



**KİRİŞE OTURAN KOLONLARA SAHİP BETONARME
BİNANIN DAVRANIŞININ YAPIM AŞAMALARINI DİKKATE
ALAN ANALİZLE İRDELENMESİ**

Musfir AHMED



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KİRİŞE OTURAN KOLONLARA SAHİP BETONARME BİNANIN
DAVRANIŞININ YAPIM AŞAMALARINI DİKKATE ALAN ANALİZLE
İRDELENMESİ**

Musfir AHMED
0009-0003-6708-9767

Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİRİŞE OTURAN KOLONLARA SAHİP BETONARME BİNANIN DAVRANIŞININ YAPIM AŞAMALARINI DİKKATE ALAN ANALİZLE İRDELENMESİ

Musfir AHMED

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

Süreksiz kolon olarak da adlandırılabilir olan kirişe mesnetlenip altında kolon bulunmayan üst kat kolonuna sahip taşıyıcı sistemlerle nadiren de olsa karşılaşmaktadır. Türkiye’de 1998 yılına kadar Deprem Yönetmeliğinde konsol ucuna mesnetlenen kolonlara müsaade edilmekteydi. 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte konsol ucuna kolon mesnetlenmesine izin verilmemiştir. Günümüzde de konsola oturan kolona izin verilmez, ancak kolonun her iki ucundan mesnetli kirişe oturmasına müsaade edilmektedir. Yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018’de kolonun mesnetleneceği kirişin her iki ucunun da mesnetli olması şart koşulmakta ve bu durum B3 Düzensizliği olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada dikkate alınan süreksiz kolon her iki ucundan mesnetli bir kirişe oturan kolondur. Binaların analizlerinde genel olarak yapının tamamı modellenerek son durumu dikkate alınarak yapısal analizler gerçekleştirilmektedir. Bu analiz yaklaşımı tezde geleneksel analiz yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. Ancak son yıllarda başta yüksek yapılar olmak üzere normal yapılar için de yapım aşamalarını dikkate alan analizler gerçekleştirilmektedir. Bu son analiz yaklaşımı tezde kullanılmakta ve yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. Bu tezin amacı, örnek olarak seçilen ve B3 düzensizliği bulunan binaların geleneksel yaklaşım ve yapım aşamalarını dikkate alan yaklaşım ile yapısal analizlerini gerçekleştirmek ve bunları karşılaştırmalı olarak irdelemektir. Bu amaçla Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018’e göre kolon süreksizliği bulunan betonarme çerçevelerden oluşan 4 katlı bir bina dikkate alınmaktadır. Söz konusu binanın 8 farklı Deprem Tasarım Sınıfı için geleneksel ve yapım aşamalarını dikkate alan yöntemlerle analizi için toplam 16 modelleme gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında dikkate alınan binanın analiz ve tasarımı ETABS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme etkisindeki yapı elemanlarının sehim hesabı ise SAFE yazılımı ile ayrıca irdelenmiştir. Deprem etkisine göre hesapta, modal analiz yöntemlerinden biri olan tepki spektrumu analizi yöntemi kullanılarak lineer dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Geleneksel yaklaşım ve yapım aşamalarını dikkate alan yaklaşımlar ile oluşturulan bina modellerine göre gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen kesit etkileri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) ve yerdeğiştirmeler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir. Yapılan karşılaştırmalar doğrultusunda bu tür B3 düzensizliği bulunan binaların yapısal analizlerinde yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımının kullanılması daha gerçekçi olarak görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yapılar; yapım aşamaları dikkate alan analiz; geleneksel analiz; düşeyde düzensizlik; kolon süreksizliği; transfer kirişi.

2023, xvii + 88 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

Investigation of the Behavior of Reinforced Concrete Building with Floating Columns
with Construction Sequence Analysis

Musfir AHMED

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

Discontinuous columns with upper-floor columns that are supported by a beam, which can also be called Floating columns, where rarely encountered. Until 1998, the seismic code allowed for columns to be supported at their cantilever ends. In the Regulation on Buildings to be Constructed in Disaster Areas, which came into effect in 1998, supporting columns at the cantilever end were not allowed. Nowadays, supporting a column at the cantilever end is still not permitted, but it is allowed for the column to be supported by a beam at both ends. In the current Turkish Building Earthquake Code-2018, it is stipulated that both ends of the beam where the column will be supported must be supported, and this situation is called B3 Irregularity. The floating columns considered in this study are those that are supported by a beam supported at both ends from the lower end. In the analysis of buildings, structural analyses are generally performed by modeling the entire structure by considering its final state. This analysis approach will be referred to as the conventional analysis approach in this thesis. However, in recent years, analyses that consider construction stages have also been conducted, especially for tall buildings and normal structures. This latest analysis approach will be used in this thesis and referred to as the analysis approach that considers construction stages. The purpose of this thesis is to perform structural analyses on buildings with B3 irregularity, selected as an example, using both the conventional approach and approach that considers construction stages and to examine them comparatively. For this purpose, a 4-story building consisting of reinforced concrete frames with a floating column is considered, according to the Turkish Building Earthquake Code-2018. A total of 16 models were carried out for the conventional method and method that considers construction stages for 8 different Seismic Design Categories of the building. The analysis and design of the building considered within the scope of the thesis were carried out using ETABS software. The deflection calculations for structural elements under flexural effects were also examined using the SAFE 2016 software. In the calculation of earthquake effects, linear dynamic analyses were performed using the response spectrum analysis method, one of the modal analysis methods. The internal forces obtained as a result of the analyses (axial force, bending moment, and shear force) and displacements are compared comparatively based on building models created using both the conventional approach and the approach that considers construction stages. According to the comparisons, it seems that the use analysis approach where construction stages are considered more realistic in the structural analysis of buildings with such B3 irregularities.

Key Words: Reinforced concrete structures; construction sequence analysis; conventional analysis; vertical discontinuity; floating column; transfer beam.

2023, xvii + 88 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresi boyunca bilgi ve ilgisini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN'e teşekkürü bir borç bilir, en içten saygılarımı sunarım.

Ayrıca hayatta desteklerini benden hiç esirgemeyen kıymetli aileme çok teşekkür ederim.

Musfir AHMED
21/09/2023



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Düzensiz Binalar	4
2.1.1. A – Planda düzensizlik durumları	4
2.1.2. B – Düşeyde düzensizlik durumları	6
2.2. Betonarme Taşıyıcın Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları	7
2.3. Yük Kombinasyonları	9
2.4. Kaynak Araştırması.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Genel Bina Bilgileri	12
3.2. Dikkate Alınan Depremle İlgili Parametreler	14
3.2.1. Yatay deprem etkisi	14
3.2.2. Düşey deprem etkisi	17
3.3. Dikkate Alınan Yapıyla İlgili Parametreler	22
3.4. Geleneksel Yapısal Analiz Yaklaşımı.....	22
3.5. Yapım Aşamalarını Dikkate Alan Yapısal Analiz Yaklaşımı.....	23
3.6. Oluşturulan Bina Modelleri.....	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Hakim Doğal Titreşim Periyodu	27
4.2. Modal Analiz.....	27
4.3. Deprem Etkisi Hesabı	30
4.4. Yapısal Düzensizliklerin Kontrolü.....	31
4.4.1. A1-Burulma düzensizliği	31
4.4.2. B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat)	32
4.5. Görelî kat ötelemelerinin kontrolü	33
4.6. İkinci Mertebe Etkileri	36
4.7. Sehim kontrolü.....	37
4.8. Çatlama kontrolü.....	43
4.9. Mod Birleştirme Yöntemiyle Deprem Hesabı	44
4.9.1. Azaltılmış iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmesi.....	44
4.10. Kritik Elemanların Analiz Sonuçları.....	46
4.11. Tasarım Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	57
4.11.1. Düşey deprem etkisi dinamik yük olarak dikkate alındığında transfer kirişinin bulgularının karşılaştırılması.....	60
4.11.2. Düşey deprem etkisi statik yük olarak dikkate alındığında transfer kirişinin bulgularının karşılaştırılması.....	67
4.11.3. Yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımı dikkate alındığında transfer kirişinin bulgularının karşılaştırılması	72

4.11.4. Geleneksel analiz yaklaşımı dikkate alındığında transfer girişinin bulgularının karşılaştırılması	75
5. SONUÇ	79
KAYNAKLAR	82
EKLER.....	84
ÖZGEÇMİŞ	88



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A_e	Etkili çekme alanı
A_t	Elemanlarda her bir çekme çubuğuna düşen etkili beton alanı
c	En dış donatı ağırlık merkezinden ölçülen beton örtüsü
C_h	İkinci mertebe hesabında kullanılan ampirik katsayı
C_t	Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
D	Dayanım Fazlalığı Katsayısı
$E_d^{(Z)}$	(Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
f_{ctd}	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
f_{yd}	Boyuna donatı tasarım akma dayanımı
$F_{iE}^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda i'inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_S	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi
h_i	i'inci katın yüksekliği
H_i	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümde i'inci katın üst bölümün tabanından itibaren ölçülen yüksekliği
H_N	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği
I	Bina Önem Katsayısı
I_{cr}	Tarafsız eksene göre çatlamış kesit eylemsizlik momenti
I_{ef}	Etkili eylemsizlik momenti
ℓ_n	Mesnet yüzünden mesnet yüzüne ölçülen serbest açıklık
m_i	i'inci katın toplam kütlesi
M_{cr}	Elemanın eğilmede çatlama momenti
M_{max}	Elemandaki en büyük eğilme momenti
n	Hareketli yük kütle katılım katsayısı
$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aeD}(T)$	Düşey elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{ar}(T)$	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_S	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
T_A	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{AD}	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{BD}	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{LD}	Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu

T_{LD}	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{pA}	Ampirik olarak hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu
$T_p^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu
u_i	(X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için. i'inci kattaki azaltılmış yer değiştirme
$V_i^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvveti
$V_{tE}^{(X)}$	(X)deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
w_k	k'ıncı kata etkiyen toplam ağırlık
y	En dış çekme lifinin tarafsız eksenenden uzaklığı
a	Toplam çekme donatısı ağırlık merkezinden ölçülen beton örtüsü
ΣA_e	Herhangi bir katta. göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
ΣA_g	Herhangi bir katta. göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
ΣA_k	Herhangi bir katta. göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı
ΣA_w	Herhangi bir katta. kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı
$\beta_{tE}^{(X)}$	Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
δ_i	(X) deprem doğrultusu için. binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi
δ_{iq}	Hareketli yüklerden oluşan ani sehim
δ_T	Toplam sehim
$\Delta F_{NE}^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
$\Delta_i^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için. ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$	(X) deprem doğrultusunda ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{max}$	Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
η_{bi}	i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	i'inci katta dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	i'inci katta rijitlik düzensizliği katsayısı
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
$\theta_{II,i}^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
$\theta_{II,max}$	(X) deprem doğrultusunda tanımlanan maksimum ikinci mertebe gösterge değeri

σ_s	Çatlamada, çatlamış kesit varsayımı ile hesaplanan donatı gerilmesi
ω	Çatlak genişliği

Kısaltmalar Açıklama

BKS	Bina kullanım sınıfı
BYS	Bina yükseklik sınıfı
DBYBHY	Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem yer hareketi düzeyi
DTS	Deprem tasarım sınıfı
GA	Geleneksel analiz
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	Türk standardı
YADAA	Yapım aşamalarını dikkate alan analiz

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. X Deprem doğrultusu için burulma düzensizliği (Doğangün 2021a).....	4
Şekil 2.2. Döşeme süreksizlikleri düzensizliği (Doğangün 2021a).....	5
Şekil 2.3. Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği (Doğangün 2021a).....	6
Şekil 2.4. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin düzensizliği (TBDY 2018).....	7
Şekil 3.1. DTS = 1. 1a için yatay elastik tasarım spektrumu.....	15
Şekil 3.2. DTS = 2. 2a için yatay elastik tasarım spektrumu.....	16
Şekil 3.3. DTS = 3. 3a için yatay elastik tasarım spektrumu.....	16
Şekil 3.4. DTS = 4. 4a için yatay elastik tasarım spektrumu	17
Şekil 3.5. TBDY'ne göre düşey deprem etkisine göre yapılması gerekenler (Doğangün 2021b).....	19
Şekil 3.6. DTS = 1. 1a için düşey elastik tasarım spektrumu.....	20
Şekil 3.7. DTS = 2. 2a için düşey elastik tasarım spektrumu.....	20
Şekil 3.8. DTS = 3. 3a için düşey elastik tasarım spektrumu.....	21
Şekil 3.9. DTS = 4. 4a için düşey elastik tasarım spektrumu.....	21
Şekil 3.10. Bina yapım aşamaları.....	23
Şekil 3.11. Dikkate alınan bina modelinin üç boyutlu görünümü.....	24
Şekil 3.12. Matematik modelin 1.kat plan görünümü	24
Şekil 3.13. Matematik modelin 2.kat plan görünümü	25
Şekil 3.14. Matematik modelin 3-4 katları plan görünümü	25
Şekil 3.15. Süreksiz kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü	26
Şekil 4.1. 1.mod şekli.....	28
Şekil 4.2. 2.mod şekli.....	28
Şekil 4.3. 3.mod şekli.....	29
Şekil 4.4. Ani sehim yükleme durumu	38
Şekil 4.5. Zamana bağlı sehim yükleme durumu.....	39
Şekil 4.6. Zamana bağlı sehim (<i>Sustend</i>) yükleme durumu	39
Şekil 4.7. Toplam sehim yük birleşimi.....	40
Şekil 4.8. Ani sehim	41
Şekil 4.9. Geleneksel analiz sonucu bulunan toplam sehim.....	42
Şekil 4.10. Yapım aşamalarını dikkate alan analiz sonucu bulunan toplam sehim.....	43
Şekil 4.11. 1.Geleneksel analiz sonucu bulunan binanın şekil değiştirmiş halinin görünümü.....	46
Şekil 4.12. Yapım aşamalarını dikkate alan analiz sonucu bulunan binanın değiştirmiş halinin görünümü.....	47
Şekil 4.13. Transfer kirişi eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 4.14. Transfer kirişi kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.15. Transfer kirişi yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.16. Süreksiz kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü.....	50
Şekil 4.17. B2 kirişi sol mesnet eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması...	50
Şekil 4.18. B2 kirişi sağ mesnet eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması..	51
Şekil 4.19. B2 kirişi sol mesnet kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması....	52
Şekil 4.20. B2 kirişi sağ mesnet kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması....	52

Şekil 4.21.	Süreksiz kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü.....	53
Şekil 4.22.	C3 kolonu eksenel kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.23.	Süreksiz kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü.....	54
Şekil 4.24.	C3 ile B2/B3 kesişme noktasının Z doğrultusundaki yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.25.	C3 ile B2/B3 kesişme noktasının Y doğrultusundaki yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.26.	C2 kolonu eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 4.27.	C2 kolonu kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	57
Şekil 4.28.	C2 kolonu eksenel kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	57
Şekil 4.29.	Süreksiz kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü.....	58
Şekil 4.30.	Mesnet eğilme momenti karşılaştırması.....	64
Şekil 4.31.	Açıklık eğilme momenti karşılaştırması.....	63
Şekil 4.32.	Mesnet kesme kuvveti karşılaştırması.....	66
Şekil 4.33.	Açıklık kesme kuvveti karşılaştırması.....	66
Şekil 4.34.	Mesnet eğilme momenti karşılaştırması.....	69
Şekil 4.35.	Açıklık eğilme momenti karşılaştırması.....	69
Şekil 4.36.	Mesnet kesme kuvveti karşılaştırması.....	71
Şekil 4.37.	Açıklık kesme kuvveti karşılaştırması.....	72
Şekil 4.38.	Mesnet eğilme momenti karşılaştırması.....	73
Şekil 4.39.	Açıklık eğilme momenti karşılaştırması.....	74
Şekil 4.40.	Mesnet kesme kuvveti karşılaştırması.....	75
Şekil 4.41.	Açıklık kesme kuvveti karşılaştırması.....	75
Şekil 4.42.	Mesnet eğilme momenti karşılaştırması.....	76
Şekil 4.43.	Açıklık eğilme momenti karşılaştırması.....	77
Şekil 4.44.	Mesnet kesme kuvveti karşılaştırması.....	78
Şekil 4.45.	Açıklık kesme kuvveti karşılaştırması.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Etabs (ETABS 2023) programında tanımlanan kolonların etkin kesit rijitliği çarpanları.....	8
Çizelge 2.2. Etabs (ETABS 2023) programında tanımlanan kirişlerin etkin kesit rijitliği çarpanları.....	8
Çizelge 2.3. Etabs (ETABS 2023) programında tanımlanan döşemelerin etkin kesit rijitliği çarpanları.....	8
Çizelge 2.4. Yük birleşimleri.....	9
Çizelge 3.1. Malzeme özellikleri.....	13
Çizelge 3.2. Düşey yükler.....	13
Çizelge 3.3. Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları.....	13
Çizelge 3.4. Dikkate alınan depremle ilgili parametreler.....	14
Çizelge 3.5. Dikkate alınan yapıyla ilgili parametreler.....	22
Çizelge 3.6. Dikkate alınan yapıyla ilgili parametreler.....	22
Çizelge 4.1. Binanın modal analiz sonuçları.....	30
Çizelge 4.2. Eşdeğer deprem yükü taban kesme kuvvetleri.....	31
Çizelge 4.3. EXP Deprem etkisi altında burulma düzensizliği.....	31
Çizelge 4.4. EXN Deprem etkisi altında burulma düzensizliği.....	38
Çizelge 4.5. EYP / EYN Deprem etkisi altında burulma düzensizliği.....	32
Çizelge 4.6. EXP Deprem etkisi altında rijitlik düzensizliği.....	32
Çizelge 4.7. EXN Deprem etkisi altında rijitlik düzensizliği.....	32
Çizelge 4.8. EYP / EYN Deprem etkisi altında rijitlik düzensizliği.....	32
Çizelge 4.9. Görelî kat ötelemelerinin hesabı için eşdeğer deprem yükleri.....	33
Çizelge 4.10. EXP deprem etkisi altında görelî kat ötelemeleri.....	35
Çizelge 4.11. EXN deprem etkisi altında görelî kat ötelemeleri.....	36
Çizelge 4.12. EYP / EYN deprem etkisi altında görelî kat ötelemeleri.....	36
Çizelge 4.13. EX Deprem etkisi altında İkinci derece etkilerinin kontrolü.....	37
Çizelge 4.14. EY Deprem etkisi altında İkinci derece etkilerinin kontrolü.....	37
Çizelge 4.15. Mod birleştirme yöntemi ile elde edilen toplam deprem yükü.....	45
Çizelge 4.16. Transfer kirişi analiz sonuçları.....	48
Çizelge 4.17. B2 kirişi mesnet eğilme momenti değerleri.....	50
Çizelge 4.18. B2 kirişi mesnet kesme kuvveti değerleri.....	51
Çizelge 4.19. C3 kolonu eksenel kuvvet değerleri.....	53
Çizelge 4.20. C3 ile B2/B3 kesişme noktasının yerdeğiştirme değerleri.....	54
Çizelge 4.21. C2 Kolonu iç kuvvet değerleri.....	56
Çizelge 4.22. 1.kattaki C2 kolonun iç kuvvetlerinin DTS için karşılaştırılması..	59
Çizelge 4.23. 2.kattaki C2 kolonun iç kuvvetlerinin DTS için karşılaştırılması..	59
Çizelge 4.24. 2.kattaki C3 kolonun iç kuvvetlerinin DTS için karşılaştırılması..	60
Çizelge 4.25. Geleneksel analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerleri.....	61
Çizelge 4.26. Yapım aşamaları dikkate alan analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerleri.....	62
Çizelge 4.27. Eğilme momenti karşılaştırması.....	63
Çizelge 4.28. Geleneksel analiz sonucu bulunan kesme kuvveti değerler.....	64

Çizelge 4.29.	Yapım aşamaları dikkate alan analiz sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri.....	65
Çizelge 4.30.	Kesme kuvveti karşılaştırması.....	65
Çizelge 4.31.	Geleneksel analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerleri.....	67
Çizelge 4.32.	Yapım aşamaları dikkate alan analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerleri.....	68
Çizelge 4.33.	Eğilme momenti karşılaştırması.....	68
Çizelge 4.34.	Geleneksel analiz sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri.....	70
Çizelge 4.35.	Yapım aşamaları dikkate alan analiz sonucu bulunan kesme kuvvet değerleri.....	70
Çizelge 4.36.	Kesme kuvveti karşılaştırması.....	71
Çizelge 4.37.	Eğilme momenti karşılaştırması.....	73
Çizelge 4.38.	Kesme kuvveti karşılaştırması.....	74
Çizelge 4.39.	Eğilme momenti karşılaştırması.....	76
Çizelge 4.40.	Kesme kuvveti karşılaştırması.....	77

1. GİRİŞ

Dünyadaki insan nüfusu artması ve şehirlere göç etmesi nedeniyle gün geçtikçe çok katlı yapılara olan ihtiyaç artmaktadır. Bu ihtiyaç Türkiye’de çok sayıda betonarme binanın şehirlere yapılması şeklinde bir sonuç doğurmuştur. Ancak Türkiye aktif fay hatlarının bulunduğu bir deprem ülkesi olduğundan bu binaların depreme dayanıklı olarak tasarlanması bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de meydana gelen ve 50 binden fazla insanın hayatını kaybetmesine yol açan 6 Şubat 2023 Depremleri depreme dayanıklı yapı tasarım konusunun önemini bir kez daha vurgulamıştır.

Bir yapının taşıyıcı sistemi ne kadar sade ve basit olursa depremden kaynaklanan eylemsizlik kuvvetlerinin yapı içinde dağılımı da o kadar düzenli olmaktadır. Bu durumda yapıya etkileyen yükler en kısa yoldan taşıyıcı sistem aracılığı ile zemine aktarılmaktadır. Böylece belirsizlikler minimuma indiğinden analiz ve tasarımdaki kabuller de gerçeğe daha fazla yaklaşmaktadır. Ancak taşıyıcı sistem sade ve basit olmaktan çıkıp düzensiz bina sınıfına girdiğinde yük dağılımının tahmininde belirsizlikler artmakta, taşıyıcı sistemdeki elemanların hesaplanan kesit etkilerinde de belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda düzensiz bina tasarlamaktan olabildiğince kaçınmak gerekmektedir. Tüm bu olumsuzluklara rağmen uygulamada mühendisler genellikle mimari ve ekonomik nedenlerle yaygın olarak düzensiz bina tasarlamak durumunda kalmaktadır. Bu düzensizliklerden birisi de kolonun alt ucundan bir kolona mesnetlenmek yerine bir kat kirişine mesnetlenmesi durumudur. Süreksiz kolon olarak da adlandırılabilen bu kolon yükü artık altındaki bir kolon yerine bir kirişe aktarılmakta, bu kiriş aracılığıyla da her iki ucundan alt kat kolonlarına aktarılmaktadır. Süreksiz kolon durumunda yapı artık sade ve basit olmaktan çıkarak düzensiz bina sınıfına girmektedir.

Deprem Yönetmeliklerinde kolonların süreksizliğine ilişkin aşağıdaki koşullar belirtilmiştir:

- Günümüzde yürürlükte olan 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018) kolonların konsol kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez. Ancak daha önce de belirtildiği gibi bu duruma 1998’e kadar müsaade edilmekte idi. Dolayısıyla bu tarihten önce inşa edilmiş yapılarla bu tür düzensizlikle karşılaşmak mümkündür.

➤ Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumu. Bu düzensizlikle ilgili 1998 AFET Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte (ABYYHY 1998) “Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.” denilmektedir. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (DBYBHY 2007) “ Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır” denilmektedir. 2018 Türkiye Bina deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018) “Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, 4.4.3’e göre düşey deprem hesabı yapılması yeterlidir” denilmektedir. Madde 4.4.3.1 de ise “ DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olarak sınıflandırılan ve aşağıdaki elemanları içeren binalarda düşey deprem hesabı, bu elemanların yerel düşey titreşim modları esas alınarak sadece bu elemanlar için 2.3.5’te tanımlanan düşey elastik ivme spektrumu’na göre 4.8.2’de verilen yöntemle yapılacaktır. Düşey deprem etkisinin bu şekilde hesabında tüm taşıyıcı sistemler için $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınacaktır” ifadeleri bulunmaktadır.

- a) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişler,
- b) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsollar,
- c) Transfer kirişler (süreksiz kolonun mesnetlendiği kiriş),
- d) Düşeye göre eğimli kolonlar,

Mühendisler yapıları tasarlarken genel olarak etkisinde kalacağı tüm yükleri aynı anda etki ettirmektedir. Oysaki yüklerin bir kısmı yapılara inşaatın ilerleme ve tamamlanma durumlarına göre aşmalı bir şekilde etkimektedir. Yüksek yapılar, köprüler, doğrusal olmayan geometriye sahip yapılar gibi yapılar için yapım aşamalarını dikkate alarak yapısal analizlerin gerçekleştirilmesi daha önemli olmaktadır.

Bu tez çalışması, beş ana bölümden ibarettir. Birinci bölüm giriş bölümü olup, ikinci bölümde yapısal düzensizlikler hakkında genel bilgiler açıklanmış ve literatür taraması sunulmuştur. Üçüncü bölümde tez kapsamında dikkate alınan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY 2018) göre B3 düzensizliğine sahip 4 katlı binaya ilişkin genel bilgiler/parametreler ve dikkate alınan deprem parametreleri, analiz yaklaşımları ve oluşturulan bina modellerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde kritik taşıyıcı sistem elemanların kesit tesirleri ve şekil değiştirmeleri sonuçları karşılaştırılıp tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise sonuç ve önerilere ayrılmıştır.



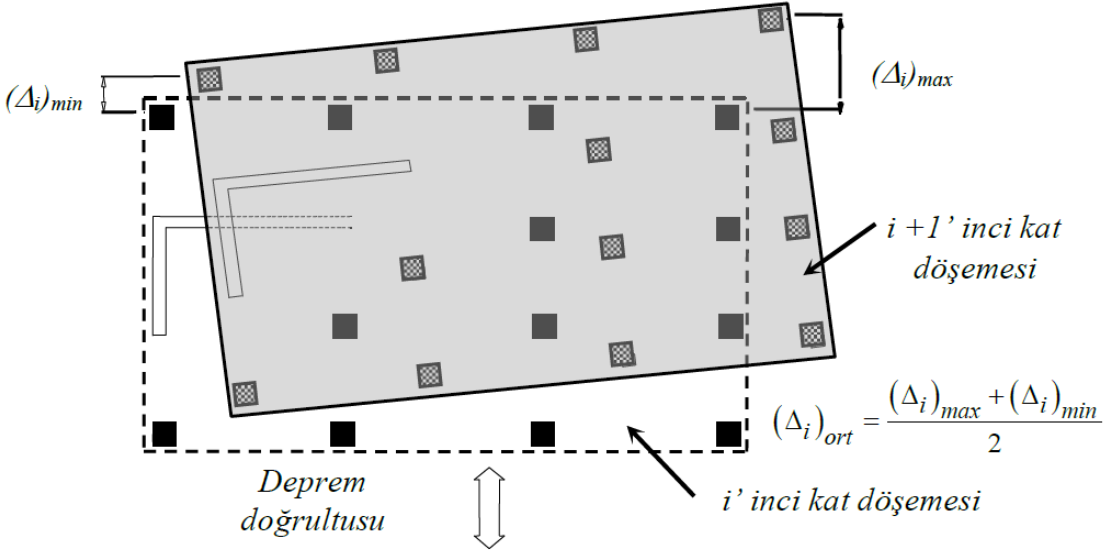
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Düzensiz Binalar

2.1.1. A – Planda düzensizlik durumları

A1 – Burulma Düzensizliği

TBDY-2018'e göre birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumunda burulma düzensizliğinden söz edilmektedir. Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} bağıntı şeklinde Denklem 2.1'de gösterilmiştir.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} \quad (2.1)$$


Şekil 2.1. X Deprem doğrultusu için burulma düzensizliği (Doğangün 2021a)

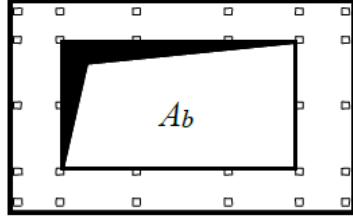
A2 – Döşeme Süreksizlikleri

Binanın herhangi bir katın döşemesinde aşağıdaki sıralanan durumların birinin oluşması durumunda döşeme süreksizliği düzensizliğinden söz edilmektedir.

I – Boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

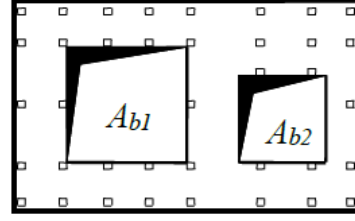
II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu,



A2 türü düzensizlik durumu - I

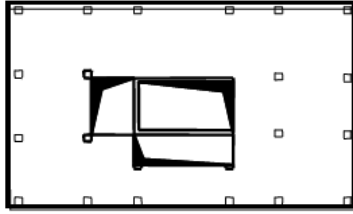
$$A_b/A > 1/3$$



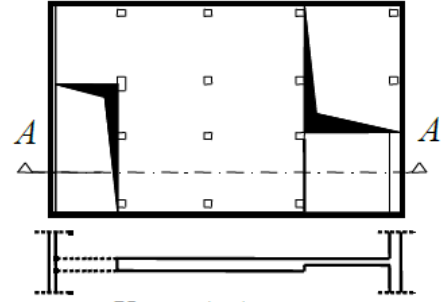
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

Ab: Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu - II



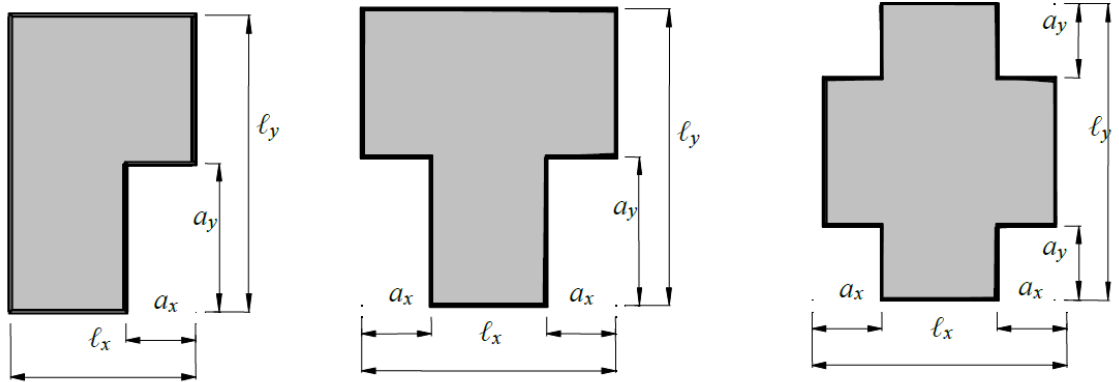
Kesit A-A

A2 türü düzensizlik durumu - II ve III

Şekil 2.2. Döşeme süreksizlikleri düzensizliği (Doğangün 2021a)

A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumunda planda çıkıntı bulunması düzensizliğinden söz edilmektedir.



Düzensizlik oluşmaması için: $a_x \leq 0,2 \ell_x$ ve $a_y \leq 0,2 \ell_y$ olmalı

Şekil 2.3. Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği (Doğangün 2021a)

2.1.2. B – Düşeyde düzensizlik durumları

B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumunda rijitlik düzensizliğinden bahsedilmektedir. Dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} bağıntı şeklinde Denklem 2.2'de gösterilmiştir.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} \quad (2.2)$$

$$(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + (0.15 \sum A_k)_i \quad (2.3)$$

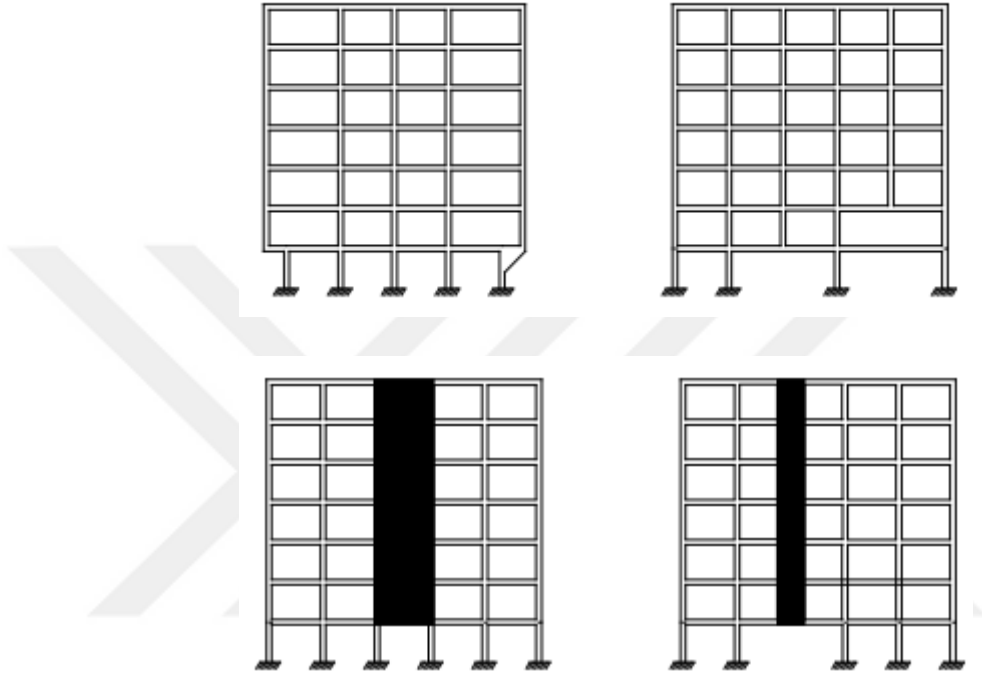
B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

TBDY-2018'e göre birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için bodrum katlar dışında herhangi bir i'inci kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranına bölünmesi ile elde edilen rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den büyük olması durumunda rijitlik düzensizliğinden söz edilmektedir. Rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} bağıntı şeklinde Denklem 2.4'de gösterilmiştir.

$$\eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i}{h_i}\right)_{\text{ort}}}{\left(\frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}}\right)_{\text{ort}}} \quad ; \quad \eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i}{h_i}\right)_{\text{ort}}}{\left(\frac{\Delta_{i-1}}{h_{i-1}}\right)_{\text{ort}}} \quad (2.4)$$

B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Binanın herhangi bir katında kolon ya da perdelerinin kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği düzensizliğinden söz edilmektedir.



Şekil 2.4. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin düzensizliği (TBDY 2018)

2.2. Betonarme Taşıyıcın Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

Deprem etkilerini içeren yük kombinasyonları altındaki hesaplarda betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitlikleri kullanılarak yük alma kapasitesi düşürülmektedir. Etkin kesit rijitlikleri ETABS (ETABS 2023) yazılımında çarpan olarak kolonlara, Çizelge 2.1’de kirişlere, Çizelge 2.2’de döşemelere de Çizelge 2.3’de gösterildiği gibi atanmaktadır.

Çizelge 2.1. ETABS (ETABS 2023) programında tanımlanan kolonların etkin kesit rijitliği çarpanları

Cross-section (axial) Area	1
Shear area in 2 direction	1
Shear area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.7
Moment of Inertia about 3 axis	0.7

Çizelge 2.2. ETABS (ETABS 2023) programında tanımlanan kirişlerin etkin kesit rijitliği çarpanları

Cross-section (axial) Area	1
Shear area in 2 direction	1
Shear area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.35
Moment of Inertia about 3 axis	0.35

Çizelge 2.3. ETABS (ETABS 2023) programında tanımlanan döşemelerin etkin kesit rijitliği çarpanları

Membrane f11 Direction	0.25
Membrane f22 Direction	0.25
Membrane f12 Direction	0.25
Bending m11 Direction	0.25
Bending m22 Direction	0.25
Bending m12 Direction	0.25
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1

2.3. Yük Kombinasyonları

Sıcaklık değişimi, büzülme, farklı oturma vb. şekil değiştirmeler ve yer değiştirmeler nedeniyle oluşan yük etkisi ihmal edilmektedir. Rüzgar yükünün söz konusu olmadığı için yük kombinasyonlarında sadece düşey yüklerle birlikte deprem etkileri göz önüne alınmaktadır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Yük birleşimleri

NO	Yük Birleşimleri
1	$1.4G+1.6Q$
2	$G+Q+0.2S+SPEC(X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$
3	$G+Q+0.2S+SPEC(Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$
4	$0.9G+SPEC(X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$
5	$0.9G+SPEC(Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$

2.4. Kaynak Araştırması

Yaylalı (2012) (Yaylalı 2012), 5 katlı düzenli bir yapı ve bu yapıdan türetilmiş 3 ayrı düzensiz yapı için performans analizleri gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, kolon süreksizliği bulunan binanın deprem analiz sonuçlarını ve performans seviyelerini irdelerek, kolon süreksizliğinin binanın deprem performansını olumsuz yönde etkilediğini vurgulamıştır. Dış akstaki süreksiz kolonlar ve bunlara komşu iç kirişlerin büyük ölçüde hasar gördüğü sonucuna varılıp bu elemanların güçlendirilmesine yönelik öneride bulunulmuştur.

Ateş (2013) (Ateş 2013), Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (DBYBHY-2007) esaslarına göre eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemini kullanarak B3 düzensizliğin betonarme çerçevenin deprem davranışına olan etkisini irdlemiştir. Çalışmada 4 açıklıklı 7 katlı düzenli, düzensiz ve kritik elemanlarının iç kuvvetleri % 50 arttırılmış düzensiz 3 farklı betonarme çerçeve ele alınmıştır. Her iki analiz yöntemin sonucu tepe yer değiştirmeleri bakımından bütün sistemler için yaklaşık aynı bulunmuştur. Kritik elemanlarının iç kuvvet değerlerinin % 50 arttırılması, düzensizliğin yarattığı olumsuz etkinin önüne geçilmesi konusunda katkıda bulunduğu görülmüştür.

2014 yılında Dinar ve arkadaşları (Dinar ve ark. 2014), 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 m yüksekliğinde hem betonarme hem de çelik yapı olarak oluşturulan 12 modelin geleneksel ve yapım aşamaları dikkate alan analizlerini yapmışlar. Artan narinliğin ve her katın inşa edilmesinin yapısal davranışı nasıl etkilediğini araştırılmıştır. Yüksek yapılarda yapım aşamalarından kaynaklanan etkilerin göz önünde bulundurulması gerektiği ve bu etkilerin çelik yapılarda daha da arttığı sonucuna varılmıştır.

Ergin (2016), 2007 Deprem Yönetmeliğine göre dört farklı deprem bölgesi (D1,D2,D3 ve D4) ve dört farklı zemin sınıfı (Z1,Z2,Z3 ve Z4) için düzenli bir yapı ile zayıf kat düzensizliği, yumuşak kat düzensizliği ve kolon süreksizliği olan 4 farklı yapının dinamik davranışlarını değerlendirmiştir. Yapılan çalışma sonucu olarak, deprem bölgelerinin yapının davranışında yarattığı etkisinin yerel zemin sınıfına kıyasla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Düşeyde düzensizlik durumlarına bakıldığında en büyük değer değişimlerinin Z1 ile Z4 zemin sınıfları arasında yumuşak kat düzensizliğinde olduğu sonucuna varılmıştır.

2017 yılında Kini ve arkadaşları (Kini ve ark. 2017), 21 katlı betonarme ve kompozit iki yapının analizlerini mod birleştirme yöntemini kullanarak ETABS programı yardımıyla yapmışlar. Sonuç olarak, kompozit transfer kirişinde elde edilen iç kuvvet ve yerdeğiştirme değerleri, betonarme transfer kirişinde elde edilenlere göre daha düşük olduğu ayrıca yapım aşamaları dikkate alındığında bu iki analiz sonuçlarının arasındaki farkın azaldığı görülmüştür.

Kumar. V., Varghese. B. (2017) , kolon süreksizliği bulunan 30 katlı betonarme bir binanın malzemenin doğrusal olmayan davranışı ve P-Delta etkilerini hesaba katarak yapım aşamalarını dikkate alan analiz yapmışlar. Süreksiz kolon içeren yüksek bir yapının tasarımı doğrusal statik analiz yerine malzemenin doğrusal olmayan davranışı ve P-Delta etkileri göz önünde bulundurularak yapım aşamaları dikkate alan analizle çözülmesi, oldukça fazla yer değiştirme ve iç kuvvetler verdiği için önemli olduğu ve P-Delta etkilerinin göz ardı edilmesi inşaatın erken aşamasında göçmesine yol açtığı sonucuna varılmıştır.

Topaktaş (2019), düşeyde düzensiz olan 7 katlı betonarme bir binanın, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018' göre doğrusal hesap yöntemleri yardımıyla deprem hesabını yaparak

tasarlamıştır. Sonuç olarak TBDY-2018'e göre elde edilen iç kuvvet değerlerinin. DBYBHY-2007 esaslarına göre elde edilen değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür.

Koçluk (2019), 20 katlı betonarme bir yapının DBYBHY-2007 ve TBDY-2018' e göre doğrusal hesap yöntemlerini kullanarak tepkilerini incelemiştir. Ayrıca DBYBHY-2007 esaslarına göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem hesabını yapmıştır. Yapının 10. katından itibaren binanın yarım aks içeri çekilmesi taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğine neden olmuştur. Sonuç olarak, DBYBHY-2007 esaslarına kritik elemanların tasarım iç kuvvet değerlerinin % 50 artımı nedeniyle daha büyük enkesitlerle boyutlandırıldığından bu elemanlarda hasarın oldukça sınırlandırıldığı dikkat çekmiştir. Kirişlere oturtulan kolonların alt düğüm noktalar oluşan büyük eğilme moment değerlerinden dolayı göçme bölgesine erişmiştir.

Gujar. A., Jadhav. H. S. (2019), 11 katlı betonarme bir yapının geleneksel ve yapım aşamaları dikkate alan analizlerini ETABS programı yardımıyla yapmışlar. Yapılan çalışmada köşesinde ve içinde süreksiz kolon oluşturulan iki farklı binanın yerdeğiştirmeleri, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri kıyaslanarak incelenmiştir. Her iki bina için yapım aşamaları dikkate alan analizden elde edilen sonuçlar oldukça fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca bu iki yöntemin analiz sonuçlarındaki fark, köşesinde süreksiz kolon oluşturulan binada daha da arttığı görülmüştür.

Panigrahi. S., Patil. V., Madan. H., Takkalaki. S. (2019), yapısal parametreleri aynı olan 20 katlı, 45 katlı ve 68 katlı üç farklı yüksek yapının doğrusal olmayan dinamik analizlerini yapmışlar. İnşaat aşamaları analizde dikkate alındığında analiz sonuçlarında büyük bir artış görülmüştür. Geleneksel yöntemle bulunan süreksiz kolona mesnetlenen kirişlerin analiz sonuçları alt katlarda daha düşük alındığı, üst katlarda ise daha büyük alındığı sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında binaların analiz ve tasarımı ETABS (2023) yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Eğilme etkisindeki yapı elemanları sehim hesabı ise SAFE (2023) yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Yapısal analiz sonuçlarına etkisini görmek amacıyla 8 farklı deprem tasarım sınıfı (DTS) için hem geleneksel analiz hem de yapım aşamalarını dikkate alan analizle çözmek üzere geometrik ve rijitlik değerlerinde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın toplam 16 model oluşturulmuştur. Ele alınan tipik bina, yeni yapılacak bina sınıfında olup standart tasarım deprem yer hareketi düzeyi için kontrollü hasar performans hedefini göstermesi amaçlanmaktadır. Deprem etkileri hesaplarında, modal analiz yöntemlerinden biri olan tepki spektrumu analizi yöntemi kullanılarak lineer dinamik analiz yaptırılıp dayanıma göre tasarım yaklaşımı uygulanmaktadır. Bu yaklaşım çerçevesinde taşıyıcı sistem süneklik kapasitesine göre azaltılmış deprem yükleri hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, kritik taşıyıcı sistem elemanlarının geleneksel analiz ve yapım aşamalarını dikkate alan analizden elde edilen sonuçları karşılaştırarak irdelenmektedir. DBYYHY-1998 ve DBYBHY-2007’de kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri % 50 oranında arttırılması zorunlu kılınmıştır. TBDY-2018’e göre ise sadece DTS = 1, 1a, 2 ve 2a olarak sınıflandırılan binalarda süreksiz kolon taşıyan iki ucundan mesnetli kirişlerin düşey deprem etkisi hesabı, bu kirişlerin yerel düşey titreşim modları esas alınarak düşey elastik ivme spektrumuna göre mod birleştirme yöntemiyle yapılması yeterli olduğu belirtilmektedir. DTS = 3, 3a, 4 ve 4a olarak sınıflandırılan binalarda ise bu kirişlerin düşey deprem etkisi hesabı $E_d^{(Z)} \approx (2/3) S_{DS} G$ denklemiyle yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada her iki hesap yöntemi tüm deprem tasarım sınıfları için incelenmiştir.

3.1. Genel Bina Bilgileri

Bu çalışmada deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı 4 katlı bir bina ele alınmaktadır. Zemin kat yüksekliği 4 m, normal kat yüksekliği 3m, yapının planda boyutları 24 × 24 m, döşeme sistemi ise

iki doğrultuda çalışan kirişli plak döşeme sistemi olarak seçilmiştir. Transfer kirişinin boyutları 45×90 cm olarak seçilmiştir. Transfer kirişinin yüksekliği toplam sehimin izin verilen sınırın altında olmasını sağlayacak şekilde seçilmesine çalışılmıştır. Transfer kirişinin genişliğinin belirlenmesinde ise üstüne oturan kolonla en az aynı genişlikte olması gerektiği unutulmamalıdır.

Çizelge 3.1. Malzeme özellikleri

Beton sınıfı	C30
Beton elastisite modülü (E_c)	32000 MPa
Beton Poisson oranı (ν)	0.2
Beton ısı genleşme katsayısı (α_t)	$1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Donatı sınıfı	B420C
Donatı elastisite modülü (E_s)	200000 MPa
Donatı ısı genleşme katsayısı (α_t)	$1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

Çizelge 3.2. Düşey yükler

Betonarme birim hacim ağırlığı	25 kN/m ³
Zabit yükler	1.5 kN/m ²
Duvar yükü	7 kN/m
Parapet duvar yükü	3 kN/m
Hareketli Yük	2 kN/m ²
Çatı hareketli Yük	1.5 kN/m ²
Kar Yükü	0.75 kN/m ²

Çizelge 3.3. Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları

Taşıyıcı eleman	Kat	Kesit boyutları (mm)
Kolon (C2. C3. C4)	1 → 2	450 × 450
Kolon	1 → 4	300 × 300
Kiriş	1 → 4	250 × 400
Döşeme	1 → 4	120

3.2. Dikkate Alınan Depremle İlgili Parametreler

TBDY-2018’de birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları S_s ve S_1 , referans zemin koşulu $(V_s)_{30} = 760 \text{ m/s}$ esas alınarak % 5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmüş şekilde Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından <https://tdth.afad.gov.tr/> adresli internet sitesinden yapının yapılacağı yerin koordinatları, yerel zemin sınıfı ve deprem yer hareketi düzeyine bağlı olarak elde edilmektedir. DTS = 1a olan örnek bina için enlem ve boylam koordinatı sırasıyla 40.217274 ; 28.976673, yerel zemin sınıfı ZB, deprem yer hareketi düzeyi ise DD-2 olarak seçilmiştir. Denklem 3.1 ve Denklem 3.2’de görüldüğü gibi harita spektral ivme katsayıları S_s ve S_1 , tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} ’e dönüştürülmektedir.

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (3.1)$$

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

Çizelge 3.4. Dikkate alınan depremle ilgili parametreler

DTS	1a. 1	2a. 2	3a. 3	4a. 4
S_s	0.925	0.716	0.505	0.313
S_1	0.241	0.207	0.178	0.131
S_{DS}	0.832	0.644	0.454	0.281
S_{D1}	0.192	0.165	0.142	0.104

3.2.1. Yatay deprem etkisi

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının % 10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini niteleyen ve standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılan *Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)* için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi g cinsinden Denklem 3.3 yardımıyla elde edilmektedir.

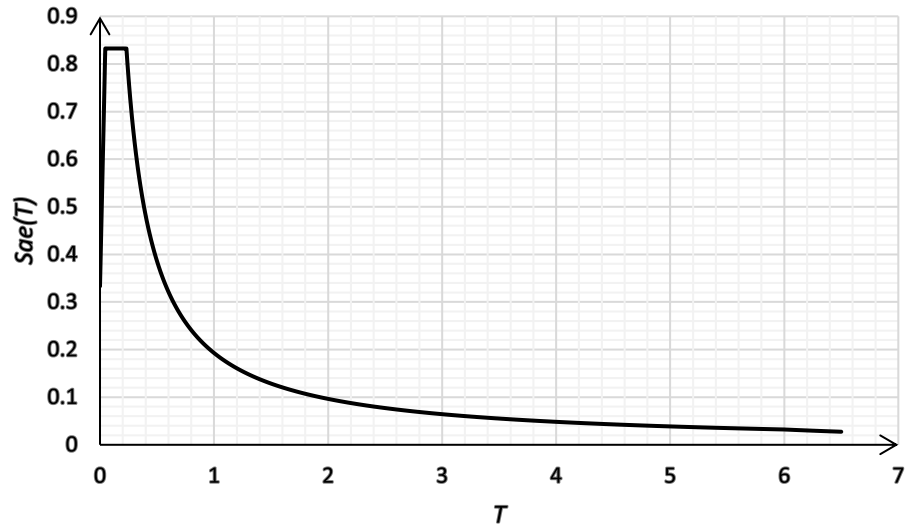
$$\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B Denklem 3.4 ve Denklem 3.5'ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak bulunmaktadır. Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s olarak alınmaktadır.

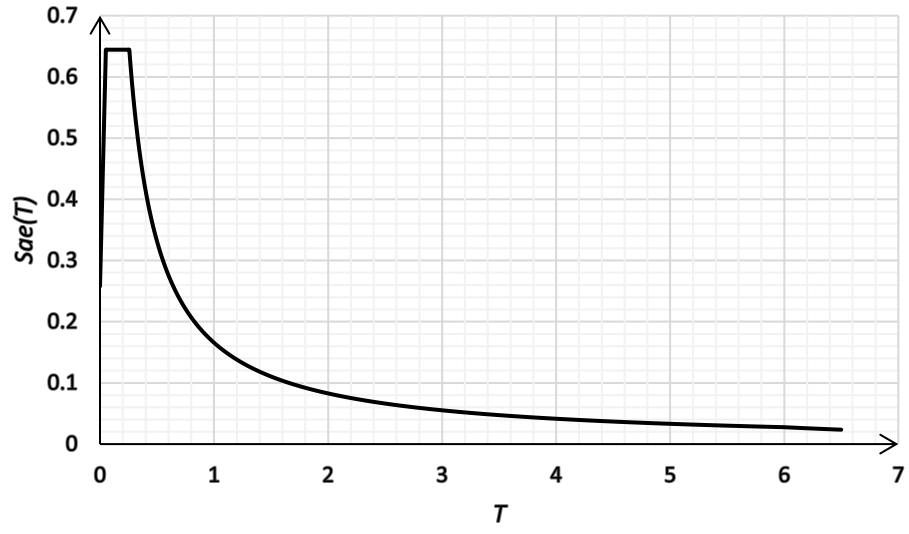
$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.4}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.5}$$

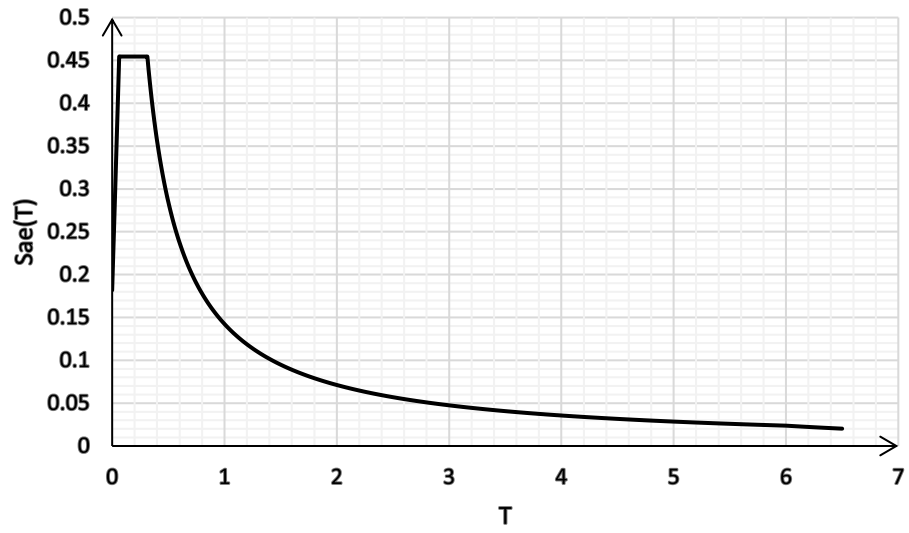
Deprem tasarım sınıflarına göre yatay elastik tasarım spektrumları aşağıdaki şekillerde sunulmaktadır (Şekil 3.1 - Şekil 3.4).



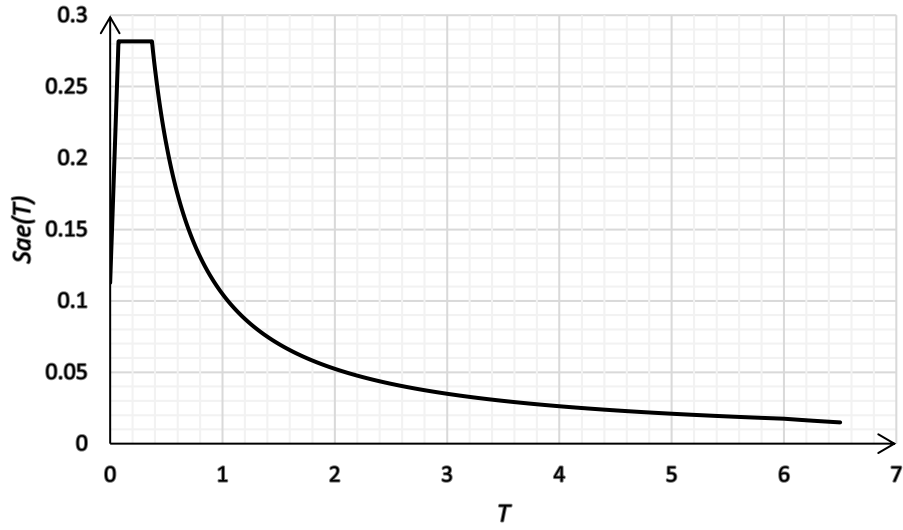
Şekil 3.1. DTS = 1, 1a için yatay elastik tasarım spektrumu



Şekil 3.2. DTS = 2, 2a için yatay elastik tasarım spektrumu



Şekil 3.3. DTS = 3, 3a için yatay elastik tasarım spektrumu



Şekil 3.4. DTS = 4, 4a için yatay elastik tasarım spektrumu

3.2.2. Düşey deprem etkisi

TBDY-2018 de standart tasarım deprem yer hareketi 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 Denklem 3.6 yardımıyla elde edilmektedir.

