilirken, Türkiye'deki örneklerde tek seviyede tercih edilmiştir. Bunun en önemli nedeni Türkiye'deki yapıların çok yüksek olmamasıdır. İncelenen örneklerde destek sistemlerde genellikle geleneksel destek sistem tercih edilmiştir. Bunun en önemli sebebi çekirdek konumunun merkezi olması, geleneksel sistem ile ilgili daha fazla bilgi ve tecrübeye sahip olunması, diğer sistemlerin yeni ve yaygın olmaması gösterilebilir. Bununla birlikte sanal destek sistemin maliyet ve kolay kullanımı bu sistemin yıllar içerisinde daha yaygın kullanımı ile ilgili bilgiler vermektedir.

(www.theconstructor.org). Tüm bu bulgular ışığında bu sistemlerin kullanımı ile; yapı rüzgar ve depreme karşı daha stabil hale gelmektedir. Bu sistem her ne kadar dünyada yaygın olarak kullanılsa da ülkemizde yeni kullanılmaktadır. Ülkemizde de yapı yükseklikleri her geçen yıl arttığı göz önünde bulundurulduğunda, mimarlar ve mühendisler bu sistem ile ilgili bilgi ve tecrübelerini arttıracak ve sistem daha yaygın hale gelecektir.

5.2. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Servis çekirdeğinin optimum tasarımı ve konumu, diğer taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları yüksek bina tasarımında kritik öneme sahiptir. Servis çekirdeğinin yüksek binalar üzerindeki etkileri bununla sınırlı değildir. Servis çekirdeği yüksek binalarda yapısal tasarımı da etkilemektedir. Çünkü servis çekirdeği yanal yüklere karşı dayanımda da önemli etkiye sahiptir. Tezin bu bölümünde farklı çekirdek tipine sahip 3 farklı model (merkezi çekirdek, iki kenar çekirdek ve dört köşe çekirdek) yapısal tasarım ve yapım maliyeti olarak birbirleri ile kıyaslanmıştır.



Şekil 5.11. Analiz sonuçlarının değerlendirildiği kriterler

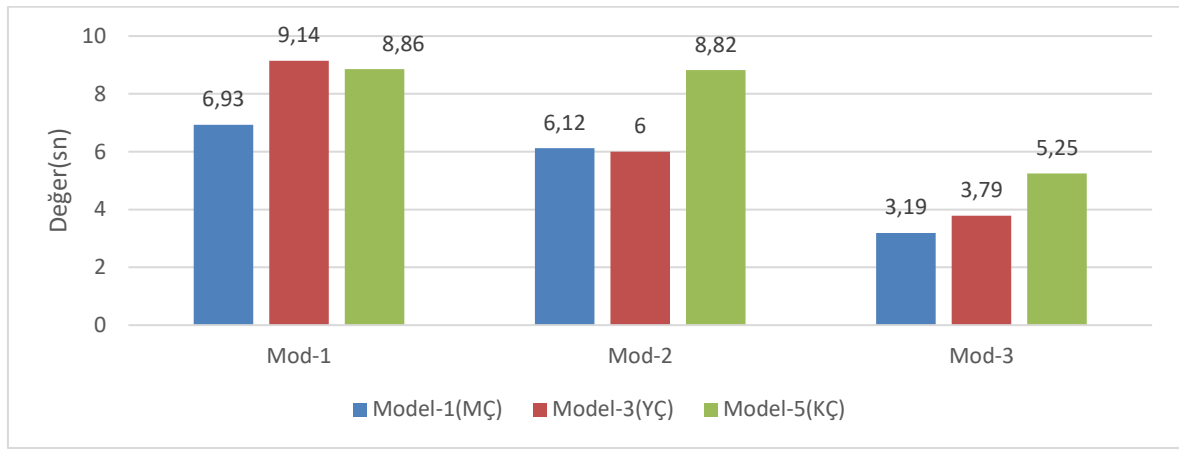
5.2.1. Birinci araştırma grubu; farklı çekirdek konumuna sahip yapılar

Mimari tasarım imkanları dahilinde aynı plan şemasında çekirdek kararlarının farklı konumlarda ele alınabileceği kabulü ile ele alınan bu araştırma grubunda; merkezi çekirdek, iki kenar çekirdek ve dört köşe çekirdek modellerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Öncelikle Performans analizi sonuçlarına bakılmıştır. Bu noktada da yapının asal eksenlerindeki doğal titreşim periyot verileri ilk değerlendirme kriteridir. Mod kavramı, periyotların deformasyon şekillerinin gösterilmesini sağlamaktadır. Mod değerlerinde kütle

katılımı en fazla olan ilk 3 doğal titreşim periyot değerleri dikkate alınır. Bu periyotlar x yönü, y yönü ve burulma'dır.

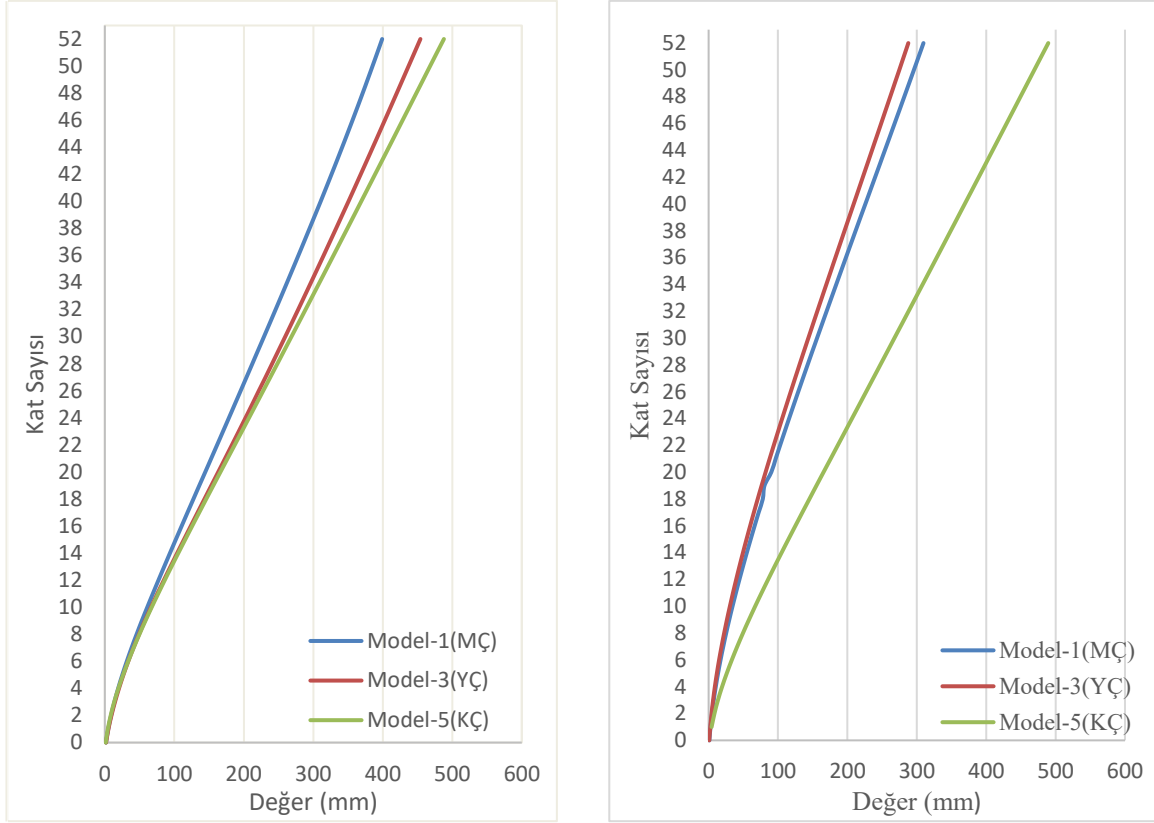
Çalışma kapsamındaki farklı konumlandırılan çekirdeğe sahip yapıların periyot değerleri Şekil 5.12'de verilmiştir. Model-1(MÇ)'de x ve y yönündeki mod değerleri birbirine yakın mertebededir. Model-5(KÇ)'de x ve y yönündeki mod değerleri birbirine yakın mertebededir. Ancak plan düzleminde çekirdek konumu sebebiyle simetrisi bozulan model-3(YÇ)'de aradaki fark açılmıştır.



Şekil 5.12. Modal analiz sonuçları

Sonrasında, binalarda deprem etkisiyle oluşabilecek hasarın bir göstergesi olan sistemin yer değiştirme(deplasman) değerleri ele alınmıştır. Deplasman değerleri deprem güvenliği açısından son derece önemli olması sebebiyle denetlenmesi gerekmektedir. Yapıda oluşacak büyük yer değiştirmeler ve bu vesileyle oluşan ikinci mertebeye etkiler yapılarda hasara neden olmaktadır. Düşey konsol giriş gibi davranan yüksek yapılarda mimari tasarım kararı ile alınacak önlemler bu deplasmanları iyileştirebilmektedir.

Yüksek katlı yapılarda deplasmanın en fazla olduğu yer tepe noktalarıdır. Farklı çekirdek konumuna sahip yapıların Hem x yönü hem y yönündeki kat deplasmanları Şekil 5.13'te verilmiştir.



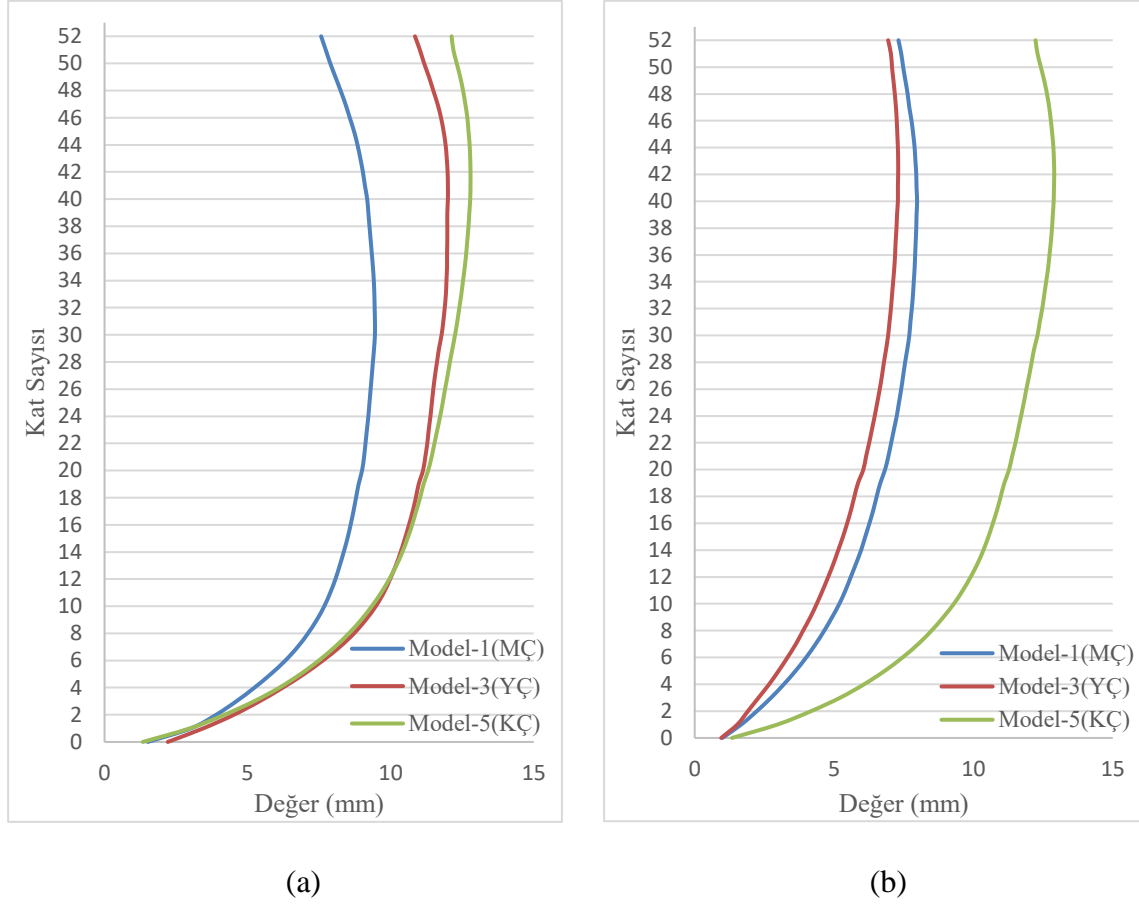
(a)

(b)

Şekil 5.13. Farklı çekirdek konumuna sahip yapıların kat deplasmanları; a) x yönü, b) y yönü

Model-1(MÇ)de x doğrultusunda maksimum deplasman yapının tepe noktasında 399,1 mm iken, y doğrultusunda maksimum deplasman yapının tepe noktasında 309,66 mm dir. Model-3(YÇ)de x doğrultusunda maksimum deplasman yapının tepe noktasında 454,1 mm iken, y doğrultusunda maksimum deplasman yapının tepe noktasında 287,81 mm dir. Model-5(KÇ)de x doğrultusunda maksimum deplasman yapının tepe noktasında 487,91 mm iken, y doğrultusunda maksimum deplasman yapının tepe noktasında 489,51 mm dir.

Yapısal analiz değerlendirmesinde son olarak görelî kat ötelemesi sonuçlarına bakılmıştır. Görelî kat ötelenmesi, bir kolon ya da perde elemanının (düşey eleman) bir üst kat ya da bir alt kattaki perde veya kolona göre yer değiştirmesini ifade eder. Betonarme yapıların ne kadar öteleme yaptığı yapılarda deprem güvenliği açısından son derece önemli olması sebebiyle denetlenmesi gerekmektedir. Çekirdek konumuna göre binanın x yönü görelî kat sonuçları ile y yönü görelî kat sonuçları Şekil 5.14'te verilmiştir.

