

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BETONARME BİNALARDA 2 KATTA X ÇELİK ÇAPRAZLARIN
EKONOMİK OLMA KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ**

Yahya Mustefa HASSAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BETONARME BİNALARDA 2 KATTA X ÇELİK ÇAPRAZLARIN
EKONOMİK OLMA KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ**

Yahya Mustefa HASSAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİNALARDA 2 KATTA X ÇELİK ÇAPRAZLARIN
EKONOMİK OLMA KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Yahya Mustefa HASSAN
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİNALARDA 2 KATTA X ÇELİK ÇAPRAZLARIN
EKONOMİK OLMA KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Yahya Mustefa HASSAN
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 19/09/2024 tarihinde jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Ramazan ÖZÇELİK (Danışman)

Doç.Dr. Ferhat ERDAL

Doç.Dr. Osman TUNCA

ÖZET

BETONARME BİNALARDA 2 KATTA X ÇELİK ÇAPRAZLARIN EKONOMİK OLMA KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Yahya Mustefa HASSAN

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Eylül 2024; 99 sayfa

Türkiye yüz ölçümünün büyük bir kısmında deprem tehlikesi oldukça yüksek olup herhangi bir yapı tasarımında can ve mal kayıplarını en aza indirmek için güvenlik şartlarının sağlanması elzemdir. Bugünün ekonomik koşulları göz önünde bulundurulduğunda, bir yapı projesinde güvenlik standartlarına uygunluğun yanı sıra dikkate alınması gereken diğer önemli bir faktör ise maliyetidir. İnşaat sektöründe, betonarme yapıların dayanım-maliyet hesaplamalarında temel unsurlar beton, kalıp ve donatı miktarı olarak görülmektedir. Bu tez kapsamında, betonarme yapıların genel maliyet kalemleri olan beton, çelik (donatı) ve kalıp maliyetlerinin daha ekonomik hale getirilebilmesi için Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazların (BEÇÇ'lerin) kullanımının araştırması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Bingöl ili Karlıova ilçesinde ($S_{DS}=2.333$) yer alması planlanan 20 katlı betonarme binalar ele alınmıştır. Bu binalar, betonarme çerçeveli sistem, betonarme perdeli sistem ve betonarme BEÇÇ'li çerçeve sistem olmak üzere farklı yatay yük taşıyıcı sistemlerden meydana gelmektedir. Söz konusu üç bina sistemine ait modeller hazırlanmış ve analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda beton, kalıp ve donatı metrajları belirlenmiştir. Aynı bölgede yer alan, benzer amaçlarla kullanılacak olan farklı taşıyıcı sistemlere sahip üç betonarme binanın maliyetini incelenerek ekonomik tasarımın kriterlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Söz konusu binalar Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY 2018) göre tasarımları yapılmıştır. Seçilen yapılar için statik proje detayları ETABS programı kullanılarak elde edilmiştir. BEÇÇ'ler yapı sisteminde iki katta X çelik çapraz olacak şekilde konfigürasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre BEÇÇ'li çerçeve sisteme sahip betonarme yapının kalıp, donatı ve beton metrajı bakımından betonarme perde duvarlı sisteme sahip yapıya alternatif bir yapısal sistem olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Betonarme yapı tasarımı, Burkulması engellenmiş çelik çapraz, Çaprazlı çerçeve sistem, Ekonomi, Betonarme Perde

JÜRİ: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Doç.Dr. Ferhat ERDAL

Doç.Dr. Osman TUNCA

ABSTRACT

DETERMINATION OF ECONOMIC CRITERIA FOR 2-STOREY X-SHAPED BUCKLING RESTRAINED BRACE IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Yahya Mustefa HASSAN

MSc Thesis in Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

September 2024; 99 pages

In a geography where seismic activity is prevalent in Turkey, ensuring safety measures in any building design is of paramount importance to minimize loss of life and property. Considering today's economic conditions, besides compliance with safety standards, another significant factor to consider in a construction project is its cost. In the construction sector, the primary elements in cost calculations for reinforced concrete structures typically revolve around concrete, formwork, and reinforcing steel. The current focus of examination is the impact of reinforced concrete structure costs and the use of Buckling Restrained Braces (BRBs) as an alternative to the quantity of concrete, formwork, and reinforcement steel. The Period Design Spectral Acceleration Coefficient (S_{DS}) value for 20-story reinforced concrete residential buildings in Karlıova district of Bingöl province in Turkey. These buildings were modeled with different structural systems: frame system, shear wall system, and BRB braced frame system, followed by analyses and determination of concrete, formwork, and reinforcement quantities. The aim is to determine the most advantageous design by examining the behavior and cost of three reinforced concrete buildings with different structural systems yet serving similar purposes in the same region. The objective is to compare the performance and costs of these structures to identify the most suitable option. In this study, the feasibility of using BRBs, which carry horizontal loads, instead of reinforced concrete shear wall elements, was evaluated. The resulting data provides a comparative analysis of the behavior and cost of structures, contributing to the identification of the most efficient design. Within the scope of this study, 20-story reinforced concrete residences have been designed and analyzed according to TBDY-2018. Selected structural systems were designed using the ETABS program, where, for comparative purposes, a building was designed with BRBs placed as two-story X brace instead of shear wall elements in a shear wall system. The analysis results indicated that instead of shear wall system, the BRBs braced frame system is a candidate lateral load carrying system against the earthquake.

KEYWORDS: Buckling-restrained brace (BRB), Economic, Seismic performance evaluation, Shear wall building, Structural frames, Reinforced concrete structure design

COMMITTEE: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Assoc. Prof. Dr. Ferhat ERDAL

Assoc. Prof. Dr. Osman TUNCA

ÖNSÖZ

Öncelikle, yüksek lisans eğitimim için bana bu fırsatı veren Türkiye Cumhuriyeti Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na (YTB) şükranlarımı sunmak istiyorum. Bu tez çalışması, İnşaat Mühendisliği yüksek lisans programı kapsamında gerçekleştirilen araştırma ve inceleme sürecinin bir ürünüdür. Bu süreç boyunca, inşaat mühendisliği alanındaki bilgilerimi derinleştirme ve uygulama fırsatı buldum. Bu çalışmanın tamamlanmasında emeği geçen herkese teşekkür etmek isterim. Özellikle de bana rehberlik eden, bilgi ve deneyimlerini paylaşan, her aşamada yanımda olan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK'e ve her zaman yardımsever desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Hüseyin SÖĞÜT'e minnettarlığımı ifade etmek isterim. Tezimin yürütülmesindeki başarıda büyük payları bulunan bu değerli akademisyenlere içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca, bu süreçte beni her zaman destekleyen, çalışmalarına ilham kaynağı ve yardımcı olan eşim İman KABİR'e de teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın temeli oluşturan TUBİTAK 121M814 no'lu projeye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. BEÇÇ Mekanizması	3
1.2. BEÇÇ Kesitleri ve Yapı Geometrisi	5
1.3. BEÇÇ Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları	6
1.3.1. BEÇÇ Avantajları.....	6
1.3.2. BEÇÇ Dezavantajları.....	6
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	7
2. KAYNAK TARAMASI	8
2.1. BEÇÇ ile İlgili Yapılmış Araştırmalar	8
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. Giriş	18
3.2. Deprem etkisinde binaların tasarımı ve değerlendirilmesine ilişkin kurallar.....	18
3.2.1 Deprem Etkisi	18
3.2.1.1. Yer Hareketi Deprem Düzeyleri Tanımlanması	18
3.2.1.2. Deprem Yer Hareketi Spektrumları.....	19
3.2.1.3. Tasarım ve Harita Spektral İvme Katsayıları	19
3.2.1.4. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	20
3.2.1.5. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu	22
3.2.2. Tasarım ve Değerlendirme İçin Genel Esaslar	22
3.3. Dayanıma göre değerlendirme ve tasarımı için hesap esasları.....	25
3.3.1. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı	25
3.3.2. Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (R ve D) Belirlenmesi.....	25
3.3.3. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi.....	27
3.4. Taşıyıcı Sistem Modelleme ve Hesap Yöntemi Seçim Koşulları	28
3.4.1. Taşıyıcı Sistem Modellemesi.....	28

3.4.2. Doğrusal Hesap Yönteminin Seçilmesi	29
3.4.3. Betonarme Taşıyıcı Elemanlar: Enkesit Koşulları ve Donatılandırma.....	32
3.4.3.1. Enkesit Koşulları	32
3.4.3.2. Betonarme Taşıyıcı Elemanların Donatılandırılması: Genel Bilgiler	33
3.4.4. Taşıyıcı Sistem Elemanlarında Kesme Güvenliği	34
3.5. Binalar hakkında genel bilgiler	34
3.5.1. Binaların Bulunduğu Arazi Bilgileri ve Zemin Sınıfı	35
3.5.2. Binaların Performans Düzeylerinin Tayini.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
4.1. Taşıyıcı sistem bilgileri ve binaların modellenmesi.....	39
4.1.1. Betonarme Çerçeve Sistem.....	39
4.1.2. Betonarme Perdeli Sistem.....	52
4.1.3. Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlı Betonarme Sistem	65
4.2. Performans Karşılaştırması	78
4.2.1. Göreli kat ötelemesi.....	78
4.2.2. Yerdeğiştirme	80
4.2.3. Kat Kesme Kuvveti	82
5. SONUÇLAR	84
5.1. Ekonomik Kriterler.....	84
5.2. Sonuçlar.....	86
6. KAYNAKLAR	87
7. EKLER.....	90
7.1. Bayrak Levhasının Tasarımı	90
7.2. Bayrak levhasının karakteristik basınç kuvveti dayanımı	91
7.3. Kiriş Kolon ve Bayrak Levhası Birleşim Bölgesi Kaynak Hesabı	91
7.4. Çerçeve Sistemin Birleşim Bölgelerinin Tasarımı	96
7.4.1. Bulonun karakteristik kesme kuvveti dayanımı	96
7.4.2. Bulon deliği ezilme kuvveti dayanımı.....	96
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Betonarme Binalarda 2 Katta X Çelik Çaprazların Ekonomik Olma Kriterlerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

19/09/2024

Yahya Mustefa HASSAN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C_h	: İkinci merteye hesabında kullanılan ampirik katsayı
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
D_{bi}	: i 'inci katta ek dışmerkezlilik büyütme katsayısı
E_d	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisi
$E_d^{(H)}$	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$E_d^{(X)}$	: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Y)}$	: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
F_S	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
G	: Sabit yük etkisi
g	: Yerçekimi ivmesi [$g = 9.81 \text{ m/s}^2$]
H_N	: Bina toplam yüksekliği [m]
h_i	: Binanın i 'inci katının kat yüksekliği [m]
I	: Bina önem katsayısı
L_p	: Plastik mafsal boyu
L_s	: Kesme açıklığı
m	: Metre
mm	: Milimetre
M_a	: Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment

M_{DEV} : Taban devrilme momenti mi i'inci katın toplam kütlesi

M_o : Toplam devrilme momenti

m_i : i'inci katın toplam kütlesi [t]

m_t : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam kütlesi

$M_{\ddot{u}}$: Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda, kolon kesme kuvvetinin hesabında esas alınan moment

$m_{\theta i}$: i'inci katın kütle eylemsizlik momenti

N : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'deki toplam kat sayısı

n : Hareketli yük katılım katsayısı

Q : Hareketli yük etkisi

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı

R_y : Dayanımı azaltma katsayısı

S : Kar yükü etkisi

$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]

$S_{aeD}(T)$: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]

$S_{aR}(T)$: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]

$S_{de}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmesi [m]

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

s_n : Saniye

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

T : Doğal titreşim periyodu [s]

T_A : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

T_{AD} : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

- T_B : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
- T_{BD} : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
- T_L : Düşey spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
- T_L : Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş [s]
- T_p : Binanın hâkim doğal titreşim periyodu [s]
- T_{pA} : Ampirik olarak hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu [s]
- $T_p^{(X)}$: X deprem doğrultusunda binanın hâkim doğal titreşim periyodu [s]
- V_e : Kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti [kN]
- $V_i^{(X)}$: X deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvveti [kN]
- V_r : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı
- $V_{tE}^{(X)}$: X deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
- $V_{tx}^{(X)}$: Modal hesap yöntemlerinden biri ile x doğrultusu'nda elde edilen en büyük toplam deprem yükü [kN]
- $(VS)_{30}$: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]
- w_k : k'inci kata etkiyen toplam ağırlık [kN]
- α : Deprem derz boşlukları için kullanılan ampirik katsayı
- $\beta_{tE}^{(X)}$: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
- $\beta_{II}^{(X)}$: İkinci mertebe büyütme katsayısı
- $\theta_{II,i}^{(X)}$: X deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
- $\theta_{II,max}^{(X)}$: X deprem doğrultusunda tanımlanan maksimum ikinci mertebe gösterge değeri
- $\Delta_i^{(X)}$: X deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi [m]
- $(\Delta_i)_{ort}^{(X)}$: X deprem doğrultusunda ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi [m]
- $\delta_i^{(X)}$: X deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi [m]

$\delta_{i,max}^{(X)}$: X deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri [m]

γ_E : Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı

λ : Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı

κ : İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı

$\emptyset$: Donatı çapı

Ondalık ayracı olarak nokta kullanılmıştır.

Kısaltmalar

AISC : American Institute of Steel Construction

BEÇÇ : Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar

BEM : Burkulmayı Engelleyen Mekanizma

BKS : Bina Kullanım Sınıfı

BYS : Bina Yükseklik Sınıfı

ÇÇ : Çelik Çapraz

DGT : Dayanıma Göre Tasarım

DTS : Deprem Tasarım Sınıfı

GÖ : Göçmenin Önlenmesi

KH : Kontrollü Hasar

KK : Kesintisiz Kullanım

MBY : Mod Birleştirme Yöntemi

MN : Minimum Hasar Sınırı

ŞDGT : Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım

TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı

TDTH : Türkiye Deprem Tehlike Haritaları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çelik çaprazlı çerçeve	3
Şekil 1.2. Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz mekanizması	4
Şekil 1.3. BEÇÇ ve geleneksel çelik çapraz histeretik davranış eğrileri	4
Şekil 1.4. BEÇÇ elemanlara ait enkesit çeşitleri	5
Şekil 1.5. Çelik çapraz bağlantı şekilleri	6
Şekil 2.1. Çift çelik çekirdek içeren çift boru profilli BEÇÇ sistemi (Tsai vd. 2004).....	9
Şekil 2.2. Menteşeli bağlantılara sahip BEÇÇ’li çerçevenin şematik gösterimi	10
Şekil 2.3. Yatay yükler altında modellerin gerilme dağılımı ve deformasyon şekli.....	12
Şekil 2.4. Farklı BEÇÇ konfigürasyon	13
Şekil 2.5. Karakteristik BEÇÇ eleman detayı (Özçelik vd. 2017).....	14
Şekil 2.6. Tip 1: Yalın çerçeve sistem, Tip 2: Tek kat yüksekliğinde BEÇÇ, Tip 3: Çift kat yüksekliğinde BEÇÇ (Doran vd. 2018)	15
Şekil 2.7. BEÇÇ ile güçlendirilmiş test numune. (a) 3-boyutlu görünüm (b) yandan görünüm (c) üstten görünüm (Erdil vd. 2023)	17
Şekil 3.1. Yatay elastik tasarım ivme spektrum grafiği	21
Şekil 3.2. Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri yer değiştirme grafiği	21
Şekil 3.3. Düşeyde elastik tasarım ivme spektrumunun grafiği	22
Şekil 3.4. Binaların yapılacağı konum	35
Şekil 3.5. Yatay elastik tasarım spektrumu	36
Şekil 3.6. Düşey elastik tasarım spektrumu	36
Şekil 4.1. Kat aplikasyon planı	39
Şekil 4.2. Binanın yandan görünüşü	40
Şekil 4.3. Bina 3D görüntüsü	41
Şekil 4.4. Çerçevesiz bina yatay elastik tasarım spektrum grafiği.....	43
Şekil 4.5. Çerçevesiz bina düşey elastik tasarım spektrum grafiği.....	43
Şekil 4.6. ETABS programından ölçeklendirme	46

Şekil 4.7. Perdeli bina kat planı	53
Şekil 4.8. Perdeli yapının yandan görünüş.....	54
Şekil 4.9. Perdeli bina 3D görünüş	55
Şekil 4.10. Perdeli bina yatay elastik tasarım spektrum grafiği.....	55
Şekil 4.11. Perdeli bina düşey elastik tasarım spektrum grafiği	56
Şekil 4.12. ETABS programından ölçeklendirme	59
Şekil 4.13. BEÇÇ'li bina kat planı.....	65
Şekil 4.14. BEÇÇ'li yapının yandan görünüş.....	66
Şekil 4.15. BEÇÇ'li bina 3D görünüş.....	67
Şekil 4.16. BEÇÇ'li bina yatay elastik tasarım spektrum grafiği	67
Şekil 4.17. BEÇÇ'li bina düşey elastik tasarım spektrum grafiği	68
Şekil 4.18. ETABS programından ölçeklendirme	71
Şekil 4.19. BEÇÇ'li bina çapraz kısmı (Boyutlar mm cinsindendir)	75
Şekil 4.20. X yönden gelen depremden maksimum görelî kat ötelemesinin karşılaştırılması	79
Şekil 4.21. Y yönden gelen depremden maksimum görelî kat ötelemesinin karşılaştırılması	79
Şekil 4.22. X yönden gelen depremden maksimum kat deplasmanı	81
Şekil 4.23. Y yönden gelen depremden maksimum kat deplasmanı	81
Şekil 4.24. X yönden gelen depremden maksimum kat kayması	83
Şekil 4.25. Y yönden gelen depremden maksimum kat kayması	83
Şekil 5.1. Beton metrajları grafiği	85
Şekil 5.2. Donatı metrajları grafiği	85
Şekil 5.3. Kalıp metrajları grafiği	86
Şekil 7.1. Düzgün Kuvvet Yöntemi (Ebrahimia vd. 2019'den adapte edilmiştir).....	90
Şekil 7.2. Thornton Yöntemi (Wong 2019'dan adapte edilmiştir)	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları	20
Çizelge 3.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları	20
Çizelge 3.3. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları	23
Çizelge 3.4. Deprem tasarım sınıfları	23
Çizelge 3.5. Bina yükseklik sınıfları ve yükseklik aralıkları	24
Çizelge 3.6. Performans hedefleri ve tasarım yaklaşımlar/yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS=1).....	24
Çizelge 3.7. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı	26
Çizelge 3.8. Hareketli yükler için kütle katılım katsayısı	29
Çizelge 3.9. Etkin kesit rijitlikleri çarpanları	29
Çizelge 3.10. Konut için BKS	37
Çizelge 3.11. Bina Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	37
Çizelge 3.12. Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	37
Çizelge 3.13. Yeni yapılacak bina tasarım yaklaşımları ve performans hedefleri.....	38
Çizelge 4.1. Deprem yükü azaltma katsayısı	42
Çizelge 4.2. Çerçeve bina doğal titreşim periyodu.....	43
Çizelge 4.3. Çerçeve bina kat kütleleri	44
Çizelge 4.4. Çerçeve bina eşdeğer deprem yükü hesabı.....	45
Çizelge 4.5. Çerçeve bina taban kesme kuvveti ve toplam deprem yükü	45
Çizelge 4.6. Taban kesme kuvveti	46
Çizelge 4.7. Eşdeğer deprem kuvvetine göre büyütülme ($\beta_{TE}^{(X)}$) koşulu).....	46
Çizelge 4.8. Bina düzensizlik kontrolü	47
Çizelge 4.9. Azaltılmış göreceli kat ötelemeleri ($\Delta_i^{(X)}$).....	48
Çizelge 4.10. Etkin göreceli kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$)	49
Çizelge 4.11. İkinci mertebe gösterge değeri $\theta_{II,i}^{(X)}$	50

Çizelge 4.12. Çerçeveli bina beton ve kalıp metrajı	51
Çizelge 4.13. Çerçeveli bina donatı metrajı.....	52
Çizelge 4.14. Perdeli bina doğal titreşim periyodu (S_{Ds})	56
Çizelge 4.15. Perdeli bina kat kütleleri.....	56
Çizelge 4.16. Perdeli bina eşdeğer deprem yükü hesabı.....	57
Çizelge 4.17. Perdeli bina taban kesme kuvveti ve toplam deprem yükü	58
Çizelge 4.18. Taban kesme kuvveti	58
Çizelge 4.19. Eşdeğer deprem kuvvetine göre büyütülme ($\beta_{tE}^{(X)}$ koşulu).....	59
Çizelge 4.20. Bina düzensizlik kontrolü.....	59
Çizelge 4.21. Azaltılmış görelî kat ötelemeleri ($\Delta_i^{(X)}$).....	60
Çizelge 4.22. Etkin görelî kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$)	61
Çizelge 4.23. İkinci mertebe gösterge değeri $\theta_{II,i}^{(X)}$	62
Çizelge 4.24. Perdeli bina beton ve kalıp metrajı	63
Çizelge 4.25. Perdeli bina donatı metrajı.....	64
Çizelge 4.26. BEÇÇ'li bina doğal titreşim periyodu	68
Çizelge 4.27. BEÇÇ'li bina kat kütleleri	68
Çizelge 4.28. BEÇÇ'li bina eşdeğer deprem yükü hesabı	69
Çizelge 4.29. BEÇÇ'li bina taban kesme kuvveti ve toplam deprem yükü.....	70
Çizelge 4.30. Taban kesme kuvveti	70
Çizelge 4.31. Eşdeğer deprem kuvvetine göre büyütülme ($\beta_{tE}^{(X)}$ koşulu).....	71
Çizelge 4.32. Bina düzensizlik kontrolü	71
Çizelge 4.33. Azaltılmış görelî kat ötelemeleri ($\Delta_i^{(X)}$).....	72
Çizelge 4.34. Etkin görelî kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$)	73
Çizelge 4.35. İkinci mertebe gösterge değeri $\theta_{II,i}^{(X)}$	74
Çizelge 4.36. BEÇÇ elemanların tasarımı için kullanılan veriler.....	76
Çizelge 4.37. BEÇÇ çerçevesi bina beton ve kalıp metrajı.....	76

Çizelge 4.38. BEÇÇ çerçevesi bina donatı metrajı	77
Çizelge 4.39. X ve Y yönden gelen depremde maksimum görelî kat ötelemesi	78
Çizelge 4.40. X ve Y yönden gelen depremde maksimum yerdeğiştirme.....	80
Çizelge 4.41. X ve Y yönden gelen depremde maksimum kat kesme kuvveti.....	82
Çizelge 5.1. Binaların analiz sonuçları	84
Çizelge 5.2. Binaların metraj sonuçları.....	84
Çizelge 7.1. Bayrak levhasının dayanımı	93
Çizelge 7.2. Bayrak levhasının ağırlığı	94
Çizelge 7.3. BEÇÇ elemanların ağırlığı	95
Çizelge 7.4. Birleşim bölgelerinin tasarımı	98
Çizelge 7.5. Birleşim bölgelerinin tasarımı için yük kontrolü.....	99

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya genelinde artan nüfus ve şehirleşme trendleri, binaların tasarım ve inşaa süreçlerine yönelik önemli zorluklar ve sorumluluklar getirmiştir. Özellikle deprem gibi doğal afetlerin tehdidi altında olan bölgelerde, yapıların güvenliği ve dayanıklılığı büyük önem taşımaktadır. Deprem, sahip olduğu yıkıcı güçle, insan hayatına ve ekonomiye büyük zararlar verme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, yapıların deprem etkisi altındaki performanslarının incelenmesi, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi sürekli olarak araştırmacıların odak noktası olmuştur. Binalarımızı depreme dayanıklı hale getirmek; can ve mal kaybını en aza indirmek, altyapının korunması, ekonomik ve sosyal faaliyetlerin sürdürülmesi, kentsel dönüşüm ve uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından son derece önemlidir. Depremler, yer kabuğundaki tektonik hareketler nedeniyle oluşan doğal afetlerdir ve dünya genelinde her yıl binlerce insanın hayatını kaybetmesine, yüz binlerce kişinin yaralanmasına ve milyarlarca dolarlık maddi zarara yol açmaktadır. Binalarımızın depreme dayanıklı olması, deprem sırasında bina yapılarının çökmeyerek veya hasar alarak ayakta kalabilmesi anlamına gelir. Bu, bina sakinlerinin güvenliğini sağlar ve can kayıplarını azaltır. Ayrıca, deprem sonrası acil kurtarma çalışmalarının daha etkin bir şekilde yürütülmesine imkân sağlar. Depreme dayanıklı binalar, aynı zamanda kentsel altyapının korunmasını sağlar. Depremde binaların çökmesi veya ciddi hasar alması, çevrelerindeki diğer yapıları da olumsuz etkileyebilir ve altyapıda büyük yıkımlara neden olabilir.

Ekonomik açıdan bakıldığında, depremlerde hasar gören veya çöken binaların onarımı veya yeniden inşaa edilmesi büyük maliyetler gerektirir. Depreme dayanıklı binaların kullanılması, uzun vadede ekonomik açıdan daha sürdürülebilirlerdir. Binaların depreme dayanıklı hale getirilmesi, aynı zamanda kentsel dönüşüm süreçlerini de hızlandırabilir. Depremde yıkılma riski taşıyan binaların depreme dayanıklı binalarla değiştirilmesi, şehirlerin modernleşmesini, daha güvenli ve estetik alanların oluşturulmasını sağlar. Bu da kentsel yaşam kalitesini artırır ve şehirlerin gelecekteki ihtiyaçlarına daha uygun hale gelmelerini sağlar.

İnşaat mühendisliğinde, binaların depreme dayanıklı hale getirilmesi için çeşitli yöntemler ve tasarım prensipleri kullanılır. Depreme dayanıklı yapılar, deprem sırasında oluşabilecek yatay ve düşey kuvvetlere karşı dirençli olacak şekilde tasarlanır. Bu süreçte yaygın olarak kullanılan iki yöntem, betonarme perde duvarlar ve çaprazlı çerçeve sistem kullanımıdır. Perde duvarlar, yapıya yatay yönde rijitlik ve dayanım sağlayan ve deprem kuvvetlerini taşıyan betonarme elemanlardır. Bu duvarlar, ana taşıyıcı elemanlar olan kolonlar ve kirişlerle birlikte çalışarak binanın rijitliğini ve dayanıklılığını artırır. Ayrıca, perde duvarlar sadece yatay kuvvetlere karşı değil, aynı zamanda düşey yükleri taşıma konusunda etkili olup bunun sayesinde yapısal bütünlüğü güçlendirir ve binanın genel dayanıklılığını korurlar. Çaprazlı çerçeveler, binaların yatay yüklerini taşıyan sistemlerdendir. Bu sistemler, yapısal kolonlar ve kirişler arasındaki diyagonal elemanlardan oluşur ve binanın yatay yüklerini taşıırken aynı zamanda yapısal deformasyonları da engellerler. Bu sayede, binanın hasar görme olasılığı azalır. Depremin etkisini azaltmak için kullanılan çapraz tiplerinden bir tanesi Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlardır (BEÇÇ).

Binada deprem ve rüzgâr yüklerine karşı dayanıklılığı artırmak amacıyla kullanılan yapısal elemanlardan biriside çelik çaprazlardır. Çelik çaprazlar, binaya etki eden yatay kuvvetleri eksenel rijitlikleri sayesinde taşıyarak yapıdaki yatay rijitliği artırır ve deplasmanları minimize eder. Bu elemanların temel özelliği, yüksek eksenel rijitlikleri nedeniyle deprem kuvvetlerini güvenli bir şekilde absorbe edebilmeleri ve yanal deformasyonları sınırlayarak binanın stabilitesini sağlamalarıdır. Literatürde farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen çeşitli BEÇÇ modelleri mevcuttur. Bu modeller, yapıya eklenerek, yapıyı yanal kuvvetlere karşı daha rijit hale getirip yatay yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır. BEÇÇ'lerin temel çalışma prensibi, basınç ve çekme kuvvetleri altında benzer histeretik davranış sergileyerek eksenel yükleri güvenli bir şekilde taşıma yeteneği ve enerji sönümlenmesine katkı sağlama esasına dayanmaktadır.

Güvenli ve ekonomik tasarımlar için, yapıların deprem etkilerine karşı tasarımı TBDY 2018 standartlarına göre gerçekleştirilir. Bu tasarımlarda, deprem hareketleri değerleri ve tanımlanan dört farklı deprem yer hareketi düzeyi (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) kullanılmaktadır. Bu deprem verileri, 22 Ocak 2018 tarihinde, “2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla belirlenmiş Türkiye Deprem Tehlike Haritaları” (TDTH) ile ifade edilmiştir.

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi (DD-2), standart tasarım deprem yer hareketi olarak kullanılır.

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivme kat sayılarına (S_s , S_1) ve yerel zemin etki kat sayılarına (F_s , F_1) bağlı olarak standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak belirlenir. Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri, $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak yerçekimi ivmesi (g) cinsinden ifade edilir. S_{DS} ve S_{D1} tasarım spektral ivme katsayılarını belirtir. T_A ve T_B köşe periyotları, yatay tasarım spektrumu için S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak belirlenir. Aynı şekilde herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{aeD}(T)$, yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden ifade edilir.

Binaların deprem etkisi altında değerlendirilmesi ve tasarımı için Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) belirlenmiş ve bu sınıflar, binaların kullanım amaçlarına göre (AVM, konut, hastane vb.) Bina Kullanım Sınıfları (BKS) tanımlanmıştır. Bina Yükseklik Sınıfları (BYS), belirlenen Deprem Tasarım Sınıflarına (DTS) göre tanımlanan bina yükseklik aralıklarına dayanarak belirlenir. Bu hedeflere dayalı olarak, bina performans düzeyleri (Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi, Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi, Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi, Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi) belirlenir ve tasarım yaklaşımları bu hedeflere göre belirlenir. Bu tezde, TBDY 2018 standartlarına göre çerçeveli, perdeli ve BEÇÇ'li çerçeve olmak üzere üç farklı betonarme bina tipi modellenmiş ve bu binaların metrajları hesaplanmıştır.

1.1. BEÇÇ Mekanizması

Türkiye’de deprem felaketi nedeniyle oluşan veya oluşabilecek can ve mal kayıplarını azaltmak ve yaşam kalitesini artırmak amacıyla geçmişte olduğu gibi günümüzde de inşaat sektöründe çeşitli alternatif arayışları devam etmektedir. Bu alternatiflerden biri, özel bir yapı elemanı olan ve Japonya’da keşfedilip Amerika Birleşik Devletleri’nde daha yaygın olarak kullanılan BEÇÇ’lerdir. Bu yapı elemanı, yeni inşa edilecek binalarda ve güçlendirilmesi gereken mevcut binalarda kullanılabilir. BEÇÇ’ler, deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklerin etkilerine karşı binaların dayanıklılığını artırarak, özel mekanizmalarıyla güvenilirliği sağlamakta ve ekonomik avantajlar sunmaktadır.

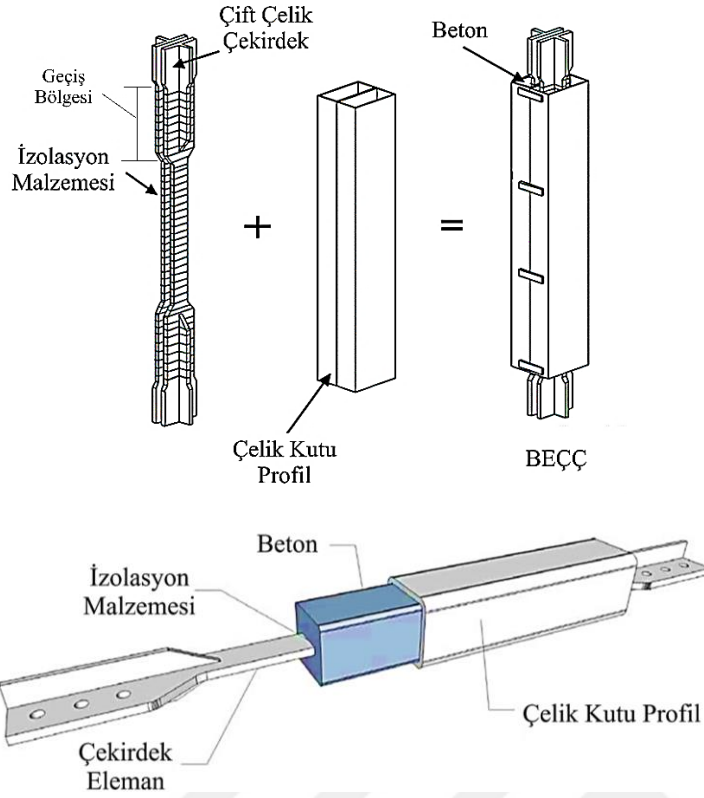
Çelik çaprazlar, deprem ve rüzgâr gibi yatay kuvvetlere karşı binaya dayanıklılık sağlayan yapı elemanlarıdır. Bu çaprazların mekanizması gereği karşılaşılan en büyük problem, yatay yükler etkisi altında çekme ve basınç kapasitelerinin eşit olmaması nedeniyle, çekme kuvvetleri etkisi altında çeliğin akması (plastikleşme) ile birlikte basınç kuvvetleriyle burkulmasıdır. Burkulma sonucunda, çelik çaprazların eksenel yük taşıma kapasiteleri önemli ölçüde azalır.



Şekil 1.1. Çelik çaprazlı çerçeve (Özçelik 2016)

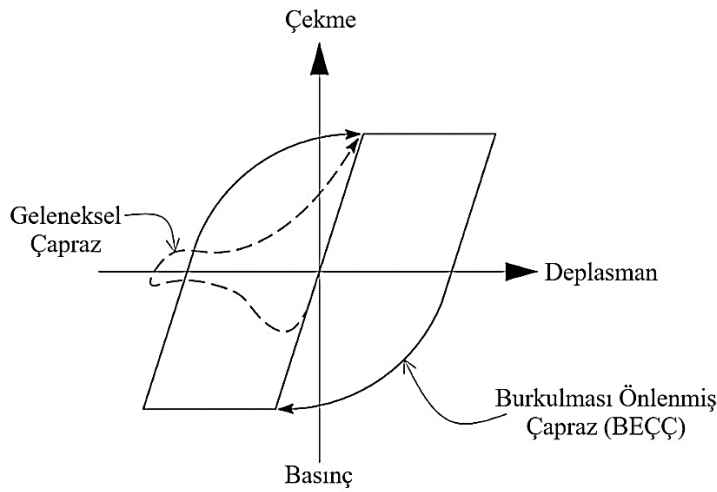
Çelik çaprazlı çerçeve, Şekil 1.1’de gösterildiği gibi yatay kuvvet (P_L) etkisi altında yatay deplasmanlara bağlı olarak eksenel basınç ve çekme yüklerine maruz kalmaktadır. Bu durumda, çelik çaprazın basınç deformasyonu ile burkulduğu, çekme deformasyonu ile ise plastikleştiği gözlemlenmektedir.

Deprem enerjisini sönmölemek ve yanal ötelemeleri sınırlamak amacıyla kullanılan çelik çaprazların burkulma sorununu önlemek için geliştirilen BEÇÇ’lerin bileşenleri Şekil 1.2’de gösterilmiştir olup çelik çekirdek elemanın etrafı beton ile kaplanmıştır. Burada eksenel yükleri taşıyan çelik çekirdek, rijitliği artırarak burkulmayı engelleyen bileşen ise beton ve bunları çevreleyen çelik kutu profildir. Bu sistemle BEÇÇ’ler sünek davranış sergilemektedir. Bu mekanizmada, çekirdek kısmı ile beton kısmı (burkulmayı önleyen) arasında herhangi bir yük aktarımı olmaması için yüzey ayırıcı malzeme (izolasyon malzemesi) kullanılmaktadır. Ayrıca, BEÇÇ elemanındaki yerel burkulmaları önlemek amacıyla, çekirdek ile birleşim yeri arasında kalan bölgede (geçiş bölgesi) enkesit alanı artırılmaktadır. BEÇÇ’e gelen eksenel kuvvet etkisinde çelik çekirdeğin gerilmesi ama kopmaması beklenir.