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

Düşey spektrum köşe periyotları ile T_{LD} periyodu Denklem 3.7’de verilmektedir.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \tag{3.7}$$

DTS = 1, 1a, 2 ve 2a olarak sınıflandırılan ve aşağıda sıralanan taşıyıcı sistem elemanlarını içeren binalarda sadece bu elemanlar için düşey deprem etkisi hesabı, bu elemanların yerel düşey titreşim modları esas alınarak düşey elastik ivme spektrumuna

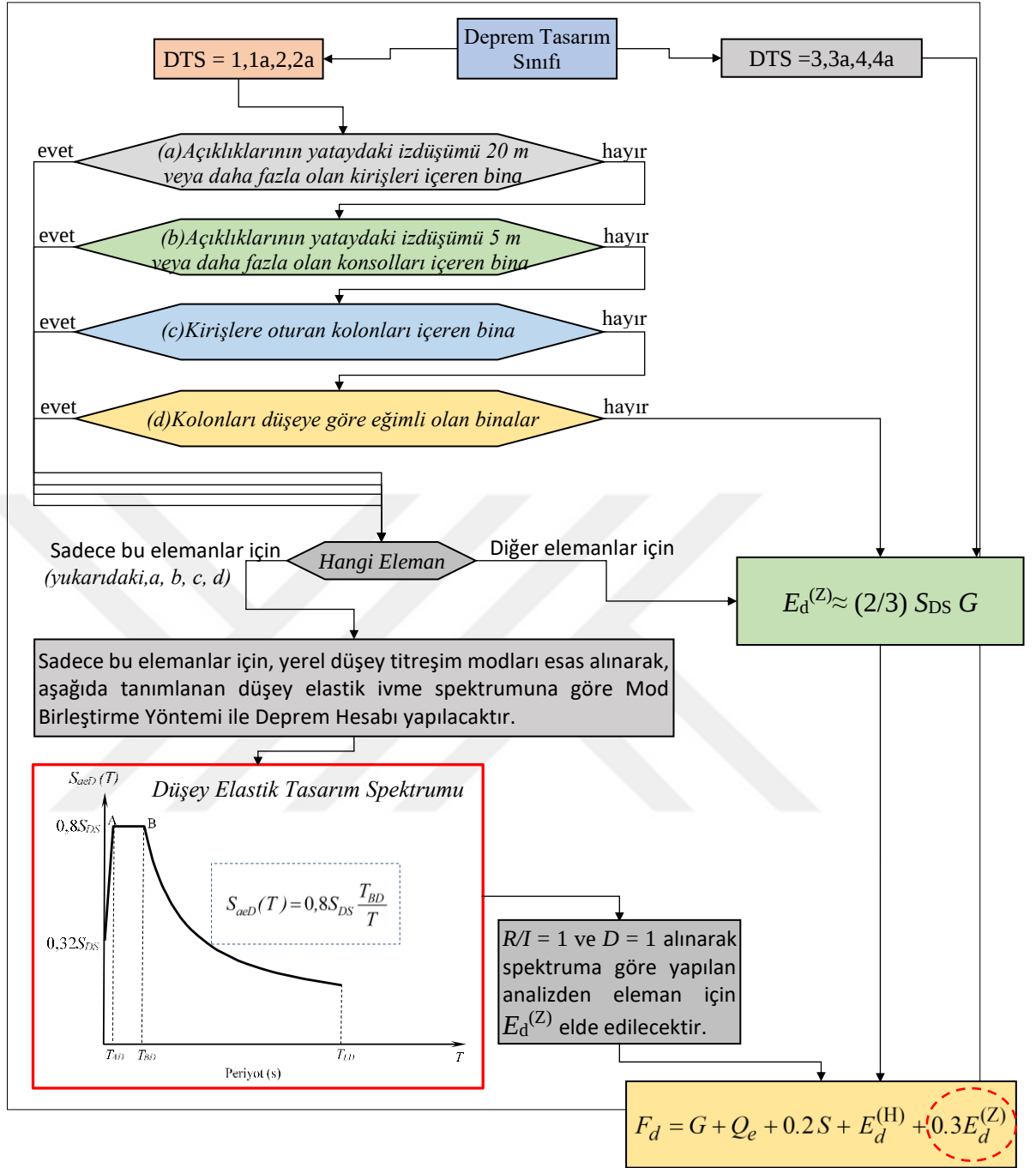
göre mod birleştirme yöntemi ile yapılmaktadır. Bu durumda düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ hesabında $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınmak zorundadır.

- a) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişler,
- b) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsollar,
- c) Transfer kirişler (sürekli kolonun mesnetlendiği kiriş),
- d) Düşeye göre eğimli kolonlar,

Yukarıdaki tanımın dışında kalan tüm sıralanan taşıyıcı sistem elemanları için hesaplanan düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, özel bir hesap yapılmaksızın Denklem 3.8'ile yaklaşık olarak hesaplanmaktadır.

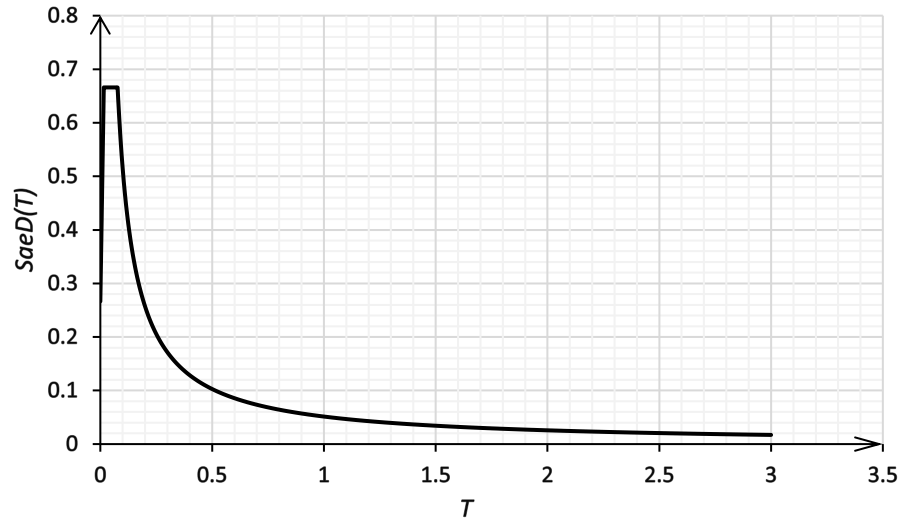
$$E_d^{(Z)} \approx \left(\frac{2}{3} \right) S_{DS} G \quad (3.8)$$

Yukarıda belirtilen hususlar aşağıdaki akış diyagramında görsel olarak Şekil 3.5'de sunulmaktadır [Doğangün 2021b].

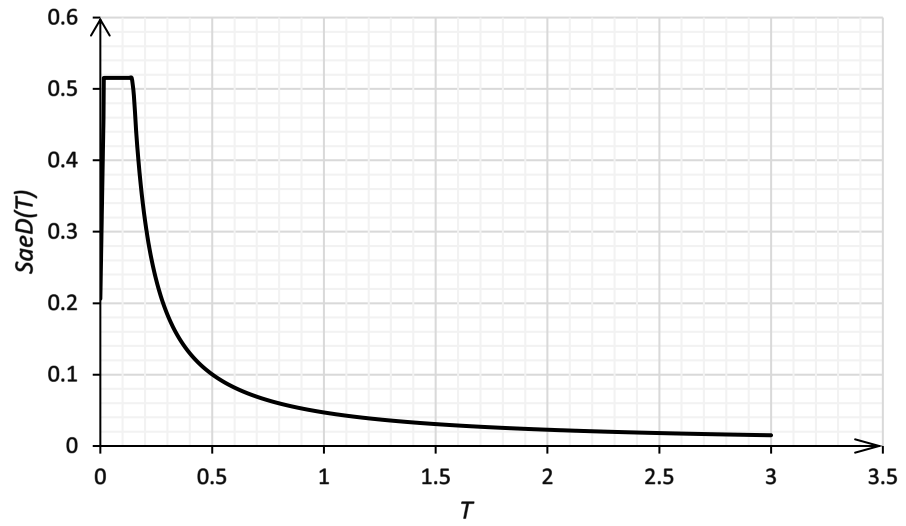


Şekil 3.5. TBKY’ne göre düşey deprem etkisine göre yapılması gerekenler (Doğangün 2021b)

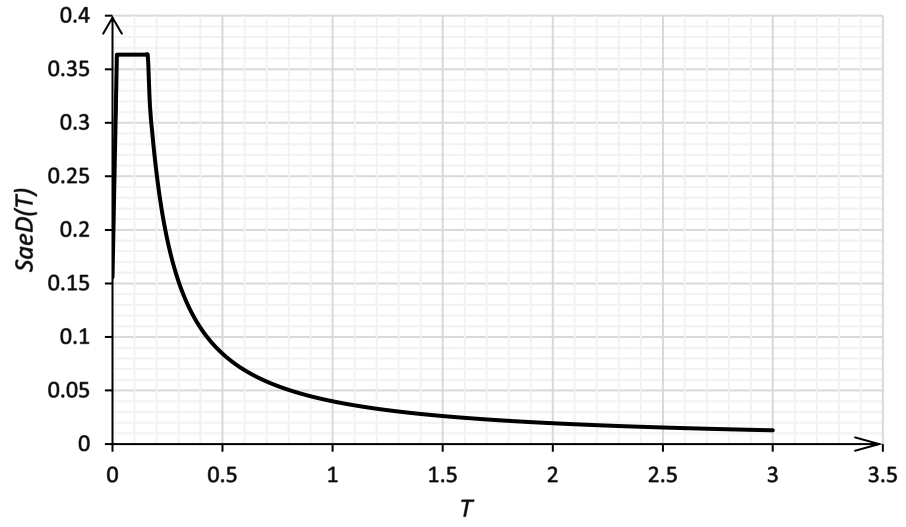
Deprem tasarım sınıflarına göre düşey elastik tasarım spektrumları aşağıdaki şekillerde sunulmaktadır (Şekil 3.6 - Şekil 3.9).



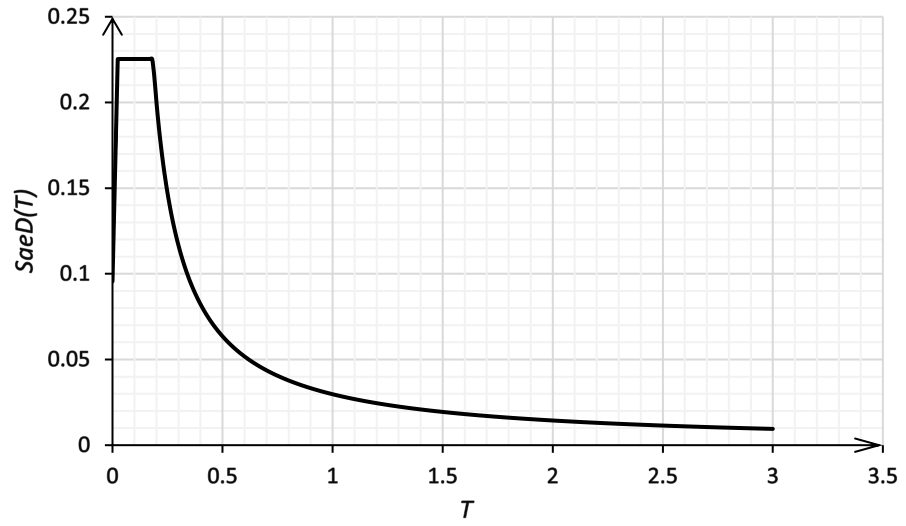
Şekil 3.6. DTS = 1, 1a için düşey elastik tasarım spektrumu



Şekil 3.7. DTS = 2, 2a için düşey elastik tasarım spektrumu



Şekil 3.8. DTS = 3, 3a için düşey elastik tasarım spektrumu



Şekil 3.9. DTS = 4, 4a için düşey elastik tasarım spektrumu

3.3. Dikkate Alınan Yapıyla İlgili Parametreler

Çizelge 3.5. Dikkate alınan yapıyla ilgili parametreler

Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	1, 3
Bina Önem Katsayısı (I)	1, 1.5
Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (n)	0.3
Bina Toplam Kütlesi (m_t)	1119.678
Bina Yüksekliği (H_N)	13
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	6
Binanın Hakim Doğal Titreşim Periyodu (T_p)	0.685
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	3
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	8
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a)	8, 5.333

Çizelge 3.6. Dikkate alınan yapıyla ilgili parametreler

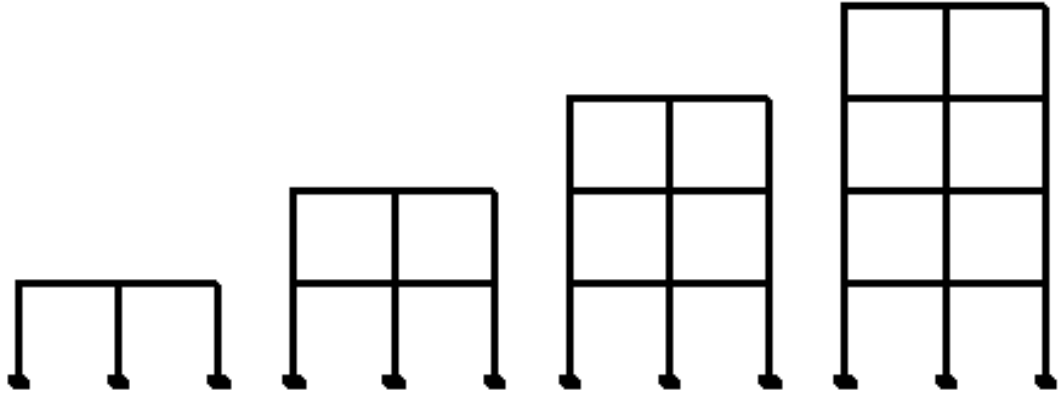
DTS	1a	1	2a	2	3a	3	4a	4
T_A	0.046		0.051		0.062		0.074	
T_B	0.231		0.256		0.313		0.372	
$S_{ae}(T)$	0.282		0.242		0.208		0.153	
$S_{aed}(T)$	0.075		0.065		0.055		0.041	
$S_{de}(T)$	0.033		0.028		0.024		0.0178	
$S_{ar}(T)$	0.053	0.035	0.045	0.030	0.039	0.026	0.029	0.019

3.4. Geleneksel Yapısal Analiz Yaklaşımı

Geleneksel yapısal analiz yaklaşımında, yapının tamamlanmış haliyle tüm ağırlığı ve yönetmelik gereği dikkate alınması gerekli tüm yükler yapıya aynı anda etki ettirilmektedir.

3.5. Yapım Aşamalarını Dikkate Alan Yapısal Analiz Yaklaşımı

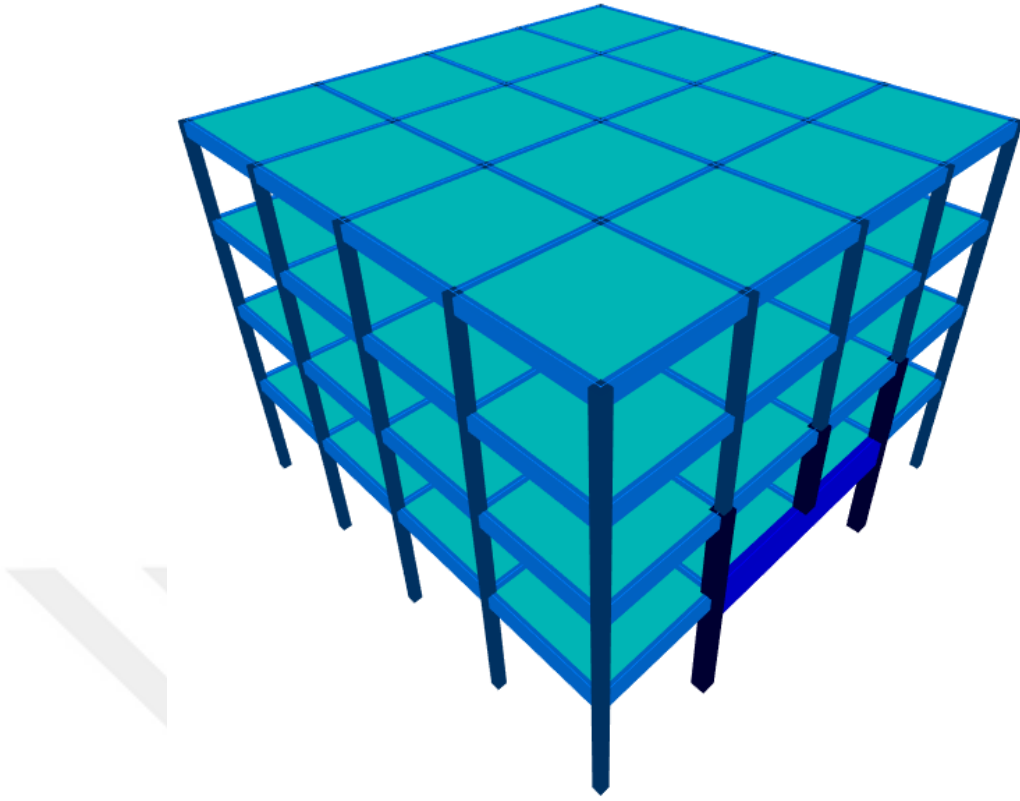
Yukarıda da belirtildiği gibi geleneksel yapısal analiz yaklaşımında tüm ağırlıklar ve tüm yükler aynı anda yapıya etkitilmektedir. Yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımında ise, her kat inşa edildikten sonra üzerindeki mevcut yüklerle birlikte analiz edilmekte ve kat sayısı arttıkça dikkate alınan ağırlık ve etkiler kademeli (aşamalı) olarak toplanarak artmaktadır. Dolayısıyla inşa edilen her kattan sonra yapının durumu dikkate alınarak analiz gerçekleştirildiğinden yapıdaki kat sayısı kadar analiz gerçekleştirilmekte ve bu analizlerden elde edilen elverişsiz kesit etkileri ve şekildeğişiklikler tasarımda dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada modellerin analizinde kullanılan ETABS yazılımı bu tür aşamalı analiz yapmaya ve elverişsiz kesit etkilerini toplu olarak göstermeye imkan tanımaktadır.



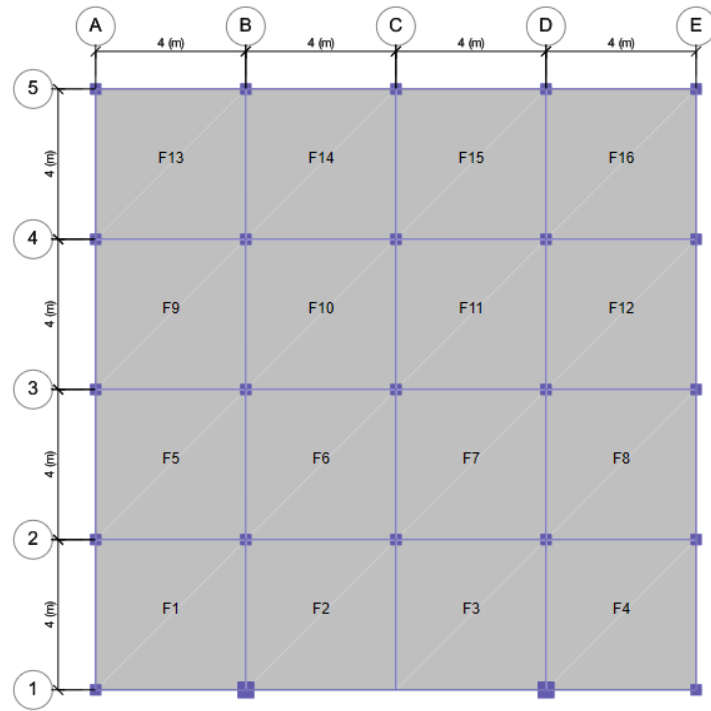
Şekil 3.10. Bina yapım aşamaları

3.6. Oluşturulan Bina Modelleri

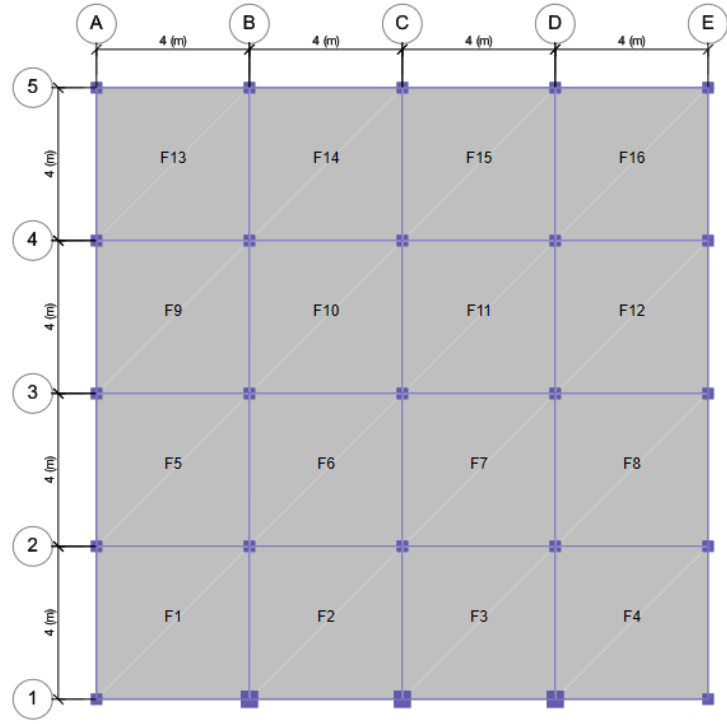
Tez kapsamında dikkate alınan betonarme binanın Şekil 3.10'da gösterilen modellenmede ETABS (ETABS 2023) yazılımı kullanılmıştır. Modellemelerde dikkate alınan kat planlarının görünimleri Şekil 3.11 - Şekil 3.13'de sunulmaktadır.



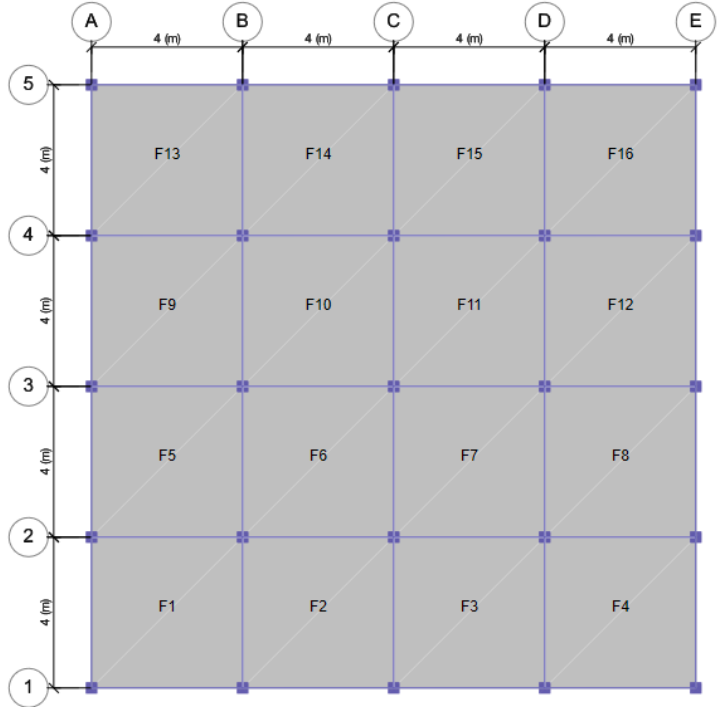
Şekil 3.11. Dikkate alınan bina modelinin üç boyutlu görünümü



Şekil 3.12. Matematik modelin 1.kat plan görünümü



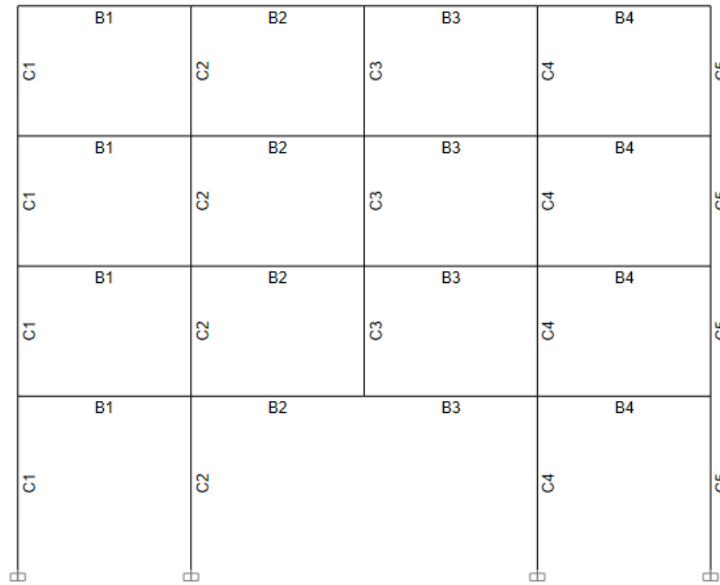
Şekil 3.13. Matematik modelin 2.kat plan görünümü



Şekil 3.14. Matematik modelin 3-4 katları plan görünümü

Yapısal analizlere tabi tutulacak olan binanın modellenmesinde döşemeler iki boyutlu kabuk sonlu elemanlarla (*shell-thin*) modellenmiştir. Böylelikle döşemelerde düşey ve yatay yükler altında döşemede düzlem içi ve düzlem dışı girilmelerin ve şekil değiştirmelerin oluşmasına imkan tanınmaktadır. Yük aktarımının doğru bir şekilde sağlanması için bu döşemelere (*Default Floor Mesh*) ataması yapılmıştır. Çubuk elemanlar otomatik (*Auto Mesh*) olarak atanarak her çubuk elemanın birleştiği diğer çubuk ve kabuk elemanlarla arasındaki etkileşim sağlanmıştır. Transfer kirişi olarak da adlandırılan süreksiz kolonun mesnetlendiği kirişte kolon-kiriş kesişim bölgesinde, iki çerçeve (çubuk) sonlu eleman dikkate alınarak kesit etkilerinin daha doğru bir şekilde temsil edilmesine çalışılmıştır. Aksi durumda kesit etkilerini gerçek değerlerinden daha düşük bulma ihtimali artmaktadır.

Tez kapsamında dikkate alınan binada süreksiz kolon üst katlarda devam etmekte ve zemin katta devam etmemektedir. Bu kolonun da bulunduğu çerçeve aksının düşey kesit görünümü Şekil 3.14’de sunulmaktadır.



Şekil 3.15. Süreksiz kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Hakim Doğal Titreşim Periyodu

DTS = 1, 1a, 2, 2a ve $BYS \geq 6$ olan binalarda ve DTS = 3, 3a, 4, 4a olan tüm binalarda hakim doğal titreşim periyodu doğrudan Denklem 4.1’de verilen ampirik T_{pA} periyodu olarak alınabilir. Tasarımı yapılan bina taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşması nedeniyle $C_t = 0.1$ alınacaktır (TBDY 2018).