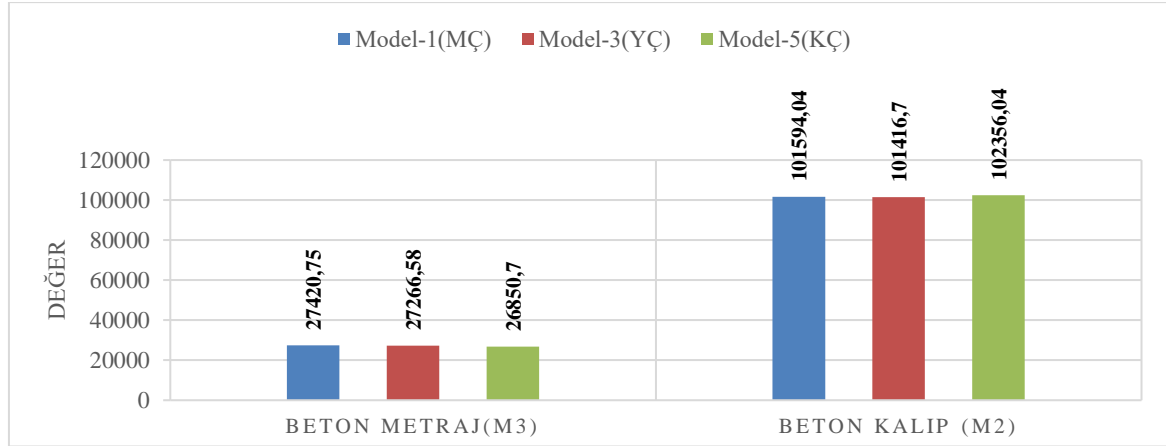


Şekil 5.14. Farklı çekirdek konumuna sahip yapıların görel kat ötelenmesi sonuçları; a) x yönü, b) y yönü

Model-1(MÇ)de x doğrultusunda maksimum görel kat ötelenmesi 30.katta 9,45 mm olurken, y doğrultusunda maksimum görel kat ötelenmesi 40.katta 7,98 mm olmuştur. Model-3(YÇ)de x doğrultusunda maksimum görel kat ötelenmesi 40.katta 12 mm olurken, y doğrultusunda maksimum görel kat ötelenmesi 42.katta 7,30 mm olmuştur. Model-5(KÇ)de x doğrultusunda maksimum görel kat ötelenmesi 41.katta 12,79 mm olurken, y doğrultusunda maksimum görel kat ötelenmesi 42.katta 12,9 mm olmuştur.

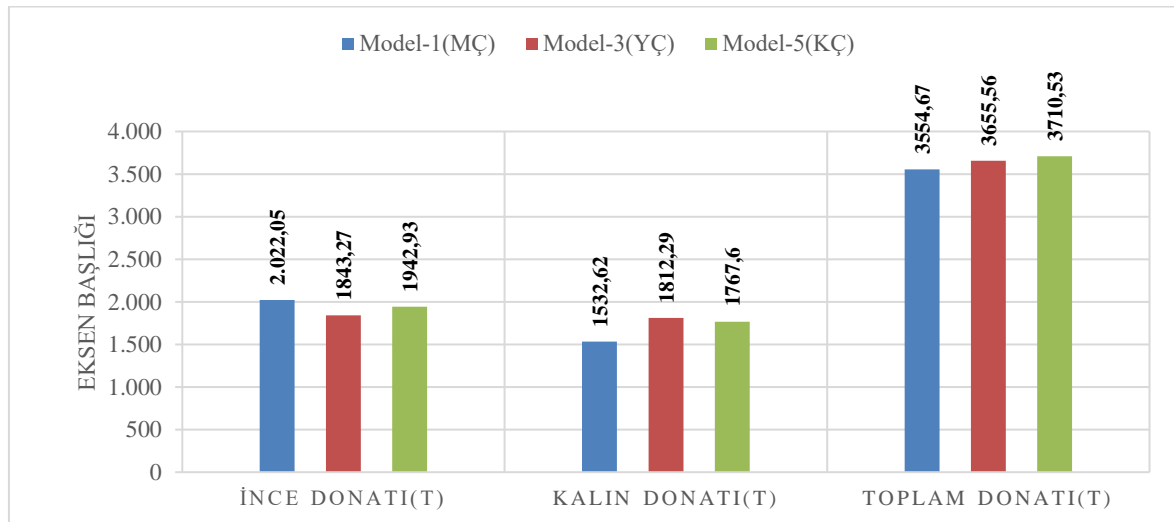
Bu araştırma grubunun yapısal performansı sonrasında yapım maliyeti karşılaştırması yapılmıştır. Buradaki hedef “çekirdek tasarımında konum değişikliğinin yapım maliyetini hangi mertebelerde değiştirdiğini” ortaya koymaktır. Maliyet hesaplamalarında yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan en temel bileşenler olarak beton, kalıp, ince donatı ve kalın donatı metrajları dikkate alınmıştır.

Öncelikle aynı plan şemasına sahip yapıların taşıyıcı sistemi için kullanılan beton ve kalıp kullanımlarına bakılmıştır (Şekil 5.15). Aynı mertebelerde değerler elde edilmiş olsa da en düşük beton metrajının model-5(KÇ)'de olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi perde miktarları aynı olmasına rağmen kolon sayıları değişkenlik gösterdiği için bu farklılık ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.15. Farklı çekirdek konumuna sahip yapıların beton ve kalıp metrajı sonuçları

Betonarme sistemin temel bileşeni olan donatı sonuçları incelendiğinde ise kullanım dağılımlarının farklılaştığı görülmektedir. İnce donatı metrajı model-3(YÇ)'de en düşük olduğu görülmektedir. Kalın donatı metrajı ile toplam donatı metrajının en düşük model-1(MÇ)' de olduğu görülmektedir.

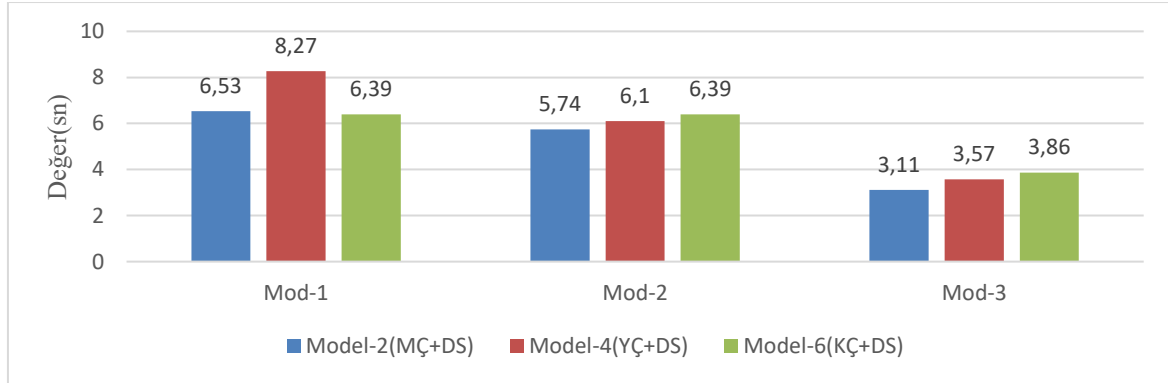


Şekil 5.16. Farklı çekirdek konumuna sahip yapıların donatı metrajı sonuçları

5.2.2. İkinci araştırma grubu; destek sistem kullanılan farklı çekirdek konumuna sahip yapılar

Yüksek binalarda yapı yükseklikleri arttıkça düşey yüklere dayalı tasarımlardan ziyade yatay yüklerin etkisine dayalı tasarımlara geçilmiştir. Bu durum yapı formları ve taşıyıcı sistem formlarında değişime neden olmuştur. Belirli yüksekliklerden sonra yapılarda kat ötelenmelerini sınırlama ve yapısal stabiliteyi artırma gerekliliği doğmaktadır. Bu noktada yapılara, tasarım özgürlüğüne en az müdahale ile katkı sağlayan destek sistemler eklenerek rijit katlar oluşturulmaya başlanmıştır. Bu araştırma grubunda farklı konumlara yerleştirilen çekirdeklere sahip yapılara destek sistem eklenmesi ile oluşturulan yapılar incelenmiştir. Merkezi çekirdek + destek sistem (Model-2), iki kenar çekirdek+ destek sistem (Model 4), dört köşe çekirdek + destek sistem (Model 6) modellerinin yapısal tasarım ve toplam metraj olarak birbirleri ile kıyaslanmıştır.

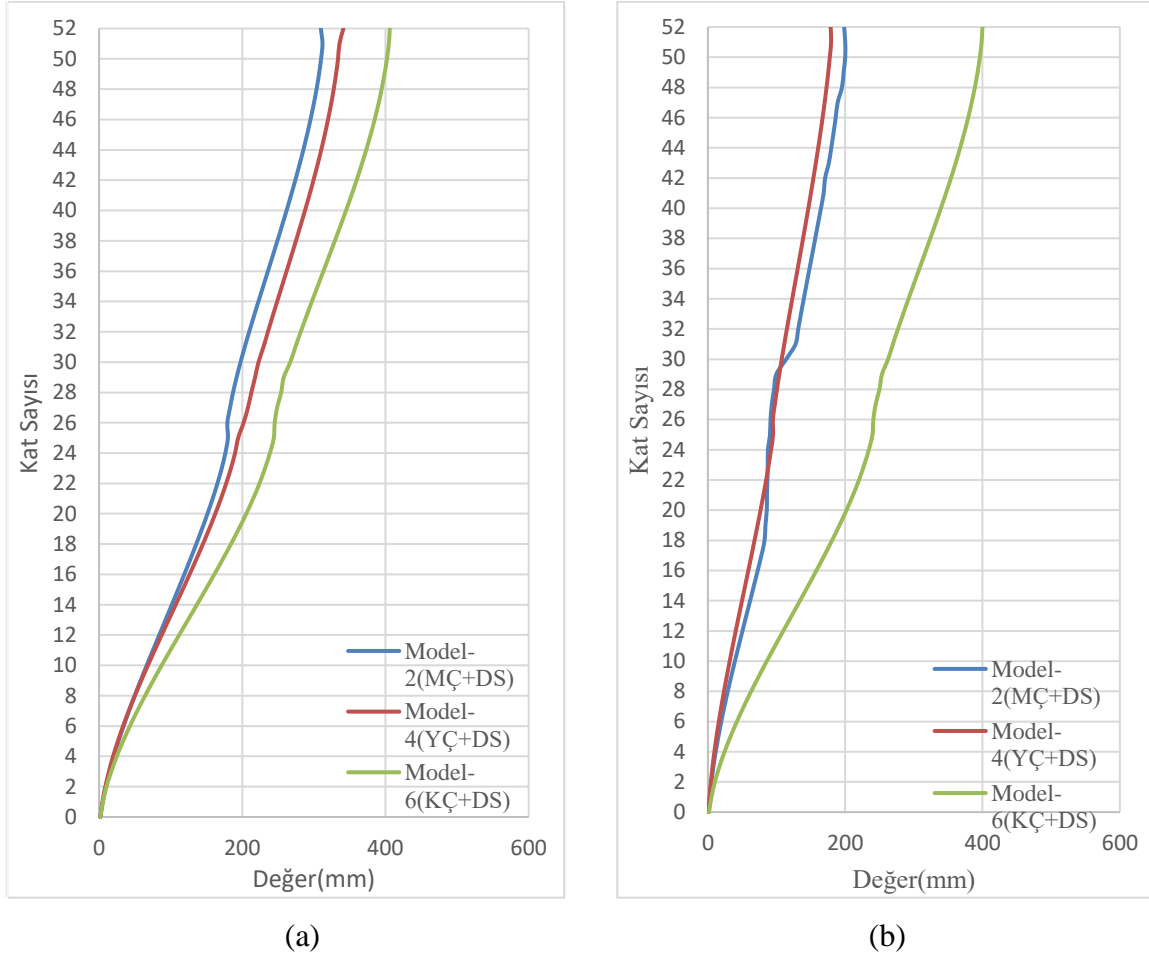
İlk etapta farklı taşıyıcı sistem konfigürasyonundaki bu yapıların periyot değerleri ele alınmış, Şekil 5.17.'de verilmiştir. Mod-1 de en düşük periyot değeri model-6(KÇ+DS)'da dir. Mod-2'de de en düşük periyot değeri model-2(MÇ+DS)'de dir. Mod-3 de en düşük periyot değeri model-2(MÇ+DS)'de dir.