Şekil 1.2. Burkulması Engellenmiş Çelik Çapraz yapısı (Meriç 2020 ve Marshall 2017)

BEÇÇ'lerin tasarımları, aksenal yükler altında burkulma olmaksızın akmasına ve yüksek plastik şekil değiştirme kapasitelerine ulaşması amaçlanarak yapılır. Geleneksel çelik çapraz elemanlar, BEÇÇ'lere göre yatay yükler altında asimetric bir davranış gösterirler. Yani yüksek çekme kapasitesine karşı düşük basınç kapasitesinin oluşturduğu zıtlık nedeniyle çelik çaprazlar, BEÇÇ elemanlara göre daha zayıf bir performans gösterirler (Şekil 1.3).

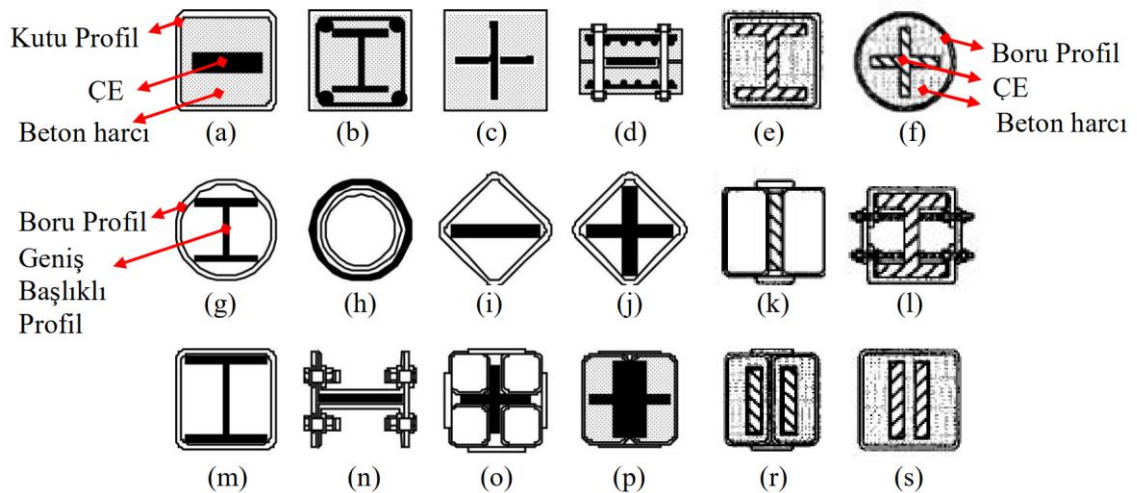


Şekil 1.3. BEÇÇ ve geleneksel çelik çapraz histeretik davranış eğrileri (Bozkurt 2015)

BEÇÇ'lerin eksenel çekme ve basınç etkisi altında gösterdiği davranışlar birbirine neredeyse eşittir. Bu nedenle BEÇÇ'ler daha kararlıdır, oldukça sünek davranış gösterirler ve yüksek ve stabil enerji sönümleme kapasitesine sahiptirler.

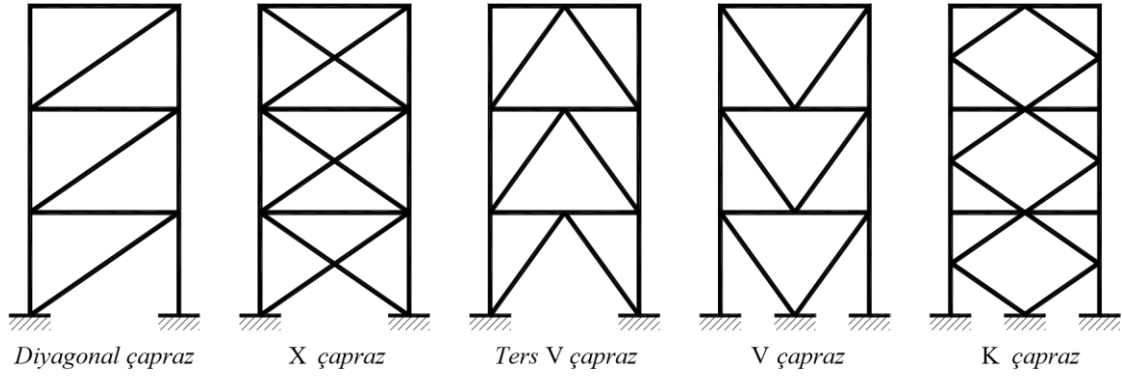
1.2. BEÇÇ Kesitleri ve Yapı Geometrisi

Aşağıda Şekil 1.4'te gösterildiği gibi, BEÇÇ'ler farklı türdeki kesitlerle tasarlanabilir. Şekil 1.4 (a) ve (f)'de görülen kesitlere sahip olan BEÇÇ'lerde, çekirdek eleman yüzey ayırıcı malzeme ile kaplanır, ardından kutu veya boru profil içine yerleştirilir ve beton profilin içine dökülür. Şekil 1.4 (a)'daki çelik çekirdek eleman, dikdörtgen kesitli olabileceği gibi "+" şeklinde de olabilir. Şekil 1.4 (p)'de gösterildiği gibi, çelik elemanlar "T" şeklinde iki adet BEÇÇ'in birleştirilmesiyle elde edilir; bu tür birleştirmeler, bayrak levhasına bağlantının daha kolay olması nedeniyle sıkça tercih edilir. Burkulmayı Engelleyen Mekanizma (BEM) ise tamamen çelik yapı elemanları kullanılarak elde edilebilir (Şekil 1.4 (k), (l), (n) ve (o)). Ayrıca, beton kullanılmadan, kutu veya boru profil içine çelik eleman olarak geniş başlıklı profil, kutu veya boru profil yerleştirilerek de BEÇÇ elde edilebilir (Şekil 1.4 (g), (h), (i), (j), (m)). Tasarımcı mühendis tarafından belirlenebilen bu kesitlerde önemli olan, belirli standartlarda gösterilen histeretik davranıştır; enkesit koşulları ise bu konuda ikinci plandadır.



Şekil 1.4. BEÇÇ elemanlara ait enkesit çeşitleri (Qiang 2005, Tsai 2004)

Bu tezin amacı doğrultusunda betonarme binalarda perde elemanları yerine BEÇÇ'ler kullanılabilirliği araştırılmıştır. Şekil 1.5 TBDY 2018 tarafından belirlenen çelik çapraz konfigürasyonları göstermektedir. Bu tez kapsamında ise iki katta X çelik çapraz konfigürasyonu kullanılarak analiz ve maliyet çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 1.5. Çelik çapraz bağlantı şekilleri (TBDY 2018)

1.3. BEÇÇ Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

1.3.1. BEÇÇ Avantajları

Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar (BEÇÇ'ler), özellikle deprem bölgelerindeki yapısal uygulamalarda birçok önemli avantaj sunar:

- ✓ Histeretik Davranış: Çelik malzeme, deprem sırasında oluşabilecek kuvvetlere karşı yüksek mukavemete sahiptir. BEÇÇ'ler, yüksek basınç altında burkulmaları engellendiği için, deprem gibi çevrimsel yükler altında hem çekme hem de basınç durumlarında benzer performans gösterirler. Bu, yapıların dayanıklılık ve şekildeğiştirme kabiliyetlerini artırır.
- ✓ Enerji Sönümleyici Özellikler: Döngüsel yüklerde çekme ve basınç şekil değiştirme kapasitesinin yüksek olmasından dolayı depremin getirdiği enerji daha iyi sönümlenir.
- ✓ Ekonomiklik: Yönetmeliklerce BEÇÇ'lerin kullanıldığı çerçevelerde bina davranış katsayısının $R=8$ alınmasının önerilmesinden ötürü deprem kuvvetinin daha az bir kısmı dayanımla karşılanacağından ötürü daha ekonomik kesitler kullanılır. Böylelikle sönümleyici olmayan elemanlar daha az zorlanmaktadır.
- ✓ Güvenilirlik: Belirli testlerden geçtikten sonra tasarıma dahil olmasından ötürü ve basınç altında burkulmayacağından BEÇÇ'ler geleneksel çaprazlara göre daha güvenilirdir.

1.3.2. BEÇÇ Dezavantajları

BEÇÇ'lerin yapı elemanı olarak kullanılmasını zorlaştıran etkenler arasında tasarımın zorluğu, üretim maliyetlerinin yüksek olması ve Türkiye'de yaygın bir şekilde kullanılmaması gibi faktörler bulunmaktadır. Ayrıca, bu yapı elemanların temin edilmesi konusunda sınırlı imkanlar da dezavantajlar arasında yer almaktadır.

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Binaların depreme dayanıklı olabilmesi için tasarım aşamasında bazı önlemlerin alınması gerekmektedir. Yapıların depreme karşı dayanıklı tasarlanabilmesi için farklı yöntemler mevcuttur; bunlar çerçeve sistem ve perde duvarlardır. Bunlara alternatif olarak bu tez kapsamında BEÇÇ'lerin kullanımı araştırılacaktır. Yapıların depreme dayanıklı hale getirilmesinde uygun yöntemin seçilmesini etkileyen faktörler arasında maliyet yer almaktadır. Bu çalışma, 20 katlı betonarme çerçeve bina, perde duvarlı bina ve BEÇÇ çerçeve bina için gerekli beton-kalıp-donatı miktarlarının belirlenmesini ve karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Ayrıca, her bir binanın göreceli kat ötelemesi, yerdeğiştirme ve kat kesme kuvveti açısından performansları da incelenmektedir. Bu çalışmada iki katta X şeklinde BEÇÇ konfigürasyonu ele alınmıştır.

Tezin amacı, 20 katlı betonarme çerçeve, perde duvarlı ve BEÇÇ çerçeve binaların tasarımını yapmak, yapı elemanları için gerekli malzeme metrajlarını (beton-kalıp-donatı) belirleyip karşılaştırmak ve yapılar arasındaki farkları ortaya koymaktır. Ayrıca, bu yapıların yapısal davranışlarını karşılaştırarak farkların belirlenmesi de hedeflenmiştir.

Bölüm 1'de çalışmanın temel amacı ve genel yapısını tanıtılmıştır. Ayrıca, depreme dayanıklı yapı tasarımının önemi ve bu konudaki perde duvarlı ile BEÇÇ'lerin tanıtılması ve kullanımının gerekliliği üzerine odaklanılmıştır.

Bölüm 2'de BEÇÇ'ler ile ilgili mevcut literatürde yapılan çalışmalar ele almaktadır. Bu bölümde, BEÇÇ'lerin yapısal mühendislikte kullanımına dair yapılmış araştırmalar, gelişmeler ve bu teknolojinin avantajları incelenmiştir.

Bölüm 3'te çalışmanın metodolojisi kapsamlı bir şekilde açıklanmakta ve kullanılan veriler ile uygulanan yöntemler ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Araştırma için seçilen temeller ve analiz yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır, böylece çalışmanın bilimsel yaklaşımı ve geçerliliği vurgulanmıştır.

Bölüm 4'te çalışmada elde edilen sayısal veriler sunulmaktadır. Yapılan modelleme ve analizler sonucunda ortaya çıkan veriler, grafikler ve tablolar aracılığıyla detaylandırılmış ve bu bulguların anlamı ile önemi tartışılmıştır.

Bölüm 5'te çalışmanın sonuçlarına dayanarak yapılan değerlendirmeleri içermektedir. Bu bölümde, elde edilen sayısal verilerin ve sonuçların geniş çerçevede ne anlama geldiği, bu bulguların yapısal mühendislik pratiğine ve deprem mühendisliği alanına olan potansiyel katkıları değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. BEÇÇ ile İlgili Yapılmış Araştırmalar

BEÇÇ yapı elemanlarına yönelik geçmişten günümüze birçok çalışma yapılmıştır. Asya'da, özellikle Japonya'da, çeşitli konfigürasyonlara sahip BEÇÇ'lerin araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. BEÇÇ üzerine yapılan çalışmalar, 1970'lerin başlarında, binaların deprem gibi yatay yüklere karşı daha dayanıklı olması için Japonya'da başlamıştır. BEÇÇ'ler Japonya'dan farklı ülkelere yayıldı ve 1990'ların sonlarına doğru Amerika Birleşik Devletleri ve diğer deprem riski taşıyan bölgelerde benimsendi. Araştırmacılar ve mühendisler, BEÇÇ'lerin tasarımlarını, malzemelerini ve üretim süreçlerini sürekli olarak iyileştirerek, dünya genelinde sismik güçlendirme ve yeni yapılar için geniş bir kullanım alanı sağlamışlardır. Bu genişleme, BEÇÇ'lerin yapıların sismik direncini artırmada etkili olduğunu doğrulayan sayısız çalışma ile desteklenmiş ve bu da çeşitli yapı kodları ve standartlarında entegrasyonlarını teşvik etmiştir. BEÇÇ ile ilgili yapılan araştırmalardan ve çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

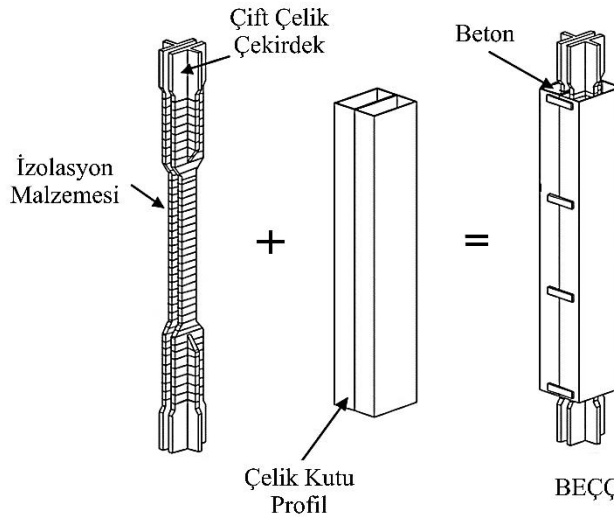
BEÇÇ'lere ait ilk çalışmalardan birisi Yashino ve Karino (1971) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, çelik yapı elemanlarının burkulma sorununu çözmek amacıyla, çelik elemanların betonla kaplanması ve bu yolla çelik ile beton arasındaki gerilme geçişlerinin engellenmesi hedeflenmiştir. Tasarlanan sistemde, çelik elemanların yalnızca eksenel yükleri taşıması, beton kaplamanın ise burkulmayı önleyerek çelik elemanlara destek sağlaması öngörülmüştür. Yashino ve Karino'nun deneyleri, çelik elemanların betonla çevrelenmesi sayesinde burkulmaya karşı korunduğunu ve simetrik davranış sergilediğini ortaya koymuştur. Böylece, eksenel yüklere karşı daha yüksek bir dayanıklılık sağlanmıştır. Bu araştırma, BEÇÇ'lerin sismik dayanımlı yapı tasarımında önemli bir adım olarak kabul edilmesine yol açmıştır.

Yapı mühendisliği alanında önemli bir ilerleme olarak, Watanabe vd. (1988) tarafından yapılan araştırmada, yüksek istemler altında burkulma riskini azaltırken hem rijitlik hem de akma dayanımını artırmayı amaçlayan çelik çerçeve yapılar için yenilikçi bir burkulma dirençli BEÇÇ tasarımını gerçekleştirilmiştir. Bu yenilikçi eleman, bir beton dolgulu kare çelik tüp içine yerleştirilmiş çelik çekirdek elemandan oluşmakta olup, deprem gibi yatay yüklere karşı yapısal bütünlüğü sürdürmede üstün performans göstermektedir. Bu çalışmada yapılan çekme ve basınç testleri ile sayısal analizler aracılığıyla, BEÇÇ'lerin etkinliği, çekirdek elemanın akma yükü çelik kutu profil burkulma yükünün altında tutulması koşuluyla sağlandığını göstermiştir; bu da binayı sabit tutarak yapısal hasarları önlemektedir. Bu çalışmaya göre, gerçek tasarımlar yapılırken, çekirdek elemanın akma yükünün yaklaşık olarak 1.5 katı Euler yüküne sahip bir çelik boru profil ile kaplanması gerekmektedir. Ayrıca, çelik borudaki beton, borunun eğilme rijitliğine de katkıda bulunur. Bu bilgi, sadece depremlere değil aynı zamanda yüksek rüzgâr basınçlarına karşı da yapısal bütünlükten ödün vermeden dayanabilen daha güvenli ve daha dayanıklı binalar yapılmasında önemlidir.

Tremblay (1999) tarafından yapılan çalışmada, burkulması engellenmiş çelik çapraz elemanlara sahip çerçeve sisteminin tam ölçekli yarı statik testi ve doğrusal

olmayan dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çaprazlar, çelik bir borunun içine yerleştirilmiş ve harçla doldurulmuş çelik levhalardan yapılmıştır. Çelik levha ile harç arasındaki sürtünmeyi önlemek için özel önlemler alınmış ve boru profil, çelik levhanın aksenal akma direncini aşacak şekilde burkulma kapasitesine göre boyutlandırılmıştır. Sistem, Quebec City'deki dört katlı bir binanın depreme karşı güçlendirilmesinde uygulanmak üzere incelenmiştir. Test edilen çaprazlı çerçevenin ölçülen tepkisi, yüksek enerji dağıtma kapasitesi ve etkili gerinim sertleşmesi ile oldukça stabil olduğu gözlemlenmiştir. Analiz sonuçları, önerilen sistemle binanın yeterli sismik performansı sağlanabileceğini göstermektedir.

Tsai ve Lai (2004) çalışmalarına göre son yıllarda, National Taiwan University (NTU)'da BEÇÇ'ler üzerine çeşitli izolasyon malzemelerinin etkinliğini, çapraz-köşebent bağlantı detaylarını, analitik modelleri ve tasarım prosedürlerini incelemek amacıyla deneysel ve analitik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. 50'den fazla numune üzerinde gerçekleştirilen testler, çift çelik çekirdek içeren çift boru profil ve iç dolgu beton kullanılarak önerilen BEÇÇ sistemlerinin elastik olmayan döngüsel eksen tersine çevirme koşullarını istikrarlı bir şekilde sürdürebileceğini doğrulamaktadır.

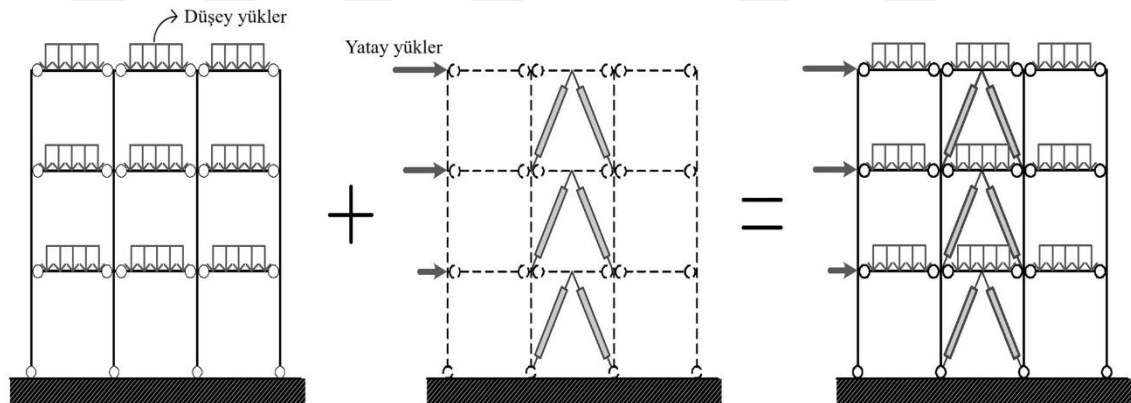


Şekil 2.1. Çift çelik çekirdek içeren çift boru profil BEÇÇ sistemi (Tsai ve Lai 2004)

Çift çekirdekli BEÇÇ'ler, geleneksel çift-T bağlantılarının köşebent plakalarıyla birleşme noktalarındaki bağlantısına benzer şekilde, köşebent plakalarına kolaylıkla bağlanabilmektedirler (Şekil 2.1). Deneyler, BEÇÇ bileşenlerinin döngüsel testlerini ve büyük ölçekli, tek açıklıklı V şeklindeki BEÇÇ sistemlerinin testlerini içermektedir. Test sonuçları, 2 mm kalınlığındaki silikon kauçuk levhaların, BEÇÇ'lerin döngüsel yüksek basınç ve çekme kuvvetleri arasındaki farkı minimize etmede etkili olduğunu göstermektedir. Üç V-şekilli BEÇÇ testi, çelik çekirdeğin gerilme gereksinimlerinin, kat öteleme gereksinimlerinden geometrik hesaplamalar ve elastik olmayan çekirdek uzunluk oranının dahil edilmesiyle yeterli derecede öngörülebileceğini doğrulamaktadır. Deney

sonuçları, büyük kat ötelenmelerinde çekme çaprazındaki çekme gerilmesinin, basınç çaprazındaki basınç gerilmesinden her zaman daha büyük olduğunu ortaya koymaktadır. Tsai ve Lai tarafından yapılan çalışma, tüm metalik BEÇÇ tasarımlarını, BEÇÇ hasar tespitleri için tahribatsız değerlendirme tekniklerini ve Tayvan'da NCREE'de gerçekleştirilen Tayvan-ABD-Japonya işbirliği araştırma projesi kapsamında, tam ölçekli 3 katlı, 3 açıklıklı BEÇÇ kompozit çerçevesine uygulanan dinamik benzeri testleri incelemektedir.

Kim ve Choi (2004) tarafından yapılan araştırmada, elik yapıların BE ile basitleştirilmiş bir deprem tasarım prosedürü, enerji denge kavramı ve eşit enerji varsayımına dayanarak önerilmiştir. Giriş deprem enerjisi, bir tasarım spektrumundan tahmin edilmiş ve elastik ile histeretik enerjileri enerji denge kavramı kullanılarak hesaplanmıştır. elik apraz elemanların boyutları, histeretik enerji talebinin BE'lerden sönümlenen histeretik enerjiye eşit olacak şekilde belirlenmiştir. BE'li çok katlı yapıların deprem ve histeretik enerji talebini tahmin etmek için eşdeğer tek serbestlik derecesi sistemlerin kullanımının geçerliliği, Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi analizleri aracılığıyla araştırılmıştır. Ayrıca, kat bazında histeretik enerji taleplerinin dağılım konfigürasyonu da elde edilmiş ve tasarım sürecinde uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, önerilen prosedüre uygun olarak tasarlanan 3 katlı yapının maksimum yerdeğiştirmeleri, güvenli tarafta hedef yer değiştirmelerle genel olarak uyurmkaktadır. Ancak, 6 ve 8 katlı yapıların maksimum yerdeğiştirmeleri, daha yüksek titreşim modlarının katılımı nedeniyle hedef değerlerden biraz daha küçük çıkmıştır.



Şekil 2.2. Menteşeli bağlantılara sahip BEÇÇ’li çerçevenin şematik gösterimi (Chung 2004)

Qiang (2005) tarafından yapılan araştırmada, BEÇÇ'lerin çeşitleri incelenmiş ve bu sistemlerin genel özellikleri sunulmuştur. BEÇÇ'ler hem basınç hem de çekme kuvveti altında benzer yük-deformasyon davranışını gösterebilmesi ve rijitlik ile mukavemetin kolayca ayarlanabilmesi sayesinde yüksek enerji sönümleme kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. Çelik çekirdek ile boru profil arasındaki boşluk ve izolasyon işlemleri, BEÇÇ'lerde daralma payı ve sınırlayıcı paneller ile çevreleyen çerçeveler arasındaki gerekli açıklıklar gibi önemli parametreler ele alınmıştır. Çelik çekirdeklerin başlangıç

deformasyonlarına dayanarak, çelik çekirdeğin burkulmasını engellemek için kaplama-izolasyon elemanının hem rijitlik hem de mukavemet gereksinimleri belirlenmiştir. Hem yeni yüksek katlı çelik binalar için hem de mevcut binaların sismik güçlendirilmesi için BEÇÇ kullanımı büyük bir potansiyel olduğu görülmüştür.

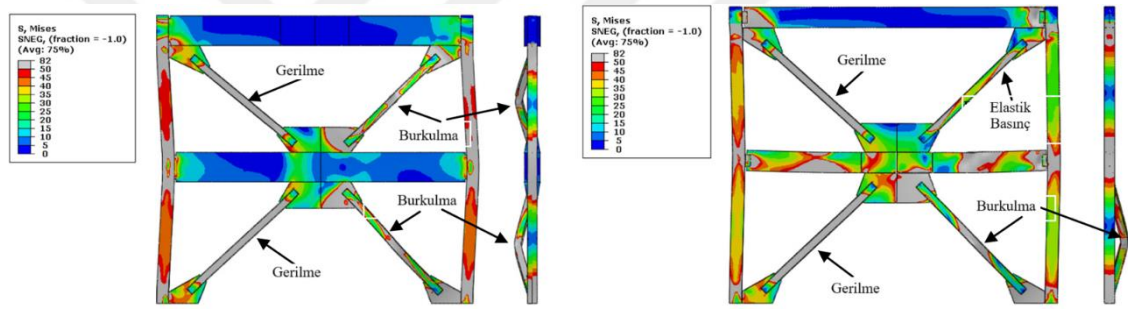
Andrews (2009) tarafından yapılan araştırmaya göre, BEÇÇ'ler son zamanlarda Amerika Birleşik Devletleri'nde sismik yatay kuvvetlere dirençli sistemlerin birincil elemanları olarak kullanılmak üzere popüler hale gelmiştir. BEÇÇ uygulamaları için tasarım kılavuzları geliştirilmiş olmasına rağmen, performansı değerlendirmek ve güvenilirliğini ölçmek için sistematik prosedürlere hâlâ ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Bu makale, BEÇÇ'lerin sismik yüklere maruz kaldığında güvenilirliğini değerlendirmek için analitik bir çerçeve tasarımı sunmaktadır. Bu tasarım, BEÇÇ çekirdeğinin düşük döngüsel dayanıklılığını yitirmesi nedeniyle BEÇÇ hasar riskini etkili bir şekilde belirlemektedir. Prosedür şu bileşenlerden oluşmaktadır: (1) stokastik dinamik analizler aracılığıyla oluşturulan BEÇÇ çekirdek deformasyon geçmişleri açısından BEÇÇ gereksinim ölçmek; (2) deneysel bir veri tabanına dayalı olarak bir BEÇÇ'nin sınır durumunu, kalan kümülatif plastik şekil değiştirme kapasitesi açısından ölçmek ve (3) yapısal güvenilirlik analizleri yoluyla BEÇÇ hasar-kopma olasılığını değerlendirmek. BEÇÇ'li binalarda sismik yükün etkisi ve BEÇÇ'lerin kopma olasılığı araştırmak için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, önerilen sistem için kırılma eğrileri (yani yer sarsıntısı parametrelerine dayalı BEÇÇ kopmasının koşullu olasılıkları) oluşturulmuştur.

Özçelik vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, depreme karşı kusurlu betonarme yapıların performansını artırmak amacıyla iki farklı güçlendirme metodu dinamik benzeri test yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu yöntemler yapıya ters V şeklinde yerleştirilmiş çelik çapraz elemanlarının kullanılması ile yapının iç kısımlarına geleneksel çelik çerçeve yerleştirilmesidir. Dinamik benzeri deney yöntemi ile gerçek bir deprem kaydının kullanıldığı bu deneylerin sonuçlarına göre, çelik çaprazlar ters V şeklinde bağlandığı binalarda yatay ötelenmelerin çelik çaprazlar tarafından oldukça sınırlandırıldığı ve iç çelik çerçeve kullanılan binalarda yapıların sünekliğinin arttığı görülmüştür.

Özkan (2013) tarafından yapılan çalışmada, BEÇÇ elemanlarının tanımlanması, tarihsel gelişimi, çalışma prensipleri ve bu elemanların yapı tasarımlarındaki Amerikan yönetmeliklerine uygun kullanımı ele alınmıştır. Ayrıca, BEÇÇ'ler şekillerle açıklanarak, genel tanımları yapılmış ve bu elemanların genel elastik olmayan davranışı detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Çalışma BEÇÇ'lerle ilgili tasarım esaslarına uygun bir yapı tasarımını içermektedir. Çalışmada çelik çekirdeğin başlık alanları arttırıldıkça yapının maksimum kat ötelemelerinin arttığı, başlık alanının azalması durumunda ise yapının maksimum kat ötelemelerinin azaldığı gözlenmiştir. Daha uzun başlığa ve daha kısa akma uzunluğuna sahip bir BEÇÇ sistemin daha rijit olduğu tespit edilmiştir.

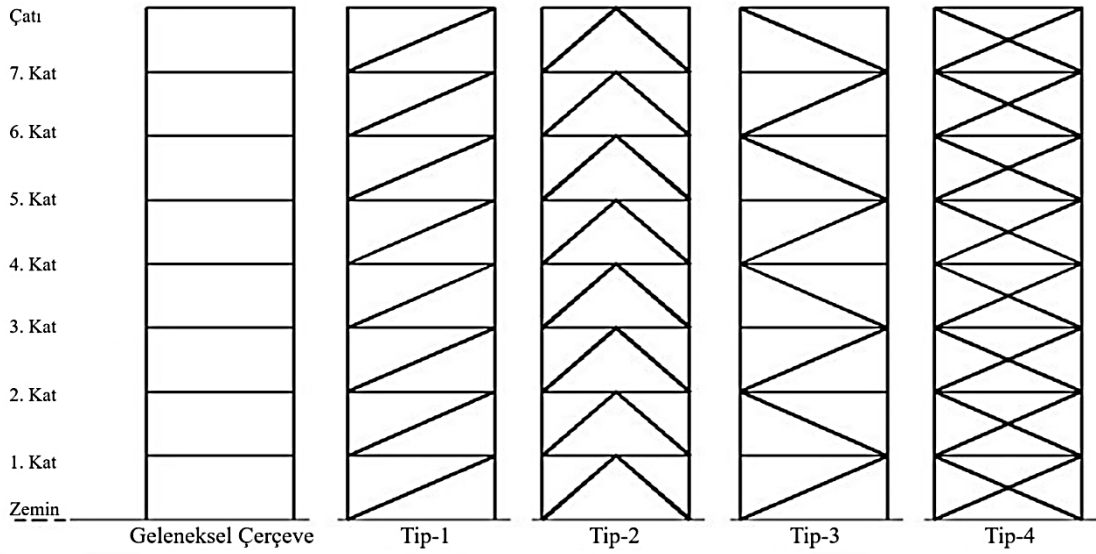
Shen vd. (2015) tarafından yapılan çalışma, iki katta X-çaprazlı çerçevelerde çaprazların kesiştiği kirişlerdeki gerçek mekanizmaları ve sismik yükleme paternlerini incelemeye amaçlamaktadır. Ayrıca, bu kirişlerin akma davranışının çaprazlar ve bağlantılar gibi kritik bileşenler üzerindeki etkilerini tartışmaktadır. Öncelikle, farklı yükseklik ve tasarım varsayımlarına sahip çeşitli X-çaprazlı çerçevelerin sismik tepkisi sunularak, zayıf ve güçlü kirişler üzerindeki gerçek mekanizmalar ve sismik yük

paternleri gözlemlenmiştir. Daha sonra, X-çaprazlı çerçevelerin sismik tepkisinde gözlemlenen mekanizmaları anlamaya yardımcı olmak için sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan simülasyonlar sunulmuştur. Çalışma şu sonuçlara ulaşmıştır: (1) AISC 341 tarafından öngörülen çok katlı konsantrik çaprazlı çerçevelerde birinci mod mekanizması nadir bir durumdur ve bu durum, X-çaprazlı çerçevelerde çaprazların kesiştiği kirişlerde önemli ölçüde elastik olmayan deformasyonlara yol açan hafif kesitlere neden olur; (2) çaprazların kesiştiği kirişin akması, mekanizmayı çeşitli şekillerde değiştirir ve bu da kirişteki elastik olmayan deformasyonu daha da artırır; (3) kiriş orta açıklığında meydana gelen düşey elastik olmayan yer değiştirme, çaprazlar, köşebent plakaları ve kiriş-kolon bağlantıları üzerinde mevcut tasarım uygulamalarında dikkate alınmayan önemli ölçüde ek süneklik talebine neden olur; ve (4) çaprazların kesiştiği kirişlerin elastik olmayan deformasyonu, toplam enerji talebinin X-çaprazlı çerçevenin bileşenleri arasında yeniden dağılımına yol açarak, çaprazlar ve köşebent plakaları gibi kopma eğilimli bileşenler üzerindeki talebi olumsuz şekilde artırır.



Şekil 2.3. Yatay yükler altında modellerin gerilme dağılımı ve deformasyon şekli (gerilme birimi: ksi) (Shen vd. 2015)

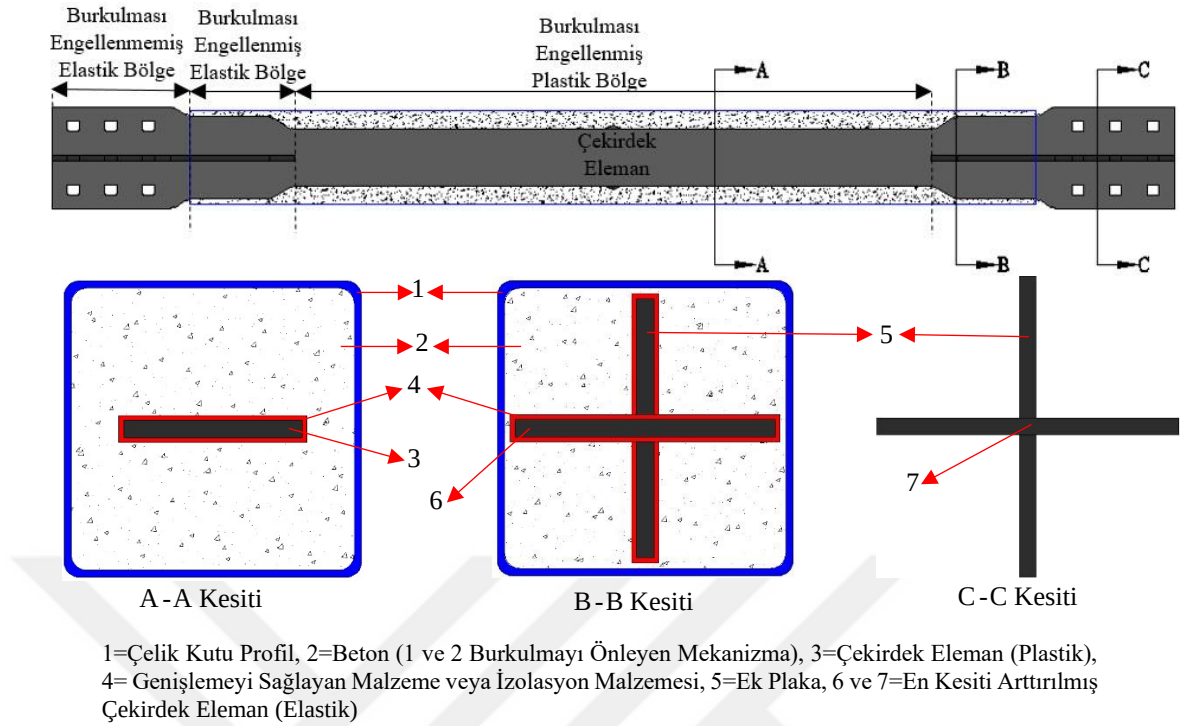
Goli vd. (2017) tarafından yapılan araştırmaya göre, birçok binanın deprem sırasında yatay dayanım eksikliği nedeniyle yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Bu sorunu çözmek için BEÇÇ sistemleri hem yeni projelerde hem de güçlendirme çalışmalarında birincil yatay kuvvet taşıyıcı elemanları olarak kullanılmıştır. Çalışmada, farklı çapraz düzenlerinin tasarımı, analizi ve karşılaştırması yapılmıştır. Yapının davranışını analiz etmek ve yerdeğiştirme, kat kuvvetleri, diyafram yer değiştirmesi, kat rijitliği ve kat ivmesi gibi parametreleri karşılaştırmak için bina modeli üzerinde geleneksel çerçeve ve BEÇÇ'li durumlar incelenmiştir. Bu analitik çalışmanın sonucunda, yapıya BEÇÇ eklenmesinin yatay kuvvetleri etkin karşıladığı ve incelenen beş farklı konfigürasyon arasında, Tip-4'ün en yüksek yatay yüklere karşı en iyi dayanım sunduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, çapraz düzeni seçimi, sismik bölge, fonksiyonel gereksinimler ve tahmini maliyete bağlı olarak değişiklik gösterebileceği belirtilmiştir.