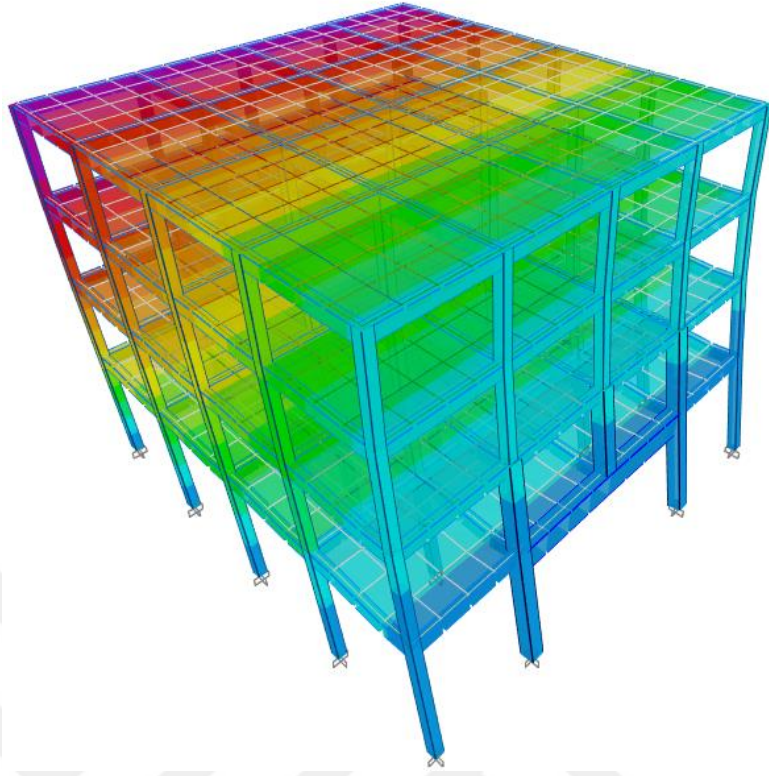
$$T_{pA} = C_t H_N^{\frac{3}{4}} \quad (4.1)$$

$$T_{pA} = 0.1 \times 13^{3/4} = 0.685 \text{ s}$$

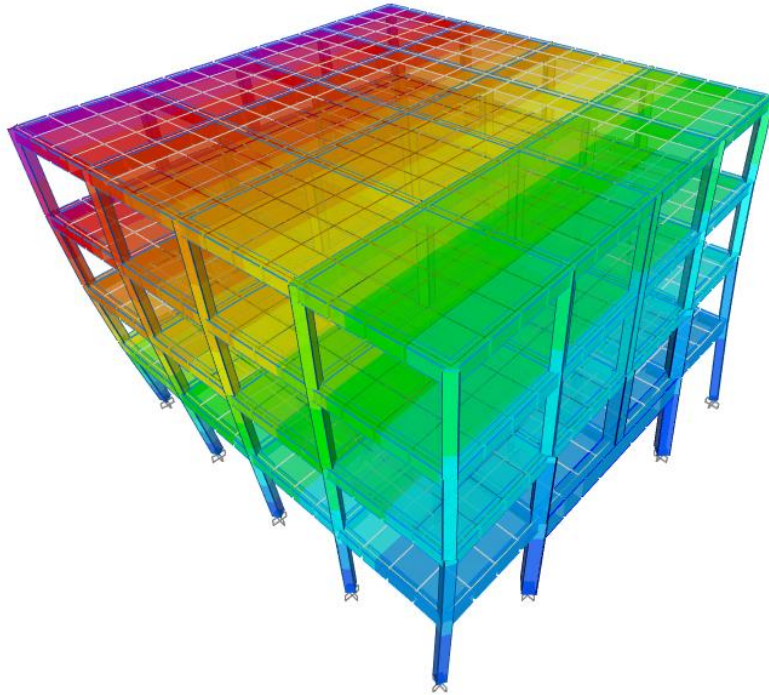
$$T_p^{(X)} = T_p^{(Y)} = 0.685 \text{ s}$$

4.2. Modal Analiz

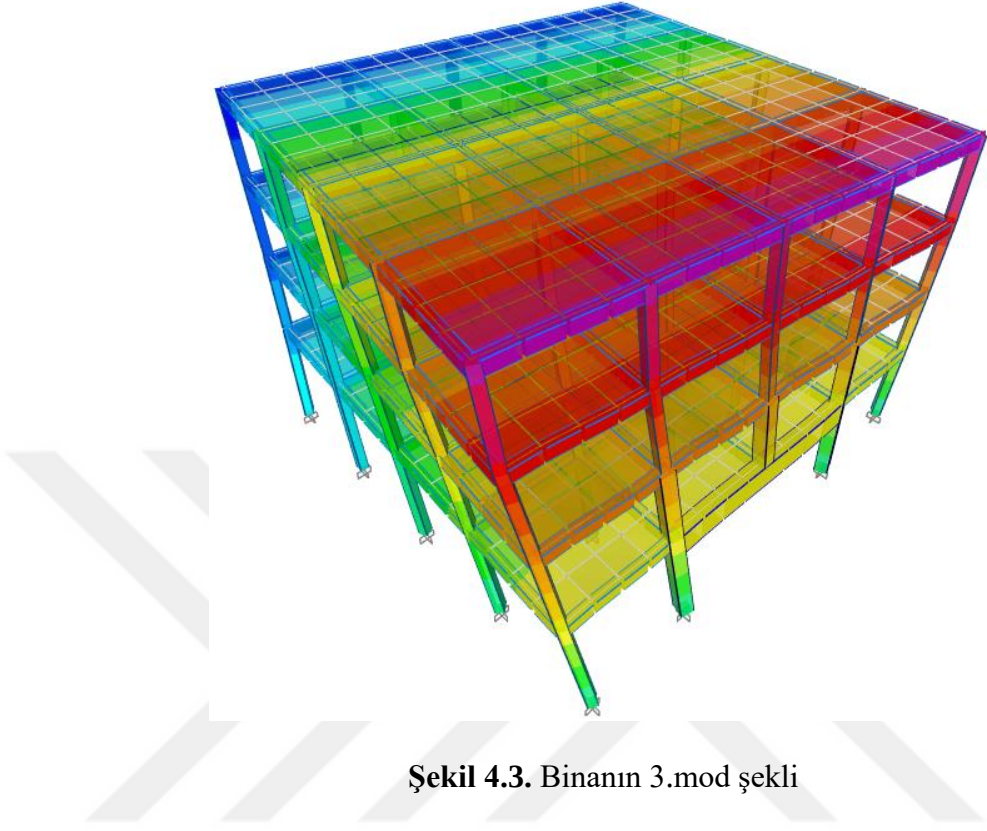
TBDY-2018’e göre deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin modal davranışını esas alan ve deprem spektrumu ile hesaba dayalı mod birleştirme yönteminde hesaba katılması gereken minimum titreşim modu sayısı, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin % 95’inden daha az olmayacak şekilde belirlenmektedir. Ayrıca katkısı % 3’ten büyük olan bütün titreşim modları göz önüne alınmaktadır. Binanın ilk 3 mod şekli Şekil 4.1 – 4.3’de sunulmaktadır.



Şekil 4.1. Binanın 1.mod şekli



Şekil 4.2. Binanın 2.mod şekli



Şekil 4.3. Binanın 3.mod şekli

Yapının dinamik modları Ritz Vektörleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Çizelge 4.1’de 12 modun modal analiz sonuçlar verilmektedir.

Çizelge 4.1. Bina'nın modal analiz sonuçları

Mod NO	T	F	ω	Özdeğer	UX	UY	RZ
	s	s	rad/s	rad ² /s ²			
1.Mod	1.025	0.975	6.1283	37.556	0	0.9176	0
2.Mod	1.007	0.993	6.2421	38.964	0.6984	0	0.2282
3.Mod	0.769	1.300	8.1679	66.714	0.2083	0	0.6738
4.Mod	0.316	3.161	19.8639	394.576	0	0.0658	0
5.Mod	0.315	3.177	19.9648	398.594	0.0742	0	0.0002
6.Mod	0.191	5.225	32.8326	1077.977	0.0175	0	0.0838
7.Mod	0.173	5.771	36.2587	1314.696	0	0.0132	0
8.Mod	0.122	8.227	51.6948	2672.350	0	0.0027	0
9.Mod	0.120	8.354	52.4877	2754.960	0	0.0007	0
10.Mod	0.090	11.110	69.8073	4873.055	0	0	0
11.Mod	0.069	14.394	90.4428	8179.895	0	0	0
12.Mod	0.042	23.769	149.3463	22304.320	0	0	0

4.3. Deprem Etkisi Hesabı

Türkiye Bina deprem Yönetmeliği-2018 e göre Mod Birleştirme Yönteminden elde edilen deprem yükünün alt sınırını belirlemek üzere eşdeğer deprem yükü taban kesme kuvveti Denklem 4.2'e göre hesaplanmaktadır. DTS = 1a olan bina için eşdeğer deprem yükü taban kesme kuvveti aşağıda hesaplanmıştır. Diğer Deprem Tasarım Sınıfları için de hesaplanarak Çizelge 4.2'de sunulmaktadır.

$$V_{tE} = m_t \times S_{ar}(T) \times g \geq 0.04 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g \quad (4.2)$$

$$V_{tE} = m_t \times S_{ar}(T) \times g$$

$$V_{tE} = 1119.678 \times 0.0528 \times 9.81 = 579.980$$

$$V_{tE_{\min}} = 0.04 \times m_t \times I \times S_{DS} \times g$$

$$V_{tE_{\min}} = 0.04 \times 1119.678 \times 1.5 \times 0.832 \times 9.81 = 548.653 \text{ kN}$$

$$V_{tE} = 579.980 \geq 548.653 \quad \rightarrow \quad V_t = 579.980 \text{ kN}$$

Çizelge 4.2. Eşdeğer deprem yükü taban kesme kuvvetleri

DTS	$V_{tE\min}$ (kN)	Hesaplanan V_{tE} (kN)
1a	548.653	579.980
1	365.769	386.653
2a	424.687	498.157
2	283.125	332.105
3a	299.535	428.367
3	199.690	285.578
4a	185.652	315.259
4	123.768	210.173

4.4. Yapısal Düzensizliklerin Kontrolü

Dikkate alınan binanın Yapısal Düzensizliklerin Kontrolü Deprem Tasarım Sınıfı DTS = 1a olan bina için yapılmıştır.

4.4.1. A1-Burulma düzensizliği

+ %5 ek dışmerkezlilik etkisi göz önüne alındığı X doğrultusundaki yatay deprem etkisi altında burulma düzensizliğine ilişkin değerler Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.3. EXP Deprem etkisi altında burulma düzensizliği

Kat NO	$(\Delta_i^{(X)})_{\max}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\min}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	η_{bi}
4.kat	2.346	1.908	2.127	1.103
3.kat	4.404	3.388	3.896	1.130
2.kat	6.100	3.148	4.624	1.319
1.kat	9.753	4.461	7.107	1.372

Çizelge 4.4. EXN Deprem etkisi altında burulma düzensizliği

Kat NO	$(\Delta_i^{(X)})_{\max}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\min}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	η_{bi}
4.kat	1.931	2.317	2.124	1.091
3.kat	3.618	4.124	3.871	1.065
2.kat	5.016	3.816	4.416	1.136
1.kat	8.049	5.355	6.702	1.201

Çizelge 4.5. EYP / EYN Deprem etkisi altında burulma düzensizliği

Kat NO	$(\Delta_i^{(X)})_{\max}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\min}$	$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	η_{bi}
4.kat	2.367	1.953	2.160	1.096
3.kat	4.452	3.694	4.073	1.093
2.kat	5.961	5.083	5.522	1.08
1.kat	8.627	7.329	7.978	1.081

4.4.2. B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat)

Çizelge 4.6. EXP Deprem etkisi altında rijitlik düzensizliği

Kat NO	h	$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	$(\Delta_i^{(X)}/h_i)_{\text{ort}}$	η_{ki}	η_{ki}
4.kat	3	2.127	0.709	-	0.546
3.kat	3	3.896	1.299	1.832	0.843
2.kat	3	4.624	1.541	1.187	0.868
1.kat	4	7.107	1.777	1.153	-

Çizelge 4.7. EXN Deprem etkisi altında rijitlik düzensizliği

Kat NO	h	$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$	$(\Delta_i^{(X)}/h_i)_{\text{ort}}$	η_{ki}	η_{ki}
4.kat	3	2.124	0.708	-	0.549
3.kat	3	3.871	1.290	1.823	0.877
2.kat	3	4.416	1.472	1.141	0.879
1.kat	4	6.702	1.676	1.138	-

Çizelge 4.8. EYP / EYN Deprem etkisi altında rijitlik düzensizliği

Kat NO	h	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$	$(\Delta_i^{(X)}/h_i)_{ort}$	η_{ki}	η_{ki}
4.kat	3	2.160	0.720	-	0.53
3.kat	3	4.073	1.358	1.886	0.738
2.kat	3	5.522	1.841	1.356	0.923
1.kat	4	7.978	1.995	1.086	-

Burulma düzensizliği ve komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolünde görel kat ötelemelerinin hesabı, $\pm\%5$ ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmaktadır. Burulma düzensizliği ve yumuşak kat düzensizliği doğrusal deprem hesap yönteminin seçiminde rol oynayan düzensizliklerdir. Burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} \geq 2$ veya yumuşak kat düzensizliğinden herhangi birinin meydana gelmesi durumunda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabileceği binaların yüksekliği en fazla 28 m, Burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} \leq 2$ ayrıca yumuşak kat düzensizliği olmaması kaydıyla eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabileceği binaların yüksekliği en fazla 42 m'dir. İncelenen binada DTS = 1a için 1.kat ve 2.katında burulma düzensizliğine maruz kalınmıştır. Bina yüksekliği 13.5 m olduğundan dolayı eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabilir fakat bu çalışmada mod birleştirme yöntemi de kullanılmıştır.

4.5. Görel kat ötelemelerinin kontrolü

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, binanın ardışık iki katında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görel kat ötelemesi bağıntı halinde Denklem 4.3'da gösterilmiştir.

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (4.3)$$

Görel kat ötelemelerinin hesabında taban kesme kuvvetinin alt sınır ve hakim doğal titreşim periyodunun üst sınır koşullarının dikkate alınmamaktadır. Buna bağlı olarak taban kesme kuvveti tekrar hesaplanıp bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri, katların kütle ve rijitliğine bağlı olarak bina yüksekliği boyunca dağıtılarak bulunmaktadır.

X doğrultusu için;

$$T_p^{(X)} = 1.007$$

$$V_t = m_t \times S_{ar}(T_p^{(X)}) \times g$$

$$V_t = 1119.678 \times 0.0359 \times 9.81 = 394.313 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 \text{ N } V_{tE}^{(X)}$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 \times 4 \times 394.313 = 11.829 \text{ kN}$$

$$V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)} = 394.313 - 11.829 = 382.484 \text{ kN}$$

$$F_{iE} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j}$$

Y doğrultusu için;

$$T_p^{(Y)} = 1.025$$

$$V_t = m_t \times S_{ar}(T_p^{(Y)}) \times g$$

$$V_t = 1119.678 \times 0.0353 \times 9.81 = 387.388 \text{ kN}$$

$$\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0.0075 \text{ N } V_{tE}^{(Y)}$$

$$\Delta F_{NE}^{(Y)} = 0.0075 \times 4 \times 387.388 = 11.622 \text{ kN}$$

$$V_{tE}^{(Y)} - \Delta F_{NE}^{(Y)} = 387.388 - 11.622 = 375.767 \text{ kN}$$

$$F_{iE} = (V_{tE}^{(Y)} - \Delta F_{NE}^{(Y)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.9. Göreli kat ötelemelerinin hesabı için eşdeğer deprem yükleri

Kat NO	H_i	m_i	$m_i H_i$	$\frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j}$	$F_{iE}^{(X)}$	$F_{iE}^{(Y)}$
1.kat	4	312.997	1251.987	0.139	53.139	52.205
2.kat	7	303.398	2123.787	0.236	90.141	88.558
3.kat	10	302.280	3022.796	0.335	128.298	126.045
4.kat	13	201.004	2613.051	0.290	122.736	120.581
Toplam	-	1119.678	9011.621	1	394.313	387.388

Yukarıda bulunan bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri farklı bir modele girilip analiz yapılarak yatay yerdeğiştirme değerleri elde edilmektedir. Eşit yer değiştirme kuralı uyarınca göreli kat ötelemesinin azaltılmamış deprem yüklerine göre hesaplanan azaltılmış göreli kat ötelemesini taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile çarpıp bina önem katsayısına bölerek etkin göreli kat ötelemesi δ_i elde edilir.

$$\delta_i = \frac{R}{I} \times \Delta_i \quad (4.5)$$

Gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olduğu durum için göreli kat ötelemelerinin kontrolünde Denklem 4.6 kullanılmaktadır. Denklemde yer alan λ katsayısı, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır. Betonarme binalarda $\kappa = 1$ alınmaktadır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}}{h_i} \leq 0.008\kappa \quad (4.6)$$

$$\lambda = \frac{S_{ae,DD-3}}{S_{ae,DD-2}} \quad (4.7)$$

$$\lambda^{(x)} = \frac{S_{ae,DD-3}}{S_{ae,DD-2}} = \frac{0.075}{0.191} = 0.394$$

$$\lambda^{(y)} = \frac{S_{ae,DD-3}}{S_{ae,DD-2}} = \frac{0.074}{0.188} = 0.394$$

Çizelge 4.10. EXP deprem etkisi altında görelî kat ötelemeleri

Kat NO	h	$u_{i,max}^{(X)}$	$u_{i,min}^{(X)}$	$\Delta_{i,max}^{(X)}$	$\delta_{i,max}^{(X)}$	$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i}$
4.kat	3	15.373	8.777	1.596	8.512	0.0011
3.kat	3	13.777	7.479	2.995	159.733	0.0021
2.kat	3	10.782	5.176	4.149	22.128	0.0029
1.kat	4	6.633	3.035	6.633	35.376	0.0035

Çizelge 4.11. EXN deprem etkisi altında görelî kat ötelemeleri

Kat NO	h	$u_{i,max}^{(X)}$	$u_{i,min}^{(X)}$	$\Delta_{i,max}^{(X)}$	$\delta_{i,max}^{(X)}$	$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i}$
4.kat	3	12.659	10.617	1.575	8.400	0.0011
3.kat	3	11.346	9.042	2.803	14.949	0.0020
2.kat	3	8.885	6.239	3.411	18.192	0.0024
1.kat	4	5.474	3.642	5.474	29.195	0.0029

Çizelge 4.12. EYP / EYN deprem etkisi altında görelî kat ötelemeleri

Kat NO	h	$u_{i,max}^{(X)}$	$u_{i,min}^{(X)}$	$\Delta_{i,max}^{(X)}$	$\delta_{i,max}^{(X)}$	$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i}$
4.kat	3	14.559	12.281	1.610	8.587	0.0011
3.kat	3	12.949	10.953	3.028	16.149	0.0021
2.kat	3	9.921	8.441	4.054	21.621	0.0028
1.kat	4	5.867	4.985	5.867	31.291	0.0031

4.6. İkinci Mertebe Etkileri

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir i'inci katta ikinci mertebe gösterge değeri $\theta_{II,i}$ Denklem 4.8 yardımıyla hesaplanmaktadır. Binanın tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,i}$ 'lerin maksimum değeri $\theta_{II,max}$ 'ın Denklem 4.9'da verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında göz önüne alınması gerekli değildir. Bu denklemde C_h katsayısı, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan

histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanan bir katsayıyı göstermekte olup betonarme binalarda $C_h = 0.5$ alınmaktadır.

$$\theta_{II,i} = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i h_i} \quad (4.8)$$

$$\theta_{II,max} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \quad (4.9)$$

$$\theta_{II,max} \leq 0.12 \frac{3}{0.5 \times 8}$$

$$\theta_{II,max} \leq 0.09$$

Çizelge 4.13. EX Deprem etkisi altında ikinci mertebe etkilerinin kontrolü

Kat NO	h_i	w_k	$V_i^{(X)}$	$(\Delta_i)_{ort}$	$\theta_{II,i}^{(X)}$
4.kat	3	201.004	180.466	1.446	0.0006
3.kat	3	503.284	188.644	2.641	0.0024
2.kat	3	806.682	132.539	3.074	0.0063
1.kat	4	1119.678	78.133	4.696	0.0169

Çizelge 4.14. EY Deprem etkisi altında ikinci mertebe etkilerinin kontrolü

Kat NO	h_i	$w_{k,i}$	$V_i^{(Y)}$	$(\Delta_i)_{ort}$	$\theta_{II,i}^{(Y)}$
4.kat	3	201.004	180.466	1.469	0.0006
3.kat	3	503.284	188.644	2.770	0.0025
2.kat	3	806.682	132.539	3.755	0.0077
1.kat	4	1119.678	78.133	5.426	0.0195

4.7. Sehım kontrolü

TS500'e göre betonarme eğilme elemanlarının ani sehımleri, sabit veya hareketli yüklerden kaynaklanan maksimum eğilme momenti altında kesiti çatlayan elemanların ($M_{max} > M_{cr}$) tüm kesitin atalet momenti değil kesitin etkili atalet momenti Denklem 4.11 kullanılarak yapı mekaniği ilkelerine göre hesaplanır. Kesitin çatlama momenti Denklem 4.10'e göre hesaplanır.

$$M_{cr} = 2.5 f_{ctd} \frac{I_c}{y} \quad (4.10)$$

$$I_{ef} = \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^2 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^2 \right] I_{cr} \quad (4.11)$$

Ani sehim (*short term deflection*), sabit ve hareketli yüklerin tamamı (G + Q) dikkate alınarak *Nonlinear (cracked)* analiz yapılarak hesaplanmaktadır. Zamana bağlı sehim (*long term deflection*) ise sabit yüklerin yanı sıra hareketli yüklerin dörtte biri (G+0.25 Q) oluşturduğu sürekli yükler dikkate alınarak *Nonlinear (long term cracked)* analiz yaptırılarak hesaplanmaktadır (SAFE 2016).

Toplam sehim; ani sehim ile zamana bağlı sehimin toplamından oluşmaktadır. Toplam sehim yük kombinasyonunda zamana bağlı sehimdeki çatlama etkisini bir daha alınmasının önüne geçmek için *Long Term Sustend* yükleme durumu tanımlanarak toplam sehim yük kombinasyonuna negatif olarak dahil edilmiştir. ETABS yazılımında kullanılan parametreler ani sehim için Şekil 4.4’de, zamana bağlı sehim için Şekil 4.5-4.6’de, toplam sehim ise Şekil 4.7’de sunulmaktadır.

Load Name	Scale Factor
DL	1.0000
SW	1.0000
LL	1.0000
RL	1.0000
*	

Şekil 4.4. Ani sehim yükleme durumu

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Long Term Sustend

Load Case Data Notes: Modify/Show Notes...

Load Case Type: Static

Design...

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type

☐ Linear

☐ Nonlinear (Allow Uplift)

☒ Nonlinear (Cracked)

☐ Nonlinear (Long Term Cracked)

Creep Coefficient:

Shrinkage Strain:

Uplift Solution Control

Force Convergence Tolerance (Relative): 0.00001

OK Cancel

Loads Applied

Load Name	Scale Factor
DL	1.0000
SW	1.0000
LL	0.2500
RL	0.2500
*	

Şekil 4.5. Zamana bağlı sehım yükleme durumu

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Long Term Deflection

Load Case Data Notes: Modify/Show Notes...

Load Case Type: Static

Design...

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type

☐ Linear

☐ Nonlinear (Allow Uplift)

☐ Nonlinear (Cracked)

☒ Nonlinear (Long Term Cracked)

Creep Coefficient: 2

Shrinkage Strain: 0.0005

Uplift Solution Control

Force Convergence Tolerance (Relative): 0.00001

OK Cancel

Loads Applied

Load Name	Scale Factor
DL	1.0000
SW	1.0000
LL	0.2500
RL	0.2500
*	

Şekil 4.6. Zamana bağlı sehım (Sustend) yükleme durumu

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: TOTAL DEFLECTION

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Short Term Deflection	1.0000
Long Term Deflection	1.0000
Long Term SUSTEND	-1.0000
*	

Design Selection

☐ Strength (Ultimate)
 ☐ Service - Normal
☐ Service - Initial
 ☒ Service - Long Term

OK Cancel

Şekil 4.7. Toplam sehim yük birleşimi

Dikkate alınan bina için hareketli yüklerden saplama kirişindeki oluşan ani sehim $\delta_{iq} = 1.556$ mm'dir. Sürekli yüklerden oluşan toplam sehim ile hareketli yüklerin geri kalan bölümünden oluşan ani sehim toplamı ise $\delta_t = 11.850$ mm bulunmaktadır. Yapım aşamalarını dikkate alındığında da toplam sehim $\delta_t = 12.888$ mm olarak hesaplanmaktadır.