Şekil 5.17. Modal analiz sonuçları

Farklı çekirdek konumlandırması ile destek sistem kullanımının yapısal performans etkisinde modellerin kat deplasman sonuçları Şekil 5.18.'de verilmiştir. Veriler incelendiğinde Model-2(MÇ+ DS)'de x doğrultusunda maksimum deplasmanın yapının 51.katında 312,03 mm, y doğrultusunda maksimum deplasmanın 51.katta 199,97 mm olduğu görülmüştür. Model-4(YÇ+DS)'de x doğrultusunda maksimum deplasman yapının 52.katında 341,23 mm iken, y doğrultusunda maksimum deplasman yapının 51.katında

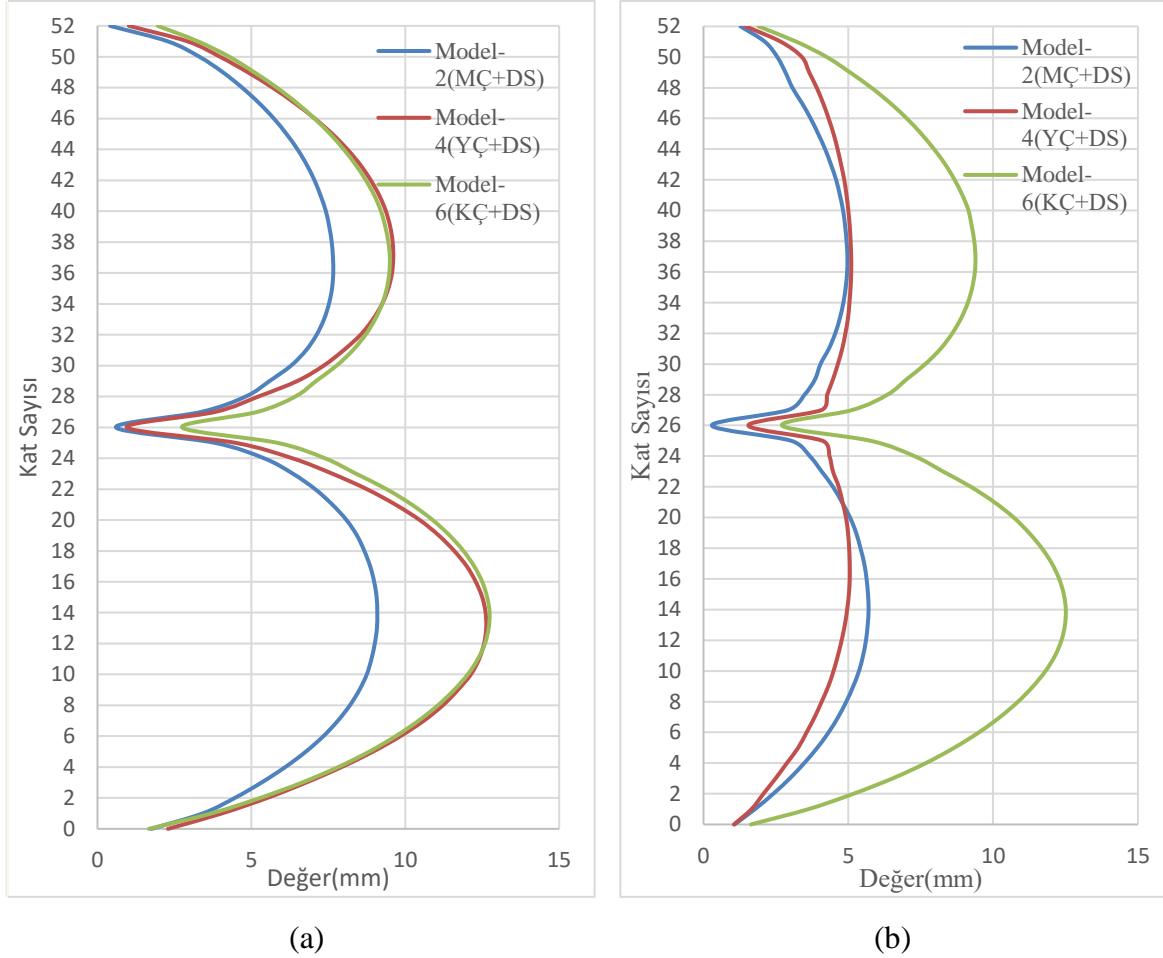
179,42 mm dir. Model-6(KÇ+DS)'da x doğrultusunda maksimum deplasman yapının 52.katında 406,01 mm iken, y doğrultusunda maksimum deplasman yapının 52.katında 399,82 mm dir.



Şekil 5.18. Destek sistem kullanılan farklı çekirdek konumuna sahip yapılar kat deplasmanları; a) x yönü, b) y yönü

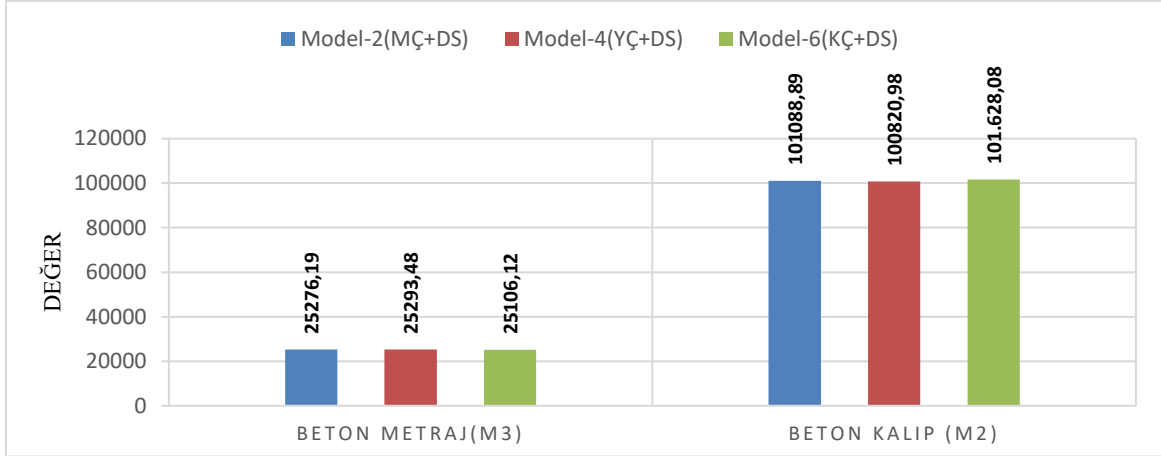
Görelî kat ötelemeleri incelendiğinde ise Şekil 5.19'daki veriler elde edilmiştir. Modeller içerisinde x doğrultusunda maksimum görelî kat ötelenmesi 14.katta 12,74 mm ile model-6(KÇ+DS) da görülmesine rağmen üst katlarda destek sistemlerin etkisi ile görelî kat ötelemelerinin ortalanması incelendiğinde daha az olduğu görülmektedir. Modeller içerisinde x doğrultusunda en az görelî kat ötelenmesi model-2 (MÇ+DS) de olduğu görülmektedir. İkinci en az ötelenme de model-4(YÇ+DS) de görülmektedir. Ancak model-4(YÇ+DS) ve model-6(KÇ+DS) da değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. X yönünde en düşük kat ötelenmesi 26. ve 52.katlarda model-2(MÇ+DS) olduğu görülmektedir. Rijit katlarda kat ötelenmesinin en az olduğu görülmektedir. Modeller

içerisinde y doğrultusunda maksimum görelî kat ötelenmesi 14.katta 12.51 mm ile model-6(KÇ+DS) de görülmektedir. Modeller içerisinde y doğrultusunda en az görelî kat ötelenmesi model-2(MÇ+DS) de olduğu görülmektedir. İkinci en az ötelenme de model -4 (YÇ+DS) de görülmektedir.



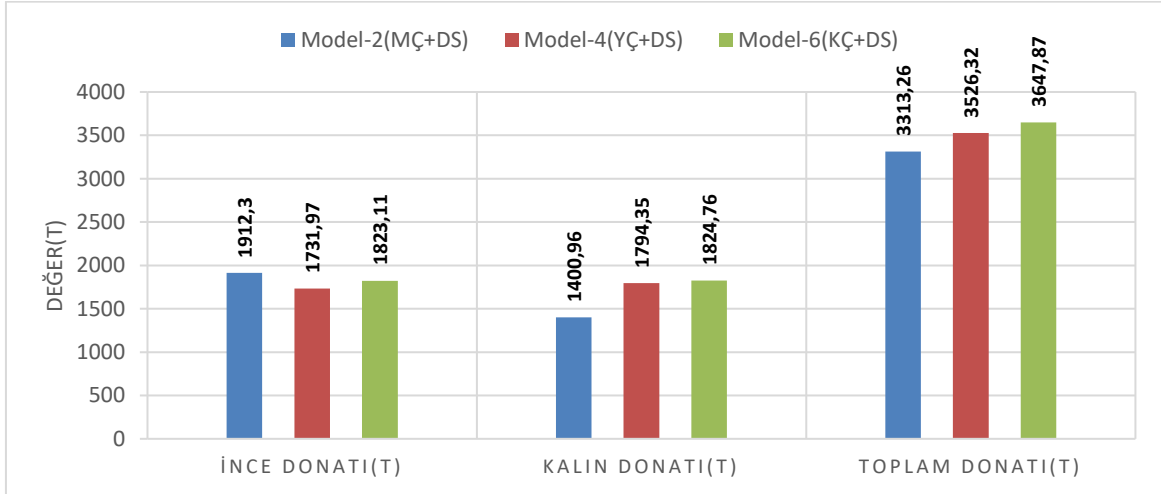
Şekil 5.19. Destek sistem kullanılan farklı çekirdek konumuna sahip yapıların görelî kat ötelenmesi sonuçları; a) x yönü, b) y yönü

Metraj sonuçları incelendiğinde en düşük beton metrajı model-6(KÇ+DS)'de olduğu görülmektedir (Şekil 5.20). Bunun en önemli sebebi perde miktarları aynı olmasına rağmen kolon sayıları değişkenlik gösterdiği için bu farklılık ortaya çıkmıştır. Kalıp metrajı bakımından ise birbirine yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.20. Destek sistem kullanılan farklı çekirdek konumuna sahip yapıların beton ve kalıp metrajı sonuçları

Donatı kullanımları farklı olan modellerde ince donatı metrajının model-4(YÇ+DS)'de, kalın donatı metrajının ise model-2(MÇ+DS)'de en düşük olduğu görülmektedir (Şekil 5.21). Toplam donatı kullanımına bakıldığında ise en düşük donatının model-2(MÇ+DS)'dedir.



Şekil 5.21. Destek sistem kullanılan farklı çekirdek konumuna sahip yapıların donatı metrajı sonuçları

6. BULGULAR VE KARŞILAŞTIRMALAR

Bu bölümde değişen olarak ele alınan çekirdek konumu ve destek sistem eklenme durumuna göre yapısal çözümlenmeleri yapılan 6 adet modelin değişkenler kapsamında karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma 3 başlıkta değerlendirilmiştir. İlk olarak sadece çekirdek konumu değişen 3 modelin değerlendirmesi yapılmıştır. Ardından destek sistemler ile beraber çözümlenen diğer 3 modelin birbirlerine göre kıyaslama yapılmıştır. En son adımda da altı model ortak bir paydaya alınarak destek sistemlerin her bir konuma göre etkisi irdelenmiştir.

Karşılaştırma adımlarında ise yapısal performans ölçütleri, taşıyıcı sistem maliyeti bazlı maliyet değişimi ve kiralanabilir alan kazanımı açısından değişkenlerin etkileri irdelenerek en verimli kararlar ortaya konulmuştur.

6.1. Çekirdek Konumunun Yapısal Performans Bulgularına Etkisi

Mimari tasarım kararları doğrultusunda şekillenen çekirdek tasarımı yüksek binalarda yapısal tasarımı da etkilemektedir. Çünkü çekirdek yanal yüklere karşı dayanımda önemli etkiye sahiptir. Tasarımları ve analizleri tamamlanan 3 farklı çekirdek tipine (merkezi çekirdek, iki kenar çekirdek, dört köşe çekirdek) sahip ancak toplam kullanılan perde alanı aynı olan ve aynı mimari çözümlere sahip yüksek yapı modelleri analizleri sürecinde bazı noktalarda farklılıklar göstermiştir.

İlk etapta yapısal davranışının yorumlanması konusunda yönlere göre değerlendirmelerin yapılması ile taşıyıcı sistem konfigürasyonunda daha verimli sonuçlar elde edileceği görülmüştür. Aynı sınırlar içerisinde çözülen plan tiplerine göre yükseltelen yapıların;

X yönündeki davranışları incelendiğinde model-1(MÇ)'in yani Merkezi Çekirdek uygulamasının diğerlerinden daha düşük periyot değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yüklerin dağılımı ve sistemin bütünlüğünde simetriden ve merkezilikten uzaklaştıkça periyot değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu durum mertebe olarak karşılaştırıldığında model-1(MÇ), model-5(KÇ) %21,79 ve model-3(YÇ) den %24.18, daha düşük periyot değerine sahiptir. Kat deplasman sonuçları incelendiğinde de bütün modellerde maksimum deplasmanın tepe noktalarında (52.kat) olduğu görülmektedir. Bu

yöndeki model-1(MÇ)'in, model-3(YÇ) den %12,12, model-5(KÇ) den %18,21 daha düşük kat deplasmanına sahip olduğu görülmektedir. Maksimum görelî kat ötelemesi değerlerinde de benzer şekilde merkezi çekirdek en optimum sonucu vermiştir. Model-1(MÇ), model-3(YÇ) den %21,19, model-5(KÇ) den %26,12 daha düşük görelî kat ötelenmesine sahip olduğu görülmektedir.

Y yönündeki davranışları incelendiğinde en düşük periyot iki kenar çekirdekte çıkmıştır. Model-3(YÇ), model-1(MÇ) ile yakın değerlerde olup aradaki fark %2'ye düşmüştür. Model-5(KÇ) ise %31,98 oranında daha yüksek periyot değerine sahiptir. Bu farklılaşmanın nedeni düşünüldüğünde formlardaki atalet değerlerinin farklılığı gündeme getirilebilir. Merkezi çekirdekte I_x/I_y oranı 1'e yakınken iki kenar çekirdek kullanımı atalet oranlarını değiştirmekte; X yönündeki atalet daha yüksek çıkmaktadır. Bu ise Y yönündeki deplasmanın düşmesini sağlamaktadır. Görelî kat ötelemesinde de bu sebep ile direkt ilişkili olarak model-3(YÇ) en düşük değere sahip çıkmıştır. Mertebe olarak da model-1(MÇ) den %8,65, model-5(KÇ) den ise %43,49 daha düşük görelî kat ötelemesi yapmıştır.

Burulma yönünde ise en yüksek periyot model-5(KÇ)'de oluşmuştur. Sebebi ise bu plan şemasında aynı alana sahip kullanılan perdeler dışındaki kolon alanlarının azalmasıdır. Köşe çekirdeklerde tek kat planındaki kolon alanı miktarı, merkezi çekirdeğe göre %16,74 kadar azdır.