Şekil 2.4. Farklı BEÇÇ konfigürasyon

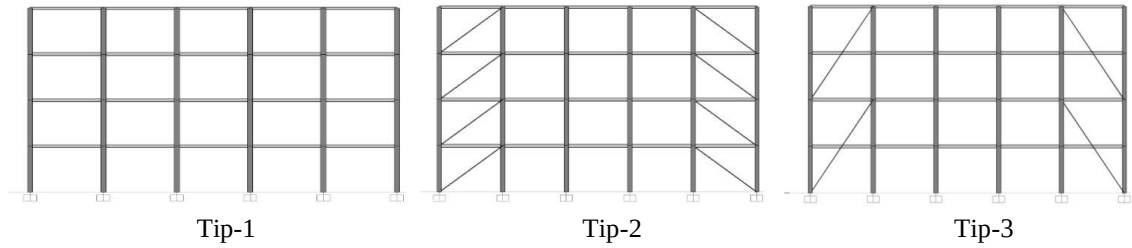
Özçelik vd. (2017) yaptığı çalışmada, yeni tip kutu profilli (KP) BEÇÇ’ler üzerine deneysel bir araştırma sunmuştur. Araştırma, beton dolgulu çelik borular, sade beton, Lifli polimer (FRP) ile sarılmış beton, donatılı beton ve çok parçalı basınç çubuğu benzeri kesitler içeren on adet BEÇÇ’nin ters çevrimli yükleme altında testlerini kapsamaktadır. Bu testler, çekirdek eleman (ÇE) deformasyonu %2.0’ye ulaşana kadar gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen çalışmadaki yenilikler, çekirdek elemanın bağlantısız kısmında her iki uçta ek uç plakalar eklenmesi, izolasyon materyalinin kullanılması ve daha ekonomik bir kutu profilin kullanılmasıdır. Yeni uç plakalar, birbirine kaynaklı boş çelik bölümler ve çelik plakalardan oluşmuş ve kutu profiline bağlanmıştır. BEÇÇ testleri, BEÇÇ’lerin ters çevrimli yükler altında performansının çekirdek eleman deformasyonu %2’ye ulaşınca kadar yeterli olduğunu göstermiştir. Çalışmadaki bulgular, inşaat mühendisliği alanında sismik yükler altında yapısal performansı artırmak ve yapısal hasarı minimize etmek için BEÇÇ tasarımlarının optimizasyonuna yönelik kritik veriler sunmaktadır.



Şekil 2.5. Karakteristik BEÇÇ eleman detayı (Özçelik vd. 2017)

Doran vd. (2018) tarafında yapılan çalışmada, az ve orta katlı yapılarda BEÇÇ elemanlarının kullanımıyla elde edilen yapılara ait yapısal performans incelenmiştir. 4 katlı ve 8 katlı yapılar üzerine uygulanan farklı çerçeve sistemleri Şekil 2.2’de gösterildiği gibi Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 olarak, 3 boyutlu doğrusal olmayan statik analizler aracılığıyla değerlendirilmiştir. Araştırmanın bulgularına göre, 4 katlı yapılar için Tip-2 çerçeve sistemi, Tip-1’e kıyasla %36 oranında daha az maksimum yerdeğiştirme değeri sağlarken, Tip-3 sistemi bu oranı %40’a çıkarmıştır. Bu elemanların kolonlara bağlandığı noktalarda ise eksenel yüklerde önemli artışlar gözlemlenmiştir. 8 katlı yapı modellerinde ise Tip-2 çerçeve sistemi, Tip-1 çerçeve sistemine göre %26 daha az maksimum yerdeğiştirmeye değeri gözlemlenmiştir, ancak her iki yapı modeli arasında kolonlardaki eksenel kuvvetler benzer düzeyde kalmıştır. Doran’ın çalışmasında BEÇÇ elemanlarıyla güçlendirilmiş yapıların, yerdeğiştirmeler açısından yeterli performans sergilediği; ancak, elemanların bağlandığı kolonlarda hasar riskinin arttığı ve bu bölgelerde süneklik davranışını artırmaya yönelik ilave önlemler alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. BEÇÇ elemanların kullanımıyla ilgili yapılan bu değerlendirmeler, yapısal güçlendirme tekniklerinin etkinliği ve güvenilirliği açısından önemli bilgiler sunmaktadır.



Şekil 2.6. Tip 1: Yalın çerçeve sistem, Tip 2: Tek kat yüksekliğinde BEÇÇ, Tip 3: Çift kat yüksekliğinde BEÇÇ (Doran vd. 2018)

Toru (2018) tarafından yazılan makalede, BEÇÇ araştırma ve geliştirme çalışmalarının erken tarihçesi ve kararlı histeretik davranış elde etmek için BEÇÇ tasarımında gereken unsurların güncel görüşleri kısaca özetlenmiştir.

Watanabe (2018) tarafından yapılan çalışmada, sismik bölgelerde yer alan yüksek binalarda kullanılan BEÇÇ'ler incelenmiştir. Bu çalışma, BEÇÇ bileşimlerinin türlerini özetlemiş ve iki özel uygulama örneği sunmuştur. İlk durumda, BEÇÇ elemanları, yüksek bir binada sabit döngüsel doğrusal olmayan histeretik davranış sağlamak ve kolonlar, bağlantılar ve duvarlarda oluşan kuvvetleri sınırlamak amacıyla kullanılmıştır. İkinci durumda ise, Japonya'daki bir iletişim kulesinin güçlendirme çalışmasında yetersiz kapasiteye sahip elemanlar BEÇÇ'ler ile değiştirilmiştir. BEÇÇ'lerin enerji sönmüleyiciler olarak ana taşıyıcı sistemi koruduğu ve bu sayede binaların deprem hasarını azaltmaya yardımcı olduğu vurgulanmıştır. BEÇÇ'lerin kullanımı, Dayanıma Göre Tasarımı (DGT) sürecini basitleştirmekte ve yapı elemanlar ve bağlantı kuvvetleri üzerinde tahmin edilebilir sınırlar sağlamaktadır. Bu nedenle, BEÇÇ'lerin depremden kaynaklanan hasarı azaltmak için daha yaygın bir şekilde kullanılacağı öngörülmektedir.

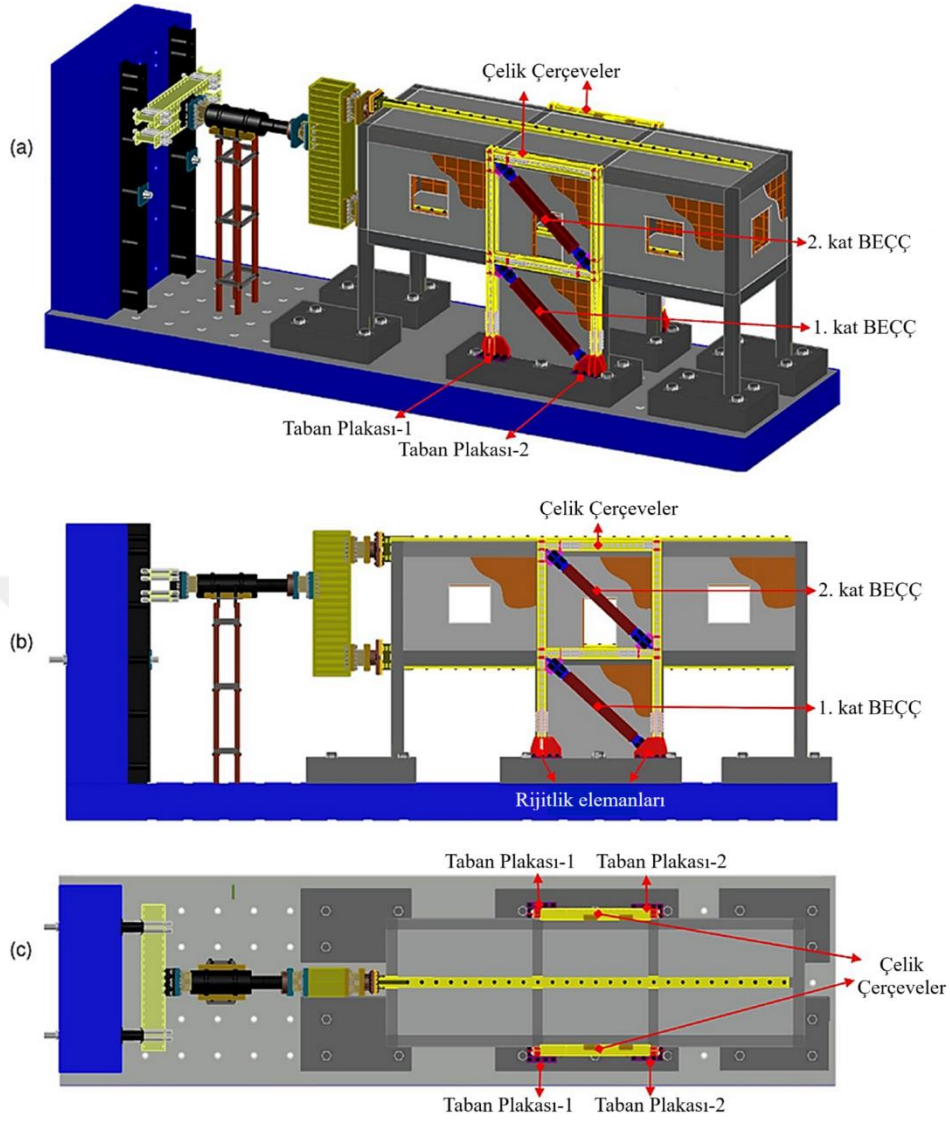
Karataş ve Çelik (2019) tarafında yapılan çalışmada, Türkiye'deki olanaklar kullanılarak tasarlanmış ve üretilmiş olan, farklı kalitedeki çelik çekirdekli ve boru profilli BEÇÇ'ler, ters çevirimli tekrarlı yükler altında deneysel olarak incelenmiştir. Araştırma, malzeme özellikleri ve deneyleri detaylı bir şekilde ele alarak, benzer kalitedeki çeliklerden yapılmış 5 farklı BEÇÇ üzerinde yoğunlaşmıştır. Bahsedilen çalışma, BEÇÇ'lerin histeretik davranışları ve yapısal dayanıklılıkları değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, üretilen BEÇÇ'lerde herhangi bir global burkulma problemi yaşanmadığını göstermiştir. Deneyler sırasında yapılan deformasyon ölçümleri, bayrak plakalarının ve diğer yapısal elemanların elastik kaldığını göstermiş, böylece çekirdeğin yalnızca belirli bölgelerde akma gösterdiğini ortaya koymuştur.

Özçelik vd (2020) tarafından yapılan çalışma precast betonlu BEÇÇ'ler üzerine odaklanmaktadır. Yedi adet BEÇÇ, ön dökümlü beton modüller (ÖBM) içeren BEÇÇ sistemi test edilmiştir. ÖBM'ler, ahşap veya çelik kalıplara dökülen sade ve donatılı betondan oluşmakta ve ardından cıvatalar aracılığıyla çekirdek eleman (ÇE) üzerinde birleştirilmiştir. Her bir BEÇÇ için ÇE üzerinde 14 veya 18 ÖBM bulunmaktadır. ÖBM tekniği, BEÇÇ'in çelik veya betonarme yapıların içinde inşa edilebileceğini göstermiştir. Bu sistemin güçlendirme uygulamaları sırasında uygulamaları hızlı ve pratik

olabilmektedir. Test sonuçları, BEÇÇ'in histeretik performansının bağlantı dayanımı ve ÖBM'lerin kapasiteleri-rijitliği ile belirlendiğini göstermiştir. FRP'li ÖBM'lere sahip BEÇÇ'lerin, ÇE'nin %2.0'lik bir birim şekil değiştirmeye kadar kararlı histeretik performans sergilediği görülmüştür. Bu, ÖBM'li yeni tasarlanmış BEÇÇ'in çevrimsel performans açısından kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu çalışmada geliştirilmiş BEÇÇ tasarımı için bağlantı detayları, izolasyon malzemeleri ve bunların uygulama teknikleri de araştırılmıştır.

Haidar ve Lee (2021) tarafından yapılan çalışma, inşaat sektöründe tanıtılan BEÇÇ ve zamanla geliştirilen kendi kendini merkezleyen BEÇÇ'ler (KKM-BEÇÇ) üzerine odaklanmaktadır. KKM-BEÇÇ, sismik etkiler sonrasında yapı performansını iyileştiren, yüksek enerji sönümleme kapasitesine sahip bir sistemdir. Bu çalışma, BEÇÇ ve KKM-BEÇÇ'lerin tasarımını incelemekte, kendini merkezleyen bileşenlerinin önemini ve bu konudaki literatürü ele almaktadır. Ayrıca, BEÇÇ ve KKM-BEÇÇ'lerin çoğunlukla korozyona duyarlı karbon çeliğinden yapıldığı için, korozyon dirençli malzemelerin kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Özellikle kıyı bölgelerinde korozyonun yol açtığı sorunlar göz önüne alındığında, karbon çeliğine alternatif olarak paslanmaz çelik, alüminyum alaşımları veya Elyaf Takviyeli Polimer (ETP) kompozitlerinin kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Ancak, bu malzemelerle ilgili araştırmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, korozyon dirençli malzemeler kullanılarak dayanıklı ve hafif BEÇÇ ve KKM-BEÇÇ sistemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Erdil vd. (2023) tarafında yapılan çalışmada, kusurlu betonarme yapıların deprem performansını artırmak için BEÇÇ kullanılarak yapılan deneysel ve sayısal analizler incelenmiştir. Bu çalışmada, ½ ölçekli, üç boyutlu, iki katlı ve yetersiz donatılı betonarme yapı örneklerine, ters çevrimli statik çevrimsel yüklemeler uygulanmış ve bu yapılar BEÇÇ sistemleri ile güçlendirilmiştir. BEÇÇ sistemleri, yatay yükleri betonarme yapıdan alarak, yeni inşa edilen temellerle mevcut temellere bağlanan bağlantı çubukları aracılığıyla taşımıştır. Deney sonuçları, mevcut kusurlu betonarme binaların BEÇÇ ile güçlendirilmesiyle yapısal betonarme elemanlar elastik bölgedeyken veya sınırlı plastikleşme durumunda, BEÇÇ'lerin enerji sönümleme ve yük taşıma özelliği ile yatay yükleri başarılı şekilde taşıyabileceğini göstermiştir. Bu güçlendirme sayesinde, yapılar yatay yükler ve üzerlerindeki sabit yüklere karşı daha etkili bir dayanıklılık göstermiştir. Sonuç olarak, BEÇÇ sistemleri, düşük ve orta katlı binaların güçlendirilmesinde etkin, hızlı ve maliyet-etkin bir yöntem olduğu görülmüştür.



Şekil 2.7. BEÇÇ ile güçlendirilmiş test numunesi. (a) 3-boyutlu görünüm (b) yandan görünüm (c) üstten görünüm (Erdil vd. 2023)

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Bu tez kapsamında, betonarme çerçeveli, betonarme perde duvarlı ve BEÇÇ'li çerçeve olmak üzere 20 katlı betonarme yapılar analiz edilmiştir. Söz konusu yapıların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne 2018 (TBDY 2018) göre tasarımları yapılmış ve beton, donatı ve kalıp bakımından metrajları hesaplanmıştır. Analizler statik proje hesapları için kullanılan ETABS programı ile gerçekleştirilmiştir. BEÇÇ'li yapının çelik elemanları, AISC standardına göre ETABS programı ile tasarlanmıştır. Üç modelde de kullanılan beton ve donatı miktarları hesaplanarak, hangi modelin daha az beton, kalıp ve donatıya sahip olduğu karşılaştırılmış ve ekonomik kriterler belirlenmiştir.

Deprem yer hareketleri ile ilgili veriler, yapıların tasarımlarında dikkate alınan konuma göre Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) tanımlamaları kullanılarak <https://tdth.afad.gov.tr/> web sitesinden elde edilmiştir.

3.2. Deprem etkisinde binaların tasarımı ve değerlendirilmesine ilişkin kurallar

Bu tez kapsamında Bingöl ili Karlıova ilçesinde yer alan 20 katlı konut betonarme yapıların yeni tasarımı incelenmiştir. Çalışma, 20 katlı konut binasının yeni tasarımını inceleyerek detaylı bir analiz sunmaktadır. Yapıların kat yüksekliği 3 metre olup, toplam bina yüksekliği 60 metredir. Yapıların bina yükseklik sınıfı (BYS) 2 olarak belirlenmiştir. Söz konusu yapının yapılacağı lokasyondan elde edilen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} değeri 2.333'tür ($S_{DS}=2.333$).

Yapı tasarımlarında TBDY 2018 kullanılmıştır. Bina önem katsayısı, $I=1$ ve bina kullanım sınıfı $BKS=3$ olarak belirlenmiştir. Deprem yer hareketi spektrumları ve deprem düzeyleri TBDY 2018'deki Bölüm 2'ye göre belirlenmiştir. Deprem tasarım sınıfları, TBDY 2018'in Bölüm 3'ünde belirtilen Bina Kullanım Sınıfları ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yönetmenlikte tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısına bağlı olarak belirlenmiştir. Binalar, deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak Bina Yükseklik Sınıfları'na (BYS) göre sekiz kategoriye ayrılmıştır. Bu sınıflara giren binalar için tanımlanan yükseklik aralıkları Deprem Tasarım Sınıfları'na bağlı olarak belirlenmektedir. TBDY 2018 Bölüm 14'e göre deprem etkisi altında taşıyıcı sistemlerin Dayanıma Göre Tasarımı (DGT) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Yapıların tasarımı ve analizlerinin yapılması için deprem etkisi ile tasarım ve değerlendirme için genel esaslar aşağıda verilmiştir.

3.2.1 Deprem Etkisi

3.2.1.1. Yer Hareketi Deprem Düzeyleri Tanımlanması

Deprem yönetmeliğinin ikinci bölümü, 2.2 maddesinde toplamda dört farklı deprem yer hareketi düzeyi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

a) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda bir %2 olasılıkla aşılması ve buna karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu son derece seyrek bir deprem yer hareketini tanımlar. Bu olay, değerlendirilen en büyük deprem yer hareketi olarak da anılmaktadır.

b) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

DD-2 Deprem Yer Hareketi, 50 yıl içinde %10 olasılıkla aşılabilen spektral büyüklükleri ve buna karşılık gelen tekrarlanma periyodunu 475 yıl olan seyrek bir deprem yer hareketini temsil etmektedir. Bu özel yer hareketi, aynı zamanda standart tasarım deprem yer hareketi olarak da bilinmektedir.

c) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda %50 olasılıkla aşılma ihtimaline sahip olduğu ve bu depremin tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

d) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yıl içinde aşılma olasılığının %68 olduğu bir olaydır. Ayrıca, bu tür bir depremin 30 yıl içinde en az bir kez meydana gelme olasılığı %50'dir. Bu belirli deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır ve tekrarlanma periyodu 43 yıldır.

3.2.1.2. Deprem Yer Hareketi Spektrumları

Deprem yer hareketi spektrumları, %5 sönüm oranına göre belirlenmiş belirli bir deprem yer hareketi düzeyine dayanarak, yerel zemin etkilerini ve harita spektral ivme katsayılarını dikkate alarak veya sahanın özelliklerine özgü deprem değerlendirmeleri ile ifade edilmektedir. Zemin sınıfına göre (ZF sınıfına girenler için) özel deprem değerlendirmeleri yapılmaktadır.

3.2.1.3. Tasarım ve Harita Spektral İvme Katsayıları

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları, yönetmelikte belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için boyutsuz harita spektral ivme katsayılarını tanımlamaktadır.

- S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
- S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı

Tanımlanan harita spektral ivme katsayıları, S_S ve S_1 , aşağıdaki formül kullanılarak tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} 'e dönüştürülür:

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (3.2)$$

Yukarıdaki Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'de gösterilen F_s ve F_1 ifadeleri, yerel zemin etki katsayılarını temsil etmektedir. Bu katsayılar aşağıda Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de belirtilmiştir. Tablolardaki spektral ivme katsayılarının ara değerleri için doğrusal enterpolasyon uygulanabilmektedir.

Çizelge 3.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı</i> F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır</i>					

Çizelge 3.2. 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı</i> F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır</i>					

3.2.1.4. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

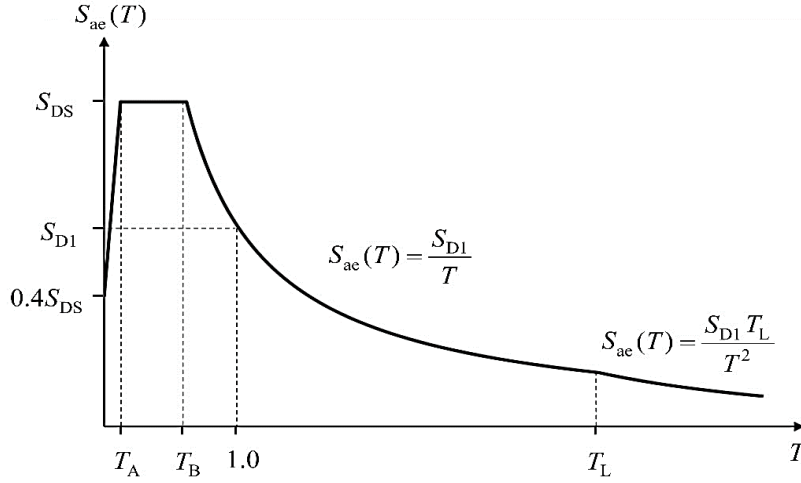
Herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için dikkate alınan yatay elastik tasarım ivme spektrumu, yerçekimi ivmesi (g) cinsinden ifade edilen $S_{ae}(T)$ doğal titreşim periyoduna bağlı olarak tanımlanmıştır. Bu tanım, yatay elastik tasarım spektral ivmelerini TBDY 2018'e göre aşağıda belirtilen formüller ile tanımlamaktadır.

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & 0 \leq T \leq T_A \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & T_A \leq T \leq T_B \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & T_B \leq T \leq T_L \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & T_L \leq T
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Denklemdaki S_{DS} ve S_{D1} , tasarım spektral ivme katsayılarını göstermektedir. T ise doğal titreşim periyodunu tanımlamaktadır. T_A ve T_B ise Denklem (3.4) ile ifade edilmektedir.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_L = 6s \quad (3.4)$$

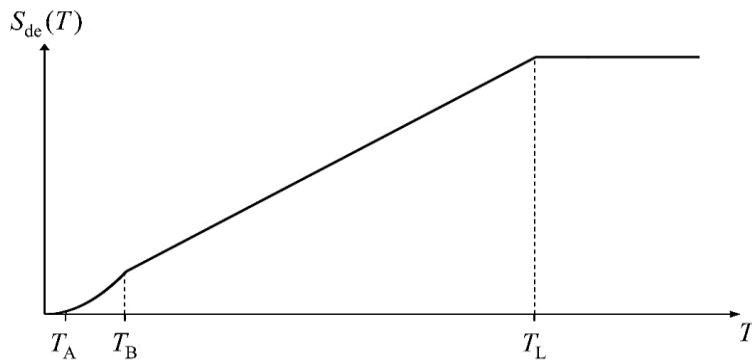
Sabit yerdeğiştirme bölgesine doğru geçiş periyodu T_L değeri 6 s alınmaktadır.



Şekil 3.1. Yatay elastik tasarım ivme spektrum grafiği (TBDY 2018)

Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumunun ordinatları, herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre cinsinden ifade edilen $S_{de}(T)$ değerleriyle belirlenir. Bu değerler Denklem (3.5) kullanılarak tanımlanmış olup, Şekil 3.2’de grafiksel olarak sunulmuştur.

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (3.5)$$



Şekil 3.2. Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri yer değiştirme grafiği (TBDY 2018)

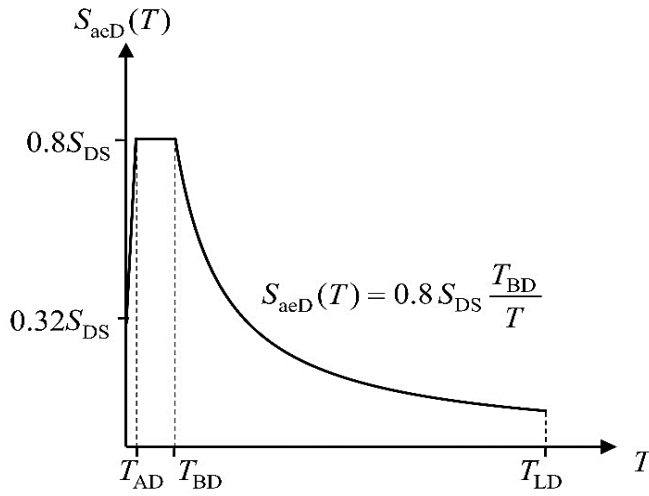
3.2.1.5. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Şekil 3.3'te gösterilen düşey elastik tasarım spektrum grafiğinin ordinatını gösteren $S_{aeD}(T)$, yani tasarım spektral ivmesi, yatay deprem S_{DS} değerine bağlı olarak T 'ye göre tanımlanmıştır (Denklem 3.6).

$$\begin{aligned} S_{aeD}(T) &= \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} & 0 \leq T \leq T_{AD} \\ S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} & T_{AD} \leq T \leq T_{BD} \\ S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} & T_{BD} \leq T \leq T_{LD} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)'da yer alan T_{AD} ve T_{BD} düşey spektrum köşe periyotları ile T_{LD} periyodu Denklem (3.7)'de verilmiştir.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad T_{LD} = \frac{T_L}{3} \quad (3.7)$$



Şekil 3.3. Düşeyde elastik tasarım ivme spektrumunun grafiği (TBDY 2018)

3.2.2. Tasarım ve Değerlendirme İçin Genel Esaslar

Binanın performans hedeflerinin belirlenmesi ve tasarım yaklaşımlarının saptanması süreci, TBDY 2018'in 3. bölümünde 4 adımda gerçekleştirilir.

İlk adımda, TBDY 2018'de binaların kullanım amaçlarına bağlı olarak belirlenen bina kullanım sınıfları (BKS) tanımlanmakta ve bu sınıflara bağlı olarak Bina Önem Katsayıları Çizelge 3.3'te gösterildiği gibi belirtilmektedir.

Çizelge 3.3. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (<i>I</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

İkinci adımda, belirlenen BKS'ye bağlı olarak DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS}) değerleri kullanılarak TBDY 2018'in Bölüm 3 Tablo 3.2'deki Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) değerleri belirlenir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Deprem tasarım sınıfları (TBDY 2018)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Üçüncü adımda, deprem tasarım sınıfı belirlenmiş olan binanın yüksekliğine (H_N) bağlı olarak Bina Yükseklik Sınıfları (BYS) TBDY 2018’de bulunan Tablo 3.3 kullanılarak belirlenir (Çizelge 3.5). Deprem hesabı bakımından bina yüksekliği H_N tanımlanan bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanır. Binaların tasarımında deprem etkisi göz önüne alındığında, binaların yükseklikleri sekiz farklı Bina Yükseklik Sınıfı’na (BYS) ayrılmıştır.

Çizelge 3.5. Bina yükseklik sınıfları ve yükseklik aralıkları (TBDY 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	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Son olarak, TBDY 2018’in 3. bölümünde yer alan Tablo 3.4.a, 3.4.b ve 3.4.c’ye göre tasarım yaklaşımları ve performans hedefleri belirlenmiştir. $BYS \geq 2$ ve yeni yapılacak yüksek binalar için, yönetmelikte belirtilen Tablo 3.4.a uygun bulunmaktadır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Performans hedefleri ve tasarım yaklaşımlar/yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar ($BYS \geq 2$) (TBDY 2018)

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

3.3. Dayanıma göre değerlendirme ve tasarımı için hesap esasları

Dayanıma Göre Tasarım (DGT), deprem etkisi altındaki binaların tasarımında kullanılan iki temel yaklaşımdan biridir ve TBDY 2018 Bölüm 4'e göre tanımlanmaktadır. Bu tasarım yaklaşımında, doğrusal hesap yönteminin prensipleri açıklanmaktadır. Deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımında kullanılan bu iki temel yöntemden biri olan Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı içerisinde şu önemli kavram bulunmaktadır:

(a) Belirli bir performans hedefi için öngörülen taşıyıcı sistemin süneklik kapasitesine karşılık gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenir.

(b) Taşıyıcı sistemin, azaltılmış deprem yükleri altında doğrusal deprem hesabı yapılır. Bu hesap sonucunda elde edilen eleman azaltılmış iç kuvvetleri, gerekli durumlarda dayanım fazlalığı da göz önüne alınarak, diğer yüklerden kaynaklanan iç kuvvetlerle birleştirilir ve dayanım talepleri elde edilir.

(c) Eleman dayanım talepleri, belirlenen performans hedefine ulaşmak için gerekli olan eleman iç kuvvet kapasiteleri (dayanım kapasiteleri) ile karşılaştırılır.

(d) Deprem hesaplarından elde edilen göreceli kat ötelemeleri belirlenen sınır değerlerle karşılaştırılır.

(e) Tasarım tamamlandığında, dayanım taleplerinin dayanım kapasitelerinin altında olduğu ve aynı zamanda göreceli kat ötelemelerinin belirlenen sınırların altında olduğu gösterilir. Aksi durumda, eleman kesitleri değiştirilir ve hesaplar tekrarlanarak sonuca ulaşılır.

3.3.1. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Dayanıma Göre Tasarım kapsamında, doğrusal elastik deprem yüklerinin azaltılmasına yönelik olarak kullanılan deprem yüğü azaltma katsayısı, TBDY 2018'de $R_a(T)$ olarak ifade edilen değerler Denklem (3.8) ve Denklem (3.9)'da belirtilmiştir.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (3.8)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.9)$$

Burada R ve D yönetmenlikte tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ile Dayanım Fazlalığı Katsayısı gösterir. I ise Bina Önem Katsayısı, T ise sistemin doğal titreşim periyodunu ve T_B ise tanımlanan spektrum köşe periyodu'nu göstermektedir.

3.3.2. Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (R ve D) Belirlenmesi

R ve D katsayıları, bina yükseklik sınıflarına göre belirlenmiş olup, bu değerler TBDY 2018'e göre Çizelge 3.7'de sunulmuştur.

Çizelge 3.7. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı (TBDY 2018)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. Yerinde dökme betonarme bina taşıyıcı sistemleri			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 2$
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	2.5	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	–
A2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler			
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 4$
A22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	$BYS \geq 4$

Çizelge 3.7'nin devamı

A23. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 6$
A24. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	$BYS \geq 6$
A3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler			
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	$BYS \geq 7$
A32. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$
A33. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$

3.3.3. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi

TBDY 2018'in 4. Bölümüne göre, mod birleştirme ve eşdeğer deprem yükü hesap yöntemlerinde belirlenmesi gereken azaltılmış yatay doğrultu deprem yükleri için kullanılacak olan azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$, Denklem (3.10)'da ifade edilmektedir.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.10)$$

Burada $S_{ae}(T)$, 3.2.1'de tanımlanan DD-2 deprem yer hareketi için Denklem (3.3) ile belirlenen yatay elastik tasarım spektral ivmesi'ni, $R_a(T)$ ise Denklem (3.8) ile tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı'nı göstermektedir. Deprem etkisi altında taşıyıcı sistem için yapılan deprem hesabı, yatayda X ve Y doğrultularında tanımlanan depremlerin etkilerini Denklem (3.11)'de belirtilen şekilde birleştirecektir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (3.11)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$$

Denklem (3.11)'daki $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$, herhangi bir kesitte birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki depremlerin etkisi altında yönetmenliğe göre tanımlanan ve ayrı ayrı hesaplanan deprem etkilerini, $E_d^{(H)}$ ise doğrultu birleştirilmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi'ni simgelemektedir.

DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a sınıflandırması yapılan binalarda, düşey deprem hesabı, bu binalardaki elemanların yerel düşey titreşim modlarına dayanarak gerçekleştirilmektedir. Bu elemanlar için hesaplama, Denklem (3.6)'da tanımlanan düşey elastik ivme spektrumu'na uygun mod birleştirme yönteminden belirtilen yöntemle yapılacaktır. Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, tüm taşıyıcı sistemler için $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınarak hesaplanmaktadır.

Binaların taşıyıcı sistemleri, belirli özelliklere sahip olan kirişleri, konsolları, kolonları veya eğimli kolonları içeren özel durumları kapsamaktadır. Ancak, bu özel durumların dışındaki taşıyıcı sistem kısımları ve belirli bir tanımın dışındaki binalar için düşey deprem etkisi, özel bir hesaplama gereksizdir, Denklem (3.12) kullanılarak yaklaşık bir şekilde hesaplanacaktır.

$$E_d^{(Z)} \approx \left(\frac{2}{3}\right) S_{DS} G \quad (3.12)$$

Burada G sabit yük etkisini, S_{DS} ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı'nı göstermektedir.

Taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında önemli bir rol oynayan yük birleşimleri, deprem etkilerini içerecek şekilde aşağıda Denklem (3.13) ve Denklem (3.14) ile ifade edilmiştir.

$$G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.13)$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.14)$$

Burada Q hareketli yük etkisini, S kar yükü etkisini, H ise yatay zemin itkisini simgelemektedir. Yatay deprem etkisi $E_d^{(H)}$ Denklem (3.11)'e göre, düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ ise Denklem (3.12)'ye göre belirlenecektir.

3.4. Taşıyıcı Sistem Modelleme ve Hesap Yöntemi Seçim Koşulları

Bu bölüm taşıyıcı sistem modellemesi, doğrusal hesap yönteminin seçilmesi, betonarme taşıyıcı elemanların enkesit koşulları ve donatılandırılmasına ilişkin genel bilgiler tartışılmaktadır.

3.4.1. Taşıyıcı Sistem Modellemesi

Bina taşıyıcı sistemi, üç boyutlu bir modelleme yaklaşımıyla tasarlanmaktadır. Deprem etkisi her zaman birbirine dik olan iki yatay doğrultuda değerlendirilmektedir. Sönüm oranı ise %5 olarak kabul edilmektedir. Bina kullanım amacına bağlı olarak hareketli yük kütle katılım katsayısı (n), Çizelge 3.8 kullanılarak belirlenmektedir.

Çizelge 3.8. Hareketli yükler için kütle katılım katsayısı (TBDY 2018)

Binanın Kullanım Amacı	<i>n</i>
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

TBDY 2018 standartlarına göre, Dayanıma Göre Tasarım kapsamında betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin modellenmesinde Çizelge 3.9’da verilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmaktadır.

Çizelge 3.9. Etkin kesit rijitlikleri çarpanları (TBDY 2018)

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

3.4.2. Doğrusal Hesap Yönteminin Seçilmesi

TBDY 2018 Bölüm 4’e göre, Dayanıma Göre Tasarım (DGT) kapsamında kullanılan hesap yöntemleri “Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı” ve “Modal Hesap Yöntemi”dir. Bu tez kapsamında incelenen binaların Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) değerleri 2 olarak belirlenmiştir. Ancak, TBDY 2018’e göre bu binalar, izin verilen BYS koşulunu ($BYS \geq 4$) sağlamadıkları için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi uygulanamaz. Bu nedenle tasarımda kullanılan hesap yöntemi, modal hesap yöntemleri ile doğrusal deprem hesaplarıdır.

Deprem hesabı, modal hesap yöntemleri arasında Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak deprem spektrumuna dayalı olarak gerçekleştirilir. Her bir titreşim modundaki davranış büyüklüklerinin maksimum değerleri, belirlenen doğrultudaki deprem tasarım spektrumundan elde edilir. Eş zamanlı olmayan maksimum modal davranış büyüklükleri, istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri hesaplanır. Göz önüne alınan X deprem doğrultusundaki etkiyi ölçmek için, binanın tümüne etki eden toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), $V_{tE}^{(X)}$, Denklem (3.15) ile belirlenmiştir.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (3.15)$$

Burada $S_{aR}(T_p^{(X)})$, (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ değerinden hesaplanan Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi'ni göstermektedir. S_{DS} ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısıdır.

Deprem etkisi altındaki taşıyıcı sistemlerin analizinde kullanılan yöntemler arasında Modal Hesap Yöntemleri, deprem spektrumu ile hesaplanan Mod Birleştirme Yöntemi ve zaman tanım alanında hesaplanan Mod Toplama Yöntemi bulunmaktadır.