Transfer kirişinin net uzunluğu:

$$\ell_n = 8 - (0.15 + 0.15) = 7.700 \text{ m}$$

Saplama kirişi net uzunluğu:

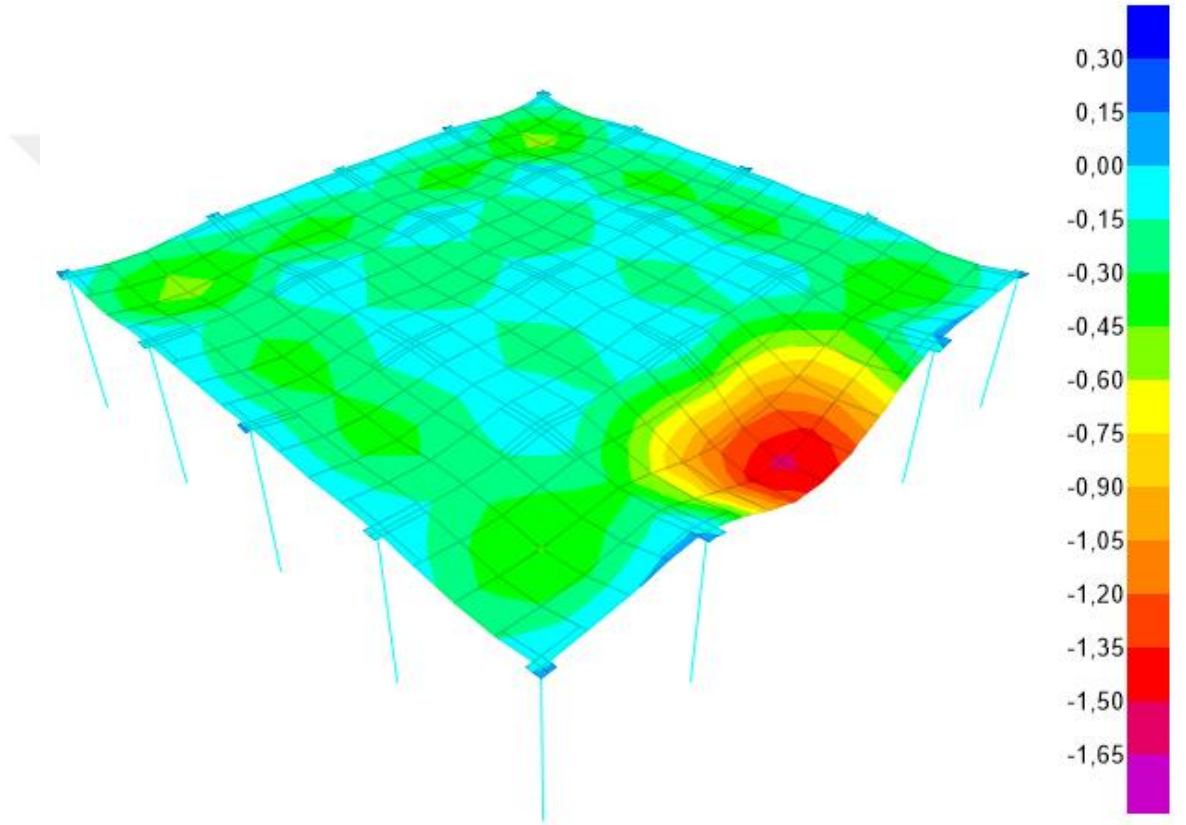
$$\ell_n = 4 - (0.225 + 0.150) = 3.625 \text{ m}$$

Olarak bulunur.

$$\delta_{iq} = 1.556 < \frac{\ell_n}{360} = \frac{3625}{360} = 10.07 \text{ mm}$$

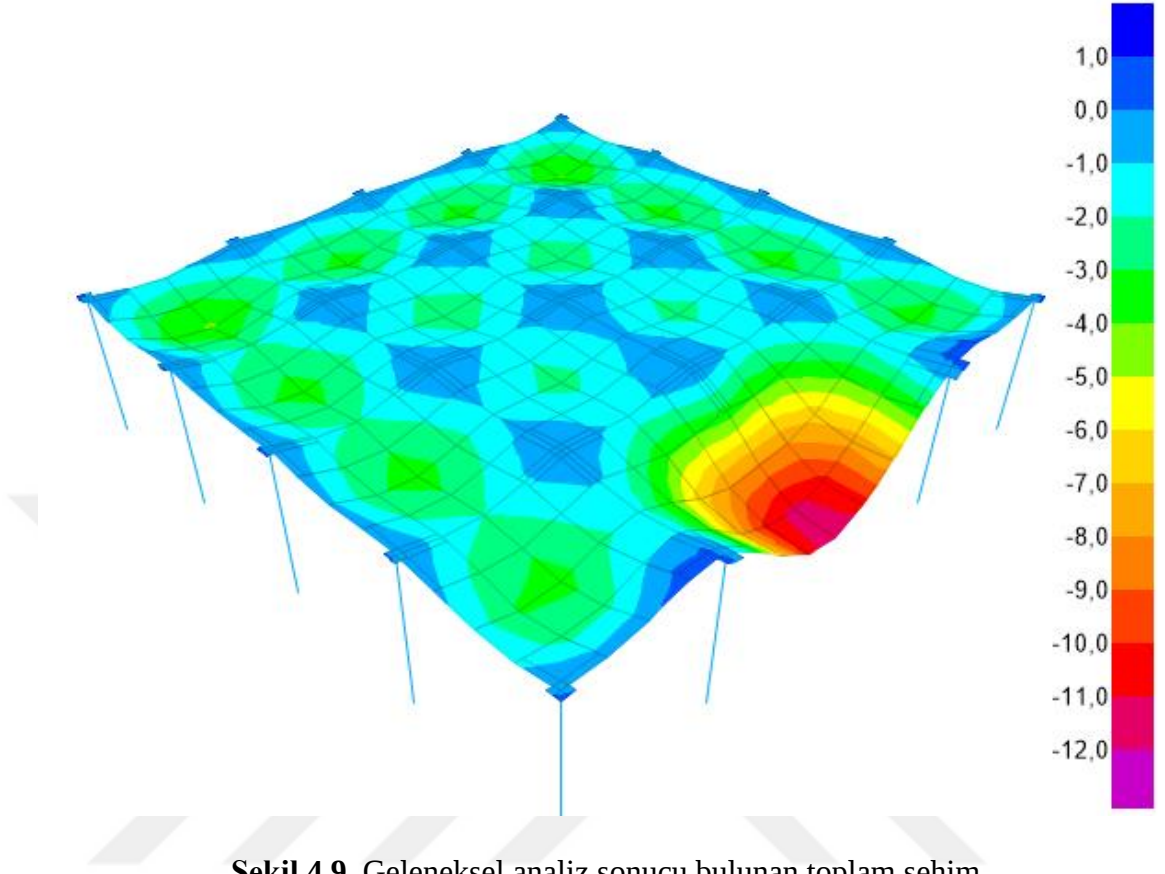
$$\delta_T = 12.888 < \frac{\ell_n}{240} = \frac{7700}{240} = 32.08 \text{ mm}$$

Olarak sağlanır. Binanın zemin katının tavanı ve süreksiz kolonun altından mesnetlendiği kirişin bulunduğu kat döşeme ve kirişi için hesaplanan ani sehimler Şekil 4.8’de görülmektedir.



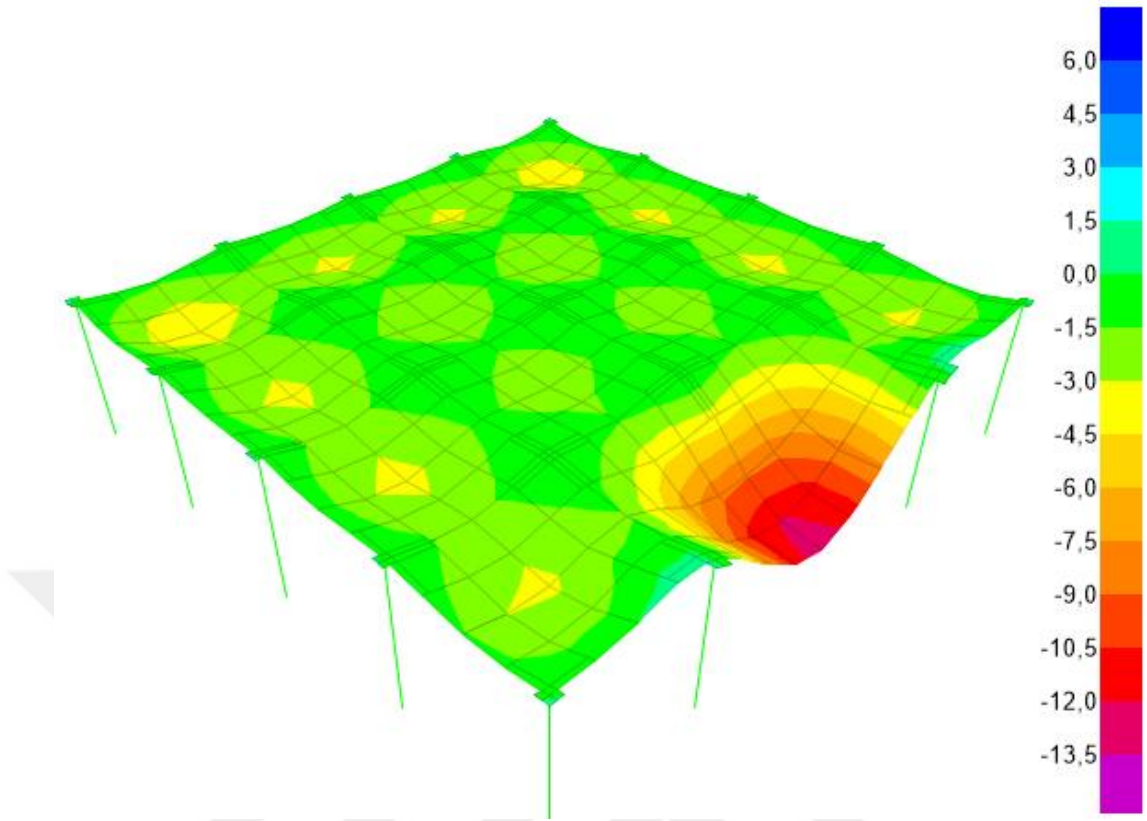
Şekil 4.8. Ani sehim

Tez kapsamında geleneksel analiz yöntemi olarak tanımlanan binanın tamamlandığı ve tüm yüklerin etkidiği analiz durumu için, binanın zemin katının tavanı ve süreksiz kolonun altından mesnetlendiği kirişin bulunduğu kat döşeme ve kirişi için hesaplanan toplam sehimler Şekil 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.9. Geleneksel analiz sonucu bulunan toplam seh m

Tez kapsamında yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımı olarak tanımlanan binanın inşaat aşamalarına göre maruz kaldığı yükleri dikkate alan analiz durumu için, binanın zemin katının tavanı ve süreksiz kolonun altından mesnetlendi i kirişin bulunduğu kat döşeme ve kirişi için hesaplanan toplam seh mler  ekil 4.10'da g r lmektedir.



Şekil 4.10. Yapım aşamalarını dikkate alan analiz sonucu bulunan toplam sehim

4.8. Çatlama kontrolü

Betonun çekme dayanımının düşük olması nedeniyle betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında çatlak oluşması ihtimali mikro düzeyde de olsa genelde yüksektir. TS500'e göre yapı görünüşünü bozmasının ve donatı çeliğinin korozyona maruz kalmasının önüne geçmek için ortam koşullarına bağlı olarak çatlak genişliğinde sınırlandırma getirilmektedir. Transfer kirişinde çekme donatısı sayısı $n = 8$ olarak alınmıştır.

$$\omega = 1.3 (A_t c)^{1/3} \times \sigma_s \times 10^{-5} \quad (4.12)$$

$$A_e = 2a \times b_w = 2 \times 40 \times 450 = 36000 \text{ mm}^2$$

$$A_t = \frac{A_e}{n} = \frac{36000}{8} = 4500$$

$$\sigma_s = 0.7 \times f_{yd} = 0.7 \times 365.22 = 255.654 \text{ MPa}$$

$$\omega = 1.3 (4500 \times 40)^{1/3} \times 255.654 \times 10^{-5}$$

$$\omega = 0.19 \text{ mm} < \omega_{\text{sınır}} = 0.4 \text{ mm}$$

Olarak sağlanır.

4.9. Mod Birleştirme Yöntemiyle Deprem Hesabı

Bu yöntemde maksimum kesit tesirleri ve yer değiştirmeler elde etmek üzere göz önüne alınan titreşim modlarının katkıları birleştirilmesi için tam karesel birleştirme (CQC) yöntemi seçilmiştir. Kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak modellendiğinden kat kütleleri, kat kütle merkezindeki ana düğüm noktasında toplandığı kabul edilerek her kat için iki yatay öteleme ve ana düğüm noktasından geçen düşey eksen etrafında bir dönme hareketi esas alınmaktadır.

4.9.1. Azaltılmış iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmesi

TBDY-2018 uyarınca mod birleştirme yöntemi ile elde edilen toplam deprem yükünün, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen toplam eşdeğer deprem yüküne oranı γ_E değerinden küçük olması durumunda mod birleştirme yöntemi ile elde edilen tüm azaltılmış iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı β_{tE} ile çarpılarak büyütülmektedir. Tasarlanan yapı süreksiz kolona sahip B3 türü düzensizliği içerdiğinden $\gamma_E = 0.9$ alınması uygun olmaktadır. Aşağıda DTS = 1a olan bina için söz konusu hesaplamalar yapılmaktadır:

X Yönü için;

$$V_{tE}^{(X)} = 327.014 \text{ kN}$$

$$V_{tE}^{(X)} = 579.980 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{tE}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} = \frac{327.014}{579.980} = 0.56 < 0.9$$

$$\gamma_E V_{tE}^{(X)} = 0.9 \times 579.980 = 521.982 \text{ kN}$$

$$V_{tx}^{(X)} < \gamma_E V_{tE}^{(X)}$$

$$\beta_{tE}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{tx}^{(X)}}{V_{tE}^{(X)}} = \frac{521.982}{327.014} = 1.596$$

Y Yönü için;

$$V_{tY}^{(Y)} = 369.020 \text{ kN}$$

$$V_{tE}^{(Y)} = 579.980 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{tE}^{(Y)}}{V_{tY}^{(Y)}} = \frac{369.020}{579.980} = 0.64 < 0.9$$

$$\gamma_E V_{tE}^{(Y)} = 0.9 \times 579.980 = 521.982 \text{ kN}$$

$$V_{tY}^{(Y)} < \gamma_E V_{tE}^{(X)}$$

$$\beta_{tE}^{(Y)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(Y)}}{V_{tY}^{(Y)}} = \frac{521.982}{369.020} = 1.414$$

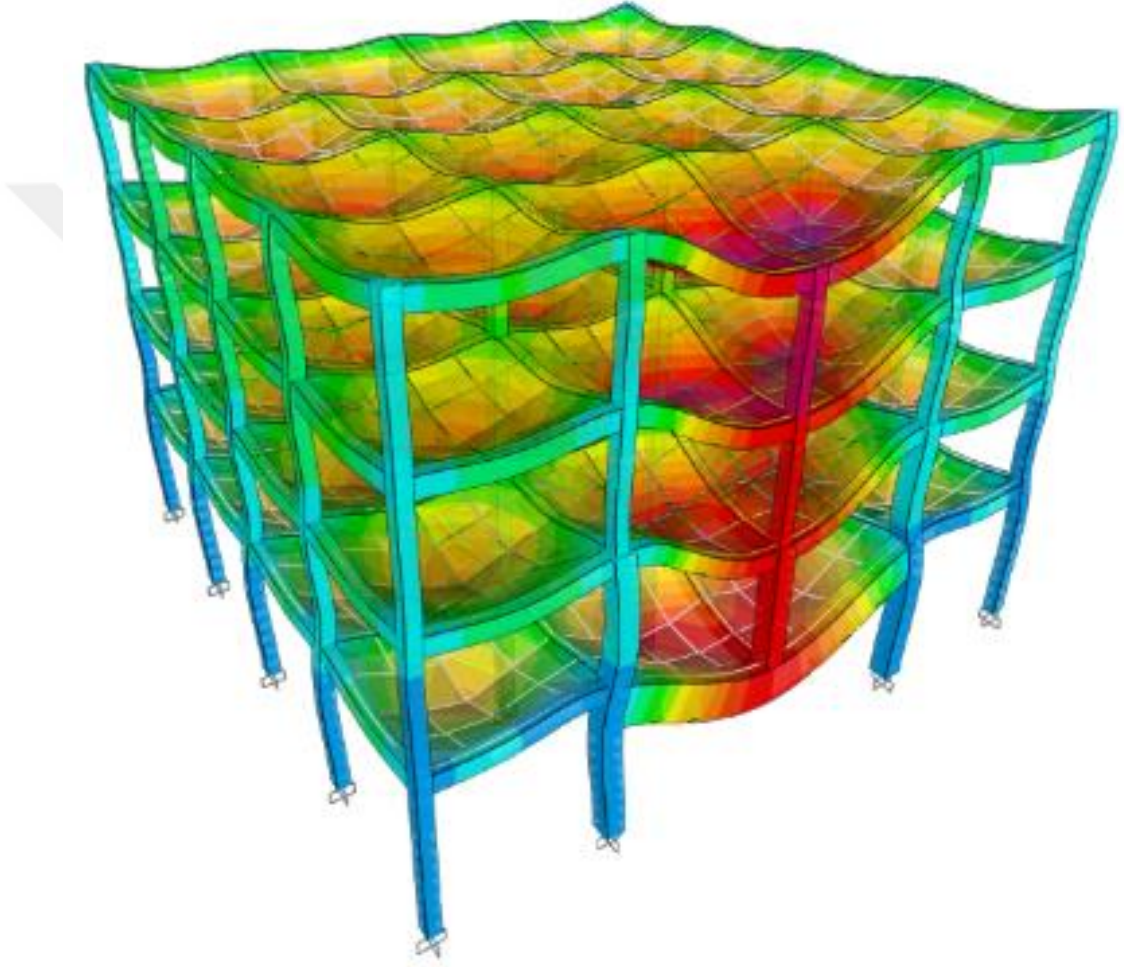
Mod birleştirme yöntemi ile elde edilen toplam deprem yükünü yönetmelikteki alt sınır şartını sağlaması için eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı β_{tE} ile çarpılarak 521.804 kN'a yükseltilmiştir.

Çizelge 4.15. Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen toplam deprem yükü

DTS	V_{tB} (kN)		$\gamma_E V_{tE}^{(X)}$ (kN)		$\beta_{tE}^{(X)}$ (kN)	
	X	Y	X	Y	X	Y
1a	327.014	369.020	521.982	521.982	1.596	1.414
1	218.009	246.013	347.869	347.869	1.596	1.414
2a	279.832	316.330s	448.188	448.188	1.602	1.416
2	186.555	210.887	298.792	298.792	1.602	1.416
3a	239.265	271.209	385.397	385.397	1.610	1.421
3	159.510	180.810	256.932	256.932	1.610	1.421
4a	173.747	198.024	283.636	283.636	1.632	1.432
4	115.832	132.016	189.091	189.091	1.632	1.432

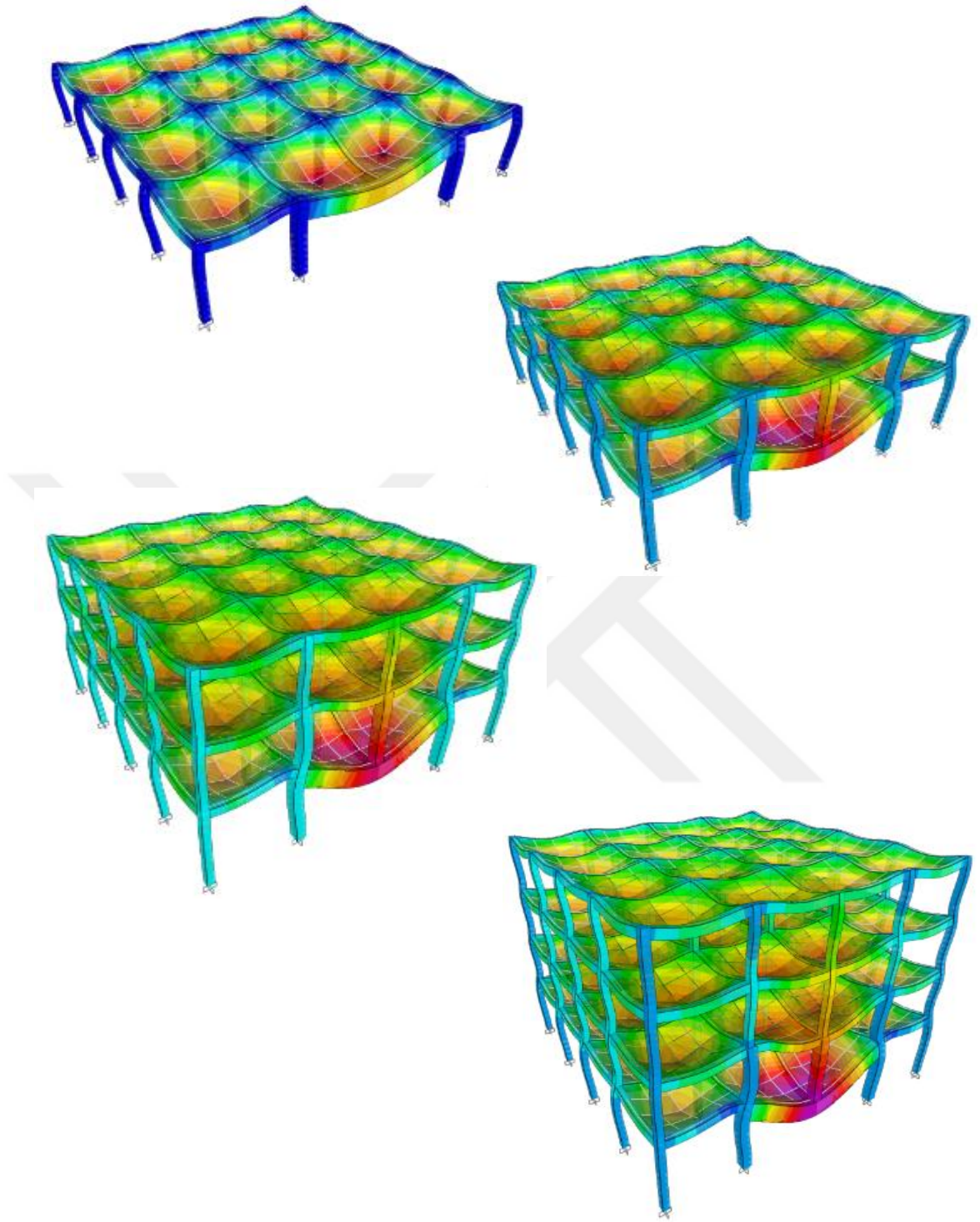
4.10. Kritik Elemanların Analiz Sonuçları

Tez kapsamında geleneksel analiz yöntemi olarak tanımlanan binanın tamamlandığı ve tüm yüklerin etkidiği analiz durumu için, binanın üç boyutlu modelinde hesaplanan yerdeğiştirmeler Şekil 4.11’de görölmektedir.



Şekil 4.11. Geleneksel analiz sonucu bulunan binanın şekil değiştirmiş halinin görünümü

Tez kapsamında yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımı olarak tanımlanan binanın inşaat aşamalarına göre maruz kaldığı yükleri dikkate alan analiz durumu için, binanın üç boyutlu modelinde hesaplanan yerdeğiştirmeler Şekil 4.12’de görölmektedir.



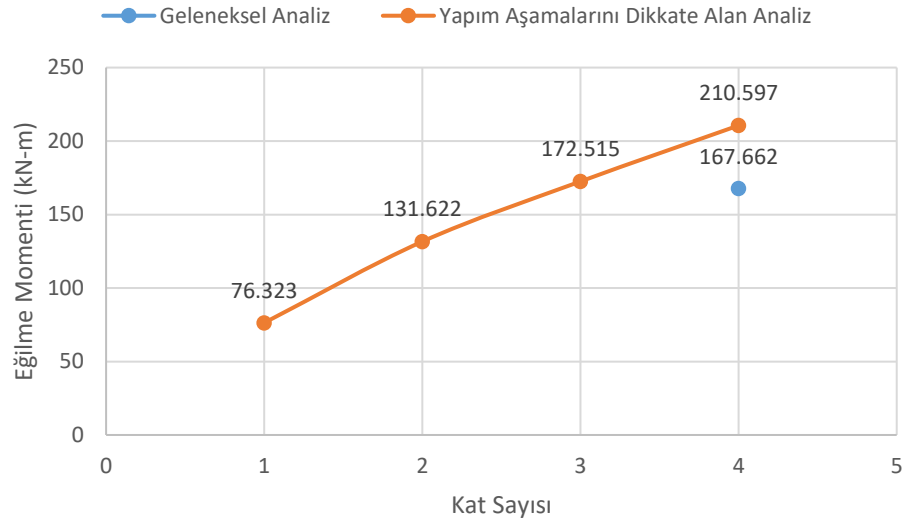
Şekil 4.12. Yapım aşamalarını dikkate alan analiz sonucu bulunan binanın şekil değiştirmiş halinin görünümü

Sürekli kolonun mesnetlendiği kirişte analiz sonucunda hesaplanan açıklıktaki eğilme momenti, kesme kuvveti ve düşey yerdeğiştirme (sehim) değerleri Çizelge 4.16’da sunulmaktadır. Söz konusu transfer kirişindeki eğilme momentinin değişiminin grafik

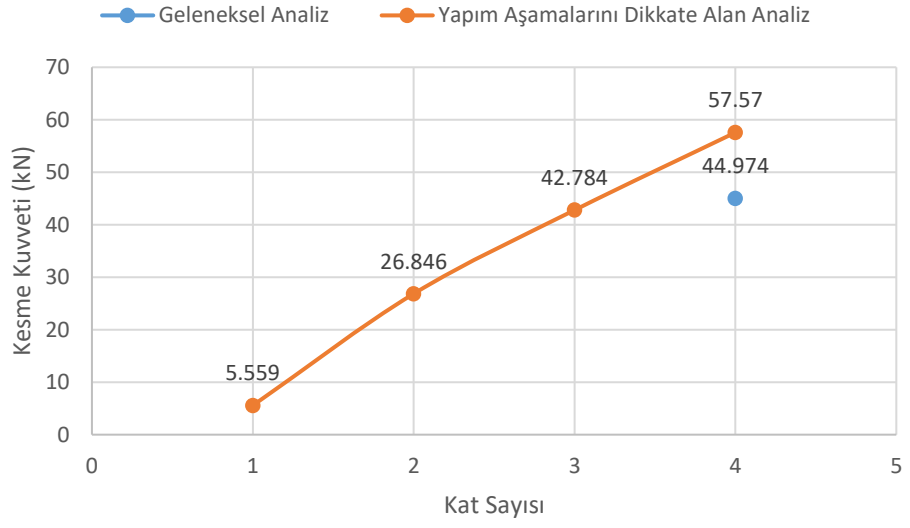
görünümü ise Şekil 4.13'e verilmektedir. Kesme kuvvetinin ve kolonun mesnetlendiği kısımdaki düşey yer değiştirmenin (sehim) grafik değişimleri ise Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.16. Transfer kirişi analiz sonuçları

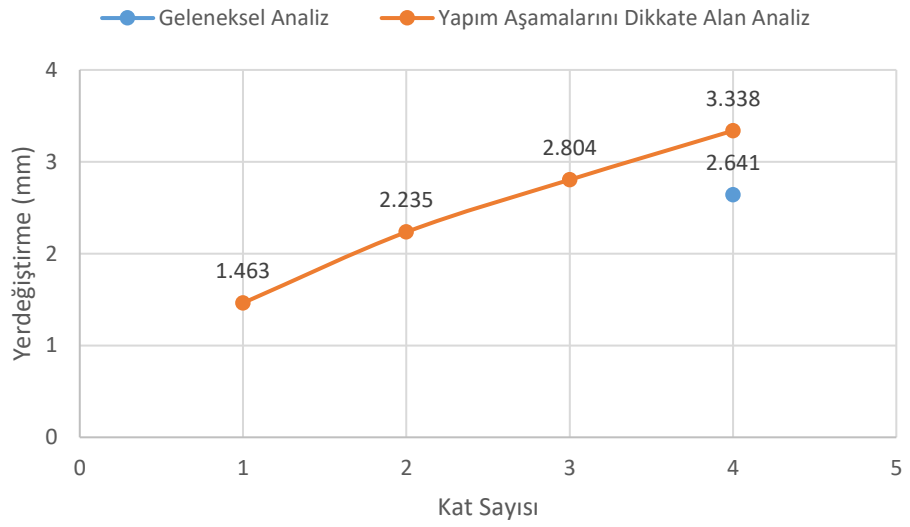
	Yapım Aşamaları Analiz				Geleneksel Analiz
	1.Aşama	2.Aşama	3.Aşama	4.Aşama	
Açıklık Eğilme Momenti (kN-m)	76.323	131.622	172.515	210.597	167.662
Açıklık Kesme Kuvveti (kN)	5.559	26.846	42.784	57.570	44.974
Yerdeğiştirme (sehim) (mm)	1.463	2.235	2.804	3.338	2.641



Şekil 4.13. Transfer kirişi eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması



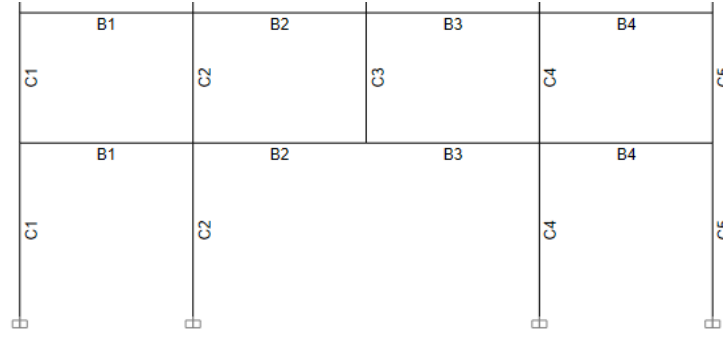
Şekil 4.14. Transfer kirişi kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.15. Transfer kirişi yerdeğiştirme değerlerinin karşılaştırılması

Transfer kirişinin yerdeğiştirme sonuçlarına ele alındığında 3. kat yapıldıktan sonra geleneksel analizle hesaplanan yerdeğiştirme değerine varıldığı ve 4. kat için daha fazla bir değer elde edildiği görülmektedir.

