T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPI SİSTEMLERİNİN SİSMİK TASARIMI İÇİN AÇIK KAYNAKLI BİLGİSAYAR PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ

ENES BULUT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2020

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPI SİSTEMLERİNİN SİSMİK TASARIMI İÇİN AÇIK KAYNAKLI BİLGİSAYAR PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ

ENES BULUT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE
2020

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEVELOPMENT OF OPEN SOURCE COMPUTER PROGRAM FOR SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BUILDING SYSTEMS

ENES BULUT

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF CİVİL ENGINEERING

EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAMME

THESIS SUPERVISOR

ASSIST. PROF. DR. AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE

2020

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 29/01/2020 tarih ve 2020/07 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 11/08/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Enes BULUT'un tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi A. Anıl DİNDAR

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Onur ŞEKER

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜLLÜ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..…/……/…… tarih ve ……/…..... sayılı kararı.

ÖZET

Günümüzde bilgisayar yazılımları ile yapı sistemlerinin, doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri yapılabilmekte olup, yapısal tasarımlar da bu analiz sonuçlarına göre gerçekleştirilmektedir. Günümüzde, gelişmiş yazılımlar sayesinde betonarme yapılarda tasarımdan elde edilen donatı detay çizimleri dahil bir çok iş kısa zamanda sonlandırılabilmektedir. Bu tür paket programlar ticari kaygılar sebebiyle oluşan yüksek fiyatları ve gereken donanım maliyetleri nedeniyle akademik araştırmalarda sorun oluşturmaktadır. Bu çalışmadan ticari bir program olan SAP2000 yazılımında modellenen bir yapının, Python yazılım dili kullanılarak OPENSEES yazılımında analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için SAP2000 yazılımının görsel arayüzü kullanılarak modellenen yapının ASCII formatlı matematiksel modellenmesi Python kodu ile okunup, OPENSEES açık kaynaklı yapı analiz yazılımı tarafından okunabilir bir formata çevrilecektir. Burada bir yapı modelinin iki ayrı program için giriş bilgisi oluşturulması hali fazladan bir çalışma gibi görülse de aslında akademilerde geliştirilen açık kaynaklı yapısal analiz ve tasarım programlarının en önemli aksaklığı olan kullanıcı ara yüzü ihtiyacının kısmen karşılanması stratejisi izlenmektedir. Bu strateji sayesinde araştırmacılar için araştırma konusu olan yapı modellerinin hızlı ve hatasız oluşturulması böylece değerli olan zamanın en etkin biçimde kullanılması hedeflenmektedir. Hedeflenen çalışma yöntemi kullanılarak 2019'da yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinde yer alan deprem yükleri hesaplanacak ve tasarım yöntemleri irdelenecektir. Bu amaçla TBDY-2018 Bölüm 17'de belirtilen kapsamda analiz ve tasarım süreçleri irdelenerek, yönetmeliğin yeterliliği üzerine bir irdeleme gerçekleştirilecektir. Elde edilecek program sayesinde, akademik alanda yapılacak araştırma çalışmaları için donanım ve yazılım açısından daha düşük maliyetli bilgisayarlar ile sonuçlar elde edilecektir ve geliştirilecek olan algoritmaların açık kaynaklı olması düşünülmekte olup GTÜ-İnşaat Mühendisliği lisansüstü programlarındaki sayısal analiz çalışmalarında kullanılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Python, SAP2000, Opensees, Yapısal Analiz.

SUMMARY

Nowadays, linear and nonlinear analysis can be done by computer software programs and structural designs are made according to the results of this analysis. In this way many works including detail drawings can be ended in a short time. These software programs is a important problem due to their high prices and hardware costs. In this study, it is aimed to obtain the results of a model that created in SAP2000 software by using Python software language in OPENSEES software. The ASCII format mathematical modeling of the structure modeled using the visual interface of the SAP2000 software will be read with the code Python and converted into a readable format by OPENSEES open source structure analysis software. Although the introduction of a structure model for two separate programs is seen as an additional study, the strategy of partially satisfying the need of the user interface, which is the most important failure of open source structural analysis and design programs developed in academies, is followed. Thanks to this strategy, it is aimed to create the models that are the subject of research for the researchers in a fast and error-free manner and to use the time which is valuable in the most effective manner. With the help of the program to be obtained, results will be obtained with lower cost computers in terms of hardware and software for the research studies to be carried out in the academic field and the algorithms to be developed are thought to be open source and will be used in numerical analysis studies in GTÜ-Civil Engineering graduate programs.

Key Words: Python, SAP2000, Opensees, Structural Analysis.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR'a ve göstermiş olduğu desteklerinden dolayı sevgili eşim Gizem ÖZCAN BULUT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Hedefler	3
1.2. Kapsam	3
1.3. Çalışmanın İçeriği	5
2. TÜRKİYE'DE DEPREM YÖNETMELİKLERİ	6
2.1. Ülkemizde Deprem Yönetmelikleri Tarihi	6
2.2. Günümüzde Kullanılan Deprem Yönetmeliği	12
3. YÖNTEM	16
3.1. TBDY-2018 Bölüm 17	16
3.2. Geliştirilen Analiz ve Tasarım Aracı	21
3.2.1. Python	22
3.2.2. Design Safe	23
3.2.3. Jupyter	24
3.2.4. Opensees ve OpenseesPy	24
3.2.5. SAP2000	25
3.2.6. eb_Maincode ve eb_analysis_engine Yazılımları	26
3.2.6.1. SAP2000 modelinin oluşturulması ve .$2k dosyası	26
3.2.6.2. .$2k dosyasının okunması	27
3.2.6.3. Çıktıların alınması	42
3.2.6.4. Programın kontrolü ve SAP2000 karşılaştırması	46
4. SAYISAL ÖRNEKLER	52
4.1. Yapı Grupları	52
4.2. Analiz Sonuçları	71

5. SONUÇLAR 76
5.1. Değerlendirme 76
5.2. İleride Yapılacaklar 77

KAYNAKLAR 78
ÖZGEÇMİŞ 79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar	**Açıklamalar**
A_{ci}	: Gözönüne alınan kolonun enkesit alanı
A_{sh}	: Kolon orta bölgesinde s enine donatı aralığına karşı gelen yükseklik boyunca, tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin gözönüne alınan kolon enkesit genişliğine (b) dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamı
A_w	: Kolon enkesiti etkin gövde alanı (depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç)
b	: Kolon veya perdenin göz önüne alınan doğrultu için enkesit genişliği
b_w	: Kiriş gövde genişliği veya perde gövde kalınlığı
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
d	: Kiriş, kolon veya perde enkesitinde basınç etkisi altındaki beton yüzeyinden çekme etkisi altındaki eğilme donatısının merkezine olan uzaklık
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
E	: Deprem yükü etkisi
E_d	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	: Düşey doğrultuda tasarıma esas deprem etkisi
G	: Sabit yük etkisi
g	: Göze alınan düşey taşıyıcı elemanın alan payına her bir katta etki eden veya kat geneline etki eden yük katsayılarıyla büyütülmemiş ortalama yayılı sabit yük [kN/m^2]
H	: Yatay zemin itkisi

h_i	: Binanın i'nci katının (i'nci kat döşemesi altındaki katın) kat yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
M	: Moment [kNm]
Q	: Hareketli yük etkisi
q	: Göze alınan düşey taşıyıcı elemanın alan payına her bir katta etki eden veya kat geneline etki eden yük katsayılarıyla büyütülmemiş ortalama yayılı hareketli yük [kN/m^2]
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
s	: Kolon veya kiriş orta bölgesinde enine donatı ve çiroz aralığı
P	: Taşıyıcı elemandaki eksenel kuvvet değeri [kN]
λ	: Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
κ	: İzin verilen göreli kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
ρ_{sh}	: Kolon orta bölgesinde enine donatı oranı
ρ_t	: Kolon toplam boyuna donatı oranı
ρ_w	: Kiriş orta bölgesinde enine donatı oranı
$\sum A_{0i}$	: Gözönüne alınan kolon için tüm katlar boyunca biriken alan paylarının toplamı
$\delta_{i,max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri [m]
TBDY	: Türk Bina Deprem Yönetmeliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:	Sayfa
2.1: Türkiye Deprem Yönetmelikleri (1940-1963).	10
2.2: Türkiye Deprem Yönetmelikleri (1968-2019).	11
3.1: İş akış şeması.	22
3.2: Python genel görünüm.	23
3.3: Design Safe genel görünüm.	23
3.4: Jupyter genel görünüm.	24
3.5: Opensees kullanıcı arayüzü.	25
3.6: OpeenseesPy Python arayüzü.	25
3.7: SAP2000 kullanıcı arayüzü.	26
3.8: .$2k Text dosyası.	27
3.9: eb_MainCode .$2k dosyalarının okunması.	27
3.10: S_s ve S_1 değerlerinin programa girilmesi.	28
3.11: Zemin sınıfın programa girilmesi.	28
3.12: Yapı ile ilgili temel verilerin okunması.	29
3.13: Noktasal yüklerin okunması.	29
3.14: Yayılı yüklerin okunması.	30
3.15: Yayılı yük için örnek DataFrame.	30
3.16: Elastisite Modülü değerinin okunması.	30
3.17: Düğüm noktalarının koordinatlarının okunması.	31
3.18: Düğüm noktalarının koordinatlarına ait DataFrame.	31
3.19: Çerçeve elemanların belirlenmesi ve düğüm noktalarının okunması.	31
3.20: Mesnet koşullarının okunması.	32
3.21: Eleman boyutlarının okunması.	32
3.22: Elemanların kesit özelliklerinin okunması.	32
3.23: Malzeme özelliklerinin okunması.	33
3.24: OpenseesPy modülünün import edilmesi.	33
3.25: Düğüm noktaları ve mesnet koşullarının tanımlanması.	33
3.26: Kolon ve kiriş elemanların tanımlanması.	34
3.27: “lenght” fonksiyonu.	34
3.28: Mass ataması ve kütlenin elde edilmesi.	35

3.29: mass komutunun tanımlanması. 35
3.30: Diyafram atanması. 35
3.31: Yüklerin atanması ve analiz. 36
3.32: Period, iç kuvvetler ve kat deplasman bilgilerinin okunması. 36
3.33: λ (YY) değerinin hesaplanması. 37
3.34: Taban kesme kuvvetinin hesaplanması. 37
3.35: G+Q yüklemesi iç kuvvetlerin hesaplanması. 38
3.36: Yük kombinasyonlarının irdelenmesi. 38
3.37: Kolonlara etki eden maksimum P kuvvetinin bulunması. 38
3.38: Kolonlara etkiye maksimum M kuvvetinin bulunması. 39
3.39: Kirişlere etkiyen maksimum M kuvvetinin bulunması. 39
3.40: Göreli kat ötelemesinin kontrolü. 40
3.41: Kiriş donatısının belirlenmesi. 40
3.42: Kolon eksenel basınç kuvvetinin kontrolü. 41
3.43: Dengeli durumda basınç kuvveti ve eğilme momenti kontrolü 1. 41
3.44: Dengeli durumda basınç kuvveti ve eğilme momenti kontrolü 2. 42
3.45: Güçlü kolon zayıf kiriş kontrolü. 42
3.46: Çıktı text dosyası 1. 43
3.47: Çıktı text dosyası 2. 44
3.48: Çıktı text dosyası 3. 45
3.49: Çıktı ekranı 1. 46
3.50: Çıktı ekranı 2. 46
3.51: SAP2000 ve program Mass atamaları karşılaştırması. 47
3.52: SAP2000 periyotları. 47
3.53: Program periyotları. 48
3.54: SAP2000 ve program periyotları karşılaştırmaları. 48
3.55: 333 (2).$2k modeli. 48
3.56: 333 (2).$2k modeli Dead Load yüklemesi. 49
3.57: Program iç kuvvet sonuçları. 49
3.58: SAP2000 iç kuvvet sonuçları. 50
3.59: Program bina periyodu. 50
3.60: SAP2000 periyot görüntüsü. 51
4.1: DD-2 Gebze bölgesi için S_s ve S_1 katsayıları. 52
4.2: DD-3 Gebze bölgesi için S_s ve S_1 katsayıları. 53

4.3: DD-2 Konya bölgesi için S_s ve S_1 katsayıları. 53
4.4: DD-3 Konya bölgesi için S_s ve S_1 katsayıları. 53
4.5: Program tarafından hesaplanan S_{DS} değeri. 54
4.6: AFAD uygulaması S_{DS} değeri. 54
4.7: out_file_analyser programı görünümü. 71
4.8: 339(9).$2k modeli için Gebze ve Konya göreli kat ötelemesi değerleri. 72
4.9: 3759(3).$2k modeli için Gebze ve Konya göreli kat ötelemesi değerleri. 73
4.10: 437(9).$2k modeli için Gebze ve Konya göreli kat ötelemesi değerleri. 73
4.11: 4757(3).$2k modeli için Gebze ve Konya göreli kat ötelemesi değerleri. 74
4.12: Farklı kiriş açıklıklarında göreli kat ötelemesi durumu. 75

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:	**Sayfa**
4.1: Kat yüksekliği 3 metre ve kiriş açıklığı 3 metre olan yapılar.	55
4.2: Kat yüksekliği 3 metre ve kiriş açıklığı 4,5 metre olan yapılar.	58
4.3: Kat yüksekliği 3 metre ve kiriş açıklığı 6 metre olan yapılar.	60
4.4: Kat yüksekliği 3 metre ve kiriş açıklığı 7,5 metre olan yapılar.	62
4.5: Kat yüksekliği 4 metre ve kiriş açıklığı 3 metre olan yapılar.	63
4.6: Kat yüksekliği 4 metre ve kiriş açıklığı 4,5 metre olan yapılar.	66
4.7: Kat yüksekliği 4 metre ve kiriş açıklığı 6 metre olan yapılar.	68
4.8: Kat yüksekliği 4 metre ve kiriş açıklığı 7,5 metre olan yapılar.	69

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun asırlardır üzerinde yaşadığı ve içinde barındığı binalar yaptığı yerkabuğunda meydana gelen ani hareketler, çok büyük felaketlere, can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Deprem, yer sarsıntısı veya zelzele olarak adlandırdığımız bu hareketler, yer kabuğunda beklenmedik bir anda ortaya çıkan enerji sonucunda meydana gelen sismik dalgalanmalar ve bu dalgaların yeryüzünü sarsması olayıdır. Türkiye coğrafyası da asırlar boyunca meydana gelen büyük deprem hareketlerine maruz kalmış ve bu deprem hareketleri çok büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur.

Türkiye coğrafyası depremler açısından dünyanın en aktif coğrafyaları arasında yer almaktadır. Ülkemizde ilkçağlardan günümüze kadar depremler nedeniyle büyük felaketlerin yaşandığı batık şehirler gibi tarihi kalıntılardan ve yazıtlardan da anlaşılmaktadır. Ülkemizde son 80 yılda meydana gelen depremlerde yaklaşık 60.000 kişi hayatını kaybetmiş, 130.000 kişi yaralanmış ve 415.000 bina yıkılmıştır. Rakamlardan da görüleceği üzere depremler ciddi zararlara yol açmıştır ve her an daha ciddi zararlar ve kayıplarla yüzleşmemize sebep olacaktır. Bu nedenle mevcut yapı stoğu bir an evvel dönüştürülmeli ve yeni yapılacak binalarla ilgili olarak zemin seçimi ve yapısal uygulamalar yönetmelikler çerçevesinde titizlikle inşa edilmedir.

Dünyada yapısal hareketlilik, çeşitlilik ve bina yapma ihtiyacı insanoğlunun gelişimi, çoğalması ile ve bilimin de bu gelişime ışık tutmasıyla günümüze kadar artarak gelmiştir. Bu bağlamda günümüze kadar geldiğimizde, insanoğlu yapılacak binalarla ilgili bir takım kurallar ve kabuller edinmiş ve bunları yönetmelikler şeklinde bir araya getirmiştir.

Gelişen teknoloji ve bilimsel araştırmalar ışığında yönetmelikler de sürekli olarak gelişim göstermektedir. Ülkemizde toplam 10 adet deprem yönetmeliği yürülüğe girmiştir [1].

- 1940 - Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi
- 1944 - Zelzele Mıntıkaları Muvakkat Yapı Talimatnamesi
- 1949 - Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği
- 1953 - Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1962 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

- 1968 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1975 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 63 sayfa
- 1998 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 90 sayfa
- 2007 - Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 176 sayfa
- 2019 - Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 416 sayfa

1949 Deprem Yönetmeliğine kadar yürürlüğe giren deprem yönetmeliklerinde betonarme binalardan henüz tam olarak söz edilmemiştir. Betonarme binaların yaygın olarak kullanılmamasından dolayı bu yönetmeliklerde deprem hesabı ile ilgili çalışmalar bulunmamaktadır. İlk deprem hesabı çok basitte olsa 1949 Deprem Yönetmeliğinde mevcuttur. Daha sonraki yönetmeliklerde deprem hesapları gittikçe ayrıntı kazanmıştır. İlk olarak 1940 yılında İtalyan Yapı Yönetmeliği örnek alınmış olup devamında 1945 yılında bölgesel deprem haritaları oluşturulmuştur. Devam eden süreçte 1975 yılında spektra kavramı yönetmeliğe eklenmiştir. 1998 yılında ise mod süperpozisyon ve kuvvetli kolon zayıf kiriş kavramları yönetmeliğe dahil olmuştur. 2007 yılında yayınlanan yönetmelikte ise aslında 1998 deprem yönetmeliği üzerinden çok kapsamlı bir değişiklik yapılmadan, 1998 deprem yönetmeliği revize edilerek 2007 deprem yönetmeliği yürürlüğü girmiştir. Son olarak 2019 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinde ise tamamen yeni kavramlar ve bölümler yönetmeliğe dahil olmuştur. TBDY-2018 kapsamında;

- Yeni yapılacak binaların tasarımı
- Mevcut binaların değerlendirilmesi
- Mevcut binaların güçlendirme tasarımı

konuları başlıca olarak ele alınmıştır.

TBDY-2018'de yeni noktasal spektra kavramı, zaman-tanım alanında modal analiz, performans esaslı tasarım kavramları yönetmeliğe dahil edilmiştir.

Ülkemizde 1940'lardan 1999 Gölcük Depremine kadar geçilen süreçte çok hızlı bir şekilde nüfus ve yapı stoğu artışı gerçekleşmiştir fakat bu yapı stoğu niteklikli olarak artmamıştır. Günümüzde 6.7 milyon yapı stoğunun sağlıksız olduğu

bilinmektedir. Kentsel dönüşüm çalışmalarıyla yılda 300.000 konutun dönüştürülmesi planlanmaktadır.

Devam eden yapı-inşaat imalatları esnasında yapılan bütün imalatların, yürürlükte olan mevcut yönetmeliğe göre tasarlanması ve yerinde uygulanması ve uygulamanın da kontrol edilmesi, meydana gelecek depremlere karşı alınacak en önemli tedbirdir. Fakat günümüzde dahi gayriresmi veya kontrol edilemeyen yapı stoğu imalatı maalesef devam etmektedir. Bununla birlikte meydana gelecek afetler sonrasında hızlı imalat yapılabilmesini de sağlamak amacıyla Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde Bölüm 17'de Düzenli Yerinde Dökme Betonarme Binalar İçin Basitleştirilmiş Tasarım Kuralları adı altında yeni bir bölüm oluşturulmuştur.

Tez çalışması kapsamında TBDY-2018 Bölüm 17'nin irdelenmesi için bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım sayesinde, TBDY-2018 Bölüm 17 kapsamında belirtilen yapılarla ilgili olarak hızlıca irdeleme yapılmıştır.

1.1. Amaç ve Hedefler

Çalışmada Gebze Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı çatısı altında oluşturulan çalışma grubu ile paralel olarak çalışılmıştır. Araştırma grubunun hedefi üniversitede parametrik çalışmaların yapılabilmesi adına açık kaynak kodlu yazılımları geliştirmektir. Bu yazılımların geliştirilmesiyle beraber hedeflenen nokta ise ülkemizdeki yönetmelik ve ihtiyaç duyulan yönetmelik uygulamalarının oluşturulmasıdır.

1.2. Kapsam

Çalışma kapsamında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 17'de belirlenen sınırlar doğrultusunda 336 adet yapı modeli türetilmiştir. TBDY-2018 Bölüm 17'de tanımlandığı şekilde DTS = 1,2 için BYS $\geq$ 5 olacak şekilde, bodrumsuz ve Bina Kullanım Sınıfı'nın BKS=3 olarak tanımlandığı konut türü binalar seçilmiştir. Dolayısıyla Bina Önem Katsayısı I = 1 olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda seçilen bölgeler, DTS=1 için DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı $S_{DS} \geq 0.75$ olacak şekilde belirlenmiştir. Bina

yükseklik sınıfı BYS ≥ 5 olarak belirtildiği için maksimum bina yüksekliği 28 metre olarak belirlenmiştir [2]. TBDY-2018 Bölüm 17'ye göre;

- En büyük kat yüksekliği ≤ 4 metre ve katlar arası yükseklik farkı ≤ %20 × en büyük kat,
- En büyük açıklık 7,5 metre, en küçük açıklık 3 metre,
- Plandaki en büyük boyut 30 metre,
- Plandaki en büyük boyutun, en küçük boyutun 4 katından fazla olmayan binalar,
- Dikdörtgene yakın plana sahip binalar,
- Her iki yönde en az 2 açıklık,
- A2 (Döşeme Süreksizlikleri), A3 (Planda Çıkıntılar Bulunmaması), B1 (Komşu Katlar Arasında Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)), B3 (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Düzensizliği) bulunmamalıdır,
- Aynı doğrultudaki komşu açıklıklar arasındaki en büyük fark, uzun açıklığın %20'sinden az olmalı
- En az C25 sınıfı beton, S420 veya B420C sınıfı donatı (Kullanılabilecek en büyük beton sınıfı C50),
- Çerçeve sistemlerde radye veya sürekli, perdeli sistemlerde radye temel şartları sağlanmıştır. Enkesit ve donatı alt sınırları olarak ise;
- En küçük 300/300 mm kare kolonlar ve 0,01 donatı oranı,
- En küçük 300/500 mm kirişler ve boyuna üst donatı oranı 0,006 ve boyuna alt donatı oranı 0,004,

olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında çubuk elemanlardan oluşan çerçeve modelleri irdelenmiştir. Perde ve döşeme gibi 2 boyutlu yapı elemanları bu çalışmanın kapsamında değildir. Zemin ve yapı etkileşimi bu çalışma içerisinde incelenmemiştir. Yapı sistemlerinin modellenmesinde doğrusal davranışlar dikkate alınmış olup yapılan yüklemeler lineer statik yüklemelerdir. Bundan dolayı doğrusal olmayan davranış ve dinamik hesaplamalar bu çalışmada yer almamaktadır.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu çalışma toplam beş bölümden oluşmaktadır;

- 2. Bölümde Türkiye'de deprem yönetmeliklerin tarihi ve sismik esaslı analiz tarihi,
- 3. bölümde Metadoloji (Yöntem),
- 4. bölümde sayısal örnekler,
- 5. sonuçlar yer almaktadır.

2. TÜRKİYE'DE DEPREM YÖNETMELİKLERİ

Maalesef sıkça duyulan bir söylem vardır, "Deprem öldürmez, bina öldürür". Depremleri önlemek günümüz teknolojisiyle mümkün değildir. Fakat depremlerden dolayı meydana gelen can ve mal kayıplarını en aza indirgemek, yapılan binaların bilim ve teknolojinin ışığında imal edilmesiyle mümkündür. Bu bağlamda dünyada ve ülkemizde özellikle deprem kuşağında yer alan ülkelerde yapılan binaların teknik olarak depreme dayanıklı yapılabilmesi adına ve imalatların standartize edilmesi için, sürekli geliştirilen deprem yönetmelikleri yayınlanmaktadır. Deprem yönetmelikleri deprem kuşağında yer alan ülkelerin bilim adamları tarafından, geçmiş depremler ve bu depremlerde meydana gelen bina hasarları ve tepkileri ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen bir sürü deneyden faydalanılarak oluşturulan depreme dayanıklı yapı inşa etme kurallar kitabıdır.

Dünyada deprem yönetmelikleri genel olarak 1755 Lizbon, 1880 Luzon ve 1908 Messina depremleri sonrasında yeniden yapılanma süreçlerinde ortaya çıkmaya başlamıştır. 1900 yılına kadar hiçbir ülkenin resmi olarak deprem yönetmeliği olmamasına karşın İtalya, Portekiz ve ABD gibi bazı ülkeler tarihi depremlerden etkilenmeleri dolayısıyla depreme dayanıklı yapı tarzına sahiplerdi.