Eğer bir X deprem doğrultusu için $V_{tx}^{(X)} < \gamma_E V_{tE}^{(X)}$ koşulu sağlanıyorsa, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesaba dayalı mod toplama yöntemine göre uygulanan modal hesap yöntemi sonucunda elde edilen tüm azaltılmış iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri, Denklem (3.16) ile belirtilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı $\beta_{tE}^{(X)}$ ile çarpılarak artırılmaktadır.

$$\beta_{tE}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} \geq 1 \quad (3.16)$$

Burada $V_{tE}^{(X)}$ Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'ne göre hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükünü (taban kesme kuvvetini), $V_{tx}^{(X)}$ ise x doğrultusu'nda elde edilen toplam deprem yükünü göstermektedir. γ_E çarpan yönetmelikte tanımlanan belirli tür düzensizlik bulunması durumunda $\gamma_E = 0.90$ alınacaktır düzensizliği bulunmaması durumunda $\gamma_E = 0.80$ alınacaktır. Bu çalışmadaki binaların simetrik olmaları nedeniyle düzenli binalar kategorisine girmektedir. Hesaplanan $V_{t,min}$ ve $V_{tE}^{(X)}$ için γ_E değeri 0.8 olarak alınmaktadır.

Denklem (3.16)'ya göre gerçekleştirilen azaltılmış iç kuvvetlerin Eşdeğer Taban Kesme Kuvveti'ne göre büyütülmesi işlemi, yüksek binaların I. Aşama deprem hesabında Minimum Taban Kesme Kuvveti olarak tanımlanan Denklem (3.17) ile gerçekleştirilecektir.

$$V_{t,min} = 0.04 \alpha_H m_t S_{DS} g \quad (3.17)$$

Burada m_t binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi, S_{DS} DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı'nı, g yerçekimi ivmesini, α_H ise yükseklik tanımı esas alınarak bina yüksekliği H_N 'ye bağlı olarak hesaplanan katsayıyı göstermektedir.

$$\begin{aligned}
\alpha_H &= 1.0 & H_N &\leq 105m \\
\alpha_H &= 2.05 - 0.01H_N & 105m &< H_N \leq 155m \\
\alpha_H &= 0.5 & 155m &< H_N
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Denklem (3.17) ile hesaplanan $V_{t,min}$, Denklem (3.15)'te $V_{tE}^{(X)}$ yerine kullanılmış ve aynı denklemde $\gamma_E = 0.8$ alınmıştır.

X deprem doğrultusundaki herhangi bir kolon veya perde için ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını gösteren azaltılmış görelî kat ötelemesi, Denklem (3.19) kullanılarak elde edilmiştir.

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \tag{3.19}$$

Denklem (3.19)'da binanın i'inci ve (i-1)'inci katlarında yer alan herhangi bir kolon veya perdenin uçlarındaki yatay yerdeğiştirmeler, $u_i^{(X)}$ ve $u_{i-1}^{(X)}$ tipik X deprem doğrultusu için azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanmıştır.

Tipik X deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdelerin etkin görelî kat ötelemesi, $\delta_i^{(X)}$, Denklem (3.20) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \tag{3.20}$$

Her bir deprem doğrultusu için, bir binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, Denklem (3.20) kullanılarak hesaplanan $\delta_i^{(X)}$ etkin görelî kat ötelemelerinin, kat içindeki maksimum değeri olan $\delta_{i,max}^{(X)}$, aşağıdaki (a) veya (b) şartlarını karşılamalıdır.

- (a) Boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarları ile cephe elemanları, gevrek malzemeden yapılmış olup, aralarında esnek derz veya bağlantı olmaksızın tamamen bitişik bir şekilde çerçeve elemanlarına monte edildiğinde:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\kappa \tag{3.21a}$$

- (b) Esnek derzlerin kullanılması durumunda gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanları arasında, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla birleştirilmesi veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016\kappa \tag{3.21b}$$

Denklem (3.21)'de bulunan λ katsayısı, binanın belirli bir deprem doğrultusundaki ana titreşim periyodu için tanımlanan DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine olan oranını ifade eder.

Denklem (3.21)'de belirtilen κ katsayısı, betonarme binalar için $\kappa = 1$ ve çelik binalar için $\kappa = 0.5$ olarak alınır. Bu çalışmadaki binalar cephe elemanlarının çerçeve sistem elemanlarına doğrudan bitişik olduğu için Denklem (3.21a)'yı kullanarak bina betonarme olmasından dolayı κ değeri 1 olarak alınmaktadır. X deprem doğrultusunda her bir i'inci katta Denklem (3.22) kullanılarak İkinci Mertebe Gösterge Değeri $\theta_{II,i}^{(X)}$ hesaplanmıştır.

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i^{(X)} h_i} \quad (3.22)$$

Bu ifadede, $(\Delta_i^{(X)})_{ort}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerdeki azaltılmış görelî kat ötelemelerinin X deprem doğrultusunda hesaplanan ortalama değeridir ve bu değer Denklem (3.19)'a göre bulunur. Denklem (3.23)'teki koşul, tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,i}^{(X)}$ maksimum değeri olan $(\theta_{II,max}^{(X)})$ 'ı karşıladığında, tasarıma esas iç kuvvetlerin hesaplanmasında ikinci mertebe etkilerinin göz önüne alınmasına gerek kalmamaktadır.

$$\theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \quad (3.23)$$

Denklem (3.23)'te C_h taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanan bir katsayıyı göstermektedir. Betonarme binalarda $C_h = 0.5$, çelik ve kompozit kolonlu binalarda ise $C_h = 1$ alınır. Bu çalışmada kullanılan C_h değeri betonarme sistemlerde 0.5 olarak alınmıştır.

3.4.3. Betonarme Taşıyıcı Elemanlar: Enkesit Koşulları ve Donatılandırma

Betonarme yapıların tasarımı TBDY 2018'in 7. bölümüne dayanarak betonarme taşıyıcı elemanların kesit hesapları ve malzeme seçimleri için genel bilgiler sunmaktadır. Bu bilgilerin uygulanmasında TS500 tarafından belirlenen kabuller temel alınmıştır. Sonuç olarak taşıyıcı elemanların kesit koşulları ve donatılandırılması, TBDY 2018'in 7. bölümündeki yönergeler doğrultusunda TS500'de belirtilen kurallara göre hesaplanmış ve malzeme seçimleri yapılmıştır.

3.4.3.1. Enkesit Koşulları

Kolonun brüt enkesit alanı, Türk Standartları'nda belirlenmiş olan N_{dm} TS-498 standartlarına göre hesaplanır. Bu hesaplama sırasında, hareketli yükler için belirlenmiş olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alınır. Kolonun üzerine etki eden yükler, zati ağırlık (G), hareketli yükler (Q), ve depremin etkisi (E) olarak üç ana kuvveti içerir. Bu yük kombinasyonu altında, eksenel basınç kuvveti hesaplanır. Denklem (3.24)'te belirtilen koşul, bu kombinasyon altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğünün belirli bir sınıra uyması gerekmektedir.

Yani, $G+Q+E$ etkisi altındaki en büyük eksenel basınç kuvveti, belirli bir değeri geçmemelidir. Bu koşul, yapısal güvenlik ve dayanıklılık gereksinimlerini karşılamak amacıyla yapılan bir tasarım kontrolüdür. Ayrıca dikdörtgen kesitli kolonlarda minimum enkesit boyutu 300 mm'dir.

$$A_c \geq N_{dm} / (0.40 f_{ck}) \quad (3.24)$$

Perdenin boşluklar çıkarıldıktan sonra kalan net enkesit alanı, N_{dm} TS-498’de hareketli yükler için tanımlanmış olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alacak şekilde, G ve Q düşey yükler ve E deprem etkisinin ortak etkisi $G+Q+E$ altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere, Denklem (3.25)’te verilen koşula uygun olmalıdır. TBDY 2018 7.6.1.1 (a) maddesinde, 7.6.1.3’te belirtilen özel durumlar dışında, dikdörtgen ve U, L ve T gibi perdelerin gövde bölgesindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/16’sından ve 250 mm’den küçük olmaması gerekmektedir.

$$A_c \geq N_{dm}/(0.35f_{ck}) \quad (3.25)$$

Betonarme kiriş elemanların gövde genişliği, minimum 250 mm olmalıdır. Betonarme elemanların kiriş olarak tasarlandığı zaman, Denklem (3.26)’da belirlenen koşula uygun olmalıdır.

$$N_d \leq 0.10A_c f_{ck} \quad (3.26)$$

3.4.3.2. Betonarme Taşıyıcı Elemanların Donatılandırılması: Genel Bilgiler

TBDY 2018’e göre, kolonlarda kullanılacak boyuna donatı alanı, brüt kesit alanının %1’inden az ve %4’ünden fazla olmamalıdır. Minimum boyuna donatı çapı $\phi 14$ olarak belirlenmiştir. Kolon bindirmeleri, kolon yüksekliğinin orta 1/3’üne yapılmalıdır. Enine donatı aralıkları, bindirme boyunca 150 mm’den küçük olamaz ve kolonun en küçük enkesit uzunluğunun 1/3’ünden büyük olmalıdır. Her kolonun alt ve üst uçlarında sarılma bölgesi bulunmalıdır.

Sarılma bölgesinin uzunluğu, kolon yüksekliğinin 1/6’sından az ve kolonun en büyük enkesit uzunluğunun 1.5 katından fazla olmalıdır. Kolon orta bölgesindeki enine donatıların çapı ise minimum $\phi 8$ olmalıdır. Ayrıca, etriye aralıkları en küçük enkesit uzunluğunun yarısından fazla olmamak ve 200 mm’den büyük olmamak koşuluyla belirlenmelidir.

Kiriş mesnetlerindeki çekme bölgesinde minimum donatı oranı, TBDY 2018’de belirtilen Denklem (3.27) koşuluna göre uygulanmaktadır. Bu koşula göre, boyuna donatı çapı en az $\phi 12$ olmalıdır. Ayrıca, kiriş açıklığı boyunca kirişin altında ve üstünde sürekli bir şekilde en az 2 adet donatı çubuğu bulunmalıdır. Bu önlemler, kiriş mesnetlerinin çekme bölgesinde gerekli dayanıklılığı sağlamak amacıyla alınmaktadır.

TBDY 2018’in 7.4.2 maddesine göre, Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) 1, 1a, 2, ve 2a olan taşıyıcı sistemlerde, kiriş mesnedindeki alt donatının, aynı mesnetteki üst donatının %50’sinden daha az olmaması gerekmektedir. Bununla birlikte, diğer durumlarda bu oran %30’a kadar indirilebilmektedir. Ayrıca, açıklık ve mesnetlerdeki çekme donatısı oranının TS 500’de belirtilen maksimum değeri ve %2’yi aşmaması gerekmektedir.

$$\rho \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (3.27)$$

3.4.4. Taşıyıcı Sistem Elemanlarında Kesme Güvenliği

Kolonlarda enine donatı hesabı için kullanılan kesme kuvveti V_e , Denklem (3.28) formülüne göre hesaplanmaktadır. Bu hesaplama sürecinde, V_e 'nin değeri Denklem (3.29) ve Denklem (3.30) şartlarını yerine getirmelidir. Ancak, Denklem (3.30)'da belirtilen koşul sağlanmazsa, kesitlerde iyileştirme yapılmalıdır.

$$V_e = (M_a + M_u)/l_b \quad (3.28)$$

$$V_e \leq V_r \quad (3.29)$$

$$V_e \leq 0.85A_w\sqrt{f_{ck}} \quad (3.30)$$

3.5. Binalar hakkında genel bilgiler

Bu tez kapsamında, aynı konumda yer alan 20 katlı farklı taşıyıcı sistemlere sahip üç farklı betonarme binanın modellenmesi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 kriterlerine uygun olarak yapılmış, tasarımları gerçekleştirilmiş ve metrajları elde edilmiştir. Bu çalışmada incelenen bu binaların taşıyıcı sistemleri aşağıdaki gibidir:

- a) Betonarme Çerçeve sistem
- b) Betonarme Perde Duvarlı sistem
- c) Betonarme BEÇÇ'li Çerçeve sistem

Konut binanın kat yüksekliği 3 metre olup toplamda 60 metre yüksekliğe sahiptir. Bina, X ve Y doğrultularında simetrik ve düzenli bir şekilde 20 metre uzunluğa ve genişliğe sahiptir. TS ISO 9194-1997 Ek A ve Ek B tablolarında, inşaatlarda kullanılan malzemelerin karakteristik yoğunlukları verilmiştir. Bu tablolar yardımıyla döşemelerde uygulanan karakteristik sabit yük (G) 2 kN/m² olarak belirlenmiştir.

Döşemedeki sabit yük hesabı:

- ✓ Kaplama (mermer) = 0.02 x 27 = 0.54 kN/m²
- ✓ Tesviye (tesviye betonu) = 0.04 x 22 = 0.88 kN/m²
- ✓ Sıva (kireçli çimento harcı) = 0.03 x 20 = 0.6 kN/m²
- ✓ Toplam = 2 kN/m²

Türk Standardı TS 498'in 12. bölümüne göre, konut amaçlı kullanılan binalar için verilen düşey hareketli yükler esas alınarak, hareketli yük (Q) 2 kN/m² olarak belirlenmiştir. Bu yük değerleri, tüm binalar için aynı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, yapıların döşeme plak kalınlığı 15 cm olarak tasarlanmıştır. Binaların dış duvarlarında 24'lük tuğla, iç duvarlarda ise 8'lik tuğla kullanılmıştır. Bu yapılar, ETABS programı kullanılarak modelleme ve analiz işlemleri yapılmıştır; modeller içerisinde betonarme çerçeve, betonarme perde duvarlı sistemi ve BEÇÇ'li çerçeve sistemi bulunmaktadır. Üç yapı sistem de aynı konumda yer aldığından, tasarım için esas alınan deprem verileri ve performans hedefleri aynı değerlere dayanmaktadır. Beton olarak C25 sınıfı, donatı çeliği olarak ise S420 kullanılmıştır.

3.5.1. Binaların Bulunduğu Arazi Bilgileri ve Zemin Sınıfı

Bingöl ili, Karlıova ilçesinde bulunan üç konut binası için tasarım yapılmıştır. Şekil 3.4'te gösterilen arazi, enlem 39.29603° ve boylam 41.0116° koordinatlarına sahiptir (TDTH). Bu konumda, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları üzerinden elde edilen enlem ve boylam bilgileri kullanılarak DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde ve ZC zemin sınıfına göre analizde kullanılacak deprem verileri belirlenmiştir.



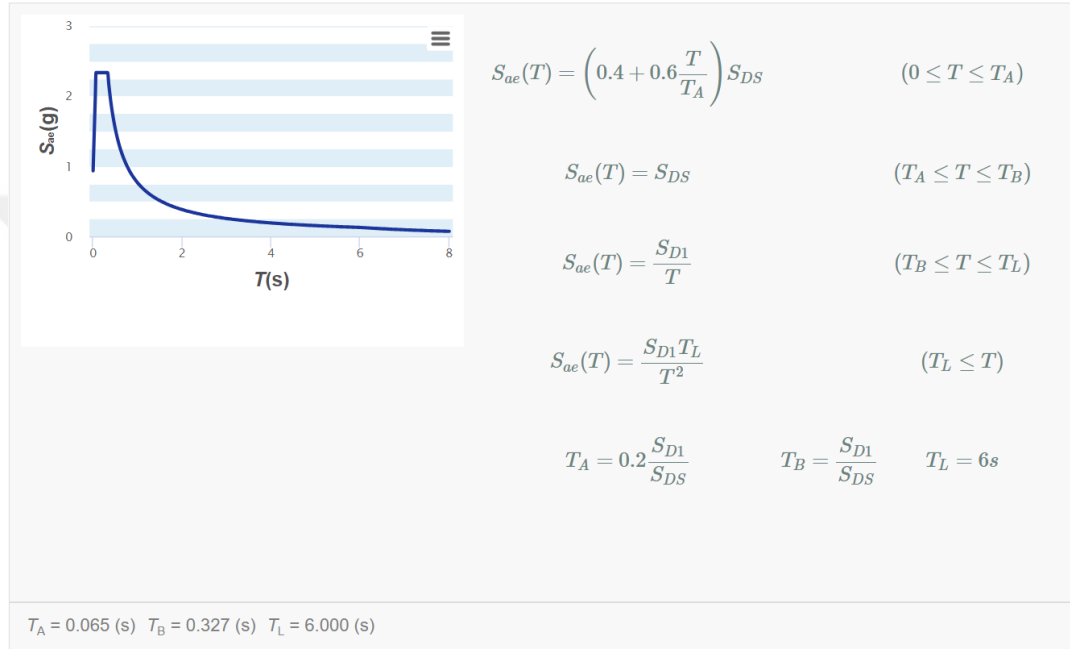
Şekil 3.4. Binaların yapılacağı konum (TDTH)

3.5.2. Binaların Performans Düzeylerinin Tayini

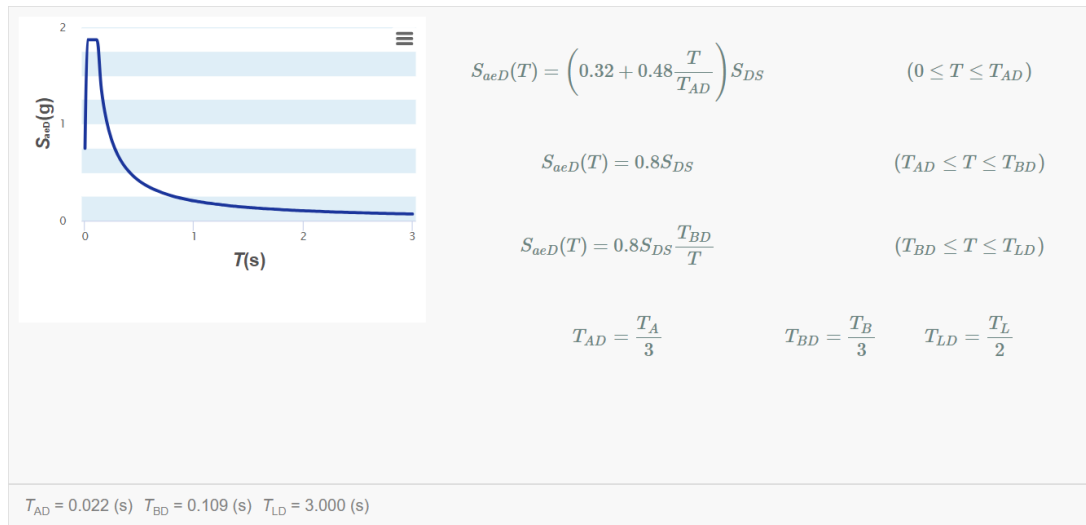
Binaların performans hedeflerini belirlemek için ilk adımda, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (TDTH) kullanılarak DD-2 deprem düzeyindeki S_s (kısa periyot) ve S_1 (1.0 saniye periyot) spektral ivme katsayıları elde edilmiştir. Zemin sınıfı ZC olarak belirlenmiş ve bu bilgiye dayanarak rapordan yerel zemin etki katsayıları olan F_s ve F_1 değerleri elde edilmiştir. Tasarım spektral ivme katsayıları olan S_{D1} ve S_{D5} değerleri, yerel zemin etki katsayıları ve spektral ivme katsayılarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama Türkiye Deprem Tehlike Haritasında (TDTH) bulunmaktadır.

$S_s = 1.944$	Yerel zemin sınıfı ZC ve $S_s = 1.944$ için $F_s = 1.200$
$S_1 = 0.513$	Yerel zemin sınıfı ZC ve $S_1 = 0.513$ için $F_1 = 1.487$
$PGA = 0.789$	$S_{DS} = S_s \times F_s = 1.944 \times 1.200 = 2.333$
$PGV = 60.171$	$S_{D1} = S_1 \times F_1 = 0.513 \times 1.487 = 0.763$

Aşağıda gösterilen Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da TDTH raporundan elde edilen yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Yatay elastik tasarım spektrumu (TDTH)



Şekil 3.6. Düşey elastik tasarım spektrumu (TDTH)

Tasarım spektral ivme katsayıları belirlendikten sonra, TBDY 2018'in 3. Bölümündeki tablolara göre performans hedefleri belirlenmektedir.

Bu tezde analiz edilen bina konut amaçlı olduğunu düşünerek Çizelge 3.3'e göre, konut amaçlı bir binanın önem katsayısı 1 ($I=1$) olarak belirlenmiştir. Bu duruma göre, Bina Kullanım Sınıfı 3 (BKS=3) olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10. Konut için BKS (TBDY 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
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

Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ($DD2-S_{DS}$) kullanılarak Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) belirlenmiştir. TDTH'den elde edilen verilere göre, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) 2.333 olarak hesaplanmış olup 0.75'ten büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca, yukarıdaki Çizelge 3.10'a göre BKS 3 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu verilere göre, DTS, TBDY 2018 yönetmenliğinden alınan Çizelge 3.4'e göre 1 olarak belirlenmiş ve aşağıda Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. Bina Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) (TBDY 2018)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Çizelge 3.11'e göre, saptanan DTS ve yapı yüksekliği temelinde BYS belirlenmiştir. DTS değeri 1 ve bina yüksekliği H_N ise 60 metredir, bu durumda Çizelge 3.5'te ilgili değerlere göre BYS 2 olarak bulunmuştur (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12. Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) (TBDY 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 = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$

Son olarak, BYS=2 değeri için Çizelge 3.6'da belirtilen deprem düzeylerine göre binanın performans hedefiyle birlikte hesapta kullanılacak tasarım stratejileri belirlenmiştir (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13. Yeni yapılacak bina tasarım yaklaşımları ve performans hedefleri (TBDY 2018)

Deprem Yer Hareket Düzeyi	DTS =1,1a, 2, 2a, 3, 3a, 4, 4a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-2	KH	DGT

Çizelge 3.13'te sunulan verilere dayanarak, konut binalarının tasarımı Kontrollü Hasar (KH) performans hedefine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu performans hedefi, binaların olası bir deprem sonrası belirli bir hasar düzeyini kontrol altında tutabilmesini ve böylece kullanılmaya devam edilebilir olmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu hedefe ulaşmak için Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı kullanılmıştır. DGT yaklaşımı, yapısal elemanların belirlenen yük ve etkilere göre yeterli dayanım sağlayacak şekilde hesaplanmasını içermektedir. Bu sayede, binaların depreme karşı dayanıklılığı artırılırken, ekonomik ve güvenli bir yapı tasarımı elde edilebilmektedir.

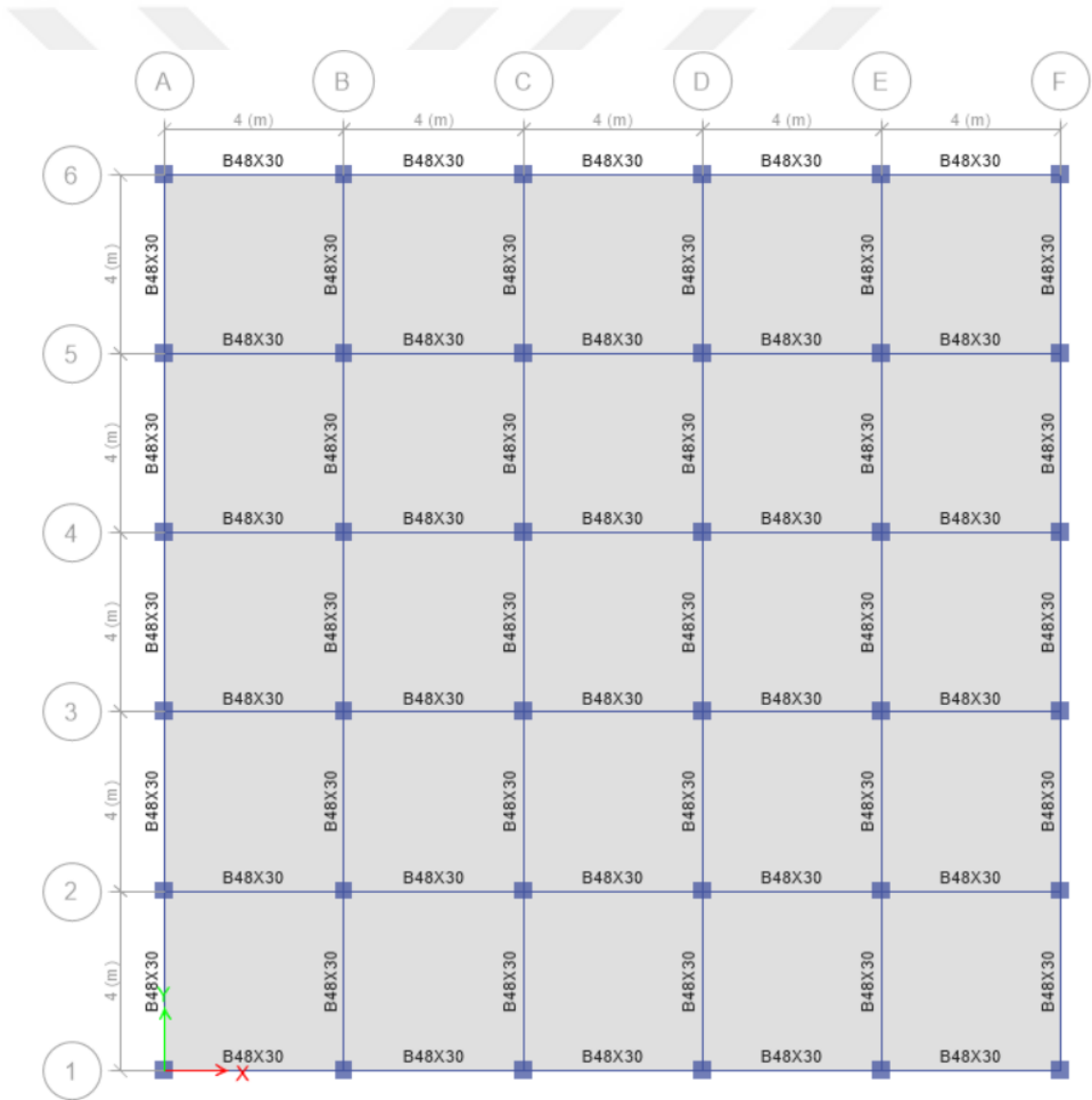
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Taşıyıcı sistem bilgileri ve binaların modellenmesi

Üç adet 20 katlı konut binası, TBDY 2018 kriterlerine uygun olarak betonarme çerçevesi, betonarme perde duvarlı ve BEÇÇ'li çerçeve sistem kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Uygun kesitleri belirlemek için doğrusal hesap yöntemleri kullanılarak minimum kesitler tercih edilmiştir. Ayrıca, ikinci mertbe etkileri ve görelî kat ötelemelerin değerlendirmeleri de yapılmıştır.

4.1.1. Betonarme Çerçeve Sistem

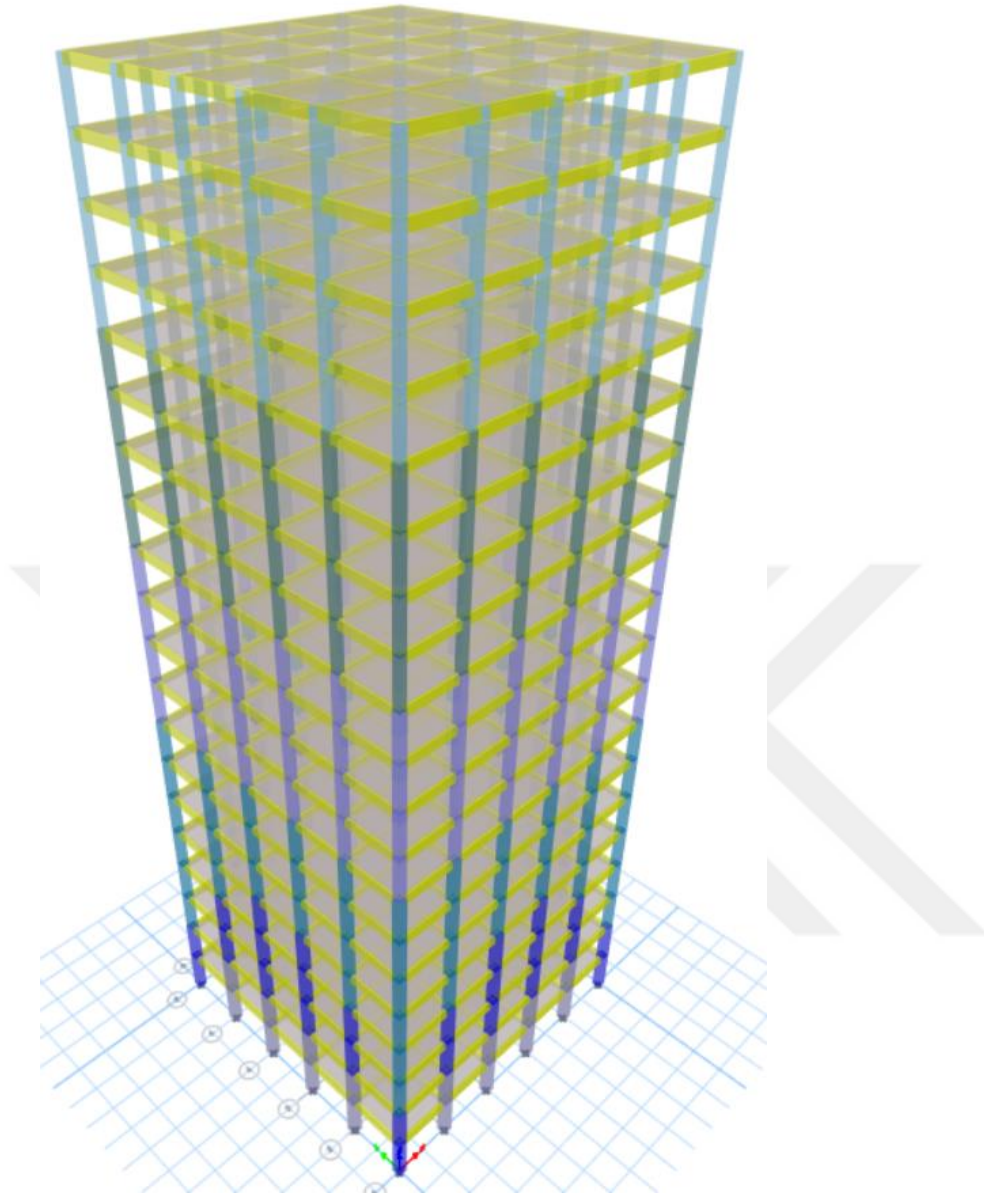
Betonarme çerçevesi taşıyıcı sistem, yalnızca kolonlar ve kirişlerden oluşmaktadır. Şekil 4.1'de, bu sistemde yer alan kolonların ve kirişlerin aplikasyon planı gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Kat aplikasyon planı (ETABS)



Şekil 4.2. Bina'nın yandan görünüşü (ETABS)



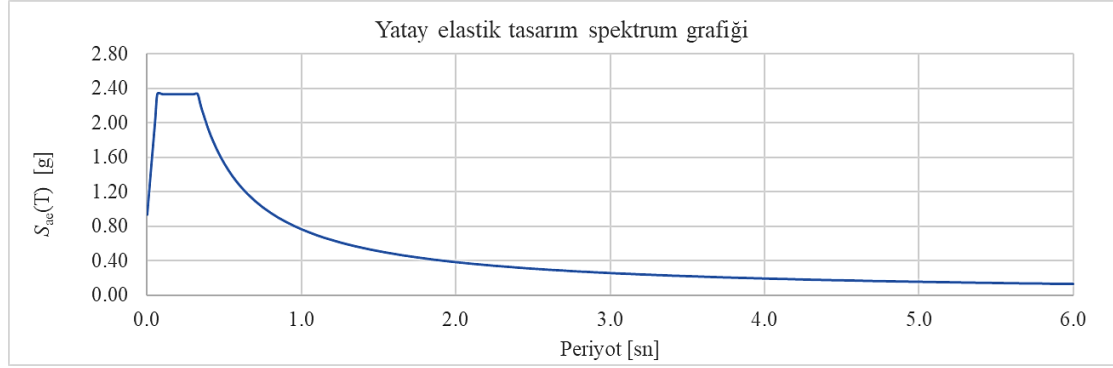
Şekil 4.3. Bina 3D görüntüsü (ETABS)

Kat planı, binanın yandan görünüşü ve 3 boyutlu modeli, Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te sırasıyla gösterilmiştir. Kirişlerin kesitleri 30cm*48cm olarak tasarlanmıştır. Binanın tasarımında, ETABS programı kullanılarak döşeme, kolonlar ve kiriş elemanları dahil edilmiştir. Tasarım sonrasında belirlenen donatı alanlarına göre binanın toplam metrajı hesaplanmıştır. Betonarme çerçeveli yapılarda kullanılan kolonların boyutları 40cm*40cm ile 75cm*75cm arasında değişmektedir. Ekonomik olması açısından yapının üst kısmında daha küçük kolonlar kullanılmış olup yapı aşağıya doğru indikçe kolon boyutları da artmaktadır. ETABS programıyla elde edilen sonuçlar, yeterli dayanım kapasitesine sahip kesitleri göstermektedir. Denklem 3.3'te belirtilen yatay elastik tasarım spektral ivme formüllere dayanarak, yerçekimi ivmesi (g) cinsinden ifade edilen yatay elastik tasarım ivme spektrumu Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

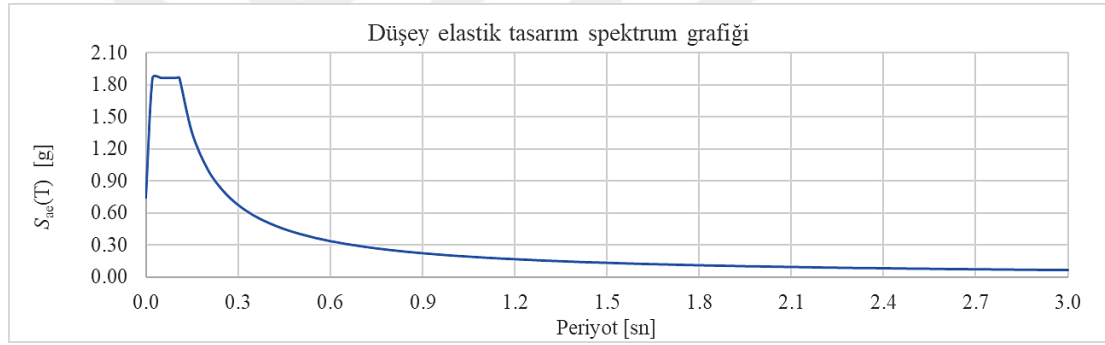
Çizelge 4.1. Yatay elastik tasarım ivmeleri

<i>T(s)</i>	<i>S_{ae}(T)</i>	<i>T(s)</i>	<i>S_{ae}(T)</i>	<i>T(s)</i>	<i>S_{ae}(T)</i>
0.000	0.933	2.000	0.381	4.100	0.186
0.050	2.003	2.050	0.372	4.150	0.184
0.065	2.333	2.100	0.363	4.200	0.182
0.100	2.333	2.150	0.355	4.250	0.179
0.150	2.333	2.200	0.347	4.300	0.177
0.200	2.333	2.250	0.339	4.350	0.175
0.250	2.333	2.300	0.332	4.400	0.173
0.300	2.333	2.350	0.325	4.450	0.171
0.327	2.333	2.400	0.318	4.500	0.170
0.350	2.180	2.450	0.311	4.550	0.168
0.400	1.907	2.500	0.305	4.600	0.166
0.450	1.695	2.550	0.299	4.650	0.164
0.500	1.526	2.600	0.293	4.700	0.162
0.550	1.387	2.650	0.288	4.750	0.161
0.600	1.271	2.700	0.283	4.800	0.159
0.650	1.174	2.750	0.277	4.850	0.157
0.700	1.090	2.800	0.272	4.900	0.156
0.750	1.017	2.850	0.268	4.950	0.154
0.800	0.954	2.900	0.263	5.000	0.153
0.850	0.897	2.950	0.259	5.050	0.151
0.900	0.848	3.000	0.254	5.100	0.150
0.950	0.803	3.050	0.250	5.150	0.148
1.000	0.763	3.100	0.246	5.200	0.147
1.050	0.727	3.150	0.242	5.250	0.145
1.100	0.693	3.200	0.238	5.300	0.144
1.150	0.663	3.250	0.235	5.350	0.143
1.200	0.636	3.300	0.231	5.400	0.141
1.250	0.610	3.350	0.228	5.450	0.140
1.300	0.587	3.400	0.224	5.500	0.139
1.350	0.565	3.450	0.221	5.550	0.137
1.400	0.545	3.500	0.218	5.600	0.136
1.450	0.526	3.550	0.215	5.650	0.135
1.500	0.509	3.600	0.212	5.700	0.134
1.550	0.492	3.650	0.209	5.750	0.133
1.600	0.477	3.700	0.206	5.800	0.132
1.650	0.462	3.750	0.203	5.850	0.130
1.700	0.449	3.800	0.201	5.900	0.129
1.750	0.436	3.850	0.198	5.950	0.128
1.800	0.424	3.900	0.196	6.000	0.127
1.850	0.412	3.950	0.193		
1.900	0.401	4.000	0.191		
1.950	0.391	4.050	0.188		

ETABS programı kullanılarak yapılan tasarım ve analiz sonuçlarına göre elde edilen veriler aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 4.4. Çerçevesi bina yatay elastik tasarım spektrum grafiği



Şekil 4.5. Çerçevesi bina düşey elastik tasarım spektrum grafiği

ETABS programından alınan binanın doğal titreşim periyodu Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Çerçevesi bina doğal titreşim periyodu (ETABS)

Case	Mode	Period (sn)
Modal	1	3.236
Modal	2	3.236
Modal	3	2.892
Modal	4	1.12
Modal	5	1.12
Modal	6	1.014
Modal	7	0.65

Case	Mode	Period (sn)
Modal	8	0.65
Modal	9	0.598
Modal	10	0.452
Modal	11	0.452
Modal	12	0.417

Çizelge 4.3, kat kütlesi ile ilgili sonuçları göstermektedir ve bu bilgiler ETABS programında yapılan tasarımdan elde edilmiştir. ETABS programından alınan bina ağırlığı kullanılarak binanın kütlesi belirlenmiş ve aşağıdaki çizelgenin son sütununda binanın toplam kütlesi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Çerçeve bina kat kütle ve ağırlığı (ETABS)

Kat	UX	UY	W _i	W _k
	kg	kg	kN	kN
Kat 20	484657.02	484657.02	4846.57	4846.57
Kat 19	512794.67	512794.67	5127.95	9974.517
Kat 18	512794.67	512794.67	5127.95	15102.46
Kat 17	514806.99	514806.99	5148.07	20250.53
Kat 16	520142.1	520142.1	5201.42	25451.95
Kat 15	523391.48	523391.48	5233.91	30685.87
Kat 14	523391.48	523391.48	5233.91	35919.78
Kat 13	525709.63	525709.63	5257.10	41176.88
Kat 12	531732.84	531732.84	5317.33	46494.21
Kat 11	537988.48	537988.48	5379.88	51874.09
Kat 10	541199.63	541199.63	5412.00	57286.09
Kat 9	544129.43	544129.43	5441.29	62727.38
Kat 8	551146.57	551146.57	5511.47	68238.85
Kat 7	556778.32	556778.32	5567.78	73806.63
Kat 6	560307.53	560307.53	5603.08	79409.71
Kat 5	563757.23	563757.23	5637.57	85047.28
Kat 4	570595.46	570595.46	5705.95	90753.24
Kat 3	576482.58	576482.58	5764.83	96518.06
Kat 2	580670.85	580670.85	5806.71	102324.8
Kat 1	589220.16	589220.16	5892.20	108217
Zemin	65752.23	65752.23	657.52	108874.5

TBDY 2018'in 4.7.1.1 ve 4.8.4 maddelerine dayanarak elde edilen Denklem (3.15) ve Denklem (3.16) ile belirlenen hesap yöntemleri kullanılarak, mod birleştirme yöntemi ile betonarme çerçeve yapının deprem etkisi altında taban kesme kuvveti ve azaltılmış iç kuvvet değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanmıştır. ETABS analiz raporunda elde edilen toplam eşdeğer deprem yükü, Çizelge 4.4'te detaylı olarak sunulmuştur. Bu çizelgede, yapı üzerine uygulanan taban kesme kuvvetinin değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Çerçeve bina eşdeğer deprem yükü hesabı (ETABS)

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	V _x (kN)
Story20	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	1587.47
Story19	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	2478.41
Story18	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	3010.81
Story17	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	3424.97
Story16	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	3830.23
Story15	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4213.63
Story14	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4547.75
Story13	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4847.14
Story12	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5133.52
Story11	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5405.78
Story10	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5673.70
Story9	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5931.36
Story8	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6203.21
Story7	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6463.35
Story6	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6707.57
Story5	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6916.27
Story4	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	7158.88
Story3	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	7455.14
Story2	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	7838.93
Story1	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	8079.49

Çizelge 4.4'te modal hesap yöntemlerinden biri ile X doğrultusu'nda ETABS programı kullanılarak elde edilen en büyük toplam deprem yükü gösterilmektedir. Çizelge 4.5'te betonarme çerçeve yapının tümüne etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) ve toplam deprem yükü gösterilmektedir. Bu veriler kullanılarak, Denklem (3.15) koşulu kontrol edilerek TBDY 2018'e göre binayı etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) hesaplanmış ve Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Bu işlem, yapının maruz kaldığı toplam deprem yükünün hesaplanması ve etkilerinin belirlenmesi sürecini ifade etmektedir.