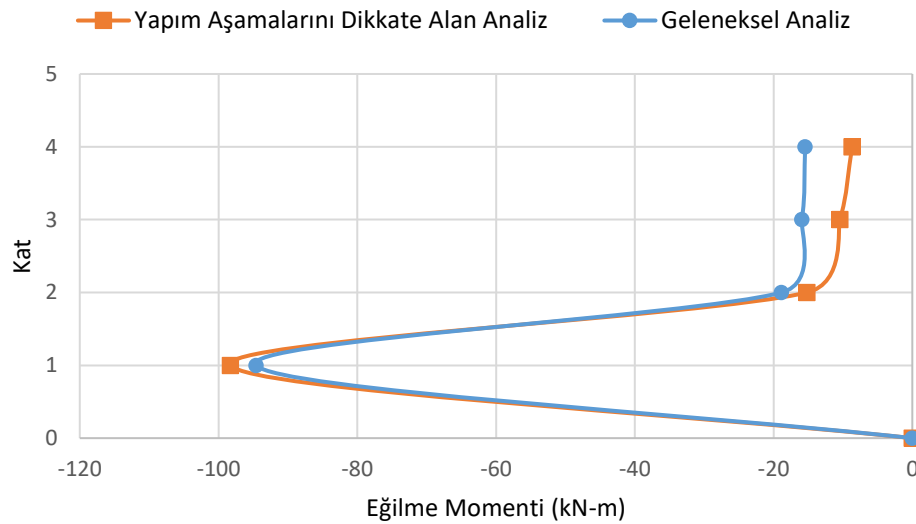
Sürekli kolonun mesnetlendiği B2 kirişinde analiz sonucunda hesaplanan mesnetlerdeki eğilme momenti değerleri Çizelge 4.17’de sunulmaktadır. Söz konusu transfer kirişindeki mesnet eğilme momentinin değişiminin grafik görünümü ise Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmektedir.



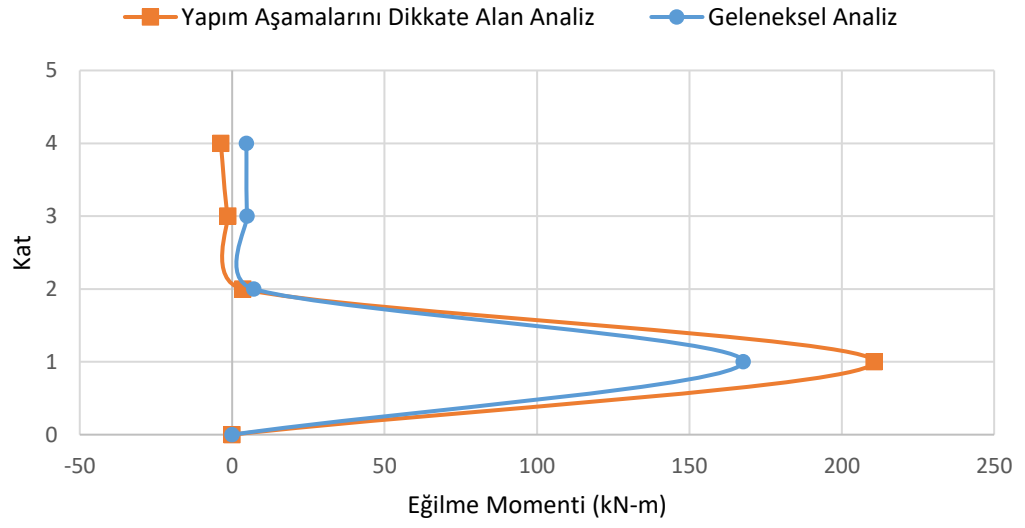
Şekil 4.16. Süreksiz kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü

Çizelge 4.17. B2 kirişi mesnet eğilme momenti değerleri

Kat NO	Geleneksel Analiz		Yapım Aşamalarını Dikkate Alan Analiz	
	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Sağ Mesnet
4.Kat	-15.443	4.670	-8.678	-3.715
3.Kat	-15.934	4.917	-10.447	-1.454
2.Kat	-18.850	7.076	-15.182	3.554
1.Kat	-94.595	167.662	-98.262	210.597



Şekil 4.17. B2 kirişi sol mesnet eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması

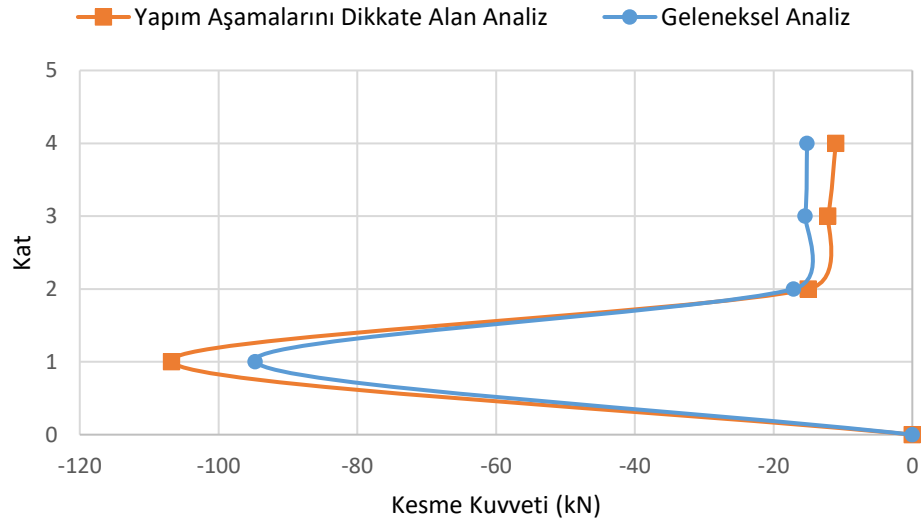


Şekil 4.18. B2 kirişi sağ mesnet eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması

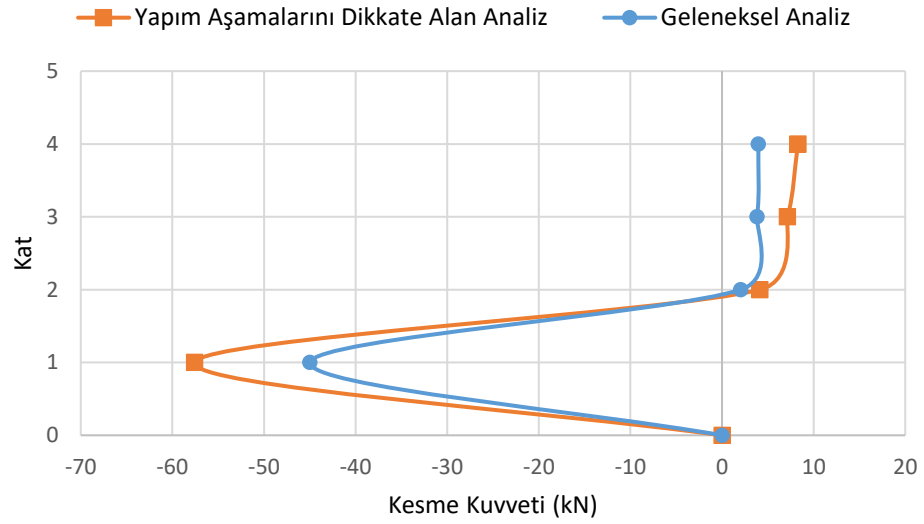
Söz konusu transfer kirişinin mesnetlerindeki kesme kuvvetinin hesaplanan değerleri Çizelge 4.18’de grafik değişimleri ise Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.18. B2 kirişi mesnet kesme kuvveti değerleri

Kat NO	Geleneksel Analiz		Yapım Aşamalarını Dikkate Alan Analiz	
	Sol Mesnet	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Sağ Mesnet
4.Kat	-15.172	3.972	-11.031	8.289
3.Kat	-15.441	3.823	-12.161	7.162
2.Kat	-17.107	2.040	-15.002	4.130
1.Kat	-94.707	-44.974	-106.751	-57.570



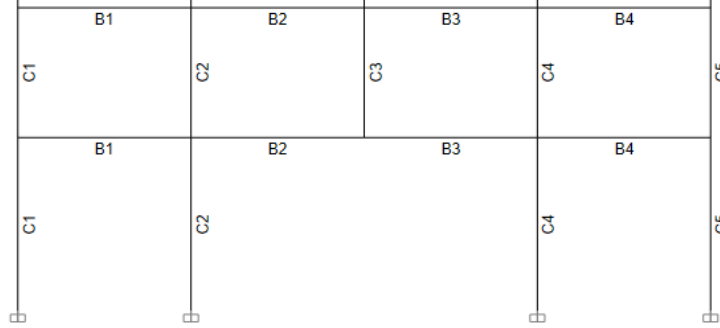
Şekil 4.19. B2 kirişi sol mesnet kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.20. B2 kirişi sağ mesnet kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Geleneksel analiz sonucu bulunan süreksiz kolonun mesnetlendiği kirişin sol mesnet iç kuvvet değerlerinin, yapım aşamalarını dikkate alan analizin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında 1. katta azalırken üst katlarda arttığı görülmektedir. Geleneksel analiz sonucu bulunan süreksiz kolonun mesnetlendiği kirişin sağ mesnet iç kuvvet değerlerinin, yapım aşamalarını dikkate alan analizin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında tüm katlarda azaldığı görülmektedir.

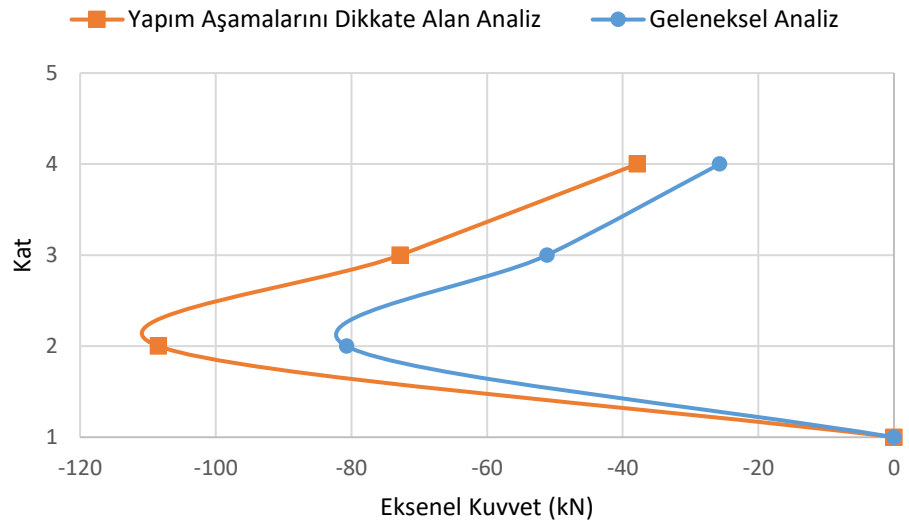
Sürekli kolonun analiz sonucunda hesaplanan eksenel kuvvet değerleri Çizelge 4.19’da, grafik görünümü ise Şekil 4.22’de verilmektedir.



Şekil 4.21. Sürekli kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü

Çizelge 4.19. C3 kolonu eksenel kuvvet değerleri

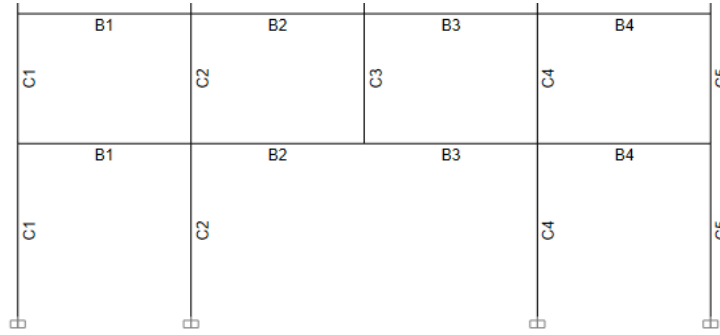
Kat NO	Geleneksel Analiz	Yapım Aşamalarını Dikkate Alan Analiz
4.Kat	-25.696	-37.853
3.Kat	-51.166	-72.806
2.Kat	-80.714	-108.438



Şekil 4.22. C3 kolonu eksenel kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Geleneksel analiz sonucu bulunan süreksiz kolonun eksenel kuvvet değerlerinin, yapım aşamalarını dikkate alan analizin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında tüm katlarda arttığı görülmektedir.

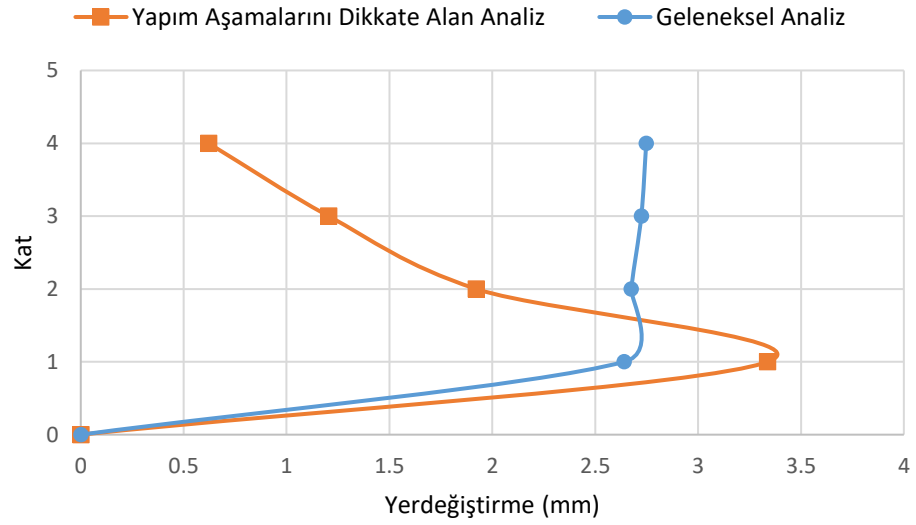
C3 ile B2/B3 kesişme noktasının yerdeğiştirme değerleri Çizelge 4.20’de, grafik değişimleri ise Şekil 4.21 ve Şekil 4.24’de sunulmaktadır.



Şekil 4.23. Süreksiz kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü

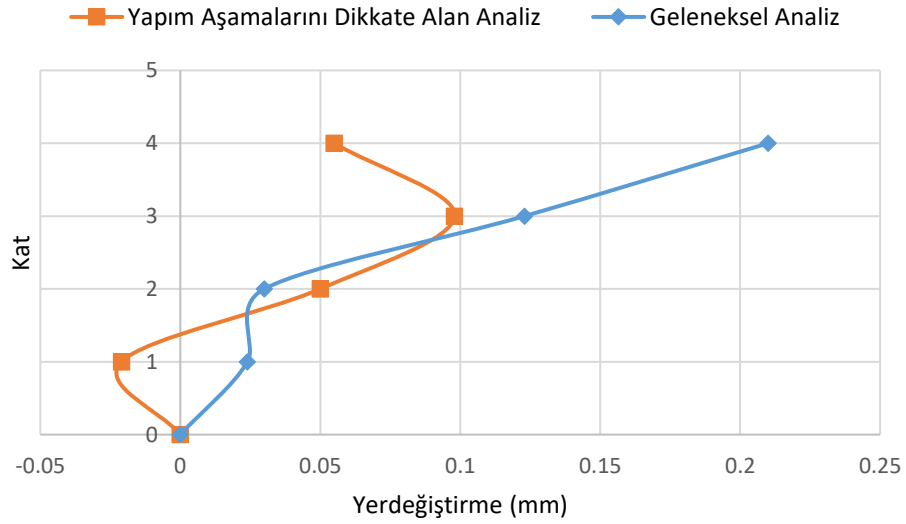
Çizelge 4.20. C3 ile B2/B3 kesişme noktasının yerdeğiştirme değerleri

Kat NO	Geleneksel Analiz		Yapım Aşamalarını Dikkate Alan Analiz	
	UY mm	UZ mm	UY mm	UZ mm
4.Kat	0.210	2.748	0.055	0.621
3.Kat	0.123	2.724	0.098	1.205
2.Kat	0.030	2.675	0.050	1.922
1.Kat	0.024	2.641	-0.021	3.338



Şekil 4.24. C3 ile B2/B3 kesişme noktasının Z doğrultusundaki yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması

Geleneksel analize göre maksimum yerdeğiştirme 4. katta olduğu, yapım aşamalarını dikkate alan analize göre ise maksimum yerdeğiştirme 1. katta olduğu ve bina kat sayısı arttıkça yerdeğiştirme azaldığı görülmektedir.



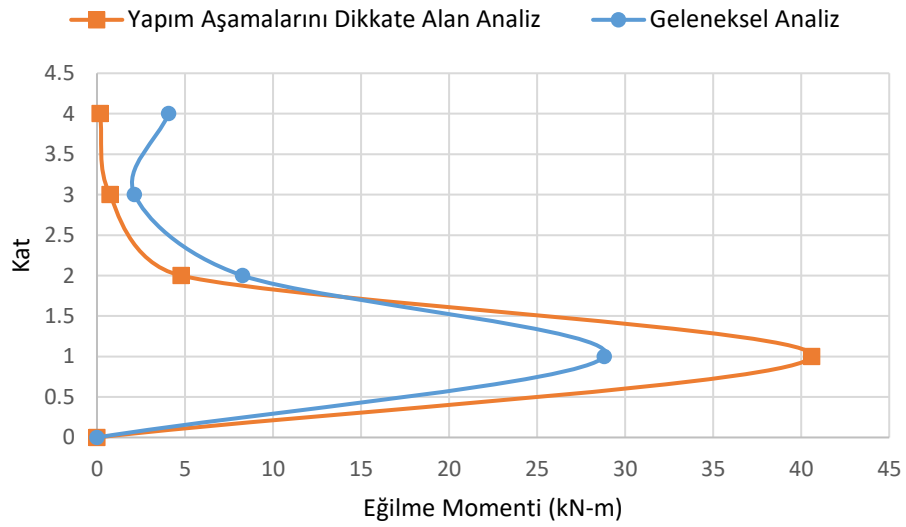
Şekil 4.25. C3 ile B2/B3 kesişme noktasının Y doğrultusundaki yer değiştirme değerlerinin karşılaştırılması

Sürekli kolonun komşu kolon olan C2 kolonunda analizler sonucunda hesaplan iç kuvvetlerin değerleri Çizelge 4.21’de sunulmaktadır. Bu kolondaki eğilme momentinin

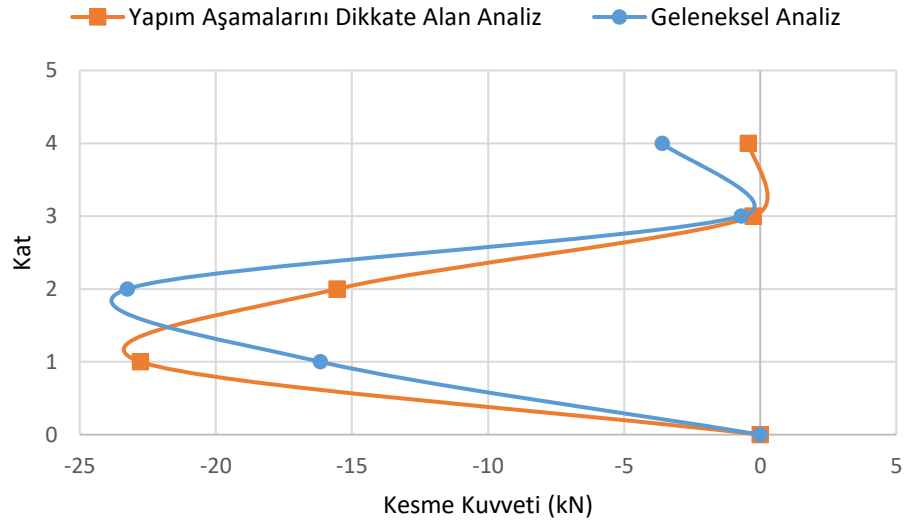
değişimi Şekil 4.26’de, kesme kuvvetinin değişimi Şekil 4.27’de, eksenel kuvvetin değişimi ise Şekil 4.28’de grafik olarak sunulmaktadır.

Çizelge 4.21. C2 Kolonu iç kuvvet değerleri

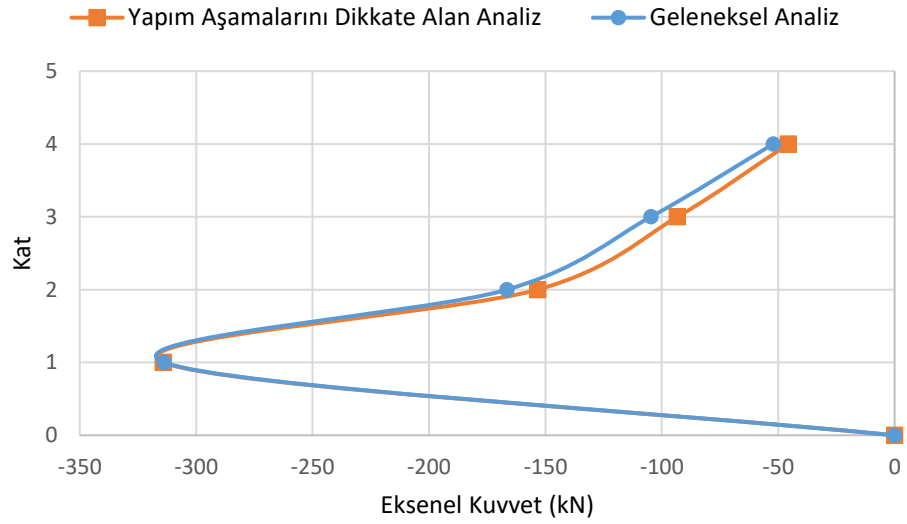
Kat NO	Geleneksel Analiz			Yapım Aşamalarını Dikkate Alan Analiz		
	Eksenel Kuvvet kN	Kesme Kuvveti kN	Eğilme Momenti kN-m	Eksenel Kuvvet kN	Kesme Kuvveti kN	Eğilme Momenti kN-m
4.Kat	-52.104	-3.598	4.067	-45.565	-0.430	0.173
3.Kat	-104.645	-0.694	2.135	-93.240	-0.256	0.739
2.Kat	-166.451	-23.254	8.270	-153.295	-15.549	4.779
1.Kat	-313.686	-16.161	28.825	-314.143	-22.761	40.599



Şekil 4.26. C2 kolonu eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.27. C2 kolonu kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması



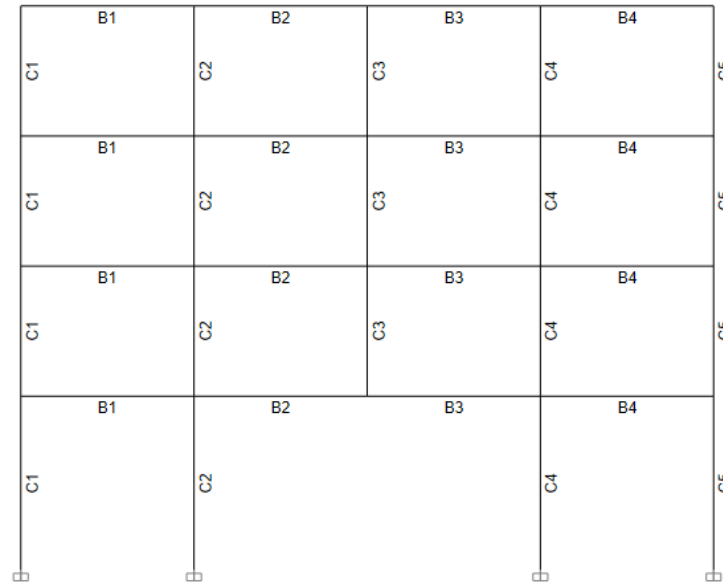
Şekil 4.28. C2 kolonu eksenel kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

4.11. Tasarım Sonuçlarının Karşılaştırılması

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde daha önce kullanılmış olan deprem bölgesi tanımı kaldırılmıştır. Bilindiği gibi yapının inşa edileceği deprem bölgesine göre yapıların boyutlarına, elemanların tasarımlarına ve detaylandırılmasına ilişkin birçok sınırlama deprem bölgesine göre tanımlanmaktaydı. Dolayısıyla deprem bölgesi kaldırılınca bu tür sınırlandırmaların yapılabilmesi için yeni

parametrenin ortaya konması gerekli olmuştur. Bu bağlamda DTS-Deprem Tasarım Sınıfı parametresi ön plana çıkmıştır. Bu parametre, Bina Yükseklik Sınıfları ile Bina Performans Hedeflerinin tanımlanmasında ve yönetmeliğin çeşitli kısımlarında hesap ve tasarım yöntemlerinin seçiminde etkili olmaktadır (Doğangün 2021b). Bölgenin depremselliğine, zemin yapısına ve bina kullanım sınıfına (önemine) göre değişen bu parametre için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde 8 adet DTS tanımlanmaktadır. Bunlar: 1a, 1, 2a, 2, 3a, 3, 4a, 4. Rakamlar daha önceki yönetmeliklerde tanımlanmış olan deprem bölgelerine benzer şekilde depremselliğin etkinliği azalacak şekilde 1’den 4’e doğru değişmektedir. Küçük a ise binanın kullanımının çok önemli olduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla en büyük değerlerin hem depremin çok etkin hem de yapının çok önemli olduğu DTS:1a için belirlenmesi beklenir.

Yukarıda belirtilen 8 Deprem Tasarım Sınıfı için en elverişsiz iç kuvvetleri veren yük birleşimi ($0.9G+SPEC(Y)+0.3SPEC(X)-0.3EZ$) etkisi altında C2 ve C3 kolonu tasarım sonuçları Çizelge 4.22. Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24’de sunulmaktadır.