İlk deprem yönetmelikleri, İtalya (1910, 1917), Kosta Rika (1914), Japonya (1923), ABD (1906, 1927) ülkerinde basitçe bir sismik katsayı ve bina yüksekliği sınırları ile belirlenmeştir. Zamanla yatay deprem yükleri, süneklik, kat deplasmanı gibi kavramlar yönetmeliklere girmeye başlamıştır [3].

2.1. Ülkemizde Deprem Yönetmelikleri Tarihi

Dünyayla paralel olarak ülkemizde de deprem yönetmelikleri yayımlanmış ve sürekli olarak güncellenerek geliştirilmiştir.

1940 deprem yönetmeliği yığma yapıların yaygın olduğu dönemde yürürlüğe girmiştir. Genelde mimari konular üzerinde yoğunlaşmıştır. 1. ve 2. Derece deprem bölgelerinden bahsetmekle beraber , hesap olarak kat yüksekliği , duvar kalınlığı, temel durumu gibi yapısal kurallardan bahsedilmektedir.

1944 deprem yönetmeliğinin giriş kısmında ise cezai hükümler ve ruhsat alma işlemleri yer almaktadır. 1940 deprem yönetmeliğinden farklı olarak temel zeminine

vurgu yapılmıştır. Betonarme binalara değinilmiş ancak detay belirtilmemiştir. “En iyi malzeme ve itinali işçilik kullanılcaktır.” İfadesine yer verilmiştir fakat “iyi” kavramı üzerine açıklama yapılmamıştır. Depreme karşı tedbir kapsamında dilatasyon derzleri bırakılması istenilmiştir. Deprem kuvvetleriyle beraber rüzgar yüklemelerinden de bahsedilmiş ve yapı sistemi için en olumsuz yüklemelerin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Ölü yükler için 1.4 katsayısından bahsedilmiştir [4].

1949 deprem yönetmeliğinde daha önceki yönetmeliklerde belirtilen cezai hükümler kaldırılmıştır. 1. ve 2. Derece deprem bölgeleri oluşturulmuştur. İlk defa deprem kuvvetlerinin hesaplanması için denklem verilmiştir.

- $H = C \times (G+nP)$
- H: deprem kuvveti
- C: yatay deprem etkisi katsayısı
- G: yapının ağırlığı
- n: yapının kullanışına göre 1 ile 1/3 arasında bir katsayı
- P: yapıya etki eden hareketli yükler

olarak belirtilmiştir. C katsayısının ise birinci derece deprem bölgelerinde 0.02~0.04, ikinci derece deprem bölgelerinde ise 0.01~0.03 alınacağı belirtilmiştir.

1953 deprem yönetmeliğinde deprem kuvvetlerinin hesabı daha ayrıntılı bir şekilde verilmiş ve tablolar oluşturulmuştur. Zemin konusuna daha fazla önem verilerek, zemin emniyet gerilmesi değerleri de çeşitli sınıf zeminler için belirlenmiştir. Aynı şekilde C katsayısı da daha ayrıntılı belirlenmiş ve n katsayısı için yapı çeşitleri belirtilmiştir.

1962 deprem yönetmeliğinde bir önceki yönetmeliğe göre köklü değişiklikler olmamıştır, deprem kuvvetleri hesabı bir basamak ilerlemiştir. Su baskını ve yangın afetlerinden bahsedilmiştir. Önceki yönetmeliklerden farklı olarak, bu yönetmelikte bir bölüm (beşinci bölüm) deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki hususlara ayrılmıştır. Yapı temellerinden, taşıyıcı döşemelerden, yapıların konsol şeklindeki kısımlarından bahsedilmiştir. Deprem kuvvetlerinin tespit edildiği formül bu yönetmelikte de değişmemiştir fakat C deprem katsayısı için farklı bir formül belirtilmiştir.

- C= C0 × n1 × n2
- C0: bina yüksekliğine bağlı değişken katsayı
- n1: yapı ve zemin cinsine göre değişen katsayı
- n2: deprem bölgesine göre değişen katsayı

1968 deprem yönetmeliğinde artık giderek yaygınlaşan ve önem kazanan betonarme binalarda yapı elemanlarının genel özelliklerinden bahsedilmiş, boyut ve donatı ile ilgili kurallara yer verilmiştir. Kolonlarla ilgili olarak, bodrum katından başlayarak yukarıya doğru, birbirinin üstüne gelecek şekilde düzenlenmeleri ve bütün kolonların, planda mümkün olduğu kadar her iki doğrultuda bir doğru üzerine getirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Kolonların en küçük kenar boyutunun 24 cm'den ve kat yüksekliğinin 1/20'sinden daha küçük olmaması belirtilmiştir. Kirişlerde ise en küçük kiriş kesitinin 25×30 cm ve yüksekliğinin kendine bağlı döşeme kalınlığının 3 katından fazla olması şartı belirtilmiştir. Deprem hesabı daha detaylı hale getirilmiştir.

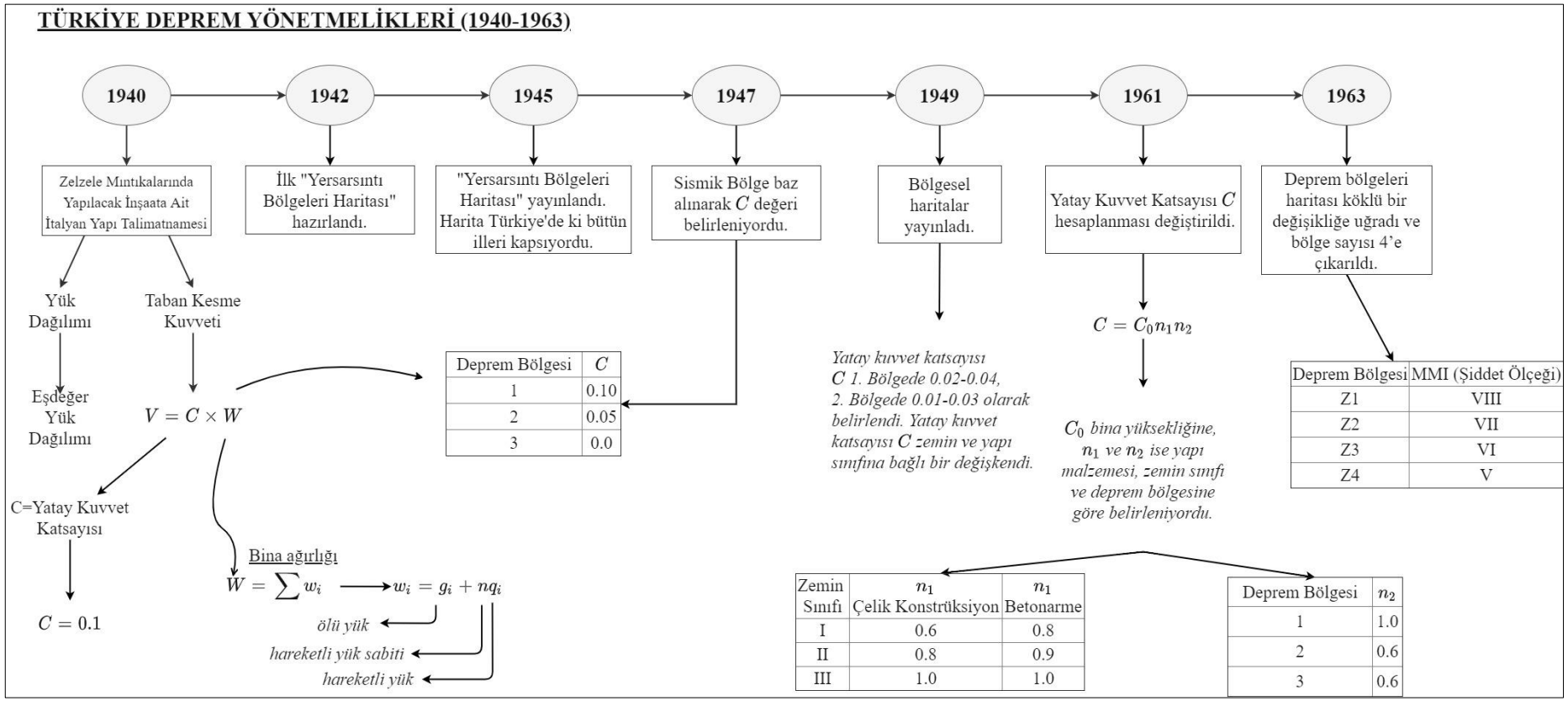
1975 deprem yönetmeliğinde ülke, dört deprem bölgesine ayrılmıştır. Depremlerde hasara neden olan eksiklikler çoğunlukla bu yönetmelikte düzeltilmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerine ve kolonlar ve kirişlerde sarılma bölgelerine önem verilmiştir. Bu yönetmelikte deprem hesabında zeminin etkisi daha ayrıntılı göz önüne alınmıştır. İvme spektrum katsayıları belirlenmiş ve deprem kuvvetleri bulunurken bunlarında dikkate alınması istenmiştir [4].

1998 deprem yönetmeliğinde ise gelişen bilim ve teknoloji ışığında yapılan değişikliklerle, yönetmelik depreme dayanıklı yapı tasarımı için dönemin şartlarına göre eksiksiz duruma getirilmiştir. Hatta diğer gelişmiş ülkelerdeki standart ve yönetmelikler göz önünde bulundurulduğunda oldukça emniyetli bir tasarım yaklaşımı içindedir. Düzensizliklerden bahsedilmiş ve yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin belirlenebilmesi için, etkin yer ivmesi katsayısı, bina önem katsayısı ve spektrum katsayısı tanımlamıştır. Daha sonra hesap yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bunları, eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri olmak üzere üç başlık altında toplamıştır.

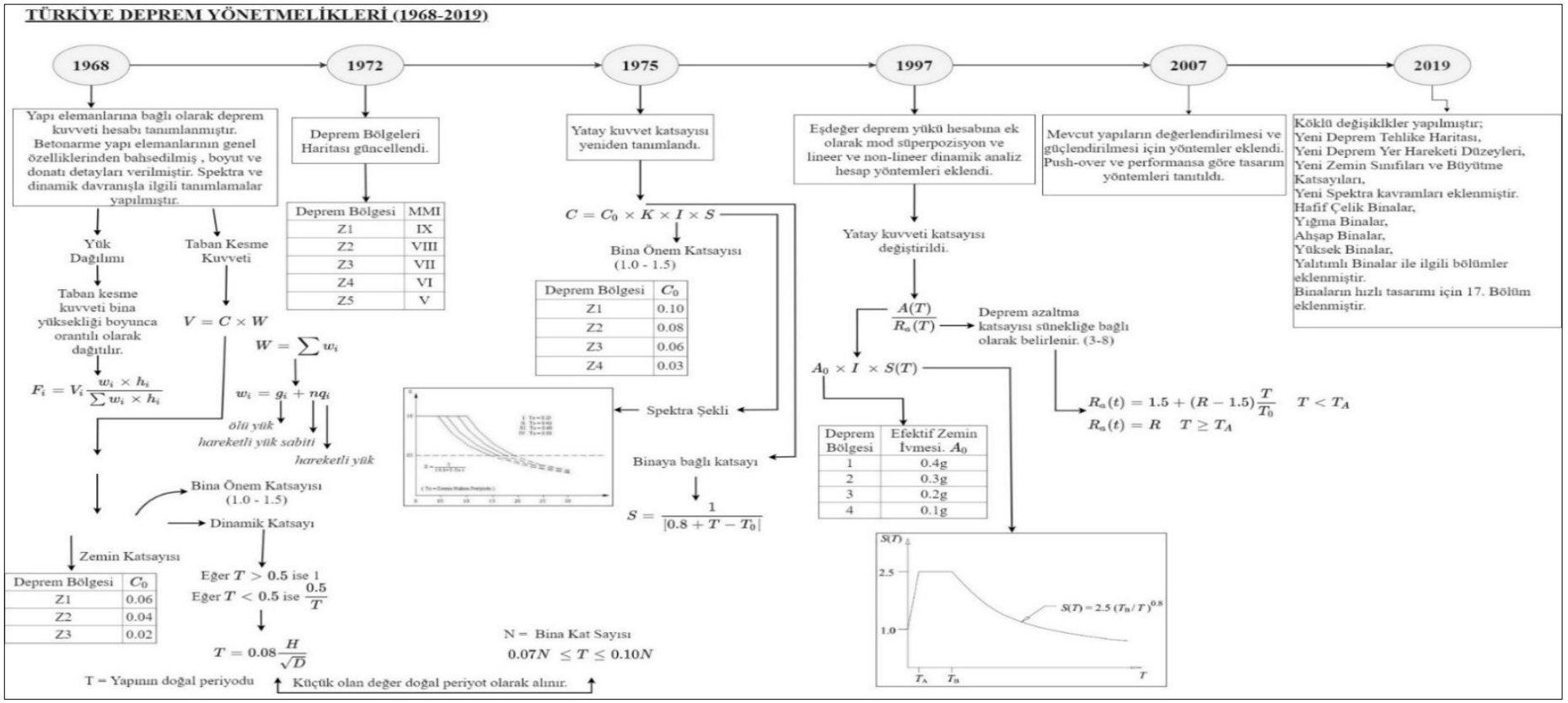
2007 deprem yönetmeliği ise 1998 deprem yönetmeliğinin üzerinde çok kapsamlı değişiklikler yapılmadan revize edilmiş halidir. Özellikle mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili hesap yöntemleri bu yönetmelikle ülkemiz mühendislik dünyasına kazandırılmıştır.

Geniş bir araştırmacı grubu ile uzun yıllar süren çalışmalar sonucunda 18.03.2018 tarihinde yasalaşan ve 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ülkemizde bugüne kadar yayınlanmış en kapsamlı yapım yönetmeliğidir.

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de 1940 yılından günümüze kadar gelinen noktada, yapım yönetmeliklerinde meydana gelen gelişmeleri görebiliriz [5].



Şekil 2.1: Türkiye Deprem Yönetmelikleri (1940-1963).



Şekil 2.2: Türkiye Deprem Yönetmelikleri (1968-2019).

2.2. Günümüzde Kullanılan Deprem Yönetmeliği

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde bir önceki yönetmeliğe göre köklü değişiklikler yapılmış olup yönetmelik kapsam olarak da oldukça genişletilmiştir. 2007 deprem yönetmeliği 176 sayfa iken TBDY-2018 416 sayfa olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı bina tipleri ile ilgili olarak tanımlamalar yapılmıştır.

- Yerinde dökme betonarme binalar
- Ön üretimli betonarme binalar
- Çelik binalar
- Hafif çelik binalar
- Yığma binalar
- Ahşap binalar
- Yüksek binalar
- Yalıtımlı binalar

Yukarıda belirtilen bina tiplerine ait hesap esasları ayrı bölümler halinde TBDY-2018'de yer almaktadır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği toplam 17 bölümden oluşmaktadır.

- Bölüm 1 – Genel Hükümler
- Bölüm 2 – Deprem Yer Hareketi
- Bölüm 3 – Deprem Etkisi Altında Binaların Değerlendirilmesi ve Tasarımı için Genel Esaslar
- Bölüm 4 – Deprem Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Tasarımı için Hesap Esasları
- Bölüm 5 – Deprem Etkisi Altında Binaların Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirilme ve Tasarımı için Hesap Esasları
- Bölüm 6 – Deprem Etkisi Altında Yapısal Olmayan Bina Elemanlarının Tasarım Esasları
- Bölüm 7 – Deprem Etkisi Altında Yerinde Dökme Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar

- Bölüm 8 – Deprem Etkisi Altında Önüretimli Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Bölüm 9 – Deprem Etkisi Altında Çelik Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Bölüm 10 – Deprem Etkisi Altında Hafif Çelik Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Bölüm 11 – Deprem Etkisi Altında Yığma Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Bölüm 12 – Deprem Etkisi Altında Ahşap Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Bölüm 13 – Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Bölüm 14 – Deprem Etkisi Altında Yalıtımlı Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Bölüm 15 – Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerinin Değerlendirilmesi Ve Güçlendirme Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Bölüm 16 – Deprem Etkisi Altında Temel Zemini Ve Temellerin Tasarımı İçin Özel Kurallar
- Bölüm 17 – Düzenli Yerinde Dökme Betonarme Binalar İçin Basitleştirilmiş Tasarım Kuralları

Yukarıda belirtilen bölümlerden Bölüm 5, 6, 10, 12, 13, 14 ve 17 yönetmeliğe yeni dahil olan bölümlerdir. Bunların dışında Bölüm 2, 3 ve 16 daha önceki yönetmelikte bulunmasına karşın bu bölümlerde TBDY-2018'de çok kapsamlı revizyonlar yapılmıştır.

TBDY-2018'de yapılan başlıca değişikliklere gelirsek "Özel Konularda Tasarım Gözetimi ve Kontrolü" adı altında yeni bir sistem getirilmiştir [6].

- Sahaya özel deprem tehlikesi analizleri,
- Zaman tanım alanında deprem yer hareketlerinin tanımlanması,
- Sahaya özel zemin davranışı analizleri,
- Çok modlu itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile deprem hesabı,

- Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin deprem hesabı ve tasarımı,
- Yalıtımlı bina taşıyıcı sistemlerinin deprem hesabı ve tasarımı,
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan yapı-kazık-zemin etkileşimi hesapları yapılırken Özel Konularda Tasarım Gözetimi ve Kontrolü hizmeti uygulanmak zorundadır.

Deprem Yer Hareketi bölümünde ise;

- Yeni Türkiye Deprem Tehlike Haritası (https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari),
- Yeni deprem yer hareketi düzeyleri,
- Yeni zemin sınıfları ve büyütme faktörleri,
- Düşey elastik tasarım spektrumu tanımları karşımıza çıkmaktadır.

Binaların değerlendirilmesi ve tasarımı için belirlenen genel esaslar üzerinde de yeni tanımlamalar yapılmıştır. Bu bağlamda yeni deprem sınıfları ve bina yükseklik sınıfları belirtilmiştir. Tasarım yöntemleri olarak yeni yapılacak binalar için şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımı ve yeni yapılacak binalar için performans hedefleri kavramları karşımıza çıkmaktadır. Binaların dayanıma göre tasarımı için hesap esasları konusunda ise dayanım fazlalığı katsayı (D) kavramı ve çeşitli bina türlerine göre tasarlanmış geniş kapsamlı taşıyıcı sistem katsayısı (R) tablosu oluşturulmuştur.

Yeni yapılacak binalarda şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemlerinin ise;

- Yüksek binalarda (BYS = 1),
- Deprem yalıtımlı binalarda ve
- Deprem tehlikesi yüksek önemli binalarda (I = 1, 5 , BYS = 2, 3) kullanılması mecburi tutulmuştur.

Temel zemini ve temellerin tasarımının yer aldığı 16. Bölümde 4 yeni ek bulunmaktadır. Bu ekler detaylı olarak;

- Zemin araştırmaları için genel kurallar,
- Basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi,
- Deprem etkisi altında yapı-kazık-zemin etkileşimi ve
- Arazi zemin özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi şeklinde yönetmelikte yer almaktadır.

Bu çalışmada incelenen 17. Bölümde ise "Düzenli Yerinde Dökme Binalar için Basitleştirilmiş Tasarım Kuralları" başlığı altında geometrisi düzenli olan ve belirlenen sınırlar içerinde kalan binalar için basit hesap kuralları yer almaktadır. 17. Bölüm kendi içerisinde 9 alt bölümden oluşmaktadır;

- 17.1. Kapsam
- 17.2. Genel Kurallar
- 17.3. Düşey taşıyıcı elemanların boyutlandırılması
- 17.4. Enkesit ve donatı alt sınırları
- 17.5. Basitleştirilmiş yapısal çözümleme
- 17.6. Tasarıma esas iç kuvvetler
- 17.7. Basitleştirilmiş kesit taşıma gücü kuralları
- 17.8. Dikdörtgen enkesite sahip olmayan perdeler
- 17.9. Döşemelerden perdelere deprem yükü aktarımı

Çalışma kapsamında, belirli kısıtlamalar dahilindeki ve çok kapsamlı olmayan binalar için daha hızlı hesap yöntemi sunan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 17 irdelenmiştir.

3. YÖNTEM

Çalışma kapsamında Bölüm 1.1.'de belirtildiği gibi yeni bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiş olup, geliştirilen bu aracın Türkiye'de yürürlükte olan ve yürürlüğe girecek yönetmelikleri irdelemek ve geliştirmek amacıyla kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda henüz ilk gelişim evresinde olan yazılım için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 17. Bölüm irdeleme alanı olarak seçilmiştir.

Yapıların analiz ve tasarım aşamalarında parametrik çalışmaların hızlıca yapılması ve ücretli/pahalı bilgisayar donanım ve yazılımı gerektirmemesi adına yeni bir araç geliştirilmiştir. Geliştirilen araç sayesinde yüzlerce modelin analiz ve irdelemesi kısa sürede ve tamamen internet tarayıcı ortamında gerçekleştirilmiştir.

3.1. TBDY-2018 Bölüm 17

Bu bölümde tanımlanan ve Bölüm 1.2.'de de belirtilen sınırlamalar doğrultusunda tasarlanan yapılara ait basitleştirilmiş hesaplar (yapısal çözümleme) ve tasarım kuralları yapı sahibi ve projeden sorumlu mühendisin tercihine bağlı olarak kullanılabilir.

Genel olarak TBDY-2018 Bölüm 17'nin kapsamına bakarsak, bodrum katı üç veya dört taraftan rijit bodrum perdeleri ile çevrili bodrumlu binalarda ve bina tabanı'nın bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanması, bodrumsuz binalarda veya bodrum katı iki taraftan rijit bodrum perdeleri ile çevrili bodrumlu binalar'da ise bina tabanı'nın temel üst kotunda tanımlanması suretiyle, DTS=1, 2 için BYS ≥ 5 ve DTS=3, 4 için BYS ≥ 6 olacak şekilde, bodrumsuz veya bir bodrum kata sahip yerinde dökme betonarme binalardan ve aşağıda belirtilen koşulları sağlayan binaların yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında, bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte kullanılabilen basitleştirilmiş hesaplar içermektedir.

Bu bölümde tanımlanmış olan tasarım kurallarının uygulama sınırları aşağıda tanımlanmıştır:

- Bu bölümün kapsamı içindeki betonarme binaların yatay yük taşıyıcı sistemi, sadece süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden veya süneklik düzeyi yüksek

boşluksuz perdeler ile süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin birlikte kullanımından oluşacaktır.

- Bu bölümde tanımlanan tasarım kurallarının uygulama kapsamı, deprem etkileri ve düşey yükler altında taşıyıcı sistem elemanlarında (perde, kolon ve kiriş) yeterli moment taşıma gücü ve yeterli kesme dayanımı sağlamak amacı ile taşıyıcı eleman enkesitlerinin boyutlandırılması ve donatılarının belirlenmesi ile sınırlıdır. Bu bölümde tanımlanan tasarım kurallarının kapsamı dışında kalan dayanıma göre tasarım kuralları, detaylandırma kuralları, geometrik kurallar, minimum koşullar ve üst sınır koşulları, TBDY-2018 Bölüm 7 ve yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerde verilen kuralların tümüne tabidir. Ancak, bu bölümdeki tasarım kurallarının uygulandığı binalar için deprem etkileri altında göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve göreli kat öteleme oranlarının sınır değerlerle karşılaştırılması gerekmemektedir.
- Bu bölümde tanımlanan tasarım kurallarının taşıyıcı sistemi yalnızca çerçevelerden oluşan binalar için kullanıldığı durumda, gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarlar veya cephe elemanları ile çerçeve elemanları arasında TBDY-2018 4.9.1.3(b)'ye göre esnek derz veya bağlantılar oluşturulmalıdır.
- Bina dikdörtgene yakın bir kat planına sahip olmalıdır. Kat planında binanın uzun kenarı en fazla 30 m uzunluğunda, uzun kenarın kısa kenara oranı ise en fazla 4 olmalıdır. Bina taşıyıcı sistemi (çerçeve ve perdeler) kat planında birbirine dik doğrultulu (ortogonal) eksenler boyunca oluşturulmalı, taşıyıcı sistem eksenlerinde süreksizlik veya eksen dışına kayma bulunmamalıdır.
- Bina kat planındaki en büyük açıklık 7.5 m, en küçük açıklık ise 3 m olmalıdır. Taşıyıcı sistemin her bir doğrultusunda en az iki açıklık bulunmalıdır. Asansör veya merdiven çevresinde oluşturulabilecek U veya C enkesitli perdelerin serbest uçları arasındaki açıklık hariç olmak üzere, her bir doğrultuda komşu iki açıklık arasındaki fark, iki açıklıktan uzun olanın 1/5'inden fazla olmamalıdır. Binada konsol kirişler varsa, konsol uzunluğu 2 m'den ve komşu açıklığın 1/3'ünden fazla olmamalıdır.
- Binada 4 m'den daha yüksek kat bulunmamalı, katlar arası yükseklik değişimi yüksek olan katın yüksekliğinin 1/5'inden fazla olmamalıdır.
- Binada TBDY-2018 Tablo 3.6'da tanımlanmış olduğu üzere A2 – Döşeme Süreksizlikleri, A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması, B1 – Komşu Katlar Arasında

Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) ve B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği düzensizlikleri bulunmamalıdır.