Ele alınan üç yapısal performans karşılaştırmasında benzer sıralamaların elde edilmesi ve değişen azalma/artma düzeninin elde edilmesi tasarımcılara taşıyıcı sistem kararında ışık tutmaktadır. Öncelikle periyodu büyük yapıların tepe deplasmanlarının nispeten daha büyük olacağı, periyodu küçük olan yapıların tepe deplasmanlarının ise nispeten daha küçük olacağını ispat edilmiştir. Buradan hareketle periyot, deplasman ve katlar arası görelî öteleme sonuçlarından merkezi çekirdeğin avantajı sağladığı anlaşılmaktadır. Ayrıca simetriden uzaklaştıkça atalet farklarının oluştuğu, böylece de artan mertebelerde değerlerin elde edileceği görülmüştür. Ek olarak da düşey taşıyıcı elemanların kesit alanlarının azalmasının en temelde burulma davranışında hissedildiği ve yapısal performansta bekleneni değiştirdiği görülmektedir.

Bu veriler tasarımcılara taşıyıcı sistem elemanlarının yerleştirilmesinin ve bina ataletinin önemini göstermektedir. Kare bir formda taşıyıcıların eksenlere göre ataleti değiştirecek şekilde konumlandırılması ile yönler arasında davranış farkları ortaya çıkacaktır.

6.2. Çekirdek Konumunun Bina Yapım Maliyet ve Kiralanabilir Kat Alanı Bulgularına Etkisi

Bu bölümde modellerin ince donatı, kalın donatı, beton ve kalıp metrajı ile toplam üst yapı kaba inşaat maliyeti ortaya konulmuştur. Metraj sonuçları incelendiğinde Beton metrajı değeri model-5(KÇ)'de en düşük olup, model-1(MÇ) den %2,08, model-3(YÇ) den ise %1,53 daha az kullanım gerektirmiştir. Kalıp metrajına bakıldığında da model-3(YÇ)'in, model-1(MÇ) den %0,18, model-5(KÇ) den ise %0,92 daha düşük olduğu görülmektedir. Sonuç olarak modellerin perde ve kolon alanlarına birbirine yakın olduğu için beton ve kalıp metrajları birbirine çok yakın çıkmıştır. Ancak farklı çekirdek konumundan dolayı donatı miktarlarında değişkenlik olmuştur. İnce donatı miktarlarında model-3(YÇ), model-1(MÇ) den %8,85, model-5(KÇ) den ise %5,1 daha düşük olduğu görülmektedir. Kalın donatı miktarları ise model-1(MÇ), model-3(YÇ) den %15,46, model-5(KÇ) den %13,3 daha düşük olduğu görülmektedir. Toplam donatı miktarları model-1(MÇ), model-3(YÇ) den %2,83, model-5(KÇ) den ise %4,38 daha düşük olduğu görülmektedir.

Metrajlar aracılığı ile elde edilen yapım maliyetleri ise Çizelge 6.1 'de ortaya konulmuştur. Çizelge 6.1 incelendiğinde beton, beton kalıp metrajları birbirine yakın olmakla beraber kalın donatı miktarında Model-1(MÇ) 'de en düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuç toplam maliyet miktarında da kendini göstermektedir. Model-1(MÇ), model-3(YÇ) 'ye göre yaklaşık %1,03 (1.571.368,8, model-5(KÇ) 'den yaklaşık % 1,4 (2.153.385,7 TL) oranında daha az maliyet ile üretilecektir.

Çizelge 6.1. Farklı çekirdek konumlarına sahip modellerin metraj ve yapım maliyetleri sonuçları

	Model-1(MÇ)	Model-3(YÇ)	Model-5(KÇ)
BETON METRAJ(m3)	27420,75 x 1903,51	27266,58 x 1903,51	26850,70 x 1903,51
BETON KALIP(m2)	101594,04 x 297,86	101416,7 x 297,86	102356,04 x 297,86
İNCE DONATI(t)	2022,05 x 19696,93	1843,27 x 19696,93	1942,93 x 19696,93
KALIN DONATI(t)	1532,62 x 19448,18	1812,29 x 19448,18	1767,6 x 19448,18
Toplam Maliyet (TL)	152,091,319,5	153,662,688,3	154,244,705,2
	%100	%101,03	%101,4

Sonrasında farklı çekirdek tiplerine sahip modellerin değişen taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları dikkate alınarak hesaplanan kiralanabilir kat alanları Çizelge 6.2. 'de ortaya konularak, kiralanabilir kat alanları üzerinden değişimlere ulaşılmıştır.

Çizelge 6.2. Farklı çekirdek konumlarına sahip modellerin kiralanabilir kat alanı

Kat	Toplam Kiralanabilir Kat Alanı		
	Model-1(MÇ)	Model-3(YÇ)	Model-5(KÇ)
	Merkezi Çekirdek	İki kenar çekirdek	Dört köşe çekirdek
Z-9	6231,6 m ²	6328,8 m ²	6458,4 m ²
10-19	6340,4 m ²	6417,2 m ²	6519,6 m ²
20-29	6496 m ²	6554,8 m ²	6633,2 m ²
30-39	6579,2 m ²	6622,4 m ²	6680 m ²
40-52	8644,48 m ²	8683,48 m ²	8735,48m ²
Toplam	34,291,68m ²	34,606,68 m ²	35,026,68 m ²
	% 100	% 100,92	% 102,14

Farklı çekirdek tiplerine sahip üç farklı model de kat alanı ve toplam çekirdek alanı, çekirdek perde oranı aynı olmasına rağmen farklı çekirdek tipolojisinin getirdiği düşey taşıyıcı sayısı ve alanlarında farklılıklar ortaya çıkmıştır. En fazla toplam kiralanabilir kat alanı model-5(KÇ) modelinde ortaya çıkmıştır. Dört köşe çekirdek planı, en iyi performans sergileyen merkezi çekirdeğe oranla toplam 735 m² fazla kiralanabilir alan kazanımı sağlamıştır.

Bu iki değerlendirme performansında en önemli etken düşey taşıyıcıların etkisini göstermektedir. Perde alanları aynı olsa da kolon sayısının azalması, özellikle donatı miktarlarının artmasına, böylece de yapım maliyetinin yüksek mertebede çıkmasına sebep olmuş olsa da kullanılabilir alanı da arttırmıştır. Bu noktada da tasarımcının önceliğini belirlemesi gerekmektedir. Eğer ki kullanım alanı arttırılmak istenirse maliyet yönünden fazla bütçe gerektireceği bilinmelidir.

6.3. Destek Sistem Kullanılan Farklı Çekirdek Konumlarının Yapısal Performans Bulgularına Etkisi

Destek sistemlerin kullanımı yüksek binalarda yapısal tasarımı etkilemektedir. Tasarımları ve analizleri tamamlanan 3 farklı çekirdek tipine ve destek sisteme (merkezi çekirdek+destek sistem, iki kenar çekirdek+destek sistem, dört köşe çekirdek+destek sistem) sahip ancak toplam kullanılan perde alanı aynı olan ve aynı mimari çözümlere sahip yüksek yapı modelleri analizleri sürecinde bazı noktalarda farklılıklar göstermiştir.

İlk etapta yapısal davranışının yorumlanması konusunda yönlere göre değerlendirmelerin yapılması ile taşıyıcı sistem konfigürasyonunda daha verimli sonuçlar elde edileceği görülmüştür. Aynı sınırlar içerisinde çözülen plan tiplerine göre yükseltelen yapıların;

X yönündeki davranışları incelendiğinde model-6(KÇ+DS)'in yani dört köşe çekirdek +destek sistem uygulamasının diğerlerinden daha düşük periyot değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Mertebe olarak karşılaştırıldığında model-6(KÇ+DS), model-2(MÇ+DS) %2,19 ve model-4(YÇ+DS) den %22,74, daha düşük periyot değerine sahiptir. Kat deplasman sonuçları incelendiğinde de bütün modellerde maksimum deplasmanın tepe noktalarında (51.kat) olduğu görülmektedir. Bu yöndeki model-2(MÇ+DS)'in, model-4(YÇ+DS) den %9,22, model-6(KÇ+DS) den %23,71 daha düşük kat deplasmanına sahip olduğu görülmektedir. Maksimum görelî kat ötelemesi değerlerinde de benzer şekilde merkezi çekirdek en optimum sonucu vermiştir. Model-2(MÇ+DS), model-4(YÇ+DS) den %20,4, model-6(KÇ+DS) den %25,07 daha düşük görelî kat ötelenmesine sahip olduğu görülmektedir.

Y yönündeki davranışları incelendiğinde en düşük periyot merkezi çekirdek+destek sistem modelinde çıkmıştır. Model-2(MÇ+DS), model-4(YÇ+DS) ile yakın değerlerde olup aradaki fark %5,87 düşmüştür. Model-6(KÇ+DS) ise %10,14 oranında daha yüksek periyot değerine sahiptir. Kat deplasman sonuçları incelendiğinde de bütün modellerde maksimum deplasmanın tepe noktalarında (51.kat) olduğu görülmektedir. Bu yöndeki model-4(YÇ+DS), model-2(MÇ+DS) den %9,89, model-6(KÇ+DS) den %55,28 daha düşük kat deplasmanına sahip olduğu görülmektedir. Maksimum görelî kat ötelemesinde model-4(YÇ+DS) en düşük değere sahip çıkmıştır. Mertebe olarak da model-2(MÇ+DS) den %10,66, model-6(KÇ+DS) den ise %49,40 daha düşük görelî kat ötelemesi yapmıştır.

Burulma yönünde ise en yüksek periyot model-6(KÇ+DS)'de oluşmuştur. Sebebi ise bu plan şemasında aynı alana sahip kullanılan perdeler dışındaki kolon alanlarının azalmasıdır.

Ele alınan üç yapısal performans karşılaştırmasında benzer sıralamaların elde edilmesi ve değişen azalma/artma düzeninin elde edilmesi tasarımcılara taşıyıcı sistem kararında ışık tutmaktadır. Öncelikle periyodu büyük yapıların tepe deplasmanlarının nispeten daha büyük olacağı, periyodu küçük olan yapıların tepe deplasmanlarının ise nispeten daha küçük

olacağını ispat edilmiştir. Göreli kat ötelenmelerin özellikle destek sistem kullanılan tesisat katlarında azaldığı görülmektedir. Bu durum destek sistemlerin beklenen davranışı sergilediğini göstermektedir. Buradan hareketle periyot, deplasman ve katlar arası göreli öteleme sonuçlarından merkezi çekirdek ve destek sistemlerin avantaj sağladığı anlaşılmaktadır. Ayrıca simetriden uzaklaştıkça atalet farklarının oluştuğu, böylece de artan mertebelerde değerlerin elde edileceği görülmüştür.

6.4. Destek Sistem Kullanılan Farklı Çekirdek Konumlarının Bina Yapım Maliyet ve Kiralanabilir Kat Alanı Bulgularına Etkisi

Bu bölümde modellerin ince donatı, kalın donatı, beton ve kalıp metrajı ile toplam üst yapı kaba inşaat maliyeti ortaya konulmuştur. Metraj sonuçları incelendiğinde Beton metrajı değeri model-6(KÇ+DS)'de en düşük olup, model-2(MÇ+DS) den %0,67, model-4(YÇ+DS) den ise %0,75 daha az kullanım gerektirmiştir. Beton metrajları birbirine çok yakın çıkmıştır. Kalıp metrajına bakıldığında da model-4(YÇ+DS)'in, model-2(MÇ+DS) den %0,27, model-6(KÇ+DS) den ise %0,79 daha düşük olduğu görülmektedir. Sonuç olarak modellerin perde ve kolon alanlarına birbirine yakın olduğu için beton ve kalıp metrajları birbirine çok yakın çıkmıştır. Ancak farklı çekirdek konumu ve destek sistem yerleşiminden dolayı donatı miktarlarında değişkenlik olmuştur. İnce donatı miktarlarında model-4(YÇ+DS), model-2(MÇ+DS) den %9,43, model-6(KÇ+DS) den ise %5 daha düşük olduğu görülmektedir. Kalın donatı miktarları ise model-2(MÇ+DS), model-4(YÇ+DS) den %21,92, model-6(KÇ+DS) den %23,22 daha düşük olduğu görülmektedir.

Metrajlar aracılığı ile elde edilen yapım maliyetleri ise Çizelge 6.3 'te ortaya konulmuştur. Çizelge 6.3 incelendiğinde beton, beton kalıp metrajları birbirine yakın olmakla beraber kalın donatı miktarında model-2(MÇ+DS) 'de en düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuç toplam maliyet miktarında da kendini göstermektedir. Model-2(MÇ+DS), model-4(YÇ+DS) 'ye göre yaklaşık %2,83 (4.051.884,2 TL), model-6(KÇ+DS) 'den yaklaşık %4,42 (6.322.242,7TL) oranında daha az maliyet ile üretilecektir.

Çizelge 6.3. Farklı çekirdek konumlarına ve destek sisteme sahip modellerin metraj ve yapım maliyetleri sonuçları

	Model-2(MÇ+DS)	Model-4(YÇ+DS)	Model-6(KÇ+DS)
BETON METRAJ(m3)	25276,19 x 1903,51	25293,48 x 1903,51	25106,12 x 1903,51
BETON KALIP(m2)	101088,89 x 297,86	100820,98 x 297,86	101.628,08 x 297,86
İNCE DONATI(t)	1912,3 x 19696,93	1731,97 x 19696,93	1823,11 x 19696,93
KALIN DONATI(t)	1400,96 x 19448,18	1794,35 x 19448,18	1824,76 x 19448,18
Toplam Maliyet (TL)	143,136,378,7	147,188,262,9	149,458,621,4
	% 100	% 102,83	% 104,42

Sonrasında farklı çekirdek tiplerine ve destek sisteme sahip modellerin değişen taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları dikkate alınarak hesaplanan kiralanabilir kat alanları Çizelge 6.4. 'te ortaya konularak, kiralanabilir kat alanları üzerinden değişimlere ulaşılmıştır.