Şekil 4.29. Süreksiz kolonun bulunduğu çerçevenin düşey kesit görünümü

Çizelge 4.22. 1.kattaki C2 kolonun iç kuvvetlerinin DTS için karşılaştırılması

DTS	Geleneksel Analiz				Yapım Aşamaları Dikkate Alan Analiz			
	P kN	M2 kN- m	M3 kN-m	A _s %	P kN	M2 kN-m	M3 kN-m	A _s %
1a	322.857	72.786	331.640	2.95	134.833	80.415	340.566	3.29
1	356.667	51.702	285.401	2.36	168.643	59.332	293.550	2.67
2a	358.793	64.068	307.157	2.66	170.769	71.697	315.307	2.90
2	387.878	46.054	267.617	2.06	199.854	53.683	275.767	2.42
3a	392.870	56.628	285.806	2.36	204.846	64.257	293.955	2.65
3	417.939	41.259	251.705	1.80	229.915	49.547	259.855	2.15
4a	432.361	44.305	254.724	1.82	244.337	52.679	262.874	2.18
4	450.910	33.192	235.856	1.65	262.886	41.452	247.266	1.85

Çizelge 4.23. 2.kattaki C2 kolonun iç kuvvetlerinin DTS için karşılaştırılması

DTS	Geleneksel Analiz				Yapım Aşamaları Dikkate Alan Analiz			
	P kN	M2 kN-m	M3 kN-m	A _s %	P kN	M2 kN-m	M3 kN-m	A _s %
1a	194.150	-50.711	-331.641	2.96	43.556	-45.086	-340.567	3.17
1	208.337	-39.081	-285.401	2.48	57.743	-33.454	-293.550	2.68
2a	212.340	-45.862	-307.157	2.72	61.746	-40.257	-315.307	2.88
2	224.511	-36.118	-267.617	2.23	73.916	-30.504	-275.767	2.49
3a	229.803	-41.618	-285.806	2.47	79.210	-36.028	-293.955	2.68
3	240.249	-33.563	-251.705	1.96	89.655	-27.959	-259.855	2.29
4a	249.365	-34.404	-254.724	1.99	98.771	-28.814	-262.874	2.32
4	256.997	-29.001	-235.856	1.76	106.403	-23.397	-247.266	2.09

Çizelge 4.24. 2.kattaki C3 kolonun iç kuvvetlerinin DTS için karşılaştırılması

DTS	Geleneksel Analiz				Yapım Aşamaları Dikkate Alan Analiz			
	P kN	M2 kN-m	M3 kN-m	A _s %	P kN	M2 kN-m	M3 kN-m	A _s %
1a	100.558	-23.793	279.485	2.48	26.985	-19.266	307.875	2.79
1	106.765	-18.658	-279.485	2.46	33.191	-14.129	-307.875	2.78
2a	109.372	-21.537	-279.485	2.46	35.798	-17.013	307.875	2.78
2	114.678	-17.298	279.485	2.44	41.105	-12.771	-307.875	2.76
3a	117.887	-19.508	279.485	2.45	44.313	-14.987	-307.875	2.77
3	122.417	-16.090	279.485	2.43	48.843	-11.565	307.875	2.76
4a	127.304	-16.185	279.485	2.43	53.731	-11.662	307.875	2.75
4	130.562	-14.006	-279.485	2.42	56.988	-9.480	307.875	2.74

4.11.1. Düşey deprem etkisi dinamik yük olarak dikkate alındığında transfer kirişinin bulgularının karşılaştırılması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde düşey deprem etkisinin ya da diğer bir ifadeyle iki yatay ve bir düşey doğrultuda bileşene sahip deprem hareketinin düşey bileşen etkisinin dikkate alınması için yapılması gerekenler daha önce Şekil 3.5'deki akış diyagramında sunulmuştur. Bu akış diyagramından görülebileceği gibi (a)Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren bina, (b) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren bina, (c)**Kirişlere oturan kolonları içeren bina**, (d)Kolonları düşeye göre eğimli olan binalar şeklindeki dört farklı durumda sadece bu elemanlar için, yerel düşey titreşim modları esas alınarak, düşey elastik ivme spektrumuna göre Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı yapılması gerekli olmaktadır. Tez kapsamında süreksiz kolon durumu da (c) maddesinde belirtilen durum olup düşey deprem etkisi için Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabının yapılması gerekli olmaktadır. Bu durum dikkate alınarak süreksiz kolonun mesnetlendiği kirişte geleneksel analiz yöntemiyle Deprem Tasarım Sınıflarına göre belirlenen mesnet ve açıklık momentinin değerleri Çizelge 4.25'de sunulmaktadır. Yapım aşamaları dikkate alınarak gerçekleştirilen analiz yöntemiyle belirlenen mesnet ve açıklık momentinin değerleri ise Çizelge 4.26'da sunulmaktadır.

Çizelge 4.25. Geleneksel analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerleri

DTS	En Elverişsiz Yük Birleşimi	Moment (kN-m)	
		Mesnet	Açıklık
1a	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-545.613	503.741
1	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-469.036	476.703
2a	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-499.534	470.910
2	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-433.634	-
	$1.4G+1.6Q$	-	465.808
3a	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-458.151	-
	$1.4G+1.6Q$	-	465.808
3	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-401.318	-
	$1.4G+1.6Q$	-	465.808
4a	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-401.035	
	$1.4G+1.6Q$	-	465.808
4	$1.4G+1.6Q$	-360.963	465.808

Çizelge 4.26. Yapım aşamaları dikkate alan analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerleri

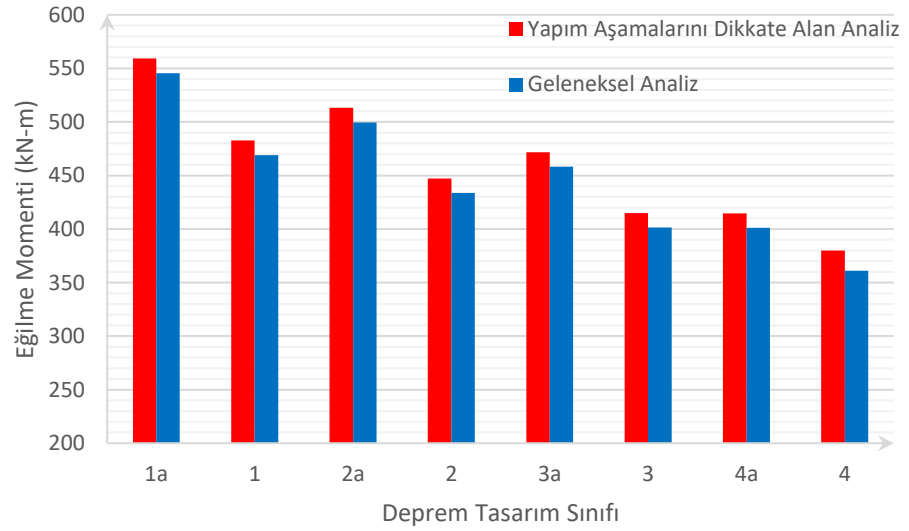
DTS	En Elverişsiz Yük Birleşimi	Moment (kN-m)	
		Mesnet	Açıklık
1a	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-559.195	537.540
1	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-482.619	-
	$1.4G+1.6Q$	-	513.126
2a	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-513.116	-
	$1.4G+1.6Q$	-	513.126
2	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-447.216	-
	$1.4G+1.6Q$	-	513.126
3a	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-471.734	-
	$1.4G+1.6Q$	-	513.126
3	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-414.900	-
	$1.4G+1.6Q$	-	513.126
4a	$G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-414.618	-
	$1.4G+1.6Q$	-	513.126
4	$1.4G+1.6Q$	-379.979	513.126

Deprem tasarım sınıfı 1 ve 2a olan binalar için transfer kirişinin açıklık momenti hesabında yapım aşamaları dikkate alındığında $1.4 G+1.6 Q$ yük birleşimi daha elverişsiz olduğu görülmektedir.

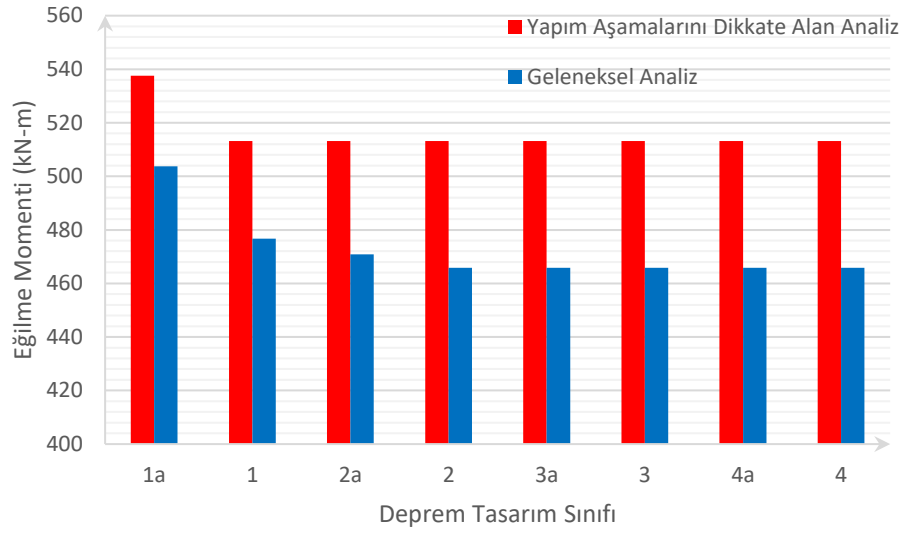
Depremin düşey bileşeni için yukarıda sunulan çizelgelerde süreksiz kolonun mesnetlendiği kiriş için geleneksel analiz yöntemiyle ve yapım aşamaları dikkate alınarak gerçekleştirilen analiz yaklaşımıyla belirlenen mesnet ve açıklık momentinin değerleri karşılaştırılması Çizelge 4.27’de verilmektedir. Bunların grafik olarak karşılaştırılması ise Şekil 4.30’ve Şekil 4.31’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.27. Eğilme momenti karşılaştırması

DTS	Geleneksel Analiz		Yapım Aşamaları Dikkate Alan Analiz	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	-545.613	503.7412	-559.195	537.540
1	-469.036	476.703	-482.619	513.126
2a	-499.534	470.91	-513.116	513.126
2	-433.634	465.8076	-447.216	513.126
3a	-458.151	465.8076	-471.734	513.126
3	-401.318	465.8076	-414.900	513.126
4a	-401.035	465.8076	-414.618	513.126
4	-360.963	465.8076	-379.979	513.126



Şekil 4.30. Mesnet eğilme momenti karşılaştırması



Şekil 4.31. Açıklık eğilme momenti karşılaştırması

Çizelge 4.28. Geleneksel analiz sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri

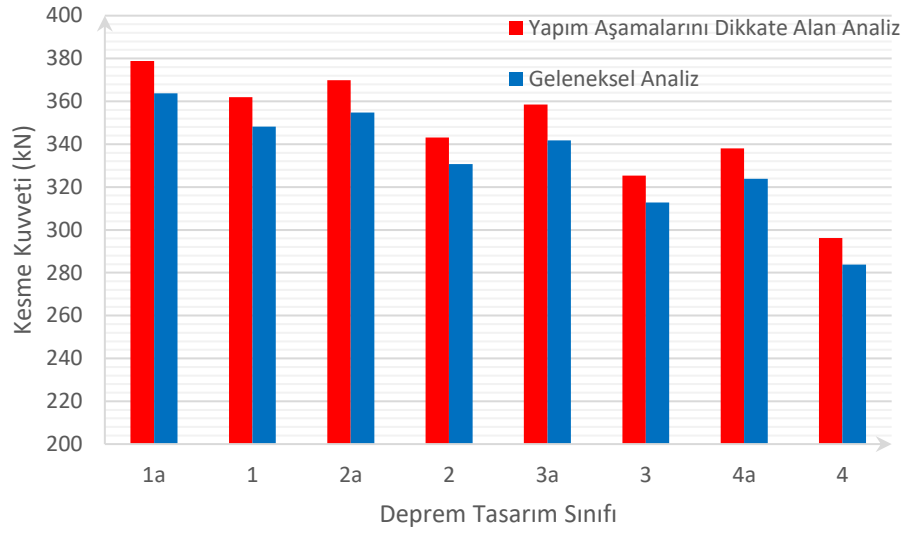
DTS	$V_{dy} \mp (M_{pi} + M_{pj})/\ell_n$		$V_{dy} \mp D \times V_{EX}$	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	363.794	272.893	427.854	332.072
1	348.258	257.357	351.861	257.708
2a	354.837	263.936	396.183	301.082
2	334.090	243.189	330.750	237.047
3a	341.811	250.910	369.330	274.802
3	323.950	233.049	312.846	219.527
4a	323.895	232.994	325.644	232.043
4	311.349	220.448	283.722	191.021

Çizelge 4.29. Yapım aşamaları dikkate alan analiz sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri

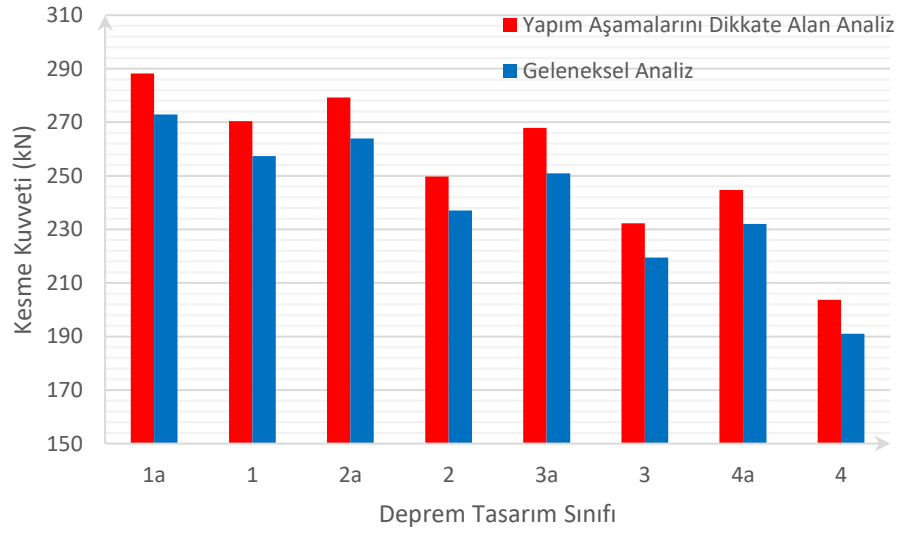
DTS	$V_{dy} \mp (M_{pi} + M_{pj})/\ell_n$		$V_{dy} \mp D \times V_{EX}$	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	378.880	288.230	440.288	344.757
1	361.951	271.301	364.295	270.393
2a	369.864	279.214	408.617	313.767
2	350.795	260.145	343.184	249.732
3a	358.514	267.864	381.764	287.487
3	340.601	249.951	325.280	232.212
4a	340.546	249.896	338.078	244.728
4	329.724	239.0742	296.156	203.706

Çizelge 4.30. Kesme kuvveti karşılaştırması

DTS	Geleneksel Analiz		Yapım Aşamaları Dikkate Alan Analiz	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	363.794	272.893	378.880	288.230
1	348.258	257.357	361.951	270.393
2a	354.837	263.936	369.864	279.214
2	330.750	237.047	343.184	249.732
3a	341.811	250.910	358.514	267.864
3	312.846	219.527	325.280	232.212
4a	323.895	232.043	338.078	244.728
4	283.722	191.021	296.156	203.706



Şekil 4.32. Mesnet kesme kuvveti karşılaştırması



Şekil 4.33. Açıklık kesme kuvveti karşılaştırması

4.11.2. Düşey deprem etkisi statik yük olarak dikkate alındığında transfer kirişinin bulgularının karşılaştırılması

Çizelge 4.31. Geleneksel analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerleri

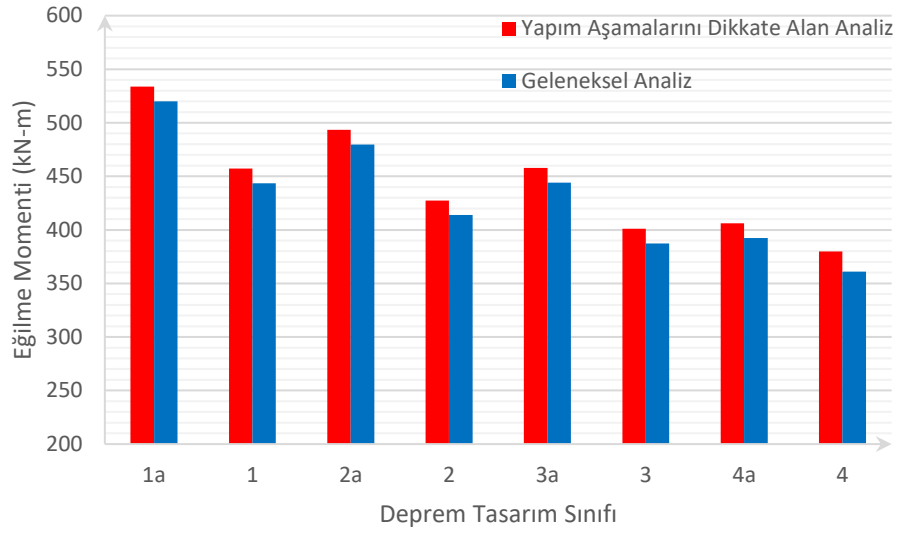
DTS	En Elverişsiz Yük Birleşimi	Moment (kN-m)	
		Mesnet	Açıklık
1a	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-520.114	-
	1.4G+1.6Q	-	465.808
1	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-443.538	-
	1.4G+1.6Q		465.808
2a	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-479.799	-
	1.4G+1.6Q		465.808
2	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-413.899	-
	1.4G+1.6Q		465.808
3a	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-444.212	-
	1.4G+1.6Q	-	465.808
3	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-387.379	-
	1.4G+1.6Q	-	465.808
4a	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-392.411	
	1.4G+1.6Q	-	465.808
4	1.4G+1.6Q	-360.963	465.808

Çizelge 4.32. Yapım aşamaları dikkate alan analiz sonucu bulunan eğilme momenti değerleri

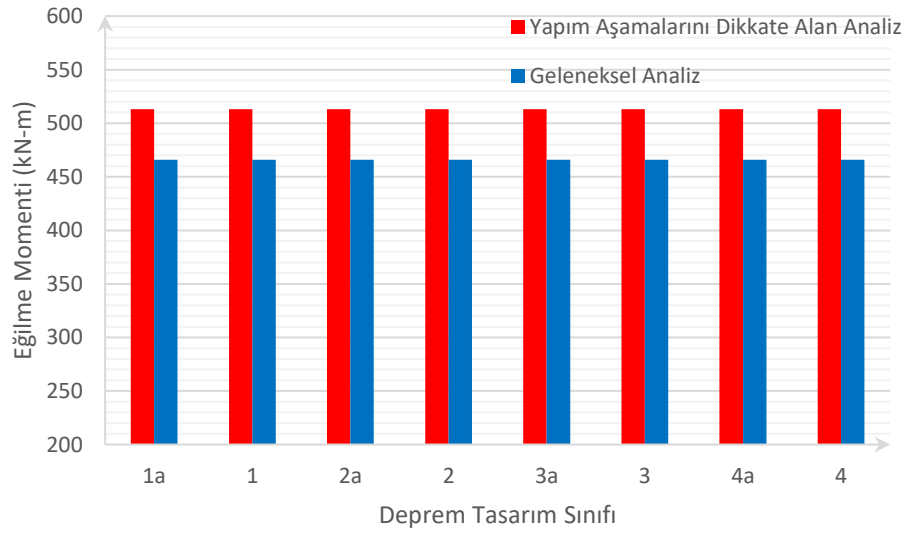
DTS	En Elverişsiz Yük Birleşimi	Moment (kN-m)	
		Mesnet	Açıklık
1a	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-533.697	-
	1.4G+1.6Q	-	513.126
1	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-457.120	-
	1.4G+1.6Q	-	513.126
2a	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-493.381	-
	1.4G+1.6Q	-	513.126
2	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-427.481	-
	1.4G+1.6Q	-	513.126
3a	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-457.795	-
	1.4G+1.6Q	-	513.126
3	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-400.961	-
	1.4G+1.6Q	-	513.126
4a	G+Q+0.2S-SPEC (X)-0.3SPEC(Y)+0.3EZ	-405.993	-
	1.4G+1.6Q	-	513.126
4	1.4G+1.6Q	-379.979	513.126

Çizelge 4.33. Eğilme momenti karşılaştırması

DTS	Geleneksel Analiz		Yapım Aşamaları Dikkate Alan Analiz	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	-520.114	465.808	-533.697	513.126
1	-443.538	465.808	-457.120	513.126
2a	-479.799	465.808	-493.381	513.126
2	-413.899	465.808	-427.481	513.126
3a	-444.212	465.808	-457.795	513.126
3	-387.379	465.808	-400.961	513.126
4a	-392.411	465.808	-405.993	513.126
4	-360.963	465.808	-379.979	513.126



Şekil 4.34. Mesnet eğilme momenti karşılaştırması



Şekil 4.35. Açıklık eğilme momenti karşılaştırması

Çizelge 4.34. Geleneksel analiz sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri

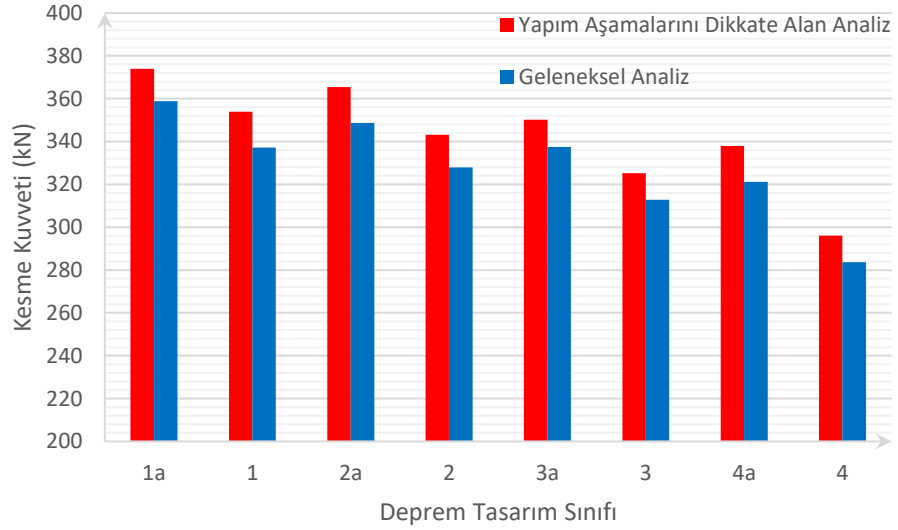
DTS	$V_{dy} \mp (M_{pi} + M_{pj})/\ell_n$		$V_{dy} \mp D \times V_{EX}$	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	358.830	267.929	427.854	332.072
1	337.209	246.308	351.861	257.708
2a	348.686	257.785	396.183	301.082
2	327.894	236.993	330.750	237.047
3a	337.431	246.530	369.33	274.802
3	319.622	228.721	312.846	219.527
4a	321.176	230.275	325.644	232.043
4	311.349	220.448	283.722	191.021

Çizelge 4.35. Yapım aşamaları dikkate alan analiz sonucu bulunan kesme kuvveti değerleri

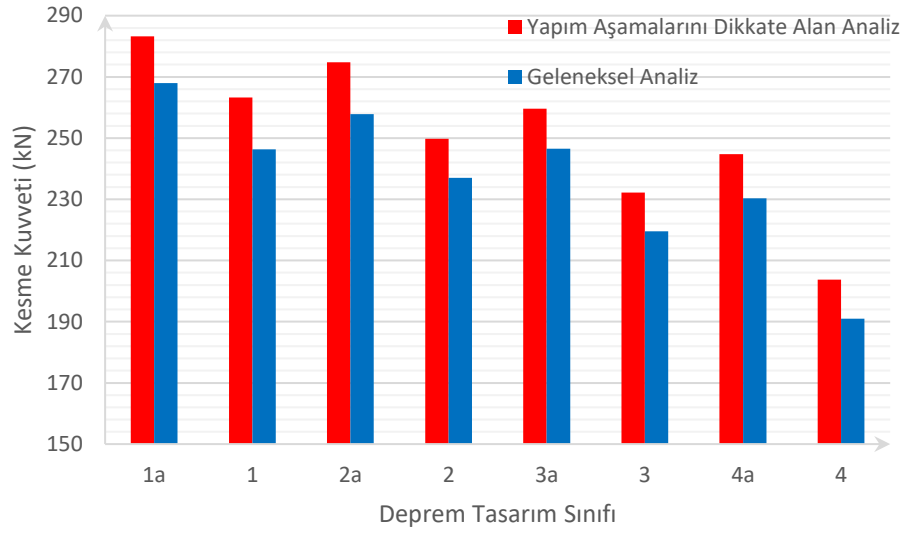
DTS	$V_{dy} \mp (M_{pi} + M_{pj})/\ell_n$		$V_{dy} \mp D \times V_{EX}$	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	373.906	283.256	440.288	344.757
1	353.913	263.263	364.295	270.393
2a	365.387	274.737	408.617	313.767
2	344.596	253.946	343.184	249.732
3a	350.232	259.582	381.764	287.487
3	336.274	245.624	325.280	232.212
4a	337.884	247.233	338.078	244.728
4	329.724	239.074	296.156	203.706

Çizelge 4.36. Kesme kuvveti karşılaştırması

DTS	Geleneksel Analiz		Yapım Aşamaları Dikkate Alan Analiz	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	358.830	267.929	373.906	283.256
1	337.209	246.308	353.913	263.263
2a	348.686	257.785	365.387	274.737
2	327.894	236.993	343.184	249.732
3a	337.431	246.530	350.232	259.582
3	312.846	219.527	325.280	232.212
4a	321.176	230.275	337.884	244.728
4	283.722	191.021	296.156	203.706



Şekil 4.36. Açıklık kesme kuvveti karşılaştırması



Şekil 4.37. Açıklık kesme kuvveti karşılaştırması

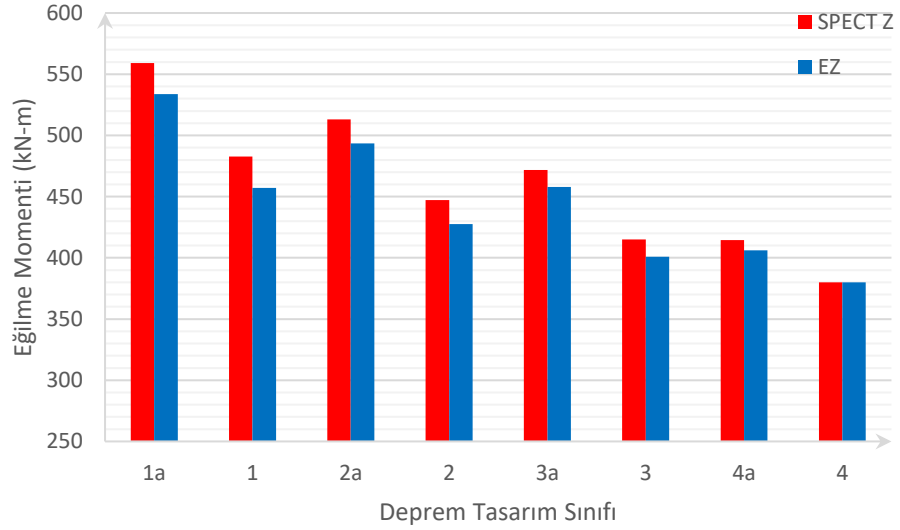
4.11.3. Yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımı dikkate alındığında transfer kirişinin bulgularının karşılaştırılması

Depremin düşey bileşeninin her iki analiz yaklaşımı için, süreksiz kolonun mesnetlendiği kiriş için geleneksel analiz yöntemiyle ve yapım aşamaları dikkate alınarak gerçekleştirilen analiz yaklaşımıyla belirlenen mesnet ve açıklık moment ve kesme değerleri karşılaştırılması yukarıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

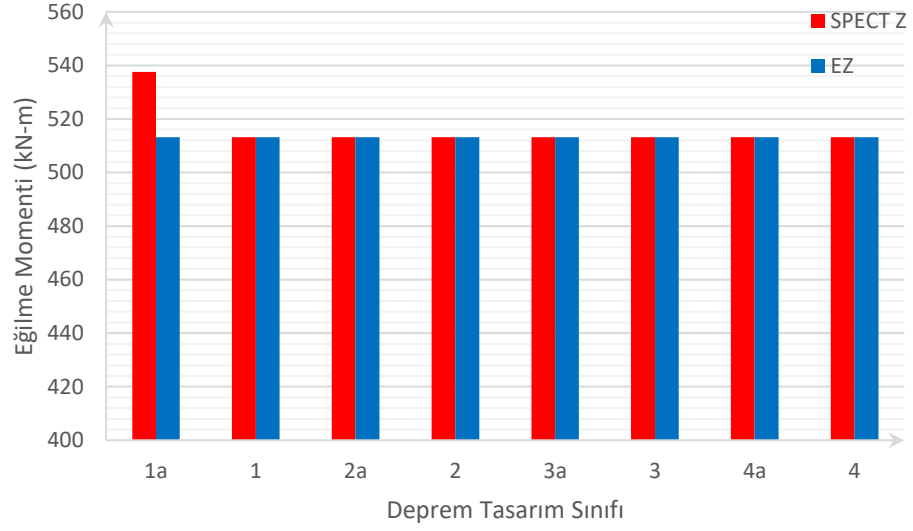
Yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımı dikkate alındığında depremin düşey bileşeni için gerçekleştirilen analiz yaklaşımlarıyla belirlenen mesnet ve açıklık moment ve kesme değerleri karşılaştırılması Çizelge 4.37’de verilmektedir. Bunların grafik olarak karşılaştırılması ise Şekil 4.38’ve Şekil 4.39’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.37. Eğilme momenti karşılaştırması