- Kısmi bodrum katı hariç olmak üzere bütün katlarda her bir deprem doğrultusu için TBDY-2018 17.5.1'e göre hesaplanan binanın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki dış merkezlik, binanın ilgili doğrultuya dik doğrultudaki kat planı uzunluğunun 1/5'inden fazla olmamalıdır. Taşıyıcı sistemde betonarme perdeler kullanıldığı durumda bina planında kat kütle merkezinin her iki tarafında en az bir olmak üzere her bir doğrultuda toplam en az iki dikdörtgen perde veya perde kolu bulunmalıdır.
- Düşey taşıyıcı eleman (kolon, perde) enkesitlerinde bina yüksekliği boyunca küçültme yapılmayacak, binanın farklı katlarında farklı kiriş enkesitleri kullanılmayacak ve herhangi bir yatay taşıyıcı sistem ekseni boyunca kiriş enkesitlerinde değişiklik yapılmayacaktır.
- Binada kirişli plak döşeme sistemi kullanıldığı durumda döşeme kalınlığı en az 150 mm olmalıdır. Dişli veya dolgulu (asmolen) döşeme sistemleri kullanıldığı durumda, plak kalınlığı en az 70 mm olmalı, düşey taşıyıcı elemanlar arasındaki kirişler süneklik düzeyi yüksek çerçeve kirişi olarak boyutlandırılmalı ve donatılmalıdır. Bu tür döşemelerdeki dişler, dikdörtgen perdelere veya perde kollarına kuvvetli doğrultuda saplanan ve deprem yüklerini döşemeden perdelere aktaran çerçeve kirişlerine dik doğrultuda oluşturulmalıdır.
- Bina temeli, taşıyıcı sistemin çerçevelerden oluştuğu durumda radye veya sürekli temel, taşıyıcı sistemin perde ve çerçevelerden oluştuğu durumda ise radye temel olarak oluşturulmalıdır.
- Bu bölümdeki hesap kuralları, yalnızca $G+Q+0.2S\pm E_d$ ve $0.9G\pm E_d$ yük birleşimleri için uygulanmak üzere tanımlanmıştır. Kar yükü S, binanın çatı katına etkiyen hareketli yük değerine ilave edilebilir. Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ hesapta gözetilmeyebilir. Yatay deprem etkilerinde doğrultu birleştirmesi uygulanmayacaktır.
- Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1 ve DTS=2 olan binaların yatay yük taşıyıcı sisteminde süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdelerin kullanımı zorunludur. Bu tür binaların tasarımında, binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün tamamının süneklik düzeyi yüksek perdeler tarafından, %33'ünün ise süneklik düzeyi yüksek çerçeveler tarafından karşılandığı koşulu hesaplarda

gözetilmektedir. Yatay yük taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan binalarda, binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün tümü çerçeveler tarafından karşılanmaktadır.

- İki taraftan rijit bodrum perdeleri ile çevrili bir bodrum katlı binalarda, bina tabanının temel üst kotunda tanımlanması nedeniyle, bodrum kat yapısal çözümlemede zemin kat olarak gözönüne alınacak, bodrum kattaki taşıyıcı sistem elemanlarında deprem etkilerinden dolayı oluşan iç kuvvet değerleri, bir üst kattaki taşıyıcı sistem elemanları için de geçerli olacaktır.
- Üç veya dört taraftan rijit bodrum perdeleri ile çevrili bir bodrum katlı binalarda, bina tabanının bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanması nedeniyle, bodrum katın bir üst katı yapısal çözümlemede zemin kat olarak gözönüne alınacak, zemin kattaki taşıyıcı sistem elemanlarında deprem etkilerinden dolayı oluşan iç kuvvet değerleri, bodrum kattaki taşıyıcı sistem elemanları için de geçerli olacaktır.
- Yatay zemin itkisi etkileri (H), bu bölümde tanımlanmış olan hesap kurallarında gözetilmemiştir. Bu nedenle bodrum katında iki taraftan dengelenmemiş yatay zemin itkilerine maruz binalarda, zemin itkisi etkilerinin temele güvenle aktarıldığı ayrıca gösterilmelidir.
- Bu bölümde tanımlanan kurallar uyarınca tasarımı yapılacak binalarda C25'ten düşük veya C50'den yüksek dayanımlı beton sınıfı ve TBDY-2018 7.2.5.3'te tanımlanan B420C veya S420 sınıfları dışında donatı çeliği kullanılamaz.
- Bu bölümde tanımlanan kurallar uyarınca tasarımı yapılacak binalardaki tüm taşıyıcı elemanlarda boyuna donatının kenetlenme boyu ve bindirme boyu, donatı çapının 50 katından daha az, 90 dereceli kancaların kenetlenme boyu ise donatı çapının 25 katından az olamaz.
- Bu bölümde tanımlanan kurallar uyarınca tasarımı yapılacak binalarda, perde kritik yüksekliği bodrumsuz binalarda temel üstünden itibaren en az bir kat; iki, üç veya dört taraftan bodrum perdeleriyle çevrili bodrumlu binalarda ise temel üstünden itibaren en az iki kat boyunca devam ettirilecektir.
- Bu bölümde tanımlanan hesap ve tasarım kurallarının uygulanacağı binaların TBDY-2018 17.3 ve 17.4'te tanımlanmış olan kuralları sağlaması gereklidir.

Taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan binalarda, düşey taşıyıcı elemanların enkesit alanlarının Denk.(3.1) ve Denk.(3.2)'de verilen denklemlerle belirlenmesinde kullanılacak ortalama yayılı sabit yük ve ortalama yayılı hareketli yük değerlerinin toplamı olan (g+q) değeri 15 kN/m^2'den, (g+0.3q) değeri ise 13 kN/m^2'den az alınmayacaktır. Yayılı sabit yük değerleri, döşeme yükleriyle beraber yatay ve düşey taşıyıcı elemanların (kiriş, kolon, perde) ve taşıyıcı olmayan elemanların (bölme duvar) ağırlığını da içermelidir. Binanın çatı katına etki eden hareketli yük, 0.2 değerindeki yük katsayısıyla azaltılmış kar yükünü de içermelidir.

Kolonlarda oluşan eksenel basınç gerilmelerinin sınırlandırılması için her bir kolonun enkesit alanı A_{ci} , Denk.(3.1)'deki koşulu sağlayacaktır. Denklemdeki g ve q değerleri, göze alınan kolonun alan payına her bir katta etki eden ortalama sabit ve hareketli yayılı yük, $\sum A_{0i}$ değeri ise göze alınan kolon için kolunun taşıdığı tüm katlar boyunca biriken alan paylarının toplamıdır.

$$A_{ci} \geq 0.00014(g+q) \sum A_{0i} \tag{3.1}$$

Kolonların yeterli kesme kuvveti dayanımına sahip olmaları için her bir kolonun enkesit alanı A_{ci} , Denk.(3.2)'deki koşulu sağlamalıdır. Denklemdeki S_{DS} değeri, kısa periyot bölgesi için tanımlanmış olan tasarım spektral ivme katsayısıdır.

$$A_{ci} \geq 0.00022S_{DS}(g+0,3q) \sum A_{0i} \tag{3.2}$$

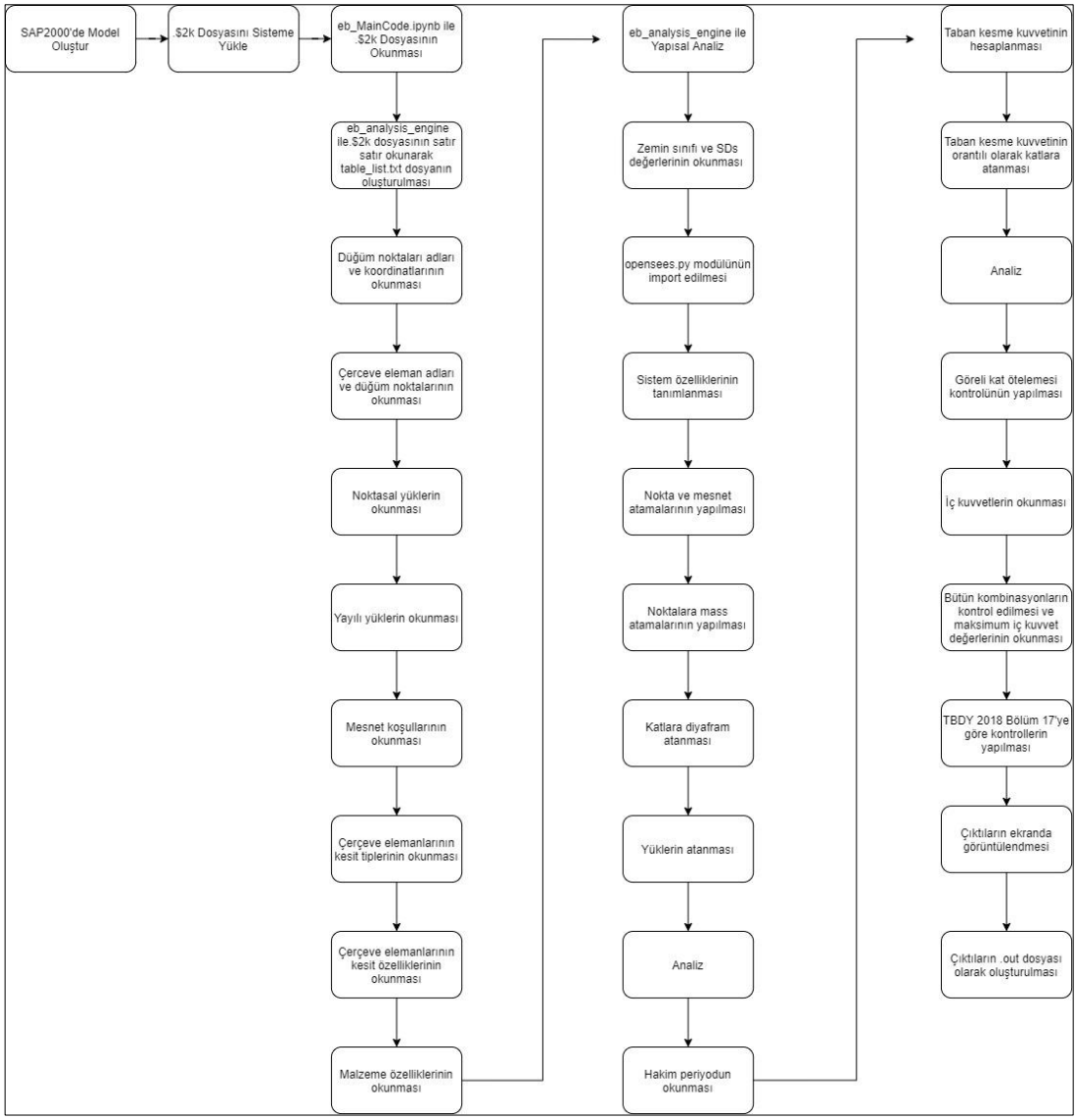
Taşıyıcı sistem elemanları için enkesit alt sınırları ise kolonlarda en küçük kare kolon enkesiti 300 mm×300 mm boyutlarında olacak şekilde ve dikdörtgen kolon enkesitlerinde kısa kenar en az 300 mm uzunluğunda olacak, uzun kenar boyutunun kısa kenara oranı 2'den fazla olmayacak şekilde, kirişlerde ise en küçük kiriş enkesiti 300 mm genişliğinde ve 500 mm yüksekliğinde olacak şekilde ve kiriş yüksekliği, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan binalarda açıklığın 1/11'inden, taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan binalarda ise açıklığın 1/12'sinden az olmayacak şekilde olmalıdır. Kiriş yüksekliği ayrıca serbest açıklığın 1/4'ünden fazla olmayacaktır.

Taşıyıcı sistem elemanları için donatı alt sınırları ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- Kare enkesitli kolonlarda toplam düşey donatı alanının kolon enkesit alanına oranı ρ_t, 0.01'den az olmayacaktır. Uzun kenarın kısa kenara oranı iki olan dikdörtgen enkesitli kolonlarda bu oran en az 0.015 olacaktır. Uzun kenar / kısa kenar oranının ara değerleri için üşey donatı oranı alt sınırının doğrusal olarak değiştiği kabul edilebilir.
- Kare enkesitli kolonlarda TBDY-2018 7.3.4.2'de tanımlanmış olan kolon orta bölgesindeki enine donatı oranı $\rho_{sh} = A_{sh} / (sb)$, 0.00165'ten az olmayacaktır. Uzun kenarın kısa kenara oranı 2 olan dikdörtgen enkesitli kolonlarda bu oran en az 0.0025 olacaktır. Uzun kenar / kısa kenar oranının ara değerleri için enine donatı oranı alt sınırının doğrusal olarak değiştiği kabul edilebilir. Her durumda kolon orta bölgesindeki etriye ve çiroz aralığı, kolonun en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm'den fazla olmayacak, etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık a, etriye çapının 25 katından fazla olmayacaktır.
- Kirişlerin kolonlar veya perdelerle birleştiği kiriş mesnet kesitlerinde, kiriş üst ve alt boyuna donatı oranları $\rho = A_s / (b_w d)$, sırasıyla 0.006 ve 0.004'ten az olmayacaktır.
- TBDY-2018 7.4.4'te tanımlanmış olan kiriş orta bölgesindeki enine donatı oranı $\rho_w = A_w / (sb_w)$, 0.0025'ten az olmayacak, bu bölgedeki etriye ve çiroz aralığı, kirişin faydalı yüksekliğinin yarısından fazla olmayacaktır.

3.2. Geliştirilen Analiz ve Tasarım Aracı

Çalışma kapsamında bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Çalışmada izlenen yol haritası Şekil 3.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.1: İş akış şeması.

Şekil 3.1.'de de görüldüğü üzere yazılım geliştirilmesi doğrultusunda farklı araç ve ortamlar kullanılmıştır.

3.2.1. Python

Çalışma kapsamında yazılım geliştirme dili olarak Python programlama dili kullanılmıştır. 1991 yılında Guido van Rossum tarafından tasarlanan Python oldukça basit ve kolay öğrenilebilen bir programlama dili olmasının yanısıra hızlı, efektif ve ücretsizdir. Youtube, Google gibi dev firmaların yanısıra Fraxis Games gibi bilgisayar

oyunu firmaları tarafından da kullanılmaktadır. Design Safe platformunda olduğu gibi bulut üzerinden kullanılabildiği gibi yerel bilgisayarlar üzerinden de kullanılabilir [7].

```
def EnesBulut_Analysis( filename ,zemin , Ss, S1):
    import pandas as pd
    import numpy as np

    from math import asin, sqrt
#    filename = "model13.$2k"
    table_list = []
    with open(filename , encoding='ISO-8859-1') as fp:
        line = fp.readline()
        while line:
            line = fp.readline()
            if "TABLE" in line:
                table_list.append(line)
    output = open("table_list.txt","w")
    for i in table_list:
        output.write(i)
    output.close()
    table_list_df = pd.DataFrame(columns=["TableName","SatirNo"])
    icerik= open(filename,'r+').read().replace(",",".").splitlines()
```

Şekil 3.2: Python genel görünüm.

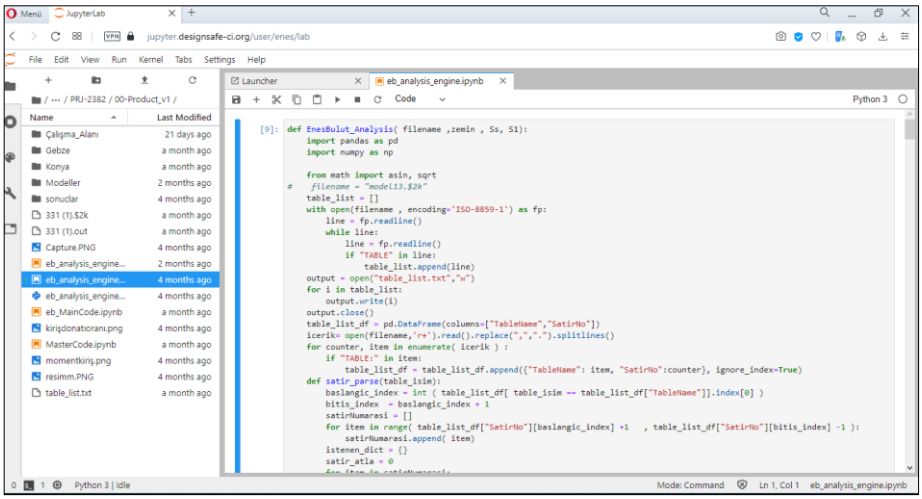
3.2.2. Design Safe

Çalışma kapsamında kullanılan Python programalama dili, tamamen tarayıcı üzerinden erişilebilen ve uzaktaki bilgisayarlar üzerinden işlem yapmamızı sağlayan Desig Safe platformu üzerinden kullanılmıştır. Amerikan Ulusal Bilim Vakfı (NSF) tarafından finanse edilen Doğal Afetler Mühendisliği Araştırma Birimi'nin (NHERI) internet sitesi üzerinden kullanılabilmektedir. Görselleştirme, simülasyon ve veri irdeleme programlarını bu platform üzerinden kullanabiliriz. Matlab, Opensees, Jupyter gibi programları içermektedir. Ücretsiz ve bulut sistemi üzerinden çalışmaktadır. Aynı zamanda proje dosyalarının saklanmasını da sağlamaktadır. Genel görünümü Şekil 3.3'deki gibidir.

Şekil 3.3: Design Safe genel görünüm.

3.2.3. Jupyter

Çalışmada Design Safe platformunun bize sağlamış olduğu Jupyter kodlama aracı kullanılmıştır. Jupyter, 2014 yılında veri bilimi ve bilimsel hesaplama programlarını desteklemek amacıyla ortaya çıkmıştır. Daima açık kaynak kodlu ve ücretsiz olarak tasarlanmıştır. Design Safe sayesinde bulut üzerinden kullanılabildiği gibi yerel bilgisayarlar üzerinden de uygulama olarak kullanılabilir. Python, R, Julia ve Scala gibi programala dilleri de dahil olmak üzere 40'tan fazla programlama dilini içermektedir. Çalışmaların email, dropbox ve GitHub üzerinden paylaşılmasına olanak sağlar. Yazılan program çıktılarının HTML, resim, video, LaTeX formatlı olarak alınmasını sağlamaktadır. Google, Microsoft, IBM, Bloomberg, NASA gibi firmalarda aktif olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.4: Jupyter genel görünüm.

3.2.4. Opensees ve OpenseesPy

Çalışma kapsamında yapı analiz programı olarak Opensees yazılımı tercih edilmiştir [8]. Bunun nedeni ise Opensees programının tamamen açık kaynaklı olması ve ücretsiz olmasıdır. Amerikan Ulusal Bilim Vakfı (NSF) tarafından finanse edilen Pasifik Deprem Mühendisliği Merkezi (PEER) tarafından geliştirilmiştir. Yapı modellemesi tamamen kodlar üzerinden gerçekleştirilmektedir. Görsel, kullanıcı dostu bir arayüze sahip değildir.

```
C:\>OpenSees

            OpenSees -- Open System For Earthquake Engineering Simulation
    Pacific Earthquake Engineering Research Center - Version  . .

            (c) Copyright 1999 The Regents of the University of California
                                All Rights Reserved

OpenSees > model basic -ndm 3 -ndf 6
OpenSees > node 1 0. 0. 0.
OpenSees > node 2 360. 0. 0.
OpenSees > node 3 0. 120. 0.
OpenSees > node 4 360. 120. 0.
OpenSees > fix 1 1 1 1 1 1 1
OpenSees > fix 2 1 1 1 1 1 1
OpenSees > fix 3 0 1 1 1 1 0
OpenSees > fix 4 0 1 1 1 1 0
OpenSees > mass 3 [expr 2000/2/386.4] 0. 0. 0. 0. 0.
OpenSees > mass 4 [expr 2000/2/386.4] 0. 0. 0. 0. 0.
OpenSees > uniaxialMaterial Concrete01 1 -5000. -0.002 -4000. -0.01
OpenSees > uniaxialMaterial Steel01 2 60000. 29000000. 0.1
```

Şekil 3.5: Opensees kullanıcı arayüzü.

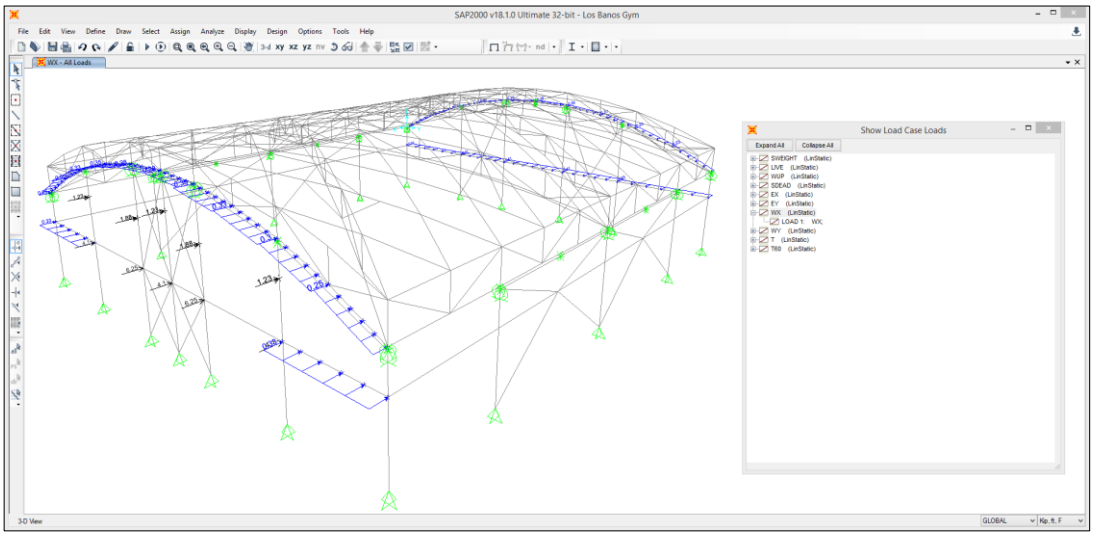
Opensees yazılımı Python programlama dili içerisine OpenseesPy modülü olarak kullanılabilir biçimde entegre edilmiştir. Çalışmada OpenseesPy modülü kullanılmıştır [9].

```python
import openseespy.opensees as ospy
ospy.wipe()
ospy.model("Basic" , "-ndm" , 2 ,"-ndf" ,3)
#E = 30000000.0 # MODULUS OF ELASTICITY kN/m2
M=0.
coordTransf = "Linear"  # Linear, PDelta, Corotational
massType = "-lMass"  # -lMass, -cMass
for counter , row in j_coords_df.iterrows():
    #print( row )
    ospy.node( int(row["JointNo"]) , row["X"] , row["Z"] )
    #print( int(row["JointNo"]) , row["X"] , row["Z"] )
for counter , row in joint_restraint_df[:].iterrows() :
    # print(row["JointNo"] , row["U1"] , row["U2"] , row["R3"])

    ospy.fix( int(row["JointNo"].item())   , row["U1"].item() , row["U2"].item() , row["U3"].item())
    #print( int(row["JointNo"].item())   , row["U1"].item() , row["U2"].item() , row["U3"].item())
ospy.geomTransf(coordTransf, 1)
```

Şekil 3.6: OpeenseesPy Python arayüzü.