Çizelge 6.4. Farklı çekirdek konumlarına ve destek sisteme sahip modellerin kiralanabilir kat alanı

Kat	Toplam Kiralanabilir Kat Alanı		
	Model-2(MÇ+DS)	Model-4(YÇ+DS)	Model-6 (KÇ+DS)
	Merkezi çekirdek ve destek sistem	İki kenar çekirdek ve destek sistem	Dört köşe çekirdek ve destek sistem
Z-9	6,424,8 m2	6,450,4 m2	6,492,3 m2
10-19	6,494,4 m2	6,495,3 m2	6,576,4 m2
20-29	6,537,6 m2	6,576,1 m2	6,628,3 m2
30-39	6,668,8 m2	6,703,7 m2	6,716,4 m2
40-52	8,758,36 m2	8,753,68 m2	8,756,15 m2
Toplam	34,883,96 m2	34,979,18 m2	35,169,55 m2
	% 100	% 100,27	% 100,82

Farklı çekirdek tiplerine ve destek sisteme sahip üç farklı model de kat alanı ve toplam çekirdek alanı, çekirdek perde oranı aynı olmasına rağmen farklı çekirdek tipolojisinin ve destek sistemlerin getirdiği düşey taşıyıcı sayısı ve alanlarında farklılıklar ortaya çıkmıştır. En fazla toplam kiralanabilir kat alanı model-6(KÇ+DS) modelinde ortaya çıkmıştır. Dört köşe çekirdek planı, en iyi performans sergileyen merkezi çekirdeğe oranla toplam 286 m2 fazla kiralanabilir alan kazanımı sağlamıştır.

Bu iki değerlendirme performansında en önemli etken düşey taşıyıcıların etkisini göstermektedir. Perde alanları aynı olsa da kolon sayısının azalması, özellikle donatı miktarlarının artmasına, böylece de yapım maliyetinin yüksek mertebede çıkmasına sebep olmuş olsa da kullanılabilir alanı da arttırmıştır. Bu noktada da tasarımcının önceliğini

belirlemesi gerekmektedir. Eğer ki kullanım alanı arttırılmak istenirse maliyet yönünden fazla bütçe gerektireceği bilinmelidir.

6.5.Destek Sistemlerin Eklenmesinin Yapısal Performans Bakımından Karşılaştırılması

Bu başlık altında şu ana kadar el alınan bağımsız değişkenlerden destek sistem olup olmama durumu dikkate alınarak, benzer konular için değerlendirilmiştir. Mevcut verilerin birbirleri ile eşleştirilmesi ile aynı plan çözümüne ve yapı yüksekliğine sahip bir yapıda destek sistem kullanımının nasıl bir değişim sağladığı görülmektedir.

Önceki bölümlerde farklı çekirdek ve destek sistem kullanımına göre yapıların periyot değerleri Şekil 5.12 ve Şekil 5.17’de verilmiştir. Bu veriler ışığında;

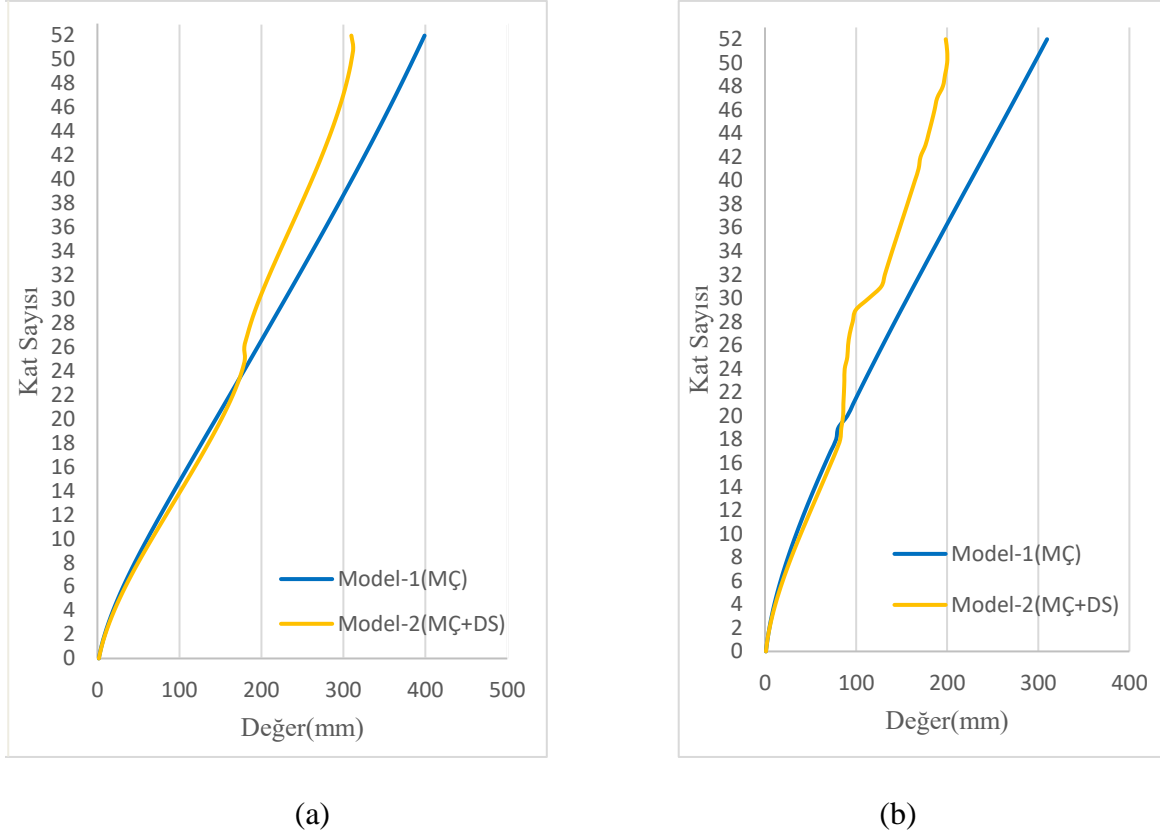
Merkezi çekirdek uygulamasında destek sistem eklenmesi X yönündeki periyot değerini azaltmıştır. Benzer performans iyileştirmesi Y yönü ve burulma hareketinde de gözlemlenmektedir. Bu noktada destek sistem eklenmesi ile merkezi çekirdekteki performans iyileştirmelerinin %2,37 ile %6,31 arasında gerçekleştiğini göstermektedir.

İki kenar çekirdekte destek sistem eklenmesi ile periyot değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Özellikle x yönü ve burulma davranışında %9,59 ve %5,8 mertebelerinde bir iyileşme söz konusudur. Ancak taşıyıcı sistemin zayıfladığı y yönünde destek sistemler ile tersine yönde bir artış olduğu görülmektedir. %1,67 kadar küçük bir mertebede bir artış olsa da olumlu katkı sağlayamadığının altı çizilmelidir.

Dört köşe çekirdek planlamasında da tüm yönlerde periyot değerlerini azaltarak yapının davranışına katkı sunmuştur. Dört köşedeki çekirdek ile destek sistem uygulandığında çevresel kafes gibi davranış sergilendiği göz önüne alınırsa katkısının özellikle burulma bakımından daha fazla olduğu düşünülebilir.

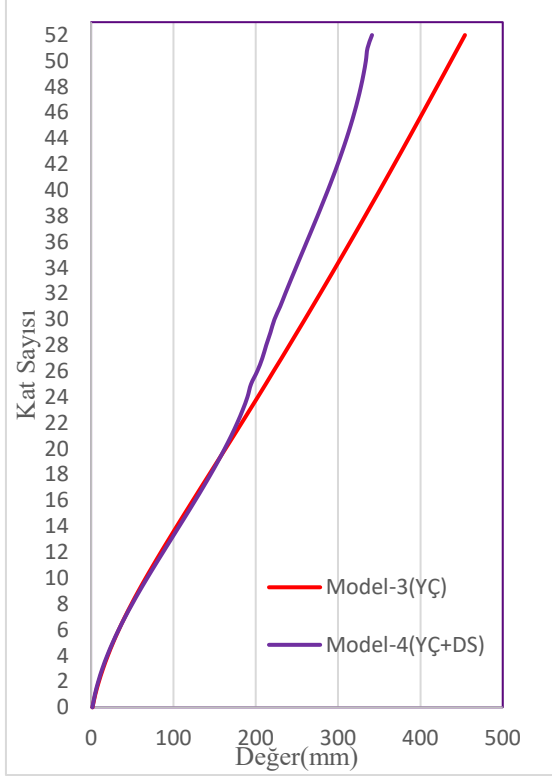
Ayrıca aynı form, plan boyutları ve planlama kararları ile elde edilen tüm modellerde periyot değerlerinde en düşük periyot değerinin model-2(MÇ+DS)’de elde edilmesi merkezi çekirdek ile destek sistemin uyumlu davranışı ortaya çıkmaktadır.

Kat deplasman sonuçlarının karşılaştırılması için ise aynı çekirdek çözümleri için destek sistem eklenme durumunu gösterecek grafikler çizilmiştir. Şekil 6.1.'de merkezi çekirdek, Şekil 6.2.'de iki kenar çekirdek ve Şekil 6.3.'de dört köşe çekirdek konumlarına ait veriler bulunmaktadır.

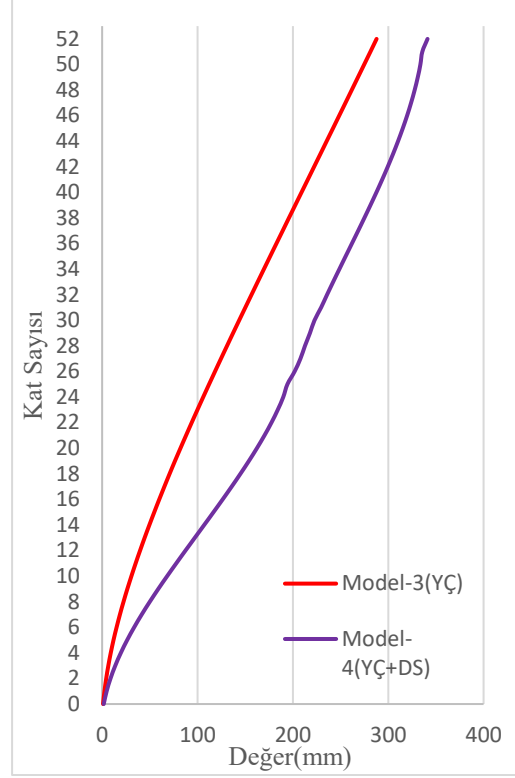


Şekil 6.1. Merkezi Çekirdekte destek sistem eklenme durumundaki kat deplasman değişimi; a) x yönü, b)y yönü

Modeller içerisinde x yönünde en düşük deplasman değerleri model-2(MÇ+DS) de tepe noktasında görülmektedir. Model-2(MÇ+DS), destek systemsiz merkezi çözüme göre tepe noktasında %22,39 oranında daha düşük deplasman yapmaktadır. Tepe noktasındaki deplasmanlara yönelik benzer iyileştirme destek sisteme sahip diğer çekirdek konumlarında da görülmektedir (Şekil 6.1.).

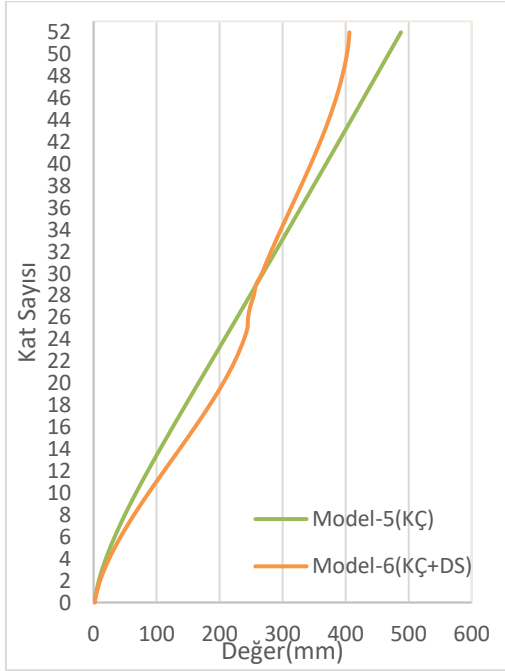


(a)

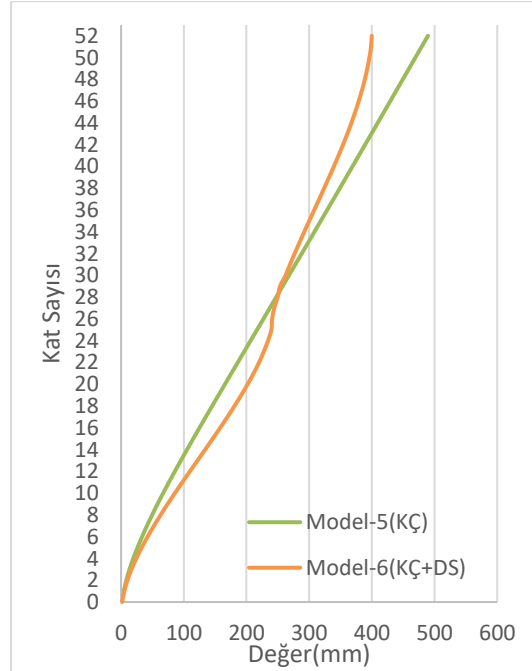


(b)

Şekil 6.2. İki kenar çekirdekte destek sistem eklenme durumundaki kat deplasman değişimi;
a) x yönü, b) y yönü



(a)