Çizelge 4.5. Çerçeve bina taban kesme kuvveti ve toplam deprem yükü (ETABS)

Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY
			kN	kN
EX	LinStatic	Step By Step	-9902.6985	0
EY	LinStatic	Step By Step	0	-9902.6985
EQ-X	LinRespSpec	Max	8079.4873	1.1076
EQ-Y	LinRespSpec	Max	1.1076	8079.1232
EQ-Z	LinRespSpec	Max	0	0

Çizelge 4.6. Taban kesme kuvveti

EX (kN)	W _k (kN)	I	S _{ds}	Katsayı
9903	108217	1	2.333	0.04

$$V_{t,min} = 0.04 * 1 * 108217 * 2.333 = 10099kN > 9903kN$$

Denklem (3.15)'e göre 9903kN<10099kN olduğu görülmektedir; bu nedenle, 10099kN taban kesme kuvveti değeri olarak belirlenmiştir.

Denklem (3.16)'da verilen modal hesap yöntemine göre elde edilen azaltılmış iç kuvvet ve yerdeğiştirme değerleri, eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısıyla çarpılarak büyütülmelidir. Herhangi bir X deprem doğrultusu için $V_{tx}^{(X)} > \gamma_E V_{tE}^{(X)}$ koşulu sağlanmadığında, modal hesap yöntemi ile elde edilen tüm azaltılmış iç kuvvetler ve yer değiştirme büyüklükleri, Denklem (3.16) ile verilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı olan $\beta_{tE}^{(X)}$ ile çarpılarak büyütülür. Tasarımın ilk aşamalarında $\beta_{tE}^{(X)}$ değeri 1'den büyük olduğundan, taban kesme kuvveti artırılmıştır. Bu adım tekrarlanarak $\beta_{tE}^{(X)}$ değeri 1'den küçük olacak şekilde ayarlanmış ve kontrol koşulu sağlanmıştır.

Aşağıdaki Şekil 4.6'te gösterilen "Scale Factor" değeri, ETABS programında $\beta_{tE}^{(X)} < 1$ elde etmek için taban kesme kuvvetini artırmak amacıyla kullanılmıştır.

Şekil 4.6. ETABS programından ölçeklendirme (ETABS)

Sonuç olarak Denklem (3.16) ile verilen $\beta_{tE}^{(X)}$ kontrolü aşağıda Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Eşdeğer deprem kuvvetine göre büyütülme ($\beta_{tE}^{(X)}$ koşulu)

γ_E	$V_{tE}^{(X)}$ (kN)	$V_{tx}^{(X)}$ (kN)	$\beta_{tE}^{(X)}$
0.8	10098.81	8079.49	0.999945

TBDY 2018’de yer alan Tablo 3.4, binalarda planda ve düşeyde düzensizlik durumlarını belirlemektedir. A1 burulma düzensizliğinin bulunması için, birbirine dik iki deprem doğrultusundan herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranı (η_{bi}) 1.2’den büyük olmalıdır. Betonarme çerçeve binada elde edilen burulma düzensizliği katsayıları 1.2’den küçük olduğundan, A1 düzensizliğinin bulunmadığı Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Binaların planda ve düşeyde simetrik olması nedeniyle A2, A3, B1 ve B3 düzensizlikleri bulunmamaktadır. B2, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) bulunması için, birbirine dik iki deprem doğrultusundan herhangi biri için herhangi bir i’inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesiyle tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} ’nin 2.0’den küçük olması gerekmektedir. Betonarme çerçeve binada elde edilen rijitlik düzensizliği katsayılarının 2.0’den küçük olduğu ve B2 düzensizliğinin bulunmadığı Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Düzensizliklerden hiçbirinin binada bulunmaması nedeniyle yukarıdaki çizelgede γ_E değeri 0.80 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.8. Bina düzensizlik kontrolü

Kat No	A1 - Düzensizliği				B2 - Düzensizliği		
	h_i	$\Delta i\text{-max}$	$\Delta i\text{-ort}$	η_{bi}	$\Delta i\text{-ort}/h_i$	η_{ki-1}	η_{ki-2}
	(m)	(m)	(m)				
Kat 20	3	0.009	0.009	1.002	0.0029	0	0.69847
Kat 19	3	0.012	0.012	1.002	0.0041	1.432	0.83302
Kat 18	3	0.015	0.015	1.002	0.0049	1.200	0.9562
Kat 17	3	0.016	0.016	1.002	0.0052	1.046	0.95292
Kat 16	3	0.016	0.016	1.002	0.0054	1.049	0.92312
Kat 15	3	0.018	0.018	1.002	0.0059	1.083	0.93758
Kat 14	3	0.019	0.019	1.002	0.0063	1.067	0.99419
Kat 13	3	0.019	0.019	1.002	0.0063	1.006	0.98471
Kat 12	3	0.019	0.019	1.002	0.0064	1.016	0.99057
Kat 11	3	0.019	0.019	1.002	0.0065	1.010	0.96194
Kat 10	3	0.020	0.020	1.002	0.0067	1.040	0.98873
Kat 9	3	0.020	0.020	1.002	0.0068	1.011	0.98509
Kat 8	3	0.021	0.021	1.002	0.0069	1.015	0.98013
Kat 7	3	0.021	0.021	1.002	0.0070	1.020	0.98536
Kat 6	3	0.021	0.021	1.002	0.0072	1.015	0.99416
Kat 5	3	0.022	0.022	1.002	0.0072	1.006	1.02752
Kat 4	3	0.021	0.021	1.002	0.0070	0.973	1.06307
Kat 3	3	0.020	0.020	1.002	0.0066	0.941	1.24457
Kat 2	3	0.016	0.016	1.002	0.0053	0.803	1.96254
Kat 1	3	0.008	0.008	1.002	0.0027	0.510	0

Etkin görelî kat ötelemelerinin hesaplanmasında kullanılan Denklem (3.19)'a göre hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemeleri ($\Delta_i^{(X)}$), ETABS analiz raporundan elde edilmiş ve Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Azaltılmış görelî kat ötelemeleri ($\Delta_i^{(X)}$) (ETABS)

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift (mm)
Story20	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	2.519
Story19	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	3.757
Story18	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.603
Story17	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.87
Story16	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.155
Story15	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.627
Story14	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.033
Story13	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.083
Story12	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.185
Story11	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.252
Story10	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.506
Story9	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.587
Story8	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.692
Story7	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.835
Story6	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.941
Story5	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.988
Story4	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.818
Story3	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	6.44
Story2	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.204
Story1	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	2.367

TBDY 2018 standardına göre alınan Denklem (3.20) kullanılarak, etkin görelî kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$) hesaplanmıştır. Ayrıca, Denklem (3.21)'de gösterilen yönetmenliğin belirttiği sınır değerleri hesaplanıp etkin görelî kat öteleme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

$$DD-2 = 0.279795$$

$$DD-3 = 0.110744$$

$$\lambda = 0.395806$$

$$\kappa = 1$$

$$\lambda = \frac{DD - 3}{DD - 2} = \frac{0.110744}{0.279795} = 0.395806$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\kappa = 0.008 * 1 = 0.008 \rightarrow \text{Sınır}$$

Çizelge 4.10. Etkin görelî kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$)

Kat	Δ_i (mm)	Etkin görelî K.Ö $\delta_i^{(X)} = R * \Delta_i / I$ (m)	$\delta * \lambda / h_i$	Sınır	Açıklama
Kat 20	2.519	0.0080	0.0011	0.008	Güvenli
Kat 19	3.757	0.0119	0.0016	0.008	Güvenli
Kat 18	4.603	0.0146	0.0019	0.008	Güvenli
Kat 17	4.87	0.0154	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 16	5.155	0.0163	0.0022	0.008	Güvenli
Kat 15	5.627	0.0178	0.0024	0.008	Güvenli
Kat 14	6.033	0.0191	0.0025	0.008	Güvenli
Kat 13	6.083	0.0193	0.0025	0.008	Güvenli
Kat 12	6.185	0.0196	0.0026	0.008	Güvenli
Kat 11	6.252	0.0198	0.0026	0.008	Güvenli
Kat 10	6.506	0.0206	0.0027	0.008	Güvenli
Kat 9	6.587	0.0209	0.0028	0.008	Güvenli
Kat 8	6.692	0.0212	0.0028	0.008	Güvenli
Kat 7	6.835	0.0216	0.0029	0.008	Güvenli
Kat 6	6.941	0.0220	0.0029	0.008	Güvenli
Kat 5	6.988	0.0221	0.0029	0.008	Güvenli
Kat 4	6.818	0.0216	0.0028	0.008	Güvenli
Kat 3	6.44	0.0204	0.0027	0.008	Güvenli
Kat 2	5.204	0.0165	0.0022	0.008	Güvenli
Kat 1	2.367	0.0075	0.0010	0.008	Güvenli

$$0.395806 * \frac{0.022}{3} = 0.0029 \leq 0.008 \rightarrow \text{Güvenli}$$

TBDY 2018 Bölüm 4.9.2'ye göre belirlenen Denklem (3.22) kullanılarak hesaplanan ikinci mertebe etkilerinin ($\theta_{II,i}^{(X)}$) hesabında kullanılan, ortalama azaltılmış görelî kat öteleme değerleri ($(\Delta_i^{(X)})_{ort}$), ETABS analiz raporundan elde edilmiştir. Her bir kattaki ikinci mertebe gösterge değeri ($\theta_{II,i}^{(X)}$) Denklem (3.22) kullanılarak belirlenmiştir ve ardından ikinci mertebe gösterge değerlerinin en büyük olanı ($\theta_{II,max}^{(X)}$) Denklem (3.23) ile hesaplanmış ve koşulu sağlanması kontrol edilmiştir. Bu hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} R &= 8 \\ C_h &= 0.5 \\ S_{DS} &= 2.333 \end{aligned} \quad \theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} = 0.12 * \frac{3}{0.5 * 8} = 0.09$$

Çizelge 4.11. İkinci mertebe gösterge değeri $\theta_{II,i}^{(X)}$

Kat	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ (mm)	W_i (kN)	W_k (kN)	V_i (kN)	h_i (mm)	θ_{II}
Kat 20	8.638	4846.57	4846.57	1587.47	3000	0.00879
Kat 19	12.367	5127.95	9974.52	2478.41	3000	0.01659
Kat 18	14.846	5127.95	15102.46	3010.81	3000	0.02482
Kat 17	15.526	5148.07	20250.53	3424.97	3000	0.03060
Kat 16	16.293	5201.42	25451.95	3830.23	3000	0.03609
Kat 15	17.65	5233.91	30685.87	4213.63	3000	0.04285
Kat 14	18.825	5233.91	35919.78	4547.75	3000	0.04956
Kat 13	18.935	5257.10	41176.88	4847.14	3000	0.05362
Kat 12	19.229	5317.33	46494.21	5133.52	3000	0.05805
Kat 11	19.412	5379.88	51874.09	5405.78	3000	0.06209
Kat 10	20.18	5412.00	57286.09	5673.70	3000	0.06792
Kat 9	20.41	5441.29	62727.38	5931.36	3000	0.07195
Kat 8	20.719	5511.47	68238.85	6203.21	3000	0.07597
Kat 7	21.139	5567.78	73806.63	6463.35	3000	0.08046
Kat 6	21.453	5603.08	79409.71	6707.57	3000	0.08466
Kat 5	21.579	5637.57	85047.28	6916.27	3000	0.08845
Kat 4	21.001	5705.95	90753.24	7158.88	3000	0.08874
Kat 3	19.755	5764.83	96518.06	7455.14	3000	0.08525
Kat 2	15.873	5806.71	102324.77	7838.93	3000	0.06907
Kat 1	8.088	5892.20	108216.97	8079.49	3000	0.03611

İkinci mertebe gösterge değerlerinin en yüksek olan 4. kattaki değer gerekli koşulu sağlamıştır.

$$\theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \rightarrow 0.08874 \leq 0.09$$

Modelleme ve analizlerin ardından, 20 katlı bir betonarme konut binası için geleneksel çerçeve sistemini tasarımı tamamlanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına dayanarak yapılan metraj detayları aşağıda sunulmuştur. Betonarme çerçeve binanın beton ve kalıp metrajları Çizelge 4.12’de ve donatı metrajı Çizelge 4.13’te ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Çerçeve bina beton ve kalıp metrajı

BETON VE KALIP METRAJİ							
Kat	Yapı Elemanı	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)	Kat	Yapı Elemanı	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)
1	Döşeme	49.2	323.4	9	Döşeme	49.2	327.2
	Kiriş	34.56	190.08		Kiriş	34.56	198.528
	Kolon	51.6	264.864		Kolon	32.28	209.328
	1. Kat Toplam	135.36	778.344		9. Kat Toplam	116.04	735.056
2	Döşeme	49.2	324.08	10	Döşeme	49.2	327.64
	Kiriş	34.56	191.616		Kiriş	34.56	200.064
	Kolon	48.12	256.32		Kolon	29.52	200.784
	2. Kat Toplam	131.88	772.016		10. Kat Toplam	113.28	728.488
3	Döşeme	49.2	325.01	11	Döşeme	49.2	327.64
	Kiriş	34.56	192.96		Kiriş	34.56	200.064
	Kolon	44.43	245.64		Kolon	29.52	200.784
	3. Kat Toplam	128.19	763.61		11. Kat Toplam	113.28	728.488
4	Döşeme	49.2	326.97	12	Döşeme	49.2	328
	Kiriş	34.56	192.96		Kiriş	34.56	201.6
	Kolon	44.43	245.64		Kolon	27	192.24
	4. Kat Toplam	128.19	765.57		12. Kat Toplam	110.76	721.84
5	Döşeme	49.2	325.77	13	Döşeme	49.2	328.53
	Kiriş	34.56	195.264		Kiriş	34.56	202.944
	Kolon	39.81	232.824		Kolon	24.15	181.56
	5. Kat Toplam	123.57	753.858		13. Kat Toplam	107.91	713.034
6	Döşeme	49.2	326.05	14	Döşeme	49.2	328.81
	Kiriş	34.56	193.728		Kiriş	34.56	204.48
	Kolon	38.43	228.552		Kolon	21.87	173.016
	6. Kat Toplam	122.19	748.33		14. Kat Toplam	105.63	706.306
7	Döşeme	49.2	328.35	15	Döşeme	49.2	328.81
	Kiriş	34.56	196.416		Kiriş	34.56	204.48
	Kolon	36.93	224.28		Kolon	21.87	173.016
	7. Kat Toplam	120.69	749.046		15. Kat Toplam	105.63	706.306
8	Döşeme	49.2	326.57	16	Döşeme	49.2	328.81
	Kiriş	34.56	197.184		Kiriş	34.56	204.48
	Kolon	35.43	220.008		Kolon	21.87	173.016
	8. Kat Toplam	119.19	743.762		16. Kat Toplam	105.63	706.306

Çizelge 4.12'nin devamı

17	Döşeme	49.2	329.24	19	Döşeme	49.2	329.44
	Kiriş	34.56	205.824		Kiriş	34.56	207.36
	Kolon	19.32	162.336		Kolon	17.28	153.792
	17. Kat Toplam	103.08	697.4		19. Kat Toplam	101.04	690.592
18	Döşeme	49.2	329.44	20	Döşeme	49.2	329.44
	Kiriş	34.56	207.36		Kiriş	34.56	207.36
	Kolon	17.28	153.792		Kolon	17.28	153.792
	18. Kat Toplam	101.04	690.592		20. Kat Toplam	101.04	690.592
					Bina Toplam	2293.62	14589.54

Çizelge 4.13. Çerçeve bina donatı metrajı

Çerçeve Sistem Bina Donatı Metrajı	Kat	Çerçeve Bina			
	Yapı Elemanı	Döşeme (kg)	Kiriş (kg)	Kolon (kg)	Toplam (kg)
	Ø8	6412			6412
	Ø10	143463	30940	57807	232210
	Ø14		816	2132	2948
	Ø16		103585	19045	122630
	Ø18			69172	69172
	Ø20			24961	24961
	Ø22			17466	17466
	Ø25			1942	1942
	Ø26			1750	
	Ø28			8413	8413
	Ø32			11359	11359
	Toplam (kg)	149875	135341	214047	499263

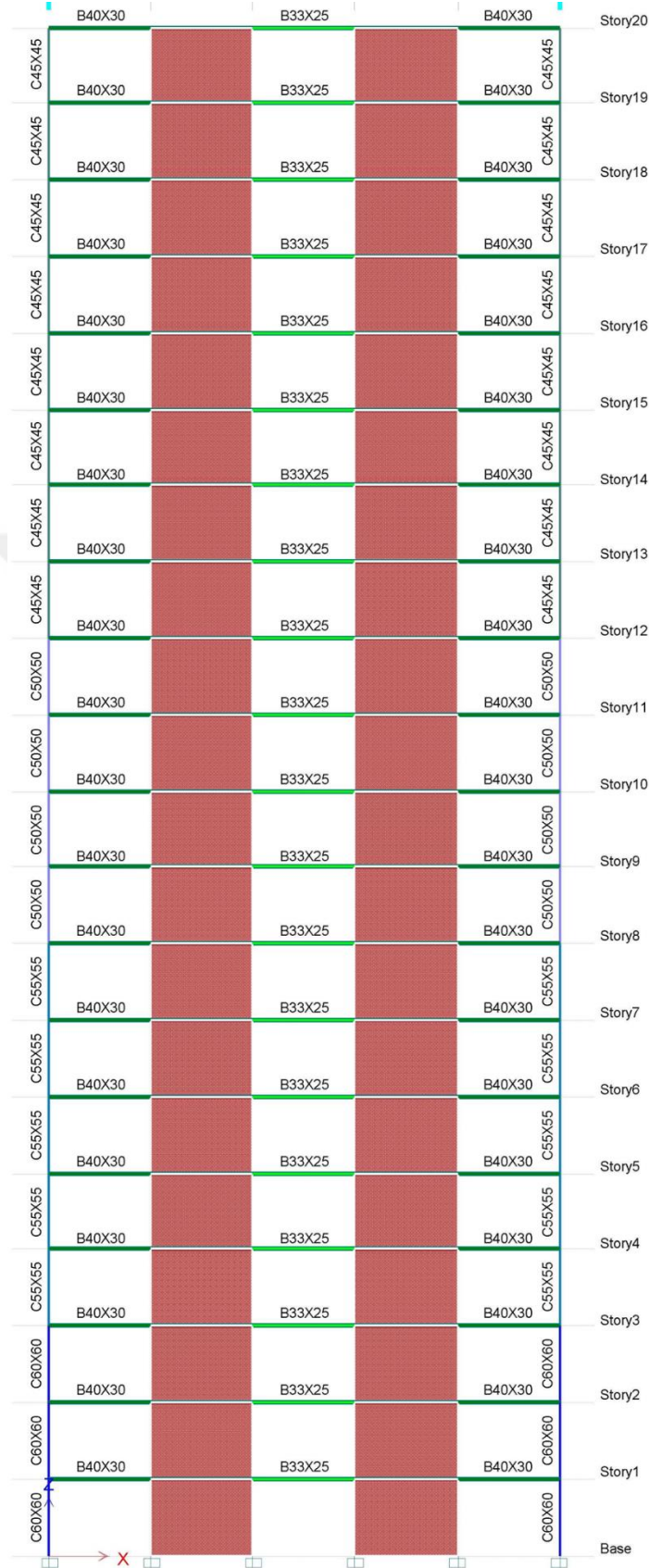
4.1.2. Betonarme Perdeli Sistem

Binanın tasarımında, ETABS programı kullanılarak kolonlar, kirişler ve perde elemanları dahil edilmiştir. Tasarım sonrasında belirlenen donatı alanlarına göre binanın toplam metrajı hesaplanmıştır. Perdeli yapılarda kullanılan kolonların boyutları 40cm*40cm ile 75cm*75cm arasında değişmektedir. Ekonomik olması açısından yapının üst kısmında daha küçük kesit kolonlar kullanılmış olup yapı aşağıya doğru indikçe kolon kesitleri de artmaktadır.

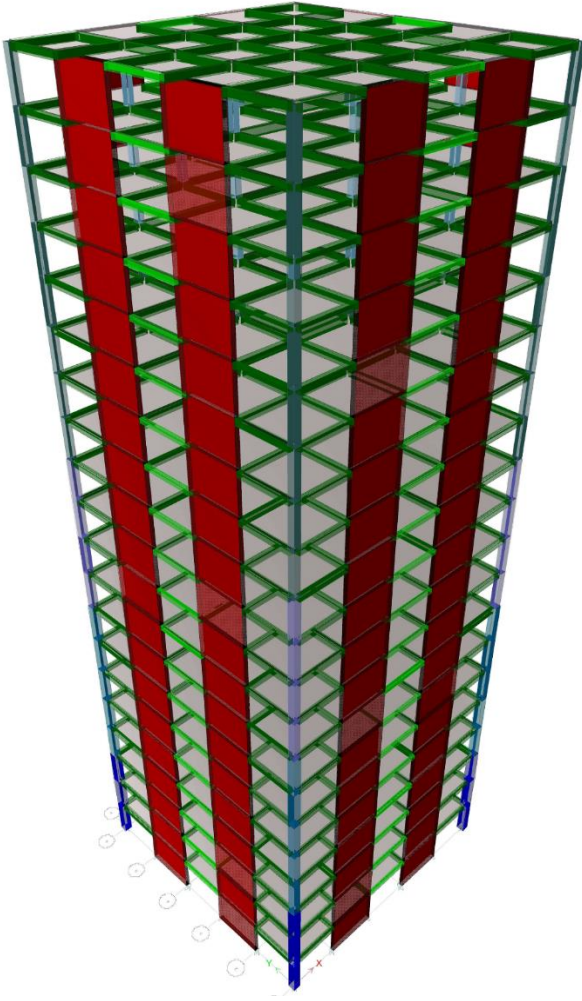
Kirişlerin kesitleri 30cm*40cm ve 25cm*33cm olarak tasarlanmıştır. Bölüm 3.4.3.1’de belirtilen enkesit koşullarına dayanarak, perde kalınlığının 250mm’den küçük olmaması şartıyla, perde duvarlar 30cm*400cm enkesitlerine sahip olarak analiz edilmiş olup, dış aksların orta kısımlarında bulunmaktadır. Kat planı, binanın yandan görünüşü ve 3 boyutlu modeli, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Perdeli bina kat planı (ETABS)

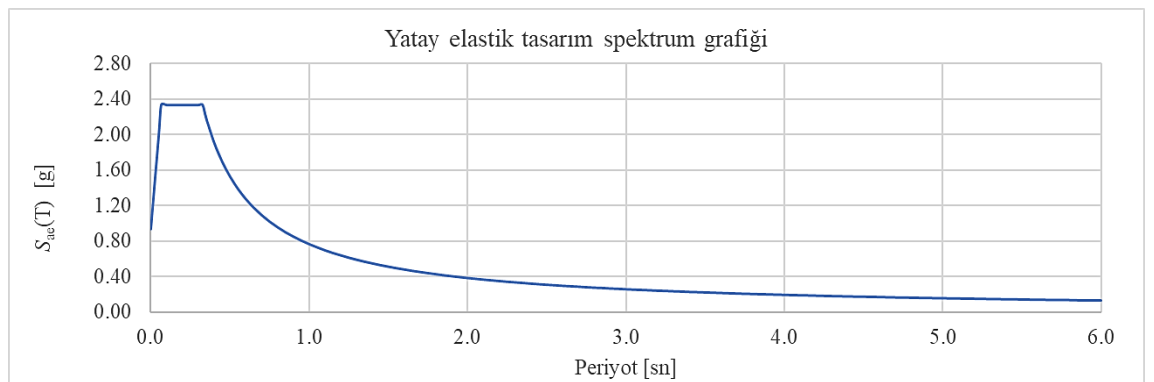


Şekil 4.8. Perdeli yapının yandan görünüş (ETABS)

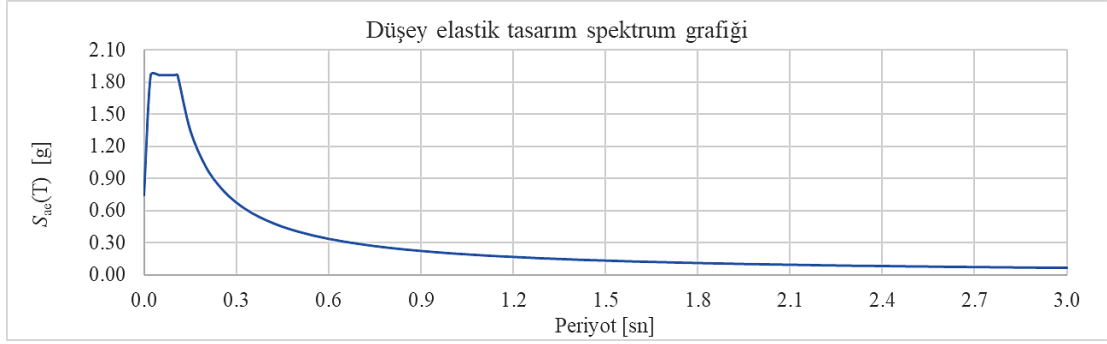


Şekil 4.9. Perdeli bina 3D görünüş (ETABS)

ETABS programı kullanılarak yapılan tasarım ve analiz sonuçlarına göre elde edilen veriler aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 4.10. Perdeli bina yatay elastik tasarım spektrum grafiği



Şekil 4.11. Perdeli bina düşey elastik tasarım spektrum grafiği

ETABS'tan alınan binanın doğal titreşim periyodu Çizelge 4.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Perdeli bina doğal titreşim periyodu (ETABS)

Case	Mode	Period (sn)
Modal	1	3.183
Modal	2	3.183
Modal	3	2.378
Modal	4	0.9
Modal	5	0.9
Modal	6	0.647
Modal	7	0.421

Case	Mode	Period (sn)
Modal	8	0.421
Modal	9	0.29
Modal	10	0.241
Modal	11	0.241
Modal	12	0.162

Çizelge 4.15, kat kütlesi ile ilgili sonuçları göstermektedir ve bu bilgiler ETABS programında yapılan tasarımdan elde edilmiştir. ETABS'tan alınan bina ağırlığı kullanılarak binanın kütlesi belirlenmiş ve aşağıdaki çizelgenin son sütununda binanın toplam kütlesi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.15. Perdeli bina kat kütlelerin (ETABS)

Kat	UX (kg)	UY (kg)	W (kN)	W _k (kN)
Kat 20	470172.75	470172.75	4701.728	4701.72
Kat 19	525872.82	525872.82	5258.728	9960.45
Kat 18	525872.82	525872.82	5258.728	15219.18
Kat 17	527983	527983	5279.83	20499.01
Kat 16	530582.51	530582.51	5305.825	25804.84
Kat 15	530582.51	530582.51	5305.825	31110.66
Kat 14	530582.51	530582.51	5305.825	36416.49
Kat 13	532998.52	532998.52	5329.985	41746.47
Kat 12	536569.02	536569.02	5365.69	47112.16
Kat 11	540017.19	540017.19	5400.172	52512.34
Kat 10	543228.35	543228.35	5432.284	57944.62

Çizelge 4.15'in devamı

Kat 9	546256.01	546256.01	5462.56	63407.18
Kat 8	550514.61	550514.61	5505.146	68912.33
Kat 7	553817.51	553817.51	5538.175	74450.5
Kat 6	557517.99	557517.99	5575.18	80025.68
Kat 5	558473.69	558473.69	5584.737	85610.42
Kat 4	562113	562113	5621.13	91231.55
Kat 3	567059.71	567059.71	5670.597	96902.15
Kat 2	567938.95	567938.95	5679.39	102581.5
Kat 1	571884.08	571884.08	5718.841	108300.4
Zemin	76608.99	76608.99	4701.728	109066

TBDY 2018'in 4.7.1.1 ve 4.8.4 maddelerine dayanarak elde edilen Denklem (3.15) ve Denklem (3.16) ile belirlenen hesap yöntemleri kullanılarak, mod birleştirme yöntemi ile betonarme perde duvarlı yapının deprem etkisi altında taban kesme kuvveti ve azaltılmış iç kuvvet değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanmıştır. ETABS analiz raporunda elde edilen toplam eşdeğer deprem yükü, Çizelge 4.16'da detaylı olarak sunulmuştur. Bu çizelgede, yapı üzerine uygulanan taban kesme kuvvetinin değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.16. Perdeli bina eşdeğer deprem yükü hesabı (ETABS)

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	V _x (kN)
Story20	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	1889.5313
Story19	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	2950.7193
Story18	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	3440.9998
Story17	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	3685.1127
Story16	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	3863.9144
Story15	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4077.9633
Story14	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4340.0858
Story13	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4624.8885
Story12	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4906.1315
Story11	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5159.1656
Story10	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5374.7141
Story9	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5551.7769
Story8	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5701.862
Story7	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5859.7972
Story6	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6077.7209
Story5	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6407.5276
Story4	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6870.0715
Story3	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	7411.8346
Story2	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	7917.1024
Story1	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	8217.3044

Çizelge 4.16’da modal hesap yöntemlerinden biri ile X doğrultusu’nda ETABS programı kullanılarak elde edilen en büyük toplam deprem yükü gösterilmektedir. Çizelge 4.17’de betonarme perde duvarlı yapının tümüne etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) ve toplam deprem yükü gösterilmektedir. Bu veriler kullanılarak, Denklem (3.15) koşulu kontrol edilerek TBDY 2018’e göre binayı etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) hesaplanmış ve Çizelge 4.18’de gösterilmiştir. Bu işlem, yapının maruz kaldığı toplam deprem yükünün hesaplanması ve etkilerinin belirlenmesi sürecini ifade etmektedir.

Çizelge 4.17. Perdeli bina taban kesme kuvveti ve toplam deprem yükü (ETABS)

Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY
			kN	kN
EX	LinStatic	Step By Step	-9910.3307	0
EY	LinStatic	Step By Step	0	-9910.3307
EQ-X	LinRespSpec	Max	7928.3106	0.3016
EQ-Y	LinRespSpec	Max	0.3016	7928.2646
EQ-Z	LinRespSpec	Max	0	0

Çizelge 4.18. Taban kesme kuvveti

EX (kN)	W _k (kN)	I	S _{ds}	Katsayı
9910	108300	1	2.333	0.04

$$V_{t,min} = 0.04 * 1 * 108300 * 2.333 = 10107kN > 9910kN$$

Denklem (3.15)’e göre 9910kN<10107kN olduğu görülmektedir; bu nedenle, taban kesme kuvveti değeri olarak 10107kN belirlenmiştir.