3.2.5. SAP2000

Çalışma kapsamında oluşturulan modeller SAP2000 statik hesap programının arayüzü kullanılarak oluşturulmuştur. Bunun sebebi SAP2000 programının kullanıcı dostu ve basit görsel modelleme arayüzünün bulunmasıdır. SAP2000 programı ücretli olup, analizler için güçlü bilgisayar donanımları gerektirmektedir. Dolayısıyla akademik araştırmalar için maliyet açısından uygun bulunmamaktadır [10].



Şekil 3.7: SAP2000 kullanıcı arayüzü.

3.2.6. eb_Maincode ve eb_analysis_engine Yazılımları

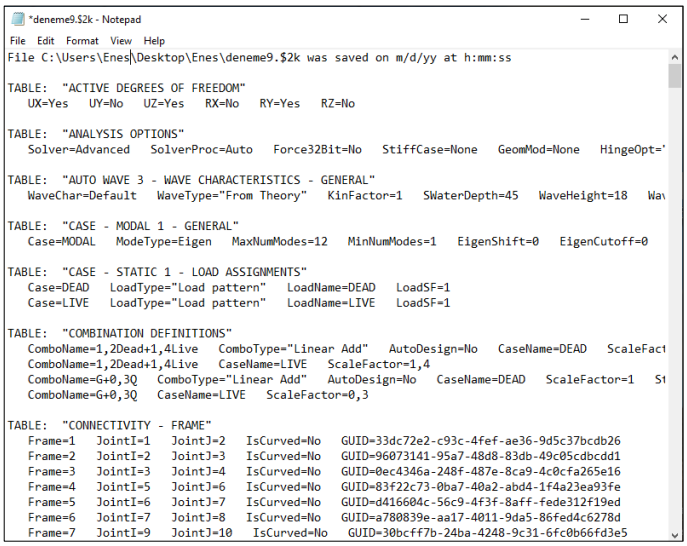
Çalışma kapsamında SAP2000 programında modellenen yapıyı Opensees yazılımına aktarıp, statik analizini ve TBDY-2018 Bölüm 17'ye göre tetkiklerini gerçekleştiren yazılım geliştirilmiştir. Bu bağlamda Şekil 3.1'de görüleceği üzere adım adım işleyen bir yazılım elde edilmiştir.

3.2.6.1. SAP2000 modelinin oluşturulması ve .$2k dosyası

SAP2000 programında model oluşturulması sonrasında, modelin yazılı olarak tutulduğu TEXT formatlı dosya .$2k dosyası, SAP2000 programı tarafından oluşturulur. Bu dosyanın içersinde modele ait bütün bilgiler bulunmaktadır. Başlıca örneklemek gerekirse;

- Sistemin serbestlik derecesi,
- Sistemin düğüm noktlarının koordinatları,
- Sistemde bulunan elemanların başlangıç ve bitiş noktalarının koordinatları,
- Elemanlara ait kesit bilgileri,
- Noktasal ve/veya yayılı yük bilgileri,
- Kullanılan yönetmeliğe ait bilgiler,

- Analiz seçeneklerine ait bilgiler,
- Malzeme bilgileri gibi verileri bu dosyadan elde edebiliriz (Şekil 3.8).

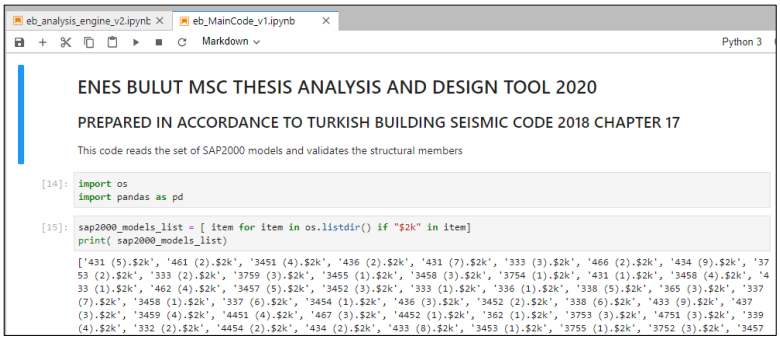


```
*deneme9.$2k - Notepad
File  Edit  Format  View  Help
File C:\Users\Enes\Desktop\Enes\deneme9.$2k was saved on m/d/yy at h:mm:ss

TABLE:  "ACTIVE DEGREES OF FREEDOM"
   UX=Yes   UY=No   UZ=Yes   RX=No   RY=Yes   RZ=No

TABLE:  "ANALYSIS OPTIONS"
   Solver=Advanced   SolverProc=Auto   Force32Bit=No   StiffCase=None   GeomMod=None   HingeOpt='

TABLE:  "AUTO WAVE 3 - WAVE CHARACTERISTICS - GENERAL"
   WaveChar=Default   WaveType="From Theory"   KinFactor=1   SWaterDepth=45   WaveHeight=18   Wav

TABLE:  "CASE - MODAL 1 - GENERAL"
   Case=MODAL   ModeType=Eigen   MaxNumModes=12   MinNumModes=1   EigenShift=0   EigenCutoff=0

TABLE:  "CASE - STATIC 1 - LOAD ASSIGNMENTS"
   Case=DEAD   LoadType="Load pattern"   LoadName=DEAD   LoadSF=1
   Case=LIVE   LoadType="Load pattern"   LoadName=LIVE   LoadSF=1

TABLE:  "COMBINATION DEFINITIONS"
   ComboName=1,2Dead+1,4Live   ComboType="Linear Add"   AutoDesign=No   CaseName=DEAD   ScaleFact
   ComboName=1,2Dead+1,4Live   CaseName=LIVE   ScaleFactor=1,4
   ComboName=G+0,3Q   ComboType="Linear Add"   AutoDesign=No   CaseName=DEAD   ScaleFactor=1   St
   ComboName=G+0,3Q   CaseName=LIVE   ScaleFactor=0,3

TABLE:  "CONNECTIVITY - FRAME"
   Frame=1   JointI=1   JointJ=2   IsCurved=No   GUID=33dc72e2-c93c-4fef-ae36-9d5c37bcdb26
   Frame=2   JointI=2   JointJ=3   IsCurved=No   GUID=96073141-95a7-48d8-83db-49c05cdbcdd1
   Frame=3   JointI=3   JointJ=4   IsCurved=No   GUID=0ec4346a-248f-487e-8ca9-4c0cfa265e16
   Frame=4   JointI=5   JointJ=6   IsCurved=No   GUID=83f22c73-0ba7-40a2-abd4-1f4a23ea93fe
   Frame=5   JointI=6   JointJ=7   IsCurved=No   GUID=d416604c-56c9-4f3f-8aff-fede312f19ed
   Frame=6   JointI=7   JointJ=8   IsCurved=No   GUID=a780839e-aa17-4011-9da5-86fed4c6278d
   Frame=7   JointI=9   JointJ=10   IsCurved=No   GUID=30bcff7b-24ba-4248-9c31-6fc0b66fd3e5
```

Şekil 3.8: .$2k Text dosyası.

3.2.6.2. .$2k dosyasının okunması

Python kullanılarak geliştirilen “eb_MainCode” yazılımı ile .$2k dosyası okunur (Şekil 3.9).



```
eb_analysis_engine_v2.ipynb   eb_MainCode_v1.ipynb
Markdown                                                Python 3

ENES BULUT MSC THESIS ANALYSIS AND DESIGN TOOL 2020
PREPARED IN ACCORDANCE TO TURKISH BUILDING SEISMIC CODE 2018 CHAPTER 17
This code reads the set of SAP2000 models and validates the structural members

[14]: import os
      import pandas as pd

[15]: sap2000_models_list = [ item for item in os.listdir() if "$2k" in item]
      print( sap2000_models_list)

      ['431 (5).$2k', '461 (2).$2k', '3451 (4).$2k', '436 (2).$2k', '431 (7).$2k', '333 (3).$2k', '466 (2).$2k', '434 (9).$2k', '37
      53 (2).$2k', '333 (2).$2k', '3759 (3).$2k', '3455 (1).$2k', '3458 (3).$2k', '3754 (1).$2k', '431 (1).$2k', '3458 (4).$2k', '4
      33 (1).$2k', '462 (4).$2k', '3457 (5).$2k', '3452 (3).$2k', '333 (1).$2k', '336 (1).$2k', '338 (5).$2k', '365 (3).$2k', '337
      (7).$2k', '3458 (1).$2k', '337 (6).$2k', '3454 (1).$2k', '436 (3).$2k', '3452 (2).$2k', '338 (6).$2k', '433 (9).$2k', '437
      (3).$2k', '3459 (4).$2k', '4451 (4).$2k', '467 (3).$2k', '4452 (1).$2k', '362 (1).$2k', '3753 (3).$2k', '4751 (3).$2k', '339
      (4).$2k', '332 (2).$2k', '4454 (2).$2k', '434 (2).$2k', '433 (8).$2k', '3453 (1).$2k', '3755 (1).$2k', '3752 (3).$2k', '3457
```

Şekil 3.9: eb_MainCode .$2k dosyalarının okunması.

Analiz için gerekli olan DD-2 deprem yer hareketi ve DD-3 deprem yer hareketi düzeylerinde hesaplanan Harita Spektral İvme Katsayıları S_s ve S_1 değerleri, analizin yapılmak istendiği nokta için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak elde edilir ve programa girilir (Şekil 3.10).

```
eb_analysis_engine_v2.ipynb   eb_MainCode_v1.ipynb
Markdown                                                Python 3
[16]: #Gebze  1.301 0.356 0.511 0.131
      #Konya  0.300 0.071 0.098 0.027
      for sap2000_modelName in sap2000_models_list[:1]:
          for Ss,S1,Ss_DD3,S1_DD3 in zip([1.301],[0.356],[0.511],[0.131]):
              print( Ss, S1,Ss_DD3 ,S1_DD3)

      1.301 0.356 0.511 0.131
```

Şekil 3.10: S_s ve S_1 değerlerinin programa girilmesi.

Aynı şekilde analiz yapılmak istenen noktaya ait zemin sınıfı da programa girilir (Şekil 3.11).

```
[ ]: %run eb_analysis_engine_v2.ipynb

     for sap2000_modelName in sap2000_models_list[:]:
         for Ss,S1,Ss_DD3,S1_DD3 in zip([1.301, ],[0.356, ],[0.511, ],[0.131, ]):
             EnesBulut_Analysis( sap2000_modelName ,  "ZC" , Ss , S1 , Ss_DD3 , S1_DD3)
```

Şekil 3.11: Zemin sınıfın programa girilmesi.

Belirli parametreler girildikten sonra “eb_analysis_engine” programı çalışmaya başlar. Tez kapsamında 336 adet model oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Bu sayı parametreler değiştirilerek arttırabilir. Teze özel olarak oluşturulan .$2k dosyalarına dosya adı formatı belirlenmiştir. Bu formata göre “331 (1).$2k” biçimindeki dosya adının ilk hanesi kat yüksekliğini, ikinci hanesi kiriş açıklığını, üçüncü hanesi kat sayısını ve parantez içinde belirtilen hanenin bir fazlası da açıklık sayısı belirtmektedir.

Geliştirilen eb_analysis_engine programı ilk olarak .$2k dosyasını satır satır okuyarak, satır başlıklarını belirler. Sonrasında yapı ile ilgili temel verileri okur (Şekil 3.12).

```
eb_analysis_engine_v2.ipynb   eb_MainCode_v1.ipynb
Code                                                                    Python 3

[5]: def EnesBulut_Analysis( filename ,zemin , Ss, S1, Ss_DD3, S1_DD3):
         f=open(filename.replace("$2k","out"), "a")
         import pandas as pd
         import numpy as np
         from math import asin, sqrt
         table_list = []
         with open(filename , encoding='ISO-8859-1') as fp:
             line = fp.readline()
             while line:
                 line = fp.readline()
                 if "TABLE" in line:
                     table_list.append(line)
         output = open("table_list.txt","w")
         print(filename) #n = 0,3 yayılı yük etkisi dahil edilmiştir.
         f.write(f"{filename}\n") #n = 0,3 yayılı yük etkisi dahil edilmiştir.
         if len(filename) == 11:
             print("Kat Yüksekliği=",filename[0],"metre")
             f.write(f"Kat Yüksekliği={filename[0]} metre\n")
             print("Kiriş Açıklığı=",filename[1],"metre")
             f.write(f"Kiriş Açıklığı={filename[1]} metre\n")
             print("Kat Sayısı=",filename[2])
             f.write(f"Kat Sayısı={filename[2]}\n")
             print("Açıklık Sayısı=",int(filename[5])+1)
             f.write(f"Açıklık Sayısı={int(filename[5])+1}\n")
```

Şekil 3.12: Yapı ile ilgili temel verilerin okunması.

Okunan satır başlıklarına göre gerekli görülen yapısal veriler sırayla program tarafından taranarak OpenseesPy modeli oluşturulur.

Okunan veriler “DataFrame” adı verilen tablolara dönüştürülür. Noktasal ve yayılı yükler okunur (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14).

```
try:
    table_isim = 'TABLE:  "JOINT LOADS - FORCE"'
    joint_loads_df = pd.DataFrame(columns = ["JointNo","LoadPat","Axis","F1","F2","F3","M1","M2","M3"])
    baslangic_index = int ( table_list_df[ table_isim == table_list_df["TableName"]].index[0] )
    bitis_index  = baslangic_index + 1
    satirNumarasi = []
    for item in range( table_list_df["SatirNo"][baslangic_index] +1   , table_list_df["SatirNo"][bitis_index] -1 ):
        satirNumarasi.append( item)
    istenen_dict = {}
    satir_atla = 0
    for item in satirNumarasi:
        if satir_atla == 0:
            if "_" in icerik[item]:
                deli = icerik[item] + icerik[item+1]
                satir = list( filter(None,deli.replace('\r\n', ' ').replace('_', ' ').split("  ") ))
                satir_atla = 1
            else :
                satir = list( filter(None,icerik[item].replace('\r\n', ' ').replace('_', ' ').split("  ") ))
        #istenen_dict.update({ satir[0].split("=")[1]  : [ {satir[i].split("=")[0] :satir[i].split("=")[1]}  for i in range(1,len(satir))]} )
            joint_loads_df.loc[len(joint_loads_df)] = [satir[0].split("=")[1]] + [ satir[i].split("=")[1]  for i in range(1,len(satir))][0:-1]
        else:
            satir_atla = 0
except:
    pass
```

Şekil 3.13: Noktasal yüklerin okunması.

```python
###yayılı yüklerin okunması###
try:
    table_isim = 'TABLE:  "FRAME LOADS - DISTRIBUTED"'
    frame_dist_df = pd.DataFrame(columns = ["FrameNo","LoadPat","Axis","x","x","x","x","x","x","x","x","Distributed Load"])
    baslangic_index = int ( table_list_df[ table_isim == table_list_df["TableName"]].index[0] )
    bitis_index  = baslangic_index + 1
    satirNumarasi = []
    for item in range( table_list_df["SatirNo"][baslangic_index] +1   , table_list_df["SatirNo"][bitis_index] -1 ):
        satirNumarasi.append( item)
    istenen_dict = {}
    satir_atla = 0
    for item in satirNumarasi:
        if satir_atla == 0:
            if "_" in icerik[item]:
                deli = icerik[item] + icerik[item+1]
                satir = list( filter(None,deli.replace('\r\n', ' ').replace('_', ' ').split("  ") ))
                satir_atla = 1
            else :
                satir = list( filter(None,icerik[item].replace('\r\n', ' ').replace('_', ' ').split("  ") ))
        #istenen_dict.update({ satir[0].split("=")[1]  : [ {satir[i].split("=")[0] :satir[i].split("=")[1]}  for i in range(1,len(satir))]} )
            frame_dist_df.loc[len(frame_dist_df)] = [satir[0].split("=")[1]] + [ satir[i].split("=")[1]  for i in range(1,len(satir))][0:-2]
        else:
            satir_atla = 0
except:
    pass
```

Şekil 3.14: Yayılı yüklerin okunması.

DataFrame üzerinden gerekli görülen verilen OpenseesPy modeline aktarılır (Şekil 3.15).

[3]:

	FrameNo	LoadPat	Axis	x	x	x	x	x	x	x	Distributed Load
0	4	DEAD	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0	1	0	3	24.6
1	4	LIVE	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0	1	0	3	7.5
2	5	DEAD	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0	1	0	3	24.6
3	5	LIVE	GLOBAL	Force	Gravity	RelDist	0	1	0	3	7.5

Şekil 3.15: Yayılı yük için örnek DataFrame.

Yapıda kullanılan Beton Sınıfı ve Elastisite Modülü değerleri okunur (Şekil 3.16).

```python
## E Value ###
E_Value_dict = satir_parse( 'TABLE:  "MATERIAL PROPERTIES 02 - BASIC MECHANICAL PROPERTIES"') #Elastisite Modülü
E_Value_df = pd.DataFrame( columns=["Material","E"])
for key_name in E_Value_dict.keys():
    E_Value_df.loc[len(E_Value_df)] = [( key_name ),
                                       ( float(list( E_Value_dict[key_name][2].values() )[0] ))]
E =int( E_Value_df[E_Value_df["Material"]=="4000Psi"].E)
```

Şekil 3.16: Elastisite Modülü değerinin okunması.

Sistemin düğüm noktaları ve koordinatları okunur (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).

```python
# JOINT COORDINATE PROCESSOR
j_coords_dict = satir_parse( 'TABLE:  "JOINT COORDINATES"') #Düğüm noktaları adı ve koordinatları

# DICTINOARY DATAFRAME DONUŞ

j_coords_df = pd.DataFrame( columns=["JointNo","X","Y","Z"])

for key_name in j_coords_dict.keys():
#    print( f"{key_name} ile işlem yapılıyor")
    j_coords_df.loc[len(j_coords_df)] = [int( key_name ),
                                         ( float(list( j_coords_dict[key_name][2].values() )[0] )),
                                         ( float(list( j_coords_dict[key_name][3].values() )[0] )),
                                         ( float(list( j_coords_dict[key_name][4].values() )[0] ))]
```

Şekil 3.17: Düğüm noktalarının koordinatlarının okunması.

```
[6]: j_coords_df
```

[6]:

	JointNo	X	Y	Z
0	1.0	0.0	0.0	0.0
1	2.0	3.0	0.0	0.0
2	3.0	6.0	0.0	0.0
3	4.0	0.0	0.0	3.0
4	5.0	3.0	0.0	3.0
5	6.0	6.0	0.0	3.0

Şekil 3.18: Düğüm noktalarının koordinatlarına ait DataFrame.

Kolon ve kirişler belirlenir ve bu elemanlara ait düğüm noktaları okunur (Şekil 3.19).

```python
frame_dict = satir_parse( 'TABLE:  "CONNECTIVITY - FRAME"'   ) #Frame eleman adı ve düğüm noktaları

# DICTINOARY DATAFRAME DONUŞ

frame_connectivity_df = pd.DataFrame( columns=["FrameNo","JointI","JointJ"])

for key_name in frame_dict.keys():
#    print( f"{key_name} ile işlem yapılıyor")
    frame_connectivity_df.loc[len(frame_connectivity_df)] = [int( key_name ) ,
                                        int( list( frame_dict[key_name][0].values() )[0] ),
                                        int( list( frame_dict[key_name][1].values() )[0] )]
frame_connectivity_Z_df = pd.DataFrame( columns=["FrameNo","Type"])
for i in frame_connectivity_df["FrameNo"]:
    bb =(j_coords_df[j_coords_df["JointNo"]==int((frame_connectivity_df[frame_connectivity_df["FrameNo"]==i].JointI))].Z)
    cc =(j_coords_df[j_coords_df["JointNo"]==int((frame_connectivity_df[frame_connectivity_df["FrameNo"]==i].JointJ))].Z)
    if float(bb.values) == float(cc.values):
        dd = ("Beam")
    else:
        dd =("Column")
    temp = [i , dd]
    frame_connectivity_Z_df.loc[len(frame_connectivity_Z_df)] = temp
```

Şekil 3.19: Çerçeve elemanların belirlenmesi ve düğüm noktalarının okunması.

Mesnet koşulları belirlenir (Şekil 3.20).

```
joint_restraint_dict = satir_parse( 'TABLE:  "JOINT RESTRAINT ASSIGNMENTS"') #mesnet koşulları

# DICTINOARY DATAFRAME DONUŞ

joint_restraint_df = pd.DataFrame( columns=["JointNo","U1","U2","U3","R1","R2","R3"])

for key_name in joint_restraint_dict.keys():
#    print( f"{key_name} ile işlem yapılıyor")
    joint_restraint_df.loc[len(joint_restraint_df)] = [ int(key_name),
                                    ( list( joint_restraint_dict[key_name][0].values() )[0] ),
                                    ( list( joint_restraint_dict[key_name][1].values() )[0] ),
                                    ( list( joint_restraint_dict[key_name][2].values() )[0] ),
                                    ( list( joint_restraint_dict[key_name][3].values() )[0] ),
                                    ( list( joint_restraint_dict[key_name][4].values() )[0] ),
                                    ( list( joint_restraint_dict[key_name][5].values() )[0] )]
joint_restraint_df = joint_restraint_df.replace("Yes", 1 ).replace("No", 0 )
```

Şekil 3.20: Mesnet koşullarının okunması.

Elemanların boyutları belirlenir (Şekil 3.21).

```
frame_sec_dict = satir_parse( 'TABLE:  "FRAME SECTION ASSIGNMENTS"') #Frame eleman kesit tipleri
#DICTINOARY DATAFRAME DONUŞ
frame_sec_dict_df = pd.DataFrame( columns=["FrameNo","axb"])

for key_name in frame_sec_dict.keys():
#    print( f"{key_name} ile işlem yapılıyor")
    frame_sec_dict_df.loc[len(frame_sec_dict_df)] = [int ( key_name ) ,
                                    ( list( frame_sec_dict[key_name][1].values() )[0] )]
```

Şekil 3.21: Eleman boyutlarının okunması.

Elemanlara ait kesit özellikleri belirlenir (Şekil 3.22).

```
sec_pro_dict = satir_parse( 'TABLE:  "FRAME SECTION PROPERTIES 01 - GENERAL"') #Frame eleman kesit özellikleri
#DICTINOARY DATAFRAME DONUŞ
sec_pro_dict_df = pd.DataFrame( columns=["FrameType","Material","Shape","t3","t2","Area","TorsConst","I33","I22","I23"])
#gerekenleri belirleyelim
for key_name in sec_pro_dict.keys():
#    print( f"{key_name} ile işlem yapılıyor")
    sec_pro_dict_df.loc[len(sec_pro_dict_df)] = [key_name ,
                                    ( list( sec_pro_dict[key_name][0].values() )[0]),
                                    ( list( sec_pro_dict[key_name][1].values() )[0]),
                                    float( list( sec_pro_dict[key_name][2].values() )[0]),
                                    float( list( sec_pro_dict[key_name][3].values() )[0]),
                                    float( list( sec_pro_dict[key_name][4].values() )[0]),
                                    ( list( sec_pro_dict[key_name][5].values() )[0]),
                                    ( list( sec_pro_dict[key_name][6].values() )[0]),
                                    ( list( sec_pro_dict[key_name][7].values() )[0]),
                                    ( list( sec_pro_dict[key_name][8].values() )[0])]
```

Şekil 3.22: Elemanların kesit özelliklerinin okunması.

Malzeme özellikleri belirlenir (Şekil 3.23).

```
basic_mat_pro_dict = satir_parse( 'TABLE:  "MATERIAL PROPERTIES 02 - BASIC MECHANICAL PROPERTIES"') #Malzeme özellikleri
basic_mat_pro_df = pd.DataFrame (columns= ["Material","UnitWeight"])
for key_name in basic_mat_pro_dict.keys():
    basic_mat_pro_df.loc[len(basic_mat_pro_df)] = [(key_name),
                                                   list(basic_mat_pro_dict[key_name][0].values())[0]]
```

Şekil 3.23: Malzeme özelliklerinin okunması.

Buraya kadar olan kısımda program yapı ile ilgili şekil, kesit, yükleme ve malzeme bilgilerini okur. Devamında OpenseesPy modülü import edilerek Python üzerinde Opensees modeli oluşturulur ve analiz kısmına geçilir (Şekil 3.24).

```
import openseespy.opensees as ospy
ospy.wipe()
ospy.model("Basic" , "-ndm" , 2 ,"-ndf" ,3)
M=0.
coordTransf = "Linear"  # Linear, PDelta, Corotational
massType = "-lMass"  # -lMass, -cMass
```

Şekil 3.24: OpenseesPy modülünün import edilmesi.