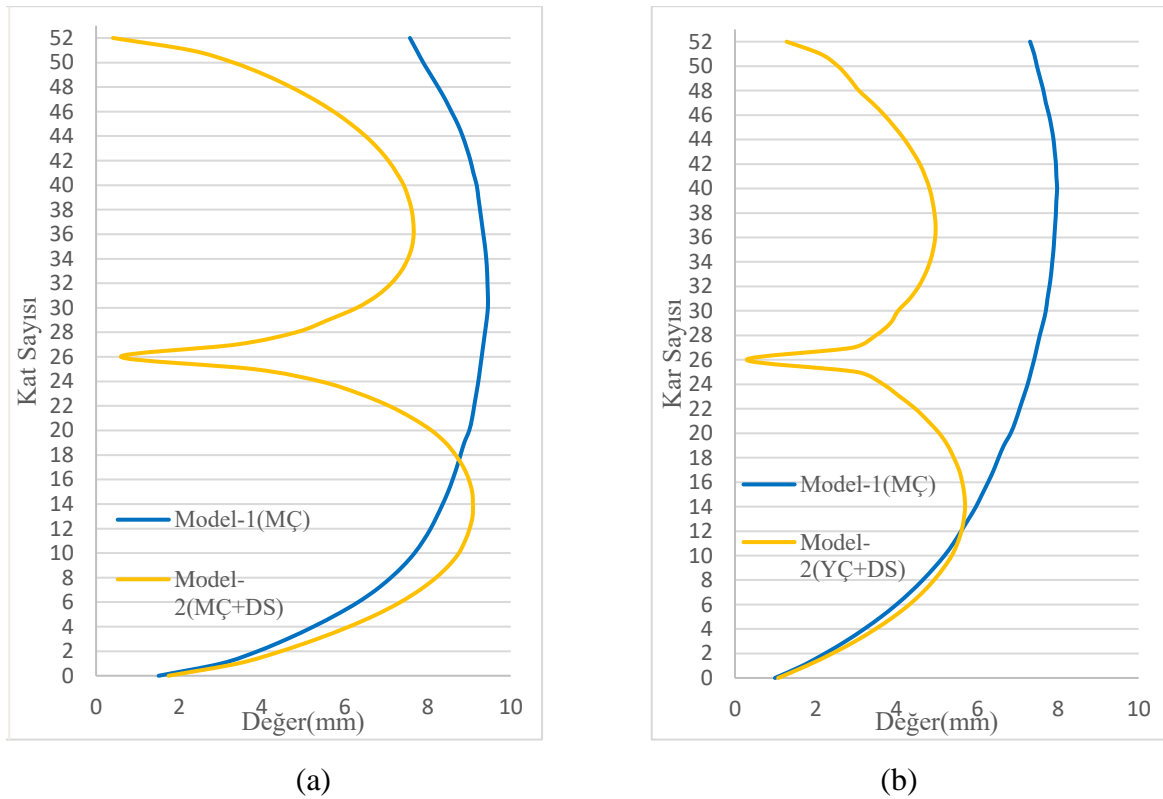
(b)

Şekil 6.3. Dört köşe çekirdek destek sistem eklenme durumundaki kat deplasman değişimi;
a) x yönü, b) y yönü

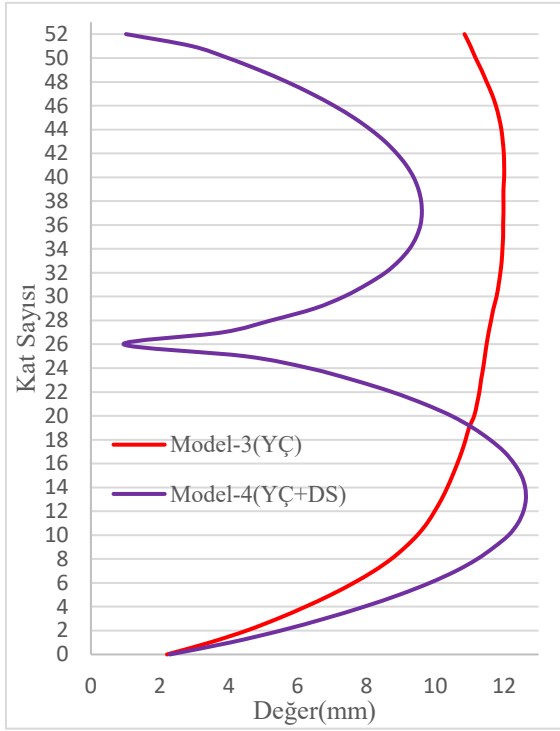
Kat deplasman sonuçları incelendiğinde x yönündeki iyileştirme mertebesi iki kenar çekirdekteki model için %24,86, dört köşe çekirdekteki uygulamada ise %16,79 oranlarında gerçekleşmiştir. Bu karşılaştırma y yönünde yapıldığında ise destek sistem ile merkezi çekirdekteki deplasman azalma oranı %35,92, iki kenar çekirdekteki oran %37,88 ve dört köşedeki oran %18,32 olmuştur.

Tüm modelleri bir arada düşündüğümüzde ise en düşük deplasman yapan Model-2(MÇ+DS), x yönünde olan en fazla deplasmana sahip model-5(KÇ)'ten %36,05 daha iyi davranış göstermektedir. Y yönünde ise en düşük deplasman yapan model-4(YÇ+DS), bu önde de en fazla deplasman yapan model-5(KÇ) den %63,35 oranında az kat deplasmanına sahip olduğu görülmektedir.

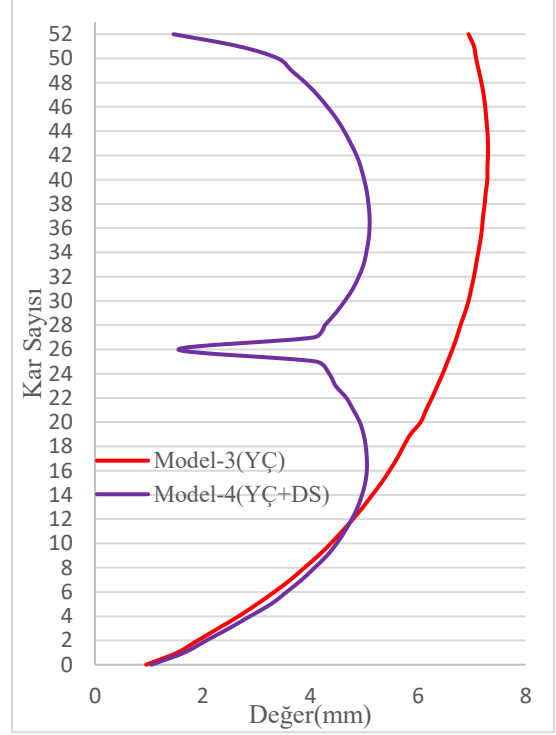
Son adımda destek sistem eklenmesi ile modellerin x ve y yönü görelî kat ötelenmesi sonuçları ortaya konulmuştur. Şekil 6.4'te merkezi çekirdek, Şekil 6.5.'de iki kenar çekirdek ve Şekil 6.6.'da dört köşe çekirdek konumlarına ait veriler bulunmaktadır.



Şekil 6.4. Merkezi çekirdekli yapıda destek sistem kullanımı ile görelî kat öteleme değişimi; a) x yönü, b) y yönü

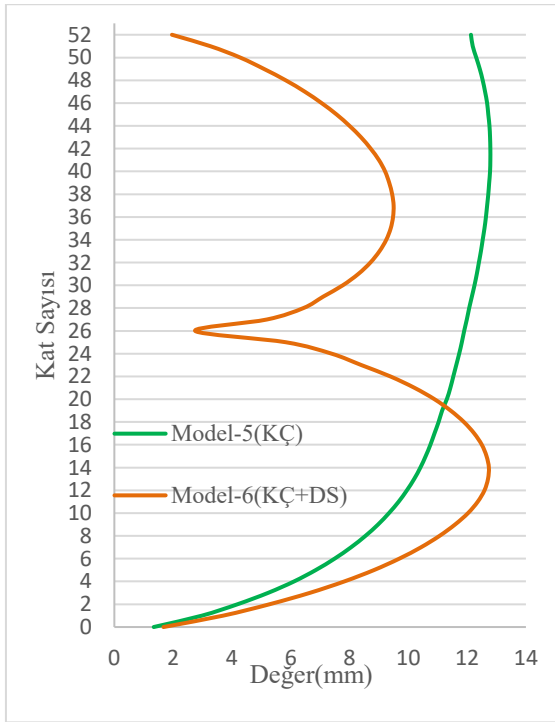


(a)

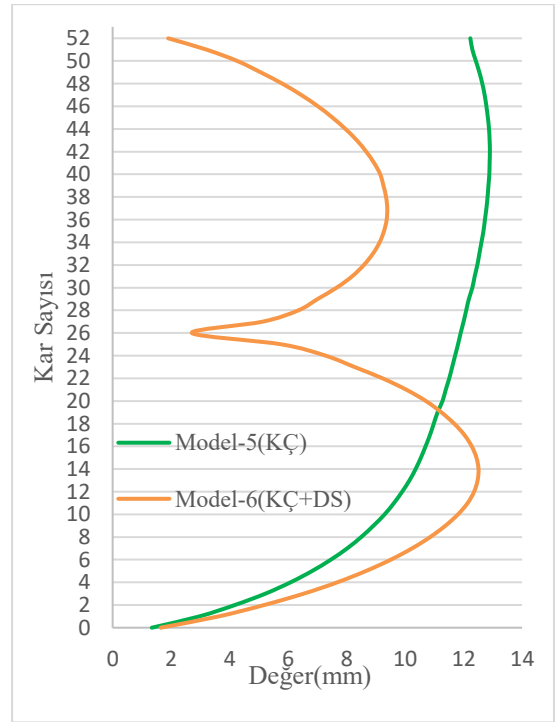


(b)

Şekil 6.5. İki kenar çekirdekli yapıda destek sistem kullanımı ile görece kat öteleme değişimi;
a) x yönü, b) y yönü



(a)



(b)

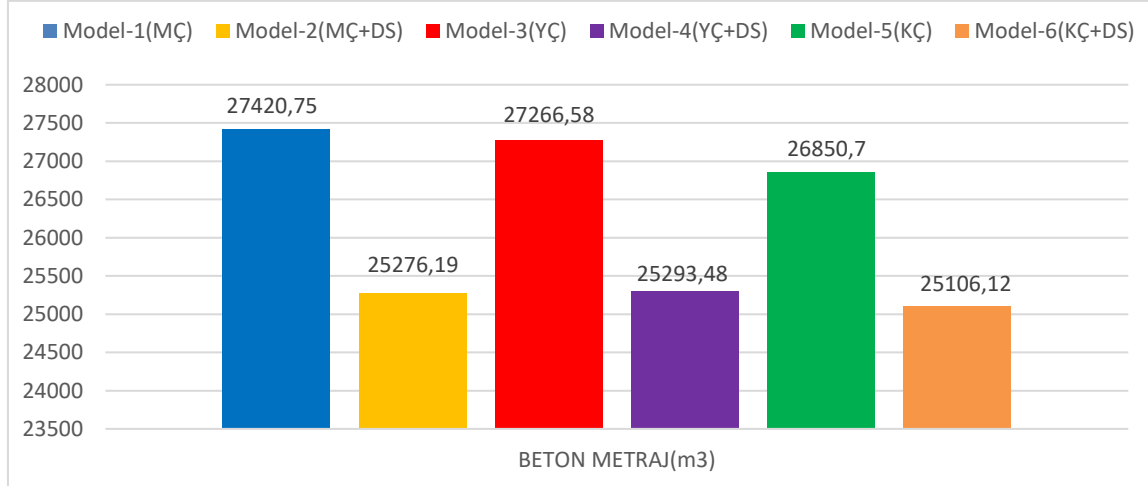
Şekil 6.6. Dört köşe çekirdekli yapıda destek sistem kullanımı ile görece kat öteleme değişimi;
a) x yönü, b) y yönü

Aynı çekirdek konumuna sahip yapılar karşılaştırıldığında, tüm yönlerdeki görelî kat ötelenmelerin özellikle destek sistem kullanılan tesisat katlarında azaldığı görülmektedir. Bu durum destek sistemlerin beklenen davranışı sergilediğini göstermektedir. X yönünde çekirdek konumları baz alınarak maksimum görelî kat öteleme azalma oranı incelendiğinde Merkezi çekirdekte %19,05, iki kenar çekirdekte %19,78 ve dört köşe çekirdekte %19,67 oranlarında gerçekleşmiştir. Y yönünde maksimum görelî kat öteleme azalma oranı aynı sıra ile ele alındığında %28,82, %30,32 ve %22,17 oranları elde edilmiştir.

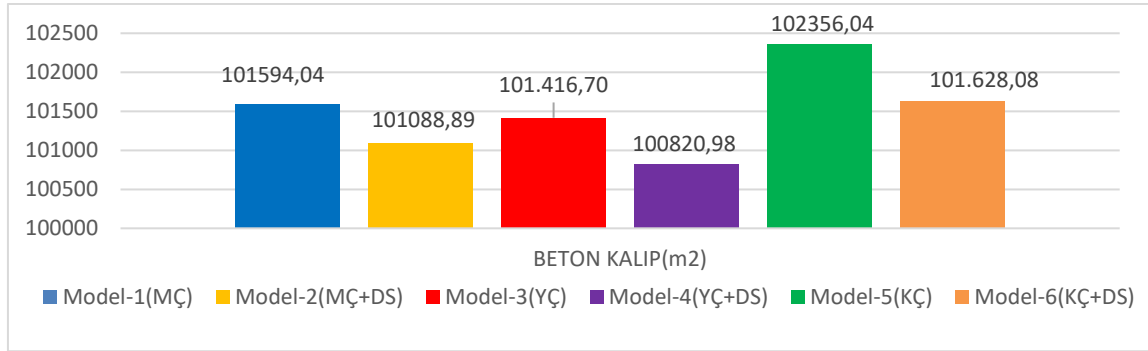
X yönünde Tüm modeller aynı anda değerlendirildiğinde en iyi sonuç veren model-2(MÇ+DS) en kötü sonuç veren model-5(KÇ) den %28,93 daha düşük görelî kat ötelenmesine sahip olduğu görülmektedir. Y yönünde ise model-4(YÇ+DS) en kötü sonuç veren model-5(KÇ) den ise %60,47 daha düşük görelî kat ötelenmesine sahip olduğu görülmektedir. Bu kıyaslama ile tasarımcıların alacakları karar ile yapıların devrilmesinde önem teşkil eden görelî kat ötelenmelerin destek sistemli modeller ile ne kadar ciddi oranda iyileştirildiği görülmektedir.