Denklem (3.16)’da verilen modal hesap yöntemine göre elde edilen azaltılmış iç kuvvet ve yerdeğiştirme değerleri, eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısıyla çarpılarak büyütülmelidir. Herhangi bir X deprem doğrultusu için $V_{tx}^{(x)} > \gamma_E V_{te}^{(x)}$ koşulu sağlanmadığında, modal hesap yöntemi ile elde edilen tüm azaltılmış iç kuvvetler ve yer değiştirme büyüklükleri, Denklem (3.16) ile verilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı olan $\beta_{te}^{(x)}$ ile çarpılarak büyütülür. Tasarımın ilk aşamalarında $\beta_{te}^{(x)}$ değeri 1’den büyük olduğundan, taban kesme kuvveti artırılmıştır. Bu adım tekrarlanarak $\beta_{te}^{(x)}$ değeri 1’den küçük olacak şekilde ayarlanmış ve $V_{tx}^{(x)} > \gamma_E V_{te}^{(x)}$ koşulu sağlanmıştır.

Aşağıdaki Şekil 4.12’de gösterilen “Scale Factor” değeri, ETABS programında $\beta_{te}^{(x)}=1$ elde etmek için taban kesme kuvvetini artırmak için kullanılmıştır. Sonuç olarak Denklem (3.16) ile verilen $\beta_{te}^{(x)}$ kontrolü aşağıda Çizelge 4.19’da gösterilmiştir.

Şekil 4.12. ETABS programından ölçeklendirme

Çizelge 4.19. Eşdeğer deprem kuvvetine göre büyütülme ($\beta_{tE}^{(X)}$) koşulu

γ_E	$V_{tE}^{(X)}$ (kN)	$V_{tx}^{(X)}$ (kN)	$\beta_{tE}^{(X)}$
0.8	10106.59	8217.3	0.9839

TBDY 2018’de yer alan Tablo 3.4, binalarda planda ve düşeyde düzensizlik durumlarını belirlemektedir. Betonarme perde duvarlı binada elde edilen burulma düzensizliği katsayıları 1.2’den küçük olduğundan, A1 düzensizliğinin bulunmadığı Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

Binanın planda ve düşeyde simetrik olması nedeniyle A2, A3, B1 ve B3 düzensizlikleri bulunmamaktadır. Betonarme perde duvarlı binada elde edilen rijitlik düzensizliği katsayılarının 2.0’den küçük olduğu ve B2 düzensizliğinin bulunmadığı Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

Düzensizliklerden hiçbirinin binada bulunmaması nedeniyle yukarıdaki çizelgede γ_E değeri 0.80 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.20. Bina düzensizlik kontrolü

Kat No	A1 - Düzensizliği				B2 - Düzensizliği		
	h_i	$\Delta i\text{-max}$	$\Delta i\text{-ort}$	η_{bi}	$\Delta i\text{-ort}/h_i$	η_{Ki-1}	η_{Ki-2}
	(m)	(m)	(m)				
Kat 20	3	0.016	0.016	1.001	0.0054	0	0.95913
Kat 19	3	0.017	0.017	1.001	0.0056	1.043	0.96002
Kat 18	3	0.017	0.017	1.001	0.0058	1.042	0.96523
Kat 17	3	0.018	0.018	1.001	0.0060	1.036	0.9647
Kat 16	3	0.019	0.019	1.001	0.0062	1.037	0.96735
Kat 15	3	0.019	0.019	1.001	0.0065	1.034	0.96988

Çizelge 4.20'nin devamı

Kat 14	3	0.020	0.020	1.001	0.0067	1.031	0.97685
Kat 13	3	0.020	0.020	1.001	0.0068	1.024	0.97892
Kat 12	3	0.021	0.021	1.001	0.0070	1.022	0.98798
Kat 11	3	0.021	0.021	1.001	0.0070	1.012	0.99239
Kat 10	3	0.021	0.021	1.001	0.0071	1.008	1.00448
Kat 9	3	0.021	0.021	1.001	0.0071	0.996	1.01305
Kat 8	3	0.021	0.021	1.001	0.0070	0.987	1.02887
Kat 7	3	0.020	0.020	1.001	0.0068	0.972	1.04648
Kat 6	3	0.019	0.019	1.001	0.0065	0.956	1.0748
Kat 5	3	0.018	0.018	1.001	0.0060	0.930	1.12407
Kat 4	3	0.016	0.016	1.001	0.0054	0.890	1.21021
Kat 3	3	0.013	0.013	1.001	0.0044	0.826	1.42641
Kat 2	3	0.009	0.009	1.001	0.0031	0.701	1.98953
Kat 1	3	0.005	0.005	1.001	0.0016	0.503	0

Etkin görel kat ötelemelerinin hesaplanmasında kullanılan Denklem (3.19)'a göre hesaplanan azaltılmış görel kat ötelemeleri ($\Delta_i^{(X)}$), ETABS analiz raporundan elde edilmiş ve Çizelge 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. Azaltılmış görel kat ötelemeleri ($\Delta_i^{(X)}$) (ETABS)

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift (mm)
Story20	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	3.887
Story19	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.069
Story18	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.256
Story17	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.423
Story16	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.601
Story15	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.778
Story14	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.959
Story13	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.119
Story12	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.278
Story11	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.393
Story10	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.485
Story9	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.509
Story8	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.485
Story7	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.378
Story6	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	5.186

Çizelge 4.21'in devamı

Story5	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.872
Story4	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	4.377
Story3	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	3.652
Story2	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	2.587
Story1	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	1.062

TBDY 2018 standardına göre alınan Denklem (3.20) kullanılarak, etkin görelî kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$) hesaplandı. Ayrıca, Denklem (3.21)'de gösterilen yönetmenliğin belirttiği sınır değerleri hesaplandı ve etkin görelî kat öteleme değerlerle karşılaştırıldı. Sonuçlar Çizelge 4.22'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 R &= 7 \\
 DD-2 &= 0.279795 \\
 DD-3 &= 0.110744 \\
 \lambda &= 0.395806 \\
 \lambda &= \frac{DD-3}{DD-2} = \frac{0.110744}{0.279795} = 0.395806 \\
 \lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} &\leq 0.008\kappa = 0.008 * 1 = 0.008 \rightarrow \text{Sınır}
 \end{aligned}$$

Çizelge 4.22. Etkin görelî kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$) (ETABS)

Kat	Δ_i (mm)	Etkin görelî K.Ö $\delta_i^{(X)} = R * \Delta_i / I$ (m)	$\delta * \lambda / h_i$	Sınır	Açıklama
Kat 20	3.887	0.0108	0.0014	0.008	Güvenli
Kat 19	4.069	0.0113	0.0015	0.008	Güvenli
Kat 18	4.256	0.0118	0.0016	0.008	Güvenli
Kat 17	4.423	0.0123	0.0016	0.008	Güvenli
Kat 16	4.601	0.0127	0.0017	0.008	Güvenli
Kat 15	4.778	0.0132	0.0017	0.008	Güvenli
Kat 14	4.959	0.0137	0.0018	0.008	Güvenli
Kat 13	5.119	0.0142	0.0019	0.008	Güvenli
Kat 12	5.278	0.0146	0.0019	0.008	Güvenli
Kat 11	5.393	0.0149	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 10	5.485	0.0152	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 9	5.509	0.0153	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 8	5.485	0.0152	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 7	5.378	0.0149	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 6	5.186	0.0144	0.0019	0.008	Güvenli
Kat 5	4.872	0.0135	0.0018	0.008	Güvenli
Kat 4	4.377	0.0121	0.0016	0.008	Güvenli
Kat 3	3.652	0.0101	0.0013	0.008	Güvenli
Kat 2	2.587	0.0072	0.0009	0.008	Güvenli
Kat 1	1.062	0.0029	0.0004	0.008	Güvenli

$$0.395806 * \frac{0.0174}{3} = 0.0023 \leq 0.008 \rightarrow \text{Güvenli}$$

TBDY 2018 Bölüm 4.9.2'ye göre belirlenen Denklem (3.22) kullanılarak hesaplanan ikinci mertebe etkilerinin ($\theta_{II,i}^{(X)}$) hesabında kullanılan, ortalama azaltılmış görelî kat öteleme değerleri ($(\Delta_i^{(X)})_{ort}$), ETABS analiz raporundan elde edilmiştir. Her bir kattaki ikinci mertebe gösterge değeri ($\theta_{II,i}^{(X)}$) Denklem (3.22) kullanılarak belirlenmiştir ve ardından ikinci mertebe gösterge değerlerinin en büyük olanı ($\theta_{II,max}^{(X)}$) Denklem (3.23) ile hesaplanmış ve koşulu sağlanması kontrol edilmiştir. Bu hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.23'te gösterilmiştir.

$$R = 7$$

$$C_h = 0.5$$

$$I = 1$$

$$S_{DS} = 2.333$$

$$\theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} = 0.12 * \frac{3}{0.5 * 7} = 0.1$$

$$\theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.1 \rightarrow \text{Sınır}$$

Çizelge 4.23. İkinci mertebe gösterge değeri $\theta_{II,i}^{(X)}$

Kat	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ (mm)	W_i (kN)	W_k (kN)	V_i (kN)	h_i (mm)	θ_{II}
Kat 20	16.053	4701.73	4701.73	1889.53	3000	0.0133
Kat 19	16.737	5258.73	9960.46	2950.72	3000	0.0188
Kat 18	17.434	5258.73	15219.18	3441.00	3000	0.0257
Kat 17	18.062	5279.83	20499.01	3685.11	3000	0.0335
Kat 16	18.723	5305.83	25804.84	3863.91	3000	0.0417
Kat 15	19.355	5305.83	31110.66	4077.96	3000	0.0492
Kat 14	19.956	5305.83	36416.49	4340.09	3000	0.0558
Kat 13	20.429	5329.99	41746.47	4624.89	3000	0.0615
Kat 12	20.869	5365.69	47112.16	4906.13	3000	0.0668
Kat 11	21.123	5400.17	52512.34	5159.17	3000	0.0717
Kat 10	21.285	5432.28	57944.62	5374.71	3000	0.0765
Kat 9	21.19	5462.56	63407.18	5551.78	3000	0.0807
Kat 8	20.917	5505.15	68912.33	5701.86	3000	0.0843
Kat 7	20.33	5538.18	74450.50	5859.80	3000	0.0861
Kat 6	19.427	5575.18	80025.68	6077.72	3000	0.0853
Kat 5	18.075	5584.74	85610.42	6407.53	3000	0.0805
Kat 4	16.08	5621.13	91231.55	6870.07	3000	0.0712
Kat 3	13.287	5670.60	96902.15	7411.83	3000	0.0579
Kat 2	9.315	5679.39	102581.53	7917.10	3000	0.0402
Kat 1	4.682	5718.84	108300.38	8217.30	3000	0.0206

İkinci mertebe gösterge değerlerinin en yüksek olan 7. kattaki değer gerekli koşulu sağlamıştır.

$$\theta_{II,max}^{(x)} \leq 0,12 \frac{D}{C_h R} \rightarrow 0.086099606 \leq 0.1$$

Modelleme ve analizlerin ardından, 20 katlı bir betonarme konut binası için perde duvarlı sistemin tasarımı tamamlanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına dayanarak yapılan metraj detaylar aşağıda sunulmuştur. Betonarme perde duvarlı binanın beton ve kalıp metrajları Çizelge 4.24'te ve donatı metrajı Çizelge 4.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.24. Perdeli bina beton ve kalıp metrajı

BETON VE KALIP METRAJİ							
Kat	Yapı Elemanı	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)	Kat	Yapı Elemanı	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)
1	Döşeme	49.2	326.56	7	Döşeme	49.2	332.16
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	31.32	156		Kolon	23.16	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	1. Kat Toplam	133.68	830.4		7. Kat Toplam	125.52	836
2	Döşeme	49.2	327.24	8	Döşeme	49.2	328.53
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	27.84	156		Kolon	20.91	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	2. Kat Toplam	130.2	831.08		8. Kat Toplam	123.27	832.37
3	Döşeme	49.2	327.24	9	Döşeme	49.2	328.68
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	27.84	156		Kolon	20.28	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	3. Kat Toplam	130.2	831.08		9. Kat Toplam	122.64	832.52
4	Döşeme	49.2	327.41	10	Döşeme	49.2	329
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	27.15	156		Kolon	17.52	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	4. Kat Toplam	129.51	831.25		10. Kat Toplam	119.88	832.84
5	Döşeme	49.2	327.11	11	Döşeme	49.2	329
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	23.91	156		Kolon	17.52	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	5. Kat Toplam	126.27	830.95		11. Kat Toplam	119.88	832.84
6	Döşeme	49.2	327.11	12	Döşeme	49.2	329.48
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	23.91	156		Kolon	15	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	6. Kat Toplam	126.27	830.95		12. Kat Toplam	117.36	833.32

Çizelge 4.24'ün devamı

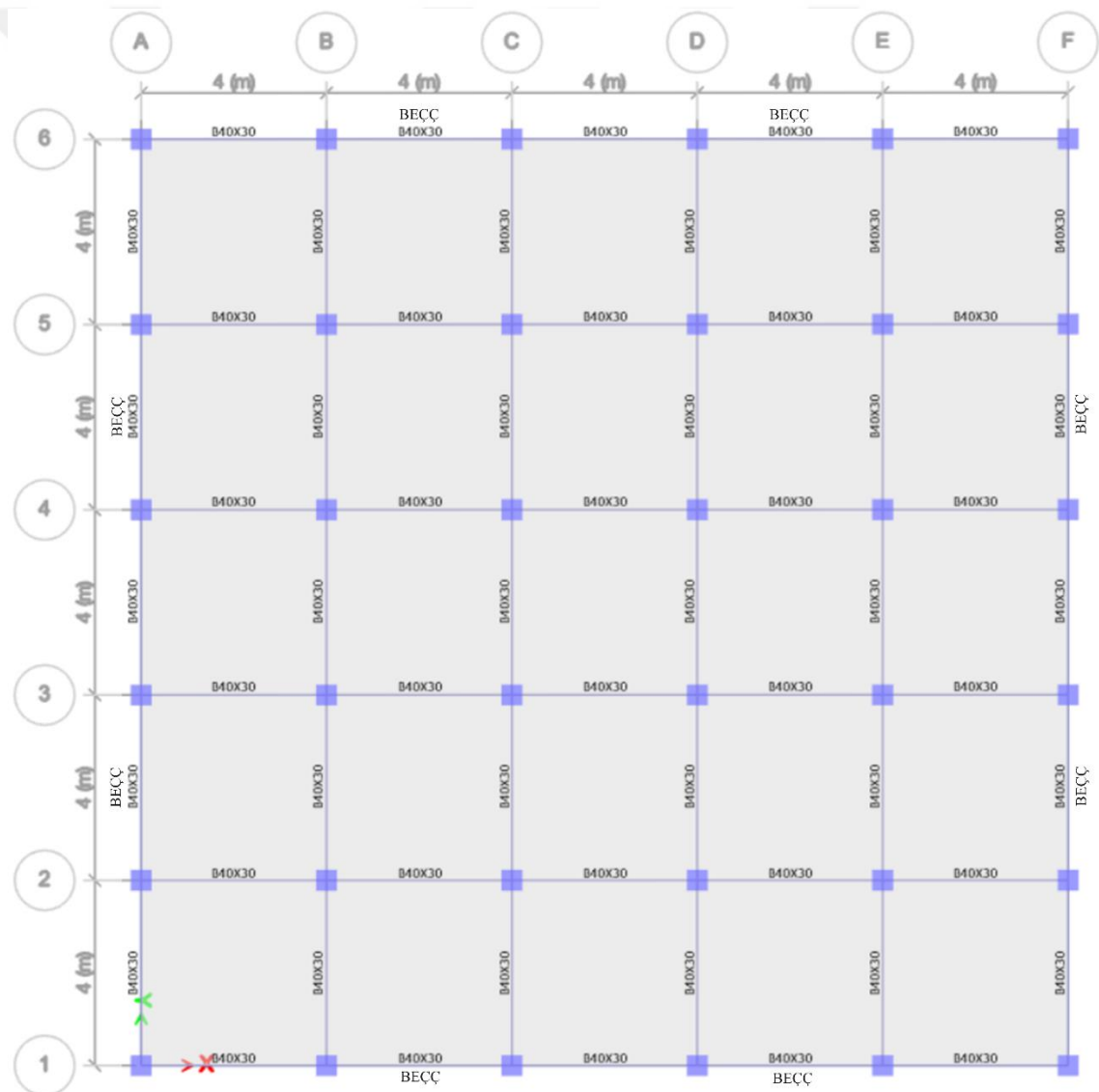
13	Döşeme	49.2	329.61	17	Döşeme	49.2	329.89
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	14.43	156		Kolon	12.15	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	13. Kat Toplam	116.79	833.45		17. Kat Toplam	114.51	833.73
14	Döşeme	49.2	329.89	18	Döşeme	49.2	330.09
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	12.15	156		Kolon	10.11	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	14. Kat Toplam	114.51	833.73		18. Kat Toplam	112.47	833.93
15	Döşeme	49.2	329.89	19	Döşeme	49.2	330.09
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	12.15	156		Kolon	10.11	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	15. Kat Toplam	114.51	833.73		19. Kat Toplam	112.47	833.93
16	Döşeme	49.2	329.89	20	Döşeme	49.2	330.09
	Kiriş	24.36	141.44		Kiriş	24.36	141.44
	Kolon	12.15	156		Kolon	10.11	156
	Perde	28.8	206.4		Perde	28.8	206.4
	16. Kat Toplam	114.51	833.73		20. Kat Toplam	112.47	833.93
Bina Toplam						2416.9	16655.8

Çizelge 4.25. Perdeli bina donatı metrajı

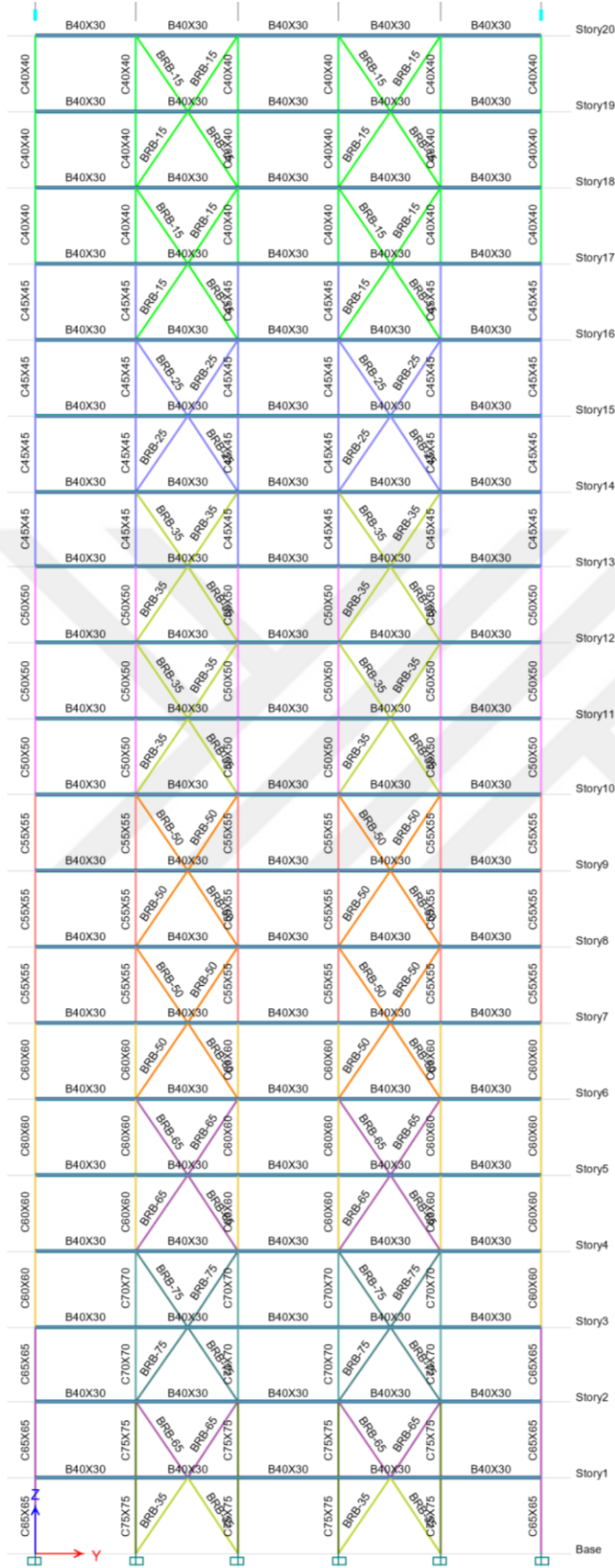
Perdeli Sistem Bina Donatı Metrajı	Kat	Perdeli				
	Yapı Elemanı	Döşeme (Kg)	Kiriş (Kg)	Kolon (Kg)	Perde (Kg)	Toplam (Kg)
	Ø8	1596				1596
	Ø10	179919	24946	35126		239991
	Ø12	21005			15576	36581
	Ø14		720	18828	41681	61229
	Ø16		64155	16225		80380
	Ø18			28942		28942
	Ø28	10933				10933
	Ø32	236				236
	Toplam (Kg)	213689	89821	99121	57257	459888

4.1.3. Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlı Betonarme Sistem

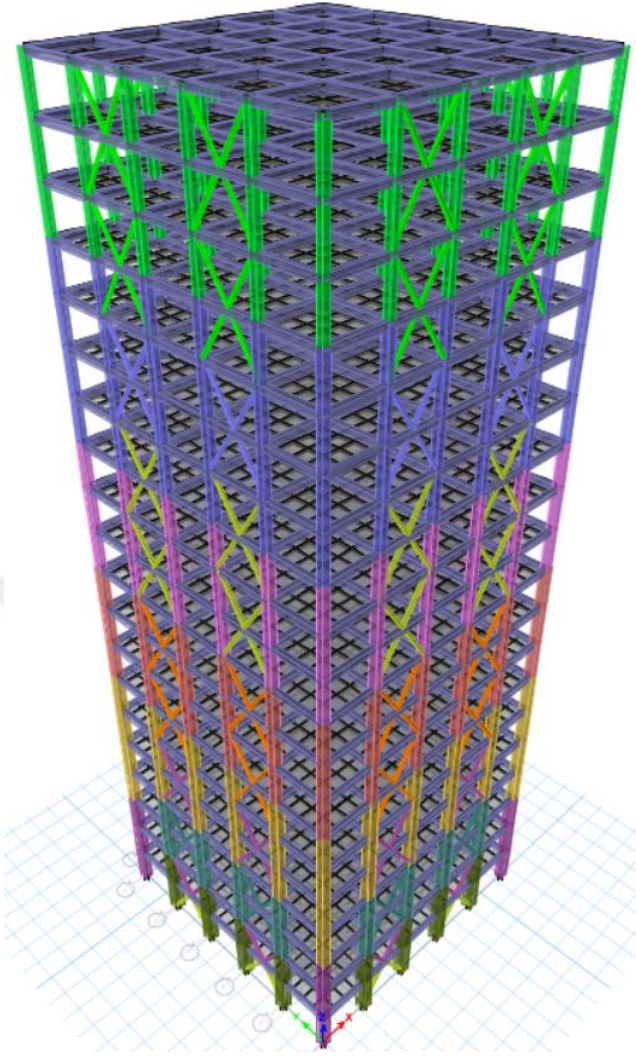
Binanın tasarımında, ETABS programı kullanılarak kolonlar, kirişler ve BEÇÇ elemanları dahil edilmiştir. Tasarım sonrasında belirlenen donatı alanlarına göre binanın toplam metrajı hesaplanmıştır. BEÇÇ’li yapılarda kullanılan kolonların boyutları 40cm*40cm ile 75cm*75cm arasında değişmektedir. Ekonomik olması açısından yapının üst kısmında daha küçük kesitli kolonlar kullanılmış olup yapı aşağıya doğru indikçe kolon kesitleri de artmaktadır. Kirişlerin kesitleri 30cm*45cm olarak tasarlanmıştır. BEÇÇ elemanlarının kesitleri ise çelik çekirdek alanlarına göre sınıflandırılmış ve adlandırılmıştır. BEÇÇ elemanlarının çelik çekirdek alanları 15cm², 25cm², 35cm², 50cm², 65cm², 75cm² olmak üzere kolon ve kirişler arasında iki katta X olacak şekilde tasarlanmıştır. Kat planı, binanın yandan görünüşü ve 3 boyutlu modeli Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’te sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.13. BEÇÇ’li bina kat planı (ETABS)

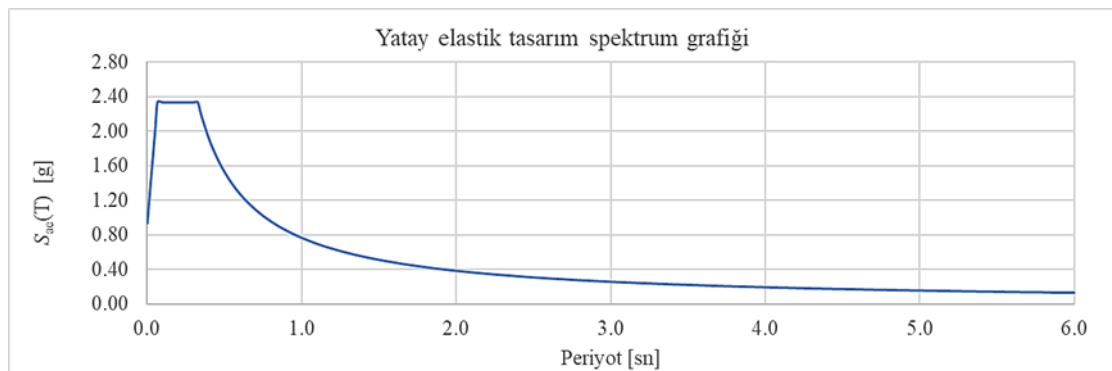


Şekil 4.14. BEÇÇ'li yapının yandan görünüş (ETABS)

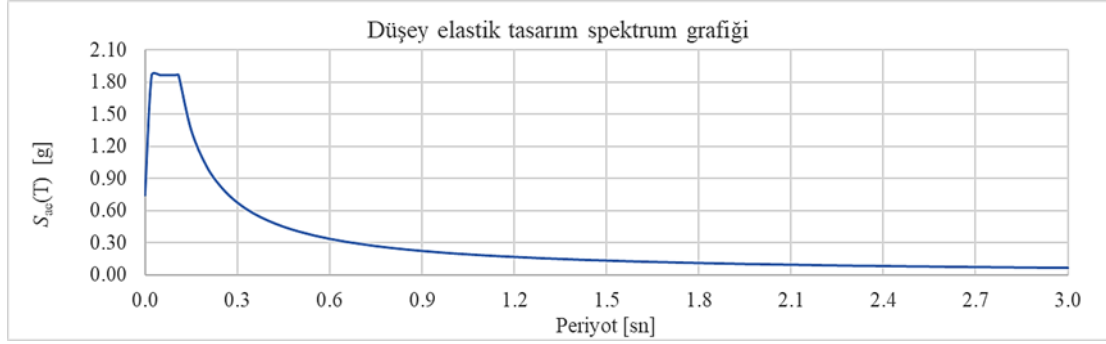


şekil 4.15. BEÇÇ'li bina 3D görünüş (ETABS)

ETABS programı kullanılarak yapılan tasarım ve analiz sonuçları aşağıda belirtilmiştir.



şekil 4.16. BEÇÇ'li bina yatay elastik tasarım spektrum grafiğı



Şekil 4.17. BEÇÇ’li bina düşey elastik tasarım spektrum grafiği

ETABS’tan alınan binanın doğal titreşim periyodu Çizelge 4.26’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. BEÇÇ’li bina doğal titreşim periyodu (ETABS)

Case	Mode	Period (sn)
Modal	1	2.732
Modal	2	2.732
Modal	3	1.943
Modal	4	0.901
Modal	5	0.901
Modal	6	0.644
Modal	7	0.508

Case	Mode	Period (sn)
Modal	8	0.508
Modal	9	0.364
Modal	10	0.346
Modal	11	0.346
Modal	12	0.262

Çizelge 4.27, kat kütlesi ile ilgili sonuçları göstermektedir ve bu bilgiler ETABS programında yapılan tasarımdan elde edilmiştir. ETABS’tan alınan bina ağırlığı kullanılarak binanın kütlesi belirlenmiş ve aşağıdaki çizelgenin son sütununda binanın toplam kütlesi gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. BEÇÇ’li bina kat kütleleri (ETABS)

Kat	UX (kg)	UY (kg)	W _i (kN)	W _k (kN)
Kat 20	471785.02	471785.02	4717.85	4717.85
Kat 19	500262.26	500262.26	5002.62	9720.47
Kat 18	500262.26	500262.26	5002.62	14723.10
Kat 17	505193.68	505193.68	5051.94	19775.03
Kat 16	511268.97	511268.97	5112.69	24887.72
Kat 15	511495.37	511495.37	5114.95	30002.68
Kat 14	511721.77	511721.77	5117.22	35119.89
Kat 13	517567.7	517567.7	5175.68	40295.57
Kat 12	524104.69	524104.69	5241.05	45536.62
Kat 11	524104.69	524104.69	5241.05	50777.66
Kat 10	530751.92	530751.92	5307.52	56085.18

Çizelge 4.27'nin devamı

Kat 9	538316.62	538316.62	5383.17	61468.35
Kat 8	541344.28	541344.28	5413.44	66881.79
Kat 7	548829.33	548829.33	5488.29	72370.09
Kat 6	556898.64	556898.64	5568.99	77939.07
Kat 5	561061.05	561061.05	5610.61	83549.68
Kat 4	568504.9	568504.9	5685.05	89234.73
Kat 3	581216.58	581216.58	5812.17	95046.90
Kat 2	590141.97	590141.97	5901.42	100948.32
Kat 1	593670.82	593670.82	5936.71	106885.03
Zemin	71628.96	71628.96	716.3	107601.31

Denklem (3.15) ve Denklem (3.16) ile belirlenen hesap yöntemleri kullanılarak, mod birleştirme yöntemi ile BEÇÇ'li yapının deprem etkisi altında taban kesme kuvveti ve azaltılmış iç kuvvet değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanmıştır. ETABS analiz raporunda elde edilen toplam eşdeğer deprem yükü, Çizelge 4.28'de detaylı olarak sunulmuştur. Bu çizelgede, yapı üzerine uygulanan taban kesme kuvvetinin değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.28. BEÇÇ'li bina eşdeğer deprem yükü hesabı (ETABS)

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	V _x (kN)
Story20	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	1605.93
Story19	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	2618.21
Story18	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	3178.11
Story17	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	3500.14
Story16	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	3771.57
Story15	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4054.95
Story14	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4314.00
Story13	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4556.65
Story12	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	4788.28
Story11	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5012.22
Story10	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5233.91
Story9	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5477.35
Story8	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5712.77
Story7	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	5933.76
Story6	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6174.47
Story5	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6471.02
Story4	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	6852.03
Story3	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	7291.24
Story2	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	7729.36
Story1	EQ-X	LinRespSpec	Max	Bottom	7980.00

Çizelge 4.28’de modal hesap yöntemlerinden biri ile X doğrultusu’nda ETABS programı kullanılarak elde edilen en büyük toplam deprem yükü gösterilmektedir. Çizelge 4.29’da BEÇÇ’li yapının tümüne etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) ve toplam deprem yükü gösterilmektedir. Bu veriler kullanılarak, Denklem (3.15) koşulu kontrol edilerek TBDY 2018’e göre binayı etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) hesaplanmış ve Çizelge 4.30’da gösterilmiştir. Bu işlem, yapının maruz kaldığı toplam deprem yükünün hesaplanması ve etkilerinin belirlenmesi sürecini ifade etmektedir.

Çizelge 4.29. BEÇÇ’li bina taban kesme kuvveti ve toplam deprem yükü (ETABS)

Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY
			kN	kN
EX	LinStatic	Step By Step	-9780.8151	0
EY	LinStatic	Step By Step	0	-9780.8151
EQ-X	LinRespSpec	Max	7980.0004	0.2897
EQ-Y	LinRespSpec	Max	0.2898	7979.9577
EQ-Z	LinRespSpec	Max	0	0

Çizelge 4.30. Taban kesme kuvveti

EX (kN)	W _k (kN)	I	S _{ds}	Katsayı
9781	106885	1	2.333	0.04

$$V_{t,min} = 0.04 * 1 * 106885 * 2.333 = 9974 \text{ kN} > 9781 \text{ kN}$$

Denklem (3.15)’e göre 9781kN<9975kN olduğu görülmektedir; bu nedenle, taban kesme kuvveti değeri olarak 9975kN belirlenmiştir.

Denklem (3.16)’da verilen modal hesap yöntemine göre elde edilen azaltılmış iç kuvvet ve yerdeğiştirme değerleri, eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısıyla çarpılarak büyütülmelidir. Herhangi bir X deprem doğrultusu için $V_{tx}^{(x)} > \gamma_E V_{te}^{(x)}$ koşulu sağlanmadığında, modal hesap yöntemi ile elde edilen tüm azaltılmış iç kuvvetler ve yer değiştirme büyüklükleri, Denklem (3.16) ile verilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı olan $\beta_{te}^{(x)}$ ile çarpılarak büyütülür. Tasarımın ilk aşamalarında $\beta_{te}^{(x)}$ değeri 1’den büyük olduğundan, taban kesme kuvveti artırılmıştır. Bu adım tekrarlanarak $\beta_{te}^{(x)}$ değeri 1’den küçük olacak şekilde ayarlanmış ve $V_{tx}^{(x)} > \gamma_E V_{te}^{(x)}$ koşulu sağlanmıştır.

Aşağıdaki Şekil 4.18’de gösterilen “Scale Factor” değeri, ETABS programında $\beta_{te}^{(x)}=1$ elde etmek için taban kesme kuvvetini artırmak için kullanılmıştır. Sonuç olarak Denklem (3.16) ile verilen $\beta_{te}^{(x)}$ kontrolü Çizelge 4.31’de gösterilmiştir.

Şekil 4.18. ETABS programından ölçeklendirme

Çizelge 4.31. Eşdeğer deprem kuvvetine göre büyütülme ($\beta_{IE}^{(X)}$ koşulu)

γ_E	$V_{IE}^{(X)}$ (kN)	$V_{IX}^{(X)}$ (kN)	$\beta_{IE}^{(X)}$
0.8	9974.6	7980	0.9999

TBDY 2018’de yer alan Tablo 3.4, binalarda planda ve düşeyde düzensizlik durumlarını belirlemektedir. BEÇÇ’li binada elde edilen burulma düzensizliği katsayıları 1.2’den küçük olduğundan, A1 düzensizliğinin bulunmadığı Çizelge 4.32’de gösterilmiştir.

Binaların planda ve düşeyde simetrik olması nedeniyle A2, A3, B1 ve B3 düzensizlikleri bulunmamaktadır. BEÇÇ’li binada elde edilen rijitlik düzensizliği katsayılarının 2.0’den küçük olduğu ve B2 düzensizliğinin bulunmadığı Çizelge 4.32’de gösterilmiştir.