Şekil 3.24'de görüldüğü üzere model komutu kullanılarak analiz tipi, analiz boyutu (2 veya 3 boyutlu) ve sistemin serbestlik derecesi belirlenir. "coordTransf" komutu ile analiz yönü belirlenir. "massType" komutu ile sistemin mass tipi belirlenir. "node" komutu ile daha önce okutulan düğüm noktaları tanımlanır. "fix" komutu ile mesnet koşulları tanımlanır (Şekil 3.25).

```
for counter , row in j_coords_df.iterrows():
    #print( row )
    ospy.node( int(row["JointNo"]) , row["X"] , row["Z"] )
    #print( int(row["JointNo"]) , row["X"] , row["Z"] )
for counter , row in joint_restraint_df[:].iterrows() :
    # print(row["JointNo"] , row["U1"] , row["U2"] , row["R3"])

    ospy.fix( int(row["JointNo"].item())   , row["U1"].item() , row["U2"].item() , row["U3"].item())
```

Şekil 3.25: Düğüm noktaları ve mesnet koşullarının tanımlanması.

"element" komutu ile kolon ve kiriş elemanlar tanımlanır (Şekil 3.26).

```
for count, row in frame_connectivity_df[:].iterrows() :

    section_type_tag = list ( frame_section_assignment_df[frame_section_assignment_df["FrameNo"] == row["FrameNo"] ]["Section"]  ) [0]

    area = list( sec_pro_dict_df[sec_pro_dict_df["FrameType"] == section_type_tag ]["Area"] ) [0]

    I33 = float( list( sec_pro_dict_df[sec_pro_dict_df["FrameType"] == section_type_tag ]["I33"] ) [0] )

    ospy.element('elasticBeamColumn', int(row["FrameNo"]) ,  int(row["JointI"]) , int(row["JointJ"]) , area  , E , I33 , 1, M, massType)
```

Şekil 3.26: Kolon ve kiriş elemanların tanımlanması.

“length” fonksiyonu tanımlanarak kesit elemanlarının boyları tanımlanmıştır (Şekil 3.27).

```
def length (i,j):
    """ THIS FUNCTION CALCULATES THE LENGTH OF THE FRAME MEMBER """
    Xi = (float( j_coords_df[j_coords_df["JointNo"]==i]["X"] ))
    Yi = (float( j_coords_df[j_coords_df["JointNo"]==i]["Y"] ))
    Zi = (float( j_coords_df[j_coords_df["JointNo"]==i]["Z"] ))
    Xj = (float( j_coords_df[j_coords_df["JointNo"]==j]["X"] ))
    Yj = (float(j_coords_df[j_coords_df["JointNo"]==j]["Y"] ))
    Zj = (float(j_coords_df[j_coords_df["JointNo"]==j]["Z"] ))
    len_temp = ((Xi-Xj)**2 + (Yi-Yj)**2 + (Zi-Zj)**2)**0.5
    return(   len_temp )
```

Şekil 3.27: “lenght” fonksiyonu.

“mass” komutu kullanılarak düğüm noktalarına mass ataması yapılır. Bu işlemle birlikte her kata ayrı diyafram ataması da gerçekleştirilir. Şekil 3.28’de görüldüğü üzere toplam kütle de elde edilir. Mass ataması yapılırken hareketli yükün %30’u da dikkate alınmıştır (Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30).

```
live_load_factor = 0.3 # BU KATSAYI MODAL ANALİZ İÇİN GEREKLİDİR
joint_assembled_mass = {}
W_assembled_mass ={}
#-------------------------------------------------------------
# Önce tüm jointlere 0 mass atanıyor, sonrasında varsa tekil, öz ağırlık, etkiyen yükten ağırlıklar atanıyor.
for i in j_coords_df["JointNo"]:
    joint_assembled_mass[ i ] = 0
    W_assembled_mass [i] = 0
#-------------------------------------------------------------
for count, row in frame_connectivity_df.iterrows():
    frame_no = int(row["FrameNo"])
    jointI , jointJ = float(row["JointI"]) , float(row["JointJ"])
    length_temp = float (length ( jointI , jointJ))
    sect_temp = list(frame_section_assignment_df.loc[frame_section_assignment_df["FrameNo"]==frame_no]["Section"])[0]
    material_temp = list(sec_pro_dict_df.loc[sec_pro_dict_df["FrameType"]==sect_temp]["Material"])[0]
    area = list(sec_pro_dict_df.loc[sec_pro_dict_df["FrameType"]==sect_temp]["Area"])[0]
    unit_weight= float(basic_mat_pro_df.loc[basic_mat_pro_df["Material"]==material_temp]["UnitWeight"])
    aaa_df = frame_dist_df[frame_dist_df["LoadPat"]=="LIVE"]
    if str(frame_no) in aaa_df["FrameNo"].values:
        # frame_dist_temp = (frame_dist_df["Distributed Load"].loc[0]
        live_load_value = (aaa_df[aaa_df["FrameNo"]== str( frame_no)]["Distributed Load"])
        mass_load = (float(length_temp) * 0.5 * (int(float(live_load_value) ))) / 9.81
    else:
        mass_load = 0
    mass_toplam = mass_load * live_load_factor+ (length_temp * 0.5 * area * unit_weight)  / 9.81
    W_toplam = (length_temp * 0.5 * area * unit_weight)  / 9.81
```

Şekil 3.28: Mass ataması ve kütlenin elde edilmesi.

```
abcd = pd.merge(frame_connectivity_Z_df,frame_section_assignment_df, on="FrameNo")
xyzt = pd.merge(abcd,sec_pro_dict_df,left_on="Section",right_on="FrameType")
beams_df = xyzt[xyzt['Type'].str.contains("Beam")]
columns_df = xyzt[xyzt['Type'].str.contains("Column")]
print("Bina Ağırlığı=", W , "kN") #n = 0,3 yayılı yük etkisi dahil edilmiştir.
f.write(f"Bina Ağırlığı={W}kN\n") #n = 0,3 yayılı yük etkisi dahil edilmiştir.
for count , row in j_coords_df[:].iterrows() :
   #print( row)
#    pass
    massX = joint_assembled_mass[int(row["JointNo"])]
    ospy.mass( int(row["JointNo"]) ,massX ,  1.0e-10, 1.0e-10)
    #print( int(row["JointNo"]) ,massX ,  1.0e-10, 1.0e-10)
```

Şekil 3.29: mass komutunun tanımlanması.

```
floor_coordinates = ( j_coords_df["Z"].drop_duplicates()  )
no_floor = len( floor_coordinates)
for count, floor_level in enumerate( floor_coordinates[1:] ) :
    j_coords_floor_df = j_coords_df[ j_coords_df["Z"] == floor_level]
floor_coordinates = ( j_coords_df["Z"].drop_duplicates()  )
no_floor = len( floor_coordinates)
no_floor = len( floor_coordinates)
for count, floor_level in enumerate( floor_coordinates[1:] ) :
    j_coords_floor_df = j_coords_df[ j_coords_df["Z"] == floor_level]

    for counter2 , row in j_coords_floor_df[1:].iterrows() :

        ospy.equalDOF( j_coords_floor_df.iloc[0]["JointNo"] , int(row["JointNo"]) , 1 )
```

Şekil 3.30: Diyafram atanması.

```
ospy.timeSeries('Linear', 1)

ospy.pattern('Plain', 1, 1)
#equalDOF(2,4,3)
for count, row in joint_loads_df[joint_loads_df["LoadPat"]=="DEAD"].iterrows():
    ospy.load(int(row["JointNo"]), float(row["F1"]) , float(row["F3"]) * -1  ,float(row["M3"]))
    #print(int(row["JointNo"]), float(row["F1"]),float(row["F3"]),float(row["M3"]))

for count, row in frame_dist_df[frame_dist_df["LoadPat"]=="DEAD"].iterrows():
    ospy.eleLoad('-ele', int(row["FrameNo"]) ,'-type','-beamUniform', float(row["Distributed Load"]))
    #print('-ele', int(row["FrameNo"]) ,'-type','-beamUniform', float(row["Distributed Load"]))

numEigen_aad = 1
eigenvalues_aad = ospy.eigen( numEigen_aad )
import math
PI = 2* math.asin(1.0)
#constraints('Plain')
#numberer('Plain')
ospy.integrator('LoadControl', 1.0)
ospy.algorithm('Linear')
ospy.analysis('Static')
ospy.analyze(1)
```

Şekil 3.31: Yüklerin atanması ve analiz.

Şekil 3.31'de görüldüğü üzere "load" komutu ile noktasal yükler ve "eleload" komutu ile eleman yükleri (yayılı yükler) tanımlanır. Devamında "eigen" komutu ile istenilen mod sayısı girilir ve analiz parametreleri belirtilerek analiz başlatılır.

Analiz işlemi tamamlandıktan sonra, period bilgisi ("period"), iç kuvvetler ("eleForce") ve deplasmanlar ("nodeDisp") elde edilir (Şekil 3.32).

```
lamb = eigenvalues_aad[0]
period = str (2 * PI / math.sqrt(lamb))
print("Bina periyodu=" ,period,"sn")
f.write(f"Bina periyodu={period}sn\n")
internalforce_df_G = pd.DataFrame(columns= ["FrameNo","Vi","Pi","Mi","Vj","Pj","Mj"])
for i in frame_connectivity_df["FrameNo"]:
    temp = [i]+ospy.eleForce(i)
    #temp = temp.extend(eleForce(i))
    internalforce_df_G.loc[len(internalforce_df_G)] = temp
#print("Dead Load Yüklemesi İç Kuvvetler" "\n " ,internalforce_df_G.round(2))
displacement_G_df = pd.DataFrame(columns = ["NodeNumber","U1","U3","R2"])
for i in j_coords_df["JointNo"]:
    temp = [i]+ospy.nodeDisp(i)
    displacement_G_df.loc[len(displacement_G_df)] = temp
displacement_G_df.round(6)
```

Şekil 3.32: Period, iç kuvvetler ve kat deplasman bilgilerinin okunması.

İlerleyen aşamada E (deprem) yüklemesinin yapılması için zemin sınıfı, S_s ve S_1 değerleri kullanılarak S_{DS} ve TBDY-2018'e göre göreli kat ötelemesi kontrolünde kullanılacak λ değerleri hesaplanacaktır.

```
TA = 0.2 * SD1 / SDs
TB = SD1 / SDs
TL = 6
# Yatay Spektrum Kaysayılarının Hesaplanması
def spektra_yatay(T,SDs,SD1, TA, TB , TL):
    if T < TA :
        return((0.4 + 0.6*(T/TA))*SDs)
    elif T >= TA and T <= TB:
        return(SDs)
    elif T> TB and T <= TL:
        return(SD1 / T)
    elif T> TL:
        return(SD1*TL/(T**2))
T_range = [0.01*item for item in range(1,801)]
SA = [(spektra_yatay(period,SDs,SD1, TA, TB , TL)) for period in T_range]
# Verilen T değerinin gösterilmesi
SA_T_DD3 = spektra_yatay(T,SDs,SD1, TA, TB , TL)
print("T= "+ str(T)+"sn İçin Yatay DD-3 İvme Spektrumu | Sae("+str(T)+") ="+str(round(SA_T_DD3,2))+"g" )
f.write(f"T={str(T)}sn İçin Yatay DD-3 İvme Spektrumu | Sae({str(T)}) ={str(round(SA_T_DD3,2))}g\n" )
YY = SA_T_DD3 / SA_T
```

Şekil 3.33: λ (YY) değerinin hesaplanması.

TBDY-2018 Bölüm 17'ye göre taban kesme kuvveti hesaplanırken R_a değeri 4 olarak alınmıştır.

$$V_t = \frac{S_{DS}W}{R_a} \tag{3.3}$$

Taban kesme kuvveti hesaplanıp, katlara orantılı olarak dağıtılır (Şekil 3.34).

```
Vt= SDs * W / 4
print("Taban kesme Kuvveti=", Vt,"kN")
f.write(f"Taban kesme Kuvveti={Vt}kN\n")
print("Vt/W=", Vt / W)
f.write(f"Vt/W={Vt/W}\n")
Fi_cords=j_coords_df.iloc[:,3:4].drop_duplicates()
floor_coordinates.count()-1
Wi = W / (floor_coordinates.count()-1)
for i in floor_coordinates[1:]:
    Fi = Vt * Wi * floor_coordinates[1:] / ( sum (floor_coordinates[1:] * Wi))
    Fi_df = pd.DataFrame(columns = ["Node Number", "Fi"])
    for key_name in Fi.keys():
        Fi_df.loc[len(Fi_df)] = [int( key_name ) +1 ,
                                 Fi[key_name]]
for i in Fi_cords[1:]:
    Fj = Vt * Wi * Fi_cords[1:] / (sum (floor_coordinates[1:] * Wi))
```

Şekil 3.34: Taban kesme kuvvetinin hesaplanması.

Devamında analiz işlemleri deprem (E) yüklemesi için de gerçekleştirilir.

Ölü yük yüklemesi (G), hareketli yük yüklemesi (Q) ve deprem yükü yüklemesi (E) işlemleri tamamlandıktan sonra G+Q+E, G+Q ve 1.4G+1.6Q kombinasyonlarına ait iç kuvvetler hesaplanır (Şekil 3.35).

```
internalforce_df_GQ = pd.DataFrame(columns= ["FrameNo","Vi","Pi","Mi","Vj","Pj","Mj"])
for i in frame_connectivity_df["FrameNo"]:
    b =(internalforce_df_LiveLoad[internalforce_df_LiveLoad["FrameNo"]== i].Vi +internalforce_df_G[internalforce_df_G["FrameNo"]== i].Vi)
    c =(internalforce_df_LiveLoad[internalforce_df_LiveLoad["FrameNo"]== i].Pi +internalforce_df_G[internalforce_df_G["FrameNo"]== i].Pi)
    d =(internalforce_df_LiveLoad[internalforce_df_LiveLoad["FrameNo"]== i].Mi * -1 +internalforce_df_G[internalforce_df_G["FrameNo"]== i].Mi * -1 )
    e =(internalforce_df_LiveLoad[internalforce_df_LiveLoad["FrameNo"]== i].Vj * -1 +internalforce_df_G[internalforce_df_G["FrameNo"]== i].Vj * -1)
    fff = (internalforce_df_LiveLoad[internalforce_df_LiveLoad["FrameNo"]== i].Pj *-1 + internalforce_df_G[internalforce_df_G["FrameNo"]== i].Pj  *-1)
    g =(internalforce_df_LiveLoad[internalforce_df_LiveLoad["FrameNo"]== i].Mj +internalforce_df_G[internalforce_df_G["FrameNo"]== i].Mj  )
    temp = [i , float(b.values) , float(c.values) ,float(d.values), float(e.values) ,float(fff.values), float(g.values)]
    internalforce_df_GQ.loc[len(internalforce_df_GQ)] = temp
#print("G+Q Kombinasyonu İç Kuvvetler" "\n" ,internalforce_df_GQ.round(2))
```

Şekil 3.35: G+Q yüklemesi iç kuvvetlerin hesaplanması.

İç kuvvetlerin bulunmasının ardından G, Q, E, G+Q, G+Q+E ve 1.4G+1.6Q yük kombinasyonları irdelenerek, kesitlere etkiyen maksimum kuvvetler elde edilir (Şekil 3.36, Şekil 3.37, Şekil 3.38 ve Şekil 3.39).

```
beams_GQ_df = pd.merge(beams_df , internalforce_df_GQ, on="FrameNo")
beams_G_df = pd.merge(beams_df , internalforce_df_G, on="FrameNo")
beams_Q_df = pd.merge(beams_df , internalforce_df_LiveLoad, on="FrameNo")
beams_GQE_df = pd.merge(beams_df , internalforce_df_GQE, on="FrameNo")
beams_E_df = pd.merge(beams_df , internalforce_df_E, on="FrameNo")
beams_14G16Q_df = pd.merge(beams_df , internalforce_df_14G16Q, on="FrameNo")
columns_GQ_df = pd.merge(columns_df , internalforce_df_GQ, on="FrameNo")
columns_G_df = pd.merge(columns_df , internalforce_df_G, on="FrameNo")
columns_Q_df = pd.merge(columns_df , internalforce_df_LiveLoad, on="FrameNo")
columns_GQE_df = pd.merge(columns_df , internalforce_df_GQE, on="FrameNo")
columns_E_df = pd.merge(columns_df , internalforce_df_E, on="FrameNo")
columns_14G16Q_df = pd.merge(columns_df , internalforce_df_14G16Q, on="FrameNo")
```

Şekil 3.36: Yük kombinasyonlarının irdelenmesi.

```
columns_G_df_Pi_abs = columns_G_df["Pi"].abs()
columns_G_df_Pj_abs = columns_G_df["Pj"].abs()
columns_G_df_Pi_max = int(columns_G_df_Pi_abs.max())
columns_G_df_Pj_max = int(columns_G_df_Pj_abs.max())
#
columns_GQ_df_Pi_abs = columns_GQ_df["Pi"].abs()
columns_GQ_df_Pj_abs = columns_GQ_df["Pj"].abs()
columns_GQ_df_Pi_max = int(columns_GQ_df_Pi_abs.max())
columns_GQ_df_Pj_max = int(columns_GQ_df_Pj_abs.max())
#######################################################
############ Kolona Gelen Max P Kuvveti #############
Nd = max(columns_14G16Q_df_Pi_max,columns_14G16Q_df_Pj_max,columns_E_df_Pi_max,columns_E_df_Pj_max,
    columns_GQE_df_Pi_max ,columns_GQE_df_Pj_max,columns_Q_df_Pi_max,columns_Q_df_Pj_max,
    columns_G_df_Pi_max,columns_G_df_Pj_max,columns_GQ_df_Pi_max,columns_GQ_df_Pj_max)
#######################################################
#######################################################
```

Şekil 3.37: Kolonlara etki eden maksimum P kuvvetinin bulunması.

```
columns_Q_df_Mi_abs = columns_Q_df["Mi"].abs()
columns_Q_df_Mj_abs = columns_Q_df["Mj"].abs()
columns_Q_df_Mi_max = int(columns_Q_df_Mi_abs.max())
columns_Q_df_Mj_max = int(columns_Q_df_Mj_abs.max())
#
columns_G_df_Mi_abs = columns_G_df["Mi"].abs()
columns_G_df_Mj_abs = columns_G_df["Mj"].abs()
columns_G_df_Mi_max = int(columns_G_df_Mi_abs.max())
columns_G_df_Mj_max = int(columns_G_df_Mj_abs.max())
#
columns_GQ_df_Mi_abs = columns_GQ_df["Mi"].abs()
columns_GQ_df_Mj_abs = columns_GQ_df["Mj"].abs()
columns_GQ_df_Mi_max = int(columns_GQ_df_Mi_abs.max())
columns_GQ_df_Mj_max = int(columns_GQ_df_Mj_abs.max())
#####################################################
############ Kolona Gelen Max M #############
Mdk = max(columns_14G16Q_df_Mi_max,columns_14G16Q_df_Mj_max,columns_E_df_Mi_max,columns_E_df_Mj_max,
    columns_GQE_df_Mi_max ,columns_GQE_df_Mj_max,columns_Q_df_Mi_max,columns_Q_df_Mj_max,
    columns_G_df_Mi_max,columns_G_df_Mj_max,columns_GQ_df_Mi_max,columns_GQ_df_Mj_max)
#####################################################
#####################################################
```

Şekil 3.38: Kolonlara etkiye maksimum M kuvvetinin bulunması.

```
beams_Q_df_Mi_abs = beams_Q_df["Mi"].abs()
beams_Q_df_Mj_abs = beams_Q_df["Mj"].abs()
beams_Q_df_Mi_max = int(beams_Q_df_Mi_abs.max())
beams_Q_df_Mj_max = int(beams_Q_df_Mj_abs.max())
#
beams_G_df_Mi_abs = beams_G_df["Mi"].abs()
beams_G_df_Mj_abs = beams_G_df["Mj"].abs()
beams_G_df_Mi_max = int(beams_G_df_Mi_abs.max())
beams_G_df_Mj_max = int(beams_G_df_Mj_abs.max())
#
beams_GQ_df_Mi_abs = beams_GQ_df["Mi"].abs()
beams_GQ_df_Mj_abs = beams_GQ_df["Mj"].abs()
beams_GQ_df_Mi_max = int(beams_GQ_df_Mi_abs.max())
beams_GQ_df_Mj_max = int(beams_GQ_df_Mj_abs.max())
#
Mr = max(beams_14G16Q_df_Mi_max,beams_14G16Q_df_Mj_max,beams_E_df_Mi_max,beams_E_df_Mj_max,
    beams_GQE_df_Mi_max ,beams_GQE_df_Mj_max,beams_Q_df_Mi_max,beams_Q_df_Mj_max,
    beams_G_df_Mi_max,beams_G_df_Mj_max,beams_GQ_df_Mi_max,beams_GQ_df_Mj_max)
```

Şekil 3.39: Kirişlere etkiyen maksimum M kuvvetinin bulunması.

Maksimum iç kuvvetlerin elde edilmesinin ardından, göreli kat ötelemesi kontrolü için kat deplasmanlarının elde edilmesi adımına geçilir. Göreli kat ötelemesi kontrolünün sonucuna göre program, yapının göreli kat ötelemesine uygun olup olmadığını çıktılarda belirtecektir. TBDY-2018 Bölüm 17'ye göre yapılan analizlerde göreli kat ötelenmesi kontrolü aranmamaktadır. Fakat tez kapsamında çalışılan modellerin üzerinde, bu yönlendirmenin doğruluğunu kontrol etme amaçlı olarak göreli kat ötelemesi kontrolünün yapılması programa eklenmiştir (Şekil 3.40).

```
floor_nodes_df = pd.DataFrame(columns = ["NodeNumber","U1"])
floor_nodes_df = pd.merge(Fi_df , displacement_GQE_df, left_on="Node Number",right_on="NodeNumber")
f_nodes_df = floor_nodes_df[["NodeNumber","U1"]].abs()
#print("Kat deplasmanları" ,"\n" ,f_nodes_df ,"\n",
      #"Kat deplasmanlarının oranları", "\n" ,f_nodes_df.diff(periods=1)  ,"\n" ,
      #"Göreli Kat Ötelemeleri", "\n",f_nodes_df.diff(periods=1) / floor_h * YY)
f.write(f"Kat Deplasmanları\n{f_nodes_df}\n")
f.write(f"Göreli Kat Ötelemeleri\n{f_nodes_df.diff(periods=1) / floor_h * YY}\n")
gorel_kat_otel_df = (f_nodes_df.diff(periods=1) / floor_h * YY)[1:]
for count, row in gorel_kat_otel_df.iterrows():
    if row["U1"] <= 0.008:
        print("Göreli kat ötemelesi kontrolü yapılmıştır. Uygundur.")
        f.write(f"Göreli kat ötemelesi kontrolü yapılmıştır. Uygundur.\n")
    else:
        print("Göreli kat ötelemesi kontrolüne göre uygun değildir.")
        f.write(f"Göreli kat ötelemesi kontrolüne göre uygun değildir.\n")
```

Şekil 3.40: Göreli kat ötelemesinin kontrolü.

TBDY-2018 Bölüm 17'ye göre belirlenen kiriş alt ve üst donatı oranlarına göre elde edilen kiriş donatısı, statik hesaptan doğan maksimum momente göre hesaplanan kiriş donatısı ile karşılaştırılır. Eğer statik hesaptan dolayı elde edilen kiriş donatı miktarı, yönetmelikteki minimum değerlerden az ise yönetmelikte belirtilen kiriş donatısı miktarına göre kiriş donatı detayları belirlenir. (Şekil 3.41).

```
### Mr = As * Fyd (d -d') ####
### Kiriş alt min donatı oranı 0.006 / üst min donatı 0.004 ###
Fyd = 365 #N/mm2
dd = 0.025 # m paspayı d'
As = int(Mr) / (Fyd * 1000 * (d -dd) )
alt_donati_alani = bw * d * 0.006
ust_donati_alani = bw * d * 0.004
min_donati_alani = alt_donati_alani + ust_donati_alani
print("Kiriş kesitinde oluşan max moment=", Mr ," kNm")
f.write(f"Kiriş kesitinde oluşan max moment={Mr}kNm\n")
print("Kiriş minimum donatı alanı=", (min_donati_alani* 10000 ), "cm2 olmalıdır.","\n",
      "Statik hesaba göre olması gereken donatı alanı=" ,(As*10000) , "cm2'dir")
f.write(f"Kiriş minimum donatı alanı={min_donati_alani* 10000}cm2 olmalıdır.\n")
f.write(f"Statik hesaba göre olması gereken kiriş donatı alanı={As*10000}cm2'dir.\n")
if min_donati_alani > As:
    donati_alani = min_donati_alani
    print("Kiriş kesiti uygundur.")
    f.write(f"Kiriş kesiti uygundur.\n")
else:
    donati_alani = As
    print("Kiriş donatısını kontrol ediniz.")
    f.write(f"Kiriş donatısını kontrol ediniz.\n")
```

Şekil 3.41: Kiriş donatısının belirlenmesi.