6.6. Destek Sistemlerin Eklenmesinin Bina Yapım Maliyet ve Kiralanabilir Kat Alanı Bulguları

İki değişken ile elde edilen altı modelin yapısal analiz değerlendirmeleri sonrasında yapım maliyeti karşılaştırmaları yapılmıştır. Toplam yapım maliyetine geçmeden metraj kalemlerine göre bir değerlendirme yapılarak da maliyet içerisindeki dağılımlara değinilmiştir. Modeller içerisinde ilk olarak beton metrajı ele alınacak olursa (Şekil 6.7.), en az kullanımın 25276,19 m³ ile model-2 (MÇ+DS) de olduğu görülmektedir. Merkezi konumlandırma için destek sistem uygulanmayan modelde beton metrajı 27420,75 m³ olup, destek sistem eklenmesi ile %7,82 oranında azalma yaşanmıştır. Bu azalış iki kenar çekirdek ve dört köşe çekirdekte de gerçekleşmiş olup, değerler sırasıyla %7,24 ve %6,5 şeklindedir. İkili değerlendirmelerde destek sistemlerin eklenmesinin kalıp metrajına etkisi incelendiğinde ise küçük mertebelerde olsa da olumlu katkı sağlamıştır (Şekil 6.8).



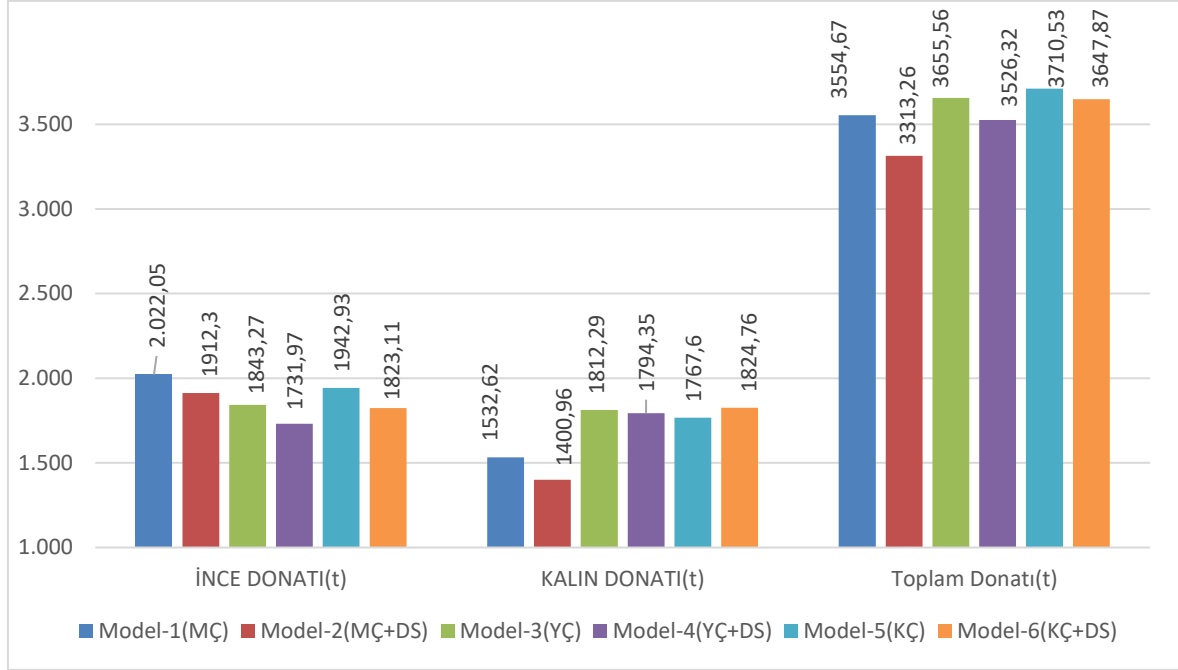
Şekil 6.7. Tüm yapılara ait beton metrajı sonuçları



Şekil 6.8. Tüm yapılara ait kalıp metrajı sonuçları

Ana modellerde daha büyük kesitlere sahip kolon ve perde duvarlar olduğu beton ve kalıp metrajlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Destek sistem eklenen modellerde ise ana modellere göre destek sistemlerin getirdiği avantajlar ile kolon ve perde duvar kesitleri azaldığı için daha az beton ve kalıp metrajı olduğu görülmektedir.

Farklı çekirdek konumundan dolayı donatı miktarlarında ise değişkenlik mevcuttur. Modeller içerisinde donatı maliyetleri tek grafikte toplandığında Şekil 6.9 elde edilmektedir. İlk etapta toplam donatı metrajına bakıldığında en düşük kullanımın 3313,26 t ile model-2(MÇ+DS) de olduğu görülmektedir. Bu durum destek sistemli merkezi çekirdek ile kıyaslandığında %6,79 oranında bir azalış görülmektedir. Diğer konumlandırılmış çekirdekler için de destek sistemli modellerin tamamı, ana modellere göre daha düşük toplam donatı miktarına sahiptir.



Şekil 6.9. Tüm yapılara ait donatı metrajı sonuçları

Bu noktada dikkat çeken bir nokta ise mevcut donatı içerisindeki ince donatı kullanımını kalın donatıya oranlamasıdır. Kalın donatı ana taşıyıcı elemanlarda kullanılmakta olup yapısal performans noktasında önemli bir noktadır. Modeller içerisinde merkezi çekirdekli yapılarda kalın donatı kullanım oranı da azdır. Hatta destek sistem eklenmesi noktasında kalın donatı ihtiyacı daha da azalmıştır. Metrajlardan referans ile elde edilen yapım maliyeti ise Çizelge 6.5'te ortaya konulmuştur.

Çizelge 6.5. Farklı çekirdek tiplerine ve destek sisteme sahip modellerin metraj ve yapım maliyetleri sonuçları

	Model-1(MÇ)	Model-2(MÇ+DS)	Model-3(YÇ)	Model-4(YÇ+DS)	Model-5(KÇ)	Model-6(KÇ+DS)
BETON METRAJ(m ³)	27420,75	25276,19	27266,58	25293,48	26850,70	25106,12
BETON KALIP(m ²)	101594,04	101088,89	101416,7	100820,98	102356,04	101.628,08
İNCE DONATI(t)	2022,05	1912,3	1843,27	1731,97	1942,93	1823,11
KALIN DONATI(t)	1532,62	1400,96	1812,29	1794,35	1767,6	1824,76
Toplam Maliyet (TL)	152,091,319,5	143,136,378,7	153,662,688,3	147,188,262,9	154,244,705,2	149,458,621,4
Fark (%)	%5,89		%4,21		%3,1	

Modeller içerisinde model-2(MÇ+DS) toplam yapım maliyeti olarak en uygun maliyetli çıkmıştır. Model-2(MÇ+DS), Destek sistem uygulanmamış merkezi çekirdeğe oranla %5,89 oranında ekonomik kazanç sağlanmaktadır. Bu kazanç iki kenar çekirdek ve dört köşe çekirdekte de gerçekleşmiş olup, değerler sırasıyla %4,21 ve %3,1 şeklindedir.

Bu verilerden çıkarılabilecek diğer bir yorum ise; en düşük iki maliyete sahip yapı arasında daha %3 mertebelerinde fark olmasıdır. Model-2(MÇ+DS) kendisine en yakın model-4(YÇ+DS) 'ye göre yaklaşık %2,83 oranında (4.051.884,2 TL) düşük maliyet sağlarken bu fark en yüksek maliyetli form olan model-5(KÇ) ile %7,8 (11.108.326,5 TL) mertebesine yükselmektedir.

Sonuç olarak destek sistemli modeller, destek sistemin getirdiği yapısal avantajlar ve kesitlerin küçültülebilmesi yönündeki katkı durum toplam yapım maliyetinde de kendini göstermektedir. Yapılan hesaplamalar sonucu ortaya konulan maliyet tasarrufu, günümüzdeki mimari eğilimler göz önüne alındığında azımsanamayacak bir kaynak tasarrufu sağlanmasına katkıda bulunacaktır.

Son olarak da 6 farklı modellerin kiralanabilir kat alanları çizelge 6.6.' da ortaya konularak, kiralanabilir kat alanları üzerinden sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 6.6. Farklı çekirdek tiplerine ve destek sisteme sahip modellerin kiralanabilir kat alanı

Kat	Toplam Kiralanabilir Kat Alanı					
	Model-1(MÇ)	Model-2(MÇ+DS)	Model-3(YÇ)	Model-4(YÇ+DS)	Model-5(KÇ)	Model-6(KÇ+DS)
Z-9	6231,6 m2	6424,8 m2	6328,8 m2	6450,4 m2	6458,4 m2	6492,3 m2
10-19	6340,4 m2	6494,4 m2	6417,2 m2	6495,3 m2	6519,6 m2	6576,4 m2
20-29	6496 m2	6537,6 m2	6554,8 m2	6576,1 m2	6633,2 m2	6628,3 m2
30-39	6579,2 m2	6668,8 m2	6622,4 m2	6703,7 m2	6680 m2	6716,4 m2
40-52	8644,48 m2	8758,36 m2	8683,48 m2	8753,68 m2	8735,48m2	8756,15 m2
Toplam	34,291,68 m2	34,883,96m2	34,606,68m2	34,979,18m2	35,026,68m2	35,169,55 m2

Modeller farklı çekirdek tipolojisinin getirdiği düşey taşıyıcı sayısı ve alanlarında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak da kiralanabilir kat alanında farklılıklar ortaya çıkmıştır. En fazla toplam kiralanabilir kat alanı model-6(KÇ+DS)de ortaya çıkmıştır. Model-6(KÇ+DS) destek sistemsiz model-1(MÇ) den 877,87 m2 fazladan kiralanabilir alan

kazancımı olmuştur. En yüksek iki alan arasındaki farka da bakmak gerekirse model-6(KÇ+DS) ile en yakın diğer model-5(KÇ) arasında dahi 142,87 m2 alan kazanımı olmuştur.

7.DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Kent merkezlerinde yapılaşma alanları azalması ve arazi yetersizliği problemlerine çözüm olarak karşımıza çıkan yüksek yapılar zaman içerisinde teknolojinin gelişmesi ile daha yükseklere ulaşma arzusuyla güç ve itibar göstergesi haline dönüşmüştür. Yükseklik arttıkça bu yükselme talebini karşılamaya yönelik yeni çalışmalar ortaya koyulmuştur.

Yapıların yüksekliğinin artması yatay yüklere dair tasarımları kısıtlayan önemli bir etken olmuştur. Yüksek yapı tasarımında yapıların taşıyıcı sistemi belirlenirken gerek depreme karşı dayanıklılık gerekse rüzgar konforu ilk olarak göz önünde bulundurulur. Bunun sonucunda yapıda yükseklik arttıkça geleneksel taşıyıcı sistemler iş göremez hale gelmiş ve malzemenin de gelişmesiyle bazı güncel taşıyıcı sistemler ortaya çıkmıştır. Bu sistemler içerisinde ise destek sistemler (outrigger) şu anda dünyanın hatta Türkiye'nin en yüksek yapılarında uygulanan bir taşıyıcı sistem çözümüdür.

Bu çalışma kapsamında, yüksek yapılarda taşıyıcı sistem bağlamında destek sistemlerin kullanımını odak noktası alınmıştır. Bina üretiminde en hakim role sahip olan mimarlarda taşıyıcı sistem türü olan destek sistemlerin kullanımına yönelik bilinç oluşturmak amaçlanmıştır. Çekirdek konumunun değişmesi ile taşıyıcı sistem tasarımı arasındaki ilişkinin irdelenmesi ve destek sistemlerin Türkiye'de maliyete olan etkisi incelenmesi amaçlanmıştır.

Belirlenen hedefler doğrultusunda öncelikle literatür taraması yapılmıştır. Güncel taşıyıcı sistemler, destek sistemler, servis çekirdeği ve çekirdek tipolojisi, hakkında bilgiler derlenmiş ve destek sistemlerin uygulandığı, dünyadan ve Türkiye'den 10 adet örnek yüksek yapılar seçilmiş, taşıyıcı sistem tipi ve çekirdek konumuna göre değerlendirilmiştir.

Çalışmada bir örnek yapı üzerinde çekirdek konumları değiştirilerek destek sistem uygulanmış çözümler oluşturulmuştur. 6 farklı taşıyıcı sistemdeki modellerin İdecad 10 programı ile sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal çözümlenmeleri yapılmıştır. Bu bölümde, oluşturulan modeller, Idecad10 programı ile analiz edilmiştir. Idecad yazılımında modeli oluşturulan binanın statik ve betonarme analizleri detaylı şekilde yapılmıştır. Statik analiz programına modellerin bulunacağı konum bilgisi, beton sınıfı, taşıyıcı elemanların boyutları,

alınacak yükler ve gerekli deprem parametreleri verileri girilmiştir. Bu veriler ışığında TS500 ve 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ne göre analiz sonuçları elde edilmiştir.

6 farklı model (merkezi çekirdek, merkezi çekirdek +destek sistem, iki kenar çekirdek, iki kenar çekirdek+ destek sistem, dört köşe çekirdek, dört köşe çekirdek + destek sistem) aracılığıyla yapılan yapısal analizlerden elde edilen veriler tasnif edilmiş ve bu veriler, yapım maliyeti ve kiralanabilir alan verileri ile kıyaslanmıştır. Sonuçta bütünsel bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme aracılığıyla elde edilen çıkarımlar ise aşağıda sunulmuştur.

Bu veriler tasarımcılara taşıyıcı sistem elemanlarının yerleştirilmesinin ve bina ataletinin önemini göstermektedir. Kare bir formda taşıyıcıların eksenlere göre ataleti değiştirecek şekilde konumlandırılması ile yönler arasında davranış farkları ortaya çıkacaktır.