DTS	EZ		SPEC(Z)	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	-533.697	513.126	-559.195	537.540
1	-457.120	513.126	-482.619	513.126
2a	-493.381	513.126	-513.116	513.126
2	-427.481	513.126	-447.216	513.126
3a	-457.795	513.126	-471.734	513.126
3	-400.961	513.126	-414.900	513.126
4a	-405.993	513.126	-414.618	513.126
4	-379.979	513.126	-379.979	513.126



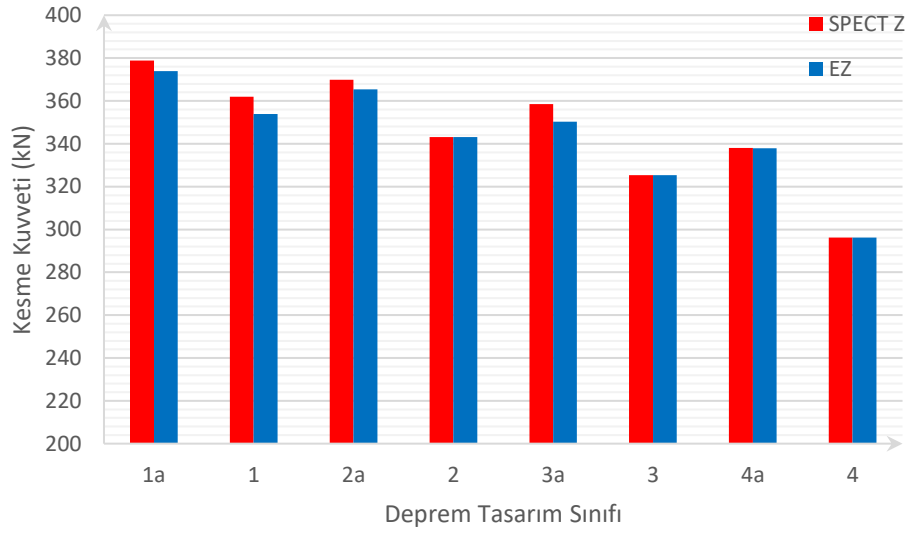
Şekil 4.38. Mesnet eğilme momenti karşılaştırması



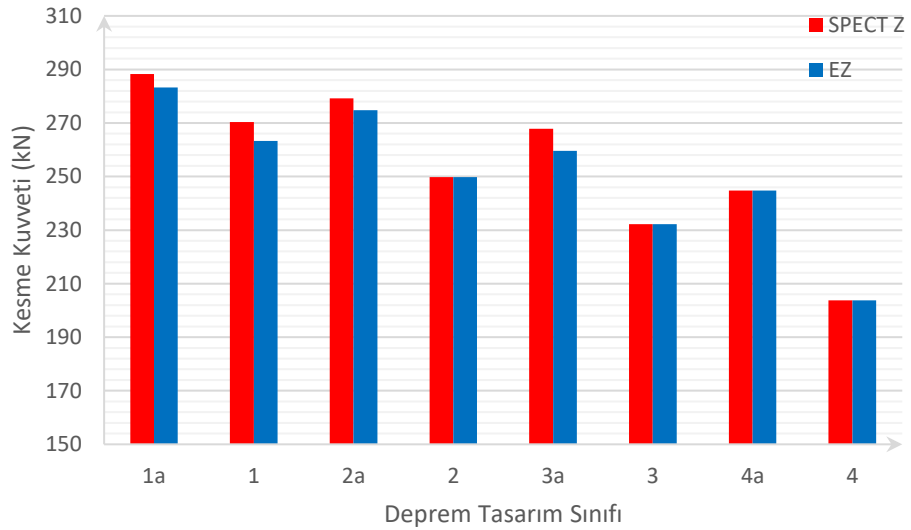
Şekil 4.39. Açıklık eğilme momenti karşılaştırması

Çizelge 4.38. Kesme kuvveti karşılaştırması

DTS	EZ		SPEC(Z)	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	373.906	283.256	378.880	288.230
1	353.913	263.263	361.951	270.393
2a	365.387	274.737	369.864	279.214
2	343.184	249.732	343.184	249.732
3a	350.232	259.582	358.514	267.864
3	325.280	232.212	325.280	232.212
4a	337.884	244.728	338.078	244.728
4	296.156	203.706	296.156	203.706



Şekil 4.40. Mesnet kesme kuvveti karşılaştırması



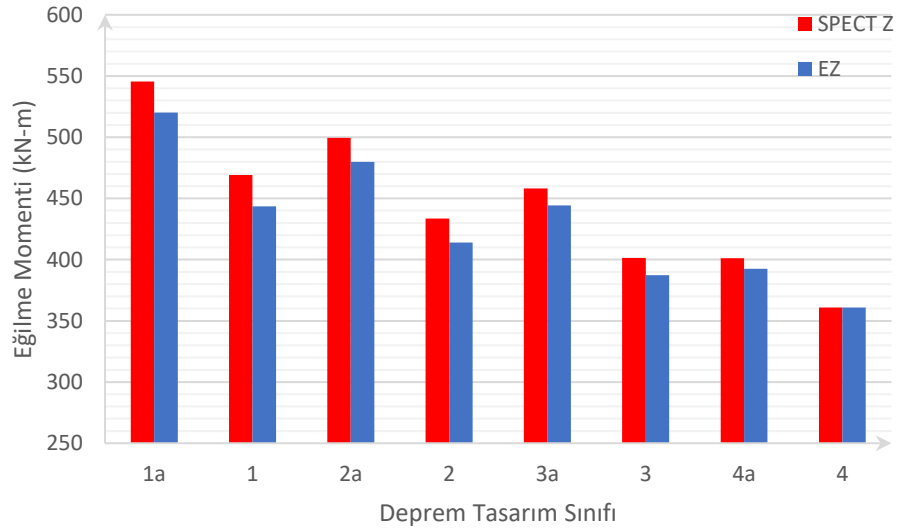
Şekil 4.41. Açıklık kesme kuvveti karşılaştırması

4.11.4. Geleneksel analiz yaklaşımı dikkate alındığında transfer kirişinin bulgularının karşılaştırılması

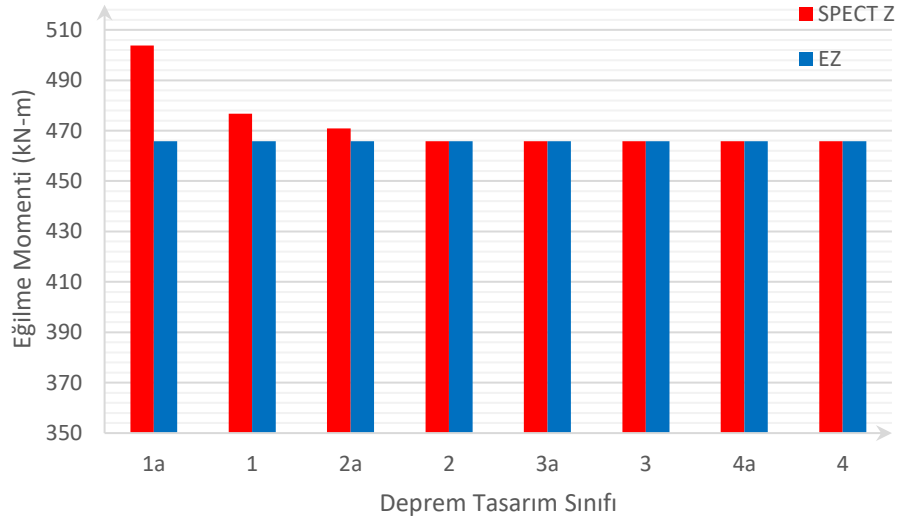
Geleneksel analiz yaklaşımı dikkate alındığında depremin düşey bileşeni için gerçekleştirilen analiz yaklaşımlarıyla belirlenen mesnet ve açıklık moment ve kesme değerleri karşılaştırılması Çizelge 4.39’de verilmektedir. Bunların grafik olarak karşılaştırılması ise Şekil 4.42 ve Şekil 4.43’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.39. Eğilme momenti karşılaştırması

DTS	EZ		SPEC(Z)	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	-520.114	465.808	-545.613	503.7412
1	-443.538	465.808	-469.036	476.703
2a	-479.799	465.808	-499.534	470.91
2	-413.899	465.808	-433.634	465.8076
3a	-444.212	465.808	-458.151	465.8076
3	-387.379	465.808	-401.318	465.8076
4a	-392.411	465.808	-401.035	465.8076
4	-360.963	465.808	-360.963	465.8076



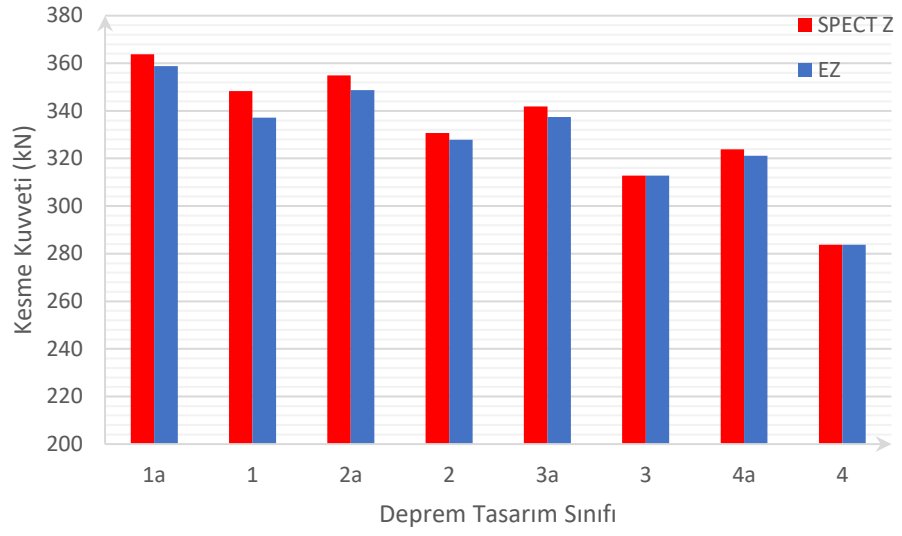
Şekil 4.42. Mesnet eğilme momenti karşılaştırması



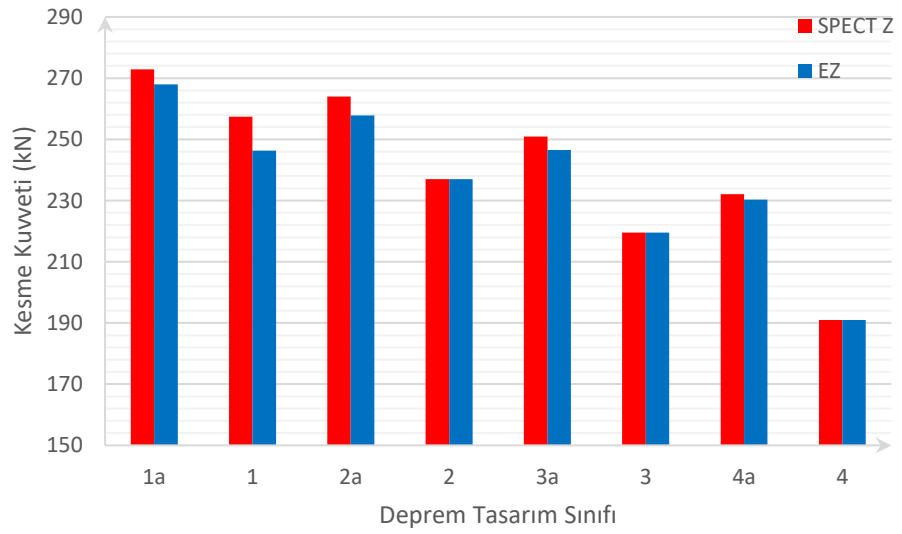
Şekil 4.43. Açıklık eğilme momenti karşılaştırması

Çizelge 4.40. Kesme kuvveti karşılaştırması

DTS	EZ		SPEC(Z)	
	Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	358.830	267.929	363.794	272.893
1	337.209	246.308	348.258	257.357
2a	348.686	257.785	354.837	263.936
2	327.894	236.993	330.750	237.047
3a	337.431	246.530	341.811	250.910
3	312.846	219.527	312.846	219.527
4a	321.176	230.275	323.895	232.043
4	283.722	191.021	283.722	191.021



Şekil 4.44. Mesnet kesme kuvveti karşılaştırması



Şekil 4.45. Açıklık kesme kuvveti karşılaştırması

5. SONUÇ

Bu tez kapsamında süreksiz kolon içeren B3 türü düzensizliğe sahip 4 katlı betonarme bir binanın taşıyıcı sistemi yapısal analizlere konu olmuştur. Bu binanın yapısal analizleri için iki yaklaşım kullanılmıştır. Birinci yaklaşım geleneksel analiz yaklaşımı olarak adlandırılan yaklaşım olup bu yaklaşımda yapının bütün ağırlığı ve yönetmelik gereği alınması gereken tüm yüklerin birlikte dikkate alındığı yaklaşımdır. Uygulamada yaygın olarak kullanılan yaklaşım bu yaklaşımdır. Bunun anlamı yapının tamamlandığı ve öngörülen tüm yüklerin etkidiği kabul edilmektedir. İkinci yaklaşım yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımı olarak adlandırılan yaklaşımdır. Bu yaklaşımda binanın inşa edilmeye başlamasından itibaren her bir kat tabliyesinin dökülmesi durumunda gerçekleştirilen hesapları içeren bir yaklaşım olmaktadır. Dolayısıyla kat sayısı kadar analiz yapmak gerekli olmaktadır. Söz konusu iki analiz yaklaşımının ve Türkiye Bina deprem Yönetmeliğinde öngörülen sekiz Deprem Tasarım Sınıfının seçilen örnek binanın analizlerinde etkilerini irdelemek amacıyla bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan çıkartılan başlıca sonuçlar aşağıda sunulmaktadır:

- ✓ Süreksiz kolon durumu Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde B3 türü düzensizlik olarak tanımlanmakta ve bu durum için, yerel düşey titreşim modlarının esas alınarak, düşey elastik ivme spektrumuna göre Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı yapılması öngörülmektedir. Bu çalışmada Türkiye Bina deprem Yönetmeliğinin öngördüğü şekilde deprem hesabı hem geleneksel analiz yaklaşımı hem de yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımı ile iki farklı yaklaşım için de gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin öngördüğü Düşey Elastik Tasarım Spektrumunu dikkate almadan diğer elemanlar için öngördüğü depremin düşey bileşeninin sabit bir değer olarak dikkate alınması seçeneği için de yukarıda adı geçen iki farklı yaklaşım için analizler gerçekleştirilmiştir. Böylece Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin Depremin Düşey Bileşeni için öngördüğü iki farklı durum tezde irdelenen iki farklı yaklaşım için de elde edilen bulguları karşılıklı irdeleme imkanı olmuştur.
- ✓ Düşey elastik ivme spektrumunu ve sabit değer dikkate alınarak gerçekleştirilen her iki analizde de yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar geleneksel analiz yaklaşımına göre elde edilen sonuçlara göre daha büyük değerlerde olmuştur.

- ✓ Yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımıyla düşey elastik ivme spektrumu dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar sabit değer dikkate alınarak elde edilen değerlerden daha büyük olmuştur.
- ✓ Geleneksel analiz yaklaşımıyla ve yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımıyla bina analizlerinden elde edilen şekil değiştirme ve yer değiştirmeler karşılaştırıldığında hem değer olarak, hem de bina içindeki dağılımları açısından önemli farklar bulunmaktadır. Yapım aşamalarını dikkate alan yaklaşımla süreksiz kolonun alt ucunda bulunan transfer kirişinde elde edilen düşey yerdeğiştirme (sehim) değeri geleneksel analiz yaklaşımından elde edilenden daha büyük olmaktadır. Yapım aşamalarını dikkate alan yaklaşımla Transfer kirişindeki elde edilen toplam sehim değeri geleneksel analiz yaklaşımından elde edilene göre % 8.05 daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Ancak yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımında transfer kirişinde yerel olarak büyük olan bu değer üst katlara gidildikçe hızlı bir şekilde azalmaktadır. Geleneksel analiz yaklaşımında ise transfer kirişi için elde edilen değere yakın değer ve şekil değiştirme biçimi de benzer bir şekilde tüm katlarda yaklaşık olarak aynı şekil değiştirme gözlemlenmektedir.
- ✓ Geleneksel analiz yaklaşımıyla ve yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımıyla bina analizlerinden süreksiz kolonda (C3) elde edilen eksenel kuvvetler karşılaştırıldığında yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımında süreksiz kolonun eksenel kuvvetinin geleneksel analiz yaklaşımına göre % 25~32 mertebesinde daha büyük olduğu görülmüştür.
- ✓ Geleneksel analiz yaklaşımıyla ve yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımıyla bina analizlerinden transfer kirişinde hesaplanan açıklık momentleri karşılaştırıldığında genel itibariyle yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımından elde edilen açıklık momentleri geleneksel analiz yaklaşımından elde edilenlere göre daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu büyüklüğün derecesi Deprem Tasarım sınıfına bağlı olarak değişmektedir. DTS = 1a için % 6.29, DTS = 1 için % 7.10. DTS = 2a için % 8.23. geriye kalan Deprem Tasarım Sınıfları için ise %9.22 mertebesinde daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.
- ✓ Geleneksel analiz yaklaşımıyla ve yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımıyla bina analizlerinden transfer kirişinde hesaplanan kesme kuvvetleri

karşılaştırıldığında genel itibariyle yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımından elde edilen kesme kuvvetlerinin geleneksel analiz yaklaşımından elde edilenlere göre daha büyük olduğu görülmüştür. Bu büyüklüğün derecesi Deprem Tasarım Sınıfına bağlı olarak değişmektedir. En büyük artış $DTS = 3a$ 'da gözlenmiş, kesme kuvveti açıklıkta % 6.33, mesnette ise % 4.66 daha büyük olmuştur.

- ✓ Geleneksel analiz yaklaşımıyla ve yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımıyla bina analizlerinden transfer kirişinde hesaplanan açıklık ve mesnet momentleri karşılaştırıldığında genel itibariyle yapım aşamalarını dikkate alan analiz yaklaşımından elde edilen açıklık ve mesnet momentlerinin geleneksel analiz yaklaşımından elde edilenlere oranlarının Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) 1'den 4'e doğru ve Bina Kullanım Sınıfı (BKS) 1'den 3'e doğru doğru artacak şekilde değiştiği görülmüştür.
- ✓ Özetle yapım aşamalarını dikkate alan analizden elde edilen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler/yer değiştirmeler açısından daha gerçekçi görülmektedir. Bu tür süreksiz kolona sahip düzensiz binaların yapısal analizlerinde sadece geleneksel yöntem yaklaşımıyla analiz yapmak güvensiz tarafta sonuçlar verdiğinden bina emniyetini tehlikeye düşürebilecek bir analiz olacaktır. Dolayısıyla B3 türü düzensizliğe sahip binaların yapısal analizlerinde sadece depremin düşey bileşenini dikkate alarak analizleri tamamlamak uygun görülmemektedir. Bu analizlere ilave olarak yapım aşamalarını da dikkate alan analiz yaklaşımıyla binaların analizlerini yapmak tarafımızdan önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ABYYHY, 1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İmar ve İskân Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı.
- ABYYHY, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı.
- Ateş, A.O. 2013. Kolon Süreksizliğinin Taşıyıcı Sistem Deprem Davranışına Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Dinar, Y., Rasel, M. M., Chowdhury, M. J. A., & Ashraf, M. A. 2014. Chronological construction sequence effects on reinforced concrete and steel buildings. the International Journal of Engineering and Science (IJES), 3(1), 52-63.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Resmi Gazete Tarihi: 14.07.2007 Resmi Gazete Sayısı: 26582.
- Doğangün, A. 2021a. Betonarme yapıların hesap ve tasarımı, 17. Baskı, Birsen Yayınevi, ISBN: 978-975-511-310-X, 732 sayfa.
- Doğangün, A. 2021b. Deprem-Zemin ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Birsen Yayınevi, ISBN: ISBN: 978-975-511-710-2, 545 sayfa.
- Ergin, C. 2016. Düşeyde düzensiz yapıların dinamik davranışına deprem bölgelerinin ve zemin sınıflarının etkisinin incelenmesi. Bozok Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yozgat.
- ETABS, 2023. V20.0.0 - Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems. Computer & Structures Inc., Available from www.csiamerica.com.
- Gujar, A., Jadhav, H. S. 2019. Performance of multi-storey RC structure with floating column. Int Res Eng Technol.
- Koçluk, U.Ç. 2019. Kolon süreksizliği bulunan betonarme bir binanın tasarımı ve deprem etkisi altındaki performansının değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Kini, V. K., & Rajeeva, S. V. 2017. Comparison of response spectrum analysis and construction sequence analysis of RC and steel concrete composite multi-storey building with floating columns. International Journal of Research in Engineering and Technology, 6, 63-68.
- Kumar, V., Varghese, B. 2017. Effect of construction sequence analysis along with p-delta and material non linearity on floating column structure. International Research Journal of Engineering and Technology. 4(05). 1946-1949.

- Panigrahi, S., Patil, V., Madan, H., Takkalaki, S. 2019. Importance of Construction Sequence Analysis in design of High Rise Building. International Journal of Innovative Science. Engineering & Technology (IJSET).
- SAFE, 2016. Slab Analysis and Design Software. Computer & Structures Inc., Available from www.csiamerica.com.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Yürürlük tarihi: Ocak 2019, 416 sayfa.
- Topaktaş, M. 2019. Kolon süreksizliği bulunan betonarme bir binanın DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 esaslarına göre incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- TS498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü.
- Yaylalı, R. 2012. Düşey Doğrultuda Süreksizlik ve Çerçeve Süreksizliği İçeren Binaların Deprem Performans Analizleri. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

EKLER

EK 1 Transfer kirişinin yük birleşimleri altında eğilme momenti değerleri

EK Çizelge 1. $G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$ / EZ yük birleşimi altında eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması (kN-m)

DTS	Yük Birleşimi	GA		YADAA	
		Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-545.613	503.742	-424.229	591.321
	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3EZ$	-520.114	455.628	-405.793	541.86
1	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-469.037	476.703	-482.619	510.502
	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3EZ$	-443.538	428.59	-457.121	462.388
2a	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-499.534	470.910	-513.117	504.709
	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3EZ$	-479.799	433.673	-493.382	467.471
2	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-433.634	447.643	-447.217	481.442
	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3EZ$	-413.899	410.405	-427.482	444.204
3a	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-458.152	439.586	-471.734	473.385
	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3EZ$	-444.213	413.299	-457.795	447.098
3	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-401.318	419.519	-414.901	453.318
	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3EZ$	-387.379	393.232	-400.962	427.031
4a	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-401.036	404.343	-414.618	438.142
	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3EZ$	-392.411	388.07	-405.994	421.869
4	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z)$	-358.939	389.436	-372.522	423.235
	$G+Q+0.2S+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3EZ$	-350.315	373.163	-363.897	406.962

EK Çizelge 2. $G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$ / EZ yük birleşimi altında eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması (kN-m)

DTS	Yük Birleşimi	GA		YADAA	
		Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$	-425.151	487.948	-337.72	578.308
	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3EZ$	-319.283	528.848	-399.652	439.834
1	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$	-388.728	466.174	-402.311	499.973
	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3EZ$	-376.812	451.859	-363.23	418.061
2a	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$	-395.81	457.263	-409.393	491.062
	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3EZ$	-389.657	453.824	-376.075	420.025
2	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$	-364.485	438.545	-378.067	472.344
	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3EZ$	-358.332	435.106	-344.75	401.307
3a	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$	-368.624	427.739	-382.206	461.538
	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3EZ$	-368.267	435.251	-354.685	401.452
3	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$	-341.633	411.621	-355.215	445.42
	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3EZ$	-341.276	419.133	-327.694	385.334
4a	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$	-334.618	395.365	-348.201	429.163
	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3EZ$	-339.576	412.89	-325.993	379.091
4	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)$	-314.661	383.45	-328.243	417.249
	$G+Q+0.2S+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3EZ$	-319.619	400.976	-306.036	367.177

EK Çizelge 3. 0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0.3SPEC(Z) / EZ yük birleşimi altında eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması (kN-m)

DTS	Yük Birleşimi	GA		YADAA	
		Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0. 3SPEC(Z)	-490.131	430.942	-378.836	505.435
	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)-0.3EZ	-391.287	288.622	-300.892	349.638
1	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0. 3SPEC(Z)	-413.555	403.903	-425.779	434.322
	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)-0.3EZ	-314.711	261.584	-252.165	292.003
2a	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0. 3SPEC(Z)	-444.052	398.11	-456.277	428.529
	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)-0.3EZ	-367.544	287.952	-379.769	318.371
2	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0. 3SPEC(Z)	-378.152	374.843	-390.377	405.262
	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)-0.3EZ	-301.644	264.685	-313.869	295.104
3a	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0. 3SPEC(Z)	-402.67	366.786	-414.894	397.205
	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)-0.3EZ	-348.733	289.125	-360.957	319.543
3	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0. 3SPEC(Z)	-345.836	346.719	-358.061	377.138
	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)-0.3EZ	-291.899	269.057	-304.123	299.476
4a	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0. 3SPEC(Z)	-345.554	331.543	-357.778	361.962
	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)-0.3EZ	-312.111	283.393	-324.335	313.812
4	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)+0. 3SPEC(Z)	-303.457	316.636	-315.682	347.055
	0.9G+SPEC (X)+0.3SPEC(Y)-0.3EZ	-270.014	268.486	-282.239	298.905

EK Çizelge 4. 0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z) / EZ yük birleşimi altında eğilme momenti değerlerinin karşılaştırılması (kN-m)

DTS	Yük Birleşimi	GA		YADAA	
		Mesnet	Açıklık	Mesnet	Açıklık
1a	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)	-369.669	415.148	-292.327	492.423
	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)-0.3EZ	-270.825	272.829	-214.382	336.626
1	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)	-333.247	393.374	-345.471	423.793
	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)-0.3EZ	-234.403	251.055	-246.627	281.474
2a	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)	-340.328	384.463	-352.553	414.882
	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)-0.3EZ	-263.82	274.305	-276.044	304.724
2	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)	-309.003	365.745	-321.227	396.164
	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)-0.3EZ	-232.495	255.587	-244.719	286.006
3a	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)	-313.142	354.939	-325.366	385.358
	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)-0.3EZ	-259.205	277.277	-271.429	307.696
3	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)	-286.151	338.821	-298.375	369.24
	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)-0.3EZ	-232.214	261.159	-244.438	291.578
4a	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)	-279.136	322.564	-291.361	352.983
	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)-0.3EZ	-245.693	274.414	-257.918	304.833
4	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)+0.3SPEC(Z)	-259.179	310.65	-271.403	341.069
	0.9G+SPEC (Y)+0.3SPEC(X)-0.3EZ	-225.736	262.5	-237.96	292.919