TBDY-2018 Bölüm 17'ye göre kolon kesitlerinin eksenel basınç kuvvetine göre kontrol edilmesi gerekmektedir. Program kolonların eksenel basınç kuvvetine göre uygunluğunu kontrol eder ve P/P_0 oranını hesaplar (Şekil 3.42).

```
Ndmax = Fck *1000 * kolon_kesit_alani
print("Maximum Kolon Eksenel Basınç Kuvveti=",Ndmax,"kN olmalıdır.")
f.write(f"Maximum Kolon Eksenel Basınç Kuvveti={Ndmax}kN olmalıdır.\n")
print("Kolon kesitinde oluşan maximum eksenel basınç kuvveti=" ,Nd ,"kN")
f.write(f"Kolon kesitinde oluşan maximum eksenel basınç kuvveti={Nd}kN\n")
print("P/Po oranı=", Nd/Ndmax)
f.write(f"P/Po oranı={Nd/Ndmax}\n")
if Nd < Ndmax:
    print("Kolon kesiti eksenel basınç kuvveti açısından uygundur.")
    f.write(f"Kolon kesiti eksenel basınç kuvveti açısından uygundur.\n")
else:
    print("Kolon kesitini kontrol ediniz.")
    f.write(f"Kolon kesitini kontrol ediniz.\n")
```

Şekil 3.42: Kolon eksenel basınç kuvvetinin kontrolü.

TBDY-2018 Bölüm 17'ye göre dengeli durumda basınç kuvveti ve eğilme momenti kontrollerinin yapılması gerekmektedir (Şekil 3.43).

```
####  Nor= 0.85 * fcd *(Ag - Ast) + Ast * fyd KOLON EKSENEL BASINÇ DAYANIMI
Fcd = Fck / 1.5 #Mpa
Ag = kolon_kesit_alani
Ast = kolon_kesit_alani / 100
Nor = 0.85 * Fcd * 1000* ( Ag - Ast) + Ast * Fyd
print("Kolon eksenel basınç dayanımı=" , Nor , "kN" )
f.write(f"Kolon eksenel basınç dayanımı={Nor}kN\n")
#### Kolon eksenel çekme dayanımı Ntr = Ast * Fyd
Ntr = Ast * Fyd *1000
print("Kolon eksenel çekme dayanımı=" , Ntr , "kN" )
f.write(f"Kolon eksenel çekme dayanımı={Ntr}kN\n")
###### Dengeli durumda basınç kuvveti ve eğilme momenti
######  Nbr = 0.42 * Fcd * b * h
###### Mbr = Nbr * 0.32 * h + [0.6 * Asu + 0.15* Asg] * Fyd *[0.5 * h - d']
Nbr = 0.42 * Fcd * kolon_kesit_alani *1000
print("Dengeli durumda basınç kuvveti=" , Nbr , "kN" )
f.write(f"Dengeli durumda basınç kuvveti={Nbr}kN\n")
Asu = Ast / 8 * 6
Asg = Ast / 8 * 2
Mbr = Nbr * 0.32 * a  + (0.6 * Asu + 0.15 * Asg) * Fyd * 1000 * ( 0.5 * a - 0.03 )
print("Dengeli durumda eğilme momenti=" , Mbr , "kNm" )
f.write(f"Dengeli durumda eğilme momenti={Mbr}kNm\n")
```

Şekil 3.43: Dengeli durumda basınç kuvveti ve eğilme momenti kontrolü 1.

```
if Nd > Nbr:
    kolon_Mr = abs(((Nor - Nd) / (Nor - Nbr) )* Mbr)
else:
    kolon_Mr = abs(((Nd + Nbr) / (Nbr + Ntr) )* Mbr)
print("Kolonlarda tasarıma esas eğilme momenti=",kolon_Mr,"kNm")
f.write(f"Kolonlarda tasarıma esas eğilme momenti={kolon_Mr}kNm\n")
print("Kolon kesitinde oluşan maximum eğilme momenti=" , Mdk,"kNm")
f.write(f"Kolon kesitinde oluşan maximum eğilme momenti={Mdk}kNm\n")
if kolon_Mr > Mdk:
    print("Kolon kesiti uygundur.")
    f.write(f"Kolon kesiti uygundur.\n")
else:
    print("Kolon kesiti uygun değildir.")
    f.write(f"Kolon kesiti uygun değildir.\n")
```

Şekil 3.44: Dengeli durumda basınç kuvveti ve eğilme momenti kontrolü 2.

Son olarak program, TBDY-2018 Bölüm 17'de belirtilen güçlü kolon zayıf kiriş tahkikine göre gerekli kontrolleri gerçekleştirir (Şekil 3.45).

```
###### Güçlü Kolon Zayıf Kiriş TAhkiki#####
#### Mra + Mrü >= 1.2 * (Mri + Mrj)
Mra = Mrü = Ast * Fyd *1000 * ( a - 2 * 0.03)
Mri = Mrj = As *  Fyd *1000  * ( d - 2 * dd)
#print(Mra ,Mri)
if (Mra + Mrü) >= 1.2 * (Mri + Mrj):
    print("Güçlü kolon zayıf kiriş tahkikine göre kesitler uygundur.")
    f.write(f"Güçlü kolon zayıf kiriş tahkikine göre kesitler uygundur.\n")
else:
    print("Güçlü kolon zayıf kiriş tahkikine göre kesitler uygun değildir.")
    f.write(f"Güçlü kolon zayıf kiriş tahkikine göre kesitler uygun değildir.\n")
print(f"{'-'*50} ANALYSIS COMPLETED {'-'*50}")
f.write(f"{'-'*50} ANALYSIS COMPLETED {'-'*50}")
##
return()
##
#print(f"{'-'*50} ANALYSIS COMPLETED {'-'*50}")

f.close()
```

Şekil 3.45: Güçlü kolon zayıf kiriş kontrolü.

3.2.6.3. Çıktıların alınması

Program analiz işlemlerini tamamladıktan sonra hem analiz ekranında hem de text formatlı dosya olarak sonuçları yazdırmaktadır. Analiz ekranında yapısal bilgiler, kontrollerin sonuçları, donatı bilgileri yer alırken text dosyasında bütün bu bilgilere

ilaveten bütün yükleme ve kombinasyonlara ait iç kuvvet bilgileri yer almaktadır. Örnek text dosyası çıktısı Şekil 3.46-48'de görüldüğü gibidir:

*4757 (1).out - Notepad

File Edit Format View Help

```
4757 (1).$2k
Kat Yüksekliği=4 metre
Kiriş Açıklığı=7,5 metre
Kat Sayısı=7
Açıklık Sayısı=2
Bina Ağırlığı=2674.95kN
Bina periyodu=0.68sn
Kısa periyot için tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısı SDs=1.5612
T=0.6890033274609709sn İçin DD-2 Yatay İvme Spektrumu | Sae(0.68)=0.78g
T=0.6890033274609709sn İçin Yatay DD-3 İvme Spektrumu | Sae(0.68) =0.29g
Taban kesme Kuvveti=410.07kN
Vt/W=0.1533
Dead Load Yüklemesi İç Kuvvetler
    FrameNo      Vi       Pi      Mi      Vj       Pj      Mj
0       1.0  -44.98 -1635.42   59.97   44.98  1635.42  119.94
1       2.0    0.00 -3186.66   -0.00   -0.00  3186.66    0.00
2       3.0   44.98 -1635.42  -59.97  -44.98  1635.42 -119.94
33     34.0    0.00  -233.38 -293.55    0.00  -227.87  272.91
34     35.0    0.00  -227.87 -272.91    0.00  -233.38  293.55
E Yüklemesi İç Kuvvetler
    FrameNo      Vi      Pi      Mi      Vj      Pj      Mj
0       1.0  127.40  404.22 -700.29 -127.40 -404.22  190.70
1       2.0  155.28    0.00 -737.47 -155.28   -0.00  116.35
33     34.0    0.00   31.94  121.59    0.00  -31.94  117.94
34     35.0    0.00   31.94  117.94    0.00  -31.94  121.59
LiveLoad Yüklemesi İç Kuvvetler
    FrameNo     Vi      Pi     Mi     Vj      Pj     Mj
0       1.0 -13.71 -498.60  18.28  13.71  498.60  36.57
1       2.0  -0.00 -971.54   0.00   0.00  971.54   0.00
2       3.0  13.71 -498.60 -18.28 -13.71  498.60 -36.57
33     34.0   0.00  -71.15 -89.50   0.00  -69.47  83.20
34     35.0   0.00  -69.47 -83.20   0.00  -71.15  89.50
```

Şekil 3.46: Çıktı text dosyası 1.

*4757 (1).out - Notepad

File Edit Format View Help

```
G+Q+E Kombinasyonu İç Kuvvetler
   FrameNo    Vi     Pi    Mi    Vj     Pj    Mj
0        1    68  -1729   622    68  -1729   347
1        2   155  -4158   737   155  -4158   116
2        3   186  -2538   778   186  -2538    34
33      34     0   -272   261     0    329   474
34      35     0   -265   238     0    336   504
G+Q Kombinasyonu İç Kuvvetler
    FrameNo      Vi       Pi      Mi      Vj       Pj      Mj
0       1.0  -58.69 -2134.03  -78.25  -58.69 -2134.03  156.51
1       2.0    0.00 -4158.20    0.00    0.00 -4158.20    0.00
2       3.0   58.69 -2134.03   78.25   58.69 -2134.03 -156.51
33     34.0    0.00  -304.53  383.05   -0.00   297.35  356.11
34     35.0    0.00  -297.35  356.11   -0.00   304.53  383.05
1.4G+ 1.6Q Kombinasyonu İç Kuvvetler
    FrameNo      Vi       Pi      Mi      Vj       Pj      Mj
0       1.0  -84.91 -3087.36 -113.21  -84.91 -3087.36  226.42
1       2.0    0.00 -6015.78    0.00    0.00 -6015.78    0.00
2       3.0   84.91 -3087.36  113.21   84.91 -3087.36 -226.42
33     34.0    0.00  -440.57  554.17   -0.00   430.18  515.20
34     35.0    0.00  -430.18  515.20   -0.00   440.57  554.17
Kat Deplasmanları
   NodeNumber        U1
0         4.0  0.002587
1         7.0  0.008119
2        10.0  0.014562
3        13.0  0.020823
4        16.0  0.026288
5        19.0  0.030646
6        22.0  0.033911
```

Şekil 3.47: Çıktı text dosyası 2.

```
*4757 (1).out - Notepad
File  Edit  Format  View  Help
5          19.0  0.030646
6          22.0  0.033911
Göreli Kat Ötelemeleri
   NodeNumber        U1
0         NaN       NaN
1    0.275983  0.000509
2    0.275983  0.000593
3    0.275983  0.000576
4    0.275983  0.000503
5    0.275983  0.000401
6    0.275983  0.000300
Göreli kat ötemelesi kontrolü yapılmıştır. Uygundur.
Göreli kat ötemelesi kontrolü yapılmıştır. Uygundur.
Göreli kat ötemelesi kontrolü yapılmıştır. Uygundur.
Göreli kat ötemelesi kontrolü yapılmıştır. Uygundur.
Göreli kat ötemelesi kontrolü yapılmıştır. Uygundur.
Göreli kat ötemelesi kontrolü yapılmıştır. Uygundur.
Kiriş kesitinde oluşan max moment=674kNm
Kiriş minimum donatı alanı=20.40cm2 olmalıdır.
Statik hesaba göre olması gereken kiriş donatı alanı=28.19cm2'dir.
Kiriş donatısını kontrol ediniz.
Kolon enkesit alanı0.81m2'dir.
Beton Sınıfı:C25
Maximum Kolon Eksenel Basınç Kuvveti=20250.0kN olmalıdır.
Kolon kesitinde oluşan maximum eksenel basınç kuvveti=6015kN
P/Po oranı=0.29 Kolon kesiti eksenel basınç kuvveti açısından uygundur.
Kolon eksenel basınç dayanımı11363.206500000002kN
Kolon eksenel çekme dayanımı2956.5000000000005kN
Dengeli durumda basınç kuvveti5670.0kN
Dengeli durumda eğilme momenti2238.303375kNm
Kolonlarda tasarıma esas eğilme momenti=2102.665459112881kNm
Kolon kesitinde oluşan maximum eğilme momenti=778kNm
Kolon kesiti uygundur.
Kesitler uygundur.
--------------------- ANALYSIS COMPLETED ---------------------
```

Şekil 3.48: Çıktı text dosyası 3.

Analiz ekranında görülen sonuç çıktıları ise şekil 3.49 ve şekil 3.50'de gösterildiği gibidir.

```
[4]: %run eb_analysis_engine_v2.ipynb

for sap2000_modelName in sap2000_models_list[:]:
    for Ss,S1,Ss_DD3,S1_DD3 in zip([1.301, ],[0.356, ],[0.511, ],[0.131, ]):
        EnesBulut_Analysis( sap2000_modelName ,  "ZC" , Ss , S1 , Ss_DD3 , S1_DD3)

332 (4).$2k
Kat Yüksekliği= 3 metre
Kiriş Açıklığı= 3 metre
Kat Sayısı= 2
Açıklık Sayısı= 5
Bina Ağırlığı= 245.378561309275 kN
Bina periyodu= 0.15698986044774535 sn
Kısa periyot için tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısı SDs= 1.5612
T= 0.15698986044774535sn İçin DD-2 Yatay İvme Spektrumu | Sae(0.15698986044774535) =1.56g
T= 0.15698986044774535sn İçin Yatay DD-3 İvme Spektrumu | Sae(0.15698986044774535) =0.61g
Taban kesme Kuvveti= 37.616533448711856 kN
Vt/W= 0.1533
Göreli kat ötemelesi kontrolü yapılmıştır. Uygundur.
Kiriş kesitinde oluşan max moment= 36  kNm
Kiriş minimum donatı alanı= 15.0 cm2 olmalıdır.
 Statik hesaba göre olması gereken donatı alanı= 2.076423936553713 cm2'dir
Kiriş kesiti uygundur.
```

Şekil 3.49: Çıktı ekranı 1.

```
Kolon enkesit alanı 0.09 m2'dir
Beton Sınıfı: C 25
Maximum Kolon Eksenel Basınç Kuvveti= 2250.0 kN olmalıdır.
Kolon kesitinde oluşan maximum eksenel basınç kuvveti= 293 kN
P/Po oranı= 0.1302222222222222
Kolon kesiti eksenel basınç kuvveti açısından uygundur.
Kolon eksenel basınç dayanımı= 1262.5785 kN
Kolon eksenel çekme dayanımı= 328.5 kN
Dengeli durumda basınç kuvveti= 630.0 kN
Dengeli durumda eğilme momenti= 79.69725 kNm
Kolonlarda tasarıma esas eğilme momenti= 76.74549999999999 kNm
Kolon kesitinde oluşan maximum eğilme momenti= 13 kNm
Kolon kesiti uygundur.
Güçlü kolon zayıf kiriş tahkikine göre kesitler uygundur.
------------------------------------------------- ANALYSIS COMPLETED -----------------------
```

Şekil 3.50: Çıktı ekranı 2.

3.2.6.4. Programın kontrolü ve SAP2000 karşılaştırması

Geliştirilen çerçeve program ile hesaplanan eleman özelliklerinin, SAP2000 programı ile karşılaştırılması programın geçerliliği açısından önemlidir. Bu amaçla yapıda kritik önem sahip bazı büyüklükler aşağıdaki örneklerde olduğu üzere irdelenmiştir. Noktasal mass atamalarının karşılaştırılması şekil 3.51'de görüldüğü gibidir.

TABLE: Assembled Joint Masses			
Joint	MassSource	U1	
Text	Text	KN-s2/m	PYTHON
1	MSSSRC1	0.58	0.576467278
2	MSSSRC1	2.24	2.237150917
3	MSSSRC1	2.24	2.237150917
4	MSSSRC1	2.24	2.237150917
5	MSSSRC1	0.58	0.576467278
6	MSSSRC1	3.14	3.13788104
7	MSSSRC1	3.14	3.13788104
8	MSSSRC1	3.14	3.13788104
9	MSSSRC1	0.58	0.576467278
10	MSSSRC1	3.14	3.13788104
11	MSSSRC1	3.14	3.13788104
12	MSSSRC1	3.14	3.13788104
13	MSSSRC1	0.58	0.576467278
14	MSSSRC1	2.24	2.237150917
15	MSSSRC1	2.24	2.237150917
16	MSSSRC1	2.24	2.237150917
17	MSSSRC1	2.24	2.237150917
18	MSSSRC1	3.14	3.13788104
19	MSSSRC1	3.14	3.13788104
20	MSSSRC1	2.24	2.237150917
21	MSSSRC1	1.66	1.660683639
22	MSSSRC1	2.56	2.561413761
23	MSSSRC1	2.56	2.561413761
24	MSSSRC1	1.66	1.660683639

Şekil 3.51: SAP2000 ve program Mass atamaları karşılaştırması.

Periyotların karşılaştırılması şekil 3.54'de görüldüğü gibidir.

Modal Periods And Frequencies

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0,464738	2,1518	13,52	182,79
MODAL	Mode	2	0,134157	7,4539	46,834	2193,5
MODAL	Mode	3	0,070239	14,237	89,454	8002,1
MODAL	Mode	4	0,045642	21,91	137,66	18951
MODAL	Mode	5	0,034614	28,89	181,52	32951
MODAL	Mode	6	0,029586	33,8	212,37	45101
MODAL	Mode	7	0,02872	34,819	218,78	47863
MODAL	Mode	8	0,024602	40,646	255,39	65224
MODAL	Mode	9	0,024565	40,708	255,78	65421
MODAL	Mode	10	0,015357	65,117	409,14	167400
MODAL	Mode	11	0,013679	73,103	459,32	210980
MODAL	Mode	12	0,01027	97,368	611,78	374280

Şekil 3.52: SAP2000 periyotları.

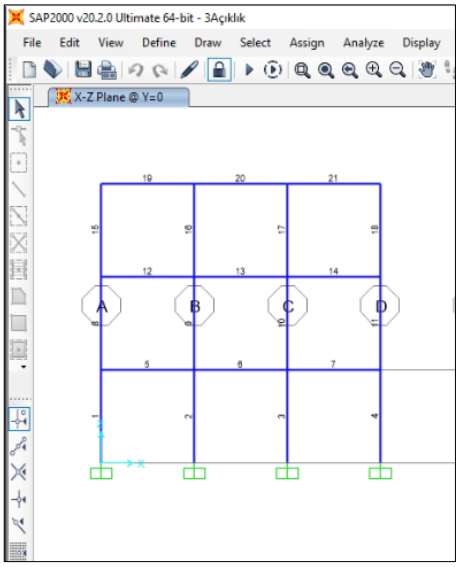
```
[85]: for i in range(0,numEigen_aad):
          lamb = eigenvalues_aad[i]
          period= str(2 * PI / math.sqrt(lamb))
          p={'Period':[period]}
          p_df=pd.DataFrame(p)
          print(p_df)

                  Period
0  0.4597687677060793
                   Period
0  0.13240166729891553
                   Period
0  0.06916475120529099
```

Şekil 3.53: Program periyotları.

TABLE: Modal Periods And Frequencies				
OutputCase	StepType	StepNum	Period	
Text	Text	Unitless	Sec	PYTHON
MODAL	Mode	1	0.464738	0.459768768
MODAL	Mode	2	0.134157	0.132401667
MODAL	Mode	3	0.070239	0.069164751

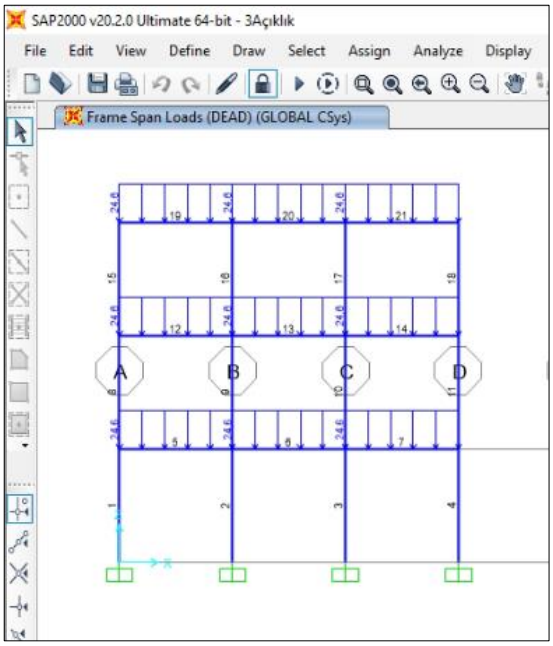
Şekil 3.54: SAP2000 ve program periyotları karşılaştırmaları.

İç kuvvetlerin karşılaştırılması için örnek olarak 333 (2).$2k modeli seçilmiştir. (Şekil 3.55)



Şekil 3.55: 333 (2).$2k modeli.

Eleman iç kuvvet karşılaştırmaları için Dead Load yüklemesi örnek seçilmiştir.



Şekil 3.56: 333 (2).$2k modeli Dead Load yüklemesi.

Dead Load Yüklemesi İç Kuvvetler

	FrameNo	Vi	Pi	Mi	Vj	Pj	Mj
0	1.0	-1.90	-103.80	1.90	1.90	103.80	3.80
1	2.0	0.02	-228.30	-0.02	-0.02	228.30	-0.05
2	3.0	-0.02	-228.30	0.02	0.02	228.30	0.05
3	4.0	1.90	-103.80	-1.90	-1.90	103.80	-3.80
4	5.0	0.00	-33.98	-9.61	0.00	-39.82	18.38
5	6.0	0.00	-36.90	-18.56	0.00	-36.90	18.56
6	7.0	0.00	-39.82	-18.38	0.00	-33.98	9.61
7	8.0	-3.92	-69.82	5.82	3.92	69.82	5.93
8	9.0	-0.24	-151.58	0.22	0.24	151.58	0.51
9	10.0	0.24	-151.58	-0.22	-0.24	151.58	-0.51
10	11.0	3.92	-69.82	-5.82	-3.92	69.82	-5.93
11	12.0	0.00	-35.88	-12.87	0.00	-37.92	15.94
12	13.0	0.00	-36.90	-17.21	0.00	-36.90	17.21
13	14.0	0.00	-37.92	-15.94	0.00	-35.88	12.87
14	15.0	-4.92	-33.95	6.94	4.92	33.95	7.82
15	16.0	-0.49	-76.75	0.76	0.49	76.75	0.72

Şekil 3.57: Program iç kuvvet sonuçları.

Element Forces - Frames

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

Element Forces - Frames

Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem Text
1	0	DEAD	LinStatic	-103,74	-1,885	0	0	0	-1,8579	1-1
1	1,5	DEAD	LinStatic	-103,74	-1,885	0	0	0	0,9696	1-1
1	3	DEAD	LinStatic	-103,74	-1,885	0	0	0	3,7972	1-1
2	0	DEAD	LinStatic	-228,36	0,013	0	0	0	0,0124	2-1
2	1,5	DEAD	LinStatic	-228,36	0,013	0	0	0	-0,0065	2-1
2	3	DEAD	LinStatic	-228,36	0,013	0	0	0	-0,0254	2-1
3	0	DEAD	LinStatic	-228,36	-0,013	0	0	0	-0,0124	3-1
3	1,5	DEAD	LinStatic	-228,36	-0,013	0	0	0	0,0065	3-1
3	3	DEAD	LinStatic	-228,36	-0,013	0	0	0	0,0254	3-1
4	0	DEAD	LinStatic	-103,74	1,885	0	0	0	1,8579	4-1
4	1,5	DEAD	LinStatic	-103,74	1,885	0	0	0	-0,9696	4-1
4	3	DEAD	LinStatic	-103,74	1,885	0	0	0	-3,7972	4-1
5	0	DEAD	LinStatic	0	-33,984	0	0	0	-9,5576	5-1
5	0,5	DEAD	LinStatic	0	-21,684	0	0	0	4,3597	5-1
5	1	DEAD	LinStatic	0	-9,384	0	0	0	12,1269	5-1

Record: << < 1 > >> of 99 Add Tables... Done

Şekil 3.58: SAP2000 iç kuvvet sonuçları.