Bu iki değerlendirme performansında en önemli etken düşey taşıyıcıların etkisini göstermektedir. Perde alanları aynı olsa da kolon sayısının azalması, özellikle donatı miktarlarının artmasına, böylece de yapım maliyetinin yüksek mertebede çıkmasına sebep olmuş olsa da kullanılabilir alanı da arttırmıştır. Bu noktada da tasarımcının önceliğini belirlemesi gerekmektedir. Kullanım alanı arttırılmak istenirse maliyet yönünden fazla bütçe gerektireceği bilinmelidir.

Bu kıyaslama ile tasarımcıların alacakları karar ile yapıların devrilmesinde önem teşkil eden görelî kat ötelenmelerin destek sistemli modeller ile ne kadar ciddi oranda iyileştirildiği görülmektedir.

Aynı çekirdek konumuna sahip yapılarda destek sistem kullanımı y yönündeki görelî kat ötelenmelerini özellikle tesisat katlarında azaldığı görülmektedir. Modeller içerisinde y yönünde görelî kat ötelenmesi x yönü ile benzer olarak en fazla model-5(KÇ) de olduğu görülmektedir.

Ana modellerde daha büyük kesitlere sahip kolon ve perde duvarlar olduğu için beton ve kalıp metrajlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Destek sistem eklenen modellerde ise ana modellere göre destek sistemin getirdiği avantajlar ile kolon ve perde duvar kesitleri azaldığı için daha az beton ve kalıp metrajı olduğu görülmektedir.

Bu noktada dikkat çeken bir nokta ise mevcut donatı içerisindeki ince donatı kullanımını kalın donatıya oranlamasıdır. Kalın donatı ana taşıyıcı elemanlarda kullanılmakta olup yapısal performans noktasında önemli bir noktadır. Modeller içerisinde merkezi çekirdekli yapılarda kalın donatı kullanım oranı da azdır. Hatta destek sistem eklenmesi noktasında kalın donatı ihtiyacı daha da azalmıştır.

Sonuç olarak destek sistemli modeller, destek sistemin getirdiği yapısal avantajlar ve kesitlerin küçültülebilmesi yönündeki katkı durum toplam yapım maliyetinde de kendini göstermektedir. Yapılan hesaplamalar sonucu ortaya konulan maliyet tasarrufu, günümüzdeki mimari eğilimler göz önüne alındığında azımsanamayacak bir kaynak tasarrufu sağlanmasına katkıda bulunacaktır.

Modal analiz sonuçlarına göre 6 farklı model kıyaslandığında x yönünde en düşük periyot değeri dört köşe çekirdek + destek sistem modelinde, y ve burulma yönünde merkezi çekirdek + destek sistem, en düşük periyot değerine sahiptir. Modal analiz sonuçlarına göre en verimli model merkezi çekirdek + destek sistem olduğu görülmüştür.

Kat deplasman sonuçları incelendiğinde x yönünde en düşük kat deplasmanı merkezi çekirdek + destek sistem de olduğu görülmüştür. Y yönünde ise iki kenar çekirdek + destek sistem de olduğu görülmüştür. Destek sistemli modellerin kat deplasman değerleri destek sistem bulunmayan modellere göre daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca destek sistemli modellerde destek sistemin etkisiyle modellerin tepe noktasında oluşan deplasmanın azaldığı görülmüştür.

Görelî kat ötelenmesi sonuçları incelendiğinde destek sistemli modellerde özellikle destek sistemlerin yerleştirildiği tesisat katlarında görelî kat ötelenmelerin ciddi azalma olduğu görülmektedir. X yönünde görelî kat ötelenmedeki en fazla iyileşme durumu merkezi çekirdek + destek sistem de olduğu görülmüştür. Y yönünde ise iki kenar çekirdek + destek sistem de olduğu görülmüştür.

Toplam yapım maliyetine bakıldığında ise modeller içerisinde merkezi çekirdek + destek sistem modeli en düşük maliyetli model olduğu görülmüştür. Merkezi çekirdek + destek sistem modeli kendisine en yakın maliyetteki iki kenar çekirdek + destek sistem modeline göre yaklaşık %2,83 (4.051.884,2 TL), en uzak maliyetteki dört köşe çekirdek modeline göre

yaklaşık %7,8 (11.108.326,5 TL) daha düşük maliyete sahiptir. Sonuç olarak destek sistemli modeller, destek sistemin getirdiği yapısal avantajlar ve kesitlerin küçültülebilmesi yönündeki katkı durum toplam yapım maliyetinde de kendini göstermektedir. Yapılan hesaplamalar sonucu ortaya konulan maliyet tasarrufu, günümüzdeki mimari eğilimler göz önüne alındığında azımsanamayacak bir kaynak tasarrufu sağlanmasına katkıda bulunacaktır.

Modeller her ne kadar çekirdek alanı sabit olsa da farklı çekirdek tipolojisinin getirdiği düzey taşıyıcı sayısı ve alanlarında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak da kiralanabilir kat alanında modeller arasında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Toplam kiralanabilir kat alanına bakıldığında en fazla toplam kiralanabilir kat alanı dört köşe çekirdek + destek sistem modelinde ortaya çıkmıştır. Dört köşe çekirdek + destek sistem modeli, en yakın değerdeki dört köşe çekirdek modeline oranla toplam fazladan 142,87 m² kiralanabilir alan kazanımı olmuştur. Merkezi çekirdek modelinde den ise 877,87 m² fazladan kiralanabilir alan kazanımı olmuştur.

Her ne kadar kiralanabilir alan olarak merkezi çekirdek+destek sistem modeli diğer modellere göre daha düşük değerde kalsa da taşıyıcı sistem etkisiyle kazandırdığı yapısal avantajlar, toplam yapım maliyetinde diğerlerine göre daha düşük maliyete sahip olması ve çekirdeğin merkezde konumlanmasının getirdiği özgür cephe tasarımı ve cephe manzara avantajı ile en verimli model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen bu verilerin analizi sonucu en uygun model ortaya konmuş, maliyet-kiralanabilir alan ve yapısal analiz sonuçları ortaya konularak ülkemizde yüksek yapılarda çekirdek tipolojisinin ve destek sistem kullanımının verimliliği tartışılmıştır. Ayrıca bina üretiminde en hakim role sahip olan mimarlarda çekirdek konumlanması ve taşıyıcı sistem türü olan destek sistemlerin kullanımına yönelik bilinç oluşturulmuştur. Ulaşılan sonuçlar, gelecek çalışmalara ışık tutması ve temel oluşturması açısından önemli görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdelrazaq, A., Baker, W. F., Chung, K. R., Case, P., Pawlikowski, J., Wang, I., Yom, K.S. (2004, 10-13 Ekim). *Integration of design and construction of the tallest building in korea, tower palace iii, Seoul, Korea*. CTBUH 2004 Seoul Conference, Seul, 4-6.
- Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı. (2018). Türkiye bina deprem yönetmeliği (TBDY). AFAD. Ankara, 1-395.
- Alanazi, A. (2019). *The Use of Core and Outrigger Systems for High-Rise Steel Structures*, Yüksek Lisans Tezi, Dayton Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Ohio, 3-13.
- Ali, M., Moon, K. S. (2007). Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects. *Architectural Science Review*, 50(3), 205-212.
- Aslan, F., (2019). *Yüksek Yapılarda Farklı Tip Dış Destek Kullanımının Yapı Performansına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 23-62.
- Atasoy, N. (2014). *Yüksek Yapılarda Güncel Tasarım Yaklaşımları*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-30.
- Atımtay, E. (2001). *Çerçevesiz ve perdeli betonarme sistemlerin tasarımı: temel kavramlar ve hesap yöntemleri*. (2.Baskı). Ankara: ODTÜ Yayınları,10.
- Besjak, C., McElhatten, B. J., Biswas, P. (2009). Performance-based evaluation for the 450m nanjing greenland financial center main tower. *CTBUH Journal*, 2, 36-46.
- Calayır, Y. ve Dedeoğlu, İ. Ö., (2017,11-13 Ekim). *Outrigger kullanılan betonarme yüksek yapıların deprem etkisindeki davranışı*. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1-9.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). İnşaat birim fiyatlarına esas işçilik -araç ve gereç rayiç listeleri. Ankara, 1-151.
- Crilly, C., Tamaro, P.E., Stark, R. (2018, Ocak). *Virtual outriggers and creative engineering reaching new heights in mexico*. Structure Magazine, Monterrey, 33-35.
- Davids, D., Wongso, J., Popovic, D., McFarlane, A. (2008). *A postcard from dubai design and construction of some of the tallest buildings in the world*. CTBUH 8th World Congress Dubai, Dubai, 1-8.
- Dean, B., Martin, O., Emery, D., Chancellor, P. (2001). *Tall building design innovations in australia*, CTBUH 6th World Congress Melbourne, Melbourne, 393-402.
- Eom, T.S., Murmu, H., Yi, W. (2019). Behavior and design of distributed belt walls as virtual outriggers for concrete high-rise buildings. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 13, 1-13.

- Fakıoğlu, B. ve Ay, B.Ö., (2019). Evaluation of the effects of service core reduction on tall building structures. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 603, 1-9.
- Fidan, S. ve Güven, S., (2019). Yüksek yapılarda cephelerin taşıyıcı sistemle olan ilişkisinin incelenmesi ve izmir yüksek yapıları üzerine bir araştırma. *Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 38(2), 15-25.
- Fu, F. (2018). Shear wall, core, outrigger, belt truss, and buttress core system for tall buildings. *Design and Analysis of Tall and Complex Structures*, 1, 81-107.
- Gore, P. N., Mhatre, M. P. (2018). Outrigger structural system – a review and comparison of the structural system. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 64(1), 31-35.
- Gözütok, B., (2011). *Betonarme Yüksek Bir Yapının Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-44.
- Grondzik, W. T., Kwok, A. G., Stein, B., Reynolds, J. S., (2000). *Mechanical and electrical equipment for buildings*. (1). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 3-26.
- Günel, M. H. ve Ilgın, H. E. (2014). *Yüksek binalar taşıyıcı sistem ve aerodinamik form*. (2). Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği, 55-76.
- Güneş, İ. S., Takva, Y., İlerisoy, Z. Y. (2022,9-11 Eylül). *Yüksek yapılarda dış destek sistemlerin kullanımına yönelik bir değerlendirme*. IArcSAS-2022 International Architectural Sciences and Applications Symposium-2, Bakü, 312-329.
- Harmankaya, Z. Y. ve Soyluk, A., (2010,15-16 Nisan). *Yüksek yapılarda taşıyıcı sistem ve cephe etkileşimleri*. 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İzmir, 1-8.
- İlerisoy, Z. Y. ve Başgül, M., (2019). Yapılarda yükselme ve başkent anka örnekleri üzerinden tarihsel incelenmesi. *Online Journal of Art and Design*, 7(2), 125-140.
- Ilgın, H. E., (2018). *Süper Yüksek Binalarda Taşıyıcı Sistemin Potansiyel ve Sınırlılıkları: Mimarlar İçin Tasarım Kılavuzu*, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13-17.
- İnternet: Statik istanbul yüksek yapılarda dış destek, URL: http://statik.istanbul/?page_id=726, Son Erişim Tarihi: 20.08.2022.
- İnternet: Zifeng tower bilgisi, URL: <https://skyscraperpage.com/cities/?buildingID=24626>, Son Erişim Tarihi: 16.08.2022.
- İnternet: Outrigger sistemler, URL: <https://theconstructor.org/exclusive/outriggers-high-rise-building/247964/>, Son Erişim Tarihi: 15.08.2022.
- İnternet: 111 west, URL: <https://www.skyscrapercenter.com/building/111-west-57th-street/14320>, Son Erişim Tarihi: 10.08.2022.

- İnternet: İstanbul tower, URL: <https://www.skyscrapercenter.com/building/istanbul-tower-205/14383>, Son Erişim Tarihi: 10.08.2022.
- İnternet: İstanbul tower, URL: <https://www.theplan.it/eng/award-2018-officebusiness/istanbul-tower-205-4>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2022.
- Kaplan, D., De Simone, S., Anlar, F. (2015). *Modern tower, ancient city: rönesans tower*. CTBUH: New York Conference, New York, 160-167.
- Keskin, Z., (2012). *Planning Considerations of Tall Buildings: Service Core Configuration and Typologies*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 21-65.
- Nadh, V. S., Sumanth, B. H., Vasugi, K., Shirwadkar, M.R. (2020). Ideal location of outrigger system and its efficiency for unsymmetrical tall buildings under lateral loadings. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9(2), 2917-2920.
- Oldfield, P., Doherty, B. (2019). Offset cores: trends, drivers and frequency in tall buildings. *CTBUH Journal*, 2, 40-45.
- Paknahad, M., Hejazi, F., Alyaa.A.Al-Attar, A., Shahbazian, Ostovar, N. (2019). Different configurations of cores and shear walls in tall buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 357,1-11.
- Sev, A. ve Özgen, A. (2009). Space efficiency in high-rise office buildings. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, 26(2), 69-89.
- Sohail, S., Ahmed, M., Abdulla, S. (2016). Optimization of multistory building with multi-outrigger system and belts truss. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 5(7), 509-516.
- Szołomicki, J., Szołomicka, H. G. (2020). Analysis of technical problems in modern super-slim high-rise residential buildings. *Budownictwo i Architektura*, 20(1), 83-116.
- Thejas, H. K., Laxmi, S., Abhilash, D. T. (2020). Comprehensive analysis of outrigger building system. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 11(1), 25-31.
- Trabucco, D. (2008). An analysis of the relationship between service cores and the embodied/running energy of tall buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 17(5), 941-952.
- Yalnız, F. (2020). Engineering the supertall and superslender 111 west 57th. *CONCRETO & Construções*, 99, 75-80.
- Yeang, K. (2000). *Service Cores: Detail in building*. (1). Chichester: Wiley-Academy, 85-96.



Gazili olmak ayrıcalıktır