Düzensizliklerden hiçbirinin binada bulunmaması nedeniyle yukarıdaki çizelgede γ_E değeri 0.80 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.32. Bina düzensizlik kontrolü

Kat No	A1 - Düzensizliği				B2 - Düzensizliği		
	h_i	$\Delta i\text{-max}$	$\Delta i\text{-ort}$	η_{bi}	$\Delta i\text{-ort}/h_i$	η_{Ki-1}	η_{Ki-2}
	(m)	(m)	(m)				
Kat 20	3	0.010	0.010	1.001	0.0035	0	0.7489
Kat 19	3	0.014	0.014	1.003	0.0046	1.335	0.87679
Kat 18	3	0.016	0.016	1.001	0.0053	1.141	1.00405
Kat 17	3	0.016	0.016	1.002	0.0053	0.996	0.99484
Kat 16	3	0.016	0.016	1.001	0.0053	1.005	0.97833

Çizelge 4.32'nin devamı

Kat 15	3	0.016	0.016	1.002	0.0054	1.022	1.00265
Kat 14	3	0.016	0.016	1.001	0.0054	0.997	1.02047
Kat 13	3	0.016	0.016	1.002	0.0053	0.980	0.98012
Kat 12	3	0.016	0.016	1.001	0.0054	1.020	1.00372
Kat 11	3	0.016	0.016	1.002	0.0054	0.996	1.06108
Kat 10	3	0.015	0.015	1.001	0.0051	0.942	1.02005
Kat 9	3	0.015	0.015	1.001	0.0050	0.980	1.01858
Kat 8	3	0.015	0.015	1.001	0.0049	0.982	1.05309
Kat 7	3	0.014	0.014	1.001	0.0046	0.950	1.07402
Kat 6	3	0.013	0.013	1.001	0.0043	0.931	1.09095
Kat 5	3	0.012	0.012	1.001	0.0040	0.917	1.081
Kat 4	3	0.011	0.011	1.001	0.0037	0.925	1.10691
Kat 3	3	0.010	0.010	1.001	0.0033	0.903	1.12389
Kat 2	3	0.009	0.009	1.001	0.0029	0.890	1.9241
Kat 1	3	0.005	0.005	1.001	0.0015	0.520	0

Etkin görel kat ötelemelerinin hesaplanmasında kullanılan Denklem (3.19)'a göre hesaplanan azaltılmış görel kat ötelemeleri ($\Delta_i^{(X)}$), ETABS analiz raporundan elde edilmiş ve Çizelge 4.33'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.33. Azaltılmış görel kat ötelemeleri ($\Delta_i^{(X)}$) (ETABS)

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift (m)
Story20	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.002734
Story19	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.003825
Story18	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.004525
Story17	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.00457
Story16	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.004603
Story15	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.00474
Story14	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.00473
Story13	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.004668
Story12	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.0048
Story11	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.00481
Story10	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.004523
Story9	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.004459
Story8	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.004402
Story7	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.004208
Story6	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.003919

Çizelge 4.33'ün devamı

Story5	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.003621
Story4	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.003364
Story3	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.003083
Story2	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.002786
Story1	EQ-X	LinRespSpec	Max	X	0.001479

TBDY 2018 standardına göre alınan Denklem (3.20) kullanılarak, etkin görelî kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$) hesaplandı. Ayrıca, Denklem (3.21)'de gösterilen yönetmenliğin belirttiği sınır değerleri hesaplandı ve etkin görelî kat öteleme değerlerle karşılaştırıldı. Sonuçlar Çizelge 4.34'te gösterilmiştir.

$$DD-2 = 0.279795$$

$$DD-3 = 0.110744$$

$$\lambda = 0.395806$$

$$\kappa = 1$$

$$\lambda = \frac{DD - 3}{DD - 2} = \frac{0.110744}{0.279795} = 0.395806$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\kappa = 0.008 * 1 = 0.008 \rightarrow \text{Sınır}$$

Çizelge 4.34. Etkin görelî kat ötelemeleri ($\delta_i^{(X)}$) (ETABS)

Kat	Δ_i (mm)	Etkin görelî K.Ö $\delta_i^{(X)} = R * \Delta_i / I$ (m)	$\delta * \lambda / h_i$	Sınır	Açıklama
Kat 20	2.734	0.0087	0.0011	0.008	Güvenli
Kat 19	3.825	0.0121	0.0016	0.008	Güvenli
Kat 18	4.525	0.0143	0.0019	0.008	Güvenli
Kat 17	4.57	0.0145	0.0019	0.008	Güvenli
Kat 16	4.603	0.0146	0.0019	0.008	Güvenli
Kat 15	4.74	0.0150	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 14	4.73	0.0150	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 13	4.668	0.0148	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 12	4.8	0.0152	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 11	4.81	0.0152	0.0020	0.008	Güvenli
Kat 10	4.523	0.0143	0.0019	0.008	Güvenli
Kat 9	4.459	0.0141	0.0019	0.008	Güvenli
Kat 8	4.402	0.0139	0.0018	0.008	Güvenli
Kat 7	4.208	0.0133	0.0018	0.008	Güvenli
Kat 6	3.919	0.0124	0.0016	0.008	Güvenli
Kat 5	3.621	0.0115	0.0015	0.008	Güvenli
Kat 4	3.364	0.0107	0.0014	0.008	Güvenli
Kat 3	3.083	0.0098	0.0013	0.008	Güvenli
Kat 2	2.786	0.0088	0.0012	0.008	Güvenli
Kat 1	1.479	0.0047	0.0006	0.008	Güvenli

$$0.395806 * \frac{0.01523}{3} = 0.002009 \leq 0.008 \rightarrow \text{Güvenli}$$

Denklem (3.22) kullanılarak hesaplanan ikinci mertebe etkilerinin hesabında kullanılan, ortalama azaltılmış görelî kat öteleme değeri $((\Delta_i^{(X)})_{ort})$, ETABS analiz raporundan elde edilmiştir. Her bir kattaki ikinci mertebe gösterge değeri $(\theta_{II,i}^{(X)})$ Denklem (3.22) kullanılarak belirlenmiştir ve ardından ikinci mertebe gösterge değeri en büyük olanı Denklem (3.23) ile hesaplanmış ve koşulu sağlanması kontrol edilmiştir. Bu hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.35'te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} R &= 8 \\ C_h &= 0.5 \\ I &= 1 \\ S_{DS} &= 2.333 \end{aligned} \quad \theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} = 0.12 * \frac{3}{0.5 * 8} = 0.09$$

$$\theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.09 \rightarrow \text{Sınır}$$

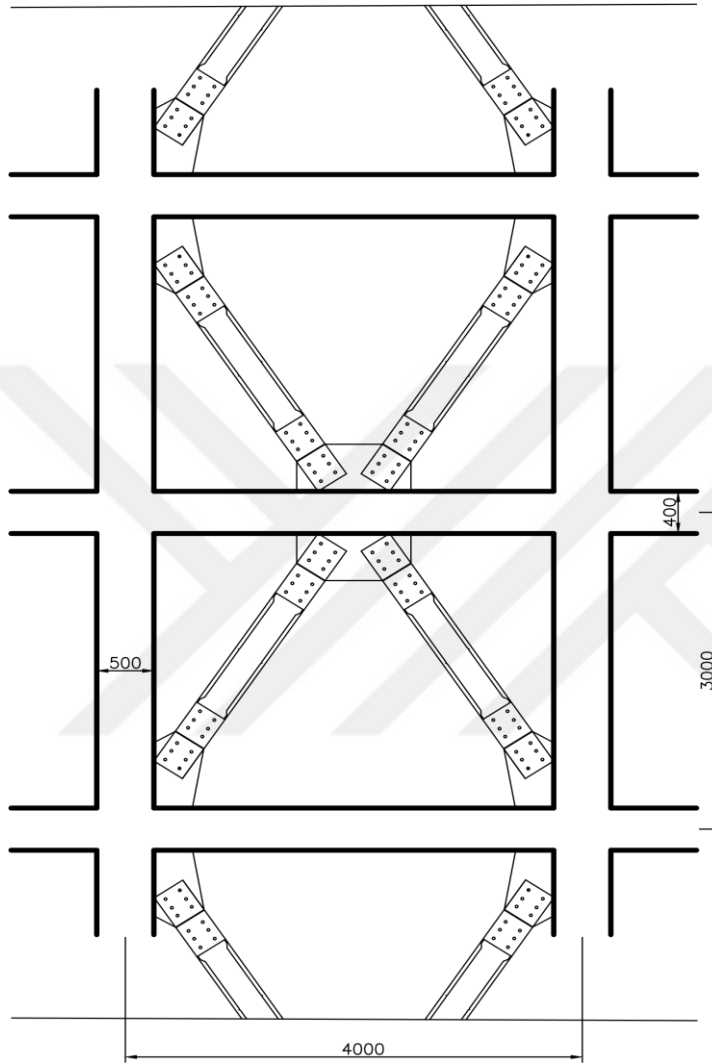
Çizelge 4.35. İkinci mertebe gösterge değeri $\theta_{II,i}^{(X)}$

Kat	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$ (mm)	W_i (kg)	W_k (kN)	V_i (kN)	h_i (mm)	θ_{II}
Kat 20	10.42	4717.85	4717.85	1605.93	3000	0.0102
Kat 19	13.92	5002.62	9720.47	2618.21	3000	0.0172
Kat 18	15.87	5002.62	14723.10	3178.11	3000	0.0245
Kat 17	15.81	5051.94	19775.03	3500.14	3000	0.0298
Kat 16	15.89	5112.69	24887.72	3771.57	3000	0.0350
Kat 15	16.25	5114.95	30002.68	4054.95	3000	0.0401
Kat 14	16.20	5117.22	35119.89	4314.00	3000	0.0440
Kat 13	15.87	5175.68	40295.57	4556.65	3000	0.0468
Kat 12	16.120	5241.05	45536.62	4788.28	3000	0.0514
Kat 11	16.14	5241.05	50777.66	5012.22	3000	0.0545
Kat 10	15.21	5307.52	56085.18	5233.91	3000	0.0543
Kat 9	14.91	5383.17	61468.35	5477.35	3000	0.0558
Kat 8	14.64	5413.44	66881.79	5712.77	3000	0.0571
Kat 7	13.90	5488.29	72370.09	5933.76	3000	0.0565
Kat 6	12.94	5568.99	77939.07	6174.47	3000	0.0545
Kat 5	11.86	5610.61	83549.68	6471.02	3000	0.0511
Kat 4	10.97	5685.05	89234.73	6852.03	3000	0.0476
Kat 3	9.91	5812.17	95046.90	7291.24	3000	0.0431
Kat 2	8.82	5901.42	100948.32	7729.36	3000	0.0384
Kat 1	4.59	5936.71	106885.03	7980.00	3000	0.0205

İkinci mertebe gösterge değeri en yüksek olan 8. kattaki değeri gerekli koşulu sağlamıştır.

$$\theta_{II,max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \rightarrow 0.0571 \leq 0.09$$

BEÇÇ tasarımı kolonlar arası mesafe 4 metre ve bina kat yüksekliği 3 metre olup, BEÇÇ elemanların çapraz şeklinde yerleştirilmiştir. Aşağıda gösterilen şekilde BEÇÇ elemanlar ETABS programında tasarlanmıştır.



Şekil 4.19. BEÇÇ’li bina çapraz kısmı (Boyutlar mm cinsindendir)

$$\text{Elastik Bölgenin Rijitliği} = \frac{E_s * \text{Çekirdek Alanı}}{\text{Elastik Bölgenin Uzunluğu}} \quad (4.3)$$

$$\text{Toplam BEÇÇ ağırlığı} = \text{Çekirdek Alanı} * \text{BEÇÇ'in Toplam Uzunluğu} * \gamma_s \quad (4.4)$$

ETABS üzerinde BEÇÇ tasarımı için kullanılan yukarıdaki formüllerden elde edilen özellikler aşağıda Çizelge 4.36’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.36. BEÇÇ elemanların tasarımı için kullanılan veriler

BEÇÇ Elemanlar							
No	E_s (GPa)	Çekirdek Alanı (cm ²)	Elastik Bölge (m)	$L_{BEÇÇ}$ (m)	γ_s (kN/m ³)	Elastik Bölgenin Sertliği (kN/m)	$W_{BEÇÇ}$ (kN)
15	200	15	1	2.6	77	$300 \cdot 10^3$	0.300
25	200	25	1	2.6	77	$500 \cdot 10^3$	0.500
35	200	35	1	2.6	77	$700 \cdot 10^3$	0.700
50	200	50	1	2.6	77	$100 \cdot 10^4$	1.001
65	200	65	1	2.6	77	$130 \cdot 10^4$	1.301
75	200	75	1	2.6	77	$150 \cdot 10^4$	1.501

Modelleme ve analizlerin ardından, 20 katlı bir betonarme konut binası için BEÇÇ'li sistemin tasarımı tamamlanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına dayanarak yapılan metraj detaylar aşağıda sunulmuştur. BEÇÇ'li binanın beton ve kalıp metrajları Çizelge 4.37'de ve donatı metrajı Çizelge 4.38'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.37. BEÇÇ çerçevesi bina beton ve kalıp metrajı

BETON VE KALIP METRAJI							
Kat	Yapı Elemanı	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)	Kat	Yapı Elemanı	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)
1	Döşeme	49.2	322.1	6	Döşeme	49.2	324.8
	Kiriş	28.8	158.4		Kiriş	28.8	161.1
	Kolon	55.6	275.5		Kolon	41.9	239.2
	1. Kat Toplam	133.6	756.0		6. Kat Toplam	119.9	725.2
2	Döşeme	49.2	322.1	7	Döşeme	49.2	325.8
	Kiriş	28.8	159.7		Kiriş	28.8	163.7
	Kolon	55.6	275.5		Kolon	38.9	230.7
	2. Kat Toplam	133.6	757.3		7. Kat Toplam	116.9	720.2
3	Döşeme	49.2	323.2	8	Döşeme	49.2	326.6
	Kiriş	28.8	160.8		Kiriş	28.8	164.3
	Kolon	52.1	267.0		Kolon	35.4	220.0
	3. Kat Toplam	130.1	751.0		8. Kat Toplam	113.4	710.9
4	Döşeme	49.2	323.9	9	Döşeme	49.2	327.0
	Kiriş	28.8	160.8		Kiriş	28.8	165.4
	Kolon	48.1	256.3		Kolon	32.7	211.5
	4. Kat Toplam	126.1	741.0		9. Kat Toplam	110.7	703.9
5	Döşeme	49.2	324.8	10	Döşeme	49.2	327.0
	Kiriş	28.8	162.7		Kiriş	28.8	166.7
	Kolon	41.9	239.2		Kolon	32.7	211.5
	5. Kat Toplam	119.9	726.8		10. Kat Toplam	110.7	705.2

Çizelge 4.37'nin devamı

11	Döşeme	49.2	328.0	16	Döşeme	49.2	328.8
	Kiriş	28.8	166.7		Kiriş	28.8	170.4
	Kolon	27.0	192.2		Kolon	21.9	173.0
	11. Kat Toplam	105.0	687.0		16. Kat Toplam	99.9	672.2
12	Döşeme	49.2	328.0	17	Döşeme	49.2	328.8
	Kiriş	28.8	168.0		Kiriş	28.8	171.5
	Kolon	27.0	192.2		Kolon	21.9	173.0
	12. Kat Toplam	105.0	688.2		17. Kat Toplam	99.9	673.3
13	Döşeme	49.2	328.0	18	Döşeme	49.2	329.4
	Kiriş	28.8	169.1		Kiriş	28.8	172.8
	Kolon	27.0	192.2		Kolon	17.3	153.8
	13. Kat Toplam	105.0	689.4		18. Kat Toplam	95.3	656.0
14	Döşeme	49.2	328.8	19	Döşeme	49.2	329.4
	Kiriş	28.8	170.4		Kiriş	28.8	172.8
	Kolon	21.9	173.0		Kolon	17.3	153.8
	14. Kat Toplam	99.9	672.2		19. Kat Toplam	95.3	656.0
15	Döşeme	49.2	328.8	20	Döşeme	49.2	329.4
	Kiriş	28.8	170.4		Kiriş	28.8	172.8
	Kolon	21.9	173.0		Kolon	17.3	153.8
	15. Kat Toplam	99.9	672.2		20. Kat Toplam	95.3	656.0
Bina Toplam						2215.1	14020.2

Çizelge 4.38. BEÇÇ çerçevesli bina donatı metraji

Beçç Sistem Bina Donatı Metraji	BEÇÇ'li Bina Donatı Metraji				BEÇÇ Elemanları		
	Yapı Elemanı	Döşeme (kg)	Kiriş (kg)	Kolon (kg)	Çekirdek Eleman (kg)	Kutu Profil (kg)	Plaka (kg)
	ø8	11088					
	ø10	95505	28547	60464			
	ø12			3353			
	ø14		85081	28502			
	ø16			36444			
	ø18			26324			
	ø20			12510			
	ø22			15211			
	ø26			4501			
	ø28			5222			
	ø32			13631			
	Toplam	106593	113628	206162	27105	35238	19470
	Genel Toplam (kg)						508196

4.2. Performans Karşılaştırması

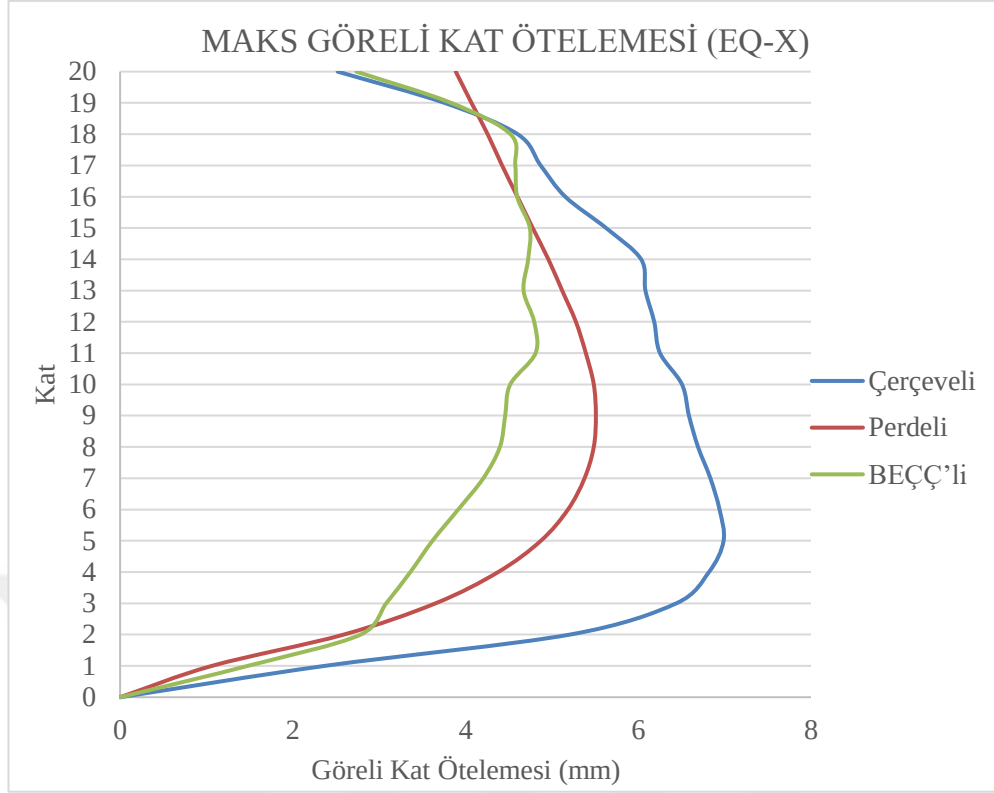
Bu bölümde tezin söz konusu olan yapıların görelî kat ötelemesi, yerdeğiştirme ve kat kesme kuvvetler açısından yapısal performanslarının karşılaştırılması tartışılmaktadır.

4.2.1. Görelî kat ötelemesi

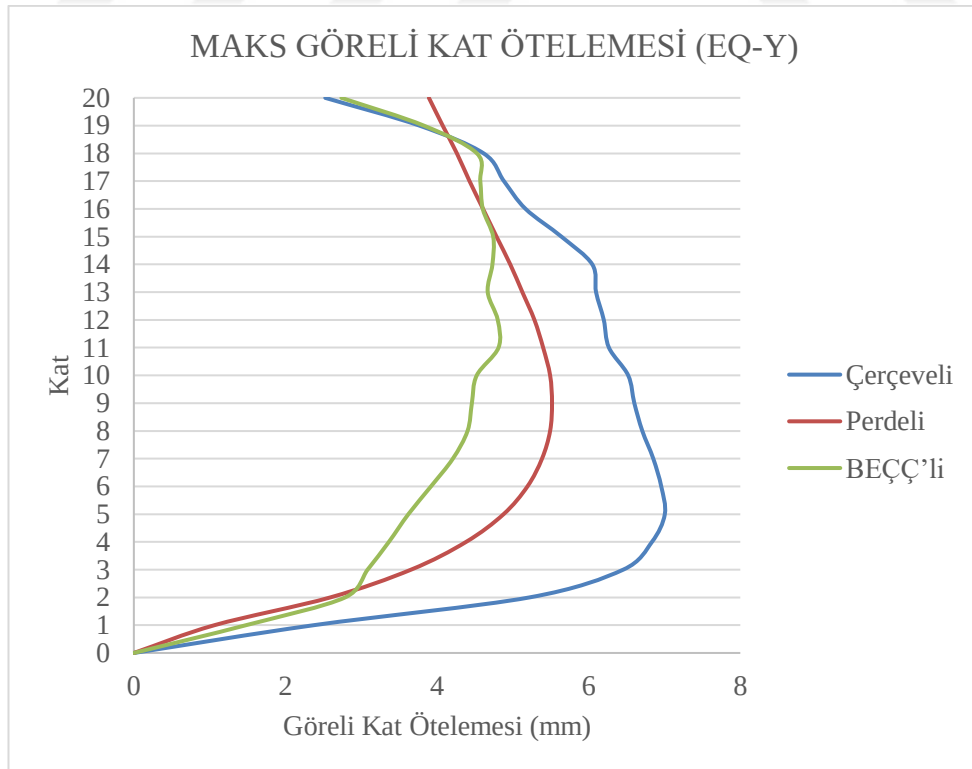
Görelî kat ötelemesi, bir yapının deprem veya diğêr yanal kuvvetler altında, bir katının diğêrine göre yatay olarak ne kadar yer değıştirdiğini ifade eder. Bu kavram, yapısal mühendislik ve deprem mühendisliğı alanında oldukça önemlidir, zira bir binanın deprem yükleri altındaki performansının değıerlendirilmesinde kritik bir rol oynar. Deprem anında yerin sarsılması sonucu bu yatay hareketler meydana gelir ve yapıya kuvvetler uygulanır. Yapı, bu kuvvetlere yanal deformasyonla yanıt verir ve ardışık katların birbirine göre olan yer değıştirme miktarları, görelî kat ötelemesi olarak ölçülür. Görelî kat ötelemesinin etkin bir şekilde kontrol edilmesi, yapının güvenliğı ve işlevselliğı için hayati önem taşır. Aşırı görelî kat ötelemesi yapısal hasara, kullanıcıların rahatsızlık duymasına ve potansiyel olarak yapının çökmesine neden olabilir. Bu tezde incelenen üç yapının kat ötelemeleri karşılaştırmalı olarak aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.39. X ve Y yönden gelen maksimum görelî kat ötelemesi (ETABS)

Kat	Maksimum görelî kat ötelemesi (mm)					
	X-Yön			Y-Yön		
	Çerçevesli	Perdeli	BEÇÇ'li	Çerçevesli	Perdeli	BEÇÇ'li
20	2.519	3.887	2.734	2.525	3.892	2.738
19	3.757	4.069	3.834	3.767	4.074	3.825
18	4.603	4.256	4.52	4.614	4.261	4.525
17	4.87	4.423	4.576	4.882	4.428	4.57
16	5.155	4.601	4.598	5.167	4.606	4.603
15	5.627	4.778	4.745	5.64	4.784	4.74
14	6.033	4.959	4.725	6.047	4.965	4.73
13	6.083	5.119	4.672	6.097	5.125	4.668
12	6.185	5.278	4.795	6.199	5.284	4.8
11	6.252	5.393	4.811	6.267	5.399	4.81
10	6.506	5.485	4.518	6.521	5.491	4.523
9	6.587	5.509	4.459	6.602	5.516	4.459
8	6.692	5.485	4.398	6.707	5.491	4.402
7	6.835	5.378	4.206	6.852	5.384	4.208
6	6.941	5.186	3.915	6.957	5.192	3.919
5	6.988	4.872	3.617	7.004	4.877	3.621
4	6.818	4.377	3.361	6.834	4.382	3.364
3	6.44	3.652	3.081	6.455	3.656	3.083
2	5.204	2.587	2.784	5.216	2.59	2.786
1	2.367	1.062	1.477	2.373	1.063	1.479
0	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.20. X yönden gelen depremden maksimum görelî kat ötelemesi karşılaştırılması



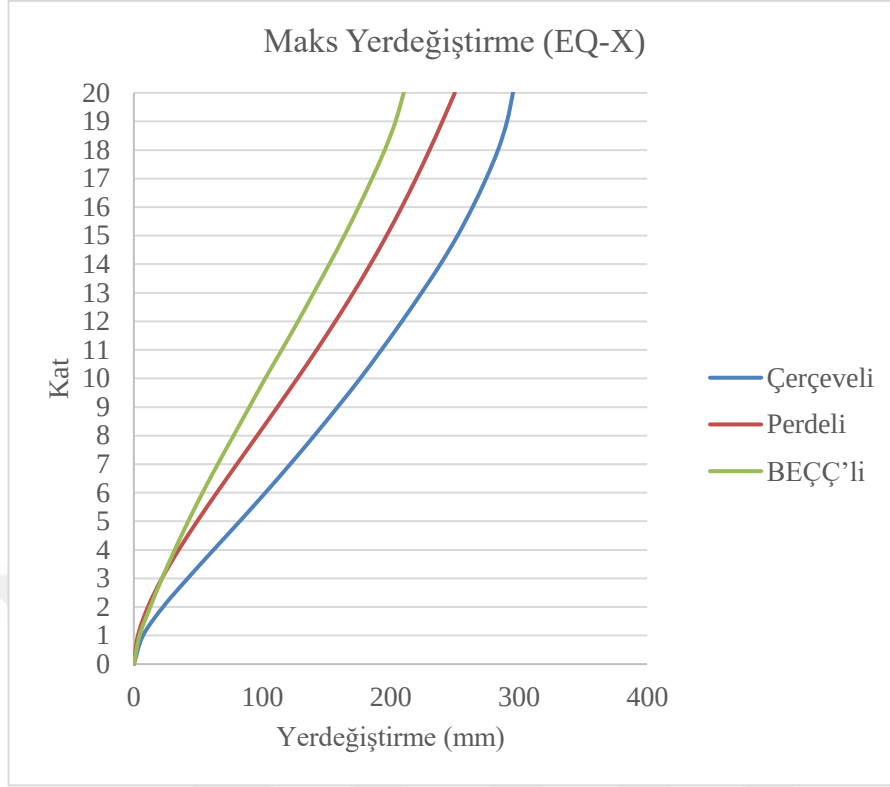
Şekil 4.21. Y yönden gelen depremden maksimum görelî kat ötelemesi karşılaştırılması

4.2.2. Yerdeğiştirme

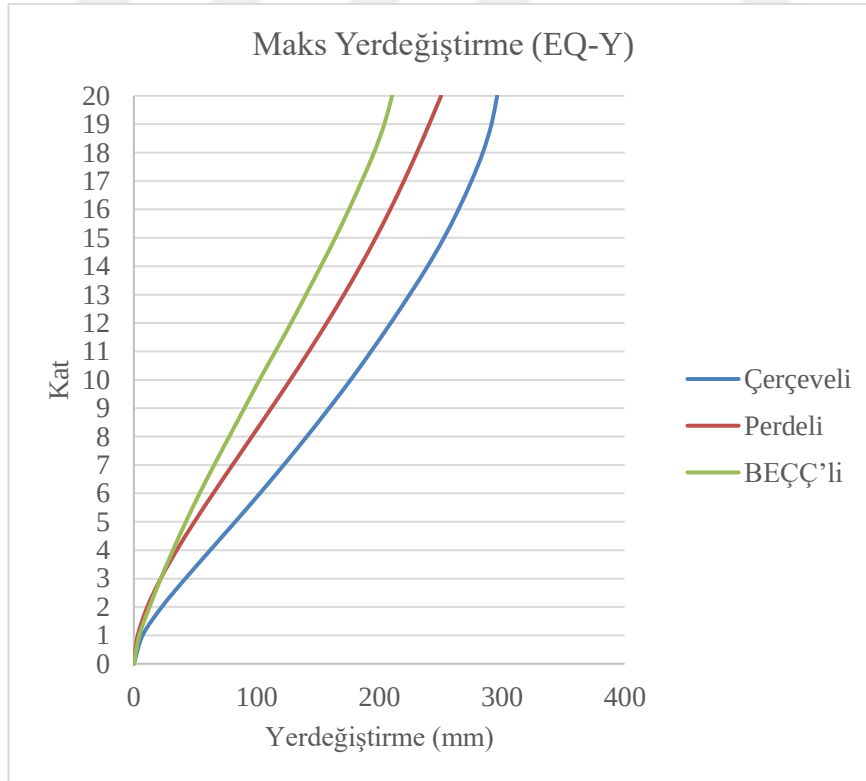
Deprem kaynaklı yanal yükler nedeniyle bir yapıda meydana gelen yerdeğiştirmeler, yapının performansını ve davranışını belirlemek açısından son derece önemlidir. Bu tezde tasarlanan üç yapının performans karşılaştırması, yapıların yer değiştirmeleri açısından da yapılmıştır ve bu karşılaştırma ile üç yapı arasında en az yer değiştirmeye sahip olanı belirlenmiştir. Depremler sırasında binaların maruz kaldığı yerdeğiştirmeler, binaların güvenliği açısından kritik bir faktördür. Çizelge 4.40 seçilen üç binanın yerdeğiştirme sonuçlar karşılaştırması sunulmaktadır.

Çizelge 4.40. X ve Y yönden gelen depremden maksimum yerdeğiştirme

Kat	Maks Yerdeğiştirme (mm)					
	X-Yön			Y-Yön		
	Çerçeveseli	Perdeli	BEÇÇ'li	Çerçeveseli	Perdeli	BEÇÇ'li
20	295.377	250.08	210.228	296.067	250.379	210.444
19	290.758	240.407	203.915	291.438	240.694	204.123
18	283.744	230.378	195.507	284.41	230.652	195.705
17	274.482	219.839	185.557	275.127	220.099	185.744
16	263.926	208.706	175.087	264.547	208.952	175.263
15	252.164	196.871	164.011	252.758	197.103	164.175
14	238.867	184.302	152.222	239.431	184.517	152.373
13	224.152	170.993	140.131	224.682	171.192	140.269
12	208.849	157.027	127.914	209.343	157.208	128.04
11	192.861	142.43	115.228	193.318	142.594	115.34
10	176.319	127.341	102.297	176.737	127.486	102.396
9	158.732	111.832	89.973	159.108	111.958	90.059
8	140.575	96.093	77.657	140.908	96.201	77.731
7	121.842	80.264	65.394	122.131	80.353	65.456
6	102.449	64.59	53.527	102.69	64.661	53.577
5	82.485	49.34	42.351	82.68	49.393	42.391
4	62.081	34.905	31.847	62.228	34.942	31.877
3	41.917	21.863	21.952	42.017	21.885	21.972
2	22.699	10.939	12.771	22.754	10.95	12.784
1	7.102	3.186	4.431	7.119	3.189	4.436
0	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.22. X yönden gelen depremden maksimum yerdeğiştirme



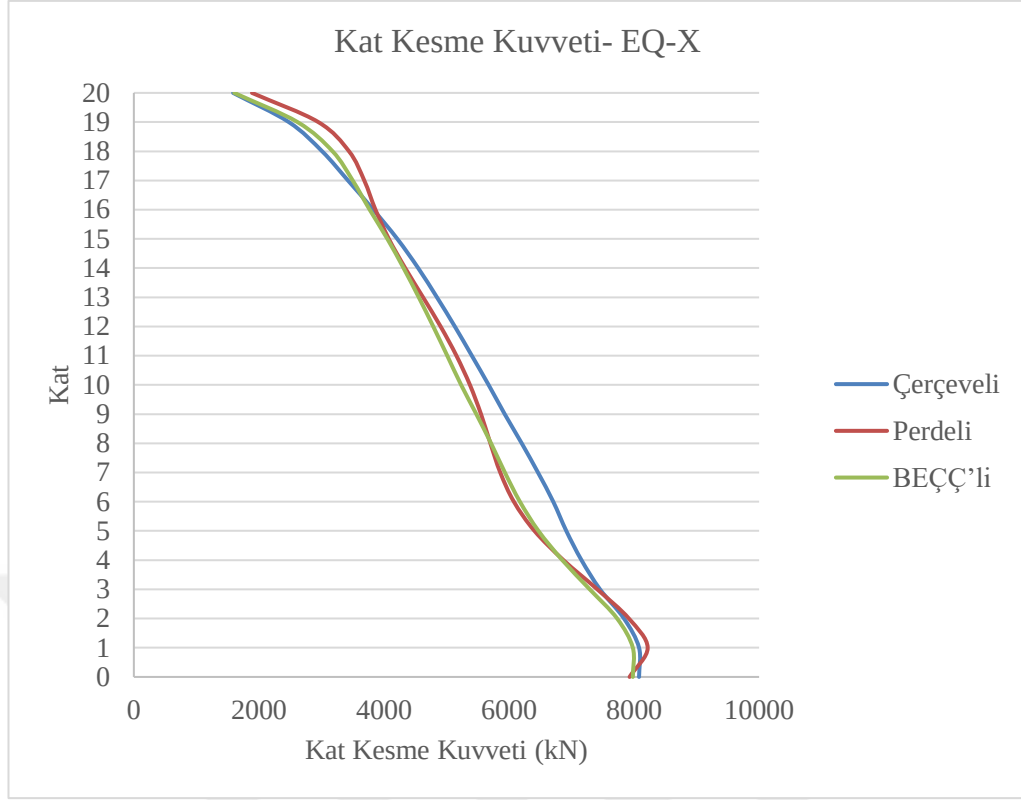
Şekil 4.23. Y yönden gelen depremden maksimum yerdeğiştirme

4.2.3. Kat Kesme Kuvveti

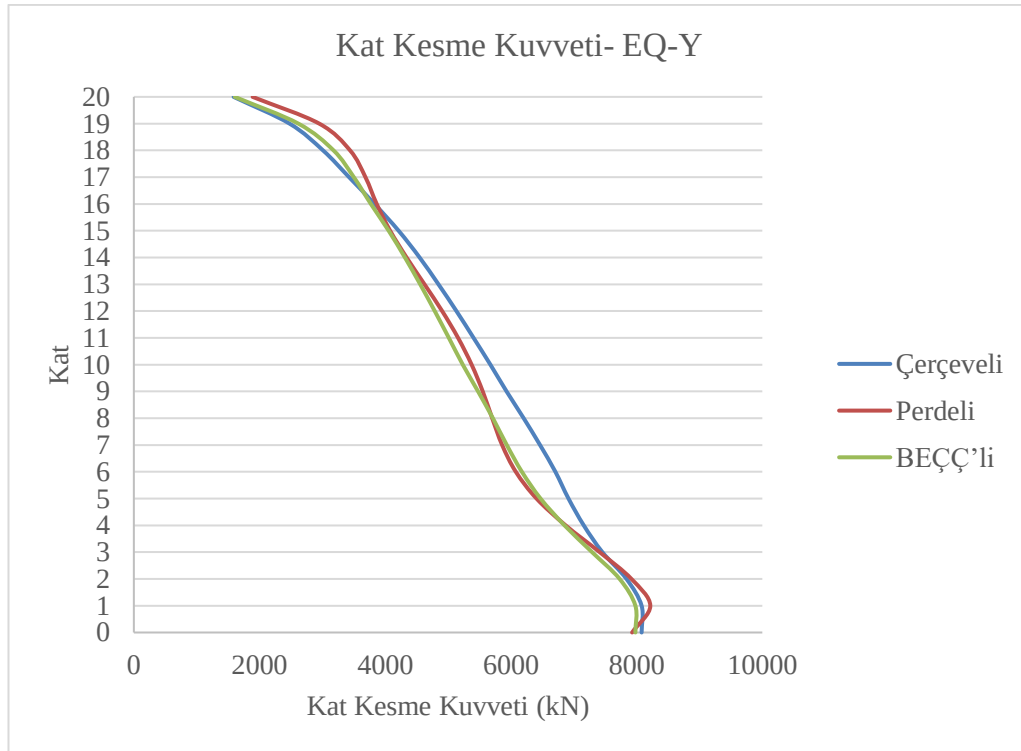
Kat kesme kuvveti, bir binanın veya yapının her kat seviyesinde dik olarak uygulanan kuvveti ifade eder. Bu, özellikle rüzgâr veya deprem gibi yanal yüklerin etkisi altında yapılan yapısal analiz ve tasarımda önemli bir konsepttir. Bu bölümde seçilen üç binanın kat kesme kuvveti değerlerine ilişkin sonuç karşılaştırması sunulmaktadır.