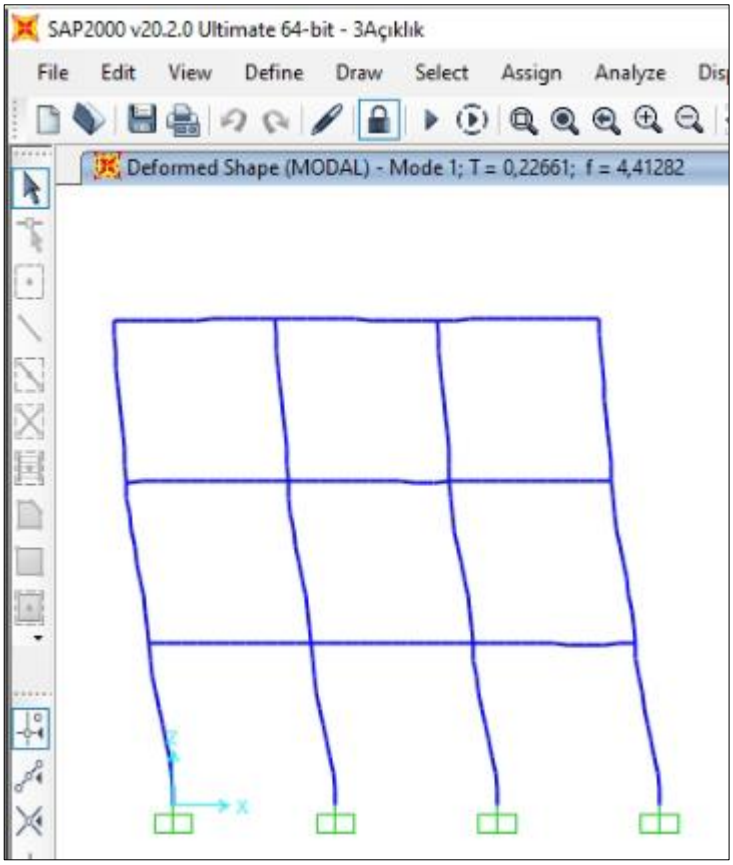
Periyot karşılaştırmaları Şekil 3.59 ve Şekil 3.60'da görüldüğü gibidir.

333 (2).out - Notepad

File Edit Format View Help

```
333 (2).$2k
Kat Yüksekliği=3 metre
Kiriş Açıklığı=3 metre
Kat Sayısı=3
Açıklık Sayısı=3
Bina Ağırlığı=228.47515658199157kN
Bina periyodu=0.22049153553056805sn
```

Şekil 3.59: Program bina periyodu.



Şekil 3.60: SAP2000 periyot görüntüsü.

4. SAYISAL ÖRNEKLER

4.1. Yapı Grupları

Sayısal örnek olarak toplamda 336 adet yapı modeli üretilmiştir. Bu modeller Gebze(yüksek sismisite) ve Konya (düşük sismisite) bölgelerinde analiz edilerek toplamda 672 adet analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. 336 adet modelin analiz süresi, eb_MainCode programında 45 dakika sürmektedir. Ve bu süre sonucunda çıktılar oluşturularak çeşitli irdelemeler yapılmıştır. Çıktılar üzerinden yine Python kodlama dili kullanılarak irdeleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Modeller TBDY-2018 Bölüm 17'de belirtilen kıstaslara göre oluşturulmuştur. Kat yükseklikleri 3 metre ve 4 metre, kiriş açıklıkları 3 metre, 4,5 metre, 6 metre ve 7,5 metre, kat sayısı TBDY-2018 Bölüm 17'de belirtilen maksimum kat yüksekliği sınırını (30 metre) aşmadan 10 kata kadar ve kiriş açıklık sayıları da yine TBDY-2018 Bölüm 17'de belirtilen maksimum yapı boyu ve minimum açıklık sayısı kurallarına riayet edilecek şekilde modeller oluşturulmuştur. Gebze ve Konya bölgelerinde, deprem yer hareketi düzeyi DD-2 ve DD-3 için S_s ve S_1 değerleri, "Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması" üzerinden elde edilmiştir [11].

Şekil 4.1: DD-2 Gebze bölgesi için S_s ve S_1 katsayıları.

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Rapor_2	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	40.811334°	
Boylam	29.363824°	

Çıktılar

$S_S = 0.511$ $S_1 = 0.131$ $PGA=0.220$ $PGV=13.258$

Şekil 4.2: DD-3 Gebze bölgesi için S_s ve S_1 katsayıları.

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Konya DD-2	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	37.867661°	
Boylam	32.527937°	

Çıktılar

$S_S = 0.300$ $S_1 = 0.071$ $PGA=0.130$ $PGV=6.544$

Şekil 4.3: DD-2 Konya bölgesi için S_s ve S_1 katsayıları.

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Konya DD-3	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	37.867661°	
Boylam	32.527937°	

Çıktılar

$S_S = 0.098$ $S_1 = 0.027$ $PGA=0.043$ $PGV=2.416$

Şekil 4.4: DD-3 Konya bölgesi için S_s ve S_1 katsayıları.

S_s ve S_1 değerleri girildikten sonra program S_{DS} değerini hesaplar. AFAD uygulaması ve programın hesapladığı S_{DS} değerlerinin karşılaştırmasını Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görebiliriz.

```
4757 (1).$2k
Kat Yüksekliği=4 metre
Kiriş Açıklığı=7,5 metre
Kat Sayısı=7
Açıklık Sayısı=2
Bina Ağırlığı=2674.956859783945kN
Bina periyodu=0.6890033274609709sn
Kısa periyot için tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısı SDs=1.5612
```

Şekil 4.5: Program tarafından hesaplanan S_{DS} değeri.

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

$$S_{DS} = S_S\, F_S = 1.301 \text{ x } 1.200 = 1.561$$

Şekil 4.6: AFAD uygulaması S_{DS} değeri.

Analizleri gerçekleştirilen modellere ait detaylar Tablo 4.1-8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Kat yüksekliği 3 metre ve kiriş açıklığı 3 metre olan yapılar.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
1	1	3	3	3	10	30	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
2	1	3	3	3	9	27	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
3	1	3	3	3	8	24	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
4	1	3	3	3	7	21	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
5	1	3	3	3	6	18	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
6	1	3	3	3	5	15	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
7	1	3	3	3	4	12	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
8	1	3	3	3	3	9	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
9	1	3	3	3	2	6	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
10	2	3	6	3	10	30	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
11	2	3	6	3	9	27	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
12	2	3	6	3	8	24	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
13	2	3	6	3	7	21	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
14	2	3	6	3	6	18	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
15	2	3	6	3	5	15	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
16	2	3	6	3	4	12	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
17	2	3	6	3	3	9	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
18	2	3	6	3	2	6	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
19	3	3	9	3	10	30	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
20	3	3	9	3	9	27	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
21	3	3	9	3	8	24	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
22	3	3	9	3	7	21	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
23	3	3	9	3	6	18	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
24	3	3	9	3	5	15	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
25	3	3	9	3	4	12	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25

Tablo 4.1: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
26	3	3	9	3	3	9	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
27	3	3	9	3	2	6	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
28	4	3	12	3	10	30	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
29	4	3	12	3	9	27	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
30	4	3	12	3	8	24	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
31	4	3	12	3	7	21	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
32	4	3	12	3	6	18	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
33	4	3	12	3	5	15	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
34	4	3	12	3	4	12	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
35	4	3	12	3	3	9	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
36	4	3	12	3	2	6	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
37	5	3	15	3	10	30	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
38	5	3	15	3	9	27	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
39	5	3	15	3	8	24	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
40	5	3	15	3	7	21	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
41	5	3	15	3	6	18	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
42	5	3	15	3	5	15	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
43	5	3	15	3	4	12	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
44	5	3	15	3	3	9	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
45	5	3	15	3	2	6	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
46	6	3	18	3	10	30	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
47	6	3	18	3	9	27	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
48	6	3	18	3	8	24	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
49	6	3	18	3	7	21	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
50	6	3	18	3	6	18	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25

Tablo 4.1: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
51	6	3	18	3	5	15	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
52	6	3	18	3	4	12	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
53	6	3	18	3	3	9	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
54	6	3	18	3	2	6	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
55	7	3	21	3	10	30	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
56	7	3	21	3	9	27	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
57	7	3	21	3	8	24	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
58	7	3	21	3	7	21	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
59	7	3	21	3	6	18	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
60	7	3	21	3	5	15	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
61	7	3	21	3	4	12	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
62	7	3	21	3	3	9	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
63	7	3	21	3	2	6	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
64	8	3	24	3	10	30	72	0,151	38	38	0,1444	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
65	8	3	24	3	9	27	72	0,151	38	38	0,1444	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
66	8	3	24	3	8	24	72	0,151	38	38	0,1444	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
67	8	3	24	3	7	21	72	0,151	38	38	0,1444	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
68	8	3	24	3	6	18	72	0,151	38	38	0,1444	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
69	8	3	24	3	5	15	72	0,151	38	38	0,1444	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
70	8	3	24	3	4	12	72	0,151	38	38	0,1444	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
71	8	3	24	3	3	9	72	0,151	38	38	0,1444	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
72	8	3	24	3	2	6	72	0,151	38	38	0,1444	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
73	9	3	27	3	10	30	81	0,17	41	41	0,1681	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
74	9	3	27	3	9	27	81	0,17	41	41	0,1681	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
75	9	3	27	3	8	24	81	0,17	41	41	0,1681	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25

Tablo 4.1: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
76	9	3	27	3	7	21	81	0,17	41	41	0,1681	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
77	9	3	27	3	6	18	81	0,17	41	41	0,1681	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
78	9	3	27	3	5	15	81	0,17	41	41	0,1681	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
79	9	3	27	3	4	12	81	0,17	41	41	0,1681	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
80	9	3	27	3	3	9	81	0,17	41	41	0,1681	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
81	9	3	27	3	2	6	81	0,17	41	41	0,1681	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25

Tablo 4.2: Kat yüksekliği 3 metre ve kiriş açıklığı 4,5 metre olan yapılar.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
1	1	3	3	4,5	6	27	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
2	1	3	3	4,5	5	22,5	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
3	1	3	3	4,5	4	18	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
4	1	3	3	4,5	3	13,5	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
5	1	3	3	4,5	2	9	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
6	2	3	6	4,5	6	27	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
7	2	3	6	4,5	5	22,5	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
8	2	3	6	4,5	4	18	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
9	2	3	6	4,5	3	13,5	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
10	2	3	6	4,5	2	9	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
11	3	3	9	4,5	6	27	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
12	3	3	9	4,5	5	22,5	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25

Tablo 4.2: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
13	3	3	9	4,5	4	18	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
14	3	3	9	4,5	3	13,5	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
15	3	3	9	4,5	2	9	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
16	4	3	12	4,5	6	27	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
17	4	3	12	4,5	5	22,5	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
18	4	3	12	4,5	4	18	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
19	4	3	12	4,5	3	13,5	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
20	4	3	12	4,5	2	9	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
21	5	3	15	4,5	6	27	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
22	5	3	15	4,5	5	22,5	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
23	5	3	15	4,5	4	18	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
24	5	3	15	4,5	3	13,5	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
25	5	3	15	4,5	2	9	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
26	6	3	18	4,5	6	27	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
27	6	3	18	4,5	5	22,5	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
28	6	3	18	4,5	4	18	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
29	6	3	18	4,5	3	13,5	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
30	6	3	18	4,5	2	9	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
31	7	3	21	4,5	6	27	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
32	7	3	21	4,5	5	22,5	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
33	7	3	21	4,5	4	18	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
34	7	3	21	4,5	3	13,5	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
35	7	3	21	4,5	2	9	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25

Tablo 4.2: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
36	8	3	24	4,5	6	27	162	0,34	58	58	0,3364	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
37	8	3	24	4,5	5	22,5	162	0,34	58	58	0,3364	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
38	8	3	24	4,5	4	18	162	0,34	58	58	0,3364	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
39	8	3	24	4,5	3	13,5	162	0,34	58	58	0,3364	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
40	8	3	24	4,5	2	9	162	0,34	58	58	0,3364	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
41	9	3	27	4,5	6	27	182,25	0,383	61	61	0,3721	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
42	9	3	27	4,5	5	22,5	182,25	0,383	61	61	0,3721	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
43	9	3	27	4,5	4	18	182,25	0,383	61	61	0,3721	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
44	9	3	27	4,5	3	13,5	182,25	0,383	61	61	0,3721	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
45	9	3	27	4,5	2	9	182,25	0,383	61	61	0,3721	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25

Tablo 4.3: Kat yüksekliği 3 metre ve kiriş açıklığı 6 metre olan yapılar.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
1	1	3	3	6	5	30	36	0,076	30	30	0,09	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
2	1	3	3	6	4	24	36	0,076	30	30	0,09	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
3	1	3	3	6	3	18	36	0,076	30	30	0,09	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
4	1	3	3	6	2	12	36	0,076	30	30	0,09	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
5	2	3	6	6	5	30	72	0,151	38	38	0,1444	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
6	2	3	6	6	4	24	72	0,151	38	38	0,1444	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25

Tablo 4.3: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
7	2	3	6	6	3	18	72	0,151	38	38	0,1444	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
8	2	3	6	6	2	12	72	0,151	38	38	0,1444	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
9	3	3	9	6	5	30	108	0,227	47	47	0,2209	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
10	3	3	9	6	4	24	108	0,227	47	47	0,2209	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
11	3	3	9	6	3	18	108	0,227	47	47	0,2209	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
12	3	3	9	6	2	12	108	0,227	47	47	0,2209	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
13	4	3	12	6	5	30	144	0,302	54	54	0,2916	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
14	4	3	12	6	4	24	144	0,302	54	54	0,2916	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
15	4	3	12	6	3	18	144	0,302	54	54	0,2916	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
16	4	3	12	6	2	12	144	0,302	54	54	0,2916	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
17	5	3	15	6	5	30	180	0,378	61	61	0,3721	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
18	5	3	15	6	4	24	180	0,378	61	61	0,3721	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
19	5	3	15	6	3	18	180	0,378	61	61	0,3721	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
20	5	3	15	6	2	12	180	0,378	61	61	0,3721	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
21	6	3	18	6	5	30	216	0,454	67	67	0,4489	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
22	6	3	18	6	4	24	216	0,454	67	67	0,4489	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
23	6	3	18	6	3	18	216	0,454	67	67	0,4489	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
24	6	3	18	6	2	12	216	0,454	67	67	0,4489	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
25	7	3	21	6	5	30	252	0,529	72	72	0,5184	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
26	7	3	21	6	4	24	252	0,529	72	72	0,5184	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
27	7	3	21	6	3	18	252	0,529	72	72	0,5184	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
28	7	3	21	6	2	12	252	0,529	72	72	0,5184	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
29	8	3	24	6	5	30	288	0,605	77	77	0,5929	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
30	8	3	24	6	4	24	288	0,605	77	77	0,5929	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25

Tablo 4.3: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
31	8	3	24	6	3	18	288	0,605	77	77	0,5929	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
32	8	3	24	6	2	12	288	0,605	77	77	0,5929	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
33	9	3	27	6	5	30	324	0,68	82	82	0,6724	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
34	9	3	27	6	4	24	324	0,68	82	82	0,6724	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
35	9	3	27	6	3	18	324	0,68	82	82	0,6724	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
36	9	3	27	6	2	12	324	0,68	82	82	0,6724	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25

Tablo 4.4: Kat yüksekliği 3 metre ve kiriş açıklığı 7,5 metre olan yapılar.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
1	1	3	3	7,5	4	30	56,25	0,118	34	34	0,1156	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
2	1	3	3	7,5	3	22,5	56,25	0,118	34	34	0,1156	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
3	1	3	3	7,5	2	15	56,25	0,118	34	34	0,1156	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
4	2	3	6	7,5	4	30	112,5	0,236	48	48	0,2304	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
5	2	3	6	7,5	3	22,5	112,5	0,236	48	48	0,2304	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
6	2	3	6	7,5	2	15	112,5	0,236	48	48	0,2304	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
7	3	3	9	7,5	4	30	168,75	0,354	59	59	0,3481	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
8	3	3	9	7,5	3	22,5	168,75	0,354	59	59	0,3481	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
9	3	3	9	7,5	2	15	168,75	0,354	59	59	0,3481	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
10	4	3	12	7,5	4	30	225	0,473	68	68	0,4624	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
11	4	3	12	7,5	3	22,5	225	0,473	68	68	0,4624	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
12	4	3	12	7,5	2	15	225	0,473	68	68	0,4624	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25

Tablo 4.4: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
13	5	3	15	7,5	4	30	281,25	0,591	76	76	0,5776	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
14	5	3	15	7,5	3	22,5	281,25	0,591	76	76	0,5776	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
15	5	3	15	7,5	2	15	281,25	0,591	76	76	0,5776	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
16	6	3	18	7,5	4	30	337,5	0,709	84	84	0,7056	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
17	6	3	18	7,5	3	22,5	337,5	0,709	84	84	0,7056	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
18	6	3	18	7,5	2	15	337,5	0,709	84	84	0,7056	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
19	7	3	21	7,5	4	30	393,75	0,827	90	90	0,81	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
20	7	3	21	7,5	3	22,5	393,75	0,827	90	90	0,81	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
21	7	3	21	7,5	2	15	393,75	0,827	90	90	0,81	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
22	8	3	24	7,5	4	30	450	0,945	97	97	0,9409	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
23	8	3	24	7,5	3	22,5	450	0,945	97	97	0,9409	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
24	8	3	24	7,5	2	15	450	0,945	97	97	0,9409	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
25	9	3	27	7,5	4	30	506,25	1,063	103	103	1,0609	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
26	9	3	27	7,5	3	22,5	506,25	1,063	103	103	1,0609	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
27	9	3	27	7,5	2	15	506,25	1,063	103	103	1,0609	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25

Tablo 4.5: Kat yüksekliği 4 metre ve kiriş açıklığı 3 metre olan yapılar.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
1	1	4	4	3	10	30	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
2	1	4	4	3	9	27	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
3	1	4	4	3	8	24	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25

Tablo 4.5: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
4	1	4	4	3	7	21	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
5	1	4	4	3	6	18	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
6	1	4	4	3	5	15	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
7	1	4	4	3	4	12	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
8	1	4	4	3	3	9	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
9	1	4	4	3	2	6	9	0,019	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
10	2	4	8	3	10	30	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
11	2	4	8	3	9	27	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
12	2	4	8	3	8	24	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
13	2	4	8	3	7	21	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
14	2	4	8	3	6	18	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
15	2	4	8	3	5	15	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
16	2	4	8	3	4	12	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
17	2	4	8	3	3	9	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
18	2	4	8	3	2	6	18	0,038	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
19	3	4	12	3	10	30	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
20	3	4	12	3	9	27	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
21	3	4	12	3	8	24	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
22	3	4	12	3	7	21	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
23	3	4	12	3	6	18	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
24	3	4	12	3	5	15	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
25	3	4	12	3	4	12	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
26	3	4	12	3	3	9	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
27	3	4	12	3	2	6	27	0,057	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
28	4	4	16	3	10	30	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25

Tablo 4.5: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
29	4	4	16	3	9	27	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
30	4	4	16	3	8	24	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
31	4	4	16	3	7	21	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
32	4	4	16	3	6	18	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
33	4	4	16	3	5	15	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
34	4	4	16	3	4	12	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
35	4	4	16	3	3	9	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
36	4	4	16	3	2	6	36	0,076	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
37	5	4	20	3	10	30	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
38	5	4	20	3	9	27	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
39	5	4	20	3	8	24	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
40	5	4	20	3	7	21	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
41	5	4	20	3	6	18	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
42	5	4	20	3	5	15	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
43	5	4	20	3	4	12	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
44	5	4	20	3	3	9	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
45	5	4	20	3	2	6	45	0,095	30	30	0,09	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
46	6	4	24	3	10	30	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
47	6	4	24	3	9	27	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
48	6	4	24	3	8	24	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
49	6	4	24	3	7	21	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
50	6	4	24	3	6	18	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
51	6	4	24	3	5	15	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
52	6	4	24	3	4	12	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
53	6	4	24	3	3	9	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
54	6	4	24	3	2	6	54	0,113	33	33	0,1089	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25

Tablo 4.5: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
55	7	4	28	3	10	30	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
56	7	4	28	3	9	27	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
57	7	4	28	3	8	24	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
58	7	4	28	3	7	21	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
59	7	4	28	3	6	18	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
60	7	4	28	3	5	15	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
61	7	4	28	3	4	12	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
62	7	4	28	3	3	9	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25
63	7	4	28	3	2	6	63	0,132	36	36	0,1296	27	50	30	8,2	24,6	2,5	7,5	C25

Tablo 4.6: Kat yüksekliği 4 metre ve kiriş açıklığı 4,5 metre olan yapılar.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
1	1	4	4	4,5	6	27	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
2	1	4	4	4,5	5	22,5	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
3	1	4	4	4,5	4	18	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
4	1	4	4	4,5	3	13,5	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
5	1	4	4	4,5	2	9	20,25	0,043	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
6	2	4	8	4,5	6	27	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
7	2	4	8	4,5	5	22,5	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
8	2	4	8	4,5	4	18	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
9	2	4	8	4,5	3	13,5	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25

Tablo 4.6: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
10	2	4	8	4,5	2	9	40,5	0,085	30	30	0,09	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
11	3	4	12	4,5	6	27	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
12	3	4	12	4,5	5	22,5	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
13	3	4	12	4,5	4	18	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
14	3	4	12	4,5	3	13,5	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
15	3	4	12	4,5	2	9	60,75	0,128	35	35	0,1225	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
16	4	4	16	4,5	6	27	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
17	4	4	16	4,5	5	22,5	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
18	4	4	16	4,5	4	18	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
19	4	4	16	4,5	3	13,5	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
20	4	4	16	4,5	2	9	81	0,17	41	41	0,1681	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
21	5	4	20	4,5	6	27	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
22	5	4	20	4,5	5	22,5	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
23	5	4	20	4,5	4	18	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
24	5	4	20	4,5	3	13,5	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
25	5	4	20	4,5	2	9	101,25	0,213	46	46	0,2116	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
26	6	4	24	4,5	6	27	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
27	6	4	24	4,5	5	22,5	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
28	6	4	24	4,5	4	18	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
29	6	4	24	4,5	3	13,5	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
30	6	4	24	4,5	2	9	121,5	0,255	50	50	0,25	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
31	7	4	28	4,5	6	27	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
32	7	4	28	4,5	5	22,5	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
33	7	4	28	4,5	4	18	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
34	7	4	28	4,5	3	13,5	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25
35	7	4	28	4,5	2	9	141,75	0,298	54	54	0,2916	41	50	30	8,2	36,9	2,5	11,25	C25

Tablo 4.7: Kat yüksekliği 4 metre ve kiriş açıklığı 6 metre olan yapılar.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
1	1	4	4	6	5	30	36	0,076	30	30	0,09	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
2	1	4	4	6	4	24	36	0,076	30	30	0,09	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
3	1	4	4	6	3	18	36	0,076	30	30	0,09	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
4	1	4	4	6	2	12	36	0,076	30	30	0,09	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
5	2	4	8	6	5	30	72	0,151	38	38	0,1444	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
6	2	4	8	6	4	24	72	0,151	38	38	0,1444	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
7	2	4	8	6	3	18	72	0,151	38	38	0,1444	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
8	2	4	8	6	2	12	72	0,151	38	38	0,1444	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
9	3	4	12	6	5	30	108	0,227	47	47	0,2209	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
10	3	4	12	6	4	24	108	0,227	47	47	0,2209	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
11	3	4	12	6	3	18	108	0,227	47	47	0,2209	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
12	3	4	12	6	2	12	108	0,227	47	47	0,2209	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
13	4	4	16	6	5	30	144	0,302	54	54	0,2916	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
14	4	4	16	6	4	24	144	0,302	54	54	0,2916	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
15	4	4	16	6	3	18	144	0,302	54	54	0,2916	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
16	4	4	16	6	2	12	144	0,302	54	54	0,2916	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
17	5	4	20	6	5	30	180	0,378	61	61	0,3721	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
18	5	4	20	6	4	24	180	0,378	61	61	0,3721	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
19	5	4	20	6	3	18	180	0,378	61	61	0,3721	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
20	5	4	20	6	2	12	180	0,378	61	61	0,3721	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
21	6	4	24	6	5	30	216	0,454	67	67	0,4489	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
22	6	4	24	6	4	24	216	0,454	67	67	0,4489	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
23	6	4	24	6	3	18	216	0,454	67	67	0,4489	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
24	6	4	24	6	2	12	216	0,454	67	67	0,4489	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
25	7	4	28	6	5	30	252	0,529	72	72	0,5184	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25

Tablo 4.7: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
26	7	4	28	6	4	24	252	0,529	72	72	0,5184	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
27	7	4	28	6	3	18	252	0,529	72	72	0,5184	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25
28	7	4	28	6	2	12	252	0,529	72	72	0,5184	55	50	30	8,2	49,2	2,5	15	C25

Tablo 4.8: Kat yüksekliği 4 metre ve kiriş açıklığı 7,5 metre olan yapılar.