Çizelge 4.41. X ve Y yönden gelen depremden maksimum kat kesme kuvveti

Maks Kat Kesme Kuvveti (kN)						
Kat	X-Yön			Y-Yön		
	Çerçeve	Perdeli	BEÇÇ'li	Çerçeve	Perdeli	BEÇÇ'li
20	1587	1890	1606	1587	1890	1606
19	2478	2951	2618	2478	2951	2618
18	3011	3441	3178	3011	3441	3178
17	3425	3685	3500	3425	3685	3500
16	3830	3864	3772	3830	3864	3772
15	4214	4078	4055	4213	4078	4055
14	4548	4340	4314	4548	4340	4314
13	4847	4625	4557	4847	4625	4557
12	5134	4906	4788	5133	4906	4788
11	5406	5159	5012	5406	5159	5012
10	5674	5375	5234	5673	5375	5234
9	5931	5552	5477	5931	5552	5477
8	6203	5702	5713	6203	5702	5713
7	6463	5860	5934	6463	5860	5934
6	6708	6078	6174	6707	6078	6174
5	6916	6408	6471	6916	6407	6471
4	7159	6870	6852	7159	6870	6852
3	7455	7412	7291	7455	7412	7291
2	7839	7917	7729	7839	7917	7729
1	8079	8217	7980	8079	8217	7980
0	8079	7928	7980	8079	7928	7980



Şekil 4.24. X yönden gelen depremten maksimum kat kesme kuvveti



Şekil 4.25. Y yönden gelen depremten maksimum kat kesme kuvveti

5. SONUÇLAR

5.1. Ekonomik Kriterler

Üç adet depreme dayanıklı betonarme konut tasarımı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlar; çerçeve, perde duvarlı ve BEÇÇ'li çerçeve olmak üzere betonarme ve hibrit taşıyıcı sistemlerden meydana gelmektedir. Her bir bina 20 katlı ve 60 metre yükseklikte olup, oturma alanları 400 m²'dir. Binalar, sismik aktivitesi yüksek olan Bingöl ilinin Karlıova ilçesinde yer almaktadır. Depremle ilgili tüm veriler, Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası (TDTH) üzerinden elde edilmiş olup, bu verilere <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> sitesinden erişilebilmektedir. Doğrusal deprem hesabı, mod birleştirme yöntemi ile yapılmıştır. DD-2 deprem düzeyinde normal performans hedefiyle, Kontrollü Hasar (KH) ve Dayanım Göre Tasarım (DGT) yöntemleri uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, binaların yönetmelik sınırları ve koşullarına uygun olarak güvenli olduğu tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Binaların analiz sonuçları

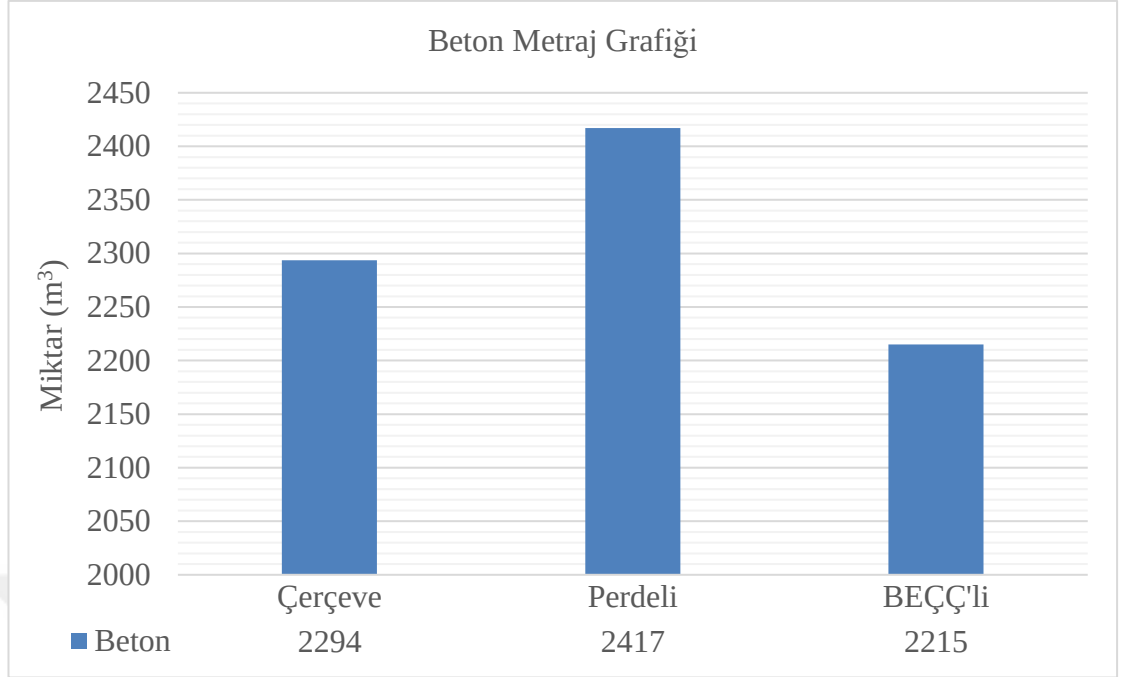
Bina Modeli	Analiz Sonuçları		
	Mod Birleştirme Deprem Hesabı (kN)	Kat Öteleme	Periyod (sn)
Çerçeve	10099	0.0029<0.008	3.236
Perde	10107	0.0023<0.008	3.183
BEÇÇ	9975	0.002<0.008	2.732

BEÇÇ'lerin bina davranışı ve dayanım üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ancak, günümüzde, can güvenliğinin yanı sıra inşaat sektöründe ekonomik faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu tez, özellikle depreme dayanıklı olarak tasarlanan binalarda kullanılan BEÇÇ elemanlarının maliyet açısından avantajlı olup olmadığını belirlemeyi amaçlamaktadır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen metrajlar, Çizelge 5.2'de ve ayrıca Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te ayrıntılı olarak sunulmuştur.

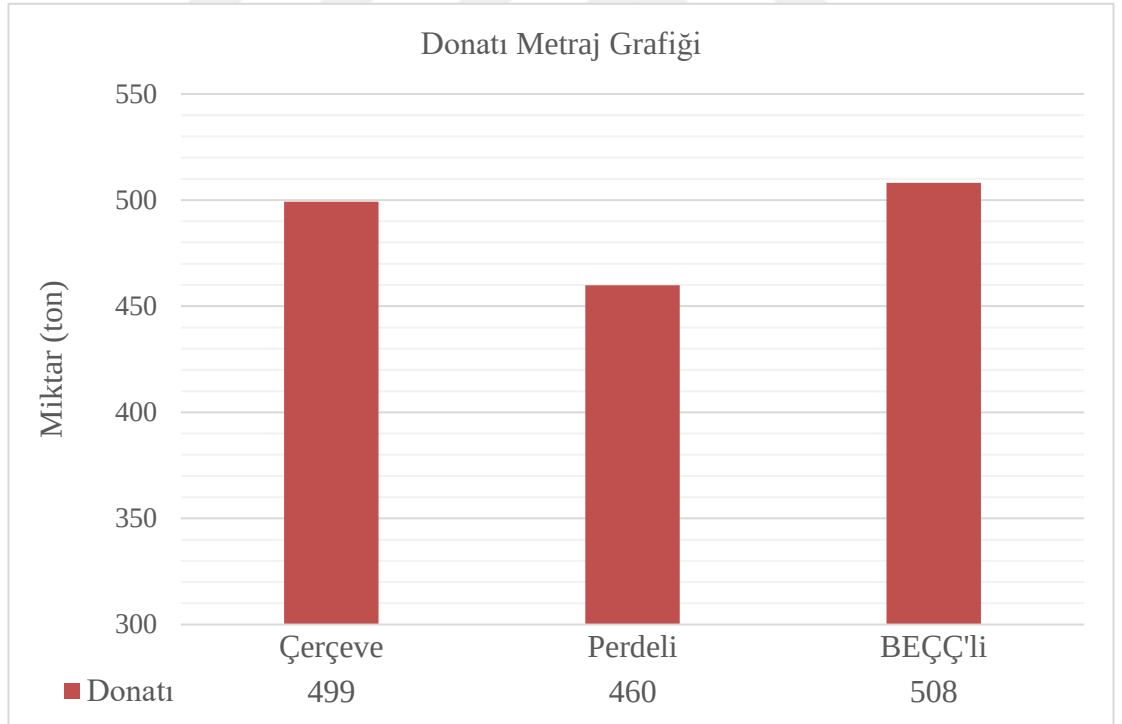
Çizelge 5.2. Binaların metraj sonuçları

Bina Modeli	Metraj		
	Beton (m ³)	Kalıp (m ²)	Donatı (ton)
Çerçeve	2294	14590	499
Perde	2417	16656	460
BEÇÇ	2215	14020	508

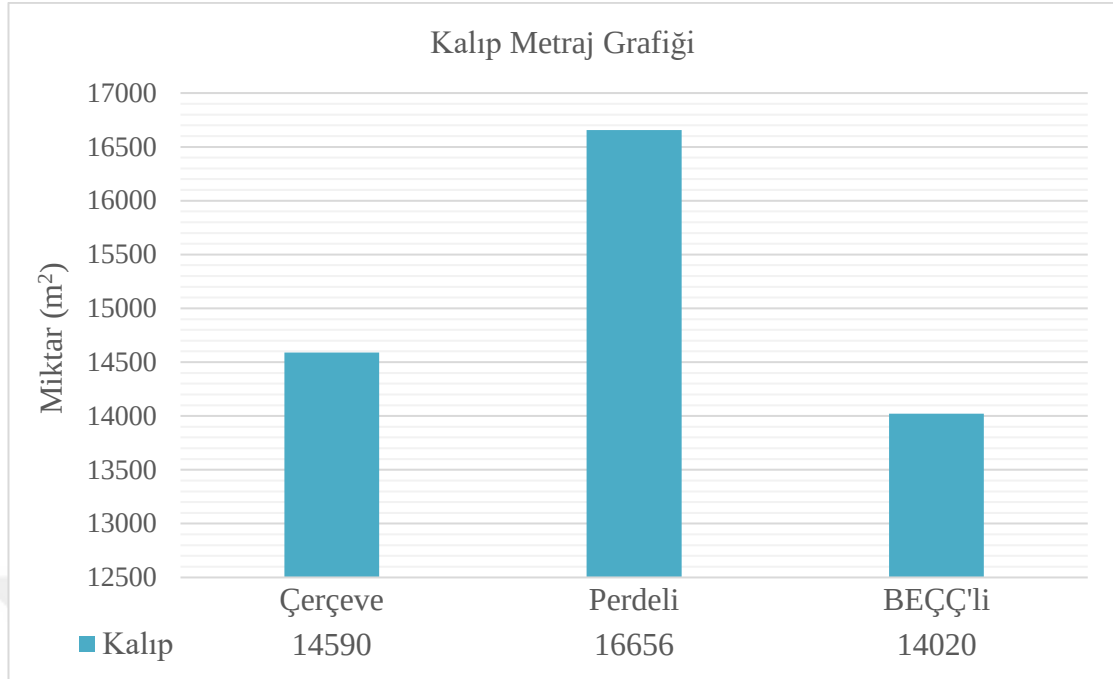
Aşağıda, beton, çelik ve kalıp kullanımı açısından üç farklı yapı sistemi arasında yapılan metraj karşılaştırma sonuçları grafiksel olarak sunulmaktadır.



Şekil 5.1. Beton metrajları grafiği



Şekil 5.2. Donatı metrajları grafiği



Şekil 5.3. Kalıp metrajları grafiği

5.2. Sonuçlar

Söz konusu olan üç yapının ekonomik kriterleri karşılaştırıldığında, BEÇÇ'li yapı sisteminin gerektirdiği donatının, perde duvarlı ve betonarme çerçeveli yapılara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak, bu yapıların beton metrajlarına bakıldığında, BEÇÇ'li sistemin en az beton miktarına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, betonarme elemanlar için gereken kalıp metrajı açısından bakıldığında, BEÇÇ'li yapının en az kalıp ihtiyacını gösterdiği tespit edilmiştir.

Görelî kat ötelemesi sonuçları incelendiğinde, çerçeveli yapının katlar arasında daha fazla öteleme gösterdiği görülmüştür. Buna karşılık, perde duvarlı yapı çerçeveli yapı sisteme göre daha az görelî kat ötelemesi göstermiştir. Ancak BEÇÇ'li yapı, üç yapı arasında en düşük görelî kat ötelemesi göstermiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, betonarme çerçeveli, perdeli ve BEÇÇ'li çerçeve sistemlere ilişkin metraj verileri elde edilmiştir. Ancak, elde edilen sonuçlar sadece belirli bir yapı tipi için geçerlidir ve bu nedenle diğer yapı tipleri için ek çalışmalar gerekmektedir. Bu tez kapsamında sadece 20 katlı bir konut yapısı için elde edilen verilere göre BEÇÇ'li çerçeve sistemin betonarme perdeli sisteme alternatif bir yapısal sistem olabileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, BEÇÇ'li sistemlerin davranışıyla ilgili genel bir sonuca ulaşabilmek için daha detaylı bir araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- AISC 360-16, 2016 “American Institute of Steel Construction” Chicago, Illinois,
- Andrews, B.M., Song, J. ve Fahnestock, L.A. 2009. Ductility capacity models for buckling-restrained braces. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(8-9): 1712- 1720.
- Bozkurt, M.B. 2015. Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Sistemler ile süneklik düzeyi yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Sistemlerin yapısal maliyet analizi karşılaştırması. 6. *Çelik Yapılar Sempozyumu*, OTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, 341-350
- Karataş, Ç.A. ve Çelik, O.C. 2019. Çelik Çekirdekli Burkulması Önlenmiş Çaprazların (BÖÇ) Tasarımı, Üretimi ve Deneysel İncelenmesi. *Teknik Dergi*, 2019 8861-8886, Yazı 526
- Christopoulos, A.S. 2005. Improved Seismic Performance of Buckling Restrained Braced Frames. Msc Thesis, University of Washington, USA, 306 pp.
- Doran, Şenol ve Köse, 2018. Betonarme Yapılarda Burkulması Önlenmiş Çelik Çapraz Elemanların Doğrusal Olmayan Davranışa Etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(59): 299-314.
- Ebrahimia, S., Mirghaderia, S. Ve Zahrai, S. 2019. Proposed design procedure for gusset plate dimensions and force distribution at its interfaces to beam and column. *Engineering Structures*, Cilt.178, No.12, s.554-572. ISSN 0141-0296
- Erdil, E.F., Özçelik, R. ve Erdal, F. 2023. External strengthening of RC structures with buckling-restrained braced frames. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 22:1931–1963
- ETABS. 2019. The ultimate integrated software package for the structural analysis and design of buildings.
- Goli, B.L., Yerramasetty, H.K., Nagarathinam, L. ve Nandam, S. 2017. Analytical study of buckling restrained braced frames under lateral loads using ETABS. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, Cilt. 115, No. 8 431-436
- Haider, S.M. ve Lee, D. 2021. A review on BRB and SC-BRB members in building structures. *Structural Engineering and Mechanics*, Cilt. 80, No. 5 609-623
- Jinkoo Kim, Hyunhoon Choi ve Lan Chung. 2004. Energy-based seismic design of structures with buckling-restrained braces. *Steel and Composite Structures*, Cilt. 4, No. 6 437-452
- Meriç, T.C. 2020. Sismik Yapı Elemanlarında Yeni Bir Alternatif: Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlar. *Sanal Şantiye*, 2020

- Özçelik, R. 2016. Burkulması Engellenmiş Çelik Çaprazlar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3): 160-170.
- Özçelik, R., Binici, B., Kurç, Ö., 2011 “Yapısal çelik elemanlarla güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin dinamik benzeri deney performansı” 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ANKARA, 1-10.
- Özçelik, R. Dikiciaşık, Y. Erdil, E.F. 2016. “The Development of The Buckling Restrained Braces With New End Restrains”, *Journal of Constructional Steel Research*, 138(2017): 208-220
- Özçelik, R., Dikiciaşık, Y., Civelek, K. B., Erdil, E.F. ve Erdal, F. 2020 “Design of buckling restrained braces with composite technique” *Steel and Composite Structures*, 35,5, 687-699
- Özkan, Halil, 2013 “Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik yapıların tasarımı” Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1-63.
- Shen J., Wen. R., Akbas, B. 2015. “Mechanisms in two-story X-braced frames”, *Journal of Constructional Steel Research*, 106(2015): 258-277
- TBDY-2018, 2018 “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye
- Toru Takeuchi, 2018. Buckling-Restrained Brace: History, Design and Applications” Tokyo Institute of Technology, 2-12-1-M1-29, Tokyo Japan
- Tremblay R, Degrange G, Blouin J., 1999, “Seismic rehabilitation of a four-story building with a stiffened bracing system”. 8th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada
- TS 500, 2000, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”
- Tsai, K.C., Lai, J.W., Hwang, Y.C., Lin, S.L. ve Weng, C.H. 2004. Research and application of double core buckling restrained braces in Taiwan. The 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2179.
- Watanabe, A., Hitomi, Y., Saeki, E., Wada, A. ve Fujimoto, M. 1988. Properties of brace encased in buckling-restraining concrete and steel tube. 9th World Conference on Earthquake Engineering, Kyoto-Tokyo, Japan
- Watanabe, A. 2018. Design and Applications of Buckling-Restrained Braces. *International Journal of High-Rise Buildings*, Cilt. 7, No. 3, 215-221
- Wong, A., Too, V., Vazquez Colunga S.Y., ve Lee, C-L. 2019. Buckling capacity of gusset plates derived from stability functions. 2019 Pacific Conference on Earthquake Engineering and Annual NZSEE Conference. Auckland, Yeni Zelanda.

- Xie, Q. 2005. State of the art of buckling-restrained braces in Asia. *Journal of constructional steel research*, 61(6), 727-748.
- Yoshino, T. ve Karino, Y. 1971. Experimental study on shear wall with braces. Part 2, Summaries of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan, Structural Engineering Section, Cilt. 11, S. 403-404

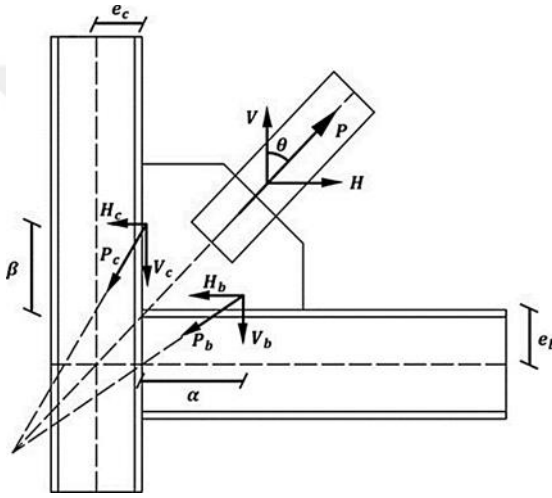


7. EKLER

BEÇÇ’li sistemin hesapları Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği dikkate alınarak yapılmıştır. Örnek olarak, birinci katın çelik yapısal elemanlarının hesaplamaları gösterilmiş olup, binanın tümüne ait çizelge şeklinde sunulmuştur.

7.1. Bayrak Levhasının Tasarımı

Bayrak levhası tasarımında Düzgün Kuvvet Yöntemi (Uniform Force Method) kullanılmıştır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Düzgün Kuvvet Yöntemi (Ebrahimia vd 2019'den adapte edilmiştir)

$$e_b = \frac{d_b}{2} \quad e_c = \frac{d_c}{2}$$

$$\alpha = \frac{w_b}{2} \quad \beta = \frac{w_c}{2}$$

$$\alpha - \beta \times \tan \theta_b = e_b \times \tan \theta_b - e_c$$

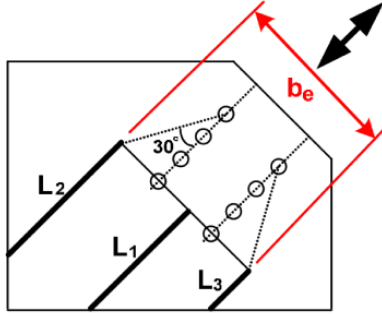
$$w_c = \frac{w_b + d_c}{\tan \theta_b} - d_b$$

$$w_b = 50\text{cm} - \theta_b = 56.31^\circ$$

$$w_c = \frac{50 + 75}{\tan 56.31} - 40 = 43.3\text{cm}$$

7.2. Bayrak levhasının karakteristik basınç kuvveti dayanımı

Bayrak levhasının karakteristik basınç dayanımı belirlenirken Thornton yöntemi kullanılmıştır (Christopoulos (2005)).



Şekil 7.2. Thornton Yöntemi (Wong 2019'dan adapte edilmiştir)

$$l_t = \min \left(l_2, \frac{(l_1 + l_2 + l_3)}{3} \right)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b_w \times t^3}{12}}{b_w \times t}} = \sqrt{\frac{t^2}{12}} = \sqrt{\frac{1.5^2}{12}} = 0.433 \text{ cm}$$

$$\frac{k \times l_t}{i_y} = \frac{0.65 \times 33.5}{0.433} = 50.27$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{k \times l_t}{i_y} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 20000}{(50.27)^2} = 78.1 \text{ KN/cm}^2$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{f_y}{F_e}} \right] \times f_y = \left[0.658^{\frac{23.5}{78.1}} \right] \times 23.5 = 20.72 \text{ KN/cm}^2$$

$$\phi \times P_n = \phi \times F_{cr} \times A = 0.9 \times 20.72 \times 75 = 1398.5 \text{ KN}$$

284 < 1840.79 Bayrak levhası yeterli dayanıma sahiptir.

7.3. Kiriş Kolon ve Bayrak Levhası Birleşim Bölgesi Kaynak Hesabı

Şekil 7.1'de görüldüğü gibi, çapraz elemanın birleşim noktalarına aktardığı kuvvetler gösterilmiştir. Bu birleşim noktalarındaki kaynak hesabı, bu kuvvetlere göre tasarlanmıştır.

$$r = \sqrt{(\alpha + e_c)^2 + (\beta + e_b)^2} = \sqrt{(25 + 18.75)^2 + (19.2 + 10)^2} = 52.6 \text{ cm}$$

$$V_{uc} = \frac{\beta}{r} \times P_{\text{maks}} = \frac{19.2}{52.6} \times 1064 = 388.38 \text{ KN}$$

$$H_{uc} = \frac{e_c}{r} \times P_{\text{maks}} = \frac{18.75}{52.6} \times 1064 = 379.28 \text{ KN}$$

$$V_{ub} = \frac{e_b}{r} \times P_{\text{maks}} = \frac{10}{52.6} \times 1064 = 202.28 \text{ KN}$$

$$H_{ub} = \frac{\alpha}{r} \times P_{\text{maks}} = \frac{25}{52.6} \times 1064 = 505.7 \text{ KN}$$

$$P_{ub} = \sqrt{H_{ub}^2 + V_{ub}^2} = \sqrt{505.7^2 + 202.28^2} = 544.66 \text{ KN}$$

$$P_{uc} = \sqrt{H_{uc}^2 + V_{uc}^2} = \sqrt{379.28^2 + 388.38^2} = 542.86 \text{ KN}$$

Çizelge 7.1. Bayrak levhasının dayanımı

Kat	t (cm)	f_y (KN/cm ²)	K	I_y (cm)	l_{eff} (cm)	Kl/I	F_e (KN/cm ²)	F_{cr} (KN/cm ²)	A_g (cm ²)	$\phi \cdot P_n$ (KN)	P (KN)	Dayanım
20	1.5	23.5	0.65	0.433	28.3	42.49	109.35	21.48	75.00	1449.80	153.54	Yeterli
19	1.5	23.5	0.65	0.433	28.3	42.49	109.35	21.48	75.00	1449.80	221.15	Yeterli
18	1.5	23.5	0.65	0.433	28.3	42.49	109.35	21.48	75.00	1449.80	244.34	Yeterli
17	1.5	23.5	0.65	0.433	28.9	43.36	104.97	21.40	75.00	1444.36	252.79	Yeterli
16	1.5	23.5	0.65	0.433	28.9	43.36	104.97	21.40	75.00	1444.36	354.44	Yeterli
15	1.5	23.5	0.65	0.433	28.9	43.36	104.97	21.40	75.00	1444.36	389.31	Yeterli
14	1.5	23.5	0.65	0.433	28.9	43.36	104.97	21.40	75.00	1444.36	488.87	Yeterli
13	1.5	23.5	0.65	0.433	29.5	44.34	100.40	21.31	75.00	1438.21	507.61	Yeterli
12	1.5	23.5	0.65	0.433	29.5	44.34	100.40	21.31	75.00	1438.21	511.86	Yeterli
11	1.5	23.5	0.65	0.433	29.5	44.34	100.40	21.31	75.00	1438.21	571.44	Yeterli
10	1.5	23.5	0.65	0.433	30.2	45.40	95.76	21.21	75.00	1431.40	672.02	Yeterli
9	1.5	23.5	0.65	0.433	30.2	45.40	95.76	21.21	75.00	1431.40	763.71	Yeterli
8	1.5	23.5	0.65	0.433	30.2	45.40	95.76	21.21	75.00	1431.40	734.74	Yeterli
7	1.5	23.5	0.65	0.433	31.0	46.54	91.14	21.10	75.00	1423.97	836.87	Yeterli
6	1.5	23.5	0.65	0.433	31.0	46.54	91.14	21.10	75.00	1423.97	944.07	Yeterli
5	1.5	23.5	0.65	0.433	31.0	46.54	91.14	21.10	75.00	1423.97	1119.42	Yeterli
4	1.5	23.5	0.65	0.433	32.6	48.98	82.27	20.85	75.00	1407.49	1126.95	Yeterli
3	1.5	23.5	0.65	0.433	32.6	48.98	82.27	20.85	75.00	1407.49	1382.69	Yeterli
2	1.5	23.5	0.65	0.433	33.5	50.27	78.10	20.72	75.00	1398.55	1010.67	Yeterli
1	1.5	23.5	0.65	0.433	33.5	50.27	78.10	20.72	75.00	1398.55	478.37	Yeterli

Çizelge 7.2. Bayrak levhasının ağırlığı

Kat	d_c (m)	d_b (m)	e_c (m)	e_b (m)	w_b (m)	α (m)	w_c (m)	β (m)	t (m)	$\alpha-\beta*\tan\theta$	$e_b*\tan\theta+e_c$	W_p (kg)
20	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3	0.15	0.645	0.322	0.015	-0.066	-0.066	728.85
19	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3	0.15	0.645	0.322	0.015	-0.066	-0.066	728.85
18	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3	0.15	0.645	0.322	0.015	-0.066	-0.066	728.85
17	0.45	0.4	0.225	0.2	0.3	0.15	0.719	0.360	0.015	-0.091	-0.091	813.21
16	0.45	0.4	0.225	0.2	0.3	0.15	0.719	0.360	0.015	-0.091	-0.091	813.21
15	0.45	0.4	0.225	0.2	0.3	0.15	0.719	0.360	0.015	-0.091	-0.091	813.21
14	0.45	0.4	0.225	0.2	0.3	0.15	0.719	0.360	0.015	-0.091	-0.091	813.21
13	0.5	0.4	0.25	0.2	0.3	0.15	0.794	0.397	0.015	-0.116	-0.116	897.57
12	0.5	0.4	0.25	0.2	0.3	0.15	0.794	0.397	0.015	-0.116	-0.116	897.57
11	0.5	0.4	0.25	0.2	0.3	0.15	0.794	0.397	0.015	-0.116	-0.116	897.57
10	0.55	0.4	0.275	0.2	0.3	0.15	0.869	0.434	0.015	-0.141	-0.141	981.93
9	0.55	0.4	0.275	0.2	0.3	0.15	0.869	0.434	0.015	-0.141	-0.141	981.93
8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.3	0.15	0.943	0.472	0.015	-0.166	-0.166	1066.29
7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.3	0.15	0.943	0.472	0.015	-0.166	-0.166	1066.29
6	0.6	0.4	0.3	0.2	0.3	0.15	0.943	0.472	0.015	-0.166	-0.166	1066.29
5	0.6	0.4	0.3	0.2	0.3	0.15	0.943	0.472	0.015	-0.166	-0.166	1066.29
4	0.7	0.4	0.35	0.2	0.3	0.15	1.093	0.546	0.015	-0.216	-0.216	1235.00
3	0.7	0.4	0.35	0.2	0.3	0.15	1.093	0.546	0.015	-0.216	-0.216	1235.00
2	0.75	0.4	0.375	0.2	0.3	0.15	1.167	0.584	0.015	-0.241	-0.241	1319.36
1	0.75	0.4	0.375	0.2	0.3	0.15	1.167	0.584	0.015	-0.241	-0.241	1319.36
Toplam (kg)												19470

Çizelge 7.3. BEÇÇ elemanların ağırlığı

BEÇÇ Elemanlar													
Kat	BEÇÇ	E _s	A _{çe} (cm ²)	L _e (m)	L (m)	ρ _s	E _s	W _{çe} (kg)	L _T	W _T	t _T	W _{Tüp} (kg)	W _{bl} (kg)
20	15cm ²	2E+08	15	1	2.6	7850	3.0E+05	489.84	1.4	0.2	0.006	844.032	728.85
19	15cm ²	2E+08	15	1	2.6	7850	3.0E+05	489.84	1.4	0.2	0.006	844.032	728.85
18	15cm ²	2E+08	15	1	2.6	7850	3.0E+05	489.84	1.4	0.2	0.006	844.032	728.85
17	15cm ²	2E+08	15	1	2.6	7850	3.0E+05	489.84	1.4	0.2	0.006	844.032	813.21
16	25cm ²	2E+08	25	1	2.6	7850	5.0E+05	816.40	1.4	0.3	0.006	1266.048	813.21
15	25cm ²	2E+08	25	1	2.6	7850	5.0E+05	816.40	1.4	0.3	0.006	1266.048	813.21
14	35cm ²	2E+08	35	1	2.6	7850	7.0E+05	1142.96	1.4	0.3	0.008	1688.064	813.21
13	35cm ²	2E+08	35	1	2.6	7850	7.0E+05	1142.96	1.4	0.3	0.008	1688.064	897.57
12	35cm ²	2E+08	35	1	2.6	7850	7.0E+05	1142.96	1.4	0.3	0.008	1688.064	897.57
11	35cm ²	2E+08	35	1	2.6	7850	7.0E+05	1142.96	1.4	0.3	0.008	1688.064	897.57
10	50cm ²	2E+08	50	1	2.6	7850	1.0E+06	1632.80	1.4	0.35	0.008	1969.408	981.93
9	50cm ²	2E+08	50	1	2.6	7850	1.0E+06	1632.80	1.4	0.35	0.008	1969.408	981.93
8	50cm ²	2E+08	50	1	2.6	7850	1.0E+06	1632.80	1.4	0.35	0.008	1969.408	1066.3
7	50cm ²	2E+08	50	1	2.6	7850	1.0E+06	1632.80	1.4	0.35	0.008	1969.408	1066.3
6	65cm ²	2E+08	65	1	2.6	7850	1.3E+06	2122.64	1.4	0.35	0.01	2461.760	1066.3
5	65cm ²	2E+08	65	1	2.6	7850	1.3E+06	2122.64	1.4	0.35	0.01	2461.760	1066.3
4	75cm ²	2E+08	75	1	2.6	7850	1.5E+06	2449.20	1.4	0.4	0.01	2813.440	1235
3	75cm ²	2E+08	75	1	2.6	7850	1.5E+06	2449.20	1.4	0.4	0.01	2813.440	1235
2	65cm ²	2E+08	65	1	2.6	7850	1.3E+06	2122.64	1.4	0.35	0.01	2461.760	1319.4
1	35cm ²	2E+08	35	1	2.6	7850	7.0E+05	1142.96	1.4	0.3	0.008	1688.064	1319.4
Toplam (kg)								27104.5				35238.3	19470

7.4. Çerçeve Sistemin Birleşim Bölgelerinin Tasarımı

Birleşimde 15 adet 10.9 M16 bulon kullanılmıştır. Bulonların standart dairesel delik çapı 18 mm'dir. Kenar bulonların merkezinin plaka kenarına uzaklığı 30 mm'dir. Bulonların merkezlerinin arasındaki mesafe 60 mm ve 90 mm'dir.

Çapı 16 mm olan bulonlar için kenara olan en küçük mesafe 22 mm'dir. Kenara olan en büyük mesafe ise, bağlanan plakaların kalınlığı en küçük olanın 12 katını aşmamalı ve 150 mm'yi geçmemelidir. Bu bilgiler, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği'ne (2017) dayanmaktadır. Bu bilgilere dayanarak, bulon merkezinin kenara olan mesafesi olarak belirlenen 30 mm, yönetmelikte belirtilen bu koşulları karşılamaktadır.

Bulon merkezleri arasındaki mesafe, karakteristik bulon çapının en az 3 katı olmalıdır. En büyük mesafe ise, bağlanan plakaların kalınlığı en küçük olanın 14 katını aşmamalı ve 180 mm'den büyük olmamalıdır. Bu kurallar da yine Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği'nde (2017) belirtilmiştir. Bulon merkezleri için belirlenen 60 mm ve 90 mm bulonlar bu şartları sağlamaktadır.

Tüm BEÇÇ elemanlarının birleşim bölgelerinin tasarım ayrıntıları Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5'te verilmiştir. Bu çizelge için yapılan hesaplamaları göstermek amacıyla, bir bağlantı elemanına ait örnek bir hesaplama bu bölümde sunulmuştur.

7.4.1. Bulonun karakteristik kesme kuvveti dayanımı

$$\phi \times R_{nv} = 0.75 \times F_{nv} \times n_{sp} \times A_b = 0.75 \times 45 \times 2 \times \left(\frac{\pi \times 1.6^2}{4} \right) = 135.72 kN$$

7.4.2. Bulon deliği ezilme kuvveti dayanımı

- Kenar bulonlar:

$$R_{nv} = 1.2 \times I_c \times t \times F_u \leq 2.4 \times d \times t \times F_u$$

$$R_{nv} = 1.2 \times 2.1 \times 1.5 \times 36 \leq 2.4 \times 1.6 \times 1.5 \times 36$$

$$136.08 kN < 207.36 kN$$

$$R_n = \phi \times R_{nv} = 0.75 \times 136.08 = 102.06 kN$$

- Diğer bulonlar:

$$R_{nv} = 1.2 \times I_c \times t \times F_u \leq 2.4 \times d \times t \times F_u$$

$$R_{nv} = 1.2 \times 4.2 \times 1.5 \times 36 \leq 2.4 \times 1.6 \times 1.5 \times 36$$

$$272.16 \text{ kN} > 207.36 \text{ kN}$$

$$R_n = \phi \times R_{nv} = 0.75 \times 207.36 = 155.52 \text{ kN}$$

Birleşim için bir bulonun karakteristik dayanımı $R_n = \min (135.72; 102.06; 155.5)$

12 adet bulonun karşılayabileceği yük $R_n = 15 \times 102.06 = 1530.9 \text{ KN}$ ve birleşime etki eden en yüksek yük ise 1382.69 kN'dur. Buna göre 15 adet 10.9 M16 bulon yeterli dayanıma sahiptir.



Çizelge 7.4. Birleşim bölgelerinin tasarımı

Bulonun karakteristik kesme kuvveti dayanımı									Bulon deliği ezilme kuvveti dayanımı					
									Kenar Bulonlar			Diğer Bulonlar		
Kat	ϕ	F_{nv}	n_{sp}	d	A (cm ²)	$\phi \cdot R_{nv}$	t (cm)	F_u	I_c	R_{nv} (cm)	$2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$	I_c	R_{nv} (cm)	$2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$
20	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
19	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
18	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
17	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
16	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
15	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
14	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
13	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
12	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
11	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
10	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
9	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
8	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
7	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
6	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
5	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
4	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
3	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
2	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36
1	0.75	45	2	1.6	2.011	135.72	1.5	36	2.1	136.08	207.36	4.2	272.16	207.36

Çizelge 7.5. Birleşim bölgelerinin tasarımı için yük kontrolü

ϕ^*R_{nv}	ϕ^*R_{nv}	ϕ^*R_{nv}	Min	R_n	P (KN)	Dayanım
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	153.54	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	221.15	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	244.34	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	252.79	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	354.44	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	389.31	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	488.87	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	507.61	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	511.86	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	571.44	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	672.02	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	763.71	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	734.74	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	836.87	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	944.07	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	1119.42	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	1126.95	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	1382.69	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	1010.67	Yeterli
135.72	102.06	204.12	102.06	1530.9	478.37	Yeterli

ÖZGEÇMİŞ

YAHYA MUSTEFA HASSAN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2021-2024	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Dire Dawa University
2014-2019	Teknoloji Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Dire Dawa

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğretim Görevlisi	Dire Dawa University
2019-Devam Ediyor	Teknoloji Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Dire Dawa