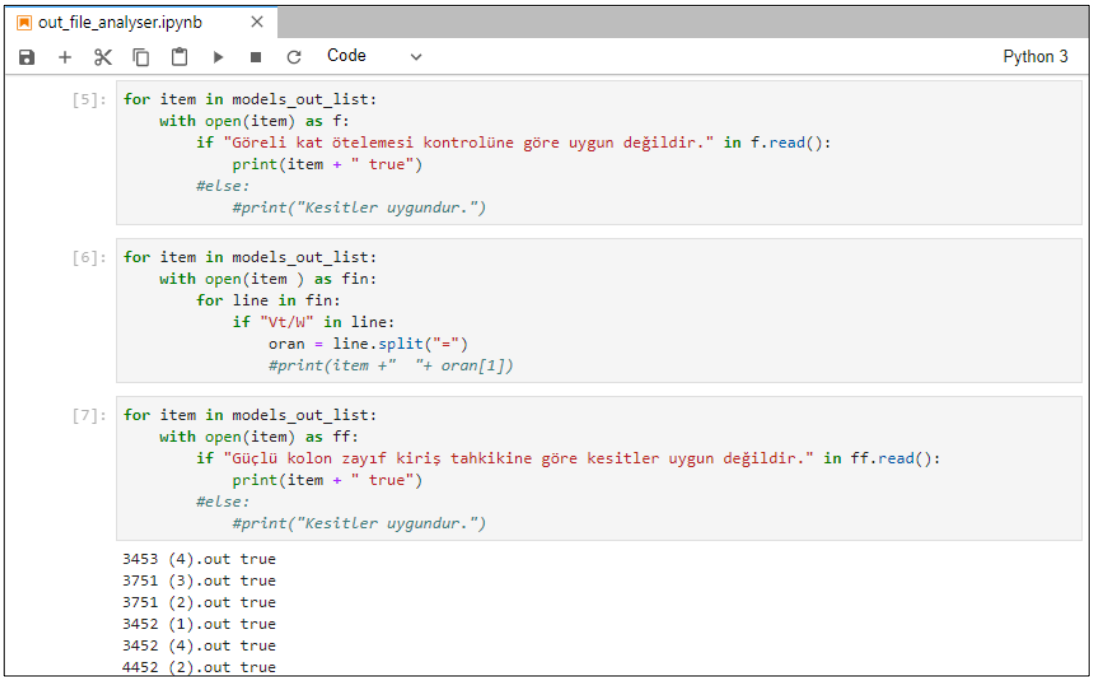
	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
1	1	4	4	7,5	4	30	56,25	0,118	34	34	0,1156	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
2	1	4	4	7,5	3	22,5	56,25	0,118	34	34	0,1156	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
3	1	4	4	7,5	2	15	56,25	0,118	34	34	0,1156	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
4	2	4	8	7,5	4	30	112,5	0,236	48	48	0,2304	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
5	2	4	8	7,5	3	22,5	112,5	0,236	48	48	0,2304	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
6	2	4	8	7,5	2	15	112,5	0,236	48	48	0,2304	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
7	3	4	12	7,5	4	30	168,75	0,354	59	59	0,3481	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
8	3	4	12	7,5	3	22,5	168,75	0,354	59	59	0,3481	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
9	3	4	12	7,5	2	15	168,75	0,354	59	59	0,3481	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
10	4	4	16	7,5	4	30	225	0,473	68	68	0,4624	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
11	4	4	16	7,5	3	22,5	225	0,473	68	68	0,4624	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
12	4	4	16	7,5	2	15	225	0,473	68	68	0,4624	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
13	5	4	20	7,5	4	30	281,25	0,591	76	76	0,5776	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
14	5	4	20	7,5	3	22,5	281,25	0,591	76	76	0,5776	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
15	5	4	20	7,5	2	15	281,25	0,591	76	76	0,5776	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25

Tablo 4.8: Devam.

	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Kiriş Açıklığı (m)	Açıklık Sayısı	Kenar Uzunluğu (m)	Kolon Etki Alanı (m2)	Minimum Kolon Kesit Alanı (m2)	Kolon Kesiti (cm)		Kolon Kesit Alanı (m2)	Minimum Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Kesiti (cm)		Ölü Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Ölü Yük (kN/m)	Hareketli Yük (kN/m2)	Kirişe Gelen Hareketli Yük (kN/m)	Beton Sınıfı
16	6	4	24	7,5	4	30	337,5	0,709	84	84	0,7056	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
17	6	4	24	7,5	3	22,5	337,5	0,709	84	84	0,7056	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
18	6	4	24	7,5	2	15	337,5	0,709	84	84	0,7056	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
19	7	4	28	7,5	4	30	393,75	0,827	90	90	0,81	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
20	7	4	28	7,5	3	22,5	393,75	0,827	90	90	0,81	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25
21	7	4	28	7,5	2	15	393,75	0,827	90	90	0,81	68	50	30	8,2	61,5	2,5	18,75	C25

4.2. Analiz Sonuçları

Analiz işlemleri sonucunda, Gebze ve Konya bölgelerinde 336'şar adet çıktı dosyası elde edilmiştir. Elde edilen çıktı dosyaları Python programlama dili kullanılarak yaratılan out_file_analyser programı kullanılarak irdelenmiştir.



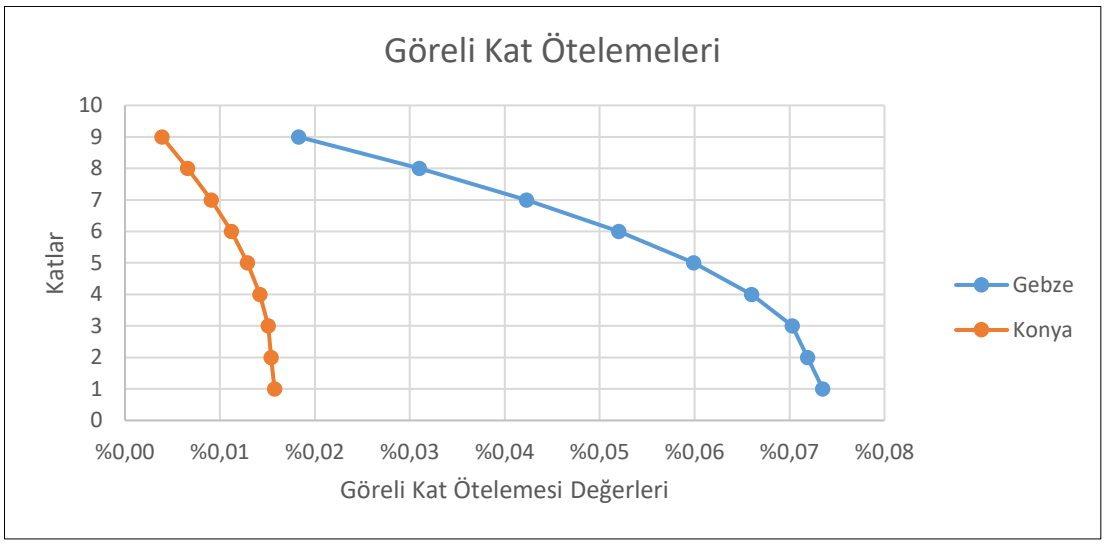
Şekil 4.7: out_file_analyser programı görünümü.

İlk olarak göreli kat ötelemelerinin kontrolü sağlanmıştır. Çıktı sonuçlarında belirtilen göreli kat ötelemeleri sonuçlarına göre tarama yapılmış olup, Gebze ve Konya bölgelerinde tasarlanan toplam 672 yapı içerisinde göreli kat ötelemesi sorununa rastlanmamıştır. Bu durumda TBDY-2018 Bölüm 17'de belirtilen "Bölüm 17'ye göre tasarlanan binalarda göreli kat ötelemesi kontrolü aranmaz." ifadesi gerçekçi bir ifade olarak karşımıza çıkmaktadır. Örnekte de görüldüğü gibi yönetmelikte belirtilen bir ifadenin irdelemesi geliştirilen yazılım sayesinde parametrik olarak çokça örneğin kısa bir sürede incelenmesi ile sağlanmış bulunmaktadır.

Örnek olarak seçilen 339(9).$2k modelinin göreli kat ötelemesi sonuçlarının karşılaştırılmasını şekil 4.8'den görebiliriz.

- Model adı: 339(9).$2k

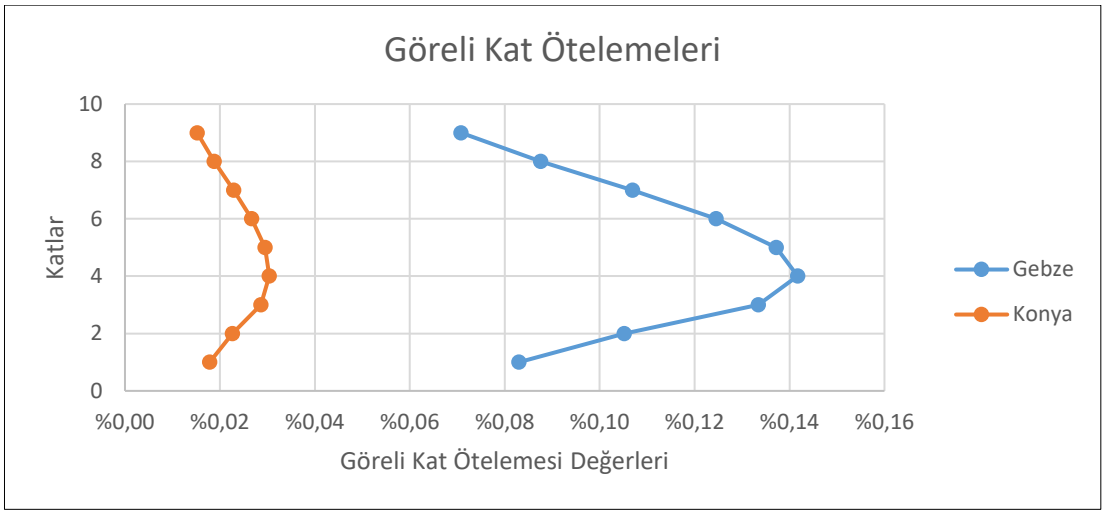
- Kat yüksekliği: 3 metre
- Kiriş açıklığı: 3 metre
- Kat sayısı: 9
- Açıklık sayısı: 10
- Kolon boyutları: 41 × 41 cm
- Kiriş boyutları: 30 × 50 cm



Şekil 4.8: 339(9).$2k modeli için Gebze ve Konya göreli kat ötelemesi değerleri.

Örnek olarak seçilen 3759(3).$2k modelinin göreli kat ötelemesi sonuçlarının karşılaştırılmasını şekil 4.9'den görebiliriz.

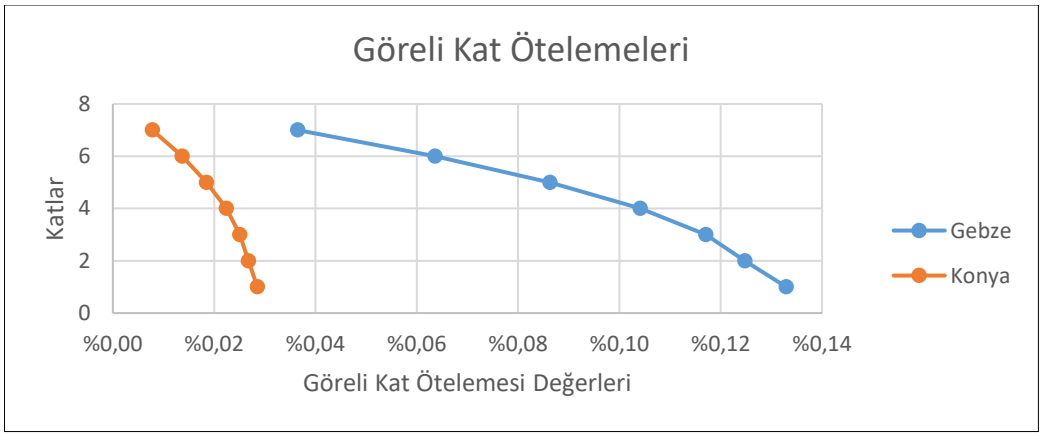
- Model adı: 3759(3).$2k
- Kat yüksekliği: 3 metre
- Kiriş açıklığı: 7,5 metre
- Kat sayısı: 9
- Açıklık sayısı: 4
- Kolon boyutları: 103 × 103 cm
- Kiriş boyutları: 30 × 50 cm



Şekil 4.9: 3759(3).$2k modeli için Gebze ve Konya göreli kat ötelemesi değerleri.

Örnek olarak seçilen 437(9).$2k modelinin göreli kat ötelemesi sonuçlarının karşılaştırılmasını şekil 4.10'den görebiliriz.

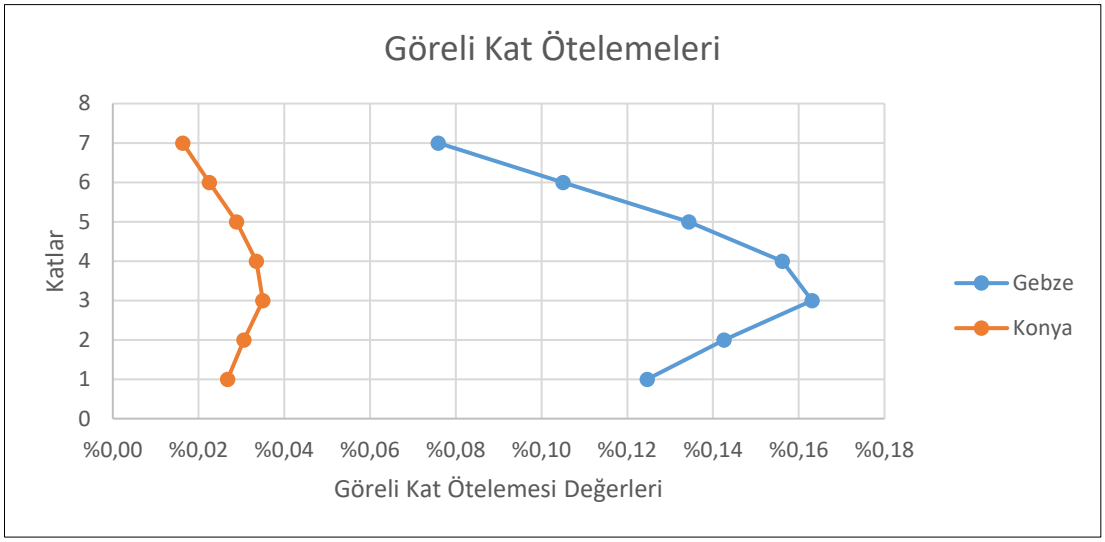
- Model adı: 437(9).$2k
- Kat yüksekliği: 4 metre
- Kiriş açıklığı: 3 metre
- Kat sayısı: 7
- Açıklık sayısı: 10
- Kolon boyutları: 36 × 36 cm
- Kiriş boyutları: 30 × 50 cm



Şekil 4.10: 437(9).$2k modeli için Gebze ve Konya göreli kat ötelemesi değerleri.

Örnek olarak seçilen 4757(3).$2k modelinin göreli kat ötelemesi sonuçlarının karşılaştırılmasını şekil 4.11'den görebiliriz.

- Model adı: 4757(3).$2k
- Kat yüksekliği: 4 metre
- Kiriş açıklığı: 7,5 metre
- Kat sayısı: 7
- Açıklık sayısı: 4
- Kolon boyutları: 90 × 90 cm
- Kiriş boyutları: 30 × 50 cm



Şekil 4.11: 4757(3).$2k modeli için Gebze ve Konya göreli kat ötelemesi değerleri.

Örneklerden de görüldüğü üzere göreli kat ötelemesi değerleri en fazla %0,17 mertebelerinde çıkmaktadır.

Göreli kat ötelemesi sınır koşulları TBDY-2018 4.9.1.3'te aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

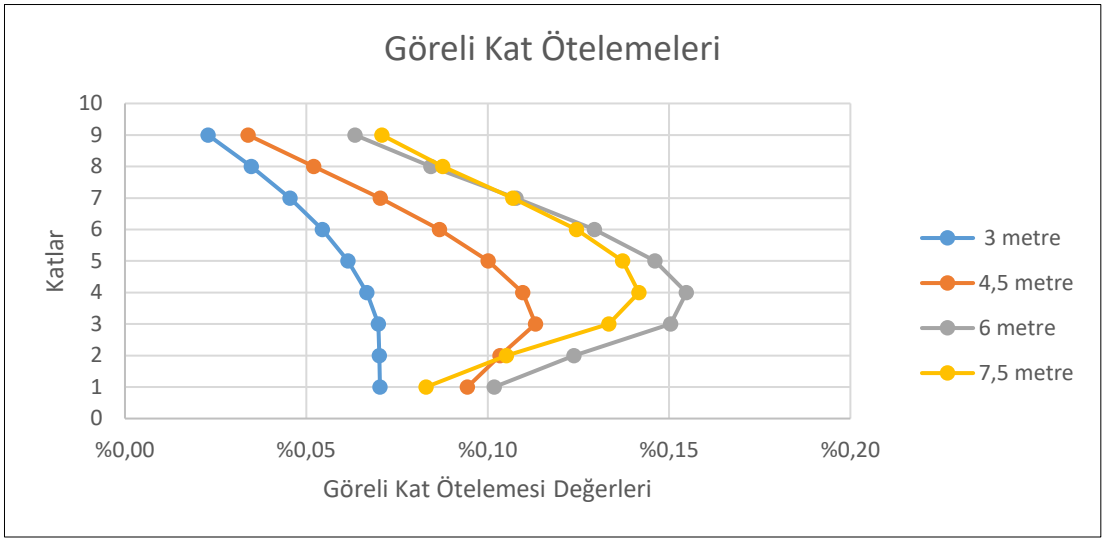
$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0{,}008\kappa \tag{4.1}$$

TBDY-2018 4.9.1.4'e göre Denk.(4.1)'de yer alan λ katsayısı, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için TBDY-2018

2.2'de tanımlanan DD-3 deprem yer hareketinin TBDY-2018 2.3.4.1'e göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır. Denk.(4.1)'de yer alan κ katsayısı ise betonarme binalarda κ=1, çelik binalarda ise κ=0,5 alınacaktır.

Bu durumda geliştirilen yazılım kapsamında κ=1 olarak alınmıştır ve 0,008 sınır koşulu şartıyla göreli kat ötelemesi kontrolleri yapılmıştır.

Şekil 4.12'de 339(3).$2k, 3459(3).$2k, 369(3).$2k ve 3759(3).$2k modellerinin göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Dört model de aynı bina yüksekliği, kat yüksekliği, kat sayısı ve kiriş açıklık sayısına sahip olmakla birlikte değişken olarak kiriş açıklık mesafeleri belirlenmiştir.



Şekil 4.12: Farklı kiriş açıklıklarında göreli kat ötelemesi durumu.

Yukarıdaki modellerde kolon boyutları TBDY-2018 Bölüm 17'de belirtilen sınır değerler doğrultusunda belirlenmiştir. 339(3).$2k modelin kolon boyutları 41 × 41 cm, 3459(3).$2k modelinde kolon boyutları 61 × 61 cm, 369(3).$2k modelinde kolon boyutları 82 × 82 cm ve 3759(3).$2k modelinde kolon boyutları 103 × 103 cm olarak belirlenmiştir. Kiriş boyutları bütün modellerde 30 × 50 cm olarak belirlenmiştir.

Yönetmelikte belirtilen koşullar altında kolon ve kiriş donatı alanları kontrolleri yapılmış olup, TBDY-2018 Bölüm 17'de belirtilen minimum donatı oranlarının yeterli olduğu görülmüştür.

Güçlü kolon zayıf kiriş tahkikleri yapılmış olup, Gebze bölgesinde %20 oranında, Konya bölgesinde ise %21 oranında olumsuz durum tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

5.1. Değerlendirme

Yapılan çalışma sonucunda tamamen ücretsiz bir şekilde ve açık kaynak kodlu olarak, SAP2000 programının görsel kullanıcı arayüzünü kullanan ve geliştirmeye açık, herhangi bir yüksek kapasiteli bilgisayar donanımı ihticayı duymadan 2 boyutlu lineer statik analiz ve TBDY-2018 Bölüm 17'ye göre statik tasarım programı geliştirilmiştir. Yazılım Gebze Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü GitHub sayfası üzerinden ulaşılabilir durumdadır. Bu çalışmadan elden edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır.

- TBDY-2018 Bölüm 17'ye göre yapılan analizler sonucunda 672 modelin hiçbirinde göreli kat ötelemesi sorununa rastlanmamıştır.
- Gebze bölgesi için yapılan 336 modelin 69 tanesi güçlü kolon zayıf kiriş tahkikinden geçememiştir. Bu rakam Konya bölgesi için yapılan 336 modelde 72 olarak gerçekleşmiştir.
- Gebze bölgesinde 336 adet ve Konya bölgesinde 336 adet olmak üzere toplam 672 adet yapının kolon ve kiriş donatı miktarları belirlenmiştir.
- Belirtilen minimum donatı oranı (0,01) kullanılarak oluşturulan modellerde yapılan analizler sonucu, yetersiz kolon donatısına rastlanmamıştır.
- Belirtilen, kirişler için minimum alt ve üst (sırasıyla 0,004 ve 0,006) donatı oranları kullanılarak oluşturulan modellerde yapılan analizler sonucu, yetersiz kiriş donatısına rastlanmamıştır.

Tez kapsamında ele alınan model biçimleri ve irdeleme başlıkları, programın geliştirilmesi ile artacak ve akademik çalışmalarda çok hızlı bir şekilde yol alınmasına kaynak olacaktır.

5.2. İleride Yapılacaklar

Mevcut çalışmada geliştirilen yazılımın üzerinde GTÜ İnşaat Mühendisliği çalışma grubu tarafından aşağıdaki geliştirmeler yapılacaktır:

- Perde ve döşemelerin eklenmesi
- 3 boyutlu yapı analizi
- Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin eklenmesi

KAYNAKLAR

[1] Alyamaç K. E., Erdoğan A. S., (2005), "Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri Ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları", Deprem Sempozyumu, 707-715, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Mart.

[2] CSB, (2018), "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", TBDY-2018, Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı.

[3] Daniell J. E., (2015), "Global View of Seismic Code and Building Practice Factors.", Encyclopedia Of Earthquake Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Almanya.

[4] Pampal S., Özmen B., (2007), "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Gelişimi", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim.

[5] Yazgan A. U., (2012), "Proposal Of Energy Spectra For Earthquake Resistant Design Based On Turkish Registers", Doktora Tezi, Universitat Politècnica de Catalunya.

[6] Web 1, (2019), www.uzem.afad.gov.tr (Erişim tarihi: 15.08.2020).

[7] Web 2, (2016), https://www.designsafe-ci.org (Erişim tarihi: 15.08.2018).

[8] Web 3, (2006), https://opensees.berkeley.edu (Erişim tarihi: 15.08.2018).

[9] Web 4, (2019), https://openseespydoc.readthedocs.io/en/latest/ (Erişim tarihi: 15.08.2018).

[10] Web 5, (1975), https://www.csiamerica.com/products/sap2000 (Erişim tarihi: 15.08.2018).

[11] Web 6, (2019), https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari (Erişim tarihi: 02/02/2020).

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Duisburg'da doğdu. Yarımca Süper Lisesi'nde lise eğitimini ve Namık Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. 2011 yılından itibaren özel sektörde çeşitli firmalarda saha mühendisliği, şantiye şefliği görevleri üstlendi. 2015 yılından itibaren özel bir şirkette kontrol mühendisi olarak çalışıyor. Evli ve iyi derecede İngilizce biliyor.